

УДК 621.432

МЕТОДЫ КОМПЕНСАЦИИ ПОТЕРИ МОЩНОСТИ ДИЗЕЛЯ ПРИ ЕГО КОНВЕРТАЦИИ В ГАЗОВЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

Широков Игорь Владимирович, студент,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, shirokovial@mail.ru
Синявский Владимир Викторович, канд. техн. наук, доц.,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, sinvlad@mail.ru

Аннотация. Спрогнозировано изменение показателей работы дизеля грузового автомобиля Cummins 6,7 isbe в случае его конвертации в газовый двигатель, работающий на стехиометрической и бедной газовой смеси, и проанализированы возможности компенсации потери мощности по сравнению с базовым дизелем. Выполнены расчеты мощности и топливной экономичности, а также показателей механической и тепловой напряженности трех двигателей на номинальном режиме с использованием расчетного комплекса четырехтактного цикла дизеля/газодизеля/газового двигателя МАДИ. Показана возможность получения у обоих газовых двигателей той же мощности, что у базового дизеля, при корректировке цикловой подачи газа и давления наддува. По сравнению с дизелем, у газового двигателя на бедной смеси, эффективный КПД снизился на 9,3%, а на стехиометрической смеси – на 13,9%. Параметр тепловой напряженности у газового двигателя на бедной смеси уменьшился на 10,5%, а у стехиометрического не изменился по сравнению с дизелем.

Ключевые слова: стехиометрический газовый двигатель, газовый двигатель на бедной смеси, тепловая напряженность, моделирование рабочего процесса ДВС.

METHODS FOR COMPENSATING THE LOSS OF DIESEL ENGINE POWER WHEN IT IS CONVERTED INTO A GAS ENGINE

Shirokov Ugor V., student,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, shirokovial@mail.ru
Sinyavskiy Vladimir V., Ph.D., associate professor,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, sinvlad@mail.ru

Abstract. A change in the performance of a Cummins 6.7 isbe truck diesel engine in case of its conversion into a gas engine running on a stoichiometric or lean gas-air mixture, and the possibility of compensating for power loss compared to the base diesel engine was predicted. Calculations of power and fuel efficiency, as well as indicators of mechanical and thermal

stress of three engines in the rated mode were performed using the calculation complex of the four-stroke cycle of diesel/gas diesel/gas engine MADI. It was demonstrated that one can obtain the same power in both gas engines as in the base diesel engine when adjusting the gas fuel rate and boost pressure. Compared to the base diesel engine, the effective efficiency of the lean-burn gas engine decreased by 9.3%, and that of the stoichiometric mixture by 13.9%. The heat stress parameter decreased by 10.5% for the gas engine operating on a lean mixture, and practically did not change for the stoichiometric engine.

Keywords: stoichiometric gas engine, lean-burn gas engine, thermal stress, simulation of the working process of an internal combustion engine

Введение

Природный газ все чаще стал применяться в мире для питания двигателей внутреннего сгорания в связи с его меньшей стоимостью и снижением вредных выбросов в атмосферу, прежде всего сажи и оксидов азота. Также снижаются выбросы углекислого газа в связи с меньшим содержанием углерода в молекуле метана по сравнению с дизельным топливом, а также меньшим расходом природного газа из-за большей величины его низшей теплоты сгорания.

Существуют два основных метода конвертации дизеля для питания природным газом: газодизель и газовый двигатель. Применительно к двигателям грузовых автомобилей и автобусов могут успешно использоваться оба метода. Газовый двигатель стоит дешевле газодизеля, так как на нем отсутствует дизельная топливная аппаратура, составляющая до 30% стоимости двигателя, но газодизель позволяет продолжать движение автомобиля при отсутствии станций по заправке природным газом [1]. Газовый двигатель может работать на бедной и стехиометрической смеси. В случае стехиометрической смеси облегчается воспламенения газа и повышается стабильность его сгорания, снижается вероятность детонации, возможно использование трёхкомпонентного нейтрализатора [2], а в случае бедной смеси повышается топливная экономичность, снижаются выбросы оксидов азота, уменьшается

температура газа перед турбиной, что позволяет больше форсировать двигатель [3].

