

С. Г. Поступаева, А. Ю. Дуденков, А. А. Яковлев

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ФИЗИЧЕСКОГО ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ
СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
ПОДАЧИ ТОПЛИВА ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ**

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: posvetlana@mail.ru, toshalnet@yandex.ru, yaa_777@mail.ru

В статье рассматривается применение инженерно-физического метода для автоматического регулирования подачи топлива в дизельном двигателе на этапе построения модели физического принципа действия. Полученная модель системы позволяет отображать передвижение рабочего тела в пространстве и его физическое взаимодействие во времени.

Ключевые слова: поисковое конструирование, инженерно-физический метод, модель физического принципа действия, регулятор прямого действия, дизельный двигатель

S. G. Postupaeva, A. Yu. Dudenkov, A. A. Yakovlev

**DEVELOPMENT OF A MODEL OF THE PHYSICAL PRINCIPLE
OF OPERATION OF THE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM
DIESEL ENGINE FUEL SUPPLY**

Volgograd State Technical University

The article discusses the use of an engineering-physical method for automatically regulating fuel supply in a diesel engine at the stage of constructing a model of the physical principle of operation. The resulting model of the system allows us to display the movement of the working fluid in space and its physical interaction in time.

Keywords: search engine design, engineering-physical method, model of the physical principle of action, level controller of the floating type, diesel engine

В настоящее время конструкторы для синтеза технических решений используют определенные методы, в основе которых заложена модель физического принципа действия (ФПД): вепольный анализ [1]; энерго-информационный метод научно-технического творчества [2]; комбинаторный метод поиска физических принципов действия [3]. В перечисленных методах модель ФПД отображается в виде графа и показывает структуру проектируемых устройств и физические процессы, протекающие в них. Анализ этих методов показал, что наибольшую сложность представляет процесс перехода от описания ФПД к конструктивной

реализации технических систем. Особенно это касается разработки конструкции тех систем, у которых совокупность физических явлений, необходимых для их функционирования, осуществляется в разных точках пространства и зависит от времени.

В наибольшей степени эта проблема решена в инженерно-физическом методе, разработанном А. И. Половинкиным, В. А. Камаевым и А. А. Яковлевым [4]. Метод ориентирован на класс преобразователей энергии и позволяет на основе оригинальной информационной модели ФПД, характеризующей наиболее существенные свойства физических процессов, протека-

ющих в рабочем теле, определить функции элементов проектируемой системы, получить некоторое множество вариантов конструктивной реализации будущего изделия, а затем выбрать лучшие варианты с помощью ЭВМ по заданным показателям качества.

Рассмотрим применение инженерно-физического метода на этапе построения модели ФПД для системы автоматического регулирования подачи топлива в дизельном двигателе.

В качестве объекта регулирования выбран четырехтактный дизельный двигатель ЯМЗ-236. Этот двигатель представляет собой энергосиловую установку, преобразующую химическую энергию углеводородного топлива в механическую энергию.

Для общего представления об этом двигателе на рис. 1 приведен его поперечный разрез, на котором показаны основные системы и механизмы дизеля.

