

так и в диалговом режимах работы с пользователем. Последний из них более предпочтителен, поскольку процесс проектирования ЭГУ достаточно противоречив и часто требуются альтернативные оценки возникающих ситуаций, основанные на опыте и интуиции проектировщика. Решение задачи проектирования, рассматриваемое здесь, носит качественный характер, поскольку основано на линеаризации статических и динамических параметров. Вместе с тем предлагаемый алгоритм может являться базой для разработки более сложных, учитывающих большое число действующих

в ЭГУ факторов, в том числе и нелинейных и позволяющих получить достаточные количественные рекомендации.

#### ОБ АВТОРЕ

**Целищев Владимир Александрович**, докторант кафедры прикладной гидромеханики УГАТУ, доцент. Дипл. инженер по гидравлическим машинам (УГАТУ, 1982), канд. техн. наук в области систем приводов (1988). Исследования по электрогидроавтоматике двигательных установок.

УДК 621.43:001.3, 621.43:001.573

## ОСНОВЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ ОБЪЕКТА

А. О. БОРИСОВ

УГАТУ, факультет авиационных двигателей  
Тел: (3472) 22 84 05 25 86 52 E-mail: dvs@ugatu.rb.ru

**Аннотация:** Рассмотрены возможности регулирования двигателя с использованием модели объекта. Приведены структурная схема системы автоматического регулирования, методика формирования модели, алгоритм работы и перечень измеряемых аппаратной частью параметров

**Ключевые слова:** система автоматического регулирования; регулирование по модели; поршневой двигатель; модель коэффициентов наполнения; определение цикловых расходов воздуха

Совершенство теплового двигателя как многорежимного источника механической энергии определяется степенью инвариантности его показателей к изменениям режима работы, которые рассматриваются в качестве возмущений, снижающих эффективность «настроенного» на определенный режим рабочего процесса. Особенности работы поршневых двигателей выдвигают во главу угла необходимость согласования практически всех регулирующих воздействий с количеством окислителя в рабочей камере, что является функцией бортовой системы автоматического регулирования (САР).

В современных САР ДВС повышение качества регулирования достигается классическим методом — применением комбинированного регулирования [1]. Несмотря на развитую аппаратную часть САР и сложные алгоритмы коррекции, достигаемый эффект совершенно не пропорционален повышению сложности системы. Из множества причин, ограничивающих точность регулирования требуемых соотношений, наиболее существенную роль играет распределенность параметров в газоздушном тракте двигателя и наличие продувки рабочей камеры.

В системах, содержащих элементы с распределенными параметрами, для однозначного описания движения газа необходимо определение начальных и граничных условий. Для установившихся режимов работы ДВС начальные условия роли не играют. Поэтому на этих режимах удается в процессе формирования программы САР установить однозначную зависимость между результатами локального измерения параметров потока

воздуха и, например, цикловыми подачами топлива. Для неустановившихся режимов работы двигателя последовательность цикловых расходов воздуха через его рабочие камеры зависит от предстории явлений в ГВТ и рабочей камере, которая проявляется в виде начальных условий, соответствующих моменту изменения режима работы, и которая не учитывается в современной практике регулирования ДВС. Кроме того, для неустановившихся режимов работы двигателя актуальна задача прогнозирования расхода воздуха, поскольку подача топлива и другие регулирующие воздействия должны быть определены до окончания процесса газообмена. Наличие продувки рабочей камеры создает неопределенность в оценке ее наполнения независимо от способа и качества измерений.

Таким образом, следует признать принципиальную невозможность аппаратными средствами определить количество окислителя в рабочей камере двигателя.

Для подтверждения степени влияния рассмотренных факторов на точность определения наполнения были проведены специальные эксперименты, которые показали, что погрешность определения циклового расхода воздуха, обусловленная только неучетом начальных условий, соответствующих изменению режима работы двигателя, может достигать 50%.

Очевидно, по этой же причине разработчиками регулирующей части системы практически не рассматривается проблема синтеза алгоритма работы САР автомобильным двигателем на уровне отдельных циклов, что, очевидно, скрывает основ-