При конвертации дизеля в газовый двигатель неизбежно происходит снижение мощности в связи с уменьшением степени сжатия. Кроме того наполнение цилиндров воздухом снижается в связи с замещением части свежего заряда газовым топливом, которое зависит от коэффициента избытка воздуха α и достигает 6,5% при $\alpha=1,5$ и 10% в случае стехиометрического двигателя [4].

Постановка цели и задач

Проанализировать эффективность возможных методов компенсации потери мощности дизелем при его переводе на питание природным газом.

На основе расчетного анализа определить величину потери мощности дизелем при его работе на природном газе и предложить меры по компенсации потери мощности.

Оценить возможности компенсации потерь мощности газового двигателя по сравнению с базовым дизелем за счет:

- Повышения наддува газового двигателя на бедной смеси
- Перехода на стехиометрическую смесь

Методика расчетных исследований

Для проведения исследования использовалась однозонная модель дизеля /газодизеля/ газового двигателя МАДИ [5]. Процессы сжатия-сгорания-расширения рассчитываются на основе 1-го закона термодинамики. Скорость тепловыделения определяется по известной формуле И. Вибе, а потери теплоты в стенки – на основе коэффициента теплоотдачи, рассчитанного по известной формуле Г. Вошни. Газообмен рассчитывается квазистационарным методом с использованием экспериментальных значений эффективных проходных сечений впускных и выпускных клапанов. Температуры поверхностей в цилиндре и среднее давление механических потерь рассчитываются по эмпирическим

формулам. Совместная работа двигателя с турбокомпрессором определяется методом последовательных приближений с использованием экспериментальных характеристик компрессоров и турбин.

Основные параметры трёх исследуемых двигателей представлены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры дизеля, газодизеля и газового двигателя

	Дизель	Газовый двигатель на бедной смеси	Газовый двигатель стехиометрический
Диаметр цилиндра, мм	107		
Ход поршня, мм	124		
Число цилиндров	6		
Степень сжатия	17,3	10	10
Цикловая подача топлива, мг/цикл	105	99	106

Полученные результаты и анализ

Первые прикидочные расчёты показали, что при цикловой подаче газа в газовом двигателе, выделяющей такое же количество теплоты, что выделяет дизельное топливо в дизеле, в газовом двигателе на бедной смеси мощность снижается на 17%, а в стехиометрическом двигателе – еще на 5%. Для компенсации снижения мощности была увеличена цикловая подача газа и несколько снижено давление наддува путем увеличения минимального проходного сечения турбины $F_{т0}$ для получения коэффициента избытка воздуха у двигателя на бедной смеси $\alpha=1,5$ и дополнительно увеличено $F_{т0}$ для получения у стехиометрического двигателя $\alpha=1,0$. Как показано в [6], при $\alpha=1,0$ обеспечивается стабильное

сгорание газа и наилучший компромисс между высокой топливной экономичностью и низкими выбросами оксидов азота. На рис. 1 показано сравнение удельного эффективного расхода топлива g_e , индикаторного КПД η_i , относительных потерь теплоты в систему охлаждения и Q_w/Q_b и эффективного КПД η_e для трех исследуемых двигателей.