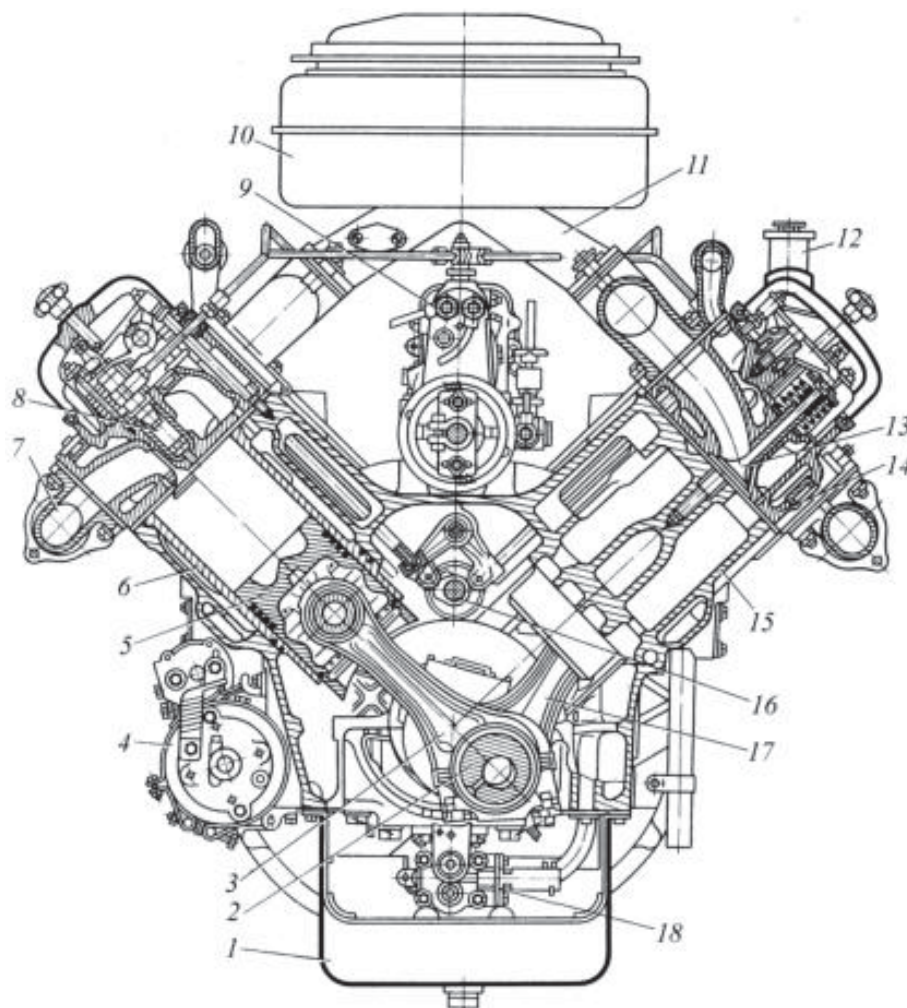


Рис. 1. Поперечный разрез двигателя ЯМЗ-236:

1 – поддон; 2 – коленчатый вал; 3 – шатун правого ряда цилиндров; 4 – стартер; 5 – поршень; 6 – гильза цилиндра; 7 – выпускной трубопровод; 8 – форсунка; 9 – топливный насос высокого давления; 10 – воздухоочиститель; 11 – переходник выпускных трубопроводов; 12 – маслозаливная горловина; 13 – выпускной клапан; 14 – головка блока; 15 – блок цилиндров; 16 – распределительный вал; 17 – шатун левого ряда цилиндров; 18 – масляный насос

Функциональная схема системы автоматического регулирования подачи топлива дизельного двигателя с регулятором прямого действия представлена на рис. 2.

Объектом регулирования в нашем случае выступает дизельный двигатель. Двигатель включает несколько аналогичных по конструкции цилиндров, поэтому для разработки модели

физического принципа действия исследуется только один. Рабочим телом двигателя является смесь жидкого топлива с воздухом на начальных участках рабочего цикла, а также продукты сгорания с атмосферным азотом на остальных участках цикла. Подробно с построением модели ФПД дизельного двигателя можно познакомиться в работе [5].

