

С. А. Ковалёв

## РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОВЫМИ ДВС, ПЕРЕОБОРУДОВАННЫМИ НА БАЗЕ ТРАНСПОРТНЫХ ДИЗЕЛЕЙ ДЛЯ РАБОТЫ НА СЖИЖЕННОМ НЕФТЯНОМ ГАЗЕ

*Показаны целесообразность и преимущество использования транспортными средствами газовых моторных топлив по отношению к традиционным жидким моторным топливам. Приведены и проанализированы технические решения для использования дизелями газовых моторных топлив. На основании анализа обоснована целесообразность конвертирования дизелей в газовые ДВС с принудительным зажиганием.*

*Разработана электронная микропроцессорная система управления газовыми ДВС с принудительным зажиганием, имеющая модульную структуру, состоящую из двух главных и ряда дополнительных подсистем. Приведены структуры и описан принцип работы главных подсистем, к которым относятся подсистема управления питанием и впрыском СНГ, а также подсистема управления зажиганием. Разработан и создан опытный образец ЭБУ. Приведена структурная схема системы электронного управления газовым ДВС с опытным ЭБУ. Проведены безмоторные испытания опытного образца ЭБУ, которые подтвердили его работоспособность.*

### Введение

В последнее время правительства многих стран, а также ведущие мировые производители колёсных транспортных средств (далее – КТС) начали уделять повышенное внимание использованию газовых моторных топлив. Основным фактором, стимулирующим большинство стран мирового сообщества к развитию рынка газовых моторных топлив, являются экологические проблемы, которые возникают в результате загрязнения окружающей среды как КТС, предназначенными для перевозки пассажиров и грузов на дорогах общего пользования, так сельскохозяйственной техникой, работающей на традиционных жидких моторных топливах. Первый путь решения этой проблемы – постоянное повышение экологических требований к снижению содержания вредных веществ в отработанных газах двигателей внутреннего сгорания (далее – ДВС). А второй путь – более широкое применение экологически чистых газовых моторных топлив.

К наиболее распространенным как в мире, так и в Украине газовым моторным топливам, относятся: сжиженный нефтяной газ (далее – СНГ) и природный газ (далее – ПГ). Следует отметить, что ПГ в качестве моторного топлива для КТС используется как в сжатом (далее – КПГ) состоянии, так и в сжиженном (далее – СПГ) состоянии. Кроме того, стоимость СНГ и ПГ ниже чем стоимость традиционных бензинов или дизельного топлива. При этом их использование в целом уменьшает выбросы диоксида углерода (основной парниковый газ) на 10 ... 15%, оксидов азота – на 15 ... 20%, а при переоборудовании дизелей в газодизели для работы на ПГ, еще и в 3 ... 5 раз снижает дымность отработанных газов [1, 2].

В связи с этим, а также с учетом того, что современные КТС, особенно категорий М<sub>2</sub>, М<sub>3</sub> (автобусы) и N (грузовые автомобили и тягачи), а также коммунальная и сельскохозяйственная техника (самоходные шасси, мощные колесные и гусеничные тракторы) оснащены преимущественно дизелями, имеющими высокие эксплуатационные расходы дизельного топлива, становится очевидным целесообразность его замены на более дешевые газовые моторные топлива – СНГ или КПГ.

### Анализ способов переоборудования дизелей для работы на газовых моторных топливах

В настоящее время в мировой практике существует два наиболее часто применяемых технических решения использования дизельными КТС газовых моторных топлив [3].

Первое техническое решение заключается в том, что дизель КТС конвертируют в газодизель. Для этого двигатель оснащают дополнительной системой питания газовым моторным топливом (прежде всего КПГ или СНГ), а в его конструкцию (в том числе в регулятор частоты вращения) вносят небольшие конструктивные изменения. В результате двигатель становится двухтопливным и по выбору может работать, как только на дизельном топливе (по дизельному циклу), так и на смеси газового топлива с небольшой «запальной дозой» дизельного топлива (по газодизельному циклу). Главными преимуществами такого технического решения являются относительная простота переоборудования, недорогостоящая реконвертация газодизеля в дизель, а также возможность работы дизеля без уменьшения мощности. А недостатком является относительно небольшие эксплуатационные замещения дизельного топлива, которые в зависимости от вида используемого газового топлива составляют от 30 до 60%. При этом меньшие значения за-

мещения получают при использовании СНГ, а больше при КПП.

