- 2. Автомобильный справочник Bosch / Bosch, под ред. В.В. Маслова. перевод с английского, М.: ЗАО «КЖИ» «За рулем», 2004. 992с.
 - 3. Diesel Magazine / Editor Beate Berger, April 2007

РАЗРАБОТКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК ТРАНСПОРТНОГО НАЗНАЧЕНИЯ, РАБОТАЮЩИХ НА АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ТОПЛИВАХ

Петров П.П., Савенков А.М., Лапушкин Н.А.

(Научно-производственная фирма "ЭКИП")

Использование компримированного природного газа в качестве моторного топлива экономически выгодно, поскольку его отпускная цена значительно ниже стоимости дизельного топлива. Существующие технологии использования газового топлива предусматривают его воспламенение в цилиндре либо от электрической искры, либо запальной дозой жидкого топлива.

Газодизельные двигатели обладают хорошими потребительскими качествами, позволяют осуществить частичное замещение дизельного топлива газовым (от 50 до 80%), уменьшить дымность отработавших газов в 2 - 4 раза. Однако топливная экономичность сегодняшних газодизельных двигателей ниже дизельных, выбросы вредных веществ также не удовлетворяют международным нормам (особенно, углеводороды и монооксид углерода). Двухтопливная система питания газодизельного двигателя в регионах с критическим снабжением жидким топливом значительно осложняет эксплуатацию транспортных средств.

В форсированных транспортных двигателях, конвертированных из дизелей, воспламенение газового топлива электрической искрой практически не используется, так как требуются значительные изменения конструкции исходного двигателя и не обеспечивается стабильное искрообразование из-за больших давлений в цилиндре в конце сжатия (а, следовательно, стабильности выдаваемой двигателем мощности). Кроме того, выше эксплуатационный расход топлива по сравнению с газодизельным двигателем той же мощности.

В связи с изложенным актуальной является разработка технологий использования природного газа в однотопливном газовом двигателе с воспламенением от сжатия (в газовом дизеле), чтобы снять вопросы получения высокой экономичности и требуемых экологических показателей, а также проблему зависимости транспортных предприятий от конъюнктуры на рынке жидких моторных топлив и их доставки в труднодоступные регионы. Поэтому необходимы новые подходы к организации рабочего процесса газового двигателя, в частности, такие, которые позволили бы создать полноценный газовый двигатель с внешним смесеобразованием и активаторами воспламенения, получаемыми из природного газа непосредственно на борту транспортной силовой установки (СУ).

В качестве активатора воспламенения основной газовоздушной смеси идеально подходит диметиловый эфир. Однако, его получение на борту транспортной установки весьма затруднительно. Процесс получения активаторов состоит из нескольких стадий. Исходным промежуточным продуктом получения различных соединений (метанол, диметиловый эфир и прочие высокомолекулярные углеводороды) является синтез-газ, состоящий, в основном, из водорода и окиси углерода. Синтез-газ получают конверсией метана путем частичного окисления кислородом (воздухом), водяным паром, двуокисью углерода или их смесями.

Практический интерес В качестве химического инициатора горения представляет, прежде существенно всего, сам синтез-газ, т.к. при этом упрощаются системы приготовления, управления подачи воспламенения.

Процесс неполного термического окисления углеводородов происходит по следующей реакции

$$C_n H_{2n+2} + \frac{1}{2} n O_2 + 1,887 n N_2 \leftrightarrow nCO + (n+1)H_2 + 1,887 n N_2$$
.

Получить синтез-газ из метана для наших целей можно двумя путями: наиболее распространенным в промышленности процессом каталитической воздушной конверсии или в химических реакторах сжатия на базе энергетических машин. В последнее время разработано устройство на основе плазменной конверсии метана в синтез-газ (институт водородной энергетики и плазменных технологий при РНЦ «Курчатовский институт»).

