

на двигателе ВАЗ-2106. Это дало в верхней мертвой точки степень сжатия 13 единиц. Мощность двигателя возросла до 98 л.с. вместо 75 л.с. по паспорту, прирост составил более чем 30%. Расход топлива снизился на 24% и составляет 5,5 литров на 100 км.

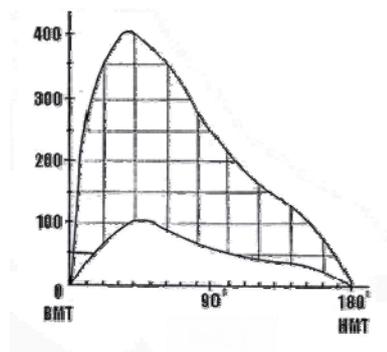


Рис. 6

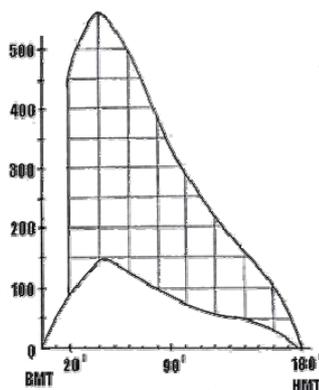


Рис. 7

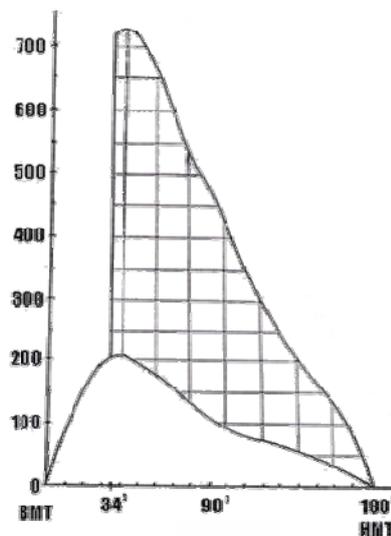


Рис. 8

Литература:

1. Автомобильные и тракторные двигатели: В 2 ч. Конструкция и расчет двигателей. Под ред. И.М. Ленина. Учебник для вузов. 2-е изд., доп. и перераб. М.: Высш. шк., 1976.
2. Колчин А.И., Демидов В.П. Расчет автомобильных и тракторных двигателей. М.: Высш. шк., 1971.
3. Хачиян А.С. и др. Двигатели внутреннего сгорания. М.: Высш. шк., 1985.

ИЕРАРХИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МОДЕЛЕЙ ДВС

Маливанов М.В., Хмелёв Р.Н. (Тульский государственный университет)

Современный этап теоретических исследований ДВС характеризуется большим разнообразием используемых математических моделей, сложность которых постоянно возрастает. При этом математическое описание ДВС непосредственно связано с тем аспектом, в котором рассматривается двигатель и который интересует исследователя.

Блочно-иерархический подход к двигателю и процессу его проектирования является перспективным и широко распространенным [1]. Здесь на каждом уровне проектирования имеется совокупность математических моделей определенной сложности. Сложность математических моделей увеличивается с переходом на низшие уровни и подуровни проектирования. При этом в используемых в настоящее время моделях значительное внимание уделяется отдельным элементам, второго и более низших уровней без детального учета их взаимодействия с другими элементами и ДВС в целом.

Ключевым моментом в разработке иерархической системы моделей, которая должна определить место уже существующих моделей, установить перечень вновь создаваемых и сформулировать их взаимодействия с существующими является аспект рассмотрения ДВС как динамической системы, функционирующей во времени.

Известны два типа динамических моделей [2] – «фазовые» и «функциональные». ДВС в соответствии с известной из кибернетики классификацией [3] относится к диффузным системам, для которых характерна тесная взаимосвязь протекающих в них процессов различной физической природы. К построению математических моделей диффузных систем существуют два различных подхода: детерминированный и вероятностный. Причем модель, построенная в рамках первого подхода, является фазовой, а второго – функциональной. Для ДВС значительный интерес представляет комбинация детерминированного и вероятностного подходов обеспечивающая построение не только фазовых и функциональных, но и комбинированных моделей.