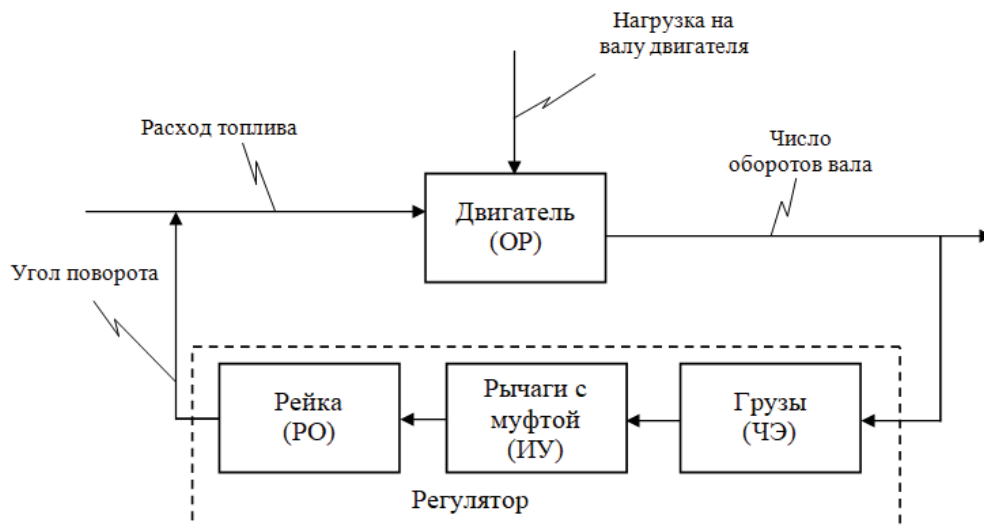


Рис. 2. Функциональная схема системы автоматического регулирования подачи топлива дизельного двигателя:
ОР – объект регулирования; РО – регулирующий орган; ИУ – исполнительное устройство;
ЧЭ – чувствительный элемент

Процесс регулирования подачи топлива в дизельном двигателе осуществляется за счет

регулятора прямого действия. Структурная схема такого регулятора приведена на рис. 3.

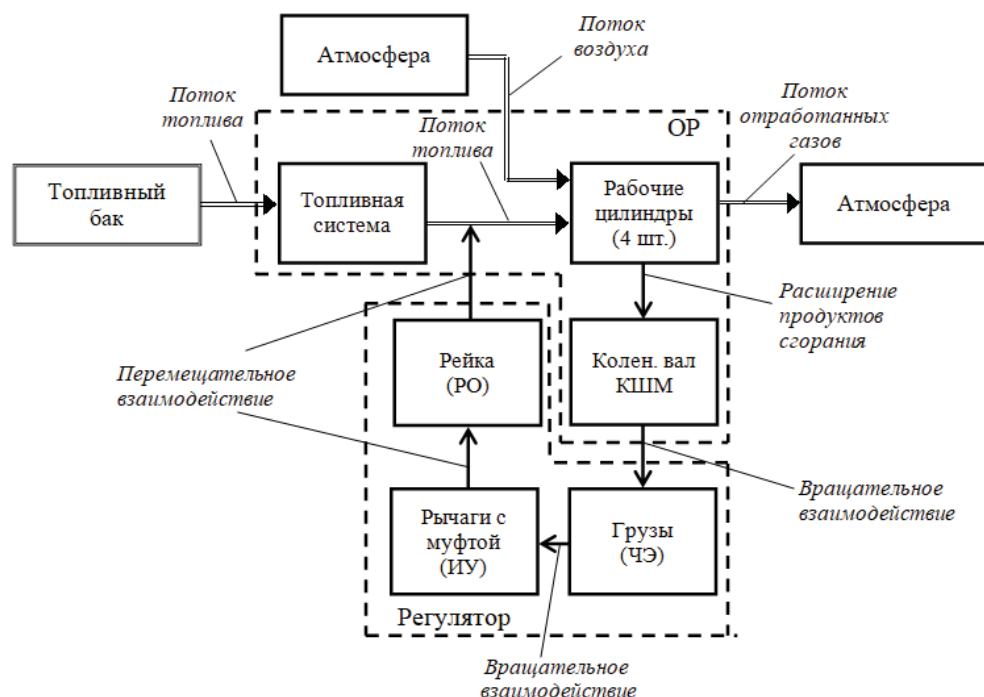


Рис. 3. Структурная схема регулятора прямого действия дизельного двигателя

На основе разработанной структурной схемы регулятора дизельного двигателя и модели ФПД самого двигателя строится модель физического принципа действия системы автомати-

ческого регулирования подачи топлива дизельного двигателя (рис. 4) [6].

