

РАЗДЕЛ II ТРАНСПОРТ

УДК 621.439:629.114.5

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗОВОГО ТОПЛИВА НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ С НЕПОСРЕДСТВЕННЫМ ВПРЫСКОМ БЕНЗИНА

М.В. Банкет

Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ), Россия, г. Омск

Аннотация. В статье раскрываются проблемы использования газового топлива на автомобилях с непосредственным впрыском топлива. На основании анализа продаж автомобилей авторами установлено, что автомобили с непосредственным впрыском топлива пользуются большим спросом, вытесняя с рынка автомобили с распределенным фазированным впрыском топлива. Приведен анализ способов установки газобаллонного оборудования на автомобили с непосредственным впрыском топлива. Выделяются и описываются характерные особенности газобаллонного оборудования для автомобилей с непосредственным впрыском топлива. Основное содержание исследования составляют результаты стендовых испытаний автомобилей с непосредственным впрыском, работающих на газовом топливе.

Ключевые слова: газовое топливо, непосредственный впрыск, газобаллонное оборудование.

ВВЕДЕНИЕ

С каждым годом мы наблюдаем инновации в автомобильном строении, к примеру, такие как система непосредственного впрыска топлива. И с каждым годом количество автомобилей оснащенных системой непосредственного впрыска растёт [1].

В начале этого тысячелетия жесткие стандарты выбросов отработавших газов в Европе привели к росту популярности систем непосредственного бензинового впрыска. Сейчас подобными системами оснащаются почти половина всех производимых в Европе автомобилей с бензиновыми двигателями. В 2012 году компания Bosch обеспечила поставки более 5 млн. систем непосредственным бензинового впрыска в европейском регионе, и эта цифра выросла до 9 млн. к 2015 году. Внедрение компанией Bosch системы непосредственного впрыска в рамках развития технологии Common Rail привело к революционным изменениям в работе дизельных двигателей. В течение последнего десятилетия эта технология стала неоспоримым стандартом – она применяется в 80% всех новых дизельных авто в мире. Подобные изменения происходят

сегодня и в отношении бензинового двигателя. Инновационные технологии Bosch повышают энергоэффективность топливной системы, позволяют экономить средства владельцам авто на каждом «пройденном» километре, а также существенно сокращают выбросы в атмосферу. Так, в 2013 году в Европе более чем на 40% новых автомобилей с бензиновыми двигателями использовалась система непосредственного впрыска. Согласно подсчетам экспертов Bosch, это позволило сократить количество выбросов CO₂ в регионе суммарно на 1,2 млн кг [2].

Сегодня в США и Китае около 90 % производимых авто выпускаются с бензиновым ДВС, и несмотря на достаточно жесткие ограничения на импорт систем непосредственного впрыска для локального производства в этих странах компания Bosch прогнозирует стремительный рост продаж. В Китае, например, уже к 2020 году треть всех производимых автомобилей будет комплектоваться системами непосредственного впрыска бензина [2, 3].

Проведя маркетинговые исследования [4] автомобильных дилерских центров города Омска было определено количество продаваемых моделей автомобилей (рис. 1) и коли-

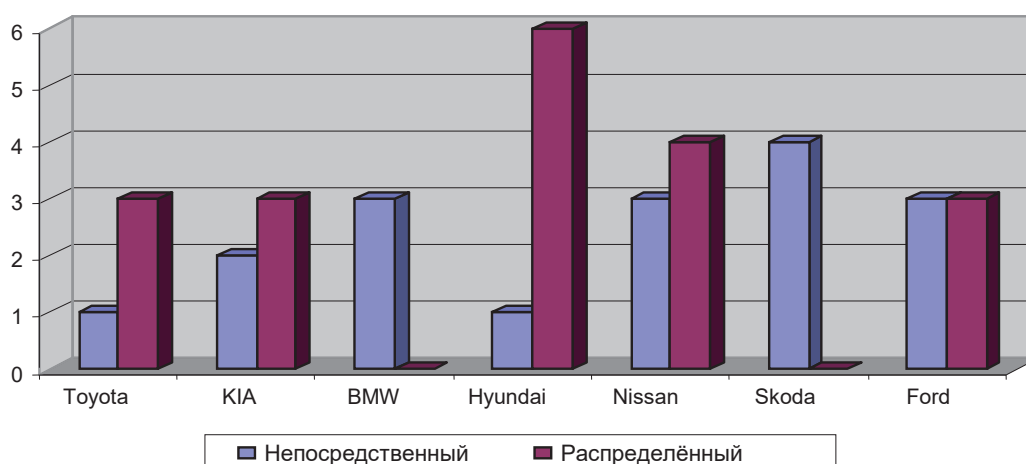


Рис. 1. Диаграмма распределения продаваемых моделей автомобилей в зависимости от типа подачи топлива в дилерских центрах города (по наличию автомобилей на сентябрь 2016 г.)