Для построения системы моделей требуемого качества необходима классификация ДВС по их динамическим особенностям, которая позволит выделить основное ядро, определяющее важнейшие свойства двигателя как энергодинамической установки, и вспомогательные звенья, уточняющие и детализирующие эти свойства. В основу такой классификации может быть положена структурная схема ДВС, представленная на рис. 1.

Структура каждого из векторов и операторов схемы приведена в табл. 1 и 2 на примере дизельного двигателя ТМЗ-450Д.

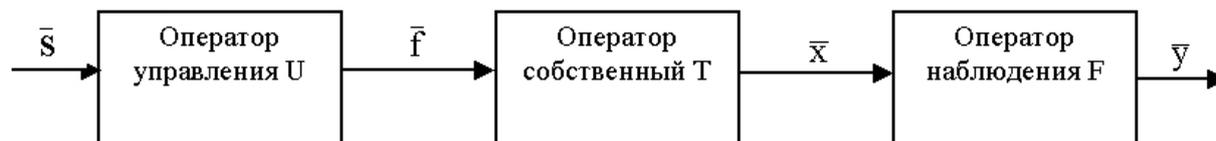


Рис. 1. Структурная схема ДВС

Таблица 1. Характеристика векторов схемы

Вектор	Описание вектора	Компоненты вектора
\bar{s}	Вектор управляющих воздействий (регулируемых и нерегулируемых); включает внешние воздействия со стороны окружающей среды или управляющие воздействия со стороны оператора.	– давление и температура окружающей среды; – положение рейки топливного насоса; – угол опережения впрыска топлива; – нагрузка (момент сопротивления) на валу.
\bar{f}	Вектор входных параметров и характеристик; включает конструктивные и эксплуатационные параметры, зависящие от управляющих воздействий.	– масса топлива; – масса воздуха; – закрутка потока; – закон выгорания топлива в цилиндре двигателя; – тепловой поток, отводимый при теплообмене; – сила сопротивления движению твердых звеньев; – колебания носителя.
\bar{x}	Вектор собственный; включает фазовые координаты, описывающие	– давление в цилиндре; – температура в цилиндре; – угловая скорость;

	изменение состояния ДВС как динамической системы.	– угол поворота коленчатого вала; – координата корпуса двигателя; – скорость движения корпуса двигателя.
\bar{y}	Вектор выходных параметров; включает параметры, характеризующие результат процесса функционирования двигателя.	– эффективная мощность; – эффективный крутящий момент; – удельный эффективный расход топлива; – состав продуктов сгорания; – интенсивность колебаний корпуса.

Первым уровнем иерархической системы моделей является фазово-функциональная модель основного ядра, т.е. собственный оператор T . Эта модель отражает основные особенности двигателя как системы преобразующей энергию во времени и может быть использована для анализа как переходных, так и установившихся режимов при исследовании работы двигателя, а также для определения основных конструктивных параметров при его проектировании.

Фазовая составляющая модели отражает термодинамические преобразования, происходящие в двигателе и использует для этого аппарат тепломеханики [4]. Функциональная составляющая отражает трудноформализуемые явления, такие как газодинамические процессы наполнения и опорожнения цилиндра, процесс подачи и горения топлива и ряд других с помощью показателей, полученных на основе статистической обработки расчетных или экспериментальных данных.

Таблица 2. Характеристика операторов схемы

Оператор	Функции оператора	Структура оператора (компоненты математического описания ДВС)
Управления U	Устанавливает связь управляющих и возмущающих воздействий \bar{s} с входными параметрами двигателя \bar{f} . Отражает процесс функционирования систем ДВС	– система топливоподачи (регулирования); – система впуска; – система выпуска; – система смазки; – система охлаждения.
Собственный T	Устанавливает связь входных параметров \bar{f} с фазовыми координатами двигателя \bar{x} . Отражает процесс функционирования ДВС (изменение его состояния во времени)	– собственно поршневой двигатель.
Наблюдения F	Используется для определения выходных характеристик двигателя	– определение состава продуктов сгорания.

