

МЕХАНИЗАЦИЯ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 665.73-75

ГАЗОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ

А. Н. КАРТАШЕВИЧ, П. Ю. МАЛЫШКИН

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: kartashevich@yandex.ru

(Поступила в редакцию 29.08.2025)

Традиционный подход к решению энергетических и экологических вопросов в области двигателестроения заключается в совершенствовании существующих конструкций двигателей и их систем с целью улучшения экономичности и снижения токсичности отработавших газов. Однако исследователи и инженеры приходят к выводу о необходимости адаптации двигателей к новым, доступным видам альтернативных топлив. В ближайшие годы будет возрастать роль таких топлив, как сжиженные газы, спирты, эфиры и смесевые топлива. Разработка эффективных способов комплексного применения газа в двигателестроении – актуальная научно-техническая задача, имеющая важное экономическое и экологическое значение. Подобные исследования в данной области интенсивно ведутся во многих странах мира.

Разработаны оригинальные системы подачи газового топлива с автоматическим регулированием и управлением режимами совместной работы систем подачи дизельного и газового топлива, обеспечивающие уменьшение токсичности продуктов сгорания дизеля, повышение точности дозирования газового топлива, эффективности, безопасности работы дизеля и защищенные патентами Российской Федерации и Республики Беларусь. Проведенные стендовые испытания двигателя, оснащенного разработанной системой подачи альтернативного газового топлива, позволили установить, что для получения лучших характеристик при добавлении СУГ во впускной коллектор дизеля 4ЧН 11,0/12,5 необходимо ограничить подачу СУГ на уровне 30 % от ДТ.

Ключевые слова: двигателестроение, дизель, альтернативные топлива, системы подачи, газовые топлива, стендовые испытания.

The traditional approach to solving energy and environmental issues in engine engineering involves improving existing engine designs and systems to improve fuel efficiency and reduce exhaust emissions. However, researchers and engineers are realizing the need to adapt engines to new, readily available alternative fuels. In the coming years, the role of fuels such as liquefied gases, alcohols, ethers, and hybrid fuels will increase. Developing effective methods for the integrated use of gas in engine engineering is a pressing scientific and technical challenge with significant economic and environmental implications. Similar research in this area is being intensively conducted in many countries worldwide. Original gas fuel delivery systems with automatic regulation and control of the combined operation modes of diesel and gas fuel delivery systems have been developed. These systems reduce the toxicity of diesel combustion products, improve the accuracy of gas fuel metering, and enhance diesel engine efficiency and safety.

These systems are protected by patents in the Russian Federation and the Republic of Belarus. Bench tests of an engine equipped with the developed alternative gas fuel delivery system revealed that, to achieve the best performance when adding LPG to the intake manifold of a 4ChN 11.0/12.5 diesel engine, it is necessary to limit the LPG delivery to 30 % of the diesel fuel.

Key words: engine building, diesel, alternative fuels, delivery systems, gas fuels, bench tests.

Введение

Традиционный подход к решению энергетических и экологических вопросов в области двигателестроения заключается в совершенствовании существующих конструкций двигателей и их систем с целью улучшения экономичности и снижения токсичности отработавших газов. Однако исследователи и инженеры приходят к выводу о необходимости адаптации двигателей на новые, доступные виды альтернативных топлив. В ближайшие годы будет возрастать роль таких топлив, как сжиженные газы, спирты, эфиры и смесевые топлива.

Разработка эффективных способов комплексного применения газа в двигателестроении – актуальная научно-техническая задача, имеющая важное экономическое и экологическое значение. Подобные исследования в данной области интенсивно ведутся во многих странах мира [1–3].

Итальянская компания «LOVATO» – широко известный поставщик газобаллонных систем для двигателей внутреннего сгорания. Продукция «LOVATO» охватывает всю гамму силовых агрегатов как различных типов автомобилей, так и катеров, скутеров, мотогенераторов и т. д. Она позволяет переоборудовать двигатели для работы на экологически чистом топливе (сжиженном нефтяном и сжатом природном газе). Основным условием функционирования метановой топливной системы транспортных средств является использование баллонов минимального веса, рассчитанных на давление до 32 МПа и выше для увеличения пробега автомобилей. В настоящее время компания «LOVATO» занимает лидирующие позиции на мировом рынке производства газобаллонного оборудования. Своего успеха «LOVATO» добилась в первую очередь благодаря высочайшему качеству продукции при сохранении наилучшего соотношения цена/качество. Высокое качество продукции «LOVATO» подтверждается сертификатом ISO 9001. Производить высокотехнологичное оборудование компании LOVATO позволяют постоянные исследования в собственном научно-испытательном центре. 75 % продукции LOVATO поставляется на экспорт в более чем 50 стран мира.

