

УДК: 621.433

**ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДВИГАТЕЛЯ,
КОНВЕРТИРОВАННОГО НА ГАЗ**

Ошкало Евгения Сергеевна, магистрант, ФГБОУ ВО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова», Россия, 656038, Алтайский край, г. Барнаул, пр-т Ленина, д. 46, e-mail: jeneua96@gmail.com.

Сvistула Андрей Евгениевич, д.т.н., проф., ФГБОУ ВО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова», Россия, 656038, Алтайский край, г. Барнаул, пр-т Ленина, д. 46, e-mail: svistula_ae@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена исследованию вариантов конвертирования дизельного двигателя на газообразное топливо. Приведен алгоритм теплового расчета рабочего процесса газового двигателя, в основу которого положен метод Гриневецкого-Мазинга. Выполняется расчет процессов сжатия, подведения тепла, расширения и выходных параметров цикла.

Для исследования выбран двигатель Д6 (6СН15/18). В качестве газового топлива выбраны газы: водород, метан и пропан. Сравнительный расчет выполнен на дизельном топливе.

Основной целью данной работы стало определение наиболее предпочтительного, с точки зрения эксплуатационных, мощностных и экологических характеристик, топлива.

Задачами данной работы являются разработка алгоритма и программы расчета рабочего цикла газового двигателя и выполнение цикла численных исследований с использованием перспективных газовых топлив.

В результате расчета получены эффективные показатели работы двигателя, доказывающие, что перевод дизельного двигателя на газовое топливо является перспективным решением в плане улучшения мощностных характеристик и топливной экономичности, а также происходит снижение отрицательного воздействия на окружающую среду, обеспечивая выполнение как существующих, так и перспективных экологических требований. Также можно отметить повышение ресурсных показателей при работе двигателя на газовом топливе.

Ключевые слова: тепловой расчет, газовые топлива, конвертируемый двигатель, экологические показатели, мощностные показатели.

**NUMERICAL STUDY OF THE WORKING PROCESS OF THE ENGINE
CONVERTED TO GAS**

Oshkalo Evgenia Sergeevna, undergraduate, university «AltGTU im. I.I. Polzunova», Russia, 656038, Altai Territory, Barnaul, Lenin Ave., 46, e-mail: jeneua96@gmail.com.

Svistula Andrei Evgenievich, Doctor of Technical Sciences, Professor, university «AltGTU im. I.I. Polzunova», Russia, 656038, Altai Territory, Barnaul, Lenin Ave., 46, e-mail: svistula_ae@mail.ru

Annotation. The article is devoted to the study of options for converting a diesel engine to gaseous fuel. An algorithm for the thermal calculation of the working process of a gas engine is presented, which is based on the Grinevetsky-Masing method. The calculation of the processes of compression, heat supply, expansion and output parameters of the cycle is performed.

For the study, the D6 engine (6СН15 / 18) was selected. As a gas fuel selected gases: hydrogen, methane and propane. A comparative calculation is made on diesel fuel.

The main goal of this work was to determine the most preferable, from the point of view of

operational, power and environmental characteristics, fuel.

The objectives of this work are to develop an algorithm and a program for calculating the working cycle of a gas engine and to carry out a cycle of numerical studies using promising gas fuels.

As a result of the calculation, effective engine performance indicators were obtained, proving that the conversion of a diesel engine to gas fuel is a promising solution in terms of improving power characteristics and fuel economy, as well as reducing the negative impact on the environment, ensuring that both existing and future environmental requirements are met. You can also note the increase in resource indicators when the engine is running on gas fuel.

Key words: thermal calculation, gas fuels, convertible engine, environmental indicators, power indicators.

Актуальность модернизации дизелей выражается в задачах, направленных на повышение показателей удельной мощности, снижение расхода топлива, улучшение нагрузочных и скоростных характеристик двигателей. Значимым фактором для обеспечения экологической безопасности становится перевод транспортных средств на использование альтернативных видов топлива, среди которых наиболее востребованным является природный газ [1, 2].

Показатели работы дизельного двигателя во многом зависят от работы топливopодающей аппаратуры и вида сжигаемого топлива. Одним из эффективных способов решения проблем модернизаций является конвертирование дизельного двигателя на газовое топливо. Указанной проблеме посвящены работы А.С. Кулешова [3, 4], М.А. Ильиной [5], Р.З. Кавтарадзе [6-8], С. А. Фролова [9], П.К. Сеначина и А.А. Брютова [10-13], и др.