Второе техническое решение заключается в том, что дизель КТС конвертируют в газовый ДВС с принудительным зажиганием. Такой вид переоборудования требует с одной стороны полного демонтажа систем питания и впрыска дизельного топлива (включая дизельные топливные баки, трубопроводы, фильтры и т.д.), а с другой стороны частичной разборки и внесения соответствующих изменений в конструкцию ДВС. К изменениям конструкции двигателя относятся как доработка головки блока цилиндров дизеля для установки свечей зажигания, так и доработка старых поршней или установка новых поршней, у которых изменена форма (объем) камеры сгорания для уменьшения степени сжатия. Кроме этого, газовый ДВС дооборудуют двумя главными системами: системой питания и впрыска газового топлива, а также системой принудительного зажигания. В настоящее время в качестве системы впрыска применяются системы типа Common Rail (с впрыском газа электромагнитными форсунками во впускной коллектор ДВС в зону, приближенную к впускному клапану), а в качестве системы зажигания – электронные индуктивные системы зажигания с неподвижным распределителем напряжения с двухискровыми или индивидуальными катушками зажигания.

Помимо этого, газовый ДВС дооборудуют системой управления наполнения цилиндров зарядом рабочей смеси (состоящей из дроссельной заслонки с механическим приводом с датчиком угла поворота заслонки) и механизмом байпасного регулирования потока воздуха.

Кроме этого, газовый ДВС для выполнения соответствующих экологических требований может быть дооборудован рядом дополнительных систем – таких, как: системой нейтрализации отработавших газов (с трехкомпонентным каталитическим нейтрализатором и одним или двумя лямбда-зондами), системой рециркуляции отработанных газов (далее – ОГ) и других.

Для управления работой газового ДВС, оборудованного главными и дополнительными системами, на нем (при отсутствии штатных датчиков) должны быть установлены дополнительные датчики и устройства.

Следует также отметить, что на практике второе техническое решение подразделяется на два технических направления.

Первое техническое направление связано с производством в заводских условиях новых газовых ДВС (создаваемых на базе новых дизелей) для

их установки на новые КТС вместо штатных дизелей. В этом случае, для сохранения технических характеристик самого КТС новые газовые ДВС должны иметь энергетические показатели, приближенные к энергетическим показателям заменяемых дизелей. При этом, принимая во внимание то, что уменьшение степени сжатия газового ДВС, приведет к уменьшению мощности газового ДВС, за базу для конвертирования выбирают дизель, номинальная мощность и как следствие рабочий объем которого на 15...20% выше чем требуемая номинальная мощность газового ДВС. В результате, такое техническое направление позволяет получить газовый ДВС, энергетические параметры которого, в частности его мощность, практически на 100% соответствует мощности заменяемого дизеля.

Второе техническое направление, отличается от первого тем, что газовые ДВС создаются на базе находящихся в эксплуатации штатных дизелей КТС. Такое переоборудование можно проводить в специализированных мастерских на месте эксплуатации дизельных КТС, а также в процессе капитального ремонта дизелей. Газовые ДВС, конвертированные на базе находящихся в эксплуатации дизелей, вследствие уменьшения степени сжатия, зачастую имеют мощность на 5...20% меньше, чем мощность базового дизеля.

**Целью данной работы** является создание универсальной электронной системы управления газовыми ДВС с принудительным зажиганием.

#### **Назначение и принцип работы системы управления газовым ДВС**

Эффективное управление работой переоборудованного на базе дизеля газового ДВС может осуществляться только системой электронного управления.

Главными функциями системы электронного управления транспортным газовым ДВС с принудительным зажиганием и впрыском газового топлива во впускной коллектор являются:

1. Точное дозирование необходимого количества газового топлива в каждый цилиндр ДВС в соответствии с количеством (массой) поступившего воздуха.
2. Создание разряда соответствующей мощности на свече зажигания в оптимальный момент зажигания.

Сочетание этих двух функций – определяет величину крутящего момента газового ДВС.