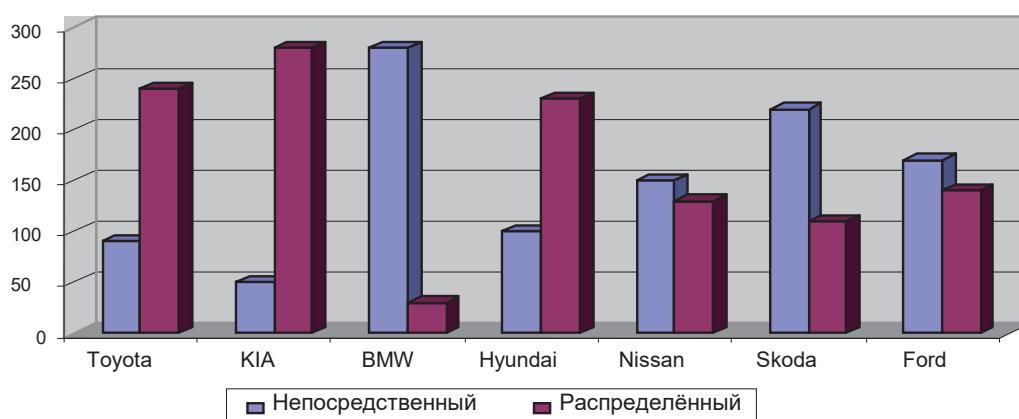


Рис. 2. Диаграмма продаж автомобилей в зависимости от типа подачи топлива (бензин) в дилерских центрах города (по состоянию на сентябрь 2016 г.) [4]

чество проданных автомобилей (рис. 2) в зависимости от типа подачи топлива.

Продажа и наличие автомобилей в дилерских центрах с непосредственным впрыском топлива (бензин) растут и вытесняют с рынка автомобили с распределённым впрыском топлива.

Рассмотрим технические характеристики автомобилей с непосредственным и распределённым впрыском топлива.

Технические характеристики автомобилей с непосредственным впрыском топлива превосходят технические характеристики автомобилей с распределённым впрыском топлива в том числе и по расходу топлива, что является приоритетным показателем при выборе автомобиля.

Не смотря на тот факт, что у автомобилей с непосредственным впрыском уменьшенный

расход топлива всё равно остаются такие автомобили, у которых в городском цикле значительный расход топлива (к примеру, Nissan Patrol с расходом 20,6 л/100 км [5]).

Согласно Постановлению Правительства РФ от 15 января 1993 г. N 31, в целях снижения дефицита нефтяного моторного топлива установить предельную отпускную цену на сжатый газ в размере не более 50 процентов от цены реализуемого в данном регионе бензина, включая налог на добавленную стоимость.

Проведя сравнительный анализ стоимости применяемых в настоящее время моторных топлив в городе Омске, установлено, что стоимость сжиженного нефтяного газа (СУГ) в 2 раза ниже стоимости бензина.

При сборе статистических данных использовалась информация с сайта Федеральной службы государственной статистики [6].

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АВТОМОБИЛЕЙ С НЕПОСРЕДСТВЕННЫМ И РАСПРЕДЕЛЁННЫМ ВПРЫСКОМ ТОПЛИВА (БЕНЗИН)

| Марка | Вид впрыска | Модель автомобиля | Модель ДВС | Мощность ДВС(л.с.) | Объём ДВС(л) | Расход топлива (л/100 км) |
|----------|------------------|-------------------|------------|--------------------|--------------|---------------------------|
| Toyota | Непосредственный | Camry | D-4SDual | 150 | 2,0 | 7,2 |
| | Распределённый | Corolla | 2AZ-FE | 158 | 2,4 | 9,2 |
| Nissan | Непосредственный | X-Trail | MR20 | 144 | 2,0 | 6,9 |
| | | Qashqai | | | | |
| | Распределённый | X-Trail | QR25DE | 137 | 2,0 | 8,1 |
| | | Qashqai | | | | |
| | | Octavia | CHNB | 200 | 2,0 | 8,0 |
| | | Yeti | CFNA | 150 | 1,8 | 7,1 |
| | | Superb | CFNA | 150 | 1,8 | 7,1 |
| Explorer | 3,5 Duratec | 294 | 3,5 | 11,8 | | |

