

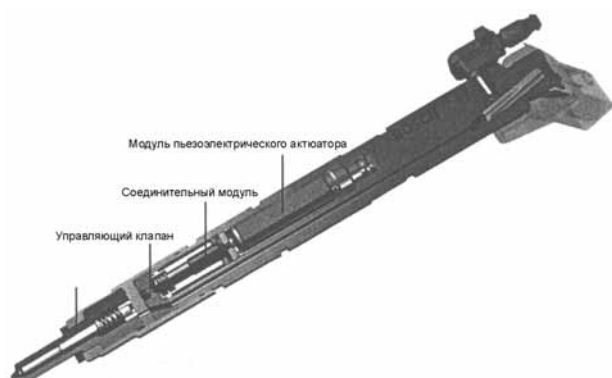
## ПО СТРАНИЦАМ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ЖУРНАЛОВ

Материал подготовил к.т.н. Г.В. Мельник



### БОШ: СИСТЕМЫ ВПРЫСКА БУДУЩЕГО

Время срабатывания новой пьезоэлектрической форсунки — менее десяти миллисекунд. В ней используется пакет из нескольких сотен миниатюрных кристаллов, встроенный в корпус форсунки. Пакет пьезокристаллов передает движение на быстродействующую иглу форсунки без трения.



В Центре испытаний транспортных средств в Боксберге (Германия) фирма Robert Bosch GmbH провела презентацию своих последних разработок в области систем впрыска для бензиновых и дизельных двигателей.

В части дизельных разработок была представлена система *common rail* третьего поколения с использованием компактных быстродействующих форсунок пакетного типа. Эта система может стать одним из решающих факторов в деле обеспечения соответствия новых двигателей европейским экологическим стандартам, которые должны вступить в действие в ближайшие годы.

Кроме того, в 2005 году компания рассчитывает внедрить усовершенствованный распылитель переменного сечения, который позволит снизить уровень шума и вредных выбросов; кроме того, она будет продолжать работу над системами дожигания выхлопных газов,

применение которых на некоторых типах автомобилей и других транспортных средств вскоре станет обязательным.

В отличие от обычных систем *common rail* с электромагнитными форсунками, в новой системе использован эффект расширения пьезокристаллов в электрическом поле, что позволило поднять быстродействие более чем в два раза. При этом используется пакет из нескольких сотен тончайших миниатюрных кристаллов.

В приводе дозирующего устройства нет механических деталей и отсутствует трение. Благодаря этому удалось добиться более точного дозирования и более мелкого распыления топлива по сравнению с электромагнитными и обычными пьезоэлектрическими форсунками. Повышенное быстродействие дает возможность уменьшить интервал между последовательными впрысками, что, в свою очередь, повышает управляемость процесса впрыска.

В результате снижается расход топлива, количество вредных выбросов и шум двигателя, а его мощность возрастает. Еще одно преимущество новой системы — малый расход топлива в линии возврата. Это — немаловажное обстоятельство, поскольку в системах *common rail* возврат топлива связан с потерей значительной энергии, затраченной на его сжатие. Оно позволило уменьшить производительность ТНВД и снизить мощность, необходимую для его привода. Повышение точности дозирования топлива и регулирования времени начала и конца впрыска позволило снизить уровень вредных выбросов.

Например, введение одного или двух предварительных впрысков предотвращает выделение белого и синего дыма при холодном пуске двигателя и способствует снижению шума. Дополнительный впрыск, следующий непосредственно за главным впрыском, снижает сажеобразование,

а с помощью еще одного дополнительного впрыска можно обеспечить регенерацию фильтров твердых частиц (если такие фильтры имеются).

В целом система третьего поколения с рядными пьезокристаллическими форсунками способна обеспечить снижение вредных выбросов на 20 % по сравнению с электромагнитными и

пьезоэлектрическими форсунками обычного типа. В 2006 году Bosch предполагает провести дальнейшее усовершенствование системы *common rail*. В частности, рассматриваются возможности повышения давления впрыска до 2000 бар и выше, а также применения форсунок с изменяемой геометрией впрыска.