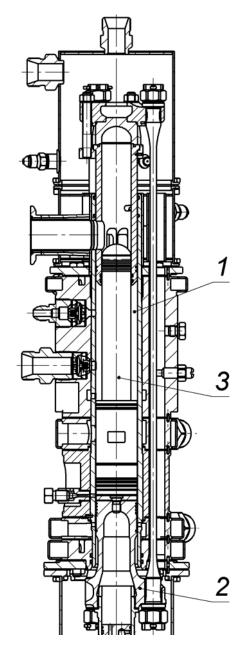
Однако габариты и масса описанных устройств оказываются неприемлемыми для транспортных СУ. Поэтому наибольший практический интерес представляет свободнопоршневой генератор компримированного синтез — газа (СПГКСГ). В таком агрегате можно осуществить реакцию частичного окисления углеводородного сырья при температуре свыше 1800 °С и недостатке кислорода. При наличии в реакторе продуктов сгорания двигателя процесс может проходить даже с коэффициентом избытка воздуха менее 0,25 (стехиометрия для реакции метана). Важным преимуществом предлагаемой технологии является возможность реализации бессажевого процесса конверсии и без катализаторов. По сравнению с традиционными установками СПГКСГ имеет в 5 — 8 раз меньшую массу и в 8 — 11 раз меньшие удельные энергозатраты.

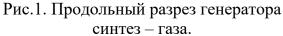
Продольный разрез СПГКСГ при положении поршня (3) в ВМТ реактора представлен на рис. 1. СПГКСГ включает импульсный адиабатический реактор, приводной двигатель и компрессор (1). Приводной двигатель — газовый двухтактный дизель (воспламенение от сжатия) с петлевой продувкой, с подачей топлива в конце продувки, высоким наддувом и полной теплоизоляцией камеры сгорания. Цилиндр двигателя составляет с золотником реактора (2) единую подвижную систему, заключенную в неподвижный цилиндр (1).

Для подачи синтез - газа в цилиндр в конце процесса сжатия разработана аккумуляторная система подачи топлива с электроуправляемыми форсунками (рис.2). Она обеспечивает оптимальный закон впрыска запальной дозы топлива (синтез - газа) в зависимости от скоростного и нагрузочного режимов работы двигателя, что благоприятно сказывается на экономичности двигателя и возможности выполнения международных норм (Евро—5) на выброс в атмосферу токсичных веществ.

Схема силовой установки с однотопливным газовым дизелем транспортного назначения при криогенной системе хранения жидкого метана приведена на рис. 3. Для обеспечения управляемости процесса сгорания во всем диапазоне скоростных и нагрузочных режимов работы двигателя необходимо жестко выдерживать температуру в начале сжатия. Причем ее нужно увеличить на $30\,\,50^\circ$ для номинального режима, т.е. уменьшить промежуточное охлаждение надувочного воздуха и ввести управляемую рециркуляцию продуктов сгорания. При этом возможно снижение мощности двигателя на 8-10%.

Система упростится, если ограничить количество допустимых режимов работы камеры сгорания, и разделить процессы сгорания топлива и производства работы на колесе транспортного средства.





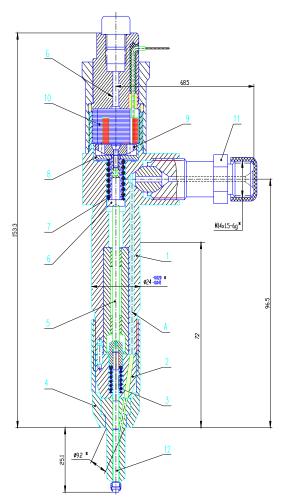


Рис. 2. Клапанно-щелевая форсунка с электронным управлением: 1-корпус форсунки; 2-проставка; 3-пружина форсунки; 4-гайка распылителя; 5-штанга; 6-упор; 7-пружина; 8-экран; 9-якорь; 10-электромагнит; 11-штуцер подвода топлива; 12-клапан форсунки.

