

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор А.Р. Гайдук.

Лачин Вячеслав Иванович – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт)» в г. Новочеркаске; e-mail: lachinv@mail.ru; 346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132; тел.: 88635255297; кафедра «Автоматика и телемеханика»; зав. кафедрой; д.т.н.; профессор.

Плотников Дмитрий Александрович – e-mail: dpl@novoch.ru; кафедра «Автоматика и телемеханика»; старший преподаватель; к.т.н.

Lachin Vyacheslav Ivanovich – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education «South-Russian State Technical University (Novocherkassk Polytechnic Institute)»; e-mail: lachinv@mail.ru; 132, Prosvescheniya street, Novocherkassk, 346428, Russia; phone: +78635255297; chair “Automation and Telemechanics”; head of the chair; dr. of eng. sc.; professor.

Plotnikov Dmitry Aleksandrovich – e-mail: dpl@novoch.ru; phone: +78635255297; chair “Automation and Telemechanics”; senior lecturer; cand. of eng. sc.

УДК 629.113

М.А. Береснев, А.Л. Береснев

МЕТОД L-ВАРИАЦИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ДВС ПРИ РАБОТЕ НА БИНАРНОМ ТОПЛИВЕ

Рассмотрена задача управления двигателем внутреннего сгорания при использовании смеси бензина и сжиженного углеводородного газа в качестве топлива. Предложен метод управления ДВС, который на основании математической модели крутящего момента двигателя определяет угол опережения зажигания и состав топлива (соотношение бензин/сжиженный газ) в зависимости от потребностей водителя и внешних условий. Разработана схема регулирования состава топлива для различных режимов работы. Проведены эксперименты, продемонстрировавшие увеличение крутящего момента и мощности двигателя по сравнению с известными методами управления ДВС как при работе на бинарном топливе, так и на чистом бензине или сжиженном газе.

Двигатель внутреннего сгорания; бинарное топливо; метод управления.

M.A. Beresnev, A.L. Beresnev

L-VARIATIONS METHOD FOR CONTROL OF IC ENGINE RUNNING ON BINARY FUEL

Authors consider a task of internal combustion engine control when running on mixture of gasoline and liquefied petroleum gas as a fuel. The proposed IC engine control method uses torque mathematical model to calculate ignition advance angle and fuel composition (gasoline/liquefied gas ratio) depending on driver's demands and external conditions. Scheme for regulation of fuel composition for various operating modes was developed. Experiments proved predicted increase of engine torque and power, comparing to known methods not only for engine, running fuel mixture, but also for pure gasoline and liquefied petroleum gas.

Internal combustion engine; binary fuel; control method.

Вопросам использования альтернативных топлив для улучшения эксплуатационных, экологических и технических характеристик бензиновых двигателей внутреннего сгорания (ДВС) посвящено множество теоретических и экспериментальных исследований, как в нашей стране, так и за рубежом. Установлено, что помимо преимуществ, их использование связано и с какими-либо недостатками. Например, применение широко распространенного в России сжиженного газа вме-

сто бензина обеспечивает не только значительное снижение токсичности отработавших газов и расходов на топливо, но и приводит к уменьшению крутящего момента в среднем и верхнем диапазоне оборотов коленчатого вала в области больших нагрузок, а также к снижению максимальной мощности ДВС. Среди известных способов нейтрализации отрицательных эффектов сжиженного газа интересен вариант добавления бензина в газо-воздушную смесь с образованием так называемого бинарного топлива. Работы в данном направлении велись А.С. Орлиным, М.Г. Левашовым, А.Г. Жихаревым [1–4] и другими учеными. Были предложены методы управления ДВС при работе на бинарной топливной смеси, которые, по сравнению с бензиновыми ДВС, обеспечивают снижение выбросов вредных веществ, расходов на топливо и увеличение межсервисных интервалов, а при сравнении с газовыми – позволяют увеличить мощность и продлить срок службы компонентов топливной системы и выпускных клапанов. Существующие методы условно можно разделить на два класса: класс 1, где основным топливом является газ, а бензин добавляется постоянно в небольших количествах; и класс 2, когда количество бензина и сжиженного газа в смеси варьируется в зависимости от каких-то условий. Развитие методов класса 2 имеет большие перспективы, поскольку регулировка состава топлива позволяет использовать как экологические и экономические преимущества методов класса 1, так и устранить их основной недостаток – снижение мощности и крутящего момента двигателя. Хотя существующие методы и дают хорошие результаты, изучение характера горения бензина и сжиженного газа позволило авторам выдвинуть предположение о наличии возможностей для улучшения мощностных характеристик ДВС, не используемых в известных методах. Поэтому были поставлены задачи проверки этих предположений и, в случае подтверждения, разработки усовершенствованного метода управления работающего на бинарном топливе двигателя, который позволит увеличить крутящий момент и снизить расходы на топливо по сравнению с существующими методами.

