

УДК 621.432

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОНВЕРТАЦИИ ДИЗЕЛЯ В ГАЗОДИЗЕЛЬ НА ПОКАЗАТЕЛИ РАБОЧЕГО ЦИКЛА И СИСТЕМЫ НАДДУВА

Пронченко Григорий Владимирович, студент,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64,
mcphersonwinston00@gmail.com

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

Аннотация. Простые и быстрые модели рабочего процесса двигателей внутреннего сгорания (ДВС) позволяют ускорить и удешевить процесс разработки ДВС. Модели также могут быть использованы для загрузки в память электронного блока управления ДВС с целью оптимального управления всеми его регулировочными параметрами в широком диапазоне режимов работы. В Московском автомобильно-дорожном государственном техническом университете (МАДИ) предложена модель рабочего процесса газодизеля, основанная на ранее разработанной однозонной модели рабочего процесса дизеля. Выполнена оценка основных отличий алгоритмов расчета процессов сжатия-сгорания-расширения в дизеле и газодизеле и их влияния на показатели газодизеля. Для калибровки модели использовались расчеты по модели FIRE фирмы AVL и результаты экспериментальных испытаний газодизеля. Показана высокая сходимость расчетных и экспериментальных результатов.

Ключевые слова: дизель; газодизель; моделирование рабочего процесса; однозонная модель; многозонная модель.

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF DIESEL TO GAS-DIESEL ENGINE CONVERSION ON THE PARAMETERS OF ITS WORK CYCLE AND CHARGING SYSTEM

Pronchenko Grigoriy V., student,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, mcphersonwinston00@gmail.com

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

Abstract. Simple and fast models of the working process of internal combustion engines make it possible to speed up and reduce the cost of their development. Models can also be used to load into the memory of the electronic control unit of the engine in order to optimally control all its adjustment parameters in a wide range of operating modes. The

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI) proposed a gas diesel working process model based on a previously developed one-zone diesel working process model. The assessment of the main differences between the algorithms for calculating the compression-combustion-expansion processes in diesel and gas diesel engines and their influence on the performance of gas diesel engine is carried out. To calibrate the model, calculations using the FIRE model from AVL and the results of experimental tests of a gas diesel engine were used. A high convergence of calculated and experimental results is shown.

Key words: diesel engine; gas diesel engine; work process modeling; one-zone model; multi-zone model.

Введение

Перевод автомобильных дизелей на питание природным газом актуален, поскольку разведанные запасы природного газа на Земле значительно выше, чем нефти, и стоимость газового топлива в России более чем вдвое ниже, чем нефтяного. Применение природного газа в двигателях внутреннего сгорания позволяет значительно снизить практически все токсичные выбросы: сажу, оксиды азота, оксид углерода, а также углекислого газа, способствующего образованию парникового эффекта.

Конвертация автомобильных дизелей для работы на природном газе может осуществляться как по газовому циклу на стехиометрической или бедной газоздушной смеси, так и по газодизельному циклу.

В связи с большими размерами страны и недостаточно густой сетью газозаправочных станций в России для автомобилей, выполняющих дальние грузовые перевозки, предпочтительней газодизель, поскольку при отсутствии газового топлива можно продолжать движение в дизельном режиме.

В газодизелях с традиционной топливоподающей аппаратурой доля замещения дизельного топлива газом невелика. Запальная порция дизельного топлива составляет 25-30% на полных нагрузках и достигает 100% на холостом ходу [1]. При использовании аккумуляторных

топливных систем (АТС) и систем электронного управления двигателем удастся существенно уменьшить запальную порцию дизельного топлива до 5% на полных нагрузках и 33% на холостом ходу [2].

Для управления газодизелем была разработана простая однозонная модель [3]. В ней используется формула И. Вибе для расчета процессов сжатия-сгорания-расширения, учитываются тепловые потери в стенки и термодинамические параметры рабочего тела. Сгорание природного газа рассчитывается на основе одностадийных макрореакций основных компонентов смеси.

В МАДИ была разработана простая однозонная модель 4-тактного цикла дизеля [4], которая может использоваться в качестве основы для модели рабочего процесса газодизеля за счет изменений и дополнений, учитывающих различия рабочих процессов двух двигателей.

