

ГАЗОВЫЙ АККУМУЛЯТОР В СИСТЕМЕ ПОДАЧИ ПРИРОДНОГО ГАЗА В ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

А.Л. Пенкин, ст. преподаватель СПбГАСУ

Представлены результаты исследований по улучшению экономических и экологических показателей автомобильного газодизеля за счет применения газового аккумулятора в системе подачи газозвушной смеси в цилиндры. Разработана математическая модель для определения теоретических зависимостей влияния основных факторов на однородность газозвушной смеси. Приведены результаты сравнительных испытаний газодизеля КамАЗ-7409 в стандартной комплектации и с системой питания, оборудованной газовым аккумулятором. Показано влияние объема газового аккумулятора на экономические и экологические показатели газодизеля.

Преимущества использования в качестве альтернативного моторного топлива природного газа определяется многими факторами. Наличие его запасов в природе, низкая отпускная цена по сравнению с бензином и дизельным топливом, безопасность эксплуатации — все это позволяет считать природный газ наиболее перспективным альтернативным топливом. Отрабатанные газы (ОГ) при сгорании природного газа в цилиндрах двигателя внутреннего сгорания (ДВС) имеют меньшую токсичность и дымность.

Природный газ применяют как в двигателях с искровым зажиганием, так и в газодизелях с воспламенением газозвушной смеси запальной дозой дизельного топлива. Наиболее сложной научно-технической задачей является создание автотракторного газодизеля с сохранением возможности работы в режиме дизеля. Поэтому экспериментальная часть данной работы проведена на газодизеле КамАЗ-7409.

Основная цель проведенных исследований состоит в улучшении работы системы питания газового двигателя за счет повышения точности дозирования газа, более равномерном его смешивании с воздухом при распределении смеси по цилиндрам.

Анализ результатов исследований, выполненных в последнее десятилетие, показал, что равномерность состава рабочей смеси существенно влияет на организацию рабочего процесса газового двигателя. Сформулированы некоторые общие требования к впускной системе, одним из кото-

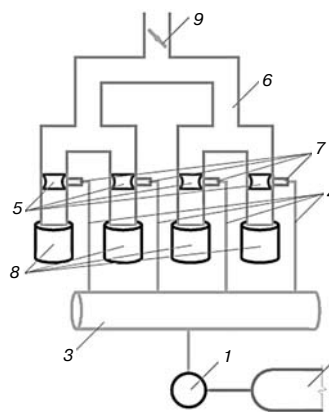


Рис. 1. Схема системы подачи газозвушной смеси в газодизель:

1 — газовый баллон; 2 — газовый редуктор; 3 — газовый аккумулятор; 4 — трубопроводы; 5 — газозвушные смесители; 6 — впускной воздушный коллектор; 7 — электромагнитные управляемые газовые форсунки; 8 — цилиндры двигателя; 9 — дроссельная заслонка

рых является то, что система, дозирующая природный газ, должна работать при неизменном рабочем давлении. Выполнение этого требования позволит обеспечить подачу в цилиндры ДВС одинаковой по составу и количеству газозвушной смеси, улучшить топливную экономичность и сократить образование вредных веществ.

На автомобильных газовых ДВС чаще применяются системы распределенного впрыска природного газа через дозирующие форсунки, установленные во впускном трубопроводе. Точность подачи природного газа зависит как от конструкции форсунок, так и от стабильности поддержания заданного давления перед ними. При открытии газовой форсунки в газовой системе возникают пульсации давления, амплитуда которых достигает $\pm(10-15\%)$ от среднего рабочего уровня [1].

Для стабилизации рабочего давления природного газа, создаваемого газовым редуктором перед форсунками, была предложена система питания (рис. 1) с газовым аккумулятором, установленным между газовым редуктором низкого давления и газовыми форсунками [2].

