

## ОСНОВЫ МЕТОДОЛОГИИ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ДВС, РАБОТАЮЩИХ НА АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ТОПЛИВАХ

### Введение

Энергетическая безопасность любой страны, прежде всего, определяется обеспеченностью запасами углеводородного сырья, эффективностью его добычи, переработки и использования, а также качеством и производством энергоустановок. Для Украины энергетический эквивалент поставок органического сырья в 2005 году составил 60,7 % от общего энергопотребления. С учетом геополитического, макроэкономического и научно-технического развития Украины Кабинетом министров была принята «Энергетическая стратегия Украины на период до 2030 года» [1], направленная на уменьшение энергоёмкости отечественного производства. Рис. 1 отражает потребление органического топлива в Украине и его прогноз до 2030 года, а таблица 1 – сравнение структуры прогнозируемого потребления ресурсов в Украине и ЕС.

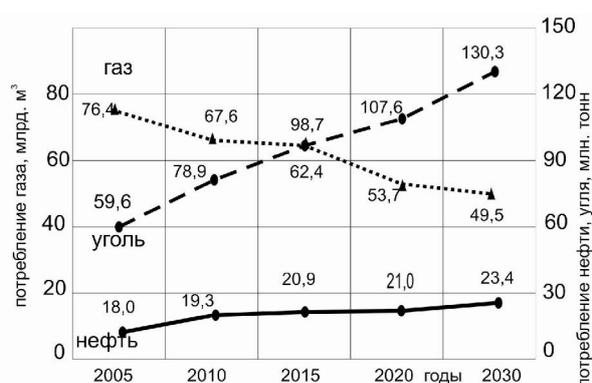


Рис. 1. Реальное и прогнозируемое потребление угля, нефти и природного газа в Украине

Таблица 1. Баланс спроса на первичные энергоресурсы в ЕС и Украине к 2030 году

Энергетические ресурсы, %	Украина	ЕС
Твёрдое топливо	33,7	15,5
Нефть	11,2	33,8
Газ	18,8	27,3
Ядерная энергия	21,4	11,1
Возобновляемые источники	15,6*	12,2

\* – с учетом шахтного метана

Как известно, 80 % всех производных нефти идет на различного рода транспорт, а бóльшая доля

моторного топлива – на нужды автомобильного транспорта, использующего в качестве силовых установок двигателя внутреннего сгорания. Автомобильный парк планеты на текущий момент оценивается примерно в 900 млн. единиц, и этот показатель, несомненно, будет расти.

Транспорт имеет большое влияние на экономику и национальный торговый баланс любой страны. Кроме того, с автомобильным транспортом связана проблема загрязнения окружающей среды: в отработавших газах любого поршневого ДВС присутствует около 280 различных компонентов, часть из которых токсичные вещества. По данным американского агентства по охране окружающей среды [2] доля вредных выбросов в атмосферу, которую «обеспечил» транспорт к началу третьего тысячелетия составила: 33% CO<sub>2</sub>, 44% сажи, 53% оксидов азота, 79% CO, 25% макрочастиц, 13% свинца, 7% оксида серы.

### Постановка задачи и изложение основ методологии исследования поршневых ДВС

Конкурентоспособность транспортных средств в значительной мере определяется техническим уровнем его силовой установки, а это, как правило, ДВС различного типа и назначения, главная функция которого эффективное преобразование химической энергии топлива в механическую работу. Проблема экономии традиционного топлива и защиты окружающей среды на текущий момент выдвигает ряд задач, связанных с эксплуатацией и созданием тепловых энергоустановок: совершенствование конструкции и рабочих процессов ДВС; использование альтернативных топлив; создание комбинированных энергоустановок; переход на гибридные автомобили с топливными элементами. Для своего решения каждая из этих задач связана с большим объемом разносторонних исследовательских работ.

Актуальным представляется комплексное рассмотрение одной из задач исследования транспортных ДВС на традиционных и альтернативных топливах, которая предполагает:

- изучение моторных свойств топлива-претендента;

– прогнозирование основных характеристик ДВС, работающего на том или ином топливе;

– выбор оптимальных регулировочных параметров двигателя для проведения натурных (стендовых) испытаний;

– обоснование способов и методов адаптации ДВС к виду топлива; прогнозирование моторесурса как важнейшего показателя надежности двигателя и его обеспечение в эксплуатации;

– экспериментальную оценку проводимых исследований ДВС на моторных стендах.