Этапы разработки метода. Решение поставленных задач было разбито на следующие основные этапы:

- 1) разработка модели расчета крутящего момента ДВС при работе на бинарной топливной смеси, необходимой для исследования рабочего процесса и теоретической проверки выдвинутых положений;
- 2) разработка алгоритма определения угла опережения зажигания (УОЗ), учитывающего особенности горения бинарного топлива;
- 3) разработка схемы регулирования состава бинарной топливной смеси, обеспечивающей наилучшие эксплуатационные и экологические показатели ДВС в зависимости от потребностей водителя;
- 4) экспериментальная проверка полученных в результате моделирования зависимостей и уточнение алгоритма, модели и схемы по полученным данным.

Совокупность алгоритма расчета УОЗ, модели крутящего момента и схемы регулирования состава бинарного топлива образуют метод управления ДВС при работе на бинарной топливной смеси, названный методом L-вариаций (рис. 1).

Математическая модель расчета крутящего момента необходима для исследования рабочего процесса двигателя при использовании бинарного топлива и оценки индикаторных параметров в зависимости от угла опережения зажигания, оборотов коленчатого вала (КВ), соотношения бензина и сжиженного газа, а также условий внешней среды. Разработка этой модели подробно описана авторами в работе [5]. Полученная модель связывает частоту оборотов коленчатого вала, доли пропан-бутана и бензина в бинарном топливе и параметры окружающей среды с крутящим моментом ДВС, а также предоставляет процедуры расчета для алгоритма определения УОЗ и данные для составления схемы регулирования состава бинарного топлива.



Рис. 1. Метод *L*-вариаций для управления ДВС на бинарном топливе

Алгоритм управления углом опережения зажигания необходим для расчета оптимального УОЗ при различных значениях состава бинарного топлива и других входных параметров, таких как скорость вращения КВ, температура окружающей среды, атмосферное давление и т.п. В качестве критерия оптимальности было выбрано достижение точки максимума давления (ТМД) в цилиндре в некотором целевом диапазоне угла поворота коленчатого вала, который обычно составляет от 8 до 14 градусов по КВ после верхней мертвой точки, но может изменяться в зависимости от конструкции двигателя. Известно [6], что реализация такого УОЗ улучшает индикаторные параметры двигателя и обеспечивает более полное сгорание топлива. В статье [7] авторы привели универсальную процедуру расчета и алгоритм определения угла опережения зажигания для ДВС, работающего на бинарном топливе.

Схема регулирования состава бинарного топлива необходима для выбора состава топливной смеси в соответствии с некоторыми правилами. Поскольку при моделировании было установлено, что различные соотношения бензин/сжиженный газ (*L*) обеспечивают различную мощность и крутящий момент двигателя, а также существенно влияют на экологические и экономические показатели ДВС, стало возможным с одной стороны предоставить водителю максимальную мощность при высоких нагрузках и обеспечить чистоту отработавших газов при нагрузках низких. Разработанная на этих принципах схема представлена на рис. 2.

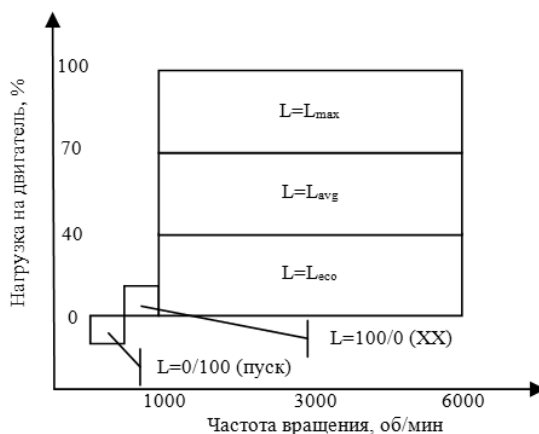


Рис. 2. Схема регулирования состава бинарного топлива

В соответствии с предложенной схемой запуск двигателя всегда осуществляется на бензине, количество которого зависит от температуры охлаждающей жидкости (ОЖ). В момент пуска используется предварительно заданный УОЗ. Доля бензина на оборотах холостого хода уменьшается пропорционально росту температуры ОЖ вплоть до достижения температуры 40 °С. Для поддержания холостого хода (ХХ) прогретого двигателя используется чистый газ в связи с незначительной скоростью воздушного потока и плохими условиями создания гомогенной бензино-воздушной смеси.