Рассмотрим основные отличия процессов сжатия-сгорания-расширения дизеля и газодизеля и их влияние на показатели двигателя.

Низшая теплота сгорания дизельного топлива H_u и теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг дизельного топлива l_0 . У дизельного топлива $H_u=42,5$ МДж/кг, а $l_0=14,4$. У метана $H_u=50,0$ МДж/кг, а $l_0=17,2$. Отношение H_u/l_0 у дизельного топлива и метана получается почти одинаковым, поэтому при неизменном эффективном КПД заметного повышения мощности газодизеля по сравнению с дизелем не ожидается, но удельный эффективный расход топлива газодизеля будет на 15% меньше.

Уменьшение наполнения цилиндра за счет замены части воздуха газовым топливом. На рис. 1 представлена схема цилиндра дизеля и газодизеля/газового двигателя. У дизеля объем цилиндра заполнен свежим зарядом, состоящим из воздуха и остаточных газов, которые также могут включать в себя отработавшие газы, поступившие из системы

рециркуляции отработавших газов. У газодизеля, как и у газового двигателя, часть объема цилиндра занимает газовое топливо.

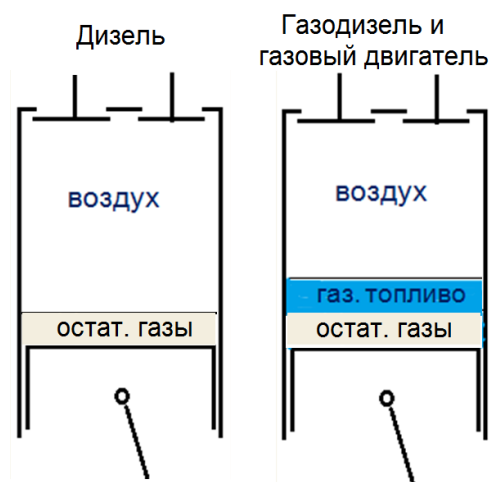


Рис. 1. Состав свежего заряда, поступающего в цилиндр дизеля, а также газодизеля и газового двигателя

Поскольку у газодизеля происходит замещение части воздуха газовым топливом, это приводит к уменьшению количества впускного воздуха и как следствие – снижению мощности.

Повышение теплоемкости рабочего тела из-за более высокой теплоемкости метана по сравнению с воздухом. На рисунке 2 представлена зависимость теплоёмкости метана и воздуха при постоянном давлении от температуры.

Как видно из рис. 2, при температуре 0°С теплоемкость метана в 2,1 раза выше, а при температуре 2000°С – в 4,6 раза, чем воздуха. Однако поскольку величина l_0 для метана равна 17,0, а коэффициент избытка воздуха исследуемого газодизеля на номинальном режиме равен 1,5, доля метана в воздухе будет 1/25. Следовательно, в момент начала сгорания при температуре рабочего тела в цилиндре примерно 500°С теплоёмкость метана в цилиндрах газодизеля будет в 3,44 раза больше, чем у дизеля, а с учетом доли метана в воздухе теплоёмкость рабочего тела будет на 14% больше. По мере сгорания метана различие теплоемкости рабочего тела

дизеля и газодизеля уменьшается. При увеличении теплоёмкости рабочего тела индикаторный КПД снижается, поскольку больше теплоты затрачивается на увеличение внутренней энергии и меньше – на совершение работы.