*Diesel Progress International, 2004*

## ЕМИТЕС НАЧИНАЕТ ПРОИЗВОДСТВО ФИЛЬТРУЮЩИХ КАТАЛИЗАТОРОВ

В фильтрующих катализаторах Emitec используется металлический носитель. Его структура в виде открытых каналов обеспечивает эффективное удаление микрочастиц, и не подвержена засорению в процессе селективной фильтрации сажи.

Фирма Emitec Gesellschaft fuer Emissionstechnologie mbH — ведущий поставщик катализаторов на металлическом носителе — начала выпуск фильтрующих катализаторов, снижающих содержание сажи в дизельном выхлопе.

Фирма Emitec, расположенная в г. Ломар (Lohmar), Германия, позиционирует PM Filter Cat (фильтрующий катализатор) как высокоэффективную систему с каталитическим компонентом на металлическом носителе. Его структура в виде открытых каналов обеспечивает эффективное удаление микрочастиц, и, в отличие от аналогов, устойчива к засорению в процессе селективной фильтрации сажи. Фильтр свободно пропускает частицы золы, не влияющие на состояние окружающей среды. Даже при большом содержании сажи в выхлопе противодавление в системе повышается незначительно и почти не оказывает влияния на параметры работы двигателя.

Новый сепаратор частиц разбивает поток выхлопных газов, направляя его в смежные каналы. Конструкция ячеек по существу та же, что и в стандартных носителях Emitec типа METALIT.

Надрезы в виде лезвий на слоях гофрированной фольги (смесителях) направляют поток газов через металлическую ткань в соседние каналы.

Кроме того, в PM Filter Cat имеется плоский слой, т. е. тонкий пористый слой из металлической сетки или металловолокна, который задерживает значительную часть сажи. Во время работы двигателя осевшие на фильтре частицы сажи разрушаются. При температуре выхлопа этот процесс идет непрерывно за счет окисления углерода двуокисью азота ( $\text{NO}_2$ ) из окисляющего каталитического нейтрализатора, расположенного перед фильтром.

Эффективность системы PM Filter Cat подтверждена испытаниями на двигателе. Уровень выбросов несгоревших углеводорода (НС) и окиси углерода (СО) чрезвычайно низок ввиду их полного окисления в системе PM Filter Cat с покрытием или в каталитическом нейтрализаторе, расположенном перед фильтром. PM Filter Cat фильтрует главным образом малые частицы размером от 20 до 100 нанометров, а коэффициент конверсии составляет от 75 до 90 и более процентов. На фильтре задерживается 80 % сажи (по числу частиц), или 30 % — по массе. Указанные преимущества полностью реализуются в новой системе PM Filter Cat при условии, что сама эта система используется в качестве окисляющего каталитического нейтрализатора с покрытием. При этом PM Filter Cat, как и окисляющий каталитический нейтрализатор, расположенный перед фильтром, не только окисляет СО и НС, превращая их в нормальные атмосферные компоненты, но и переводит окись азота (NO) в  $\text{NO}_2$ . Уменьшение количества и массы частиц происходит за счет непрерывного сгорания задержанных фильтром частиц в потоке  $\text{NO}_2$ . Продуктом этой реакции является NO, которая, окисляясь, снова превращается в  $\text{NO}_2$  и может вновь реагировать с сажой. Высокая эффективность металлических ячеек из гофрированной фольги (смесителей) Emitec объясняет тем, что каналы между входом и выходом не закрыты на всем своем протяжении, а сообщаются друг с другом, выравнивая тем самым потоки и концентрацию сажи внутри фильтра.

Диаметр и длина элементов конвертера PM Filter Cat зависят от размеров двигателя. В зависимости от располагаемого объема, можно использовать либо один носитель катализатора большого диаметра, либо несколько параллельных носителей меньшего диаметра.