В разработанной системе электронного управления газовым ДВС, имеющим от 2-х до 6-ти цилиндров, главные функции реализуются путем объединенного управления как системой питания и впрыска газового топлива, так и электронной ин-

дуктивной системой зажигания с неподвижным распределителем напряжения. При этом, система впрыска газового топлива способна обеспечить три вида впрыска – групповой, или последовательный, или индивидуальный впрыск, а система зажигания имеет возможность регулирования угла опережения зажигания по сигналу датчика частоты вращения и корректировку угла опережения зажигания по сигналу датчика детонации.

Кроме главных функций, система электронного управления газовым ДВС может выполнять такие дополнительные функции как: регулирование величины пусковой подачи газового топлива в зависимости от температуры охлаждающей жидкости ДВС; регулирование частоты вращения газового ДВС на режиме холостого хода в зависимости от температуры охлаждающей жидкости и подключения дополнительных устройств (например, электроклапана, кондиционера т.п.); регулирования системы нейтрализации ОГ (состава ОГ) по сигналам одного или двух лямбда зондов; регулирование системы рециркуляции ОГ.

В результате, система электронного управления газовым ДВС разработана в виде модульной структуры, состоящей из двух главных и ряда дополнительных подсистем. В зависимости от комплектации различными датчиками и устройствами главных подсистем, а также наличия и количества дополнительных подсистем, система обеспечивает управление работой её четырех версий – «Базовой», «Средней», «Высшей» и «Мастер».

При этом следует отметить, что система электронного управления разработана с учетом возможности управления работой газового ДВС как на СНГ, так и на КПП. Однако, использование КПП, как моторного топлива для КТС, имеет свои особенности, связанные с управлением элементами специального оборудования, работающими под высоким давлением, и в этой статье не рассматривается. В данной статье рассматривается только система электронного управления газовым ДВС при его работе на СНГ.

К главным подсистемам системы электронного управления газовым ДВС относятся: подсистема управления питанием и впрыском СНГ, а также подсистема управления зажиганием.

Подсистема питания и впрыска СНГ в газовый ДВС функционирует следующим образом: СНГ, находящийся в жидкой фазе под избыточным давлением в газовом баллоне 11, через мультиклапан 10 и газовый фильтр 9 жидкой фазы поступает в газовый редуктор-испаритель 8, где происходит испарение СНГ до газовой фазы. Далее газ прохо-

дит через фильтр 7 газовой фазы и поступает в газовую рейку 6. Газовый редуктор-испаритель 8 обеспечивает постоянное давление газовой фазы в газовой рейке 6 и как следствие на входе с газовые электромагнитные форсунки 12.

Газовые электромагнитные форсунки 12 управляются электронным микропроцессорным блоком управления (далее – ЭБУ, на англ. языке – ECU [2, 5]) и обеспечивают подачу газа во впускной патрубок впускного коллектора каждого цилиндра. Количество поступающего в цилиндр газа пропорционально времени открытия газовых форсунок, которое рассчитывается ЭБУ по сигналам датчиков, установленных на ДВС. Момент открытия газовых форсунок 12 рассчитывается ЭБУ 3 по сигналу датчика 15 частоты вращения коленчатого вала и положения ВМТ, формируемого задающим диском типа 60-2. По сигналам датчика 16 давления и температуры газа в рейке газовых форсунок, ЭБУ корректирует время открытия газовых форсунок (величину подачи газа).

В «Базовой» версии системы электронного управления газовым ДВС, в комплектации которой отсутствует датчик 17 положения распределительного вала (датчик Холла), а также датчики 18, 19 и 20, программное обеспечение подсистемы питания и впрыска СНГ обеспечивает групповой вид впрыска газа. В «Средней» и «Высшей» версия системы электронного управления, в комплектации которых присутствует датчик 17 положения распределительного вала (датчик Холла), программное обеспечение подсистемы питания и впрыска СНГ обеспечивает последовательный вид впрыска газа. А в версии «Мастер» – индивидуальный вид впрыска газа.

На всех режимах работы газового ДВС ЭБУ по сигналам датчика 13 положения дроссельной заслонки и массового расходомера воздуха 18 ЭБУ рассчитывает количество поступающего воздуха и регулирует величину подачи газа, обеспечивая необходимый состав газозвдушной смеси. Для оптимизации состава газозвдушной смеси также используются сигналы лямбда-зонда(-ов) 19 и 20.

