

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ РАЗМЕРНОСТИ 9,2/8,0 ПРИ РАБОТЕ НА МЕТАНЕ

*Осипов Л.Е.<sup>1</sup>, Плотников Л.В.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
[klumbaa@outlook.com](mailto:klumbaa@outlook.com), [leonplot@mail.ru](mailto:leonplot@mail.ru)

**Аннотация.** В статье представлены результаты настройки бензинового поршневого двигателя (размерности 9,2/8,0) для работы на газообразном топливе (смесь метана и эталона в соотношении 95/5). Исследования проводились на основе физико-математического моделирования в программном комплексе Дизель-РК. На основе результатов численного моделирования предложены новые фазы газораспределения, выбран оптимальный угол опережения зажигания и коэффициент избытка воздуха. Предлагаемые меры привели к увеличению эффективной мощности (до 27 %), снижению удельного эффективного расхода топлива (до 16 %) и улучшению экологических показателей (до 23 %) на номинальном режиме работы.

**Ключевые слова:** поршневой двигатель, бензин, метан, газомоторное топливо, моделирование процессов ДВС, доводка.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF PISTON ENGINE PERFORMANCE OF 9.2/8.0 DIMENSIONS WHEN WORKING ON METHANE

*Osipov L.<sup>1</sup>, Plotnikov L.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

**Abstract.** The paper presents the results of setting up a gasoline piston engine (dimension 9.2/8.0) for operation on gaseous fuel (a mixture of methane and standard in the 95/5 ratio). The researches were carried out based on physical and mathematical modeling in Diesel-RK software package. Based on the numerical modeling results, new phases of gas distribution are proposed, the optimal ignition advance angle and

excess air coefficient are selected. Proposed measures resulted in increase of effective power (up to 27 %), reduction of specific effective fuel consumption (up to 16 %) and improvement of ecological indicators (up to 23 %) at nominal operation mode.

**Keywords:** piston engine, gasoline, methane, gas-engine fuel, modeling of internal combustion engine processes, finishing.

## **Введение**

Одними из ключевых проблем на сегодняшний день являются истощаемость природных ресурсов и экология. Поэтому применение газомоторного топлива в поршневых двигателях внутреннего сгорания (ДВС) становится все актуальнее [1, 2]. Однако, в процессе перевода поршневых двигателей на газомоторное топливо необходимо уделять внимание научной проработке, доводке рабочего процесса, а также предварительной оценке технико-экономических параметров.

Существует большое количество публикаций, посвященные упомянутым выше направлениям. В статье [3] рассматриваются процессы рабочего цикла поршневых ДВС, работающих на газомоторном топливе, применяя оригинальные математические модели. Также следует отметить работу [4], где на основе численного моделирования, оценивается влияние степени сжатия на технико-экономические показатели газопоршневых двигателей. Таким образом, одним из приоритетных направлений развития двигателестроения является разработка мер по повышению эффективности газопоршневых двигателей.

В данной статье приводятся результаты сравнительного анализа основных показателей поршневых двигателей, работающих на разных видах топлива применительно к двигателю 8Ч 9,2/8,0.

## **Постановка задачи исследования**

Математическое моделирование проводилось на основе программного комплекса Дизель-РК, разработанного в МГТУ имени Н.Э. Баумана. В качестве прототипа выбран бензиновый двигатель ЗМЗ-53 (стандартное обозначение 8Ч 9,2/8,0). Он представляет собой V-образный 8-цилиндровый двигатель с диаметром цилиндра 92 мм и ходом поршня – 80 мм. Номинальная мощность бензинового прототипа  $N_e$  составляет 88,3 кВт при частоте вращения коленчатого вала  $n = 3200$  мин<sup>-1</sup>.

Для проведения исследований была разработана математическая модель бензинового ДВС в программе Дизель-РК. Ее основные параметры были верифицированы по данным руководства по эксплуатации на рассматриваемый

двигатель. Отличия между данными технической документации и результатами моделирования не превышали 5-7 %.

Затем в математической модели осуществлялась замена бензина на метан (без изменения каких-либо параметров рабочего процесса). Химический состав (в процентных долях) бензина был следующим:  $C = 0,855$ ,  $H = 0,145$  при низшей теплоте сгорания  $H_{и}$  равной 44 МДж/кг. Химический состав метана:  $CH_4 = 0,95$ ,  $C_2H_6 = 0,05$  при  $H_{и} = 49,74$  МДж/кг. Исследования проводились в диапазоне частот коленчатого вала  $n$  от 600 до 4000 мин<sup>-1</sup> при стандартных атмосферных условиях.