Для выполнения теплового расчета за основу взят базовый двигатель, конвертируемый на газ [2]. Отличительной особенностью предложенного расчета в данной работе является то, что процентное содержание каждого газа в топливе рассматривается в отдельности с его характерной особенностью (теплоемкостью, теплотой сгорания и т.п.). В программе были проведены численные исследования рабочего процесса двигателя Д6-15/18, конвертируемого на газовое топливо.

Исходные данные двигателя:

Число цилиндров, i	6	
Диаметр поршня, D	150	мм
Ход поршня, S	180	мм
Частота вращения базового двигателя, n	1500	мин ⁻¹
Номинальная мощность базового двигателя, N_e	150	кВт
Степень сжатия, e	9	
Тактность двигателя, τ	4	

В методе Гриневецкого-Мазинга [14] при расчете цикла отражены значимые особенности реально протекающих процессов. Приняты к учету теплоемкости рабочей смеси и газов от температуры и состава смеси. При сгорании топливовоздушной смеси учтены суммарно и потери теплоты в результате теплоотдачи в стенки цилиндра, и реальный закон тепловыделения.

Допущения, которые приняты в расчете, ограничивают возможности данной методики. В частности, не рассматриваются продолжительность сгорания топливовоздушной смеси, длительность задержки воспламенения топлива и угол опережения воспламенения. Действительные характеристики тепловыделения и использования теплоты отличаются от принятых в расчетной схеме цикла по методу Гриневецкого-Мазинга. Данное различие отражается на точности определения работы и КПД действительного цикла, и оно становится более явным при увеличении продолжительности сгорания.

Ниже приведена блок-схема программы расчета газового двигателя с искровым

зажиганием (рисунок 1). На основании данного алгоритма было получено два свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ [15, 16].

Первым этапом при выполнении теплового расчета газового двигателя рассчитываются показатели среднего эффективного давления, среднее давление механических потерь и среднее индикаторное давление заданного расчетного цикла.

Следующим пунктом рассчитываются характеристики топливовоздушной смеси и продуктов сгорания. Тут изначально определяется коэффициент избытка воздуха α . При его выборе важно учесть особенность рабочего процесса на газовых топливах: для газового двигателя наилучшая экономичность достигается при более бедных смесях, поскольку расширяется граница эффективного обеднения смеси. Так как тепловой расчет проводится для режима полного дросселя, и, соответственно, значение α задается из условия обеспечения максимальной мощности. Затем определяется необходимое количество топливовоздушной смеси и относительные доли газа и воздуха в газовой смеси. Рассчитываются количество отдельных компонентов продуктов полного сгорания и их относительные доли, а также общее количество продуктов сгорания, мольное изменение в процессе сгорания, теоретический коэффициент молекулярного изменения в процессе сгорания. На основании вычисленных данных определяется внутренняя энергия горючей смеси и продуктов ее сгорания.

Параметры процессов газообмена включают в себя расчет давления и температуры рабочего тела в условном конце процесса впуска, плотности и температуры газовой смеси, давления начала сжатия, коэффициент остаточных газов и коэффициент наполнения.

В результате расчета процесса сжатия определяются давление и температура конца сжатия и показатель политропы сжатия.

Процесс сгорания характеризуется максимальной температурой цикла, максимальным расчетным давлением, степенью повышения давления и действительным максимальным давлением.

Процесс расширения определяется параметрами: давление и температура в конце расширения, показатель политропы расширения, а также проверка температуры остаточных газов.

Рассчитываются такие показатели рабочего процесса как среднее индикаторное давление расчетного цикла и действительного цикла и индикаторный удельный расход газа.

Эффективные показатели работы двигателя выражены средним эффективным давлением, механическим КПД, эффективным КПД, удельным эффективным расходом теплоты, эффективной мощностью двигателя, часовым расходом газового топлива, массовым расходом газа и часовым расходом жидкого газа.