Проанализировав рост распространения и продаж автомобилей с системой непосредственного впрыска, а так же их технические показатели можно сформулировать возникшую проблему: вы-

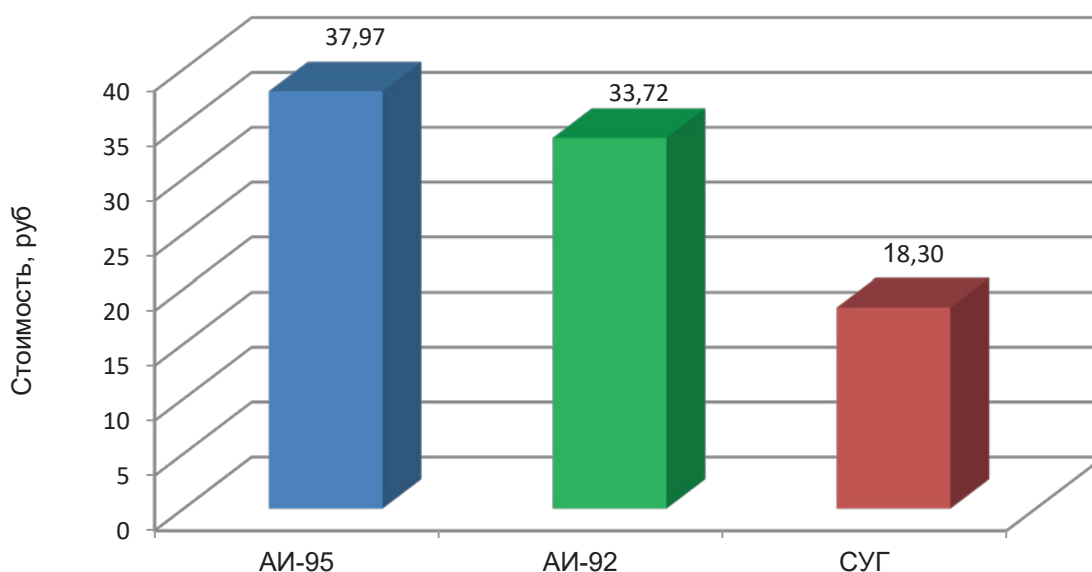


Рис.3. Соотношение средних цен топлива в городе Омске на октябрь 2016 г.[6]

сокие денежные затраты на топливо для автомобилей, в том числе автомобилей с системой непосредственного впрыска топлива (бензин).

Одним из путей снижения затрат на топливо для автомобилей с непосредственным впрыском топлива является переоборудование данных автомобилей для работы на сжиженном углеводородном газе.

Методы использования газового топлива на автомобилях с непосредственным впрыском топлива.

До недавнего времени не было возможным установить ГБО на автомобили с непосредственным впрыском топлива в цилиндры (Mitsubishi GDI, VW Skoda Audi FSI, Toyota D4, Nissan Neo DI и пр.).

Это обусловлено тем, что при непосредственном впрыске бензиновые форсунки установлены в непосредственной близости к камере сгорания, где очень высокая температура, а охлаждаются они бензином, проходящим через них под высоким давлением. Установить газовые форсунки для подачи газа в камеру сгорания не представляется возможным, а при установке обычного ГБО IV-го поколения (газовые форсунки на впускной коллектор), бензиновая система питания таких автомобилей быстро выходила из строя. Дело в том, что для нормальной работы бензиновых форсунок, подающих топливо непосредственно в цилиндр, необходимо, чтобы они охлаждались проходящим через них бензином. А в момент работы на газе бензиновые форсунки отключаются, что приводит к их быстрой закоксовке. Если при езде на газе бензиновые форсунки не будут охлаждаться, то через несколько тысяч ки-

лометров они выйдут из строя и эксплуатация автомобиля на бензине станет невозможной без проведения дорогостоящего ремонта [7].

ГБО IV поколения для автомобилей с непосредственным впрыском топлива (ГБО IV+).

Специалистам итальянской компании BRC удалось решить эту проблему. Разработанная в 2007 году система BRC Sequent Direct Injection (SDI) – это система питания газовым топливом, разработанная для наилучшей интеграции с двигателями с непосредственным впрыском бензина. Sequent Direct Injection – это многоточечная система последовательного фазового впрыска газа (распределенный газовый впрыск). В ГБО IV+ впрыск газа происходит во впускной коллектор, в то время как впрыск бензина производится непосредственно в камеру сгорания параллельно с впрыском газового топлива [8]. Комбинированная схема ГБО IV+ поколения представлена на рис. 4.