PM Filter Cat можно также использовать в сочетании с обычными фильтрами твердых частиц. Окисляющий каталитический нейтрализатор необходим в любом случае, и PM Filter

Cat идеально подходит для этой цели. Он преобразует HC и CO, дополнительно производит NO<sub>2</sub>, и действуя в качестве фильтра предварительной очистки, снижает массу частиц в потоке газа как минимум на 30 %, а количество наночастиц — не менее чем на 90 %. За ним может быть установлен обычный фильтр

твердых частиц. Поэтому применение PM Filter Cat позволяет увеличить интервалы регенерации между рабочими периодами. С учетом этого обстоятельства обычный фильтр твердых частиц может быть уменьшен в размерах и сделан более компактным.

*Diesel Progress International, 2004*

## MTU СОЗДАЕТ ЭНЕРГОМОДУЛИ НА ТОПЛИВНЫХ ЯЧЕЙКАХ ДЛЯ НЕТРАНСПОРТНЫХ ПРИМЕНЕНИЙ

Корпорация Daimler-Chrysler является одним из пионеров использования топливных ячеек в качестве источника питания транспортных установок. В 2003 году был построен первый из 30 городских автобусов Mercedes-Benz на топливных ячейках для 10 европейских городов по программам CUTE («Чистый городской транспорт для Европы») и ECTOS («Экологическая система городского транспорта»). Одновременно MTU Friedrichshafen, дочерняя компания Daimler-Chrysler, занялась разработкой подобных систем для стационарных и судовых установок.

Уровень выбросов топливных ячеек настолько мал, что германский стандарт TA-Luft классифицирует выхлоп установки не как «выхлопные газы», а как «выхлопной воздух».

В середине 2003 года фирма MTU создала совместное предприятие с Fuel Cells GmbH of Essen по созданию модуля топливных ячеек Hot Module для когенерационных установок. В октябре 2003 года MTU объявила о постройке первой в мире парусной яхты со вспомогательной силовой установкой на топливных ячейках, сертифицированной Германским Ллойдом.

Эти пилотные установки используют различные технологии. В системе HotModule, основанной на CFC (карбонатных ячейках), энергия вырабатывается в слое расплавленного карбоната. В силовой установке яхты используется система CoolCell, в основе которой лежит ячейка с PEM (протонообменной мембраной), где обмен зарядами происходит через полимерную мембрану. Соответственно рабочая температура в CoolCell составляет всего 65 °C против 650 °C в HotModule.

Фирма RWE Fuel Cells, которой принадлежит 25,1 % акций совместного предприятия с MTU, насчитывает 70 человек, занятых разработкой и производством модулей топливных ячеек мощностью от 200 кВт до 3 МВт.

HotModule по существу представляет собой миниатюрную автономную электростанцию универсального назначения. Помимо электричества, система производит также высоко-

потенциальную тепловую энергию, которая может быть использована, например, для термообработки компонентов в фармацевтической и пищевой промышленности, а также для отопления и кондиционирования воздуха. Кроме того, HotModule может быть использован в качестве резервного источника питания больниц, телекоммуникационных и вычислительных центров. Первая стационарная ячейка для HotModule была создана в 1989 году. Начало серийного производства HotModule запланировано на 2006 год.

От обычных когенерационных систем HotModule отличается значительно больший КПД и существенно меньшая нагрузка на окружающую среду. Мощность блока ячеек, выпускаемого для MTU компанией Fuel Cell Energy (FCE), составляет 270 кВт. Кроме того, система может генерировать 180 кВт тепловой энергии, обеспечивая тем самым общий КПД свыше 90 %. Выбросы окислов азота и серы практически равны нулю, так что выхлоп установки состоит почти исключительно из теплого воздуха и водяного пара.

Особенности рабочего процесса обеспечивают чрезвычайно высокое качество электроэнергии и высокую надежность энергоснабжения. Среди преимуществ системы — низкий уровень шума, отсутствие движущихся частей, и, как следствие, — низкие требования к обслуживанию.

Пока препятствием для широкого применения HotModule на транспорте является низкая удельная мощность.