### Результаты физико-математического моделирования

После перевода базового (бензинового) двигателя на метан была произведена доводка его рабочего процесса по следующим показателям: степень сжатия, углы фаз газораспределения, угол опережения зажигания и коэффициент избытка воздуха. В результате были получены оптимальные параметры для модернизированного газопоршневого двигателя (таблица 1).

Таблица 1 – Основные параметры исследуемых двигателей на номинальном режиме работы

Основные параметры двигателей	Базовый / газовый ДВС	Модерн. ДВС
Степень сжатия $\varepsilon$	7,6	15
Угол открытия выпускных клапанов, град. до НМТ	70	55
Угол закрытия выпускных клапанов, град. после ВМТ	18	25
Угол открытия впускных клапанов, град. до ВМТ	36	21
Угол закрытия впускных клапанов, град. после НМТ	52	32
Угол опережения зажигания $\varphi_{оп}$ , град.	4	6
Коэффициент избытка воздуха $\alpha$	1	0,92

В результате, в данном исследовании сравнительный анализ показателей рабочего процесса осуществлялся для трех двигателей: 1) базовый ДВС (бензин,  $\varepsilon = 7,6$ ); 2) газовый ДВС, переведенный на метан (метан,  $\varepsilon = 7,6$ ); 3) модернизированный газопоршневой ДВС (метан,  $\varepsilon = 15$ ). Степень сжатия равная 15 для двигателя, работающего на метане, была выбрана для сравнения на основе предыдущих исследований [5].

На рис. 1 представлены зависимости мощности от частоты вращения коленчатого вала для трех рассматриваемых двигателей.

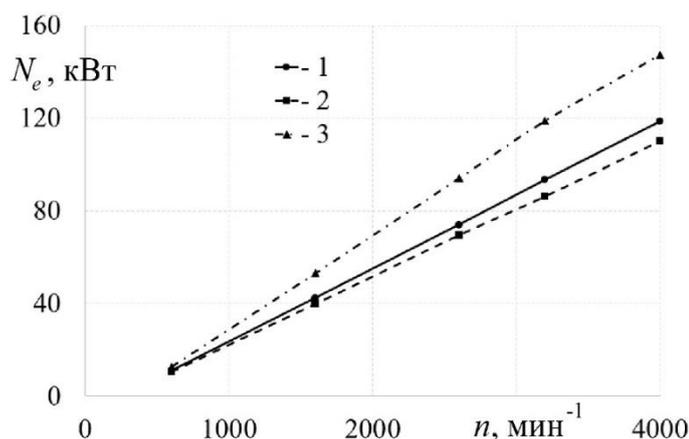


Рисунок 1 – Зависимости эффективной мощности  $N_e$  от частоты вращения коленвала  $n$  для разных двигателей: 1 – базовый бензиновый ДВС; 2 – газовый ДВС; 3 – модернизированный газопоршневой ДВС

Из рис. 1 видно, что без настройки рабочего процесса мощность двигателя, переведенного на газообразное топливо ниже, чем у базового бензинового ДВС на 7,5 % на номинальном режиме. В свою очередь, модернизированный газопоршневой двигатель по многим показателям превосходит базовый бензиновый и газовый двигатели. Мощность возросла на 21 % по сравнению с бензиновым ДВС и на 27,4 % по сравнению с газовым двигателем. Такой результат в большей мере связан с повышением степени сжатия, т.к. с повышением степени сжатия в поршневых ДВС увеличивается термический КПД и улучшаются условия для смесеобразования и сгорания топлива [6].

На рис. 2 представлена зависимость удельного расхода топлива от частоты вращения коленчатого вала для трех рассматриваемых двигателей. Из рисунка видно, что удельный расход топлива двигателей, работающих на газообразном топливе, показывает лучшие результаты экономичности по сравнению с бензиновым двигателем во всем диапазоне режимов работы. При переводе базового бензинового двигателя на газообразное топливо удельный расход топлива снижается на 10,2 % на номинальном режиме. В модернизированном газопоршневом двигателе удельный расход топлива снижается на 26,9 % по сравнению с бензиновым и на 16,4 % по сравнению с газовым двигателем.

Экологические показатели трех исследуемых двигателей представлены на рис. 3. Показано, что экологические показатели двигателей, работающих на газообразном топливе, значительно лучше по сравнению с базовым бензиновым двигателем, что характерно для всех исследуемых режимов работы. Так, после перевода бензинового двигателя на метан наблюдалось улучшение экологических показателей на 78,4 % на номинальном режиме. Это связано с

рядом причин: 1) при использовании газообразных топлив имеет место более полное сгорание за счет более однородного перемешивания воздуха и топлива; 2) лучшими экологическими свойствами газообразных топлив по сравнению с бензинами [3, 7]. У модернизированного газового ДВС показатели экологичности стали на 83,4 % лучше по сравнению с бензиновым ДВС и на 23,1% лучше по сравнению с газовым.