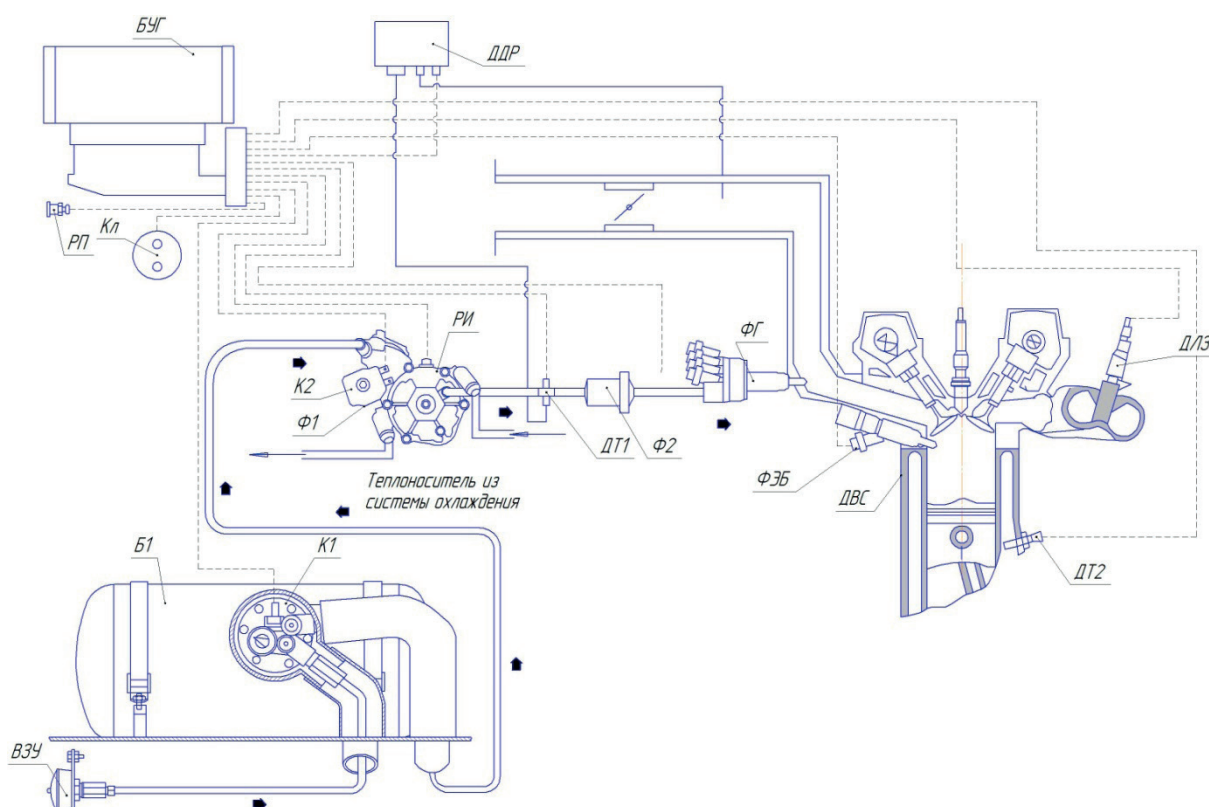


Рис. 4. ГБО IV+ поколения. Схема комбинированная общая
 Б1 - Газовый баллон для СУГ, К1 - Мультиклапан, ВЗУ - Выносное заправочное устройство,
 РП - Разъем для подключения ноутбука, Кп - Кнопка переключения вида топлива,
 БУГ - Газовый блок управления, К2 - Газовый клапан, РИ - Редуктор-испаритель,
 Ф1 - Фильтр жидкой фазы, Ф2 - Фильтр паровой фазы, ДТ1 - Датчик температуры,
 ДДР - Датчик давления/разряжения, ФГ - Газовая форсунка,
 ФЭБ - Электромагнитная бензиновая форсунка, ДЛЗ - Датчик лямбда зонд,
 ДТ2 - Датчик температуры, ДВС - Двигатель внутреннего сгорания

Закоксовывание бензиновых форсунок в этой системе не происходит потому, что при работе на газе одновременно подается небольшая порция бензина (около 10 % от количества подаваемого газа), необходимая для охлаждения форсунки [9].

