

В заключение хотелось бы отметить, что разработанная турбовентиляторная система охлаждения могла бы быть использована, в первую очередь, на тяжелых и сверхтяжелых карьерных самосвалах, магистральных тягачах, средних и мощных тракторах. Использование турбовентиляторной системы охлаждения на тракторах позволило бы использовать нетрадиционную компоновку силового агрегата и элементов системы охлаждения с целью оптимального местоположения центра масс машины при работе. По-видимому, турбовентиляторное охлаждение также могло бы оказаться целесообразным для дизелей с воздушным охлаждением.

Литература

1. Woschni Gerhard, Bergbauer Frantz. Verbesserung von Kraftstoffverbrauch und Betriebsverhalten von Verbrennungsmotoren durch Turbocompounding. MTZ: Motortechnische Zeitschrift, 1990, 51, №3.сс.108-116.
2. Мамедов В. Турбокомпаундный дизель. «Основные средства», №9, 2001.
3. Мамедов В. Volvo FH12T. «Основные средства», №1, 2002.
4. Давыдков Б.Н., Малова И.Ю., Кирин И.В., Рыбин Ю.Д., Остапенко С.П. Расчетно-экспериментальное исследование тракторного дизеля с газотурбинным наддувом и дополнительной силовой турбиной. – В кн.: Исследование рабочих процессов тракторных дизелей. - М.: НАТИ, 1980, с. 38-47.
5. Кустарев Ю.С., Костюков А.В., Андреевков А.А. Турбовентилятор системы охлаждения турбопоршневого двигателя. Материалы IX Международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей», секция «Двигатели внутреннего сгорания». Владимир: ВлГУ, 2003, с. 141-143.

Применение энергоаккумулирующих веществ в качестве альтернативного топлива для газотурбинных установок

Посвящается 40-летию кафедры «Транспортные ГТД» МГТУ «МАМИ»
д.т.н., проф. Кустарев Ю.С., доц. Кузнецов В.В., доц. Ащеульников Е.К., Родькин К.П.
МГТУ «МАМИ»

В течение длительного времени на транспорте и в энергетике идет активный поиск альтернативных топлив для тепловых силовых и энергоустановок. Особое внимание при этом уделяется водороду как экологически чистому топливу. Однако использование водорода в качестве топлива сталкивается с серьезными проблемами, среди которых одной из важнейших для транспорта является проблема хранения водорода на борту автомобиля.

Как известно, водород может храниться в баллонах в газообразном или в жидком состоянии, а также в гидридах некоторых металлов. Анализ показывает [1], что в любом случае система хранения водорода на транспортном средстве получается весьма громоздкой и очень тяжелой – в несколько, а то и в десятки раз тяжелее обычной сейчас системы топливопитания транспортных двигателей, не говоря уже о более высокой пожаро- и взрывоопасности. Не случайно в настоящее время интенсивно развиваются работы в направлении использования обычного жидкого углеводородного топлива с незначительными (~5 % масс.) добавками водорода. Несмотря на определенные достоинства, это, конечно, можно рассматривать лишь как промежуточный этап в осуществлении задачи перевода энергетики на новые виды топлива.

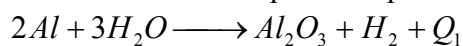
В этих условиях вполне естествен увеличивается интерес еще к одной возможности использования водорода в качестве топлива, а именно, с помощью т.н. «энергоаккумулирующих веществ» (ЭАВ) [2, 3]. Эти вещества позволяют получать водород из воды и тут же его сжигать в камере сгорания теплового двигателя без промежуточного хранения. Способ обладает несомненными достоинствами в отношении безопасности. Объемная энергоемкость ЭАВ значительно выше, чем при указанных выше способах хранения водорода. Выполненный в свое время экономический анализ опытного производства ЭАВ в промышленных условиях свидетельствует, что стоимость удельной энергии промышленного ЭАВ примерно

вдвое ниже, чем у обычного жидкого углеводородного топлива.

Согласно определению, энергоаккумулирующие вещества – это многократно восстанавливаемые из некоторых природных и искусственных соединений вещества, при определенных условиях отдающие аккумулированную в них энергию [1]. Примером таких веществ могут служить кремний, алюминий и другие элементы, соединения которых широко распространены в природе. В частности, окислы этих элементов в больших количествах содержатся и в зольно-шлаковых отвалах угольных ТЭЦ. По разработанной промышленной технологии такие окислы могут быть восстановлены и получен сплав алюминия и кремния, т.е. ЭАВ.

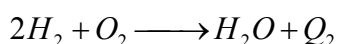
Схема дальнейшего применения ЭАВ на примере алюминия следующая.