Голландская фирма «Prins Autogassystemen B.V.» является мировым лидером в развитии альтернативных топливных систем больше 25 лет. Это позволило создать репутацию поставщика инновационных решений для широкого диапазона машин, доступных на рынке сегодня. Система «ГБО PRINS VSI» разработана в тесном сотрудничестве с японской корпорацией «Keihin Corp.» – мировым лидером в изготовлении газовых форсунок. Стабильная работа форсунок «Keihin» гарантируется на протяжении 290 миллионов циклов. Это приблизительно соответствует ресурсу в 200 тысяч километров пробега. В комбинации со специальной стратегией программного обеспечения «ГБО PRINS» позволяет достигнуть превосходных характеристик работы на газу для автомобилей мощностью до 300 кВт. В японских машинах устанавливается одна из самых современных в мире систем «Valve Care», которая сохраняет седла клапанов.

Польско-итальянская компания «D.T. GAS SYSTEM» – один из лидеров на рынке разработчиков газобаллонного оборудования с 1992 года.

У компании «D.T.GAS SYSTEM» есть собственная научно-исследовательская лаборатория, которая разбирается с возникающими проблемами, совершенствует существующие системы ГБО и проводит перспективные исследования для будущих разработок. Исследования проводятся с помощью высокоточного мощностного стенда и других приборов.

Итальянская компания «LANDI RENZO» разрабатывает и производит автомобильное газовое оборудование уже несколько десятков лет. Она располагает научно-исследовательской лабораторией, одной из самых совершенных в Европе. Продукция «Landi Renzo» первой в Италии была сертифицирована по стандарту ISO 9001. Все это гарантирует хорошо продуманную конструкцию газовых установок для автомобилей, превосходное качество изготовления и сборки газового оборудования.

Компания M.T.M. S.r.l. является итальянской производственной компанией, объединенной с компанией из США, которая обладает известной торговой маркой «BRC Gas Equipment» и в настоящее время является мировым лидером в производстве компонент и целостных систем ГБО для переоборудования автомобилей с бензина на пропан и метан и продолжает свое целенаправленное развитие. В производстве ГБО BRC сочетаются традиции, накопленные, более чем за 30 лет работы компании BRC в сфере разработки и производства газобаллонного оборудования, а также самые современные инновации. В исследовательских центрах «BRC Gas Equipment» постоянно происходит усовершенствование систем ГБО и разработка новых систем для перевода на газ различных двигателей, ведь автопромышленность не стоит на месте и двигатели постоянно усовершенствуются.

Компания «LONGAS» была основана в 1963 году и стала одним из современных лидеров газобаллонной индустрии. Совершенствуя систему заправки и подачи газа к редуктору, первой предложила монтировать на горловину баллона сконструированный ими блок, состоящий из поплавка с индикатором уровня газа, заборной трубки, заправочного, расходного и скоростного клапанов. Производство «LONGAS» сертифицировано по международному стандарту качества ISO 9001.

STAG – польская система управления газовым инжектором, зарекомендовавшая себя надежным и качественно работающим комплектом оборудования. Как правило, в комплекте с электронным блоком управления STAG устанавливаются редуктор и блок форсунок итальянского производства (Veltek, Alex, Matrix). Благодаря расширению программного обеспечения блока управления дополнительными функциями, дающими возможность точно дозировать впрыск газа, STAG является оборудованием, удовлетворяющим норме эмиссии выхлопных газов Euro 5. Блок управления предназначен для всех автомобилей, оборудованных 1–8-цилиндровыми бензиновыми двигателями.

Из Российских марок газобаллонного оборудования в первую очередь следует отметить разработку научно-производственной фирмы «САГА». Начиная с 1993 года организовано серийное производ-

ство газобалонного оборудования «САГА-6» на ОАО Пермское агрегатное объединение «Инкар», имеющее многолетний опыт по выпуску топливных систем для авиационных двигателей.