Этот подход позволяет получить ту же простоту установки и возможность использовать те же механические компоненты с очевидными проверенными преимуществами. Фактически, это оборудование отличается от обычного BRC (распределенный газовый впрыск), только блоком управления, а все остальные компоненты (редуктор, форсунки и т.д.) - те же самые. Особенностью BRC SDI является то, что установить эту систему можно только на определенные модели двигателя. BRC SDI нужно устанавливать именно на конкретную модель двигателя, а не марки автомобиля. Один и тот же двигатель 2.0 FSI может стоять на Volkswagen Passat, Jetta, Golf; Skoda Octavia, Super B; Seat Leon; Audi A3, A4, A6 и именно для этого двигателя можно установить оборудование [8]. Для каждой модели двигателя разработчик ГБО предлагает конкретную «прошивку» для оптимальной настройки газобаллонного автомобиля.

Кроме BRC Sequent Direct Injection существуют и другие системы такие как: Easy Fast Direct Injection, производимая итальянской компанией Lovato; Stag-400, производимая польской компанией AC [8].

Проведя расчеты срока окупаемости ГБО IV для автомобиля Nissan Patrol при пробеге автомобиля 20000 км/год было установлено, что данное ГБО окупится за 1,28 лет.

VI поколение ГБО.

VIALLE LPdi – система впрыска СУГ в жидкой фазе непосредственно в камеру сгорания. Это газобаллонное оборудование предназначено для двигателей с непосредственным впрыском топлива (TSI, FSI, TFSI, GDI и т.д.) и известно как ГБО VI поколения [10].

Разработка компании VIALLE LPdi основана на уже получивших признание системах V поколения VIALLE LPI, но имеет ряд особенностей.

Газовый насос под давлением подает газ в так называемый модуль смешивания топлива (FSU), откуда газ подается в штатный ТНВД (насос высокого давления) автомобиля, а уже оттуда в жидком виде под высоким давлением подается через бензиновые форсунки в цилиндры камеры сгорания. Таким образом бензиновые форсунки охлаждаются проходящим через них газом.

Система VIALLE LPdi позволяет эксплуатировать автомобиль только на газе, вообще не использовать бензин. Двигатель можно запускать на газе в любую температуру, ведь газ не нужно подогревать. При использовании системы LPdi нет абсолютно никаких потерь мощности и крутящего момента, а на некоторых автомобилях замечен прирост этих параметров [10].

На сегодняшний день оборудование системы LPdi доступно для владельцев автомобилей Volkswagen, AUDI, Skoda, Seat.

Проведя расчеты срока окупаемости ГБО VI для автомобиля Nissan Patrol при пробеге автомобиля 20000 км/год было установлено, что данное ГБО окупится за 1,9 лет.

Система VIALLE LPdi помимо преимуществ имеет ряд недостатков, таких как высокие требования к качеству газового топлива и дороговизна такого газобаллонного оборудования. В Российской Федерации данная система не получила распространения.

Для автомобилей с непосредственным впрыском топлива существует два типа газобаллонного оборудования. На сегодняшний день в сложившейся инфраструктуре использования газового топлива на автомобильном транспорте наиболее рационально использовать для автомобилей с непосредственным впрыском ГБО IV+. Представим результаты стендовых испытаний автомобилей с непосредственным впрыском, работающих на газовом топливе с ГБО IV + поколения.

Результаты стендовых испытаний автомобилей с непосредственным впрыском, работающих на газовом топливе с ГБО IV + поколения на примере автомобиля Nissan Patrol.

Испытания проводились на мощностном стенде Maha LPS 3000, установленном в городе Омске в автомобильном комплексе «Авто-Нова». В качестве исследуемых параметров определены: мощность и крутящий момент двигателя.

Мощностной стенд Maha LPS 3000 предназначен для углубленной диагностики автомобилей по тягово-мощностным, скоростным и экологическим параметрам, имитируя движение с реальной нагрузкой. Автомобиль заезжает на блок роликов, имеющих мощный электромагнитный тормоз, с помощью которого и создается сопротивление вращению колесам автомобиля, величина которого задается пользователем. Результаты измерений передаются на компьютерную стойку управления и отображаются на мониторе. Стенд LPS