Такая организация рабочего процесса характерна для гибридных СУ (ГСУ). Они включают первичный двигатель, генератор (электрический, пневматический или гидравлический) аккумуляторы и обратимые (для рекуперации энергии торможения) тяговые двигатели. Первичный двигатель преобразует химическую энергию топлива в энергию носителя, в качестве которого может быть электрический ток, сжатый газ (воздух), жидкость или механическая энергия, передаваемая от поршня к колесу. Организация работы СУ по раздельному циклу существенно увеличить эксплуатационный КПД позволяет И экологические показатели. Сгорание топлива происходит на расчетных режимах с постоянной мощностью, а необходимую тяговую характеристику и сглаживание колебаний мощности на колесе обеспечивают тяговые двигатели и аккумуляторы рабочего тела. Применение ГСУ позволяет уменьшить установленную мощность первичного двигателя. Выбор рациональной схемы ГСУ в значительной степени определяется типом передачи.

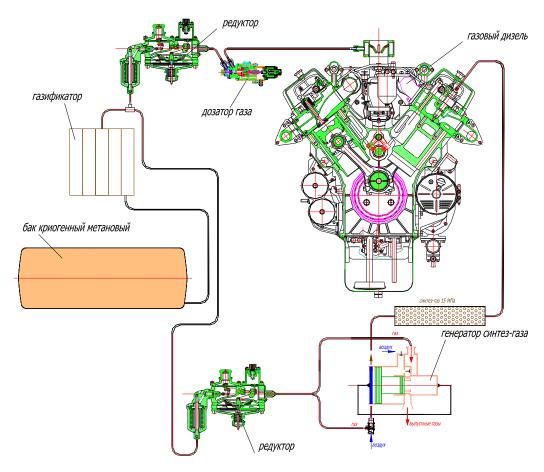


Рис.3. Схема транспортной силовой установки с однотопливным газовым дизелем и криогенной системой хранения жидкого метана.

В случае электрической трансмиссии применяют электрохимические аккумуляторы и молекулярные конденсаторы. Первые ограничены по скорости зарядки и разрядки, а вторые имеют значительные потери на саморазряд. По сравнению с механической коробкой передач система получается более громоздкой, но позволяет рекуперировать энергию торможения.

Гидрообъемная трансмиссия решает те же задачи, что и предыдущая, но основным рабочим телом является жидкость. Гидравлические системы обладают малой постоянной времени, поэтому используются в качестве исполнительносистемах управления, обеспечивая усилительных элементов В быстродействие. Современные гидронасос и гидромотор обладают высоким КПД, соизмеримым с КПД электропередачи, при существенно меньшей массе и стоимости. Обратимый гидравлический двигатель в насосном режиме также пригоден для рекуперации энергии торможения. Эта энергия накапливается в гидропневматических аккумуляторах. зрения эффективного C точки аккумулирования энергии гидравлическая часть системы является избыточной. Использование для зарядки аккумуляторов азота и разделителя сред с учетом дополнительных потерь в гидромоторе и гидронасосе ограничивает применение данной схемы гибридной СУ.

В случае пневматической передачи в качестве рабочего тела используется воздух и (или) продукты сгорания топлива. От предыдущих типов передач она отличается тем, что это единственный тип передачи, который может повысить КПД на колесе по сравнению с КПД исходного двигателя за счет регенерации энергии выхлопных газов.

Во всех рассмотренных случаях система оказывается громоздкой. Это происходит из-за того, что первичный двигатель (ДВС с КШМ) переразмерен по условиям разгона, имеет ограниченные возможности и лишние звенья передач и преобразователей. В случае гидравлической или пневматической передач при мощностях до 1000 кВт используются объемные расширительные машины (ОРМ). В результате поступательное движение поршня ДВС преобразуется во вращательное коленчатого вала, а затем вращательное движение приводного вала гидронасоса или компрессора в поступательное движение плунжера или поршня. Очевидно, что вращательное движение здесь лишнее. Избыточные связи приводят:

- к увеличению массы, объема и стоимости СУ,
- к увеличению потерь при преобразовании поступательного движения во вращательное и обратно,
- накладывают дополнительные ограничения на параметры рабочего процесса первичного двигателя.

