здания универсальной электроразрядной системы, лишенной описанных недостатков, типичных для электрофильтров и плазмореакторов.

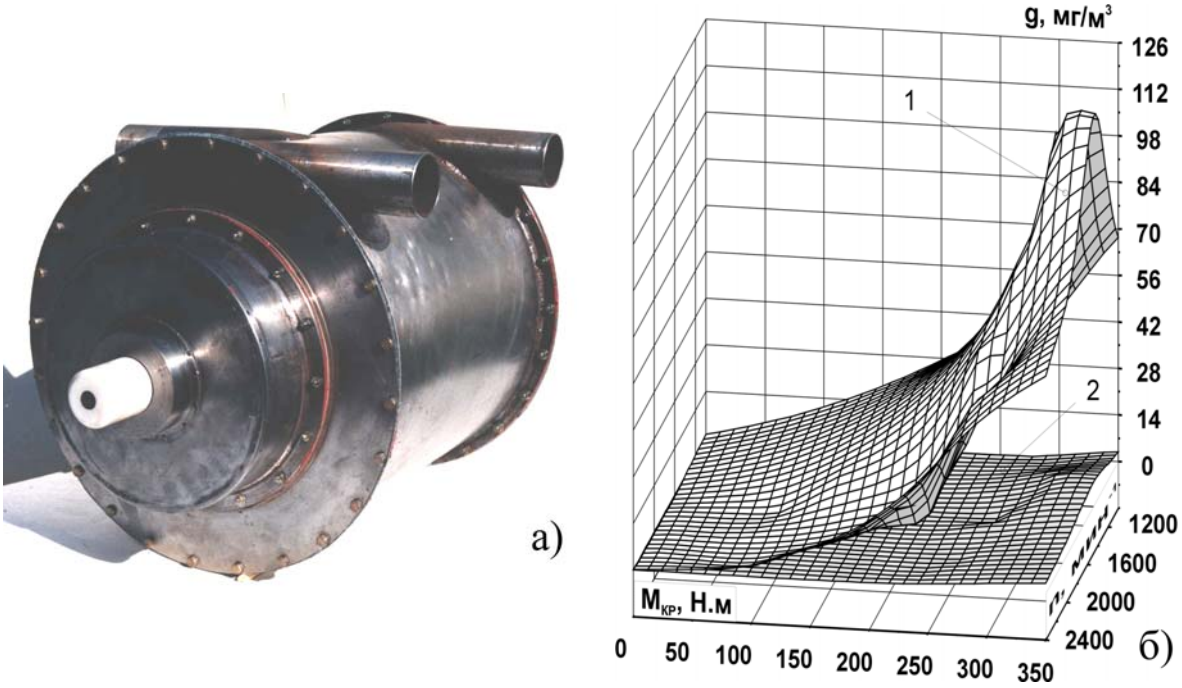

Рис. 3. Полнопоточный плазмохимический реактор: а) – общий вид; б) – удельное содержание частиц в отработавших газах дизеля Д-243: 1 – штатная комплектация системы выпуска; 2 – система выпуска с реактором.

Литература:

1. Патент N 4327 РБ, МКИ F 01N 3/02. Устройство для очистки отработавших газов дизеля от сажи / Карташевич А.Н., Белоусов В.А., Сушнев А.А. Заявка № 19980043. Зарегестрирован в ГРИ 22.10.2001.

2. Патент № 4698 РБ, МКИ F 01N 3/02. Сажевый электрофильтр-нейтрализатор / Карташевич А.Н., Белоусов В.А., Сушнев А.А.. Заявка №19980709.. Зарегестрирован в ГРИ 21.05.2002.