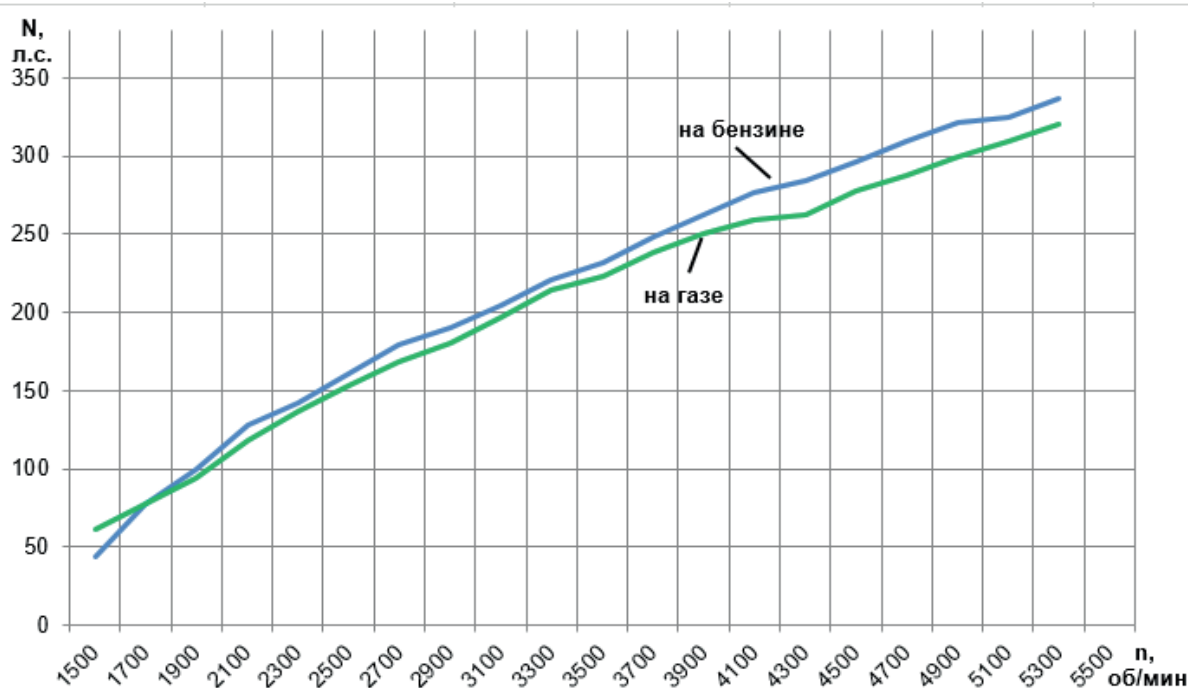


Рис. 5. Результаты исследования мощности ДВС

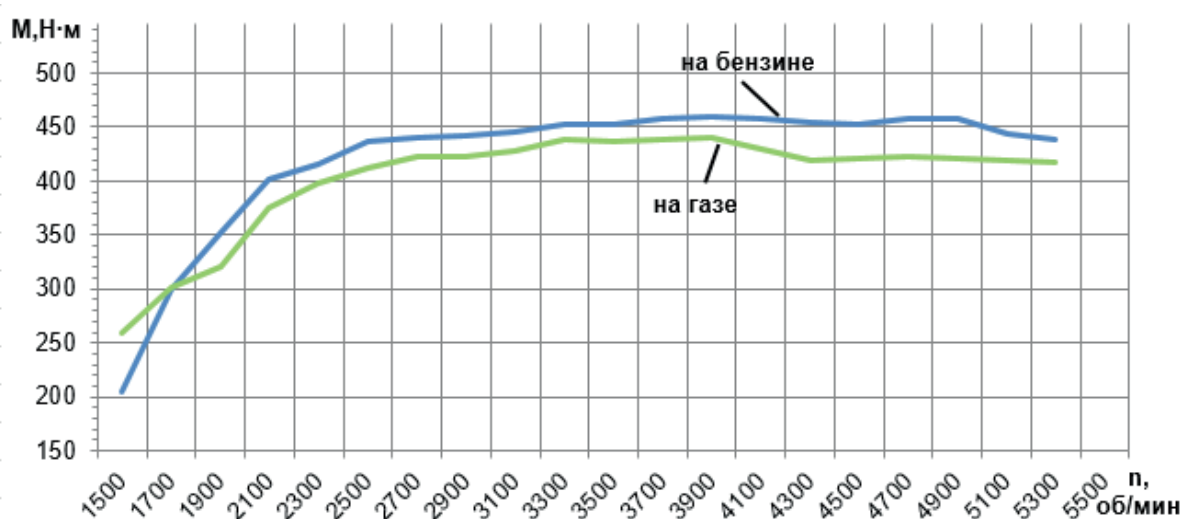


Рис. 6. Результаты исследования крутящего момента ДВС

3000 позволяет оценить: крутящий момент двигателя; мощность двигателя; мощность на ведущих колёсах, величину потери мощности в трансмиссии; скорость автомобиля; экологические показатели работы двигателя под нагрузкой (при наличии газоанализатора и дымомера) [11].