Сжатый природный газ из баллона 1 поступает по трубопроводу высокого давления в газовый редуктор 2, и далее в газовый аккумулятор 3, где находится неснижаемый запас газа с необходимым рабочим давлением перед форсункой. Запас газа

в аккумуляторе позволяет компенсировать колебания давления между газовым редуктором и форсунками на различных режимах работы двигателя. Из аккумулятора газ по линиям подвода 4 поступает к электромагнитным форсункам 7. Порции газа из электромагнитных форсунок подаются через смесители 5 в воздух, поступающий по впускному воздушному коллектору 6. Управление работой двигателя производится изменением положения дроссельной заслонки 9.

Разработана методика расчета газового аккумулятора (ГА).

Необходимый объем газового аккумулятора V_A , м³, рассчитывается по формуле

$$V_A = \frac{V_0 \cdot \rho_0}{\rho_A}, \quad (1)$$

где ρ_A — плотность природного газа (ПГ) в ГА при рабочем давлении форсунки, кг/м³; ρ_0 — плотность ПГ при поступлении в цилиндры двигателя, кг/м³.

Плотности ρ_i (ρ_A и ρ_0) газа при рабочих условиях, кг/м³:

$$\rho_i = \frac{\rho_c \cdot p_i \cdot T_c}{p_c \cdot T_i \cdot K_{Ci}}, \quad (2)$$

где p_i — давление газа для рабочих условий (в нашем случае для условий ρ_A и ρ_0), МПа; T_i — температура газа для рабочих условий, К; ρ_c — плотность газа при стандартных условиях, кг/м³; T_c — температура окружающей среды при стандартных условиях, К; p_c — давление окружающей среды при стандартных условиях, МПа; K_{Ci} — коэффициент сжимаемости для рабочих условий, который определяется по ГОСТ 31369–2008. Значения параметров p_c и T_c при стандартных условиях определяет ГОСТ 2939–63.

Объем ПГ V_0 , необходимый для запаса в ГА, при плотности ρ_0 , м³:

$$V_0 = K_3 \cdot V_{цг} \cdot n, \quad (3)$$

где $V_{цг}$ — максимальная цикловая подача ПГ в цилиндр двигателя, м³/цикл; n — количество цилиндров двигателя; K_3 — коэффициент запаса газа в аккумуляторе ($K_3 = 2...10$). Коэффициент запаса газа показывает, во сколько раз больше газа по сравнению с его максимальным расходом за цикл запасено в ГА.

Подставляя значения V_0 , ρ_0 и ρ_A из уравнений (2), (3) в уравнение (1), получим:

$$V_A = (V_{цг} \cdot K_3 \cdot n \cdot \rho_0 \cdot T_A \cdot K_{CA}) / (p_A \cdot T_0 \cdot K_{CO}). \quad (4)$$

Используя уравнения (1)–(4), можно рассчитывать требуемый объем ГА по заданным параметрам автомобильного газового двигателя.

Определение оптимального значения коэффициента запаса газа в ГА было выполнено методом градиентного поиска оптимума, для чего была построена математическая модель на основе полинома второго порядка, служащего описанием поверхности отклика — зависимости между выходными параметрами (откликом) и входными параметрами (факторами). При построении модели был применен центральный композиционный план. В качестве ядра плана был использован полный факторный эксперимент для двух независимых переменных x_1 и x_2 . Применение полного факторного эксперимента позволило получить несмещенные оценки коэффициентов математической модели. В результате был получен полином второй степени с натуральными переменными, описывающий влияние нагрузки и коэффициента запаса объема газового аккумулятора на качество образования и подачи газозвушной смеси в цилиндры газодизеля:

$$y = 60,112 + 0,203X_1 + 4,92X_2 + 0,004X_1^2 - 1,0504X_2^2 - 0,032X_1X_2, \quad (5)$$

где y — разность температур отработавших газов по цилиндрам газодизеля, °С; X_1 — нагрузка на двигатель, кгс·м; X_2 — коэффициент запаса газа в газовом аккумуляторе.

По полученной модели были построены теоретические зависимости основных факторов, влияющих на объем газового аккумулятора (рис. 2, 3).