Например, HotModule мощностью 247 кВт по своим габаритам соответствует газовому двигателю с объемом цилиндра 4 л, электрическая мощность которого примерно в шесть раз выше. Однако, по мнению разработчиков, даже на нынешней, самой ранней стадии развития, HotModule по экономическим показателям превосходит изделия конкурентов, а главное — в нем заложен огромный потенциал для дальнейшего совершенствования. Уже сегодня есть возможность разместить в тех же габаритах, как минимум, еще один блок топливных элементов.

Система — это комбинированная система электропитания, включающая в себя свинцовые батареи и несколько топливных ячеек производства Bollard Power Systems. Система построена по модульному принципу и обеспечивает гибкость конфигурации в зависимости от требований конкретного применения. Это обеспечивает возможность ее использования также и в других транспортных установках, в том числе на гражданских и военных судах, а также на железной дороге. Система состоит из девяти свинцовых аккумуляторов и четырех топливных ячеек мощностью по 1,2 кВт каждая. Общая располагаемая мощность составляет 20 кВт. При скорости 6 км/ч дальность плавания яхты без

парусов составляет 225 км, при скорости 12 км/ч — 25 км. Если требуется более высокая скорость, то система может обеспечить мощность 15 кВт в течение часа. В любой момент времени блок топливных ячеек может обеспечить прямое питание двигателей (без аккумуляторов) мощностью 4 кВт (возможно увеличение до 6 кВт).

Полное отсутствие шума и вредных выбросов особенно ценно, учитывая, что озеро Констанс (на берегах которого расположены заводы фирмы MTU) является крупнейшим в Европе хранилищем питьевой воды, обеспечивающим водой несколько миллионов человек.

*Diesel Progress International 2004*

### КАК ДОСТИЧЬ УРОВНЯ ВЫБРОСОВ ЕВРО-4 В ДВИГАТЕЛЯХ ТРАНСПОРТНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Система комплексного управления вредными выбросами на основе избирательного каталитического восстановления с впрыском мочевины.

Фирма Cummins Inc. объявила о своих планах по переходу на новый экологический стандарт Euro-4, требования которого будут достигнуты за счет применения новой системы двигателя—доочистка, названной IEM («Система комплексного управления вредными выбросами»). Эта система должна обеспечить не только снижение содержания NO, CO, углеводородов и частиц в выхлопных газах, но и повышение удельной мощности и топливной экономичности двигателя. По мнению фирмы, внедрение Euro-4 будет способствовать созданию комплексной системы управления наддувом, топливоподачей и процессом сгорания, а также электронного управления, фильтрации и доочистки выхлопа.

По словам Джона Кэррола, генерального директора по продажам автомобильных двигателей Cummins в Европе, его фирма меняет свой статус, превращаясь из традиционного поставщика двигателей в поставщика комплексной системы двигатель—доочистка. Он считает, что система IEM позволяет Cummins в 2008 году без труда выйти на уровень требований Euro-5, для чего достаточно будет провести лишь небольшую конструктивную доработку. В результате автомобилестроители получают унифицированную силовую установку, способную обеспечить их потребности на несколько лет вперед.

Основным компонентом системы IEM является модуль избирательного каталитического восстановления (SCR) с соответствующим модулем управления. Применение модуля SCR

в сочетании с системами управления впрыском, сгоранием и подачей воздуха позволяет снизить выброс NO на 30 %, а частиц — на 80 % по сравнению с нормами Euro-3. Будут снижены также выбросы углеводородов и окиси углерода.

Интеллектуальная система электронного управления позволяет дозировать впрыск мочевины перед селективным катализатором в зависимости от нагрузки и режима работы двигателя. Электронное управление обеспечивает максимальную эффективность реакции каталитического восстановления (за счет выделения аммиака из мочевины) и постоянство противодавления на всех режимах.

Система равно пригодна для всех автомобильных двигателей Cummins, устанавливаемых как на легких грузовиках, так и на автобусах большой вместимости.

Данная технология была выбрана в результате тщательного изучения различных методов снижения выбросов и шума, после испытаний самых разнообразных видов катализаторов.

Мочевина впрыскивается в количестве 5 % от подачи топлива. Она хранится в баке, емкость которого составляет от одного до трех объемов топливного бака.