Если поршни первичного двигателя и преобразователя (генератора) соединить, то получим свободнопоршневой двигатель-генератор, т.е. свободнопоршневой двигатель-гидронасос (СПДГН), свободнопоршневой двигатель-компрессор (СПДК), свободнопоршневой двигатель - линейный электрогенератор, или генератор рабочего тела (ГРТ) в виде продуктов сгорания. Возможна комбинация всех перечисленных вариантов.

ГСУ в составе СПД и ОРМ вырождается в обычный комбинированный СПД (КСПД) с двумя потоками мощности (продукты сгорания и сжатый воздух) и аккумуляторами рабочего тела, которые обеспечивают покрытие пиковых нагрузок и рекуперацию энергии торможения.

На рис. 4 приведен вариант исполнения OPM. Дифференциальный поршень обеспечивает двухступенчатое расширение — сжатие рабочего тела, а также раздельное расширение продуктов сгорания и воздуха.

Соотношение площадей поршней зависит от максимального и минимального давления воздуха в пневмопередаче и принятой схемы разделения газовых потоков.

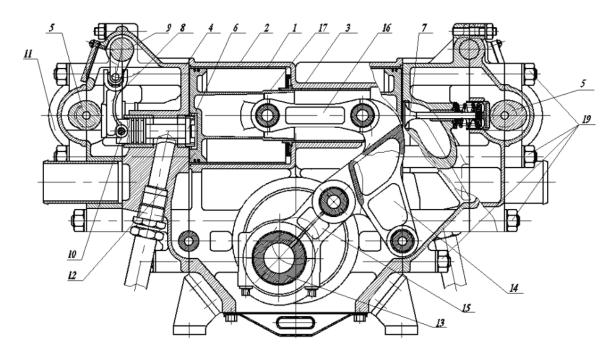


Рис.4. Поперечный разрез поршневого детандера.

На рис. 5 приведен продольный разрез базового модуля СПД, который в зависимости от назначения может работать в режимах СПДГН, СПДК, ГРТ, на привод линейного электрогенератора или в их комбинации.

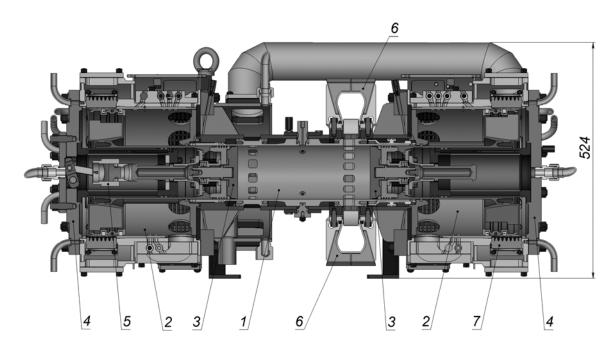


Рис. 5. Свободнопоршневой двигатель 1МП120: 1-остов, 2-компрессоры, 3-поршни, 4-буферные крышки, 5-механизм пуска, 6-выхлопные патрубки, 7-клапаны.

Применение СПД позволяет убрать лишние передающие и преобразующие энергию или движение звенья, т.е. уменьшить диссипативные потери и снять ограничения, препятствующие росту КПД. Длительные режимы холостого хода либо исключаются (пусковые качества СПД это позволяют), либо средневзвешенная частота циклов доводится до уровня 10 в мин. Тепловой режим можно обеспечить рециркуляцией выхлопных газов или с помощью теплового аккумулятора. Поэтому эксплуатационный КПД КСПД может достигать 40 – 45%. За счет рекуперации энергии торможения эксплуатационный КПД можно довести до 50%.