Конструктивные особенности и высокое качество изготовления в производственных условиях авиационного завода обеспечивают безопасность, высокую надежность и простоту эксплуатации.

При разработке системы «САГА-6» было учтено, что главным параметром газа в отличие от бензина является давление. Поэтому была разработана система редуктора-испарителя с одной системой подачи топлива, без остальных систем, которыми оснащен карбюратор. Редуктор поддерживает на выходе постоянное давление независимо от частоты вращения коленчатого вала двигателя и нагрузки. Этого оказалось вполне достаточно для работы двигателя в любом режиме. Система «САГА-6» обеспечивает работу на сжиженном углеводородном газе как карбюраторных двигателей внутреннего сгорания, так и двигателей с инжекторной системой питания без обратной связи.

Компания ООО «Славгаз» разработала редуктор «PeGAS», представляющий собой оригинальную разработку, в которой реализован механизм управления подачей топлива посредством разрежения на эжекторе, что позволяет достичь почти идеальной точности дозирования газа как для карбюраторных двигателей внутреннего сгорания, так и двигателей с инжекторной системой питания.

Отличительными особенностями системы «ЭКОГАЗ» для карбюраторных двигателей внутреннего сгорания и двигателей с инжекторной системой питания являются:

- надежный пуск на газовом топливе как прогретого, так и холодного двигателя;
- стабильная частота вращения коленчатого вала двигателя при работе на холостом ходу в режиме прогрева и при рабочей температуре;
- высокая чувствительность газового редуктора, оснащенного сервоприводом клапана второй ступени, обеспечивающая качественный переход с холостого хода двигателя к нагрузочным режимам и динамичный разгон приближенный к характеристикам двигателя при работе на бензине;
- стабильные, независимо от состава и качества газового топлива, температуры окружающего воздуха, засоренности воздушного фильтра и других изменяющихся условий, рабочие параметры и характеристики. Регулировки достаточно провести только при монтаже газобалонного оборудования.

Также, для автомобилей с инжекторной системой питания компанией разработана и создана система «Фаворит». Для этой системы благодаря солидной научной базе были разработаны и производятся собственные газовые инжекторы, которые по своим основным характеристикам превосходят все известные на сегодняшний день мировые аналоги. Для установки на автомобиль с инжекторной системой питания без обратной связи возможна установка газобалонного оборудования без ЭБУ, разработанного Московской фирмой «СКИФ СЕРВИС ГАЗ».

Для установки на автомобиль с системой питания с обратной связью оборудованных каталитическим нейтрализатором и лямбда-зондом, комплект ГБО доукомплектовывается электронным блоком ТЕС-99 производства итальянской фирмы «Тартарини», электрическим дозатором газа с шаговым электродвигателем той же фирмы, электромагнитными форсунками и другими необходимыми деталями. Электронный блок управления подает газ и регулирует его количество на основе данных, поступающих от лямбда-зонда, датчика положения дроссельной заслонки и датчика частоты вращения коленчатого вала двигателя.

Одним из крупнейших в Республике Беларусь предприятием по выпуску широкого спектра газового оборудования является Новогрудский завод газовой аппаратуры (ОАО «НЗГА»). С 2007 года ОАО «НЗГА» начал выпуск газобаллонного оборудования с распределенным впрыском газа и применением европейских электронных компонентов.

Целью работы является разработка и исследование эффективной системы подачи газового топлива в дизельный двигатель с газотурбинным наддувом.

Основная часть

В Белорусской государственной сельскохозяйственной академии на кафедре тракторов и автомобилей разработан ряд систем подачи газового топлива [4–12], на которые получены патенты на изобретения, и проводятся их исследования на двигателях производства Минского тракторного завода.

В результате анализа недостатков существующих систем подачи газового топлива был разработан ряд оригинальных систем подачи газового топлива во впускной коллектор дизеля для автотракторной техники, защищенных патентами на изобретения и полезные модели Республики Беларусь и Российской Федерации [4–14].

Наиболее точно подача газового топлива может быть реализована с использованием индивидуальных форсунок (рис. 1), подающих газ во впускной коллектор [14].