Расчет мощности двигателя осуществляется по стандартам измерения мощности DIN 70020 (Германский институт стандартизации), ISO 1585 (Международная организация по

стандартизации), JISD 1001 (Японский промышленный стандарт).

Перед определением исследуемых параметров были установлены граничные условия эксперимента:

- температура окружающего воздуха: 19°C;
- атмосферное давление воздуха: 101 кПа;
- относительная влажность воздуха: 41%;
- марка бензина: АИ-98 с октановым числом по исследовательскому методу не менее 98;

**МОЩНОСТЬ И КРУТЯЩИЙ МОМЕНТ ДВС VK56VD В ЗАВИСИМОСТИ
ОТ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА**

| Частота вращения коленчатого вала ДВС, | Мощность ДВС, л.с. | Крутящего момента ДВС, Н·м |
|--|--------------------|----------------------------|
| 4500 | 280 | 455 |
| 4900 | 323 | 463 |
| 5200 | 330 | 440 |
| 5800 | 404 | 423 |

- марка газового топлива: ПА с содержанием пропана 85±10%;

Результаты исследования мощности ДВС представлены на рис.5.

Результаты исследования крутящего момента ДВС представлены на рис.6.

Точность измерения на мощностном стенде Maha LPS 3000 составляет 2 % [11].

Рассмотрим мощность ДВС VK56VD установленного на исследуемом автомобиле Nissan Patrol исходя из технической характеристики данного двигателя (см. табл.2).

Оценка сходимости результатов полученных из технической характеристики с результатами экспериментальных исследований осуществлялась с использованием методики, основанной на законах математической статистики и планировании экспериментов [12]. В результате обработки данных на ЭВМ с использованием программных пакетов «Microsoft Office Excel 2007» [13] были получены численные значения мощности и крутящего момента ДВС в зависимости от частоты вращения коленчатого вала. Исходя из полученных значений установлено, что отклонение результатов экспериментальных исследований составляет не более 2 % от данных представленных в технической характеристики исследуемого ДВС.

В режиме увеличения оборотов до 1750 об/мин. исследуемый автомобиль при работе на газовом топливе показал увеличение мощности ДВС до 27% и увеличение крутящего момента ДВС до 21% по сравнению с работой на бензиновом топливе. При дальнейшем увеличении оборотов мощность и крутящий момент ДВС снижается до 8% и 10% соответственно.

Проведенные измерения позволяют произвести оценку тягово-мощностных показателей исследуемого автомобиля на газовом топливе.

Согласно полученным результатам исследований установлено:

- мощность исследуемого ДВС с непосредственным впрыском на газовом топливе

увеличились по сравнению с бензиновым топливом на режиме до 1750 об/мин. до 27 % и снизилась на всех остальных режимах работы ДВС от 3 % до 8 %.

- крутящий момент исследуемого ДВС с непосредственным впрыском на газовом топливе увеличился по сравнению с бензиновым топливом на режиме до 1750 об/мин. до 21 % и снизилась на всех остальных режимах работы ДВС от 3 % до 10 %

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Особенностями применения газового топлива на автомобильных двигателях с непосредственным впрыском бензина является возможность применения только двух систем:

- многоточечной системы последовательного фазового впрыска газа (ГБО IV+ поколение);
- системы впрыска СУГ в жидкой фазе непосредственно в камеру сгорания (ГБО VI поколение).

На сегодняшний день в сложившейся инфраструктуре использования газового топлива на автомобильном транспорте наиболее рационально использовать для автомобилей с непосредственным впрыском многоточечную систему последовательного фазового впрыска газа (ГБО IV+ поколения)

Установлено, что мощность и крутящий момент исследуемого ДВС с непосредственным впрыском на газовом топливе изменилась по сравнению с бензиновым топливом не более чем 10%, что подтверждает эффективность работы автомобилей с непосредственным впрыском, работающих на газовом топливе с ГБО IV + поколения.

Рассмотрев рынок продаж автомобилей на примере города Омска, можно сделать вывод, что на сегодняшний день наблюдается рост продаж автомобилей с непосредственным впрыском топлива.