Вначале алюминий при наличии катализатора подвергают реакции с водой



Реакция идет с большим выделением тепла $Q_1 = 15174$ кДж/кгAl и образованием 0,111 кг водорода на 1 кг исходного алюминия.

Затем полученный водород поступает в камеру сгорания теплового двигателя и сжигается в потоке воздуха



При этой реакции вода образуется в виде пара с выделением $Q_2 = 121112$ кДж/кгH. В пересчете на 1 кг исходного алюминия выделяется $Q_2' = 13457$ кДж/кгAl.

Таким образом, общая теплотворная способность ЭАВ в форме алюминия составляет $Q = Q_1 + Q_2' = 28631$ кДж/кгAl, причем при первой реакции выделяется примерно половина располагаемого тепла (~53 %).

Здесь проявляется особенность технического применения ЭАВ в качестве топлива, заключающаяся в необходимости иметь два, энергетически примерно равноценных последовательных устройства: реактор для получения водорода из воды с помощью ЭАВ и собственно камеру сгорания, работающую на полученном водороде. Для таких условий использования топлива наиболее приспособленными оказываются струйные машины – газотурбинные двигатели, в которых относительно просто можно осуществить непрерывное протекание рабочего тела через последовательно расположенные реактор и камеру сгорания.

Однако большие тепловыделения в зоне реакции ЭАВ с водой сопровождаются значительным ростом температуры (до 3000 К [1]), недопустимым для конструкционных материалов реактора. Реактор требует интенсивного охлаждения. В ряде работ рассматривалось охлаждение реактора избыточной водой, «балластной водой». Расчеты показывают, что для обеспечения приемлемой температуры (до 1000 К) количество балластной воды должно превышать стехиометрическое (необходимое для реакции ЭАВ с водой) количество воды в несколько раз (и даже в десятки раз). При этом из реактора в камеру сгорания поступает уже не только водород, но смесь водорода с большим количеством перегретого водяного пара. При этом и далее в проточную часть двигателя поступает большое количество водяного пара.

Эта идея использования ЭАВ в качестве альтернативного топлива для ГТД негласно предполагает, что сам газотурбинный двигатель относительно просто конвертируется с обычного углеводородного топлива на энергоаккумулирующие вещества. К сожалению, это не так. Выполненное расчетное проектирование показало, что в условиях использования для охлаждения реактора балластной воды, проточная часть ГТД существенно изменяется, т.е. по существу требуется заново проектировать газотурбинный двигатель. Большая разница в количестве и составе рабочего тела, проходящего через компрессор и ступени турбин, требует больших изменений проточной части компрессора, турбин, чисел оборотов валов, замены редуктора. Учитывая, что необходимы также новые камера сгорания, система питания, ясно, что речь идет по существу о проектировании нового газотурбинного двигателя специально для работы на энергоаккумулирующих веществах.

Поскольку главной причиной изменений является использование балластной воды, естественно возникает вопрос о замене ее другим охлаждающим агентом – воздухом, т.е. рабочим телом обычного ГТД.

Для решения этой задачи необходимо разработать водородный реактор с воздушным

охлаждением и его системы.

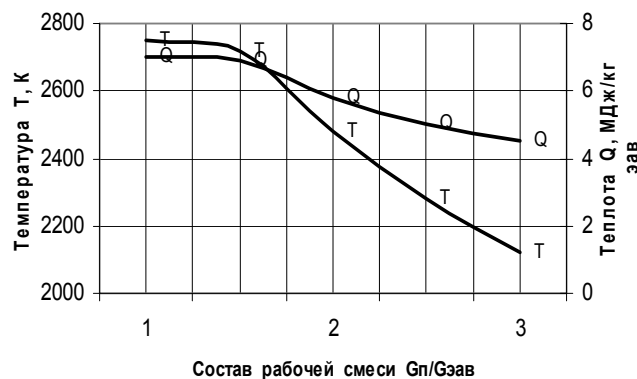


Рис. 1. Термодинамические параметры процесса горения трехкомпонентного ЭАВ в водяном паре.

Рабочий процесс в пароводородном реакторе отличается исключительной сложностью и многообразием протекающих в нем физико-химических процессов. На основе упрощенной математической модели равновесной термодинамической системы и с использованием методов расчета [4, 5] были выполнены термодинамические расчеты и анализ горения ЭАВ в среде перегретого водяного пара. В качестве модельного ЭАВ задавался сплав следующего состава: Si – 60 %, Al – 35 %, Fe – 5 %, примерно соответствующий ЭАВ из отходов Канско-Ачинских углей.