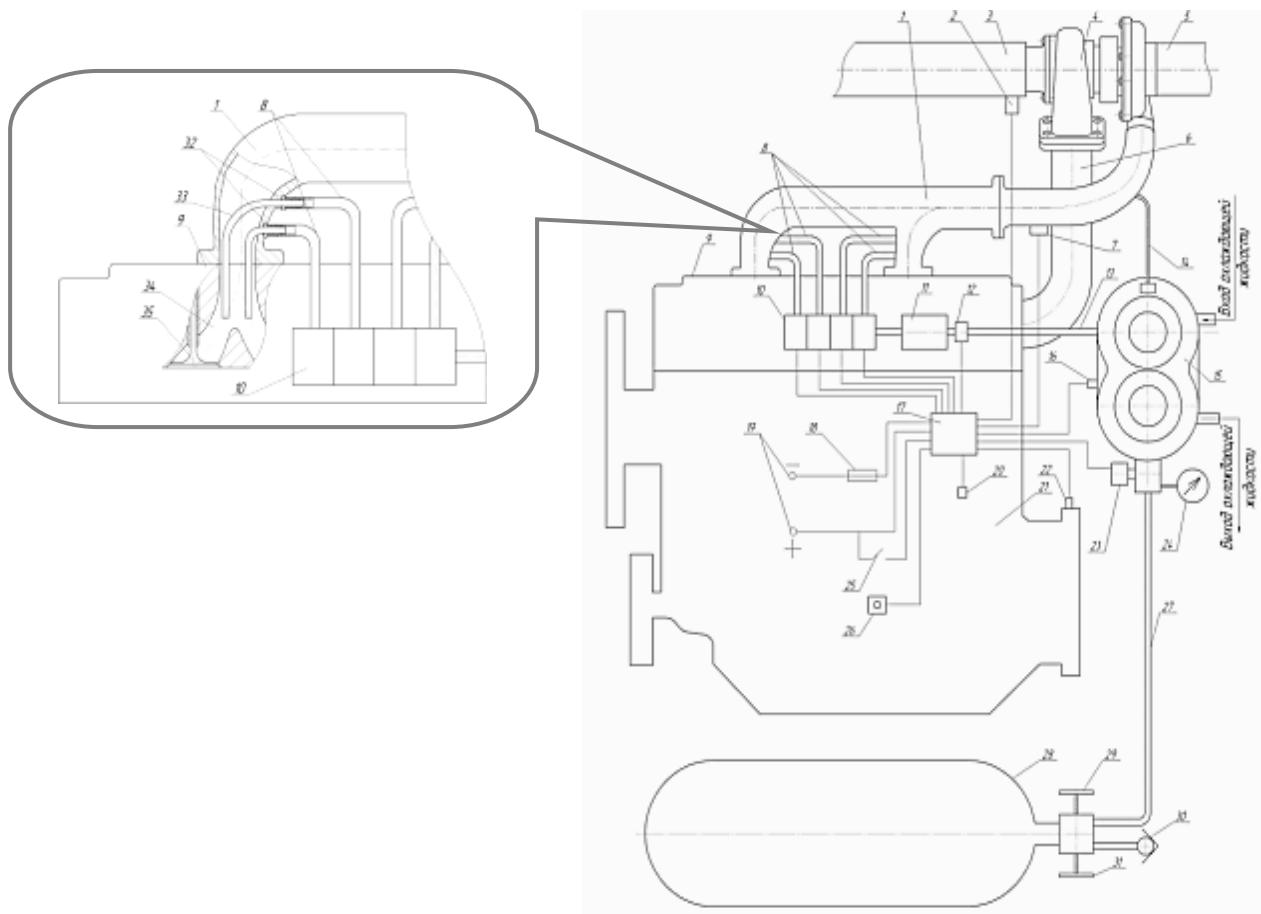


Рис. 1. Электронная система впрыска газового топлива в дизель: 1 – впускной коллектор; 2 – датчик температуры отработавших газов; 3 – приемная труба глушителя шума; 4 – турбокомпрессор; 5 – подающая труба; 6 – выпускной коллектор; 7 – датчик давления наддува; 8 – газовый штуцер; 9 – головка блока цилиндров; 10 – рампа газовых форсунок; 11 – фильтр тонкой очистки; 12 – датчик давления газа; 13 – газопровод; 14 – трубка; 15 – дифференциальный двухступенчатый газовый редуктор; 16 – датчик температуры; 17 – электронный блок управления; 18 – предохранитель; 19 – источник питания; 20 – датчик детонации; 21 – блок цилиндров дизеля; 22 – датчик частоты вращения коленчатого вала; 23 – электромагнитный газовый клапан с фильтрующим элементом; 24 – манометр; 25 – контакты замка зажигания; 26 – включатель газовой системы со звукосветовым индикатором; 27 – газопровод; 28 – источник газа; 29 – расходный вентиль; 30 – заправочное устройство; 31 – наполнительный вентиль; 32 – штуцер; 33 – газовые трубы; 34 – выпускной канал; 35 – выпускной клапан

Для повышения эффективности и равномерности подачи газа решено использовать газовую систему питания с четырьмя форсунками и удлинителями, обеспечивающими подачу газового топлива во впускной коллектор для каждого цилиндра индивидуально. Управление форсунками следует осуществлять программируемым электронным блоком, получающим информацию от датчиков, установленных на двигателе. Подача газового топлива осуществляется от источника газа 28 через расходный вентиль 29 по газопроводу 27 через электромагнитный газовый клапан 23 с фильтрующим элементом, дифференциальный двухступенчатый газовый редуктор 15, газопровод 13 с пониженным давлением и газовый фильтр тонкой очистки 11 к рампе газовых форсунок 10 через газовые штуцеры 8 по газовым трубкам 32, подающим газовое топливо во впускные каналы 34, головки блока цилиндров 9 перед впускными клапанами 35. При длительной работе двигателя с перегрузкой электронный блок управления 17 определяет превышение