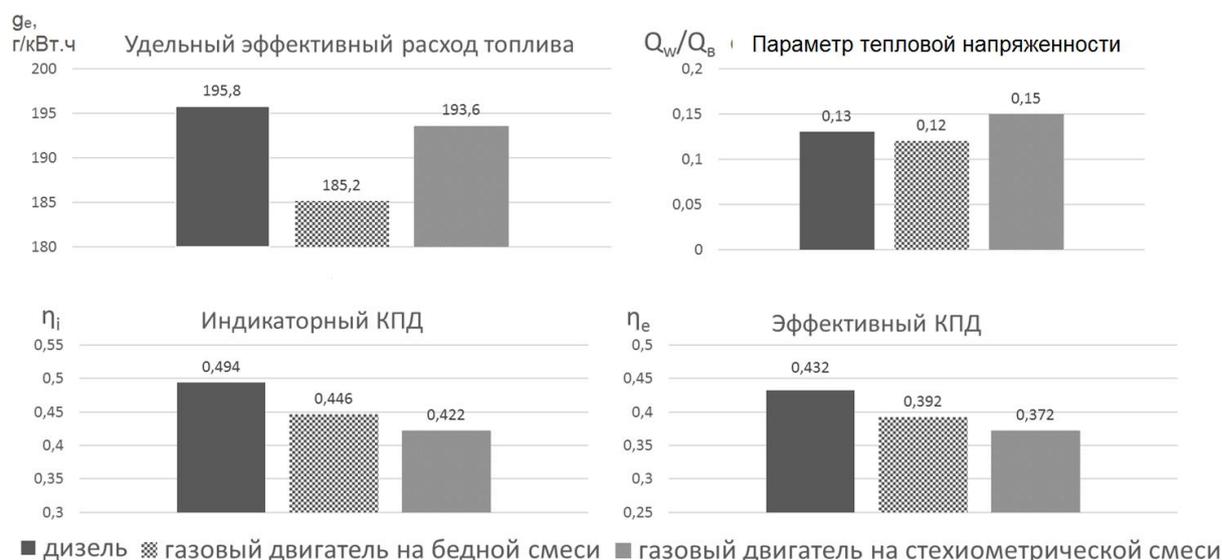


Рис. 1. Сравнение удельного эффективного расхода топлива, относительных потерь теплоты в стенки, индикаторного и эффективного КПД для дизеля и газовых двигателей, работающих на бедной и стехиометрической смеси

На рисунке 2 показано сравнение средней температуры газа в выпускном коллекторе T_t , КПД компрессора η_k , частоты вращения ротора турбокомпрессора n_k и коэффициента избытка воздуха α для трех исследуемых двигателей. Тепловая нагрузка на турбину из-за возросшей температуры отработавших газов в выпускном коллекторе увеличилась на 202°K у газового двигателя на бедной смеси и на 402°C у стехиометрического газового двигателя, что связано со снижением степени сжатия и следовательно, уменьшением степени расширения газа в цилиндре.