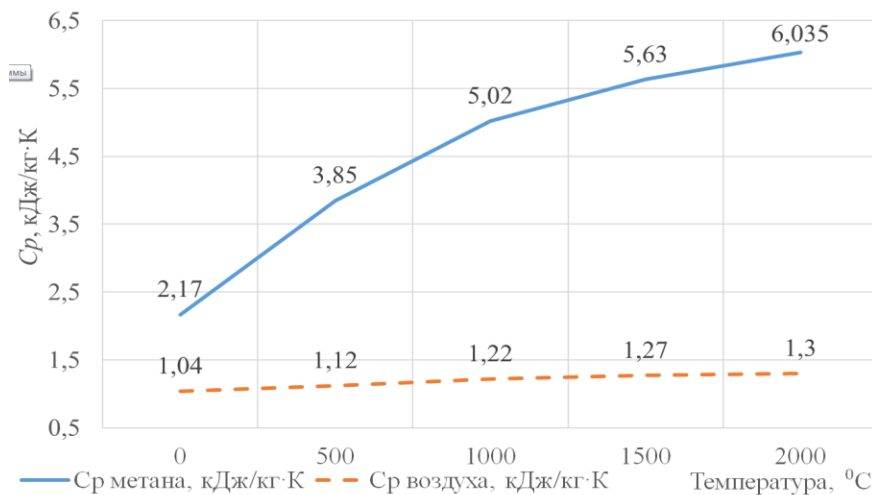


Рис. 2. Зависимость теплоёмкости метана и воздуха при постоянном давлении от температуры

Уменьшение длительности сгорания. В дизеле гетерогенная смесь воздуха и жидкого топлива сгорает достаточно медленно. В большинстве газодизелей в процессе впуска в цилиндр поступает однородная смесь газового топлива и воздуха, которая после воспламенения первых капель запальной порции дизельного топлива сгорает быстрее, чем в дизеле, что приводит к повышению индикаторного КПД.

На основе проведенного обзора были определены цель и задачи:

Цель

Проанализировать основные отличия рабочего процесса газодизеля от дизеля и их влияние на показатели мощности и топливной экономичности.

Задачи

Определить:

- ухудшения наполнения воздухом;

- увеличения теплоёмкости рабочего тела;
- сокращения длительности тепловыделения.

Методика проведения исследований

Объектами исследований были дизель 6CH12,4/10,7 Cummins 6.7 lbfse и газодизель, полученный путем его конвертации.

Для оценки влияния каждого из названных выше факторов проводились расчеты по модели 4-тактного цикла дизеля МАДИ, в которой последовательно изменялись алгоритмы, отличающие рабочие процессы дизеля и газодизеля. Определялось влияние на показатели газодизеля ухудшения наполнения воздухом, увеличения теплоёмкости рабочего тела, сокращения длительности тепловыделения. Для каждого расчета подбирался оптимальный угол опережения впрыскивания топлива, обеспечивающий наилучшую мощность и топливную экономичность.

На основании приводимых в [5] результатов расчетов рабочих процессов дизеля и газодизеля по модели AVL FIRE определены показатели тепловыделения для использования в формуле Вибе.

Расчетами по программе МАДИ определено изменение показателей газодизеля по сравнению с дизелем на номинальном режиме с учетом всех отличий обеих моделей расчета.

Результаты и их обсуждение

Снижение наполнения цилиндров воздухом рассчитывалось по формуле Л.М. Матюхина [6] в зависимости от молекулярной массы газового топлива и коэффициента избытка воздуха α . В соответствии с этой формулой построена зависимость отношения массы чистого воздуха ко всей массе свежего заряда $G_{\text{возд}}/G_c$ от коэффициента избытка воздуха (рис. 3).

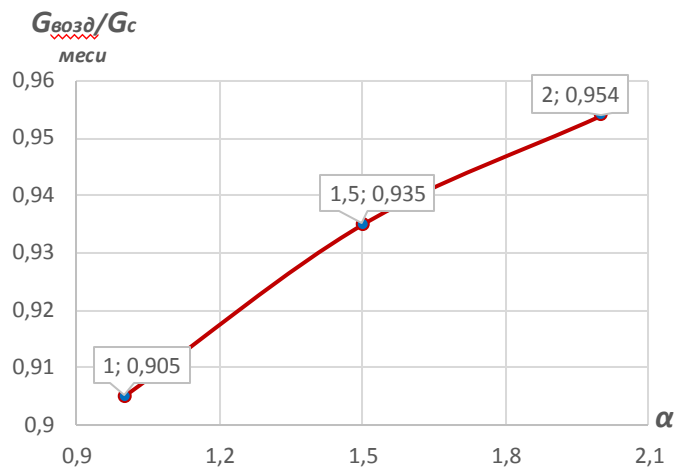


Рис. 3. Снижение массы свежего заряда, поступающего в цилиндр газодизеля, за счет замещения части впускного воздуха метаном

Как видно из рис. 3, при коэффициенте избытка воздуха 1,5 масса воздуха, поступающего в цилиндр газодизеля, снижается по сравнению с дизелем на 6,5%, что ведет к пропорциональному снижению мощности.