допустимых параметров от датчиков температуры отработавших газов 2 и (или) детонации 20 и уменьшает длительность генерируемых импульсов на рампу газовых форсунок 10, что приводит к уменьшению подачи газового топлива во впускной коллектор 1. При запуске двигателя и его прогреве подача газового топлива производится не будет до тех пор, пока электронный блок управления 17 получает сигналы от датчиков ниже или выше допустимых параметров. Подача газового топлива во впускной коллектор 1 прекращается электронным блоком управления 17 по сигналу датчика давления газа 12 при снижении давления в источнике газа 28 ниже давления, регулируемого дифференциальным двухступенчатым газовым редуктором 15, при снижении нагрузки на двигатель ниже 50 % от номинальной и принудительно электромагнитным газовым клапаном 23 с фильтрующим элементом, путем отключения его контактом замка зажигания 25 (поворотом ключа

зажигания), нажатием на включатель газовой системы 26 со звукосветовым индикатором или расходным вентилем 29.

В соответствии с разработанной методикой исследований, были проведены стендовые испытания дизеля 4ЧН 11,0/12,5 по оценке влияния подачи СУГ на эффективные и экологические показатели дизеля при изменении нагрузочных и скоростных режимов работы.

На рис. 2 представлена внешняя скоростная характеристика дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при работе на дизельно-газовом топливе. При анализе рисунка видно, что при подаче газового топлива эффективная мощность N_e и крутящий момент M_k остались практически без изменений на уровне заводских, а расход ДТ ($G_{ДТ}$) снижается за счет замещения его газом. Экономия ДТ по внешней скоростной характеристике составляет от 0,5 до 3,65 кг, или 4,3...22,3 %. При этом подача газового топлива составляет от 5 до 22 %. Повышение эффективного КПД дизеля обеспечивается за счет повышения теплоты сгорания топливно-воздушной смеси при уменьшении коэффициента избытка воздуха, что сопровождается интенсификацией процесса выгорания сажевых частиц в цилиндрах двигателя.