ДВС можно рассматривать как сложную открытую неоднородную динамическую стохастическую систему. Сюда же необходимо добавить свойство иерархичности двигателя как технической системы. Иерархичность структуры объекта является основой для разработки методики, алгоритмов и программ исследования как объекта в целом, так и его элементов.

Подтверждением того, что ДВС – сложная техническая система, являются следующие признаки [3]:

– многообразии выполняемых функций;

– наличии большого числа составных частей, образующих единое целое как конструктивно, так и функционально;

– разветвленный характер связей между отдельными частями;

– наличие сложно организованного управления;

– проявление свойств объекта при взаимодействии с внешней средой, которая оказывает влияние на их формирование;

– наличие элементов случайности в реакции системы на внешние воздействия;

– изменчивость, тенденции к ухудшению характеристик объекта.

Значительно облегчает проектирование и исследование ДВС использование системных понятий, позволяющих методами физического, математического моделирования и натурного эксперимента учесть взаимодействие всех составляющих системы.

Задач исследования сложных систем две:

– задача анализа, связанная с изучением свойств и поведения системы в зависимости от ее структуры и значений параметров;

– задача синтеза, которая сводится к выбору структуры и значений параметров, исходя из заданных свойств системы.

Нередко задача синтеза ставится как экстремальная задача. Методов, позволяющих строго формально решать задачи синтеза, почти нет (кроме случая конечных автоматов) [3]. Поэтому на практике приходится пользоваться различными неформальными приемами синтеза сложных систем. В конце концов, все они сводятся к перебору вариантов или «синтезу через анализ», когда известными методами анализа вариант исследуется, затем определяются всевозможные показатели в пространстве варьируемых параметров.

Функционирование ДВС определяется взаимосвязанной совокупностью процессов различной физической природы (механических, газо- и гидродинамических, физико-химических, информационных) и внешних факторов (рис. 2).

Формализация большинства процессов, происходящих в ДВС, сложна и трудна в описании, тем более во взаимосвязи процессов часто невозможна. Концепция системы позволяет расчленять систему на подсистемы, сохраняя связи между ними, обеспечивающие учет взаимодействия. Каждый элемент иерархической системы двигателя можно рассматривать как самостоятельный объект, так как он является вполне определенной функциональной единицей. Внешние связи рассматриваемого элемента с вышерасположенными элементами известны и являются исходными условиями. В конечном итоге все применяемые на практике математические модели с определенной степенью допущений достаточно подробно описывают процессы в отдельных составляющих ДВС объектах, а математическая модель системы ДВС в целом является многоуровневой конструкцией элементов–подсистем, объединенных системой отношений. Каждая подсистема представляет собой математическую модель того или иного объекта ДВС.

Так как основные требования к качеству ДВС касаются мощностных, экологических, экономических и прочностных показателей, в силу сложности самой системы ДВС и связей ее объектов оптимальный вариант современного двигателя – всегда взвешенный компромисс между различными требованиями к нему. Этот факт, безусловно, определяет необходимость прогнозирования основных показателей ДВС как при его проектировании и модернизации, так и при исследовании влияния на характеристики двигателя традиционных и новых видов топлив.