3. Карташевич А.Н., Васильев Г.М., Белоусов В.А., Сушнев А.А. Электроразрядные технологии очистки отработавших газов дизельных двигателей от токсичных компонентов. Монография – Горки, 2002. – 282с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА И ПРОЦЕССОВ ОБРАЗОВАНИЯ ТОКСИЧНЫХ КОМПОНЕНТОВ В ЦИЛИНДРЕ ТРАНСПОРТНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Булыгин Ю.И., Деундяк Д.В., Корончик Д.А.
(Донской государственный технический университет)

История развития теплового расчета рабочего процесса ДВС насчитывает более 100 лет. От классического термодинамического расчета Гриневецкого-Мазинга до современных сложнейших компьютерных моделей, учитывающих детально газодинамические и химические процессы в камере сгорания дизеля. Недостатком классического термодинамического анализа является пренебрежение временным фактором, что полностью исключает, например, параметрическую оптимизацию на его основе быстроходных двигателей, в которых процессы механической, физической и химической природы имеют сопоставимые характерные времена. Дру-

гой недостаток стационарных термодинамических моделей выражается в необходимости задавать в исходные данные набор параметров, значения которых и связи между которыми изучены недостаточно. Например, степень повышения давления, доля теплоты, выделенная к верхней мертвой точке, и многие другие характеристики процесса. Наконец, стационарные термодинамические модели ориентированы в основном на расчёт номинального режима работы двигателя, давая серьезные искажения при оценке работы ДВС на частичных нагрузках и холостом режиме работы, не говоря о переходных режимах. С появлением у исследователей высокопроизводительных ЭВМ появилась реальная возможность резко увеличить объем вычислений, что необходимо при создании достоверных моделей нестационарных термодинамических и термохимических процессов. Однако положение серьезно изменилось после ужесточения требований к составу выпускных газов ДВС и введения европейских стандартов на токсичность выбросов. Необходимость создавать подробные математические модели сложных явлений, происходящих в ДВС, стала еще более очевидной. С одной стороны, в связи с возросшими требованиями экологии (соблюдение евростандартов), с другой, в связи с возможностями компьютеров и успехами в детальном моделировании химии горения.

Детальное математическое моделирование основано на том, что рабочий процесс поршневого двигателя определяется в равной степени как молекулярно-физическими процессами в камере сгорания, так и кинетикой протекающих в ней химических реакций. Этот подход, применяется активно с начала 90-х гг. Несмотря на сложность программной реализации моделей и потребность в значительных вычислительных ресурсах, он становится основным, поскольку позволяет довольно точно моделировать процессы в ДВС. Ряд подобных разработок есть за рубежом и в России, например ПК “Diesel-RK” (МГТУ им. Н.Э. Баумана), “Импульс”, “Волна” (ЦНИДИ, Санкт-Петербург), однако они чаще ориентированы на детальное моделирование газодинамических процессов топливно-воздушных смесей. Только в последние годы стали появляться модели на основе детальной химической кинетики (ДХК). Процессы сгорания в ДВС (особенно в быстроходных) совершаются в тысячные доли секунды. В этот процесс входит впрыскивание, распыливание, испарение и собственно горение. Физико-химическому процессу горения отводится так мало времени, однако именно условия этого процесса являются определяющими, возможно даже более определяющими, чем газодинамические факторы. Поэтому мы поставили задачу создать детальную модель процесса сгорания, которая при дополнении ее моделями термохимии и квазигазодинамики могла бы адекватно и с высокой степенью точности воспроизводить основные энерго-экологические и экономические характеристики ДВС.

В работах [1,2] описана суть предлагаемых моделей, степень их оригинальности и новизны. Представленные модели процесса горения в двигателях, а именно химической кинетики, термохимии и квазигазодинамики направлены на решение задач оптимизации энерго-экологических показателей работы тепловозных двигателей. Модели прошли тщательное тестирование по технико-экологическим параметрам. В дальнейшем была разработана автоматизированная система (АС) ENGINE, которая объединила в себе “граничные” математические модели в единое целое [3]. АС ENGINE можно рассматривать, с одной стороны, как переход на более высокий уровень инженерных расчетов процессов в ДВС, а с другой, - как не дорогую альтернативу исследовательским технологиям детального компьютерного моделирования горения в камерах сгорания ДВС. Исследовательская версия АС ENGINE (рис.1) объединяет четыре имитационные математические модели, а