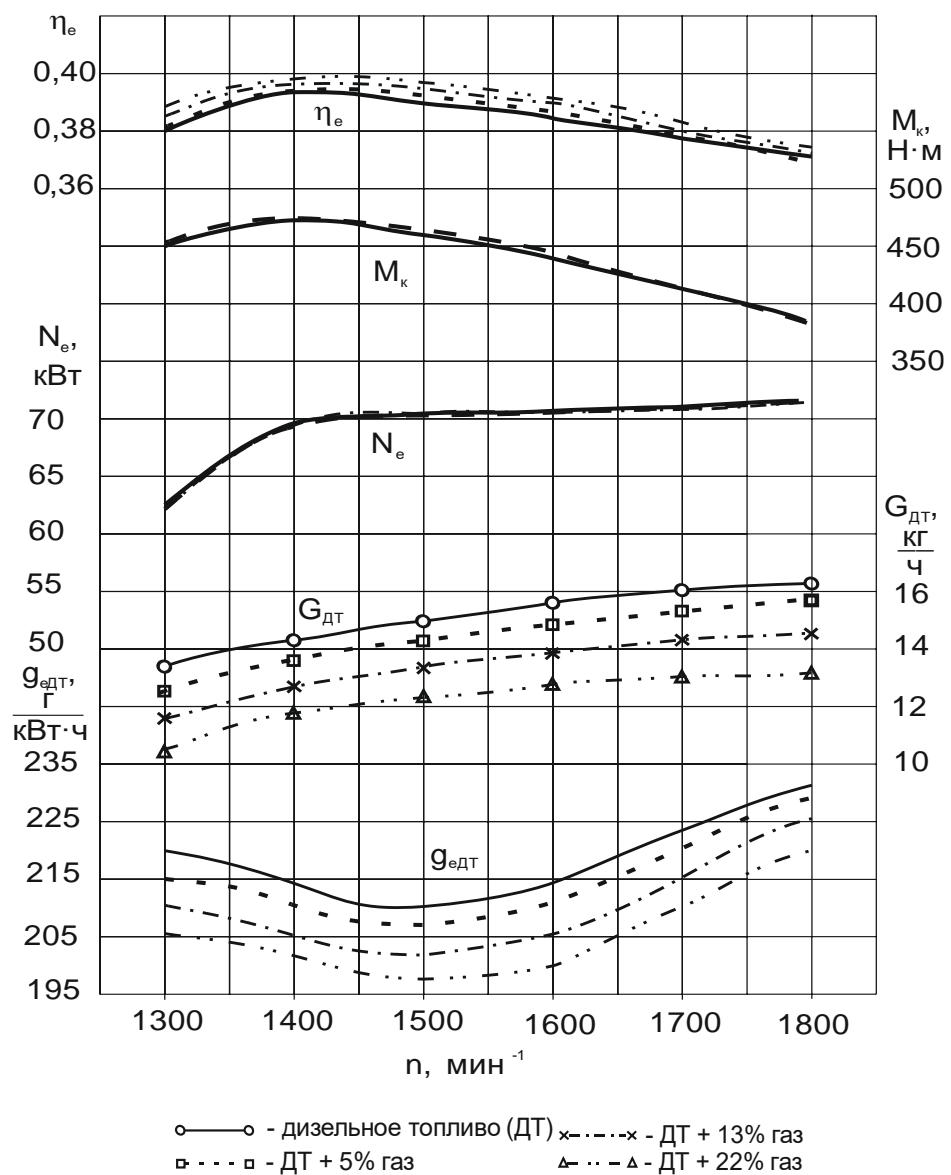


Рис. 2. Внешняя скоростная характеристика дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при работе на ДТ

Влияние применения сжиженного газа на экологические показатели по внешней скоростной характеристике дизеля представлено на рис. 3.