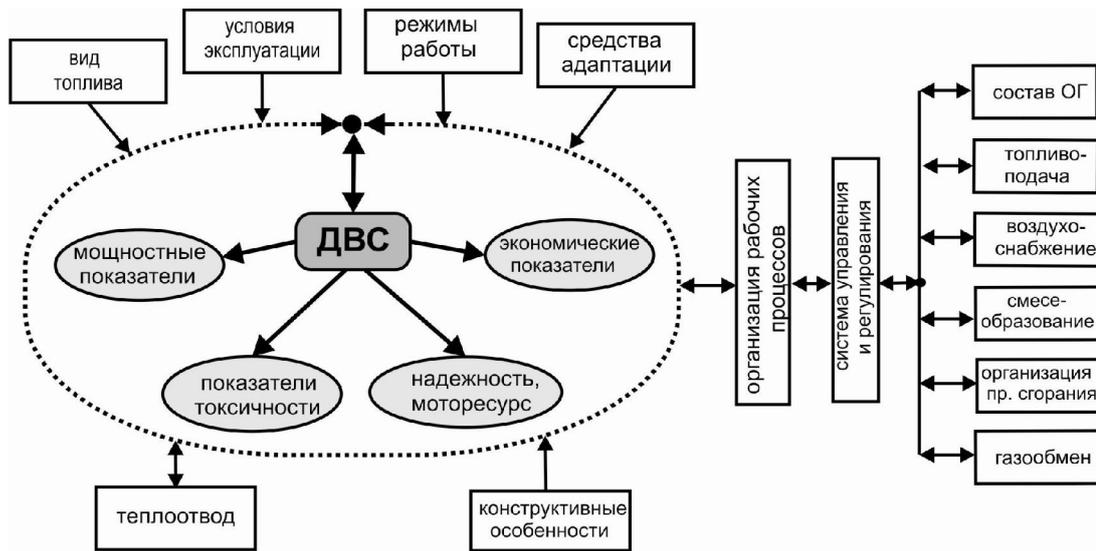


Рис. 2. Схема взаимовлияния систем и внешних факторов на основные показатели двигателя

В этой связи представляется возможным осуществлять прогнозирование по двум направлениям:

- путем анализа результатов расчетно-экспериментальных исследований рабочего цикла двигателя с определением мощностных, экономических показателей, показателей токсичности;
- по результатам расчетно-экспериментальных исследований теплового и напряженно-деформированного состояния наиболее нагруженных элементов, определяющих надежность и срок службы двигателя.

Кроме того существует проблема адаптации к новым топливам существующих двигателей, технический парк которых разрабатывался в расчете на жидкое нефтяное топливо. С ориентировкой на нефтяное топливо двигатели конструировались, создавалась инфраструктура, разрабатывались соответствующие теоретические положения. Поэтому на начальном этапе внедрения альтернативных топлив приходится идти на компромисс между требованиями к новым топливам и их возможностями с учетом того, что это топлива новой, особой природы, и, соответственным образом, приспособлять к этому системы двигателей.

Для численного исследования рабочего цикла двигателя в требуемых диапазонах изменения режимных, конструктивных и регулировочных параметров целесообразно использовать термодинамическую модель на базе 2-х зонной или многозонной модели сгорания с учетом диссоциации продуктов сгорания и кинетики образования оксидов азота [4]. Такая модель позволяет провести качественный

анализ вредных составляющих отработавших газов – CO, NO, CO<sub>2</sub> и, что немаловажно, индикаторных показателей в полном объеме с достаточной достоверностью и при минимальных затратах расчетного времени. Кроме того, возможно определение оптимального диапазона регулировочных параметров двигателя, что позволяет выбрать направление экспериментальных исследований и сократить материальные и временные затраты на них.

Работоспособность и надежность ДВС в большинстве случаев определяется наиболее нагруженной его составляющей – цилиндропоршневой группой (ЦПГ), которая, в свою очередь, представляет собой сложную систему элементов, материал, конструкция и тепловая нагруженность которых могут существенно влиять на оптимальные параметры ЦПГ и двигателя в целом.

При исследовании функциональности самого нагруженного объекта ДВС – цилиндропоршневой группы необходимо рассмотреть тепловое и напряженно деформированное состояние ее элементов в случае замены материала деталей ЦПГ, изменения конструкции или геометрии, форсирования или дефорсирования двигателя, которые возможны с применением нового топлива. Для этой цели подходят хорошо зарекомендовавшие себя расчетные программные комплексы «Крок», «COSMOS», «ANSYS», другие.

#### Заключение

Анализ энергопотребления в стране и мире, условий появления альтернативных топлив и замены ими традиционных топлив дает возможность

утверждать, что ДВС в обозримом будущем останется самым конкурентоспособным преобразователем энергии, что, в свою очередь, определяет необходимость его дальнейших исследований как на стадии проектирования и модернизации, так и в эксплуатации.

Предлагаемая методология исследования транспортных ДВС разного типа и различного назначения, работающих на альтернативных и традиционных топливах, способна уменьшить затраты времени и средств, предоставив предварительный прогноз о показателях двигателя, определяющих его потребительские качества на том или ином топливе, и принимать соответствующие решения относительно объекта в целом.

Это особенно важно, когда речь идет о смешанных топливах, когда необходимо исследование характеристик двигателя на каждой топливной композиции, так как использование новых видов топлив влечет изменение акцентов в борьбе с токсичностью самих топлив, токсичностью отработавших газов двигателей и в защите элементов двигателей от агрессивного воздействия топлив.