Изменение рабочей температуры в зоне реакции и количество выделяющегося тепла при изменении соотношения расхода водяного пара и ЭАВ приведены на рисунке 1. Максимальная температура горения исследуемого трехкомпонентного ЭАВ в водяном паре достигается при соотношении $G_{п}/G_{ЭАВ}$, равном примерно 1,1, и составляет 2750 К. Сравнение с результатами расчета горения такого же ЭАВ в воздухе (при стехиометрическом составе исходного рабочего тела) показывает, что в водяном паре температура горения снижается примерно на 380 К. Однако при этом снижается и количество выделяемого тепла. Но не следует забывать, что газ, получаемый в реакторе, сам по себе является высококалорийным топливом, при сжигании которого в камере сгорания может быть дополнительно получено значительное количество теплоты. Рабочая температура в зоне реакции реактора определяет его теплонапряженность. Снижения температуры можно достичь обогащением или обеднением состава рабочей смеси ЭАВ и водяного пара. Однако обогащение смеси явно нецелесообразно ввиду неполного сгорания ЭАВ.

Ввиду многообразия определяющих факторов были приведены исследования полноты сгорания порошкообразных ЭАВ в воздушном потоке. В качестве важной системы реактора была спроектирована и испытана цилиндрическая форкамера сгорания, предназначенная для создания высокотемпературной среды на входе в реактор.

Исследование продуктов сгорания проводилось на наличие в них остаточного количества металлической фазы. Металлическая фаза на алюминий и кремний определялась методом беспламенной атомно-абсорбционной спектроскопии на спектрометре В-305 Perkin Elmer. Контрольный анализ состава промышленного ЭАВ показал: Si – 63,5 % масс.; Al – 22 % масс.; Fe – 7 % масс.; Ca – 2,5 % масс.; Mg ~ 1 % масс.; Ti ~ 1 % масс.; оксиды проч. металлов MeXO – 3 % масс.

Некоторые результаты исследований продуктов сгорания приведены в таблице 1, откуда следует, что существенное влияние на полноту сгорания ЭАВ оказывает дисперсность порошкообразных ЭАВ. Этого следовало ожидать. Поэтому в качестве топлива для тепловых двигателей желательно использовать мелкодисперсные порошки ЭАВ, во всяком случае с размером частиц до 50 мкм. Обращает на себя внимание содержание в продуктах сгорания значительного количества металлического кремния, особенно при больших размерах частиц исходного порошка ЭАВ. В связи с этим было проведено специальное исследование модельного ЭАВ, состоящего из смесей мелкодисперсных порошков кремния и алюминия. Резуль-

таты анализа продуктов сгорания этих смесей различного состава представлены в таблице 2.

Таблица 1

Состав продуктов сгорания ЭАВ

Фракционный состав ЭАВ, мкм	Состав продуктов сгорания ЭАВ, % масс.				
	Me			MeхO	Meх
	Si	Al	Fe		
5 ÷ 20	2,6	1	1,5	94,9	Следы
20 ÷ 50	3	2	1,3	93,7	
50 ÷ 100	4,1	2,8	1,5	91,6	
100 ÷ 150	7	3,6	2	87,4	
150 ÷ 200	15,2	5,1	3	76,7	

Таблица 2

Результаты анализа продуктов сгорания образцов смесей Al и Si

Состав материала, %	Si, % масс	Al, % масс
Al – 100	нет	нет
Al – 75/Si – 25	0,35	нет
Al – 65/Si – 35	0,6	нет
Al – 50/Si – 50	0,8	нет
Al – 35/Si – 65	0,95	нет
Al – 30/Si – 70	1,2	нет
Al – 25/Si – 75	1,5	нет

Результаты исследований показали, что в пробах продуктов сгорания смесей порошков алюминия и кремния с повышением содержания кремния в исходном ЭАВ увеличивается содержание металлической составляющей кремния в продуктах сгорания. Это явление может объясняться термической диссоциацией содержащегося в продуктах сгорания монооксида кремния с образованием, при ее охлаждении ниже 1100 °С, некоторого количества металлического кремния.

Эксперименты по исследованию воспламенения и горения ЭАВ промышленного состава проводились в воздушном потоке в цилиндрической форкамере диаметром 78 мм длиной 500 мм. Фракционный состав, масс.: 5 ÷ 20 мкм – 20 %; 25 ÷ 50 мкм – 30 %; 50 ÷ 100 мкм – 30 %; 100 ÷ 150 мкм – 10 %; 150 ÷ 200 мкм – 10 %. Определялся коэффициент полноты сгорания ЭАВ в зависимости от скорости входа окислителя в камеру сгорания W_0 и коэффициента избытка окислителя. Результаты экспериментов представлены на рисунке 2.