При пуске газового ДВС ЭБУ рассчитывает время открытия газовых форсунок 12 (величину пусковой подачи газа) с учетом сигнала от датчика 14 температуры охлаждающей жидкости, обеспечивая на нескольких первых оборотах обогащение газозвдушной смеси. При этом, при пуске холодного газового ДВС величина пусковой подачи газа рассчитывается как максимальная, а по мере прогрева двигателя - уменьшается.

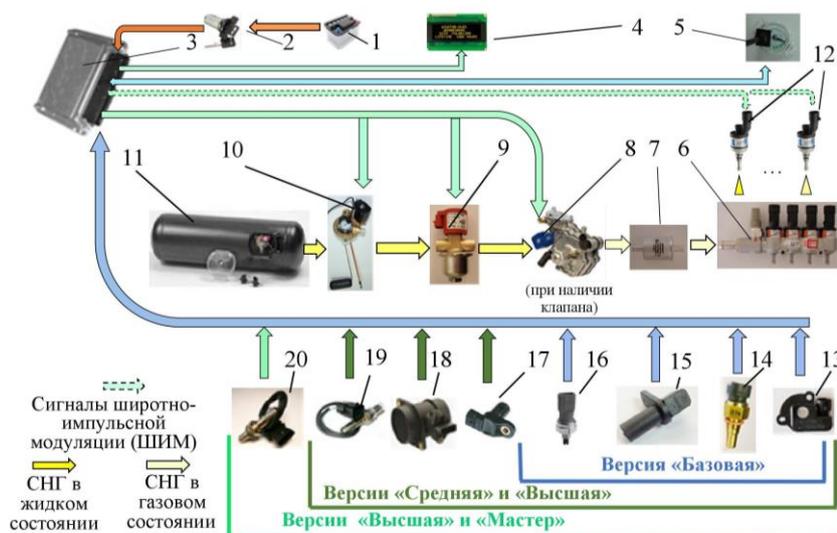


Рис. 1. Принципиальная схема подсистемы управления питанием и впрыском СНГ в газовый ДВС:

1 – аккумулятор; 2 – замок зажигания; 3 – ЭБУ; 4 – жидкокристаллический дисплей (индикатор); 5 – датчик-показатель уровня СНГ в газовом баллоне, интегрированный в мультиклапан; 6 – рейка с газовыми электромагнитными форсунками; 7 – фильтр газовой паровой фазы; 8 – газовый редуктор-испаритель с дистанционно управляемым запорным клапаном; 9 – газовый фильтр с дистанционно управляемым запорным клапаном; 10 – мультиклапан с дистанционно управляемым рабочим клапаном; 11 – газовый баллон; 12 – газовые электромагнитные форсунки; 13 – датчик углового положения фроссельной заслонки; 14 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 15 – датчик частоты вращения коленчатого вала и положения ВМТ; 16 – датчик давления и температуры газа в рейке газовых форсунок; 17 – датчик положения распределительного вала (датчик Холла); 18 – массовый расходомер воздуха с интегрированным датчиком температуры; 19 – лямбда-зонд (перед трехкомпонентным каталитическим нейтрализатором); 20 – лямбда-зонд (после трехкомпонентного каталитического нейтрализатора)

Принципиальная схема подсистемы управления зажиганием газового ДВС показана на рис. 2.

Приведенная схема подсистемы управления зажиганием с двухискровыми катушками зажигания соответствует «Базовой» и «Средней» версиям системы электронного управления газовым ДВС.

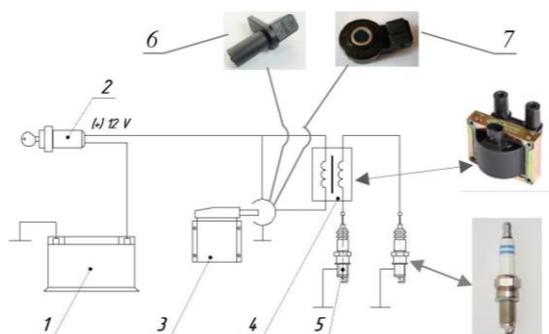


Рис. 2. Принципиальная схема подсистемы управления зажиганием газового ДВС:

1 – аккумулятор; 2 – замок зажигания; 3 – ЭБУ; 4 – двухискровые катушки зажигания; 5 – свечи зажигания; 6 – датчик частоты вращения коленчатого вала и положения ВМТ; 7 – датчик детонации

Подсистема состоит из ЭБУ 3, двухискровых катушек зажигания 4, высоковольтных проводов с наконечниками (на рис. 2 не обозначены) и свечей зажигания 5.

