

ПОВЫШЕНИЕ ТОПЛИВНОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ ВАЗ ЗА СЧЕТ ПРОДОЛЖЕННОГО РАСШИРЕНИЯ РАБОЧЕГО ТЕЛА

Тер-Мкртичян Г.Г.¹

¹Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт (НАМИ)», (125438, г. Москва, ул. Автомоторная, д. 2), e-mail: georg@nami.ru

В статье дан анализ повышения топливной экономичности двигателя за счет продолженного расширения рабочего тела. На примере двигателя Ваз с рабочим объемом 1,4 л рассмотрена возможность реализации продолженного расширения в эспандерных цилиндрах двигателя при увеличении среднего эффективного давления в рабочих цилиндрах. Показано, что продолженное расширение рабочего тела может быть организовано и в любом четырехтактном четырехцилиндровом двигателе с порядком работы 1-3-4-2 при минимальных конструктивных изменениях деталей и узлов базового двигателя. Модификации стандартного двигателя с продолженным расширением могут быть особо востребованы для транспортных средств со специфическими условиями эксплуатации, например для автомобилей с преобладающей долей городских режимов. Особенности модификации «двигатель-эспандер» делают ее эффективной для использования в составе комбинированных энергоустановок.

Ключевые слова: топливная экономичность, разделенные такты, продолженное расширение, эспандерный режим, среднее эффективное давление, степень сжатия.

IMPROVING THE FUEL EFFICIENCY OF VAZ ENGINES DUE TO THE WORKING FLUID OVEREXPANSION

Ter-Mkrtichian G.G.¹

¹State research Centre of Russian Federation – “Central Scientific Research Automobile and Automotive Engines Institute (NAMI)”, (125438, Moscow, 2, Avtomotornaya st.), e-mail: georg@nami.ru

The article analyzes of increasing the engine fuel efficiency due to the overexpansion organization. On the engine VAZ example displacement of 1.4 liters considered the possibility of implementing the overexpansion in expanding the engine cylinders when the increase in the main effective pressure in the working cylinders. It is shown that the overexpansion of the working fluid may be arranged in any four-stroke four-cylinder engine with a work order 1-3-4-2 with minimal structural changes of parts and units basic engine. Modify the standard engine overexpansion may be particularly in demand for vehicles with specific conditions, for example for vehicles, with a predominant share of urban regimes. Special features of the modified engine-expander makes it effective for use in combined power plants.

Keywords: fuel consumption, divided strokes, overexpansion, expanding mode, main effective pressure, compression ratio.

Одним из наиболее современных отечественных двигателей является двигателя Ваз. Эти в целом не плохие двигатели по удельной мощности уступают зарубежным конкурентам. При одинаковой мощности они имеют увеличенный рабочий объем и, следовательно, ухудшенную топливную экономичность и повышенные выбросы CO₂.

В качестве возможного направления решения данной проблемы может быть рассмотрено форсирование двигателя с помощью наддува при сокращении числа работающих цилиндров. При этом среднее эффективное давление и, следовательно, механический КПД на характерных режимах эксплуатации автомобиля могут быть существенно повышены с сохранением исходной номинальной мощности двигателя [1].

В выключенных цилиндрах прекращается осуществление традиционного рабочего процесса ДВС, и они переводятся в режим продолженного расширения (эспандерный режим). Дополнительное расширение продуктов сгорания в цилиндрах способствует повышению эффективности утилизации энергии выпускных газов ДВС.

Реализация продолженного расширения

Рассмотрим реализацию рабочего цикла с разделенными тактами и продолженным расширением на примере двигателя ВАЗ 11194, хотя этот цикл может быть применен в любом четырехтактном четырехцилиндровом двигателе с порядком работы 1-3-4-2. При этом поставим задачу свести к минимуму конструктивные изменения деталей и узлов базового двигателя. Два внешних (рабочих) цилиндра четырехцилиндрового двигателя работают по обычному четырехтактному циклу. В двух внутренних (эспандерных) цилиндрах происходит продолженное расширение газов, которое может быть названо пятым тактом. Таким образом, в эспандерных цилиндрах осуществляются только такты расширения и выпуска отработавших газов.

Рабочий цикл двигателя состоит из четырех фаз (рис. 1).

Фаза А. Поршни в рабочих цилиндрах движутся от ВМТ к НМТ. Поршни в эспандерных цилиндрах движутся от НМТ к ВМТ. В первом рабочем цилиндре осуществляется впуск свежего заряда, а во втором рабочем цилиндре – сгорание (предварительное расширение). В эспандерных цилиндрах осуществляется выпуск газов.