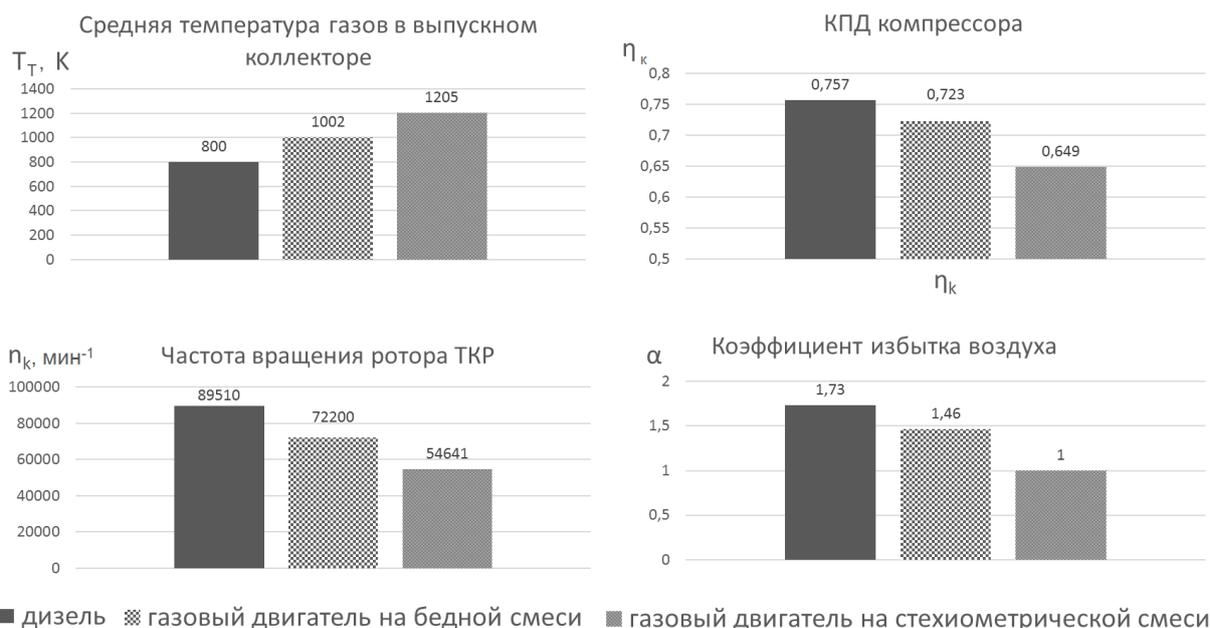


Рис. 2. Сравнение средней температуры газа в выпускном коллекторе, КПД компрессора, частоты вращения ротора и коэффициента избытка воздуха для трех исследуемых двигателей

На рисунке 3 приводится сравнение максимального давления сгорания p_z и параметра тепловой напряженности (произведения средней результирующей по теплообмену температуры на средний коэффициент теплоотдачи $T_{рез} * \alpha_{ср}$) для трех исследуемых двигателей.

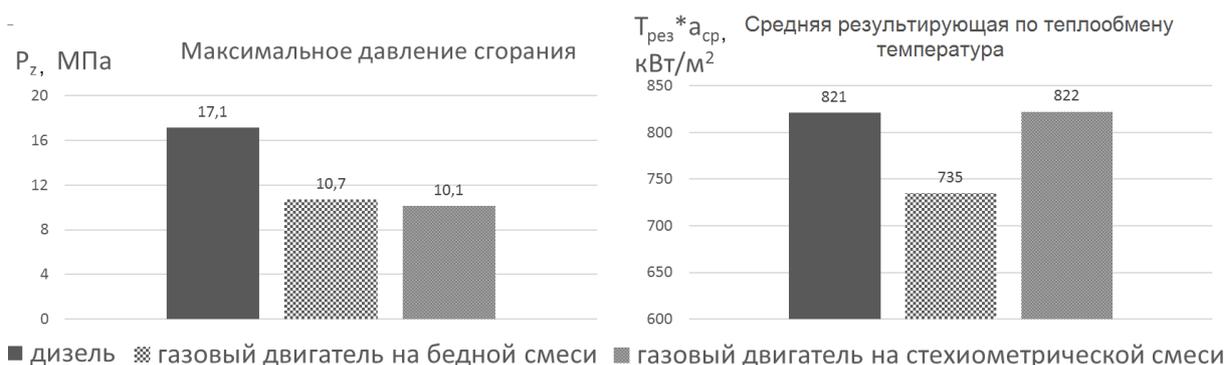


Рис. 3. Сравнение максимального давления сгорания и параметра тепловой напряженности для дизеля и газовых двигателей, работающих на бедной и стехиометрической смеси

Как видно из рис. 3, максимальная величина p_z обоих газовых двигателей на 37% меньше, чем у дизеля, а произведения $T_{рез} * \alpha_{ср}$ у дизеля

и стехиометрического газового двигателя примерно равны, зато у газового двигателя на бедной смеси эта величина на 10% меньше, что говорит о возможности его дальнейшего форсирования.

Выводы

1. Расчеты показали возможность сохранения у газовых двигателей, работающих на бедной и стехиометрической смеси, такой же мощности, как у базового дизеля.

2. При конвертации дизеля в газовый двигатель на бедной и стехиометрической смеси эффективный КПД снижается от 0,43 соответственно, до 0,39 и 0,37, а удельный эффективный расход топлива, уменьшается, соответственно, на 9 и 2 г/кВт*ч.