Особенностью системы зажигания является применение двухискровых катушек зажигания с двумя высоковольтными выводами, что с одной стороны существенно удешевляет систему зажигания, а с другой стороны позволяет использовать её только для ДВС, имеющих четное число цилиндров.

В системах зажигания с двухискровыми катушками зажигания на каждые два цилиндра приходится по одной катушке зажигания. Зачастую, двухискровые катушки зажигания конструктивно объединены в один блок. Высокое напряжения от катушек к свечам зажигания передается при помощи высоковольтных проводов. Выходы вторичных обмоток катушек подключаются к свечам зажигания в двух разных цилиндрах. В одном из цилиндров такой пары зажигание происходит в конце такта «сжатия», что обеспечивает так называемую «рабочую искру», а в другом – в конце такта выпуска отработавших газов, что создает так называемую «холостую искру». В связи с этим, работо-

способность систем зажигания с двухискровыми катушками зажигания обеспечивается при наличии только датчика частоты вращения коленчатого вала и положения ВМТ, а датчик положения распределительного вала (датчик Холла) в системе – отсутствует.

Управление подсистемой зажигания (в «Базовой» версии) осуществляется ЭБУ по сигналам датчика частоты вращения коленчатого вала и положения ВМТ, а также датчика детонации. При возникновении в цилиндрах газового ДВС детонации, подсистема управления зажиганием по сигналу датчика детонации корректирует (уменьшает) угол опережения зажиганием до полного прекращения детонации. В «Средней» версии программного обеспечения, подсистема управления зажиганием вычисляет угол опережения зажиганием на основании многопараметровой характеристики, полученной экспериментальным путем.

Все версии разработанной системы электронного управления газовым ДВС содержат дополнительную подсистему регулирования частоты вращения газового ДВС на режиме холостого хода, которая управляется по сигналу датчика температуры охлаждающей жидкости или датчика частоты вращения при подключения дополнительных устройств (кондиционера, электровентилятора и т.п.).

Функционирование подсистемы заключается в управлении ЭБУ работой регулятора холостого хода (далее – РХХ), который обеспечивает регулирование расхода воздуха, поступающего в ДВС через дополнительный воздушный канал (байпасный канал) в обход дроссельной заслонки.

При работе на холостом ходу и при прогреве холодного газового ДВС ЭБУ управляет работой РХХ так, что по мере прогрева ДВС, происходит снижение его частоты вращения. Кроме этого, при подключении дополнительных устройств по сигналу датчика частоты вращения ЭБУ управляет работой РХХ таким образом, что частота вращения газового ДВС на режиме холостого хода не снижается.

Для управления работой транспортного газового ДВС с принудительным зажиганием был разработан и создан опытный образец ЭБУ. Структурная схема системы электронного управления газовым ДВС с опытным ЭБУ, отвечающая версиям «Базовая» и «Средняя», показана на рис. 3.

Опытный образец ЭБУ построен на основе микроконтроллера модели STM32F4, созданного на базе высокопроизводительного 32-х разрядного ядра ARM Cortex-M4 [6] с рабочей частотой 168 МГц. Вычислительная мощность (производительность) микроконтроллера при рабочей частоте

достигает 210 DMIPS. В микроконтроллер интегрированы: статическая память с произвольным доступом SRAM (ОЗУ) объемом 192 кбайт, а также 4 кбайт резервной SRAM и до 1 Мбайт Flash памяти. Для обработки аналоговых сигналов служат два 12-битных ЦАП и три 12-битных АЦП. Все данные, даже при отключенной аккумуляторной батарее, сохраняются во внешней постоянной EEPROM памяти (с электрическим стиранием) модели AT45DB041D объемом 4 Мбит.

Для визуализации работы системы электронного управления газового ДВС в целом, используется 20-ти символьный 4-х строчный жидкокристаллический индикатор (дисплей) модели WH2004A-PLL-CTVE.