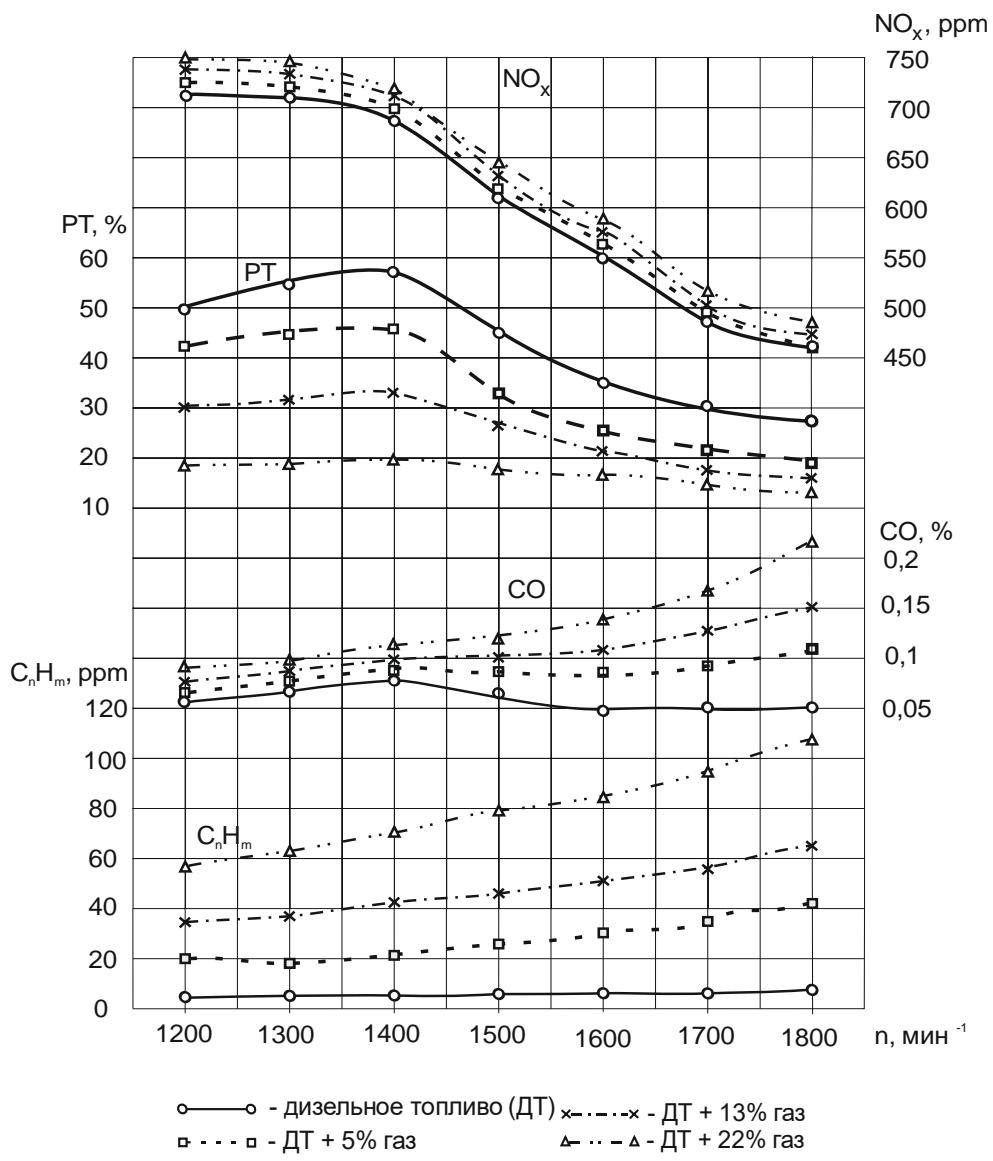


Рис. 3. Влияние применения сжиженного газа на экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 по внешней скоростной характеристике

Увеличение количества окислов азота в ОГ при работе с добавкой СУГ не превышает 10,5 % во всем диапазоне частот вращения коленчатого вала.

Анализируя результаты замера выбросов оксида углерода и углеводородов, видим, что данные показатели изменяются с увеличением количества газа и частоты вращения коленчатого вала. Так, на номинальном режиме при подаче 5, 13 и 22 % газа CO увеличивается в 1,2; 2 и 3,3 раза соответственно, а C_nH_m увеличивается в 5; 7,7 и 14,8 раза соответственно.

Как и следовало ожидать, дымность ОГ дизеля (PT) уменьшается с увеличением количества газа и частоты вращения коленчатого вала на 16...65 %. Так, на номинальном режиме при подаче 5, 13 и 22 % газа дымность снижается на 27,8; 42,2 и 51,5 % соответственно.

Заключение

1. Разработаны оригинальные системы подачи газового топлива с автоматическим регулированием и управлением режимами совместной работы систем подачи дизельного и газового топлива, обеспечивающие уменьшение токсичности продуктов горения дизеля, повышение точности дозирования газового топлива, эффективности, безопасности работы дизеля и защищенные патентами Российской Федерации и Республики Беларусь. Разработана система питания дизеля газовым топливом (пат. РФ № 2633337) с эксплуатационными характеристиками, приближенными к оптимальным значениям.

2. Проведенные стендовые испытания двигателя, оснащенного разработанной системой подачи альтернативного газового топлива, позволили установить, что для получения лучших характеристик

при добавлении СУГ во впускной коллектор дизеля 4ЧН 11,0/12,5 необходимо ограничить подачу СУГ на уровне 30 % от ДТ.