Описание входящих в модель элементов изложено в таблице.

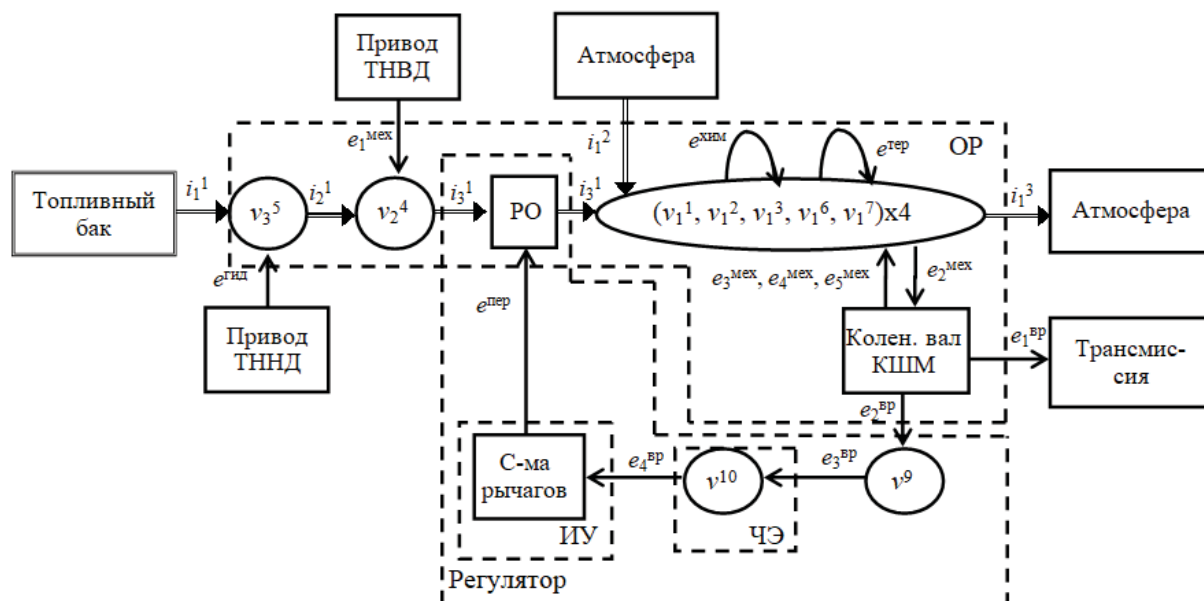


Рис. 4. Модель ФПД системы автоматического регулирования подачи топлива дизельного двигателя

Описание элементов модели ФПД дизельного двигателя

Обозначение элемента	Тип вершины или дуги	Семантическое описание
Колен. вал КШМ	Объект окружения	Потребитель энергии (коленчатый вал кривошипно-шатунного механизма)
Топливный бак	То же	Исток рабочего тела
Атмосфера	—//—	Исток рабочего тела
Атмосфера	—//—	Сток рабочего тела
Привод ТНВД	—//—	Привод топливного насоса высокого давления
Привод ТННД	—//—	Привод топливоподкачивающего насоса низкого давления
РО	Элемент управления	Регулирующий орган (рейка)
С-ма рычагов	То же	Исполнительное устройство (система рычагов регулятора)
v_1^1	Характерная точка	1) Смесь паров жидкого топлива с атмосферным кислородом в рабочем цилиндре двигателя; 2) газообразные продукты сгорания в рабочем цилиндре двигателя
v_1^2	То же	Расширяющиеся газообразные продукты сгорания и атмосферный азот в рабочем цилиндре двигателя
v_1^3	—//—	Воздух в рабочем цилиндре двигателя
v_1^6	—//—	Воздух при давлении ниже атмосферного в рабочем цилиндре двигателя
v_1^7	—//—	Выталкиваемые продукты сгорания в рабочем цилиндре двигателя
v_2^4	—//—	Топливо в топливном насосе высокого давления (ТНВД)
v_3^5	—//—	Топливо в топливоподкачивающем насосе низкого давления (ТННД)
v^9	—//—	Приводной вал регулятора
v^{10}	—//—	Большие и малые грузы регулятора
i_1^1	Маршрутная дуга	Поток жидкого топлива в рабочую камеру топливоподкачивающего насоса (ТННД)
i_2^1	То же	Поток жидкого топлива в камеру сжатия топливного насоса высокого давления (ТНВД)