При проведении пуско-наладочных работ ЭБУ подключается к персональному компьютеру с помощью преобразователя интерфейсов USB-UART созданного на базе микроконтроллера модели PIC16F1825 и преобразователя интерфейса FT232.

На рис. 1 сплошными линиями обозначены входные датчики и устройства, а также исполнительные элементы и устройства, входящие в комплектацию системы электронного управления газовым ДВС, соответствующей «Базовой» версии. А пунктирными линиями, те датчики и устройства, которые добавляются к «Базовой» версии и соответствуют «Средней» версии.

Структурная схема системы электронного управления газовым ДВС, отвечающая версиям «Высшей» и «Мастер» отличается от схемы, приведенной на рис. 1 тем, что, во-первых, в системе зажигания вместо двухискровых катушек зажигания применяются индивидуальные катушки зажигания, а во-вторых, наличием дополнительной подсистемы управления рециркуляцией ОГ.

Разработан специальный интерфейс, позволяющий с помощью персонального компьютера настраивать или перепрограммировать каждую из четырех версий системы электронного управления газовым ДВС.

Структурная схема системы электронного управления газовым ДВС (см. рис. 1) показывает, что её архитектура обеспечивает работу системы как с входными датчиками и устройствами, так и с исполнительными органами и устройствами со всеми перечисленными выше главными и дополнительными подсистемами.

Проведены безмоторные испытания опытного образца ЭБУ, которые подтвердили его работоспособность и показали, что вычислительная мощность (производительность) ЭБУ с микроконтроллером модели STM32F4 позволяют управлять работой газового ДВС в реальном масштабе времени.

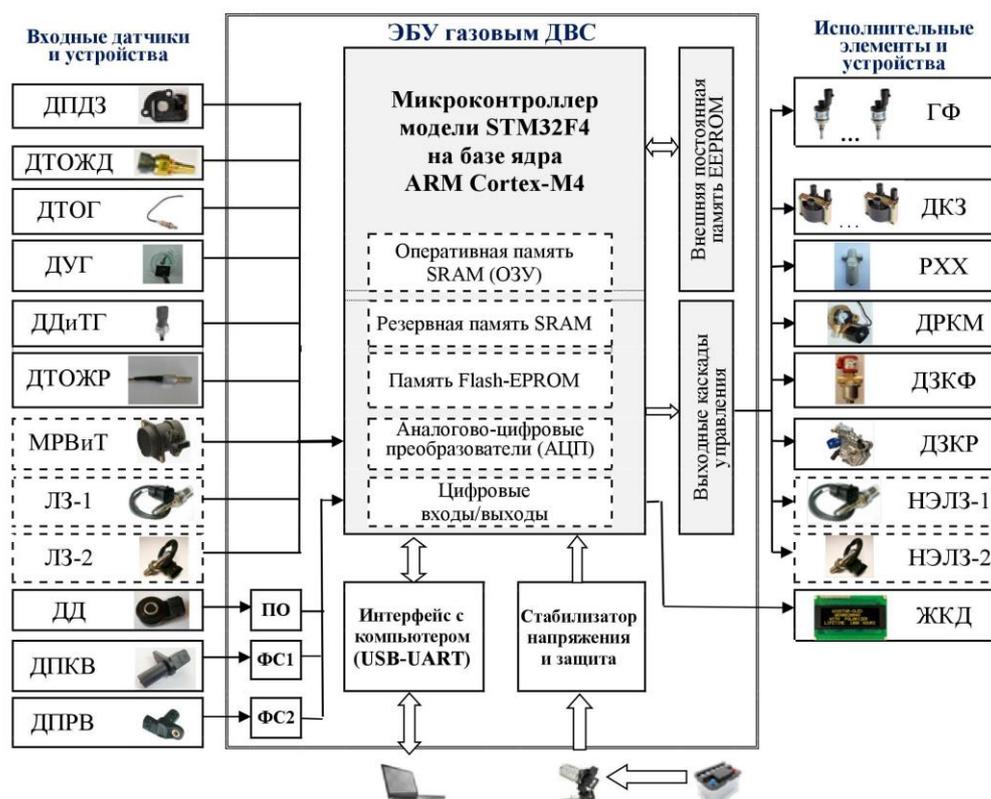


Рис. 3. Структурная схема системы электронного управления газовым ДВС с ЭБУ:

ДПДЗ – датчик углового положения дроссельной заслонки с механическим приводом; ДТОЖД – датчик температуры охлаждающей жидкости ДВС; ДТОГ – датчик температуры отработавших газов; ДУГ – датчик-показатель уровня СНГ в газовом баллоне, интегрированный в мультиклапан; ДДиТГ – датчик давления и температуры газа в рейке газовых форсунок; ДТОЖР – датчик температуры охлаждающей жидкости, интегрированный в редуктор-испаритель (при наличии); МРВиТ – массовый расходомер воздуха с интегрированным датчиком температуры; ЛЗ-1 – лямбда-зонд (перед трехкомпонентным каталитическим нейтрализатором); ЛЗ-2 – лямбда-зонд (после трехкомпонентного каталитического нейтрализатора); ДД – датчик детонации (интенсивности детонации); ДПКВ – датчик частоты вращения коленчатого вала и положения верхней мертвой точки (далее – ВМТ); ДПРВ – датчик положения распределительного вала (датчик Холла); ПО – предварительная обработка сигнала с ДД; ФС1 – формирователь сигнала с ДПКВ; ФС2 – формирователь сигнала с ДПРВ; ГФ – газовые электромагнитные форсунки; ДКЗ – двух-искровые катушки зажигания; РХХ – регулятор холостого хода; ДРКМ – дистанционно управляемый рабочий клапан на мультиклапане; ДЗКФ – дистанционно управляемый запорный клапан на газовом фильтре; ДЗКР – дистанционно управляемый запорный клапан на газовом редукторе-испарителе (при наличии); НЭЛЗ-1 – нагревательный элемент лямбда-зонда, установленного перед трехкомпонентным каталитическим нейтрализатором; НЭЛЗ-2 – лямбда-зонда, установленного после трехкомпонентного каталитического нейтрализатора; ЖКД – жидкокристаллический дисплей (индикатор); USB-UART – преобразователь интерфейсов

### Выводы

Анализ способов переоборудования дизелей для работы на газовых моторных топливах, позволяет сделать заключение о целесообразности переоборудования дизелей в газовые ДВС с принудительным зажиганием.

Разработана структурная схема системы электронного управления газовым ДВС с опытным ЭБУ, отвечающая версиям «Базовая» и «Средняя», для работы на СНГ.

Изготовлен опытный образец ЭБУ. Проведены безмоторные испытания опытного ЭБУ, которые подтвердили его работоспособность.

Дальнейшее направление работ связано с проведением моторных испытаний газового ДВС с опытным образцом ЭБУ и дорожных испытаний КТЗ с газовым ДВС, работающим на СНГ.

**Список літератури:**

1. Всесвітній досвід використання стисненого природного та зрідженого нафтового газів як моторних палив на автомобільному транспорті [Текст] / Редзюк А.М., Ковальов С.О. // Автошляховик України. – 2004. – № 5. – С. 5 – 9. 2. Автомобільний справочник. Перевод с англ. Первое русское издание. – М.: Издательство «За рулем», 2000. – 896 с. 3. Конструкція електронного коректора подачі «запальної дози» дизельного палива для транспортного газодизеля [Текст] / Ковальов С.О., Сіянюк Ю.В., Патлатюк К.А. // Автошляховик України. – 2009. – № 2. – С. 5 – 9. 4. Правила ООН № 67 Единые предписания, касающиеся: I. Официального утверждения специального оборудования транспортных средств категорий M и N, двигатели которых работают на сжиженном нефтяном газе; II. Официального утверждения транспортных средств категорий M и N, оснащенных специальным оборудованием для использования сжиженного нефтяного газа в качестве топлива, в отношении установки такого оборудования. 5. Системы управления бензиновыми двигателями. Перевод с немецкого. Первое русское издание. – М.: ООО «Книжное издательство «За рулем», 2005. – 432 с.: ил. 6. ARM Architecture Reference Manual//ARM Limited. [Электронный ресурс] /

<http://people.freebsd.org/~chuckr/arm/ARMArchitectureRefMan.pdf>. Режим доступа на 07.03.2018.