Примером модели первого уровня может являться математическое описание [5] одноцилиндрового дизельного двигателя ТМЗ-450Д. Дифференциальные уравнения модели отражают процессы преобразования энергии в газовом звене (производные $\frac{dp}{dt}$ и $\frac{dT}{dt}$) и законы движения твердых звеньев (производные $\frac{d\omega}{dt}$ и $\frac{d\varphi}{dt}$). При этом газодинамические процессы отражены коэффициентами расхода μ_{en} , $\mu_{вып}$, процессы горения показателями Вибре m , φ_z , функционирование топливоподающей системы определено массой подаваемого топлива m_x .

Решения уравнений модели определяют изменение фазовых координат – температуры (T) и плотности (ρ) рабочего тела в цилиндре, угловой скорости (ω) и угла поворота коленчатого вала (φ) во времени (t). С их помощью можно определить условия существования устойчивого автоколебательного режима работы ДВС, определить его параметры, а также найти количественные показатели переходных процессов, возникающих в двигателе при воздействии различных возмущений.

Изменение во времени основных фазовых координат приведено на рис. 2. Модель первого уровня, являясь интегральной и решающей важнейшую задачу о поведении двигателя «в целом», не дает ответов на ряд актуальных вопросов, связанных с частными, но кардинально влияющими на работу двигателя процессами и системами.

Математические модели этих процессов и систем должны быть введены в модель двигателя в результате пристыковки к собственному оператору T операторов управления U и наблюдения F . Следствием указанного действия являются более детализированные модели второго уровня.

Для их получения необходим метод, позволяющий безошибочно и оперативно формулировать условия на границах взаимодействующих систем.

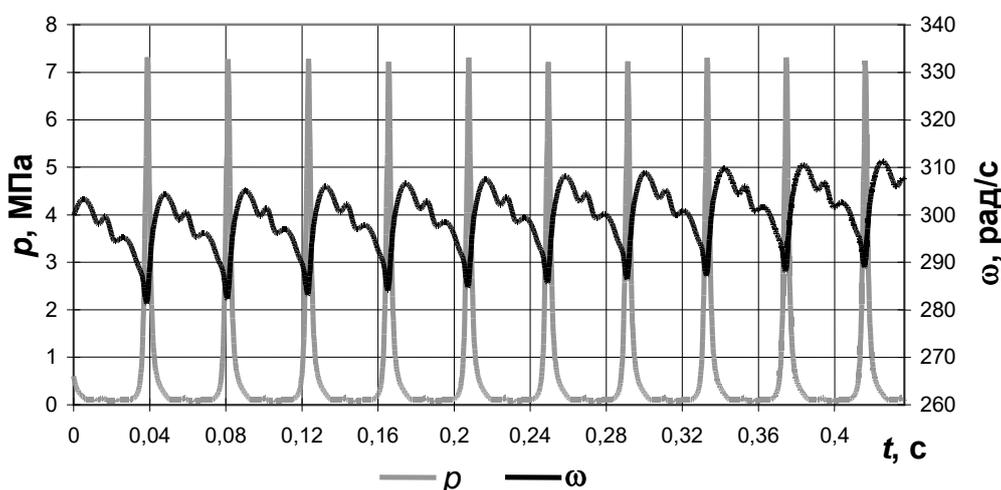


Рис. 2. Изменение давления и угловой скорости во времени

Такой метод известен. Это теория графов связей [6], важнейшим положением которой является тезис о ведущей роли в любом процессе (за исключением информационного) энергетического воздействия, величина которого определяется свойствами обеих взаимодействующих систем. При этом передаваемый поток энергии всегда определен произведением двух модельных величин, называемых фундаментальными (ток и напряжение для электрических, сила и скорость для механических, давление и объемный расход для гидравлических, удельная энергия и массовый расход для газовых систем), одна из которых определена первой системой, а оставшаяся другая – второй.