Несмотря на то что бак с мочевиной и система дозирования требуют дополнительного места, это с лихвой окупается снижением выбросов, повышением удельной мощности на 10 % и снижением расхода топлива на 5 %. Тем самым, по мнению Саймона Геста, (руководителя работ по внедрению системы) опровергается устоявшееся представление о том, что выполнение требований Euro-4 неизбежно ведет к снижению КПД дизеля.

*Diesel Progress International 2003*

# Двигатель

## ДИМЕТИЛОВЫЙ ЭФИР — АЛЬТЕРНАТИВНОЕ ТОПЛИВО ДЛЯ ДИЗЕЛЯ

Диметиловый эфир (ДМЭ -  $\text{CH}_3\text{-O-CH}_3$ ) — простейший эфир, нашедший применение в косметической промышленности в качестве газ-вытеснителя в аэрозольных баллонах благодаря благоприятным экологическим характеристикам. ДМЭ характеризуется коротким полупериодом жизни в тропосфере (менее одного дня), не поступает в стратосферу, полностью разлагается до воды и двуокиси углерода, нетоксичен, неканцерогенен, немутагенен. Он бесцветен, почти не имеет запаха и по внешнему виду напоминает воду. Диметиловый эфир — возобновляемое альтернативное топливо, поскольку для его производства используется синтез-газ, состоящий из смеси оксидов углерода и углеводородов и получаемый, например, из биомассы. Впрочем, наиболее дешевым источником для получения синтез-газа остается природный газ.

В России исследования диметилового эфира как альтернативного топлива для дизелей ведет ФГУП НИИД.

Было изготовлено несколько вариантов конструкции новой топливной системы, разработан

алгоритм управления, изучены процессы функционирования элементов и агрегатов системы. Проводились стендовые испытания различных вариантов системы и их отдельных комплектов с эксплуатацией как на ДМЭ, так и на обычном дизельном топливе (ДТ). Результаты работ позволили изготовить партию рефрижераторов (10 единиц) на базе автомобиля ЗИЛ-5301 «Бычок», на которых ДМЭ используется в качестве моторного топлива и хладагента.

Для гибкого использования в условиях московского региона при ограниченной (в первые годы применения) сети заправочных станций ДМЭ, а также для обеспечения показателей надежности в макете автомобиля ЗИЛ-5301 «Бычок» предусмотрена возможность работы на двух топливах: ДМЭ и дизельном топливе.

Испытания показали, что автомобиль ЗИЛ-5301 «Бычок» устойчиво работает как на диметиловом эфире, так и дизельном топливе, нормально управляется и имеет хорошие динамические характеристики.

*Двигатель № 4 (34), 2004*



## ВОДОРОД — ЭНЕРГОНОСИТЕЛЬ XXI ВЕКА

К началу XXI столетия в энергоустановках различных типов ежегодно сжигалось более 3 млрд т нефти, потребляя при этом 45–50 млрд т воздуха и выбрасывая в атмосферу до 300 кг вредных и опасных веществ на каждого жителя Земли. Наиболее энергоемким и экологически опасным считается автомобильный транспорт. Сегодня более 700 млн машин потребляют более 1/3 добываемой нефти.

Все это заставляет обратиться к альтернативным видам топлива. Среди них особое место занимает водород с его уникальными свойствами:

- высокая теплотворная способность  $H_{и} = 120$  МДж/кг ( $H_{и}$  природного газа и нефтяных топлив равна 30–50 МДж/кг);

- высокий КПД электрохимических генераторов тока (ЭХГ) на водороде (до 70 %);

- универсальность (может использоваться и как высокоэффективный энергоноситель, и как ценное химическое сырье);

- экологически безопасен (при окислении не образует твердых и токсичных отходов).

Запасы сырья для получения водорода неограничены.