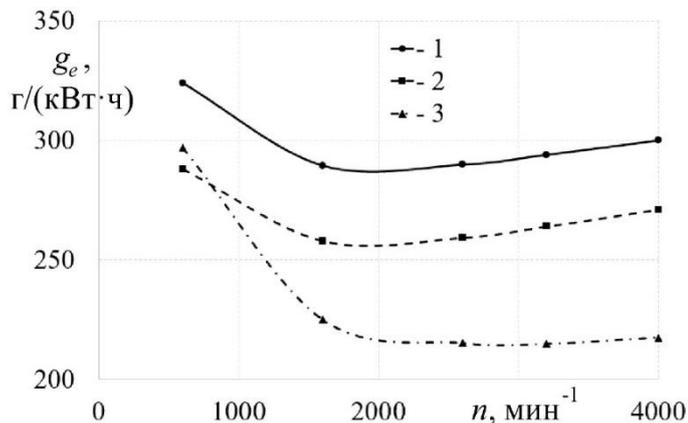


Рисунок 2 – Зависимости удельного расхода топлива  $g_e$  от частоты вращения коленвала  $n$  для разных двигателей: 1 – базовый бензиновый ДВС; 2 – газовый ДВС; 3 – модернизированный газопоршневой ДВС

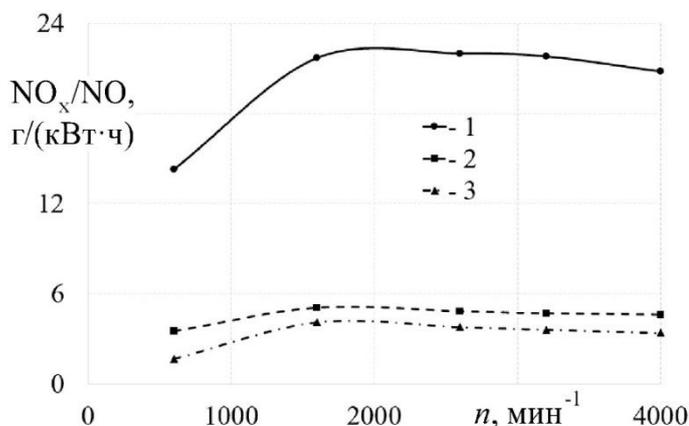


Рисунок 3 – Зависимость эмиссии  $NO_x$  приведенной к  $NO$  в отработавших газах различных ДВС от частоты вращения коленвала  $n$ : 1 – базовый бензиновый ДВС; 2 – газовый ДВС; 3 – модернизированный газопоршневой ДВС

### Заключение

На основании проведенного исследования по настройке рабочего процесса двигателя 8Ч 9,2/8,0 можно сделать следующие основные выводы:

- разработаны математические модели поршневых двигателей, работающих на бензине и метане, в программном комплексе Дизель-РК;

- перевод бензинового двигателя на газообразное топливо, а также правильная доводка приводит к увеличению номинальной мощности до 21 %;

- перевод двигателя 8Ч 9,2/8,0 на газообразное топливо приводит к существенному (почти в 2 раза) снижению количества эмиссии  $NO_x$  в отработавших газах;

Таким образом, перевод бензинового двигателя на газомоторное топливо (метан) приводит к улучшению технико-экономических и экологических показателей при тщательном совершенствовании рабочего процесса.

### **Библиографический список**

1. Кавтарадзе Р.З. Теплофизические процессы в дизелях, конвертированных на природный газ и водород. М.: Изд-во МГТУ, 2011. 240 с.

2. Кавтарадзе З.Р., Кавтарадзе Р.З. Перспективы применения поршневых двигателей на альтернативных моторных топливах // Транспорт на альтернативном топливе, 2010. №1. С. 74–80.

3. Лукшо В.А., Козлов А.В., Теренченко А.С. Оценка показателей природного газа как моторного топлива в полном жизненном цикле // Транспорт на альтернативном топливе, 2011. № 3. С. 4–9.

4. Клементьев А.С., Бибииков М.Н., Филькин Н.М., Меркушев А.В. Исследование влияния степени сжатия при конвертации двигателя автомобиля ГАЗ-31105 «Волга» на газовое топливо // Транспорт на альтернативном топливе, 2010. №4. С. 14 – 17.

5. Плотников Л.В., Козубский А.М., Максименко А.Г., Осипов Л.Е. Оценка топливной экономичности поршневых двигателей после их перевода на газомоторное топливо // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. 2019. № 2. С. 70-73.

6. Кавтарадзе Р.З. Теория поршневых двигателей. Специальные главы: М.: Изд-во МГТУ, 2008. 720 с.

7. Heywood J.B. Internal combustion engine fundamentals. New York: McGraw-Hill, 1988. 458 p.