**Bibliography (transliterated):**

1. Redzyuk A.M., Kovalov S.A. (2004), "World experience of the use of compressed natural and liquefied petroleum gases as motor fuels on a motor transport", Magazine "Avtoshlyahovyk Ukraine", [Vsesvitnij dosvid vikoristannya stisnenoogo prirodnoogo ta zridzenoogo naftovogo gaziv yak motornih paliv na avtomobil'nomu transporti], № 5, pp. 5 – 9. 2. Bosch R. GmbH. (Hrsg.) Ottomotor-Management. 1 Aufl. – Braunschweig; Wiesbaden: Vieweg, 1998. 372 p. 3. Kovalov S.A., Siyanko Y.V., Patladyuk K.A. (2009), "The design of the electronic corrector for feeding the "inflammatory dose" of diesel fuel for the transport dual fuel engine", Magazine "Avtoshlyahovyk Ukraine", [Konstrukciya elektronnoogo korektora podachi «zapal'noi dozi» dizel'nogo paliva dlya transportnogo gazodizelya], № 2, pp. 5 – 9. 4. Regulation No. 67. Uniform provisions concerning the approval of: I. Approval of specific equipment of vehicles of category M and N using liquefied petroleum gases in their propulsion system; II. Approval of vehicles of category M and N fitted with specific equipment for the use of liquefied petroleum gases in their propulsion system with regard to the installation of such equipment. 5. Bosch R. GmbH. Ottomotor-Management. 2 Auflage. – Chefredaktion: Dipl.-Ing. (FH) Horst Bauer. – Springer Fachmedien Wiesbaden, 2003. 418 p. 6. "ARM Architecture Reference Manual// ARM Limited.", available at: <http://people.freebsd.org/~chuckr/arm/ARMArchitectureRefMan.pdf>.

Поступила в редакцию 08.06.2018 г.

**Ковалёв Сергей Александрович** – канд. техн. наук, ст. науч. сотр., заместитель заведующего лабораторией исследования использования топлив и экологии Государственного предприятия «Государственный автотранспортный научно-исследовательский и проектный институт», Киев, Украина, e-mail: skovalev@insat.org.ua

**РОЗРОБЛЕННЯ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ГАЗОВИМИ ДВЗ,  
ПЕРЕОБЛАДНАНИМИ НА БАЗІ ТРАНСПОРТНИХ ДИЗЕЛІВ  
ДЛЯ РОБОТИ НА ЗРІДЖЕНОМУ НАФТОВОМУ ГАЗІ**

*С.О. Ковальов*

Показані доцільність і переваги використання транспортними засобами газових моторних палив по відношенню до традиційних рідких моторних палив. Наведено і проаналізовано технічні рішення для використання дизелями газових моторних палив. На підставі аналізу обґрунтовано доцільність конвертування дизелів в газові ДВЗ з примусовим запалюванням.

Розроблено електронну мікропроцесорну систему управління газовими ДВЗ з примусовим запалюванням, що має модульну структуру, яка складається з двох головних і ряду додаткових підсистем. Наведено структури і описано принцип роботи головних підсистем, до яких відносяться підсистема управління живленням і впорскуванням ЗНГ, а також підсистема управління запалюванням. Розроблено та створено дослідний зразок ЕБУ. Наведено структурну схему системи електронного управління газовим ДВЗ з дослідним ЕБУ. Проведені безмоторні випробування дослідного зразка ЕБУ, які підтвердили його працездатність.

**DEVELOPMENT OF AN ELECTRONIC CONTROL SYSTEM FOR GAS-ENGINES,  
CONVERTED ON THE BASIS OF TRANSPORT DIESELS  
TO WORK FOR ON LIQUEFIED PETROLEUM GAS**

*S.A. Kovalov*

The expediency and advantage of using gas motor fuels on a relation to traditional liquid motor fuels is shown. Technical solutions for the use of gas motor fuels by diesel engines are presented and analyzed. On the basis of the analysis, the expediency of converting diesel engines into gas engines with forced ignition is justified.

An electronic microprocessor control system for gas internal combustion engines with forced ignition has been developed, which has a modular structure consisting of two main and a number of additional subsystems. The structures are described and the principle of operation of the main subsystems is described, including LPG injection subsystem, as well as the ignition control subsystem. An experienced ECU was developed and created. A structural scheme of the electronic control system of a gas engine with an experienced ECU is given. The out motorized tests of the experienced ECU were carried out, which confirmed his operability.