Примером моделей второго уровня может являться модель двигателя ТМЗ-450Д детализированная фазовыми моделями:

- а) системы впуска и выпуска;
- б) системы топливоподачи с центробежным регулятором частоты вращения.

Модель двигателя, детализированная по системам впуска и выпуска, дополняется уравнениями, описывающими нестационарное движение газа (в общем случае трехмерное) [7]: результат решения – переходные процессы во впускной системе (расчет выпускной системы производится аналогично) приведен на рис. 3.

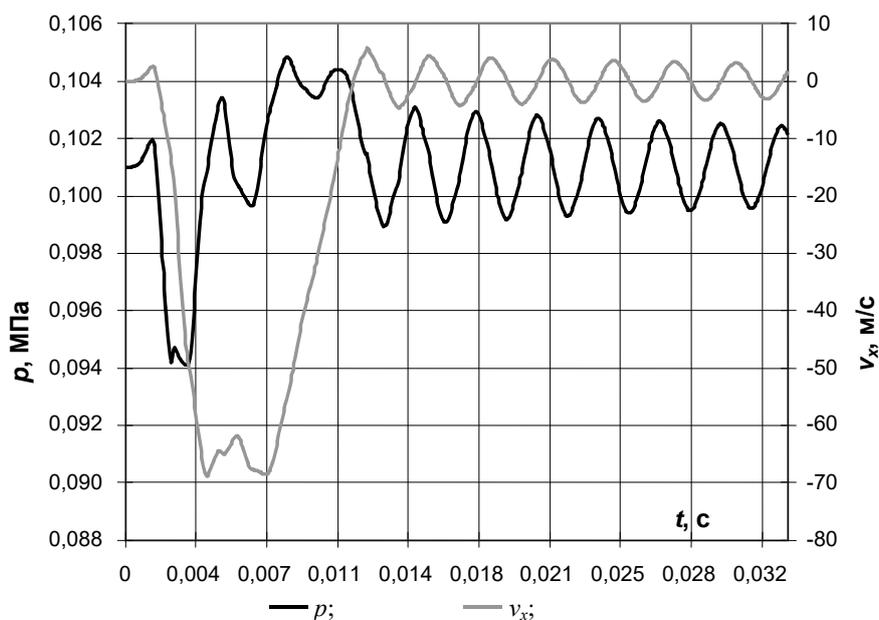


Рис. 3. Переходные процессы во впускной системе

При построении модели двигателя второго уровня модели впускной и выпускной системы определяли приход (расход) рабочего тела для основного ядра, а модель основного ядра определяла давление на входах в модели систем впуска (выпуска).

Модель двигателя, детализированная по системе топливоподдачи с механическим регулятором, дополняется уравнениями модели регулятора [5].

В данной модели фазовое представление разработано лишь для центробежного регулятора числа оборотов. Топливный насос, магистрали и форсунка отражены функциональными моделями.

Результат решения – переходные процессы в двигателе при запуске и набросе нагрузки с 5 до 20 Н·м приведен на рис. 4.

При построении модели второго уровня модель системы топливоподдачи определяла расход топлива для модели основного ядра, а модель основного ядра задавала скорость вращения вала регулятора.