Фаза В. Поршни в рабочих цилиндрах движутся от НМТ к ВМТ. Поршни в эспандерных цилиндрах движутся от ВМТ к НМТ. В первом рабочем цилиндре осуществляется сжатие свежего заряда, а во втором рабочем цилиндре – вытеснение выпускных газов в эспандерные цилиндры. В эспандерных цилиндрах осуществляется процесс продолженного расширения выпускных газов из второго рабочего цилиндра.

Фаза С. Поршни в рабочих цилиндрах движутся от ВМТ к НМТ. Поршни в эспандерных цилиндрах движутся от НМТ к ВМТ. В первом рабочем цилиндре осуществляется сгорание (предварительное расширение), а во втором рабочем цилиндре – впуск свежего заряда. В эспандерных цилиндрах осуществляется выпуск газов.

Фаза D аналогична **Фазе В**, в которой первый и второй цилиндры ВД меняются местами.

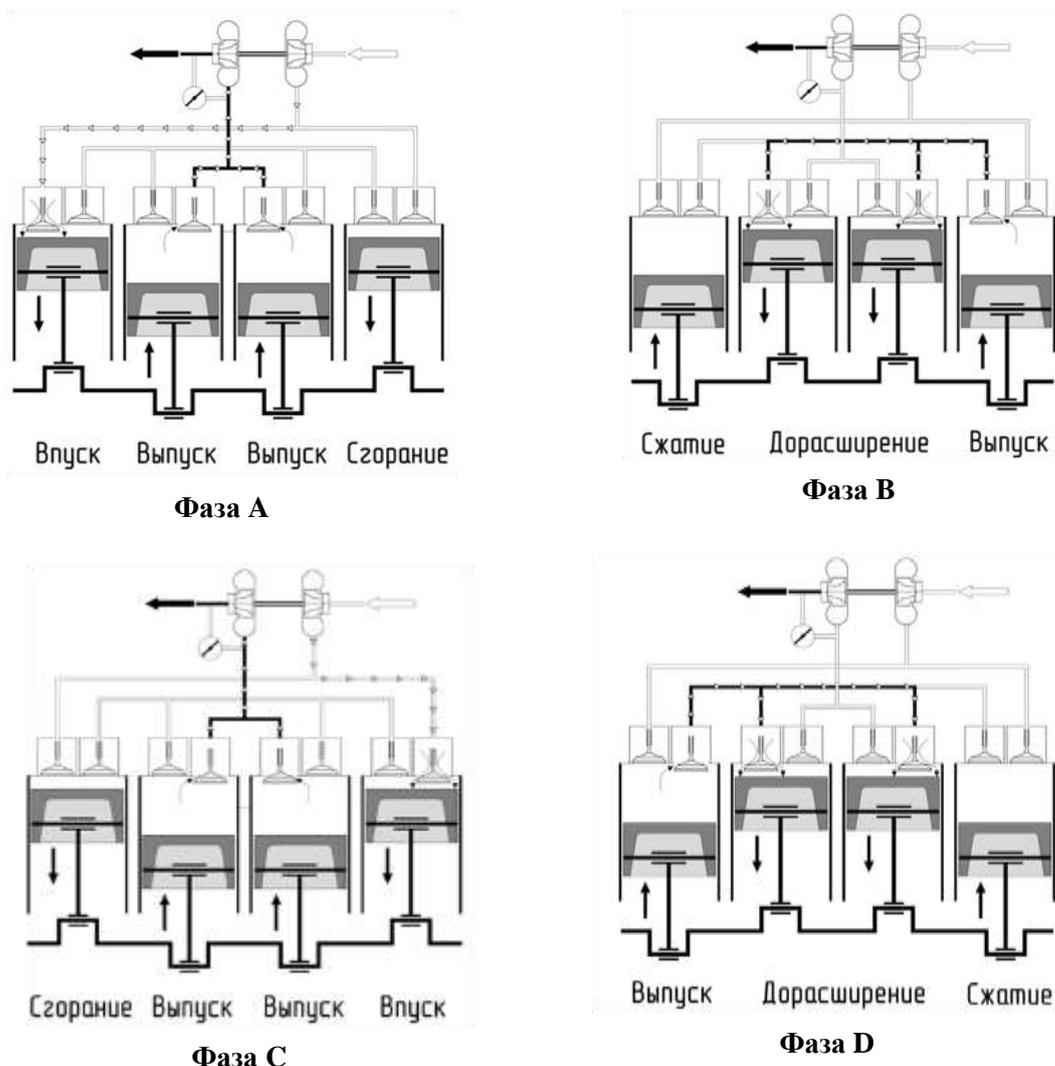


Рис. 1. Фазы рабочего цикла.