также информационно-справочную систему. В базе данных хранятся технические характеристики существующих ДВС. Для внесения дополнений и изменений в БД в составе АС ENGINE имеется соответствующая система управления базами данных (СУБД). Предполагается использование БД на ранних этапах разработки новых конструкций при первичном выборе технических решений разрабатываемого двигателя. Таковыми являются: компоновочная схема, рабочий объем цилиндров и их число, частота вращения коленчатого вала и др.. Дополнительно для целей исследования имеется БД по видам топлива, которую можно дополнять или изменять. Внесение в конструкцию необходимых уточнений и/или изменений осуществляется при помощи вышеперечисленных аналитических средств АС - модулей термодинамического, термохимического анализа, химической кинетики и квазигазодинамики горения. Модуль термодинамического анализа является программной реализацией классического теплоэнергетического анализа рабочего цикла поршневых машин по усовершенствованной методике Гриневецкого - Мазинга. Модуль химической кинетики реализует разработанную нами оригинальную методику имитационного моделирования детальной химии горения в ДВС, справедливую в большей или меньшей степени для любых поршневых двигателей и углеводородных топлив. Модуль *термохимии* реализует разработанные нами алгоритмы решения систем уравнений термодинамического равновесия, материального баланса и состояния на основе уравнений термохимического потенциала типа Гиббса - Гельмгольца.

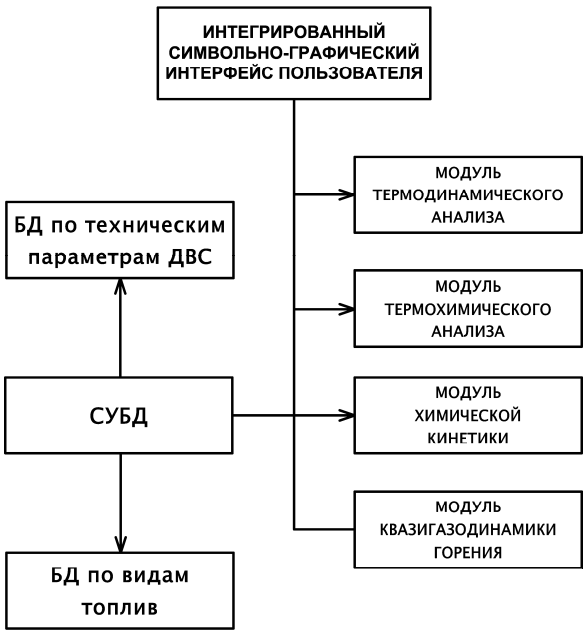

Рис.1. Структурная схема исследовательской версии автоматизированной системы ENGINE

Ядро модуля квазигазодинамики горения составляет нульмерная математическая модель динамики-смешения-горения топливного факела в двигателе с любым (как внешним, так и внутренним) смесеобразованием. Модуль хорошо приспособлен для моделирования рабочего процесса в ДВС с воспламенением от сжатия и инжекторным впрыском, где заряд особенно неоднороден по составу и температуре и может заменить модуль химической кинетики. Подсистема *ввода - вывода* реализована с использованием как символьных, так и графических возможностей IBM-совместимых ПК, что делает ее доступной и удобной в эксплуатации широкому кругу исследователей-двигателистов и инженеров-конструкторов. Вид наиболее часто используемых форм ввода-вывода АС ENGINE показан на рис.2-3. Оболочка АС ENGINE и пользовательский интерфейс запрограммированы с использованием системы Delphi, а расчетные модули подсистем – с использованием алгоритмического языка Фортран.

При составлении и компиляции программного кода АС ENGINE предусмотрено ее функционирование на любых IBM, совместимых ПК. Удобство работы с АС ENGINE обеспечивается проблемно-адаптированной организацией интерфейса пользователя, выражающейся, например, в категорировании входных и выходных

параметров по физическому и техническому содержанию (см. форму ввода на рис.2-3), а также наличием всплывающих подсказок, активизированной системы параметрических ограничений и других сервисных возможностей. Имитационные возможности исследовательского варианта AC ENGINE позволяют решать с ее помощью разнообразные прикладные задачи, в частности, оптимизацию рабочего процесса ДВС, диагностику, факторный анализ и важностное ранжирование протекающих процессов, применение альтернативных топлив (табл.1) и снижение токсичности отработавших газов. Для этих целей служит совокупность вычисляемых показателей – интегральных, мгновенных и экстремальных. При написании моделей была использована автоматизированная система радиационно-химической кинетики КИНКАТ [2], произведен отбор констант и составлена кинетическая схема химических реакций, протекание которых в условиях камеры сгорания ДВС приводит к образованию CO, сажи и эмиссии NO_x.

