



УДК 621.433.2

**ВЛИЯНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ИЗБЫТКА ВОЗДУХА
НА ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПОРШНЕВОГО
ДВИГАТЕЛЯ (РАЗМЕРНОСТИ 9,2/8,0) ПОСЛЕ
ЕГО ПЕРЕВОДА НА ГАЗООБРАЗНОЕ ТОПЛИВО****INFLUENCE OF EXCESS AIR RATIO ON THE MAIN
INDICATORS OF A PISTON ENGINE (DIMENSION 9.2 / 8.0)
AFTER ITS CONVERSION TO GASEOUS FUEL**

Осипов Леонид Евгеньевич, магистр каф. «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: klumbaa@outlook.com, Тел.: +7(982)630-28-72

Плотников Леонид Валерьевич, канд. техн. наук, доцент каф. «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: leonplot@mail.ru. Тел.: +7(922)291-64-50

Козубский Андрей Михайлович, канд. техн. наук, главный конструктор по гидравлическим экскаваторам, ПАО «Уралмашзавод»; инженер кафедры «Подъемно-транспортные машины и роботы», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. Тел.: +7(343)327-56-52

Максименко Александр Григорьевич, директор, ООО «Элитгаз», Россия, 620137, г. Екатеринбург, ул. ул. Шефская, 3а. Тел. +7(343)253-28-88

Leonid E. Osipov, Magister, «Turbines and engines» Department, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: misnikmariya@yandex.ru, Тел.: +7(912)644-75-49

Leonid V. Plotnikov, Candidate of technical Sc., Associate Prof., «Turbines and engines» Department, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: leonplot@mail.ru. Ph.: +7(922)291-64-50

Andrey M. Kozubsky, Candidate of technical Sc., Chief Designer, Hydraulic Excavators of «Uralmashplant», Engineer of the «Lifting and transporting machines and robots» Department, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. Ph.: +7(343)327-56-52

Alexander G. Maksimenko, director of open company «Elitegas», 620137, Shevskaya str., 3a, Ekaterinburg, Russia. Ph.: +7(343)253-28-88

Аннотация: В данной статье представлены результаты моделирования рабочего процесса поршневого двигателя 8Ч 9,2/8,0 при его работе на бензине и метане. Математическое моделирование рабочего процесса выполнялось в программном комплексе Дизель-РК. Проведен анализ влияния величины коэффициента избытка воздуха на основные показатели двигателя: мощность, удельный расход топлива, выбросы токсичных веществ, максимальные температуру и давление цикла и др. Показано, что перевод поршневого двигателя на метан с последующей настройкой рабочего процесса позволяет снизить удельный эффективный расход топлива (до 10 %) и улучшить экологические показатели (до 2 раз) на номинальном режиме работы.

Abstract: This article presents the results of modeling the working process of a piston engine (dimension 9.2/8.0) when operating on gasoline and methane. Mathematical modeling of the workflow was performed in the Diesel-RK software. An analysis of the effect of the value of the excess air coefficient on the main indicators of the engine (power, specific fuel consumption, toxic emissions, maximum temperature and cycle pressure, etc.) was carried out. It is shown that the transfer of a piston engine to methane with the subsequent adjustment of the working process allows to reduce the specific effective fuel consumption (up to 10%) and improve environmental performance (up to 2 times) in the nominal mode of operation.

Ключевые слова: поршневой двигатель; бензин и метан; моделирование; коэффициент избытка воздуха; эффективность; экологичность.

Key words: piston engine; gasoline and methane; simulation; excess air ratio; efficiency; environmental friendliness.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день проблемы снижения потребления природных ресурсов и улучшения экологических показателей окружающей среды становятся все более острыми. Автомобильный парк страны стремительно растет. Поэтому основные требования к двигателю внутреннего сгорания (ДВС) – это улучшение их экономичности и экологичности [1, 2]. В связи с этим в последнее время инженеры и ученые стали уделять особое внимание двигателям, работающим на газообразном топливе. Одним из таких видов топлива является метан. Метановое топливо имеет более высокое октановое число (110-125) и удельную теплоту сгорания, чем нефтяное топливо или сжиженные углеводородные газы и не меняет физико-химические свойства при низких температурах. Метан также имеет меньшую пожароопасность, чем бензин. При этом он является более экологичным видом топлива и удовлетворяет многим современным экологическим стандартам.