Снижение затрат на топливо для автомо-

билей с непосредственным впрыском может быть достигнуто установкой газобаллонного оборудования для работы автомобиля на газовом топливе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Непосредственный впрыск – энциклопедия журнала «За рулём». [Электронный ресурс]. URL: <http://wiki.zr.ru> (дата обращения: 09.10.2016).

2. Новости BOSCH. Технология непосредственного бензинового впрыска BOSCH. [Электронный ресурс]. Дата публикации: 23.10.2015. URL: http://www.bosch.ru/ru/newsroom_1/news_1/news-detail-page_62464.php (дата обращения: 23.03.2016).

3. Система непосредственного впрыска: устройство и принцип работы. [Электронный ресурс]. URL: http://www.auto-infosite.ru/articles_sistema_neposredstvennogo_vpryska.html#ixzz4 (дата обращения: 12.10.2016).

4. Региональная статистика. [Электронный ресурс]. URL: https://www.autostat.ru/pages/issledovaniya/ejemesyachnye_obzory/bazovyj_otchet_regionalnaya_statistika/ (дата обращения: 05.10.2016)

5. Ханников А.А. Автомеханик – 2-е изд. – Минск: Современная школа, 2010. – 384 с.

6. Средние потребительские цены на топливо в Омской области на 31.10.2016. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gks.ru/dbscripts/>

cbsd/DBInet.cgi (дата обращения: 02.11.2016).

7. Певнев Н.Г. Обеспечение работоспособности газобаллонных автомобилей в условиях отрицательных температур окружающего воздуха / Н.Г. Певнев, Л.С. Трофимова, М.В. Банкет // АвтоГазоЗаправочный Комплекс +Альтернативное топливо: Международный научно-технический журнал. – 2012. – №5(65). – С. 12-15.

8. Устройство, поколения ГБО. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.lpg.ru/auto/alternative/types> (дата обращения: 12.10.2016).

9. Ерохов В.И. Газобаллонные автомобили (конструкция, расчет, диагностика): учебник для вузов / В.И. Ерохов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2011. – 598 с.

10. VIALLELPdi – ГБО для двигателей с непосредственным впрыском. [Электронный ресурс]. URL: <http://gas-energy.ru/informatsiya/vialle-lpdi-gbo-dlya-dvigatelej-s-neposredstvennym-vpryskom> (дата обращения: 15.10.2016).

11. Инструкция по эксплуатации. Колесный мощностной стенд LPS 3000 [Текст]: D1 0524BA1-RU01 от 22.08.2013. – 108 с.

12. Рыков В.В. Математическая статистика и планирование эксперимента: монография / В.В. Рыков, В.Ю. Иткин. – М.: Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина, 2009. – 303 с.

13. Пащенко И.Г. Excel 2007 / И.Г. Пащенко. – М.: Эксмо, 2009. – 496 с.

FEATURES OF APPLICATION OF GAS FUEL IN VEHICLES WITH DIRECT FUEL INJECTION

Abstract. *The article reveals the problems of using gas fuel in vehicles with direct fuel injection. Based on the analysis of car sales, the authors found that cars with direct fuel injection are in high demand out of the market of vehicles with a distributed phased fuel injection. The analysis of ways of installation of LPG equipment for vehicles with direct fuel injection. Allocated and describes the characteristics of LPG equipment for vehicles with direct fuel injection. The main contents of the study are the results of bench testing of direct injection engines, working on gas fuel*

Keywords: *gas fuel, direct injection, gas equipment.*

REFERENCES

1. Direct injection – encyclopedia of the magazine “Behind the wheel”. [Electronic resource]. URL: <http://wiki.zr.ru> (date accessed: 09.10.2016).

2. News BOSCH. Technology of direct petrol injection from BOSCH. [Electronic resource]. Publication date: 23.10.2015. URL: http://www.bosch.ru/ru/ru/newsroom_1/news_1/news-detail-page_62464.php (date accessed: 23.03.2016).

3. The direct injection system: the device and

working principle. [Electronic resource]. URL: http://www.auto-infosite.ru/articles_sistema_neposredstvennogo_vpryska.html#ixzz4 (date accessed: 12.10.2016).

4. Regional statistics. [Electronic resource]. URL: https://www.autostat.ru/pages/issledovaniya/ejemesyachnye_obzory/bazovyj_otchet_regionalnaya_statistika/ (date accessed: 05.10.2016)

5. Konnikova. Mechanic – 2nd ed. – Minsk: Modern school, 2010. – 384 p.

6. Average consumer prices for fuel in the Omsk