Таким образом, рабочий цикл двигателя с продолженным расширением осуществляется за два оборота коленчатого вала и состоит из двух групп процессов. Первая группа включает процессы впуска и предварительного расширения в первом или втором рабочих цилиндрах и выпуск газов из эспандерных цилиндров. Вторая группа включает процессы сжатия и вытеснения выпускных газов в первом или втором рабочих цилиндрах и дополнительное расширение выпускных газов в эспандерных цилиндрах.

Расчетные исследования

Для оценки влияния на топливную экономичность уменьшения рабочего объема двигателя и продолженного расширения были проведены расчетные исследования его рабочего процесса. Рассмотрены следующие варианты двигателя:

- стандартный вариант, при котором 4 цилиндра работают без наддува;
- одна пара цилиндров работает с наддувом, а в другой паре цилиндров удаляются клапаны с целью ликвидации насосных потерь;

➤ двигатель-эспандер (ДЭ), в котором одна пара цилиндров является рабочей, а в другой паре цилиндров – эспандерной - осуществляется продолженное расширение.

Во всех вариантах обеспечивается приблизительно одинаковая мощность двигателя. В качестве ограничивающих факторов при форсировании 2 цилиндров с помощью наддува были приняты: отсутствие детонации, максимальное давление сгорания не выше 5,5 МПа и максимальная температура газов на входе в турбину турбокомпрессора 1050 °С. Работоспособность двигателя ВАЗ 11194 с таким уровнем параметров была подтверждена в цикле испытаний в ГНЦ «НАМИ» [2]. В двух работающих цилиндрах, использующих наддув, степень сжатия стандартного двигателя 10,8 была уменьшена до 9,0. При этом был сохранен приемлемый уровень нагрузок на детали двигателя [3].

На рисунке 2 даны нагрузочные характеристики вариантов двигателя ВАЗ при частоте вращения коленчатого вала $n=4000 \text{ мин}^{-1}$.

Из сравнения вариантов на графике $g_e=f(p_e)$ следует, что при одинаковой величине среднего эффективного давления стандартный вариант имеет меньший уровень удельного эффективного расхода топлива по сравнению с другими вариантами. Указанное объясняется пониженной степенью сжатия двигателя в вариантах с двумя рабочими цилиндрами, что вызывает уменьшение индикаторного КПД, а также увеличенными механическими потерями за счет двух выключенных цилиндров.