Результаты расчетов, приведенные на рис. 2, показывают, что газовый аккумулятор с коэффициентом запаса газа можно считать оптимальным по равномерности наполнения цилиндров рабочей смеси $K_3 = 10$.

Стендовые испытания газодизеля КамАЗ-7409 со стандартной системой подачи газа во впускной коллектор показали, что расхождение температур отработавших газов по цилиндрам двигателя достигает 22 % (рис 4). Причем разница температур изменяется при изменении нагрузки. Это указывает на различие коэффициента избытка воздуха и на неравномерность поступления газозвушной смеси по цилиндрам газодизеля. При соответствующих условиях количественная неравномерность определяется характером распределения фракций по удельному весу [3]. Разработанная система подачи газозвушной смеси в газодизель с газовым аккумулятором позволила снизить расхождение температур отработавших газов по цилиндрам до 2 %.

Исследования проводились на испытательном стенде фирмы «Хориба» при работе двигателя в газодизельном режиме с системой подачи газозвушной смеси без газового аккумулятора и с га-

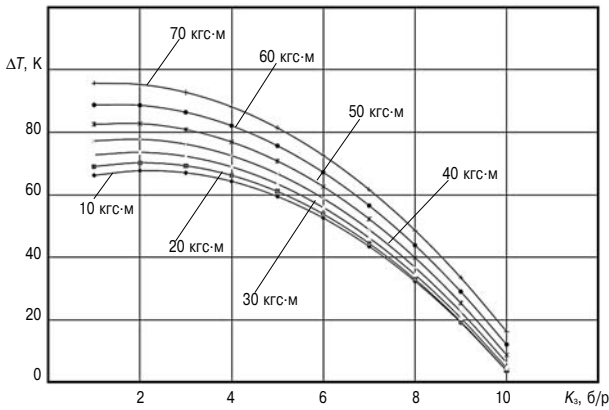


Рис. 2. Зависимость разницы температур отработавших газов по цилиндрам от коэффициента запаса ГА

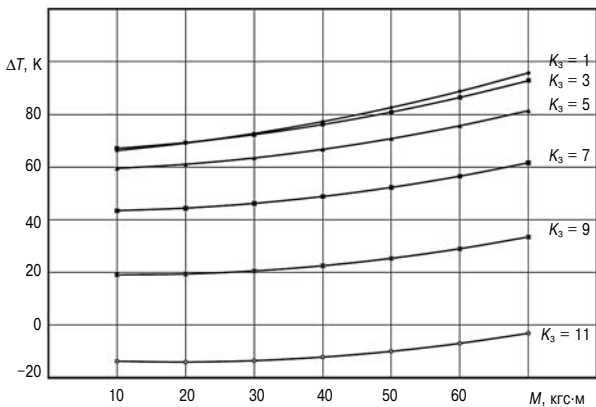


Рис. 3. Зависимость разницы температур отработавших газов по цилиндрам от нагрузки на двигатель

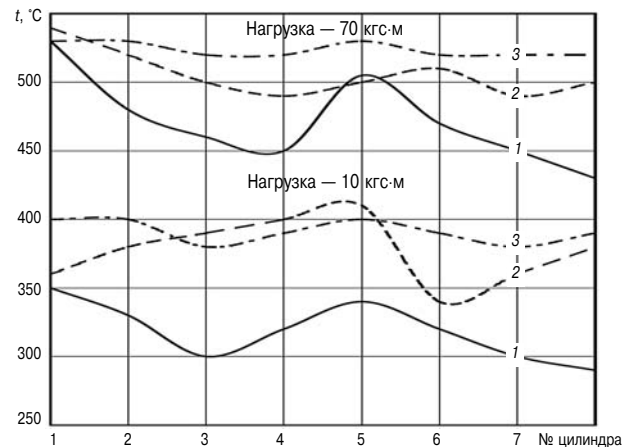


Рис. 4. Зависимость температуры отработавших газов в цилиндрах газодизеля от нагрузки и объема газового аккумулятора:

1 — газодизель без ГА; 2 — газодизель, $K_3 = 5$; 3 — газодизель, $K_3 = 10$

зовыми аккумуляторами различного объема: с $K_3 = 5$ и $K_3 = 10$. Результаты стендовых испытаний газодизеля КамАЗ-7409 отражены на рис. 4–6.