Традиционный способ — каталитическая конверсия углеводородов — требует значительных затрат энергии и не отвечает требованиям экологии. К тому же запасы нефти и газа сокращаются, а их стоимость растет. Необходимо освоить получение водорода из воды с помощью электролиза, плазмохимических и термохимических циклов. Наиболее перспективен, по мнению авторов, электролиз, позволяющий разделять водород и кислород непосредственно в ходе реакции. В результате получается водород

чистотой 99,99 %. Процесс экологически чист, затраты энергии составляют 20–22 МДж/м<sup>3</sup> Н<sub>2</sub>. В перспективе эта цифра должна снизиться более чем вдвое.

#### Водород в ДВС

Для повышения экономичности и экологичности бензиновых ДВС до уровня дизелей было предложено использовать водород в качестве моторного топлива или как добавку к бензину. Как известно, обеднение смеси заметно повышает КПД двигателя, особенно при малых нагрузках. Даже небольшие (5–10 %) добавки водорода к топливу позволяют получить такую степень обеднения смеси, которую невозможно достичь при любом другом способе.

По данным НАМИ и Института проблем машиностроения НАН Украины, бензоводородные композиции повышают КПД двигателя на 10–15 %, а при долевых нагрузках — на 17–22 %. Перевод ДВС на водород (чистый или с бензином), наряду с повышением экономичности, значительно снижает вредные выбросы (особенно NO<sub>x</sub>).

#### Энергетические водородные установки

Экологически чистые энергоустановки для автомобиля можно создать при использовании ЭХГ, работающих на привод колес. В этом случае КПД генератора достигает 70 %, а «холодное горение» водорода в топливном элементе (ТЭ) исключает образование каких-либо вредных соединений, так как продуктом реакции является только вода. В отличие от аккумулятора электромобиля, к батарее ТЭ непрерывно подводятся реагенты (горючее и окислитель), что значительно увеличивает ее энергоемкость. Так, удельная энергоемкость ЭХГ составляет около 1000 Вт·ч/кг, что в 10 раз превышает этот параметр аккумуляторных батарей (100 Вт·ч/кг). Кроме того, ТЭ обладают низкой удельной массой 1,2–5 кг/кВт (в перспективе — 0,8–1 кг/кВт), компактностью 2–5 л/кВт (в перспективе — 0,6–1 л/кВт), способностью к многократным перегрузкам по току, низкой

рабочей температурой, что намного ускоряет пуск ЭУ и выход на номинальную мощность.

В настоящее время разработаны ЭХГ на основе топливных элементов со щелочным (ЩТЭ), твердополимерным (ТПТЭ), фосфорнокислым (ФКТЭ), расплавленным карбонатным (РКТЭ) и твердооксидным (ТОТЭ) электролитом. Для транспортных средств больше подходит ЩТЭ или ТПТЭ. ЭХГ состоит из батареи ТЭ, систем подготовки и подачи водорода и воздуха, а также охлаждения ТЭ.

В 1990-х годах за рубежом активно начались разработки ТПТЭ на электролите с протонной проводимостью. Он представляет собой энергоаккумулятор, к аноду (пористая углеродная структура) которого подводится водород. В результате реакции в присутствии катализатора (Pt) H превращается в положительно заряженный ион, проходящий через электролит к катоду. Освободившийся электрон через внешнюю цепь также поступает к катоду, где с участием кислорода образуется вода, которая удаляется из катодного пространства циркулирующим воздухом, а выделяющееся тепло отводится охлаждающей жидкостью в окружающую среду.

ФГУП «Исследовательский центр им. М.В. Келдыша» и РНЦ «Курчатовский институт» спроектировали батарею с ТПТЭ из четырех модулей по 15 кВт каждый. Модульный принцип позволяет применять топливные элементы как в составе транспортных средств (N = 30–60 кВт), так и в системах автономного или резервного питания децентрализованных потребителей.

В последнее время освоение серийного производства ЭХГ стало приоритетной задачей ведущих стран мира, финансовые вложения при этом достигают миллиарда долларов в год. Всего 10 лет назад ЭХГ стоил порядка 15 тыс. \$/кВт, а сейчас — 1,5 тыс. \$/кВт. Стоимость отечественных образцов в ближайшем будущем снизится до 300–500 \$/кВт, а зарубежных — до 200 \$/кВт и менее.

*Военный парад, 2005*