Рис.2. Ввод исходных данных для расчета по модулям химической кинетики и квазигазодинамики (AC ENGINE)

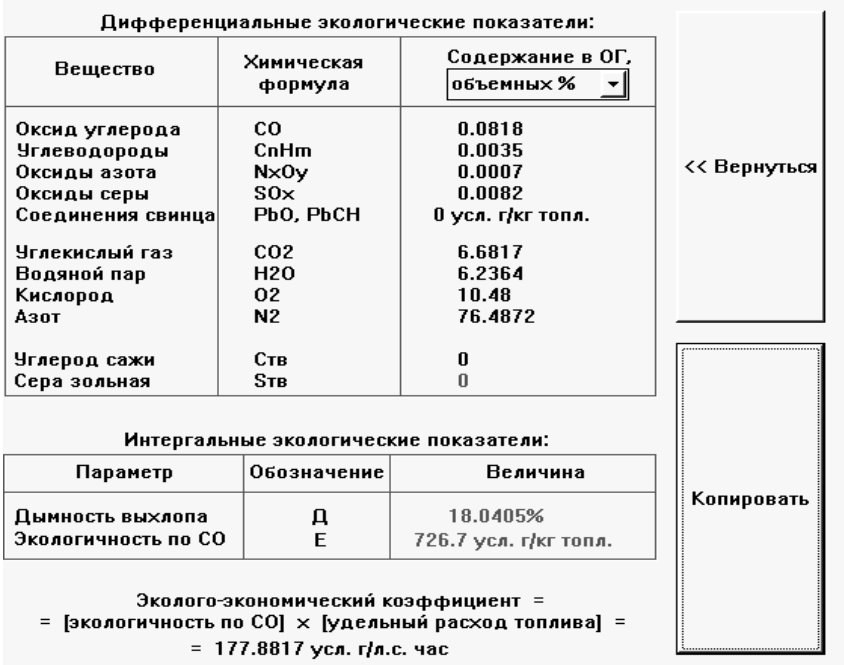

Рис.3. Выдача результатов расчета экологических показателей в исследовательской версии AC ENGINE

Отличительной чертой и главным достоинством математической модели химической кинетики является наиболее полный учет химических реакций (от 300 до 500), в результате чего интегрированием уравнений можно определить временные показатели химизма: период задержки воспламенения, максимальный темп энерговыделения, критические условия для воспламенения смеси на основе первичных кинетических данных по отдельным элементарным реакциям. Другими словами, в рамках этой модели имитируется динамика совокупного горения посредством комбинации динамических показателей отдельных параллельно и последовательно протекающих реакций.

Таблица 1

Эколого-экономические показатели дизеля 10Д100 при его работе на топливах альтернативных дизельному (номинальный режим работы) Расчёт произведен по модели химической кинетики горения топлива AC ENGINE

Вид топлива	Эколого-экономические показатели												
	Нетоксичные продукты сгорания, г/кг				Токсичные вещества в выхлопных газах, г/кг						Дымность, %	Удельный расход топлива, г/кВт·ч	Эколого-эконом. коэфф., усл.г/кВт·ч
	CO_2	H_2O	N_2	O_2	CO	$C_n H_m$	NO_x	*Сажа*	SO_x	S	$N^{ОГ}$	g_i	K
Водород	0	9702	52287	7663	0	0	39	0	0	0	0	105,7	170
Метан	2760	2360	26302	3861	41,9	6,2	39	1,59	0	0	12,8	211,5	365
Пропан	3033	1708	23910	3511	50,4	5,6	39	1,99	0	0	17,3	232,5	417
EVRO-ДТ	**3221**	**1239**	**22160**	**3254**	**58,3**	**5,1**	**39**	**2,54**	**0,75**	**0,05**	**22,8**	**250,8**	**450**
Дизельное топливо	**3211**	**1239**	**22114**	**3244**	**58,1**	**5,1**	**39**	**2,93**	**6,44**	**0,46**	**24,1**	**251,4**	**479**
Бензол Метиловые эфиры рапс. масла (МЭРМ)	3429 2886	734 1119	20321 19186	2986 2819	72,5 50,9	4,6 4,44	39 39	3,67 2,12	0 0,43	0 0,03	34,2 22,2	273,4 289,6	503 510
Бутанол	2419	1219	16767	2465	39,1	3,9	39	1,46	0	0	17,9	331,3	568
Сжиж. биогаз	2078	1412	15780	2321	31,1	3,76	39	1,09	0	0	14,2	351,9	595
Диметиловый эфир (ДМЭ)	1940	1227	13693	2015	28,7	3,28	39	0,98	0	0	14,2	405,4	682
Этанол	1934	1223	13628	2006	28,6	3,26	39	0,97	0	0	14,6	407,3	685
Метанол	1373	1227	10006	1475	17,9	2,48	39	0,53	0	0	10,7	554	914
Аммиак	0	1431	8712	1154	0	0	39	0	0	0	0	704,8	1130