Характер распределения температуры ОГ по цилиндрам, приведенный на рис. 4 показывает их значительный разброс при работе со стандарт-

ной инжекторной системой подачи природного газа в коллектор газодизеля. Разработанная система подачи газозвушной смеси в газодизель с газовым аккумулятором с $K_3 = 10$ позволила снизить неравномерность распределения температуры отработавших газов по цилиндрам с 22 до 2 %.

Максимальная эффективная мощность газодизеля КамАЗ-7409 (рис. 5) с разработанной системой подачи газозвушной смеси и газовым аккумулятором с $K_3 = 10$ увеличилась на 5 %, по сравнению с аккумулятором меньшего объема

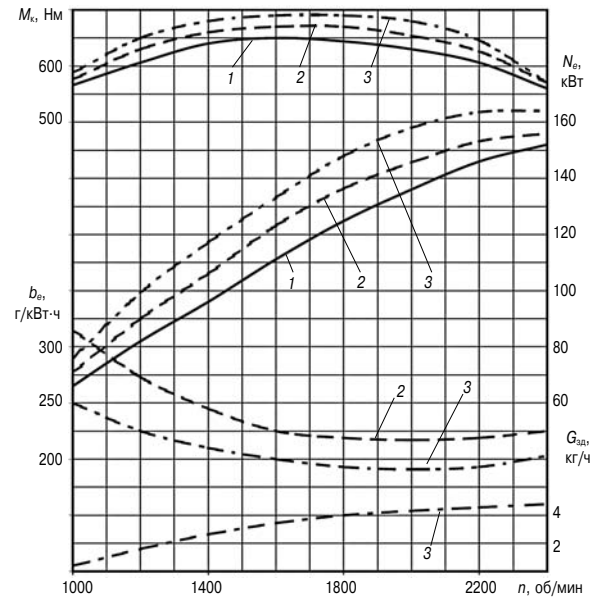


Рис. 5. Внешняя скоростная характеристика двигателя КамАЗ-7409:

1 — газодизель без ГА; 2 — газодизель, $K_3 = 5$; 3 — газодизель, $K_3 = 10$

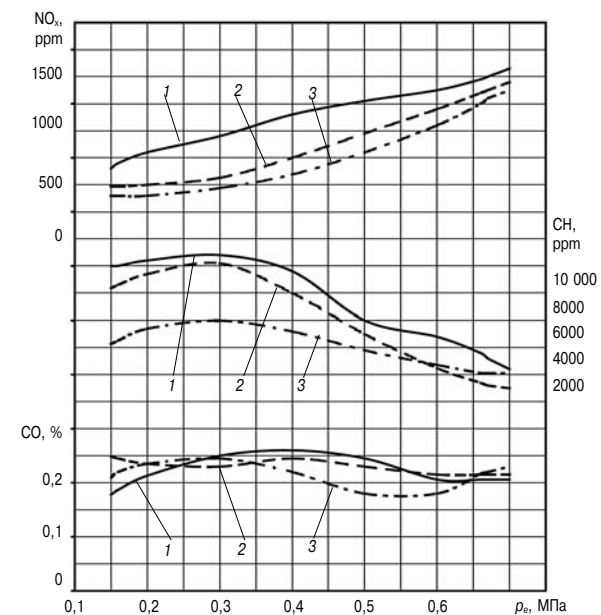


Рис. 6. Нагрузочная характеристика двигателя КамАЗ-7409 при $n = 2550$ об/мин:

1 — газодизель без ГА; 2 — газодизель, $K_3 = 5$; 3 — газодизель, $K_3 = 10$

($K_3 = 5$) и выше, чем у газодизеля без ГА на 7 %. При этом удельный эффективный расход топлива снижается на 13 % при установке ГА с оптимальным объемом, соответствующим $K_3 = 10$.