Окончание таблицы

Обозначение элемента	Тип вершины или дуги	Семантическое описание
i_3^1	—//—	Поток жидкого топлива из камеры сжатия топливного насоса высокого давления в рабочий цилиндр
i_1^2	—//—	Поток воздуха в рабочий цилиндр
i_1^3	—//—	Поток отработавших газов в атмосферу
$e^{\text{хим}}$	Взаимодействие	Сгорание смеси жидкого топлива с воздухом в рабочем цилиндре двигателя
$e^{\text{тер}}$	То же	Термическое взаимодействие между продуктами сгорания и атмосферным азотом
$e^{\text{гид}}$	—//—	Проталкивание топлива по трубопроводу к насосу высокого давления
$e_1^{\text{мех}}$	—//—	Сжатие жидкого топлива
$e_2^{\text{мех}}$	—//—	Расширение продуктов сгорания и атмосферного азота
$e_3^{\text{мех}}$	—//—	Сжатие атмосферного воздуха в цилиндре
$e_4^{\text{мех}}$	—//—	Всасывание атмосферного воздуха
$e_5^{\text{мех}}$	—//—	Выталкивание продуктов сгорания
$e_1^{\text{вр}}$	—//—	Вращательное взаимодействие коленчатого вала КШМ с валом трансмиссии
$e_2^{\text{вр}}$	—//—	Передача вращения с коленчатого вала КШМ на приводной вал регулятора
$e_3^{\text{вр}}$	—//—	Вращательное взаимодействие приводного вала регулятора с грузами
$e_4^{\text{вр}}$	—//—	Вращательное взаимодействие грузов с системой рычагов регулятора
$e^{\text{пер}}$	—//—	Перемещение рейки регулятора

Разработанная модель ФПД является основой для выявления элементарных конструктивных функций системы с целью получения определенного набора функциональных элементов, с помощью которых будет сформирована матрица технических решений для дальнейшего проектирования альтернативных вариантов исполнения системы автоматического регулирования подачи топлива в дизельном двигателе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Livotov, P. Method for Formulation, Selection and Application of Elementary TRIZ Inventive Principles for Automated Idea Generation (2021) IFIP Advances in Information and Communication Technology, 635 IFIP, pp. 315-329.
2. Knowledge bases of physical effects and phenomena for method of energy- informational models by means of ontologies / V.M. Zaripova [et. al.] // Creativity in Intelligent Technologies and Data Science. CIT&DS 2015: First Conference (Volgograd, Russia, September 15-17, 2015). – [Switzerland]: Springer International Publishing, 2015. – P. 224–237.
3. Глазунов, В. Н. Поиск принципов действия технических систем / В. Н. Глазунов. – М. : Речной транспорт, 1990. – 143 с.
4. Яковлев, А. А. Инженерно-физический метод синтеза концептуальных технических решений преобразователь энергии : монография / А. А. Яковлев; Волгоград. гос. техн. ун-т. – Волгоград, 2004. – 160 с.
5. Яковлев, А. А. Разработка множеств технических решений установок для преобразования энергии : монография / А. А. Яковлев. – М. : Машиностроение-1, 2007. – 128 с.
6. Яковлев, А. А. Разработка автоматизированного устройства охлаждения зоны резания фрезерного станка. Построение модели физического принципа действия устройства / А. А. Яковлев, С. Г. Поступаева // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 1 (260) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2022. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 83–87.