

УДК 621.433.2

DOI: 10.35211/2500-0586-2024-4-49-83-85

*Р. А. Темин, Е. А. Федянов***ПРЕИМУЩЕСТВА ПОДАЧИ ПРИРОДНОГО ГАЗА  
НЕПОСРЕДСТВЕННО В КАМЕРУ СГОРАНИЯ  
ДВИГАТЕЛЯ С ИСКРОВОМ ЗАЖИГАНИЕМ****Волгоградский государственный технический университет**

romantemin@mail.ru, fedyanov@vstu.ru

Автор, ответственный за переписку: Роман Андреевич Темин, romantemin@mail.ru

Рассмотрены преимущества применения непосредственного впрыскивания природного газа в цилиндр двигателя внутреннего сгорания с искровым зажиганием по сравнению с подачей газа во впускной трубопровод. Приведены результаты расчета значений теплоты сгорания топливовоздушного заряда в цилиндре газового двигателя при различных способах смесеобразования, подтверждающие возможность минимизировать снижение мощности бензинового двигателя при переводе его на питание природным газом путем подачи его непосредственно в цилиндр на такте сжатия.

*Ключевые слова:* газовый двигатель, подача газа, мощность газового двигателя*R. A. Tyomin, E. A. Fedyanov***ADVANTAGES OF INJECTING NATURAL GAS DIRECTLY  
TO THE COMBUSTION CHAMBER OF A SPARK IGNITION ENGINE****Volgograd State Technical University**

The advantages of using direct injection of natural gas into the cylinder of an internal combustion engine with spark ignition compared to feeding gas into the intake manifold are considered. The results of calculating the heat of combustion of the fuel-air charge in the cylinder of a gas engine for various methods of mixture formation are presented, confirming the possibility of minimizing the decrease in the power of a gasoline engine when converting it to natural gas by feeding it directly into the cylinder during the compression stroke.

*Keywords:* gas engine, gas supply, gas engine power

В настоящее время наблюдается устойчивый рост числа двигателей внутреннего сгорания различного назначения, работающих на природном газе [1]. Двигатели на этом топливе обладают хорошими экологическими характеристиками, имеют, согласно многим данным [2; 3], повышенный срок службы цилиндропоршневой группы. Еще одним преимуществом природного газа как топлива является то, что его основной компонент – метан, обладает самым высоким по сравнению с другими горючими углеводородными газами относительным содержанием водорода. Соответственно, продукты сгорания метана содержат меньше диоксида углерода, чем продукты сгорания других углеводородных газов.

В расчете на килограмм массы теплота сгорания природного газа выше, чем бензина. Это обусловлено более высокой, чем у углеводородов, входящих в состав бензинов, теплотой сгорания метана. Содержание этого компонента в составе природных газов большинства месторождений лежит в пределах 92...98 %, а его низшая теплота сгорания около 50,0 МДж/кг [4], в то время как у большинства бензинов эта величина составляет примерно 44 МДж/кг [4].

Вместе с тем плотность метана примерно вдвое ниже, чем у воздуха, и почти на порядок меньше, чем у паров бензина. Вследствие этого при одинаковых значениях давления и температуры топливовоздушного заряда в цилиндре в конце такта впуска масса топливовоздушной смеси в двигателе, работающем на метане, оказывается меньше, чем в бензиновом двигателе. Еще одной причиной снижения теплоты сгорания заряда поступившей в цилиндр метановоздушной смеси является более высокое у метана, чем у бензина, значение теоретически необходимой для полного сгорания массы воздуха: 17,04 кг/кг у метана и 14,96 кг/кг у бензина. Как следствие, теплота сгорания стехиометрической метановоздушной смеси оказывается несколько ниже, чем у стехиометрической бензовоздушной: 2,72 МДж/кг и 2,78 МДж/кг, соответственно.

В силу изложенного выше при переводе питания двигателей с внешним смесеобразованием и принудительным зажиганием с бензина на природный газ мощность снижается.

При переоборудовании на питание природным газом карбюраторных бензиновых двигателей природный газ подавали через редуктор

и специальный смеситель во впускной трубопровод в пространство за дроссельной заслонкой. В смесителе система клапанов, управляемых разрежением во впускном трубопроводе, обеспечивала регулирование подачи газа в зависимости от количества поступающего в двигатель воздуха.

На двигателях с такой системой питания снижение мощности составляло 15...20 %.

Например, карбюраторный двигатель автомобиля «ЗИЛ-138А» со степенью сжатия 6,5, имевший рассмотренную выше систему подачи природного газа, развивал на бензине 150 л. с., а на природном газе 120 л. с., [5] то есть снижение мощности составляло 20 %. В двигателе «ЗИЛ-138И», в котором степень сжатия была повышена до 8, мощность снижалась на 15 %: от 117,3 кВт на бензине до 100 кВт на природном газе.

При переводе на питание природным газом современных бензиновых двигателей с распределенным впрыском бензина в ветви впускного коллектора газ подают специальными газовыми форсунками, которые устанавливают вместо бензиновых или рядом с бензиновыми, сохраняя возможность работать на двух видах топлива. Необходимый состав газовой смеси на различных режимах работы обеспечивает электронный блок управления, изменяющий в зависимости от режима длительность подачи газа форсункой. В этом случае при переходе с бензина на газ падение мощности меньше, так как впрыск газа под давлением в поток воздуха непосредственно около впускного клапана позволяет несколько ослабить влияние метана на плотность и, соответственно, массу смеси, поступающей в цилиндр. Так, например, двигатель рабочим объемом 1,6 дм<sup>3</sup> с двухтопливной системой питания, устанавливаемый на автомобиль «Lada Largus CNG», развивает при  $n = 5800 \text{ мин}^{-1}$  на бензине 78 кВт, а на природном газе 69 кВт [6]. Мощность двигателя на природном газе ниже на 12 %. Максимальный крутящий момент при переводе на природный газ снижается на 10 %.