Для учета влияния увеличения теплоёмкости рабочего тела в модель заложена зависимость теплоёмкости метана при постоянном объеме от температуры. На рисунке 4 представлено изменение по углу поворота коленчатого вала теплоёмкости рабочего тела при сгорании в дизеле и газодизеле.

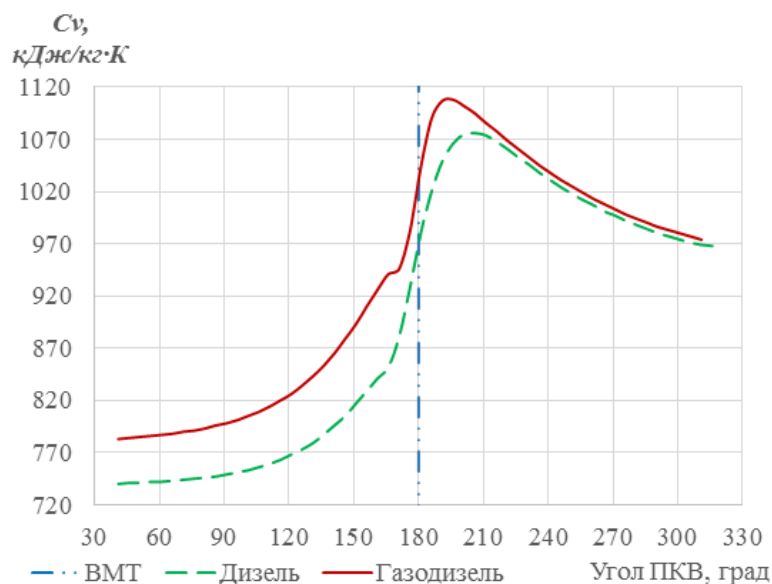


Рис. 4. Зависимость объемной теплоёмкости рабочего тела дизеля и газодизеля от угла поворота коленчатого вала

Как видно из рис. 4, максимальное различие теплоёмкости в цилиндре газодизеля и дизеля достигает 5%, что по результатам моделирования 4-тактного цикла приводит к уменьшению индикаторного КПД газодизеля на 3%. Это различие будет возрастать с уменьшением коэффициента избытка воздуха.

Результаты расчета тепловыделения дизеля и газодизеля по модели AVL FIRE [5] приведены на рис. 5 и 6. У дизеля и газодизеля получены, соответственно, длительности тепловыделения $\varphi_z = 70$ и 36 градусов, а также показатели характера тепловыделения $m = 0,5$ и 1,0, что говорит о более быстром и плавном характере сгорания у газодизеля.

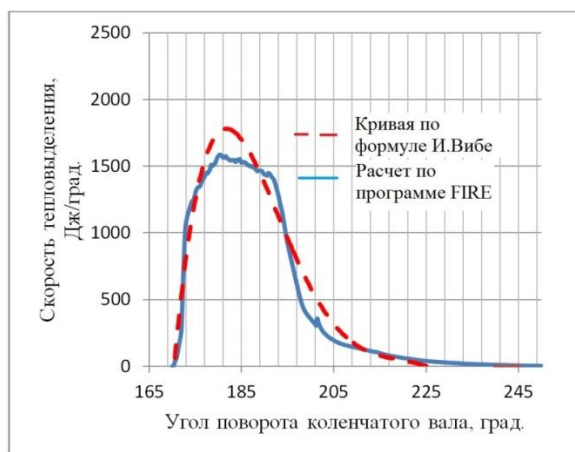


Рис. 5. Скорость тепловыделения дизеля:
 $\varphi_z = 70$ град., $m = 0,5$



Рис. 6. Скорость тепловыделения газодизеля:
 $\varphi_z = 36$ град., $m = 1,0$

Результаты расчетов по разработанной модели газодизеля с учетом суммарного влияния всех факторов как улучшающих, так и ухудшающих показатели газодизеля по сравнению с базовым дизелем, показали, что мощность газодизеля снизилась на 6,5 %, эффективный КПД практически не изменился, а топливная экономичность улучшилась на 15%, в основном за счет большего значения H_u по сравнению с дизельным топливом.