3. Установлено, что подачу газового топлива во впускной коллектор дизеля 4ЧН 11,0/12,5 (Д-245.5S2) в количестве 20...30 % от ДТ наиболее целесообразно обеспечить в области эффективной нагрузки дизеля 0,8...1,0 МПа при частотах вращения 1400...1750 мин⁻¹].

ЛИТЕРАТУРА

1. Альтернативные виды топлива для двигателей: монография / А. Н. Карташевич [и др.]. – Горки: БГСХА, 2012. – 376 с.
2. Карташевич, А. Н. Тракторы и автомобили. Газовое оборудование для автотракторной техники: курс лекций / А. Н. Карташевич, П. Ю. Малышкин, А. А. Сысоев. – Горки: БГСХА, 2012. – 86 с.
3. Карташевич, А. Н. Возобновляемые источники энергии: научно-практическое пособие / А. Н. Карташевич, В. С. Товстыка. – Горки: БГСХА, 2008. – 261 с.
4. Патент BY 21904 Система впрыска газового топлива в двигатель внутреннего сгорания типа дизель: № а 20130429: заявл. 05.04.2013: опубл. 07.02.2018 / А. Н. Карташевич, П. Ю. Малышкин; заявитель и патентообладатель учреждение образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия». –3 с.
5. Полезная модель BY 8104 Система подачи газового топлива в двигатель внутреннего сгорания на переходных режимах: № 20110560, заявл. 11.07.2011, опубл. 03.01.2012 / А. Н. Карташевич, П. Ю. Малышкин, Д. С. Короленок; заявитель и патентообладатель учреждение образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия». –3 с.
6. Патент BY 20669 Система подачи газового топлива в двигатель внутреннего сгорания на переходных режимах его работы: №20130116, заявл. 30.01. 2013, опубл. 28.09.2016 / А. Н. Карташевич, П. Ю. Малышкин; заявитель и патентообладатель учреждение образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академии» – 3 с.
7. Полезная модель BY 12202 Система подачи газового топлива в дизель: №20190044, заявл. 18.02.2019: опубл. 01.11.2019 / А. Н. Карташевич, В. А. Шапорев, П. Ю. Малышкин; заявитель и патентообладатель учреждение образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия». – 3 с.
8. Полезная модель BY 8107 Система подачи газового топлива в дизель: №20110560, заявл. 1107.2011 опубл. 03.01.2012 / А. Н. Карташевич, П. Ю. Малышкин; заявитель и патентообладатель учреждение образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия». –3 с.
9. Полезная модель BY 8351 Система подачи газового топлива в дизель: №20110674, заявл. 05.09.2011 опубл. 03.04.2012 / А. Н. Карташевич, П. Ю. Малышкин; заявитель и патентообладатель учреждение образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия». –3 с.
10. Патент BY 9959. Адаптивная система подачи газового топлива в дизель / А. Н. Карташевич, П. Ю. Малышкин; заявитель и патентообладатель учреждение образования Белорусская государственная сельскохозяйственная академия; №20130087; заявл. 30.01.13; опубл. 15.11.13. – 3 с.
11. Патент RU 2687856 Система подачи дополнительного топлива в дизель. №2018127482, заявл. 25.07.2018: опубл. 16.05.2019/ Ш. В. Бузиков, С. А. Плотников, А. Н. Карташевич, П. Ю. Малышкин; заявитель и патентообладатель федеральное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский государственный университет». – 4 с.
12. Полезная модель BY 10060 Электронная система впрыска газового топлива в дизель: №20130295, заявл. 05.04.2013 опубл. 15.01.2014 / А. Н. Карташевич, П. Ю. Малышкин; заявитель и патентообладатель Учреждение образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия». –3 с.
13. Патент RU 2633337 Электронная система подачи газового топлива в двигатель с наддувом и охлаждением наддувочного воздуха: № 2016117245, заявл. 20.04.2016: опубл. 11.10.2017 / С. А. Плотников, А. Н. Карташевич, П. Ю. Малышкин; заявитель и патентообладатель заявитель и патентообладатель федеральное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский государственный университет». – 5 с.