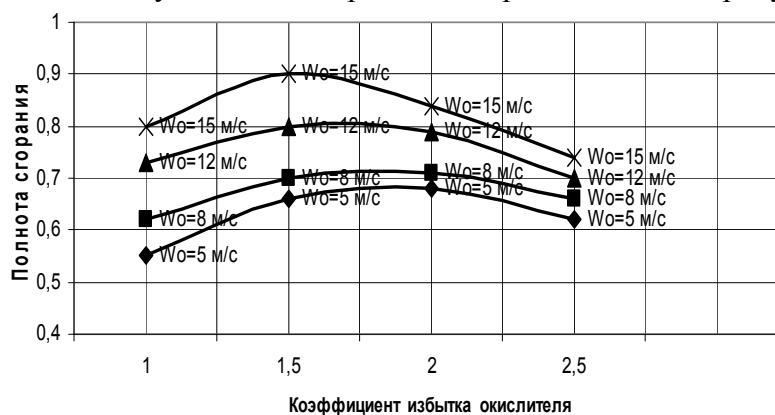


Рис. 2.

Скорость вылета частиц ЭАВ из форсунки для всех опытов составляла 17 м/с. Зонд пробоотборника вводился на глубину до 35 мм. Максимальная полнота сгорания наблюдалась при коэффициенте избытка окислителя, равном примерно 1,5, и при высоких, до $W_0 = 15$ м/с, скоростях подачи окислителя в рабочую зону камеры сгорания.

Выводы

Проведенные исследования свидетельствуют о возможности и целесообразности использования энергоаккумулирующих веществ в качестве альтернативного топлива для тепловых, в частности для газотурбинных двигателей.

Целесообразно применять мелкодисперсные порошкообразные ЭАВ, главным образом, сплавы кремния и алюминия. Желательно с минимальным количеством железа.

Перспективными представляются дальнейшие исследования горения ЭАВ в среде перегретого водяного пара.

Литература

1. Варшавский И.Л. Энергоаккумулирующие вещества и их использование. – Киев: Наукова думка, 1980. – 240 с.
2. Grönert H. Verminderte Umweltbelastung mit Aluminium als regenerierbaren Energieträger. Föossilbefeuerte Kraftwerke// Brennst.-Wärme-Kraft. – 1988,- 41, № 7-8, S. 364-369.
3. Weber R. Prototyp-Brenner Heitzt mit Aluminium als Energiequelle. – VDI Nachrichten, 1991, № 2, - S.19.
4. Синярев Г.Б., Слынько Л.Е., Трусков Б.Г. Принципы и метод определения параметров равновесного состояния. – Тр. МВТУ, 1978, № 268, С. 4-21.
5. Трусков Б.Г. Термодинамический метод анализа высокотемпературных состояний и процессов и его практическая реализация. – М.: МВТУ.-1984.

Моделирование процессов управления продольным движением автомобиля с помощью аналитических автоматов

к.т.н., проф. Лепешкин А.В., Катанаев Н.К., Драгунов С.С.
МГТУ «МАМИ»

Описание движения автомобиля может рассматриваться как в детерминированной, так и в вероятностной постановке. Если предполагается, что автомобиль является детерминированным объектом, то в условиях отсутствия возмущающих воздействий от внешней среды, его состояние должно полностью определяться поступающим на его вход заданием. В качестве задания может выступать скорость движения, траектория движения, либо другие формы движения с дополнительными критериями качества. Для достижения цели к объекту включается управляющее устройство, с помощью которого формируется управляющее воздействие. Управляющее устройство в совокупности с автомобилем образует систему управления.

Методология построения устройства управления обсуждалась неоднократно. Одним из теоретических направлений является описание управляющего устройства как оператора с обратной передаточной функцией объекта управления. Оно имеет весомое математическое обоснование, и его суть сводится к следующему. Пусть объект управления имеет передаточную функцию $W_0(S)$ вида

$$W_0(s) = \frac{D_e(s)}{D_0(s)}, \quad (1)$$

где: $D_e(S)$ – оператор по входу e ;

$D_0(S)$ – собственный оператор объекта управления;

$S = d / dt$ – оператор Лапласа (алгебраизированный оператор дифференцирования).

Надлежит определить передаточную функцию $W_y(S)$ устройства управления из предположения, что оно абсолютно точно отследит заданную y_3 траекторию (действительная траектория y должна быть равна заданной y_3). В этом случае в соответствии с алгоритмической схемой (рис. 1) можно записать

$$y = W_y(s) * W_3(s) * y_3 \quad (2)$$

Условие ($y_3 = y$) может быть выполнено лишь в том случае, когда произведение пере-