Несмотря описанные выше преимущества, существует несколько проблем, характерных для двигателей, работающих на метане [3, 4]. Среди них выделяют следующие: 1) потери мощности двигателя; 2) прогорание выпускных клапанов вследствие увеличения средней температуры цикла. Для решения этих проблем необходимо производить настройку рабочего процесса газопоршневого двигателя с целью сохранения его технико-экономических показателей [5, 6].

В данной статье приводятся результаты настройки рабочего процесса бензинового двигателя 8Ч 9,2/8,0 путем изменения коэффициента избытка воздуха после его перевода на газообразное топливо (метан) с целью улучшения его эффективности.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

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

Основной задачей было исследовать влияние коэффициента избытка воздуха на основные показатели двигателя после его перевода на метане (обозначение топлива в Дизель-РК – 95% Methane). Исходное бензиновое топливо (обозначение в Дизель-РК – Petrol (regular)) имело следующий химический состав (в процентных долях):

$C = 0,855$, $H = 0,145$, $O = 0$. Низшая теплота сгорания составляла 44 МДж/кг, плотность топлива – 720 кг/м³. Газообразное топливо (95 % Methane) на 95 % состояло из метана (CH₄) и на 5 % из этанола (C₂H₆) и имело следующий химический состав: $C = 0,7533$, $H = 0,2468$, $O = 0$. Низшая теплота сгорания составляла 49,74 МДж/кг, плотность топлива – 0,7483 кг/м³.

Для проведения исследований была разработана математическая модель базового бензинового ДВС в программе Дизель-РК, основные параметры которой были верифицированы по данным руководства по эксплуатации на рассматриваемый двигатель. Отличия между эксплуатационными данными и результатами моделирования по большинству параметров не превышали 5-7 %. После чего была произведена замена топлива с бензина на метан. Моделирование выполнялось для частот вращения коленчатого вала от 600 до 3200 мин⁻¹. Коэффициент избытка воздуха α для газообразного топлива менялся в пределах 0,9-1,2. Для бензинового топлива коэффициент α оставался постоянным и был равен единице.

РЕЗУЛЬТАТЫ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Расчетные зависимости технико-экономических показателей двигателей, работающих на двух видах топлива бензин (Petrol (regular)) и метан (95% Methane) при различных показателях коэффициента избытка воздуха представлены на рис. 1.

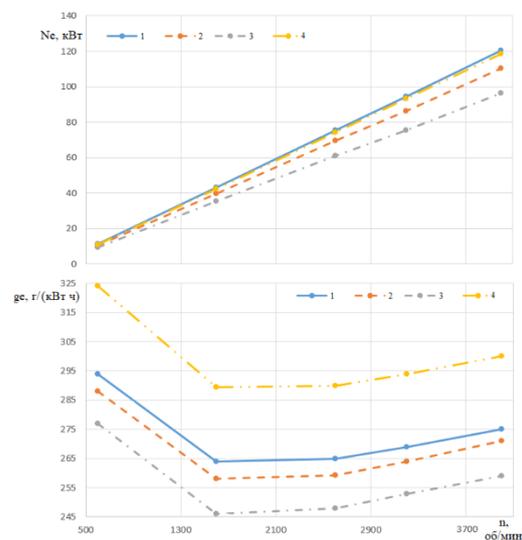


Рис. 1. Зависимости мощности N_e и удельного расхода топлива g_e двигателя от частоты вращения коленвала n при разных коэффициентах избытка воздуха α : 1 – $\alpha = 0,9$ (метан); 2 – $\alpha = 1$ (метан); 3 – $\alpha = 1,2$ (метан); 4 – $\alpha = 1$ (бензин)

Из рис. 1 видно, что после перевода бензинового двигателя на газообразное топливо (метан) при

сохранении коэффициента избытка воздуха ($\alpha = 1$) номинальная мощность двигателя снизилась примерно на 7,5 %, при этом удельный расход топлива также уменьшился на 10,2 %. Однако, при работе двигателя на метане при $\alpha = 0,9$ наблюдался уже прирост мощности на 1,5 % на номинальном режиме при одновременном уменьшении расход топлива на 8,5 % по сравнению с базовым бензиновым ДВС. При работе двигателя на метане на бедной смеси ($\alpha = 1,2$) мощность падала уже на 19,4 % при уменьшении g_e на 14 %. Следует отметить, что средний удельный расход топлива двигателем, работающем на метане, показал наилучшую экономичность по сравнению с бензиновым ДВС при всех значения α и во всем исследуемом диапазоне режимов работы.