Нагрузочные характеристики газодизеля КамАЗ-7409 при $n = 2550$ об/мин приведены на рис. 6. Из приведенных данных видно, что выбросы NO_x , CH и CO не уменьшаются при увеличении K_3 . Установка в систему подачи газозвдушной смеси ГА с $K_3 = 10$ по сравнению с $K_3 = 5$ в среднем снижает выбросы NO_x на 25 %, CO на 3 %, а CH на 57 %.

Полученные результаты экспериментальных исследований демонстрируют достижение поставленной цели исследований и демонстрируют возможность улучшения не только эффективных

показателей газодизеля КамАЗ-7409, но и значительного снижения вредных веществ с отработавшими газами.

Литература

1. Шишков В.А. Анализ систем управления ДВС автомобиля для работы на газе или бензине/ В.А. Шишков // Транспорт на альтернативном топливе. — 2008. — № 6. — С. 18–25.
2. Пат. 2009139901 Российская Федерация, МПК F02M21/00 (2006.01). Система подачи газозвдушной смеси в двигатель / А.Л. Пенкин, А.А. Капустин, К.С. Беляев; заявл. 28.10.2009; опубл. 10.05.2011, 7с.: ил.
3. Donahue R.W., Kent R.H. // SAE Transactions. — 1954. — № 4. — С. 54–66.

ЮБИЛЕЙ!

Олегу Константиновичу Безюкову 65 лет

*25 февраля в 2012 г. исполнилось 65 лет
доктору технических наук, профессору,
заведующему кафедрой теории и конструкции судовых ДВС ФБОУ ВПО
«Санкт-Петербургский государственный университет
водных коммуникаций»,
члену редколлегии журнала «Двигателестроение»*



В 1971 г. Безюков О.К. выпускник кафедры турбиностроения энергомашиностроительного факультета Санкт-Петербургского политехнического университета (ранее ЛПИ им. М.И. Калинина) по специальности «Авиационные газотурбинные двигатели».

В 1971–1975 гг. работал в конструкторском бюро Государственного Союзного машиностроительного завода имени академика В.Я. Климова, где участвовал в проектировании газотурбинных двигателей для танка Т-80, вертолетов МИ-8, МИ-24, истребителя МИГ-29.

С 1975 г. поступил в аспирантуру Ленинградского политехнического института, в 1978 г. защитил кандидатскую диссертацию, посвященную исследованиям влажнопаровых турбин атомных энергетических установок.

С 1979 г. в Ленинградском институте водного транспорта (ныне ФБОУ ВПО СПГУВК) О.К. Безюков выполнял исследования, направленные на совершенствование систем охлаждения ДВС, теплофизических, физико-химических и эксплуатационных свойств охлаждающих жидкостей, был руководителем более 25 научно-исследовательских работ, заказчиками которых являлись Российская академия наук, судоходные компании и дизелестроительные заводы.

В 1996 г. О.К. Безюков защитил докторскую диссертацию, посвященную комплексному совершенствованию охлаждения судовых дизелей, с 1998 г. профессор, а с 1999 г. заведующий кафедрой теории и конструкции судовых ДВС, в штат которой 8 профессоров, их них 4 доктора технических наук.

С 1999 г. на кафедре подготовлены 4 доктора и 11 кандидатов технических наук.

В 2002–2008 гг. О.К. Безюков совмещал обязанности заведующего кафедрой и проректора университета по учебной и научной работе.

О.К. Безюков заместитель председателя диссертационного совета Д223.009.04 при Санкт-Петербургском государственном университете водных коммуникаций, член диссертационного совета Д212.229.09 при Санкт-Петербургском политехническом университете, автор монографии, около 200 научных работ и учебных пособий, в том числе свыше 40 изобретений, академик Российской академии транспорта, почетный работник речного флота.

Коллектив ФБОУ ВПО СПГУВК, редакция журнала «Двигателестроение» поздравляют Олега Константиновича с днем рождения и желают ему здоровья, благополучия, новых успехов в научной и педагогической деятельности.