В режиме частичных нагрузок (0–40 %), который статистически используется чаще всего, из экологических и экономических соображений выбирается смесь состава L_{eco} , с небольшим содержанием бензина, при котором активные центры, полученные из его молекул, позволяют интенсифицировать процесс горения, но общая цена расходуемого бинарного топлива лишь незначительно превышает цену газа, затраченного на тот же участок пути. Кроме того, подача небольшого количества бензина позволяет избежать перегрева, загрязнения и быстрого выхода из строя бензиновых форсунок, что возможно при их длительном простое. В режиме средних нагрузок (40–70 %) в зависимости от степени нажатия на педаль газа доля сжиженного газа в бинарном топливе снижается (состав L_{avg}) для увеличения крутящего момента двигателя. А в режиме высоких нагрузок (70–100 %) используется мощностной состав бинарной смеси L_{max} , который обеспечивает максимальный крутящий момент ДВС.

Экспериментальная проверка и уточнения. Для проверки предложенного метода была проведена серия экспериментов, в ходе которых изучалось влияние состава бинарного топлива и углов опережения зажигания на внешние скоростные характеристики и бездетонационную работу двигателя внутреннего сгорания. Проведение экспериментов было обеспечено специально разработанным испытательным стендом, состоящим из следующих компонентов (см. рис. 3): автомобиль ваз 2110, с установленной системой модифицированного газобаллонного оборудования, газовые форсунки которой находились под управление специального программного обеспечения штатного электронного блока управления двигателем (подробно использованная система впрыска описана в работе [8]); устройство для съема мощности и момента двигателя, в качестве которого использовался комплекс МАНА LPS3000; выполненный авторами датчик для регистрации максимума давления в цилиндре (устройство и конструкция которого приведены в работе [9]); устройство для съема информации с вышеуказанного датчика и импульса свечи зажигания, для чего был выбран мотортестер MotoDoc II; устройство мониторинга диагностических параметров, функции которого выполнял сканер ScanDoc; средство записи и визуализации полученных сигналов, для чего был использован персональный компьютер с установленным программным обеспечением Quantex; инструментарий для обратной связи по кислороду, который включал программно-аппаратный комплекс Матрица, п/о InjectorOnline и широкополосный датчик кислорода Innovate LM-1.

Методика проведения экспериментов, цели, задачи и результаты подробно описаны авторами в работах [7, 10, 11]. По полученным в ходе испытаний данным был сделан ряд уточнений, в частности по значениям составов смесей при различных нагрузках. Так, значение L_{eco} для режима частичных нагрузок составило 20/80, для средних нагрузок выбрано постепенное увеличение доли бензина в зависимости от нагрузки по формуле 1, а для мощностного режима состав смеси изменяется в зависимости от скорости вращения коленчатого вала по формуле 2.

$$L_{\text{avg}} = \begin{cases} 30/70, & 40\% < \text{load} \leq 55\% \\ 40/60, & 55\% < \text{load} \leq 70\% \end{cases} \quad (1)$$

$$L_{\max} = \begin{cases} 80/20, & XX < \text{rpm} \leq 2200 \\ 40/60, & 2200 < \text{rpm} \leq 2800 \\ 60/40, & \text{rpm} > 2800 \end{cases} \quad (2)$$

Результаты и выводы. Предлагаемый метод L-вариаций для управления двигателем внутреннего сгорания при работе на бинарном топливе, состоящем из смеси бензина и сжиженного газа, по сравнению с эталонным методом класса 1 позволяет увеличить максимальный крутящий момент на 9 % (рис. 4,а) при незначительном ухудшении общих экологических характеристик за счет увеличения количества вредных веществ в отработавших газах в кратковременные интервалы работы ДВС под высокой нагрузкой.