Выводы

1. При замене впускного воздуха метановоздушной смесью теплоемкость рабочего тела в случае $\alpha = 1,5$ увеличивается на 5%, что

приводит к снижению мощности и эффективного КПД газодизеля на 3% по сравнению с базовым дизелем.

2. Снижение наполнения газодизеля за счет замены части впускного воздуха метановоздушной смесью при $\alpha=1,5$ составляет 6,5% по сравнению с базовым дизелем.

3. Повышение индикаторного КПД газодизеля за счет снижения длительности тепловыделения от 70 до 36°п.к.в. составляет 2% по сравнению с базовым дизелем.

4. Суммарное снижение мощности газодизеля составляет 6%, эффективный КПД практически не изменяется, а удельный эффективный расход топлива снизился на 15% по сравнению с базовым дизелем.

Список литературы

1. Shatrov, M.G. Method of conversion of high- and middle-speed diesel engines into gas diesel engines / M.G. Shatrov, V.V. Sinyavski, A.Y. Dunin, I.G. Shishlov, A.V. Vakulenko // Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering. – vol. 15, issue 3, – 2017, – P. 383-395, doi:10.22190/fume171004023s

2. Кудрявцев, А.В. Белазы XXI века с газодизелями семейства ДМ / А. Кудрявцев, В. Ломашов // АвтоГазоЗаправочный комплекс + Альтернативное топливо. – 2010. – Т. 3. – № 51. – С. 3-6.

3. Mikulski, M. Validation of a Zero-Dimensional and Two-Phase Combustion Model for Dual-Fuel Compression Ignition Engine Simulation / M. Mikulski, S. Wierzbicki // Thermal Science. – vol. 21, – issue 1B. – 2017. – P. 387-399.

4. 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 // 2020 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology, EMCTECH 2020 – Proceedings. – 2020. 9311546.

5. Выбор рабочего процесса для среднеоборотного двигателя, питаемого природным газом / М.Г. Шатров, В.В. Синявский, И.Г. Шишлов, А.В. Вакуленко, М.С. Репин // НАУКОГРАД НАУКА ПРОИЗВОДСТВО ОБЩЕСТВО. –2018. – Т. 2. – № 16. – С. 9-15.

6. Matyukhin, L.M. Evaluation of results for the gas exchange processes by the use of volumetric ratios of air-fuel-residual gases-mixture / L.M. Matyukhin // Science and Education,

Materials of the VIII international research and practice conference, Vela-Verlag, Waldkraiburg–Munich–Germany. – 2015. – P. 337-345.

Reference

1. Shatrov, M.G. Method of conversion of high- and middle-speed diesel engines into gas diesel engines / M.G. Shatrov, V.V. Sinyavski, A.Y. Dunin, I.G. Shishlov, A.V. Vakulenko // *Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering*. – vol. 15, issue 3, – 2017, – P. 383-395, doi:10.22190/fume171004023s
2. Kudryavtsev A.V., V. Loshmanov *Avtozapravochnyy kompleks + al'ternativnoye toplivo*, 2010, vol. 3, no. 51, pp. 3-6,
3. Mikulski, M. Validation of a Zero-Dimensional and Two-Phase Combustion Model for Dual-Fuel Compression Ignition Engine Simulation / M. Mikulski, S. Wierzbicki // *Thermal Science*. – vol. 21, – issue 1B. – 2017. – P. 387-399.
4. 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 // *2020 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology, EMCTECH 2020 – Proceedings*. – 2020. 9311546.
5. Shatrov M.G. Sinyavski V.V., Shishlov I.G., Vakulenko A.V., Repin M.S. *NAUKOGRAD NAUKA PROIZVODSTVO OBSHCHESTVO*, 2018, vol. 2, no. 16, pp. 9-15.
6. Matyukhin, L.M. Evaluation of results for the gas exchange processes by the use of volumetric ratios of air-fuel-residual gases-mixture / L.M. Matyukhin // *Science and Education, Materials of the VIII international research and practice conference*, Vela-Verlag, Waldkraiburg–Munich–Germany. – 2015. – P. 337-345.

Рецензент: П.В. Сафронов, канд. техн. наук, доц., МАДИ