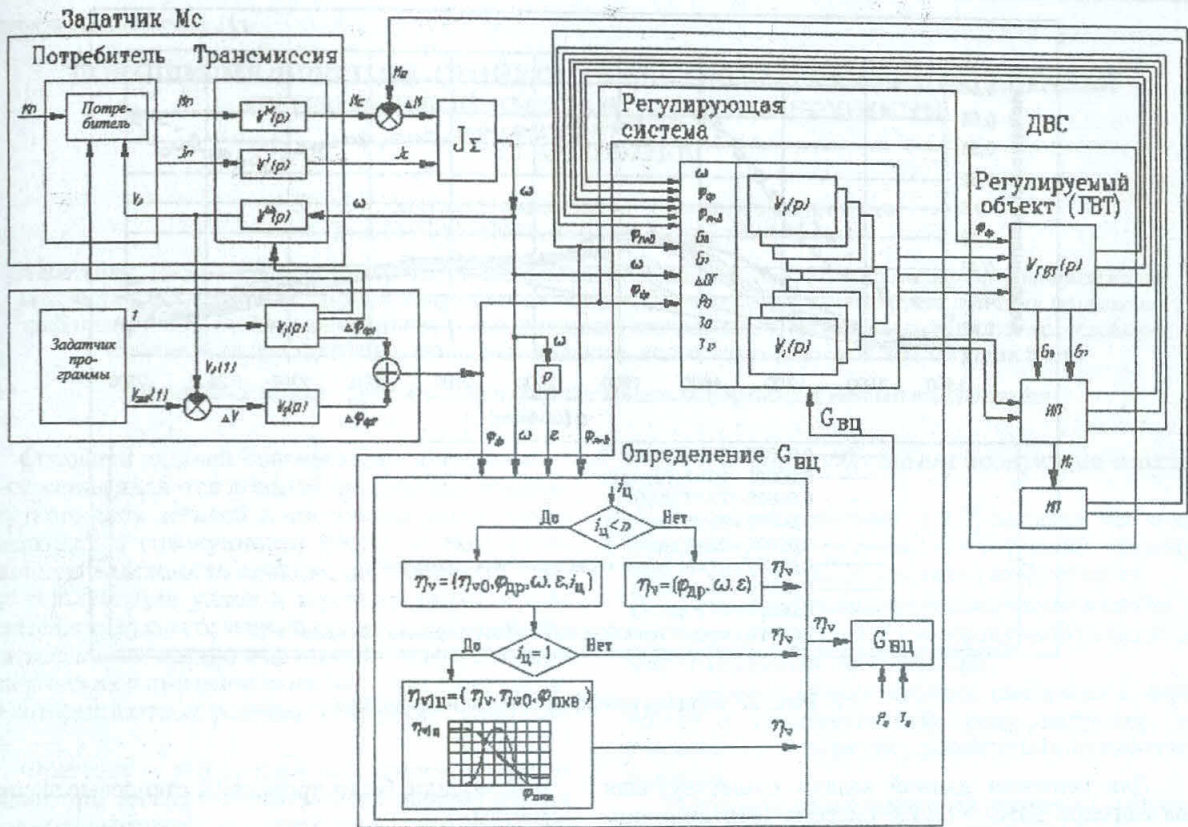


Рис. 1. Структурная схема САР ДВС

ной на сегодня резерв повышения уровня его эффективных и экологических показателей.

Поэтому представляет интерес рассмотреть возможность регулирования ДВС по модели. Рассмотрим структурную схему системы регулирования двигателем по модели при идеальной постановке задачи, которая в данном случае предполагает наличие вычислителя, производительность которого обеспечивает проведение расчетов в реальном масштабе времени, и достаточно точных моделей процессов в двигателе и потребителе [2].

Необходимым этапом программирования САР является операция ввода исходных данных модели: размеров элементов газозаборного тракта, камеры сгорания, законов движения органов газораспределения, кинематики ДВС, свойств рабочих жидкостей, поверхностей теплообмена, параметров потребителя и т. д.

Система содержит минимальный набор датчиков, необходимых для измерения внешних воздействий:

- давления и температуры окружающей среды,
- угла открытия дросселя,
- настройки потребителя,
- положения вала, сигнал которого необходим для фазовой синхронизации работы САР.

В полном объеме, очевидно, реализация этой задачи невозможна. Рассмотрим особенности частичной реализации этих предложений на примере системы регулирования, для которой главным командным параметром является цикловой расход воздуха.

На рис. 1 представлена структурная схема системы регулирования ДВС с использованием модели коэффициентов наполнения.

Для определения циклового расхода воздуха система использует информацию следующих датчиков: давления и температуры окружающей среды, частоты вращения, положения дросселя и углового положения вала двигателя.

Методика формирования модели коэффициента наполнения рабочей камеры двигателя заключается в следующем.

1. Формирование структуры модели «двигатель-потребитель».
2. Формирование структуры и настройка параметров системы имитационного моделирования режимов ездового цикла.
3. Назначение структуры и определение параметров модели коэффициентов наполнения.

Определение цикловых расходов воздуха в реальном времени производится по модели коэффициента наполнения с коррекцией значений по параметрам окружающей среды.