Экологические показатели двигателей, работающих на газообразном и бензиновом топливах, при различных показателях коэффициента избытка воздуха представлены на рис. 2.

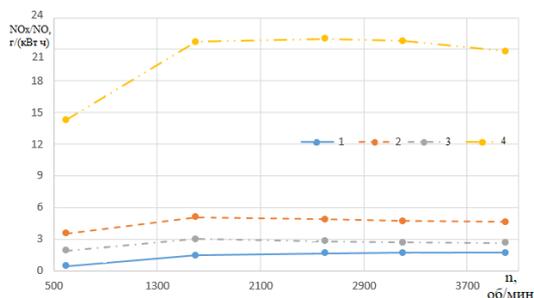


Рис. 2. Зависимость эмиссии NO_x приведенной к NO в отработавших газах ДВС от частоты вращения коленвала n при разных коэффициентах избытка воздуха α :
 1 – $\alpha = 0,9$ (метан); 2 – $\alpha = 1$ (метан);
 3 – $\alpha = 1,2$ (метан); 4 – $\alpha = 1$ (бензин)

Из рис. 2 видно, что экологические показатели двигателя, работающего на метановом топливе, значительно лучше по сравнению с бензиновым двигателем, что характерно для всех исследуемых значений коэффициента избытка воздуха α и режимов работы. Так, после перевода бензинового двигателя на метан (при сохранении $\alpha = 1$) наблюдалось улучшение экологических показателей на 78,4 % на номинальном режиме. Это связано с рядом причин: 1) при использовании газообразных топливо имеет место более полное сгорание за счет более однородного перемешивания воздуха и топлива; 2) снижением средней температуры цикла вследствие падения мощности (см. выше); 3) лучшими экологическими свойствами газообразных топлив по сравнению с бензинами.

Для того, чтобы оценить механические и температурные нагрузки, возникающие в двигателе после его перевода на газообразное топливо, были получены данные о максимальных

давлении и температуре цикла (рис. 3), а также о средних за цикл температурах отработавших газов и температуре огневого днища поршня (рис. 4).

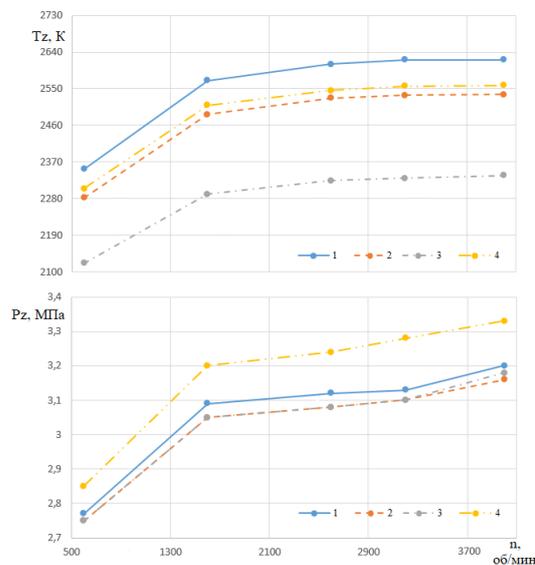


Рис. 3. Зависимости максимальной температуры цикла T_z и максимального давления p_z от частоты вращения коленвала n при разных α :
 1 – $\alpha = 0,9$ (метан); 2 – $\alpha = 1$ (метан);
 3 – $\alpha = 1,2$ (метан); 4 – $\alpha = 1$ (бензин)