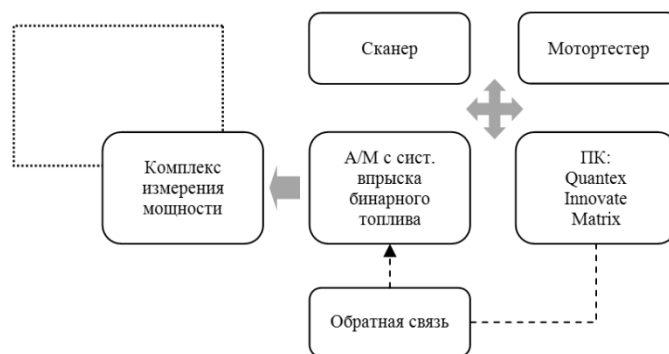


Рис. 3. Схема стенда для проведения экспериментов

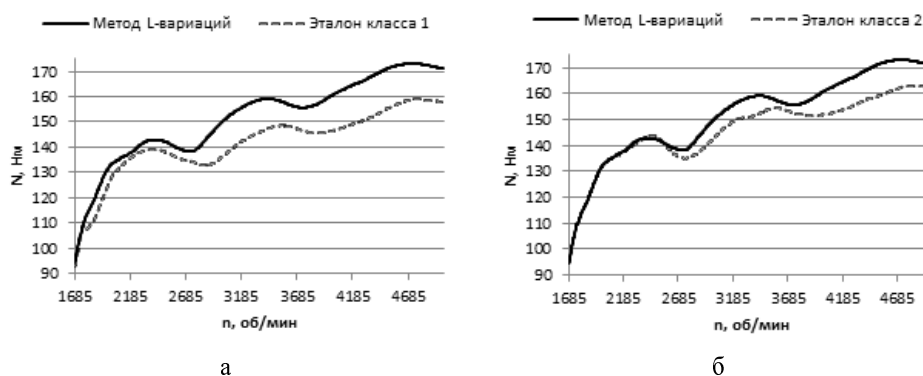


Рис. 4. Сравнение метода L-вариаций с существующими методами

По сравнению с эталонным методом класса 2, предлагаемый метод позволяет увеличить крутящий момент на 7 % (рис. 4,б) и сократить вредные выбросы, поскольку в режиме средних и высоких нагрузок в сравниваемом методе используется чистый бензин, а в предлагаемом – смесь бензина и сжиженного газа, что гарантирует лучшие экологические показатели.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Орлин А.С. Двигатели внутреннего сгорания. Т. 1 / А.С. Орлин, Д.Н. Вырубов, Г.Г. Калиш, М.Г. Круглов, О.Б. Леонов, С.Е. Лебедев, Б.Г. Либрович, М.М. Чурсин. – М.: Изд-во машиностр. лит., 1957. – 397 с.

2. *Левашов М.Г.* Повышение эффективности эксплуатации газобаллонных автомобилей путем применения комбинированной системы впрыска: дисс. ... канд. техн. наук / М.Г. Левашов. – Оренбург: СибАДИ, 2007. – 120 с.
3. Пат. 2216636. Способ подачи и смешения газа и бензина в карбюраторную систему двигателя внутреннего сгорания и устройство для его реализации / Жихарев А.Г., Марков В.А. – №2001119758/06; Заявл. 16.07.2001, опубл. 20.11.2003 // Патент на изобретение.
4. Пат. 2211360. Двухтопливная система питания для газового двигателя внутреннего сгорания / Певнев Н.Г., Трофимов А.В., Хамов И.В. (Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия). – №2002101937/06; Заявл. 23.01.2002, опубл. 27.08.2003 // Патент на изобретение.
5. *Beresnev M.A.* Mathematical Model of Gasoline- Liquefied Gas Mixture Combustion For IC Engine Control / M.A. Beresnev, A. L. Beresnev // International Scientific Periodical «Modern Fundamental And Applied Researches». – 2011. – № 4. – P. 58-61.
6. *Шарогозаев Б.А., Фарафонтов М.Ф., Клементьев В.В.* Двигатели внутреннего сгорания: теория моделирование и расчет процессов. – Челябинск: ЮУрГУ, 2004. – 344 с.
7. *Береснев М.А.* Алгоритм расчета угла опережения зажигания для достижения максимального давления в цилиндре двигателя внутреннего сгорания в целевом диапазоне / М.А. Береснев // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 3 (104). – С. 232-240.
8. *Береснев М.А.* Разработка датчика для определения момента достижения максимума давления в цилиндре двигателя внутреннего сгорания / М.А. Береснев, А.Л. Береснев // Материалы VI Международной научно-практической конференции «Автомобиль и техносфера» (ICATS'2011), Казань, 15-17 июня 2011 г. – Казань: ЗАО «Мир без границ», 2011. – С. 226.
9. *Береснев М.А.* Разработка системы впрыска бинарного топлива / М.А. Береснев, А.Л. Береснев // Материалы международной научно-практической конференции «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании '2011». – Вып. 4. – Т. 2. – Одесса: Черноморье, 2011. – С. 9-11.
10. *Береснев М.А.* Оптимизация угла опережения зажигания для достижения максимального крутящего момента двигателя внутреннего сгорания с помощью бинарного топлива / М.А. Береснев // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 1. – С. 33-38.
11. *Береснев М.А.* Особенности контроля детонации при использовании бинарного топлива / Береснев М.А., Береснев А.Л. // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции «Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте' 2011». – Т. 1. – Одесса: Черноморье, 2011. – С. 56-58.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Р.А. Нейдорф.

Береснев Максим Алексеевич – Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге; e-mail: max_tr6@mail.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634681894; кафедра электроники и мехатроники; ассистент.

Береснев Алексей Леонидович – e-mail: alex_tr6@mail.ru; кафедра электроники и мехатроники; к.т.н.; доцент.

Beresnev Maksim Alekseevich – Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: max_tr6@mail.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634681894; the department of electronics and mechatronics; assistant.

Beresnev Aleksey Leonidovich – e-mail: alex_tr6@mail.ru; the department of electronics and mechatronics; assistant.