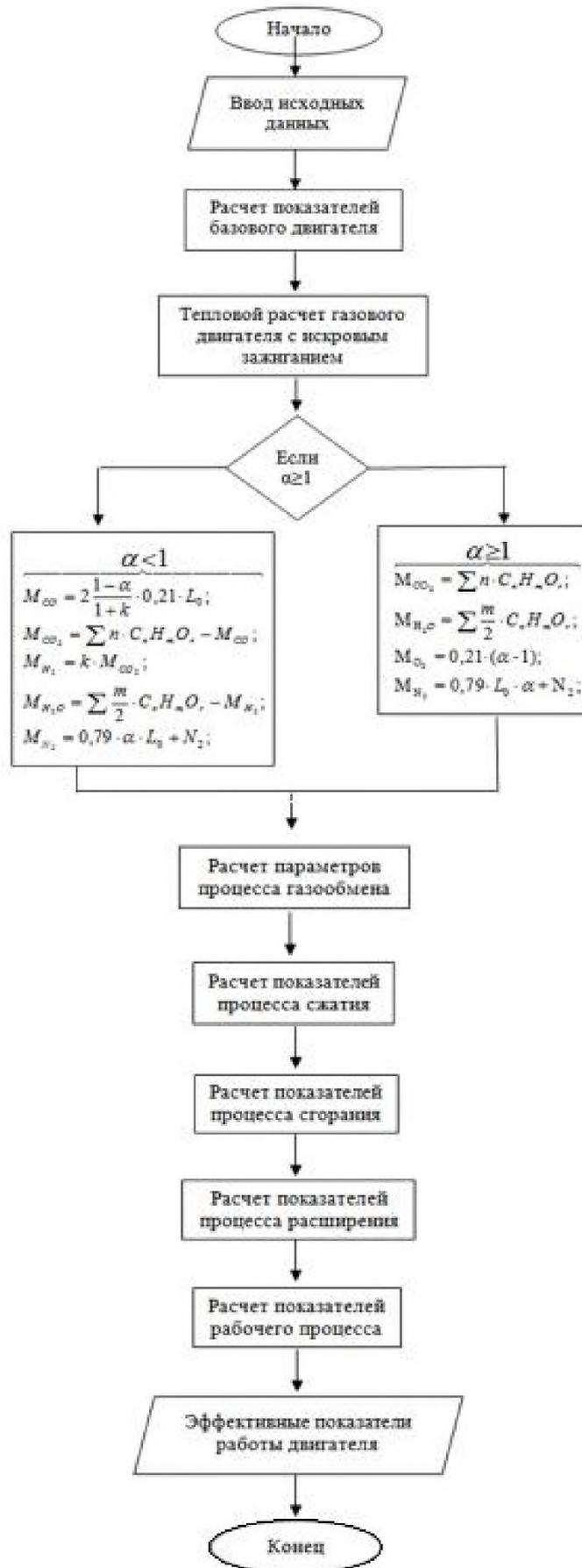


Рис. 1. Блок-схема для расчета [15, 16]

Таблица 1 – Результаты расчетов при $\alpha=1$

Показатели \ Топливо	H ₂	CH ₄	C ₃ H ₈	ДТ (для базового двигателя)
Среднее эффективное давление, МПа	0,558	0,735	0,783	0,629
Механический КПД	0,750	0,798	0,808	0,772
Эффективный КПД	0,229	0,284	0,282	225 г/кВт*ч
Эффективный удельный расход газообразного топлива, м ³ /(кВт*ч)	1,534	0,374	0,149	-
Удельный эффективный расход теплоты, кДж/(кВт*ч)	15703	12667	12787	-
Эффективная мощность двигателя, кВт	133	175	186	150
Часовой расход газового топлива, м ³ /ч	204	65	27	-
Массовый расход газа, кг/ч	144	46	19	-
Часовой расход жидкого газа, л/ч	268	86	36	-

По результатам расчета по программы [15], блок-схема которой изображена на рисунке 1, было проведено исследование влияния вида газообразного топлива на параметры рабочего цикла. В таблице 1 приведены полученные результаты при сжигании водорода, метана и пропана в 100% соотношении при коэффициенте избытка воздуха $\alpha=1$. По результатам выявлено, что самым энергоэффективным газовым топливом является пропан.

Заключение

Исходя из анализов теоретических и расчетных исследований [17], можно утверждать, что перевод дизельных двигателей на газовое топливо эффективно отразится как на мощностных показателях двигателя, так и на экологических характеристиках рассматриваемого двигателя.

В процессе исследования были выполнены поставленные задачи такие как разработка алгоритма и программ расчета рабочего цикла газового двигателя и выполнение цикла численных исследований с использованием перспективных газовых топлив.

Литература

1. Свистула А.Е. Двигатели внутреннего сгорания: учебное пособие для студентов, обучающихся по специальности 140501 "Двигатели внутреннего сгорания" направления подготовки 140500 "Энергомашиностроение" / А. Е. Свистула ГОУ ВПО "Алтайский гос. технический ун-т им. И. И. Ползунова". Барнаул, 2009. – 81 с.
2. Свистула А.Е. Конвертирование ДВС на газовое топливо: учебное пособие / А.Е. Свистула, С.В. Яковлев; ФГБОУ ВО "Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова". Барнаул, 2016. - 107 с..
3. Гришин Ю. А., Карпов А. В., Кулешов А. С. Улучшение характеристик ДВС путем расчетной доводки газоздушных трактов / Гришин Ю. А., Карпов А. В., Кулешов А. С. // Двигатель-97 : междунар. науч. -техн. конф. К 90 летию начала подготовки в МГТУ специалистов по двигателям внутр. сгорания. Материалы конференции / МГТУ им. Н. Э. Баумана. - 1997. - С. 81-82.
4. Разлейцев Н. Ф., Кулешов А. С. Математическая модель смесеобразования и сгорания в дизелях / Разлейцев Н. Ф., Кулешов А. С. // Двигатель-97 : междунар. науч. -техн. конф. К 90 летию начала подготовки в МГТУ специалистов по двигателям внутр. сгорания. Материалы конференции / МГТУ им. Н. Э. Баумана. - 1997. - С. 27-28.