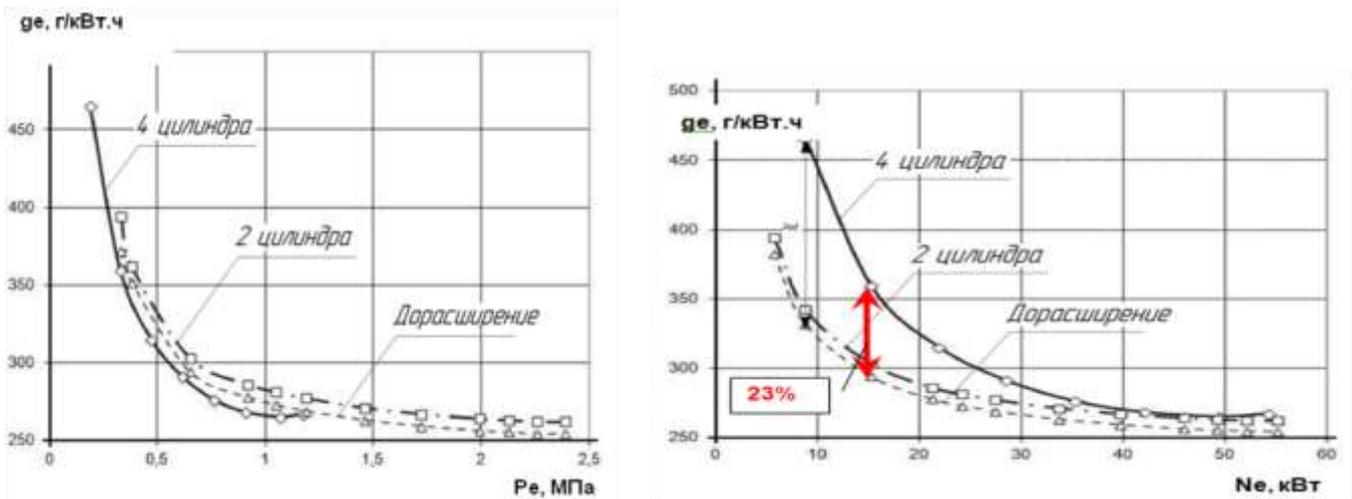


Рис. 2. Нагрузочные характеристики двигателя ВАЗ, $n=4000 \text{ мин}^{-1}$

Картина меняется при сравнении вариантов на графике $g_e=f(N_e)$ при одинаковой мощности. Варианты с двумя рабочими цилиндрами по величине удельного эффективного расхода топлива выигрывают у стандартного варианта 4-цилиндрового двигателя без наддува, причем этот выигрыш существенно увеличивается при снижении мощности. На характерном режиме городского движения автомобиля Лада Калина ($N_e=15 \text{ кВт}$; $n=4000 \text{ мин}^{-1}$) вариант ДЭ

с продолженным расширением по топливной экономичности более чем на 20% превосходит стандартный вариант двигателя.

Схема воздействия различных факторов на повышение топливной экономичности варианта «двигатель-эспандер» иллюстрируется рисунком 3.



Рис. 3. Схема повышения топливной экономичности варианта «двигатель-эспандер».

Форсирование двух рабочих цилиндров с помощью наддува позволяет обеспечить необходимую мощность двигателя на режимах частичных нагрузок при более высоком уровне среднего эффективного давления по сравнению со стандартным вариантом 4-цилиндрового двигателя без наддува. При этом ощутимо увеличивается механический КПД. Необходимость снижения степени сжатия для предотвращения детонации и уменьшения нагрузок на детали двигателя приводит к некоторому снижению индикаторного КПД, которое компенсируется за счет продолженного расширения газов в эспандерных цилиндрах.

Параметры вариантов двигателя ВАЗ 11194 даны в таблице 1.

Таблица 1 - Параметры вариантов двигателя ВАЗ 11194

Вариант	Стандартный	ДЭ
Количество цилиндров		4
Диаметр цилиндра, мм		76,5
Ход поршня, мм		75,6
Рабочий объем цилиндров, л	1,39	0,7 (условно)
Степень сжатия	10,8	9,0
Номинальная мощность, кВт, при $n=6000 \text{ мин}^{-1}$		65
Максимальный крутящий момент, Нм, при $n=4000 \text{ мин}^{-1}$		130
g_e на характерном режиме городского движения автомобиля Лада Калина ($N_e=15 \text{ кВт}$; $n=4000 \text{ мин}^{-1}$), г/кВт·ч	375	290 (↓ 23%)

Дальнейшим развитием двигателей с разделенными тактами могут стать конструкции с различными переключаемыми комбинациями работы, при которых цилиндры попеременно выполняют функции рабочих, эспандерных или компрессорных цилиндров [4; 5].

Заключение

Проведенные исследования свидетельствуют о значительных резервах существенного повышения топливной экономичности двигателей ВАЗ, как, впрочем, и других 4-цилиндровых двигателей, при разделении тактов цикла и с продолженным расширением рабочего тела. Применение в двигателе новой схемы осуществления рабочих процессов не требует значительных изменений конструкции стандартного двигателя. Однако элементы стандартного двигателя должны обеспечивать его работоспособность при современном уровне тепловых и механических нагрузок.

Модификации стандартного двигателя с продолженным расширением могут быть особо востребованы для транспортных средств со специфическими условиями эксплуатации, например для автомобилей с преобладающей долей городских режимов. Несомненно, что специфические особенности модификации «двигатель-эспандер» делают ее весьма привлекательной для использования в составе комбинированных энергоустановок.

Список литературы

1. Тер-Мкртчян Г.Г. Научные основы создания двигателей с управляемой степенью сжатия : дис. ... докт. техн. наук. - М., 2004. – 323 с.
2. Тер-Мкртчян Г.Г. Управление движением поршней в двигателях внутреннего сгорания. – М. : Металлургиздат, 2011. – 304 с.
3. Тер-Мкртчян Г.Г. Двигатели ВАЗ – технический уровень и перспективы развития за счет регулирования степени сжатия // Автомобильная промышленность. – 2008. - № 10. – С. 17-19.
4. Тер-Мкртчян Г.Г., Кутенев В.Ф., Никитин А.А. Двигатель внутреннего сгорания : патент на изобретение RUS 2030608, 1995 г.
5. Тер-Мкртчян Г.Г., Никитин А.А., Глатерман А.В. Двигатель внутреннего сгорания с регулируемой степенью сжатия : патент на полезную модель RUS 81999, 2009 г.

Рецензенты:

Каменев В.Ф., д.т.н., профессор, ведущий эксперт, ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», г. Москва.

Сайкин А.М., д.т.н., начальник управления, ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», г. Москва.