Дополнительно созданная модель термохимии расчета позволила доопределить эмиссию основных вредных веществ, содержащихся в отработавших газах дизелей тепловозов.

Все расчетные модели, а именно: химической кинетики, газодинамическая (квазигазодинамическая), термодинамическая и термохимическая, входящие в AC ENGINE, прошли проверку на транспортных двигателях различного типа, размерности, быстроходности и назначения. Модели показывают высокую точность расчета во всем диапазоне нагрузок ДВС и ориентированы на решение ряда задач технической диагностики. Оптимизацию рабочего процесса дизеля AC ENGINE осуществляет по таким параметрам и характеристикам: степень сжатия, опережение и продолжительность впрыска топлива, диаметр капель распыла, коэффициент избытка воздуха, размеры камеры сгорания. Дополнительно AC ENGINE позволяет исследовать возможность применения в двигателях альтернативных видов топлив, перспективных топливных систем, топливных катализаторов, рециркуляции отработавших газов, а также оценить степень загрязнения атмосферного воздуха при экологических расчетах.

Литература:

1. Булыгин Ю.И. Компьютерное моделирование рабочего процесса в ДВС // Изв. вузов. Машиностроение.2001. № 6. С. 31-48.

2. Булыгин Ю.И., Жигулин И.Н., Магнитский Ю.А., Яценко О.В. Математическое моделирование рабочего процесса поршневых машин. Монография / РГУ ПС. - Ростов н/Д, 2001. - 208 с.

3. Булыгин Ю.И., Яценко О.В., Ладоша Е.Н., Жигулин И.Н. Расчет энергоэкологических параметров ДВС “ENGINE” / Свидетельство об официальной рег. ПрЭВМ № 2002610605. М.: РОСПАТЕНТ, 2002.

МОДЕЛИ ОБРАЗОВАНИЯ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В ЦИЛИНДРЕ ТРАНСПОРТНОГО ДВС И ИХ ИДЕНТИФИКАЦИЯ

Алексеенко Л.Н., Булыгин Ю.И., Деундяк Д.В., Корончик Д.А.
(Донской государственный технический университет)

Попытки определить токсичность поршневого ДВС с использованием компьютерных моделей [2,3] лишь частично оправдали ожидания: хорошо воспроизводя выбросы CO, углеводородов C_nH_m, сажи и оксидов серы, они давали на два порядка заниженные концентрации NO_x в отработавших газах (ОГ). Поскольку в ранних версиях модели внутрицилиндровых процессов “азотная кинетика” не учитывалась, неточность воспроизводства концентрации NO_x в выхлопе связывалась с игнорированием химической неравновесности в параметрически однородном рабочем теле. Впоследствии кинетическая схема была дополнена реакциями с участием азота, однако на точность определения NO_x это не повлияло. В данной ситуации, когда одно-трехзонные параметрически квазиоднородные модели химической кинетики и термодинамики не позволили адекватно воспроизвести токсичность ДВС по NO_x, причина несовершенства скрывается в пространственном переосреднении уравнений. Как отмечается в работе [4], избежать кардинального усложнения информационно-математической модели применительно ко всем компонентам триады “модель-алгоритм-программа” удается в исключительных случаях: если в системе выявлены малые или большие параметры. При этом усовершенствование модели [4] представляет собой добавление так называемых надстоек, сравнительно