С использованием вышеизложенной методологии в ИПМаш НАН Украины выполнен цикл расчетно-экспериментальных исследований и получен опыт прогнозирования основных характеристик ДВС разного типа и назначения для случаев использования таких моторных топлив как бензин, нефтяное дизельное топливо, бензоэтанол и смешанное биодизельное топливо, природный газ и биогаз.

С помощью численного моделирования были получены показатели экономичности, токсичности, прочности двигателей, работающих на перечисленных видах моторных топлив.

Экспериментальная часть исследований реализована на моторных стендах с использованием двигателей с искровым зажиганием и жидкостной системой питания 4Ч 7,9/8,0, 4Ч 7,5/7,1; газовой

топливной системой 2Ч 10,5/12 (на базе дизеля Д21), а также дизелей 1Ч 8,5/11 и 2Ч 10,5/12 (Д21А).

Результаты исследований изложены в отчетах о научной деятельности и в публикациях, некоторые здесь приведены [5 – 7].

#### Список литературы:

1. *Энергетическая стратегия Украины на период до 2030 года. Принята распоряжением КМ Украины от 15 марта 2006 г., № 145-р.* – 129 с. 2. *Putting Advanced Transportation Technologies to Work for Clean Air and Energy Security / David Rodgers // The Mobile Source Technical Review Subcommittee.* – U.S. Department of Energy. – 2001. 3. *Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем / Н. П. Бусленко.* – М.: Наука, 1978. – 400 с. 4. *Куценко А. С. Моделирование рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания на ЭВМ / А. С. Куценко.* – К.: Наук. думка, 1988. – 100 с. 5. *Контроль качества проектирования поршня быстроходного автомобильного двигателя / А. М. Левтеров, А. В. Белогуб // Двигатели внутреннего сгорания.* – 2005. – №1. – С. 135 – 137. 6. *Разработка модели нестационарной термоупругости составного поршня транспортного дизеля / А. П. Строков, А. М. Левтеров, А. Н. Авраменко // Проблемы машиностроения.* – 2009. – №2. – С. 76–84. 7. *Использование альтернативных топлив в транспортных ДВС / А.М. Левтеров, Л.И. Левтерова, Н.Ю. Гладкова // Автомобильный транспорт: сб. научн. тр.* – 2010. – № 27. – С. 78–82.

#### Bibliography (transliterated):

1. *Jenergeticheskaja strategija Ukrainy na pe-riod do 2030 goda. Prinjata rasporjazheniem KM Ukrainy ot 15 marta 2006 g., № 145-r.* – 129 s. 2. *Putting Advanced Transportation Technologies to Work for Clean Air and Energy Security / David Rodgers // The Mobile Source Technical Review Sub-committee.* – U.S. Department of Energy. – 2001. 3. *Buslenko N. P. Modelirovanie slozhnyh sistem / N. P. Buslenko.* – M.: Nauka, 1978. – 400 s. 4. *Kucenko A. S. Modelirovanie rabochih pro-cessov dvigatelej vnutrennego sgoranija na JeVM / A.S. Kucenko.* – K.: Nauk. dumka, 1988. – 100 s. 5. *Kontrol' kachestva proektirovanija porshnja bystrohodnogo avtomobil'nogo dvigatelja / A. M. Levterov, A. V. Belogub // Dvigateli vnutrennego sgoranija.* – 2005. – №1. – S. 135 – 137. 6. *Razrabotka modeli nestacionarnoj termo-uprugosti sostavnogo porshnja transportnogo dize-lja / A. P. Strokov, A. M. Levterov, A. N. Avramenko // Problemy mashinostroenija.* – 2009. – №2. – S. 76–84. 7. *Ispol'zovanie al'ternativnyh topliv v transportnyh DVS / A.M. Levterov, L.I. Levtero-va, N.Ju. Gladkova // Avtomobil'nyj transport: sb. nauchn. tr.* – 2010. – № 27. – S. 78–82.

УДК 621.436

**А.А. Лисовал, канд. техн. наук, А. В. Вербовский, асп., С.В. Кострица, асп.**

## ПРОВЕРКА АДЕКВАТНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДИЗЕЛЯ

### Введение

При разработке систем автоматического регулирования частоты вращения (САРЧ) дизеля и ис-

следованиях переходных процессов широко применяют математические модели.

Раньше для исследований САРЧ дизеля при-