3. Тепловая нагрузка на турбину из-за возросшей температуры отработавших газов в выпускном коллекторе увеличилась на 202°K у газового двигателя на бедной смеси и на 402°С у стехиометрического газового двигателя.

4. Параметры тепловой напряженности у дизеля и стехиометрического газового двигателя примерно равны, а у газового двигателя на бедной смеси эта величина на 10% меньше, что говорит о возможности его дальнейшего форсирования.

Список литературы

1. Шатров, М.Г. Анализ способов конвертации автомобильных дизелей на питание природным газом / М.Г. Шатров, А.С. Хачиян, В.В. Синявский, И.Г. Шишлов // Транспорт на альтернативном топливе. – 2013. – Т. 4. – № 34. – С. 29-32.
2. Физическое моделирование рабочего процесса газодизеля / М.Г. Шатров, А.С. Хачиян, В.В. Синявский, И.Г. Шишлов, А.В. Вакуленко // Тракторы и сельхозмашины. – 2017. – Т. 84. – №4. – С. 3-10.
3. Хачиян, А.С. Результаты разработки газовых двигателей в МАДИ (ГТУ) / А.С. Хачиян, В.Е. Кузнецов, В.Ф. Водейко, И.Г. Шишлов // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо. – 2005. – Т. 3 – № 21. – С. 37-41.

4. Matyukhin, L.M. Analysis of filling and thermal calculation of IC engines based on the composition of the working mixture / L.M. Matyukhin // Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG. – 2011. – P. 170.

5. Sinyavski, V.V. A zero-dimensional model for internal combustion engine simulation and some modeling results / V.V. Sinyavski, M.G. Shatrov, A.Y. Dunin, I.G. Shishlov, A.V.Vakulenko // International Conference on Engineering Management of Communication and Technology (EMCTECH), Vienna, Austria. – 2020. – P. 1-6.

6. Лукшо, В.А. Комплексный метод повышения энергоэффективности газовых двигателей с высокой степенью сжатия и укороченными тактами впуска и выпуска: дисс. ... д-ра техн. наук: 05.04.02 / Лукшо В.А.; Центр. науч.-исслед. автомобил. и автототоп. ин-т "НАМИ".–М., 2015. – 369 с.

Reference

1. Shatrov M.G., Khatchyan A.S., Sinyavski V.V., Shishlov I.G. *Transport na alternativnom toplive*, 2013, vol. 4, no. 34, pp. 29-32.

2. Shatrov M.G., Khatchyan A.S., Sinyavski V.V., Shishlov I.G., Vakulenko A.V. *Tractori i selhozmachini*, 2017, vol. 84, no. 4, pp. 3-10.

3. Khachyan A.S., Kuznetsov V.Ye., Vodeyko V.F., Shishlov I.G. *Avtogazozapravochnyy kompleks + Al'ternativnoye toplivo*, 2005, no. 3 (21), pp. 37-41.

4. L.M. Matyukhin. Analysis of filling and thermal calculation of IC engines based on the composition of the working mixture. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011, 170 p.

5. V.V.Sinyavski, M.G. Shatrov, A.Y. Dunin, I.G. Shishlov and A.V.Vakulenko. A zero-dimensional model for internal combustion engine simulation and some modeling results International Conference on Engineering Management of Communication and Technology (EMCTECH), Vienna, Austria, 2020, pp. 1-6.

6. Luksho V.A. *Kompleksnyy metod povysheniya energoeffektivnosti gazovykh dvigateley s vysokoy stepen'yu szhatiya i ukorochennymi taktami vpuska i vypuska* (A comprehensive method for improving the energy efficiency of gas engines with a high compression ratio and shortened intake and exhaust strokes), Doctors thesis, Moscow, NAMI, 2015, 365 p.

Рецензент: А.Л. Яковенко, канд. техн. наук, доц., МАДИ