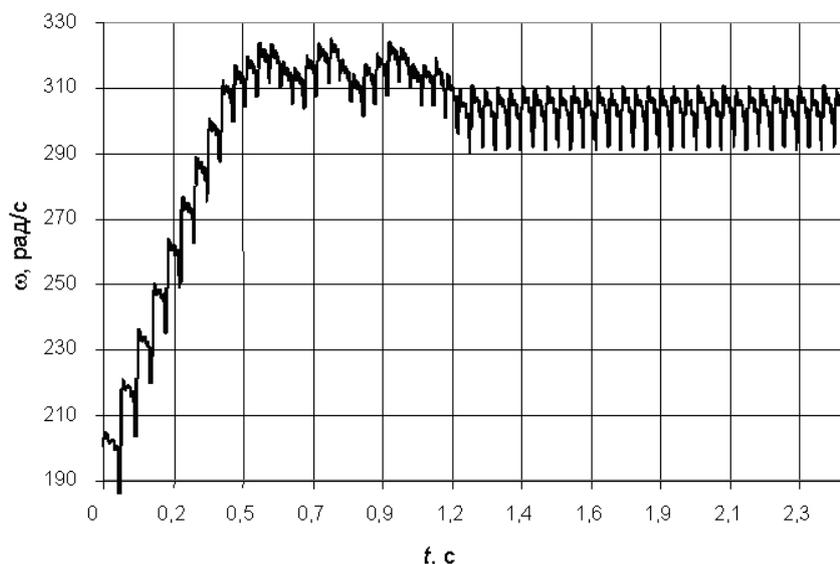


Рис. 4. Переходные процессы в двигателе при запуске и набросе нагрузки с 5 до 20 Н·м

Практическое использование предложенной иерархической системы моделей позволяет:

1). По модели первого уровня с малыми затратами времени и средств в результате многократно повторяемого машинного анализа осуществить определение основных параметров двигателя и получить значения показателей, определяющих работу систем, сопряженных с основным ядром (газообмена, топливоподачи и других.).

2). По частным моделям подсистем определить их параметры, обеспечивающие нужные значения показателей, входящих в модель первого уровня.

3). По модели второго уровня, учитывающей взаимодействие моделей основного ядра и систем ДВС, осуществить поверочный расчет правильности выбранных значений всех параметров.

Литература:

1. Двигатели внутреннего сгорания: Конструирование и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей / Д.Н. Вырубов, С.И. Ефимов, Н.А. Иващенко и др.; Под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – М.: Машиностроение, 1984, – 384 с., ил.

2. Неймарк Ю.И. Метод точечных отображений в теории нелинейных колебаний. – М.: Наука, 1972. – 471 с.

3. Вычислительные машины и мышление. – М.: Мир, 1967. – 246 с.

4. Малиованов М.В. Тепломеханика как теоретическая база исследования ДВС // Вопросы проектирования и создания автотранспортных средств и систем: Изв. ТулГУ – Тула: ТулГУ, 1995.– С. 154 – 162.

5. Малиованов М.В., Плешанов А.А., Темнов Э.С., Хмелёв Р.Н. Разработка математической модели двигатель-генераторной установки на базе дизеля ТМЗ-450Д // Двигатели внутреннего сгорания: Научно-технический журнал. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. №1. – С. 51 – 56.

6. Малиованов М.В. Применение графов связей для математического описания открытых термодинамических систем // Пневматика и гидравлика. Приводы и системы управления. – М.: Машиностроение, 1989. – Вып. 14. – С. 309 – 317.

7. Малиованов М.В., Хмелёв Р.Н. Разработка комплекса математических моделей для описания газодинамических процессов в ДВС // Двигатели внутреннего сгорания: Научно-технический журнал. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2004. №1(4). – С. 43 – 45.

ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В *HCCI* ДВИГАТЕЛЕ ДО МОМЕНТА САМОВОСПЛАМЕНЕНИЯ

Гусаков С.В., Епифанов И.В. (Российский университет дружбы народов)

Как и в двигателе с искровым зажиганием, топливовоздушная смесь в *HCCI* двигателе находится в состоянии, близком гомогенному. При ее сжатии температура в камере сгорания достигает таких значений, при которых происходит самовоспламенение топлива. При этом наблюдается объемное сгорание без турбулентного распространения пламени. Скорость перемешивания капель топлива с воздухом на рабочий процесс в *HCCI* двигателе не оказывает влияния. Преимуществом такого горения без образования высокотемпературных локальных зон является низкая средняя температура цикла, благодаря чему выбросы оксидов азота весьма малы.