Дальнейшее развитие эта схема получает, если воздушные аккумуляторы заряжают холодным (при температуре окружающей среды) сжатым воздухом при экипировке транспортного средства, а перед расширением в ОРМ воздух подогревают в регенераторе продуктами сгорания СПД или в тепловом аккумуляторе.

В этом случае не только обеспечивается кратковременный «зеленый» режим работы силовой установки, но и утилизируется энергия выхлопа, т.е. коэффициент эффективного использования теплоты топлива на транспорте можно довести до 65 – 75%. Получение сжатого воздуха в ночное время увеличивает загрузку электростанций, а выделяемое при сжатии тепло утилизируется на нужды отопления. Четырегенерация (электроэнергия, тепло, холод и энергоноситель) особенно перспективна для мегаполисов и регионов с высокой долей генерирующих мощностей, работающих в базовом режиме.

Унифицированные СПД в составе генерирующих модулей при падении нагрузки менее 50% можно переводить в режим компрессора, тогда устраняются потери, связанные с преобразованием энергии продуктов сгорания в

электроэнергию, а затем в энергию сжатого воздуха. Этот воздух используется на ближайшей автозаправочной станции и для покрытия пиковых нагрузок. Следовательно на базе СПД можно создавать высокоманевренные энергоблоки, работающие в режимах ко-, три- и четыре генерации.

Таким образом, показана возможность осуществления однотопливного рабочего процесса газового дизеля с воспламенением от сжатия с высокими экологическими показателями на уровне международных стандартов. Существенное улучшение экологических показателей и эксплуатационной экономичности достигается в гибридных СУ.

Централизованное аккумулирование энергии путем сжатия воздуха и заправка им автотранспорта с гибридными СУ позволяет:

- утилизировать бросовое тепло автомобилей на нужды отопления,
- выровнять суточный график энергопотребления,
- использовать сжатый воздух для покрытия пиковых нагрузок,
- снизить эксплуатационный расход топлива автотранспортом и выбросы вредных веществ;
 - снизить общий уровень загрязнений в мега- и экополисах.

Дальнейшее совершенствование показателей достигается в гибридных силовых установках на базе СПД.

1. РАБОЧИЕ ПРОЦЕССЫ ДВИГАТЕЛЕЙ

К ВЫВОДУ ФОРМУЛЫ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕПЛООБМЕНА В ЦИЛИНДРЕ ПОРШНЕВОГО ДВС

Агуреев И. Е. (Тульский государственный университет)

В работе [1] исследовалась формула для расчета коэффициента теплообмена в цилиндре поршневого ДВС с учетом нестационарных процессов. В настоящей статье приведен подробный вывод исследованной зависимости, обсуждаются возможности ее использования и уточнения.

Отметим, что основной целью этого вывода является получение такой формулы для коэффициента теплообмена, которая явно содержала бы кинематические параметры пограничного слоя (в данном случае — поперечную составляющую скорости v). Актуальность задачи вполне очевидна, т.к. в большинстве случаев в α -формулах используется либо средняя скорость поршня, либо искусственно вводимые кинематические параметры.

В рамках синергетического подхода, который был впервые применен для построения и исследования динамических моделей ДВС в работах [2, 3] и развит в последующем [4], двигатель является нелинейной, существенно неравновесной системой, в которой могут происходить процессы возникновения диссипативных структур и явления самоорганизации. С практической точки зрения важность этого подхода заключается в возможности подбора такого сочетания параметров и управления режимами работы ДВС, чтобы возникающие диссипативные структуры обеспечивали наиболее эффективную работу двигателя в как можно более широком диапазоне режимов. Примером использования самоорганизации может послужить, например, широко известная регулируемая система впуска, когда волновые процессы согласованы со скоростными режимами. Очевидно, что