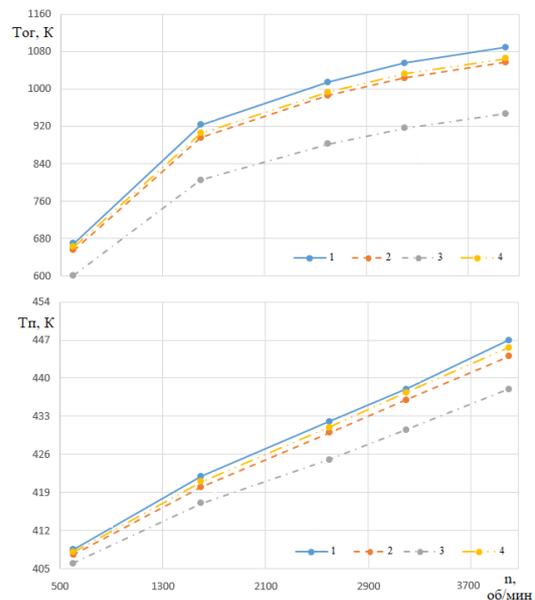


Рис. 4. Зависимости температуры отработавших газов T_{oz} и температуры огневого днища поршня T_n от частоты вращения коленвала n при разных α :
 1 – $\alpha = 0,9$ (метан); 2 – $\alpha = 1$ (метан);
 3 – $\alpha = 1,2$ (метан); 4 – $\alpha = 1$ (бензин)

Из рис. 3 видно, смена топлива с бензина на метан (при $\alpha = 1$) приводит к небольшому уменьшению максимальной температуры цикла (около 1 %). Увеличение α до 1,2 вызывает более существенное снижение T_z вплоть до 5 % по сравнению с базовым двигателем. При этом, при использовании

богатого, метанового топлива ($\alpha = 0,9$) максимальная температура цикла выше, чем у бензинового топлива примерно на 2,5 % на номинальном режиме работы двигателя.

Следует отметить, что наибольший показатель максимального давления цикла является у двигателя, работающего на бензиновом топливе, что характерно для всех исследуемых α и n (рис. 3). Например, даже при использовании метанового топлива с $\alpha = 0,9$ максимальное давление цикла ниже на 4,6 % по сравнению с базовым ДВС.

Из рис. 4 видно, что перевод бензинового двигателя на метан (при $\alpha = 1$) приводит к снижению температуры отработавших газов ниже на 11 %, а температура огневого днища поршня уменьшается на 1,6 %.

Снижение коэффициента избытка воздуха α до 0,9 в двигателе, работающем на метане, вызывает увеличение температуры отработавших газов на 2%, а температура огневого днища поршня растет примерно на 1,5% по сравнению с базовым ДВС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенного исследования можно сделать следующие основные выводы:

- разработаны математические модели поршневых двигателей, работающих на бензине и метане;
- 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;
- путем уменьшения коэффициента избытка воздуха до 0,9-0,95 можно повысить мощность двигателя, работающего на метане, до уровня базового, бензинового ДВС;
- перевод бензинового двигателя на газообразное топливо (метан) не вызывает увеличения тепловых и механических нагрузок на основные детали ДВС. Таким образом, перевод бензинового двигателя 8Ч 9,2/8,0 на метан улучшает его экологические и экономические показатели, а путем изменения состава топливно-воздушной смеси (коэффициента α) можно значительно повышать эффективность рассматриваемого ДВС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дашков В.Н. Возобновляемые источники энергии в ресурсосберегающих технологиях АПК: монография. Барановичи: РУПП «Баранов, крупн. Тип». 2003. 184 с.
2. Генкин К.И. Газовые двигатели. Москва: Машиностроение. 1977. 196 с.
3. Директор Л.Б., Зайченко В.М., Марков А.В., Суслов В.А. Результаты стендовых испытаний газопоршневой мини-тэц на базе двигателя ЯМЗ-240 // Теплоэнергетика. 2008. № 11. С. 64-66.
4. Залманов Л.Р., Крышина Т.М. Перевод дизельных электростанций на газ // Энергетик. 2014. № 1. С. 45-48.

5. Скоробогатый К.В. Перевод дизельных двигателей на газовое топливо для работы в условиях Сибири // Автотранспортное предприятие. 2012. № 8. С. 24-26.

6. 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.