Существенно уменьшить снижение мощности двигателя при переводе его питания с бензина на природный газ можно, подавая последний под давлением непосредственно в цилиндр двигателя в начале такта сжатия [7; 8; 9]. В этом случае масса образующейся в цилиндре газовой смеси будет определяться массой поступившего в цилиндр воздуха, стехиометрическим соотношением для метановоз-

душной смеси и требуемым значением коэффициента избытка воздуха.

Так, в указанном выше двигателе автомобиля «Лада Ларгус» масса поступившего в цилиндр рабочим объемом 0,399 дм<sup>3</sup> воздуха составит в начале такта сжатия 0,00038 кг при условии, что давление окружающей среды 100 кПа, температура 20 °С и коэффициент наполнения равен 0,8. Подавая после закрытия впускного клапана в цилиндр метан, получим 0,0004023 кг стехиометрической метановоздушной смеси. Теплота сгорания этой массы метановоздушной смеси 1,094 кДж. При тех же условиях, но при внешнем смесеобразовании, масса стехиометрической бензовоздушной смеси была бы 0,000398 кг, а метановоздушной 0,000324 кг. Соответственно теплоты сгорания зарядов в цилиндре в расчете на один цикл составят 1,106 и 0,881 кДж.

Сопоставляя теплоту сгорания бензовоздушной смеси в цилиндре при внешнем смесеобразовании с теплотой сгорания метановоздушной смеси при внутреннем смесеобразовании, то есть при подаче метана непосредственно в цилиндр на такте сжатия, получаем, что теплота сгорания массы бензовоздушной смеси в цилиндре в расчете на один цикл только на 1 % больше аналогичной теплоты сгорания метановоздушной смеси. Однако следует иметь в виду, что при впрыске бензина непосредственно в цилиндр некоторое количество энергии затрачивается на его испарение. Принимая теплоту парообразования для бензина равной примерно 315 кДж/кг [4], получаем, что различие в теплоте, которая будет подведена к рабочему телу в цилиндре в сопоставляемых случаях менее 0,35 %. Таким образом, можно считать, что двигатель, работающий на природном газе с его подачей непосредственно в цилиндр на такте сжатия, и такой же двигатель, работающий на бензине с его непосредственным впрыскиванием в цилиндр, будут иметь одинаковую мощность.

Основной проблемой, которая препятствует применению непосредственной подачи газа в цилиндр при переоборудовании на питание природным газом бензинового двигателя с впрыскиванием бензина во впускной коллектор, является отсутствие в его головке цилиндров каналов для установки газовых форсунок. Поэтому непосредственную подачу природного газа в цилиндр рекомендуется применять, в первую очередь, на двигателях, которые специально проектируются для работы на таком

виде топлива. Непосредственную подачу природного газа в цилиндр следует также рекомендовать при переоборудовании на питание природным газом бензиновых двигателей с непосредственным впрыском бензина в цилиндр.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Развитие газового двигателестроения – один из стратегических ответов на глобальный климатический вызов // Беларусь сегодня. – Режим доступа: <https://www.sb.by/articles/tekhnolo-gii-zhmut-na-gaz.html> (дата обращения: 26.07.2024 г.)
2. Генкин, К. И. Газовые двигатели. «Машиностроение». – 1977. – 192 с.
3. С бензина – на газ // Центральное диспетчерское управление топливно-энергетического комплекса. – Режим доступа: [https://www.cduru/tek\\_russia/articles/3/1194/](https://www.cduru/tek_russia/articles/3/1194/) (дата обращения: 26.07.2024 г.)
4. Дубовкин, Н. Ф. Справочник по углеводородным топливам и их продуктам сгорания. М. Государственное энергетическое издательство, 1962. – 288 с.
5. ЗИЛ 138а характеристики двигателя. – Режим доступа: <https://avtika.ru/zil-138-a-harakteristiki-dvigatelya/> (дата обращения: 31.05.2024 г.)
6. Lada Largus CNG дополнение к руководству по эксплуатации автомобиля и его модификаций // АВТОВАЗ 04.06.2019. – Режим доступа: [https://www.major-lada.ru/files/resources/pdf/lar-gus\\_universal/lada\\_largus\\_cng\\_re\\_04\\_06\\_2019.pdf](https://www.major-lada.ru/files/resources/pdf/lar-gus_universal/lada_largus_cng_re_04_06_2019.pdf) (дата обращения: 31.05.2024 г.)
7. Шишков, В. А. Непосредственный впрыск газового топлива в камеру сгорания ДВС с искровым зажиганием // Транспорт на альтернативном топливе. – 2010. – № 6. – С. 51–57.
8. Tanmay, Kar1, Zhenbiao Zhou1, Michael Brear1, Yi Yang1 Comparative Study of Directly Injected, Spark Ignition Engine Performance and Emissions with Natural Gas, Gasoline and Charge Dilution, Australia, 2021. – pp 47.
9. Stefania Zanforlin, Alberto Boretti, Numerical analysis of methane direct injection in a single-cylinder 250 cm<sup>3</sup> spark ignition engine, Italy, 2015. – pp 883–896.