5. Ильина М.А. Моделирование фронтального горения смеси в двигателе с искровым зажиганием: Дисс. канд. техн. наук: 05.04.02. Барнаул, 2000.- 176 с.
6. Кавтарадзе Р.З. Локальный теплообмен в поршневых двигателях: Уч. пособие для ВУЗов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2001. - 592 с.
7. Кавтарадзе Р. З. Теплообмен в ДВС. Основные проблемы и пути их решения / Кавтарадзе Р. З. // Двигатель-97 : междунар. науч. -техн. конф. К 90 летию начала подготовки в МГТУ специалистов по двигателям внутр. сгорания. Материалы конференции / МГТУ им. Н. Э. Баумана. - 1997. - С. 22.
8. Ван И Чунь, Кавтарадзе Р. З., Лобанов И. Е. Экспериментальное исследование влияния нагара и газодинамических условий на нестационарный теплообмен в камере сгорания дизеля / Ван И Чунь, Кавтарадзе Р. З., Лобанов И. Е. // Двигатель-97 : междунар. науч. -техн. конф. К 90 летию начала подготовки в МГТУ специалистов по двигателям внутр. сгорания. Материалы конференции / МГТУ им. Н. Э. Баумана. - 1997. - С. 28.
9. Фролов С.А. ПРИМЕНЕНИЕ БИНАРНОГО ТОПЛИВА В ДВС С ИСКРОВЫМ ЗАЖИГАНИЕМ // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6.; URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=11128> (Дата обращения: 30.04.2020).
10. Брютов, А.А. Моделирование рабочего процесса двигателя с искровым зажиганием в рамках двухзонной и многозонной моделей/ А.А. Брютов, П.К. Сеначин // Повышение экологической безопасности автотракторной техники: сб. статей; под ред. д.т.н., профессора, академика РАТ А.Л. Новоселова / Российская академия транспорта, АлтГТУ им. И.И. Ползунова. –Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2011. –С. 101-104.
11. Брютов, А.А. Двухзонные модели рабочего процесса поршневого двигателя с искровым зажиганием/ А.А. Брютов, П.К. Сеначин // ХLI Неделя науки СПбГПУ: материалы международной научно-практической конференции. Ч. III. –СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. –С. 22-23.
12. Брютов, А.А. Моделирование и оптимизация рабочего процесса газового двигателя/ А.А. Брютов, П.К. Сеначин // Известия международной академии аграрного образования. – СПб: Изд-во СПб РО МААО, 2013.–№16. Т.4. –С.50-55
13. Брютов, А.А. Математическое моделирование рабочего процесса газового двигателя/ А.А. Брютов // Образование и наука в третьем тысячелетии: материалы к Седьмой Международной научно-теоретической конференции. Ч. 1 / под ред. В.И.Степанова. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2013. – С. 40-41
14. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для вузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» / Д.Н. Вырубов, Н.А.ж Иващенко, В.И. Ивин и др.; Под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983. –372 с., ил.
15. Тепловой расчет газового двигателя : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ патент 2018616127 Российская Федерация ; А.Е. Свистула, Д.А. Щербаков ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «АлтГТУ». – № 2018613222 ; заявл. 03.04.2018 ; опубл. 23.05.2018.
16. Программа теплового расчета газового двигателя : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ патент 2019619082 Российская Федерация ; А.Е. Свистула, Е.С. Ошкало ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «АлтГТУ». – № 2019617935 ; заявл. 01.06.2019 ; опубл. 10.07.2019.
17. Ошкало, Е. С. Численное исследование физико-химических и эксплуатационных характеристик рабочего процесса двигателя, конвертированного на газ / Е. С. Ошкало, А. Е. Свистула. – Текст : непосредственный // ЭНЕРГИЯ ВА РЕСУРС ТЕЖАШ МУАММОЛАРИ. – 2019. – № 3/4 : Специальный выпуск : Проблемы энерго- и ресурсосбережения. – С. 273-278.