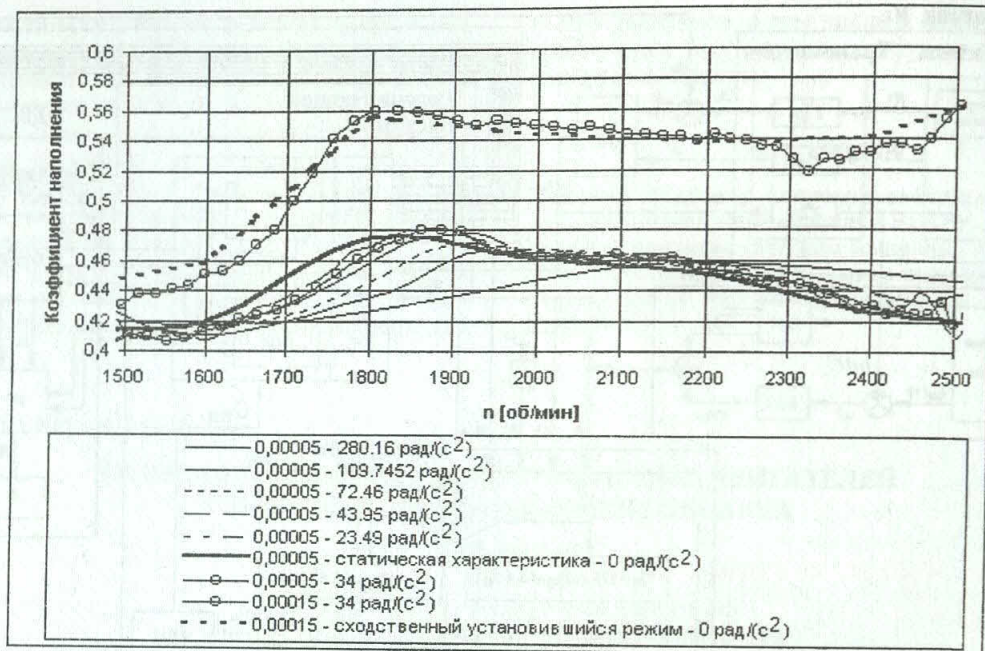


Рис. 2. Модель коэффициентов наполнения

Для решения данной задачи существующая на кафедре ДВС УГАТУ система имитационного моделирования «Альбея» была дополнена программными модулями, необходимыми для имитации режимов работы двигателя в ездовом цикле с требуемой точностью и видом переходных характеристик [3]. Предполагаемая модель коэффициента наполнения двигателя на режимах ЕЦ однозначно определяется значениями конструктивных параметров двигателя и характеристиками потребителя, режима работы и их производными:

$$\eta_v = f(\omega, \dot{\omega}, \ddot{\omega}, \dots, \varphi_{др}, \dot{\varphi}_{др}, \ddot{\varphi}_{др}, \dots, T_{ож}, \dot{T}_{ож}, \ddot{T}_{ож}, \dots, V_h, \epsilon_{кс}, l_{вп}, F_{вп}(x_{вп}), \varphi_{о.вп}, F_{вп.к}(\varphi_{ПКВ}), \varphi_{з.вп}, l_{вып}, F_{вып}(x_{вып}), \varphi_{о.вып}, F_{вып.к}(\varphi_{ПКВ}), \varphi_{з.вып}, \lambda, K_d, P_a, T_a, \dots).$$

Регистрация параметров окружающей среды, необходимая для вычисления массового циклового расхода воздуха, не вызывает технических проблем и осуществляется традиционным образом.

Для указанного двигателя получена кусочно-линейная модель коэффициентов наполнения от комбинации параметров, показанная на рис. 2.

Для подтверждения достоверности модели коэффициентов наполнения, полученной посредством разработанной методики, на полноразмерном двигателе, являющемся оригиналом числен-

ной модели, были проведены стендовые эксперименты.

Сопоставление результатов, полученных численным и физическим экспериментом, подтверждает возможность применения модели двигателя как объекта регулирования по расходу воздуха с погрешностью не более 5%.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бесекерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического регулирования. М.: Наука, 1975. 768 с.
2. Борисов А. О., Рудой Б. П., Утляков С. Г. Управление автомобильным двигателем по модели // Материалы междунар. науч.-практ. сем. «Современный автомобиль: управление и материалы». Тольятти-Самара, 1995. С. 10–11.
3. Борисов А. О., Пенкин Д. В. Модель САУ двигателем внутреннего сгорания на режимах ездового цикла // Материалы междунар. науч.-техн. конф. «Двигатель-97». М.: МГТУ им. Баумана, 1977. С. 85–87.

#### ОБ АВТОРЕ

**Борисов Александр Олегович**, доцент кафедры двигателей внутреннего сгорания УГАТУ. Дипл. инженер-механик (УГАТУ, 1977), канд. техн. наук по тепловым двигателям (Моск. автомеханический ин-т, 1981). Исследования в области регулирования поршневых двигателей.