

НАПРАВЛЕННЫЙ СИНТЕЗ СИСТЕМ ТОПЛИВОПИТАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ НА МЕТАЛЛИЗИРОВАННОМ ТОПЛИВЕ

Введение

Современная мобильная техника в большинстве случаев является многофункциональной, имеет возможность выполнения широкого спектра задач в условиях быстро изменяющейся обстановки со сменой поставленных целей. Для обеспечения надлежащего функционирования такой техники необходимо создание двигателей, работающих на высокоэнергетических топливах. К таким топливам относятся, например, металлизированные топлива. Они отличаются от традиционных топлив не только химическими, но и механическими характеристиками. Поэтому эффективное использование металлизированных топлив требует создания новых специальных систем топливопитания.

Анализ последних исследований и публикаций

Существующая методология проектирования сложных механических, гидравлических и пневматических систем, опирающаяся на классические подходы [1,2], не позволяет синтезировать достаточно полные упорядоченные множества структур сложных систем, в частности, систем топливоподачи, для последующего решения задач оптимизации.

Располагает более широкими проектными возможностями методология, основанная на учете типового множества этапов жизненного цикла техники, описанная в работе [3]. Данная методология ориентирована, в основном, на создание горизонтально интегрированных технологических систем.

Менее распространенные общие и специализированные подходы к проектированию сложных систем приведены в работах [4,5]. В работе [4], в частности, предлагается функционально-ориентированный подход. Главными особенностями этого подхода являются: модульность, типизация, параллелизм и устойчивость. В работе [5] подход ориентирован на создание конструкций. В работе [6] описан общий «системотехнический» подход, предусматривающий эвристическое определение иерархичной структуры системы, организацию взаимодействия между подсистемами и элементами. Однако, такой подход не позволяет генериро-

вать полные множества вариантов структур техники новых видов и типов.

В связи с этим, требуется создание более совершенных специализированных методов проектирования техники, частью которых являются системы топливоподачи двигателей, работающих на металлизированном топливе.

Постановка задачи

Целью данной статьи является изложение общих особенностей применения нового метода направленного синтеза сложных технических систем, с учетом структурных особенностей и многомерной классификации, применительно к созданию систем топливоподачи для двигателей, работающих на металлизированном топливе.

Направленный синтез систем топливопитания для двигателей, работающих на металлизированном топливе, является относительно новым методом, позволяющим с применением регулярных процедур, формировать полные множества структурных и параметрических решений. Последнее составляет базу для решения задач комплексной структурно-параметрической оптимизации.

Изложение основного материала исследования

В работах [7,8] заложены основы нового метода направленного синтеза техники, отличительная черта которого – использование процедур поиска наиболее эффективных решений из полного множества возможных решений.

Обычно традиционное проектирование систем делится на две стадии: макропроектирование (внешнее проектирование), в процессе которого решаются функционально-структурные вопросы системы в целом (определение целей создания системы и круга, решаемых ею задач; описание действующих на систему факторов; выбор показателей эффективности системы), и микропроектирование (внутреннее проектирование), связанное с получением технических решений по основным элементам системы (конструкция, параметры, режимы эксплуатации). В этой двухуровневой структуре недостает социально-гуманитарного аспекта рассматриваемой проблемы, а также учета общих определяющих законов порождения, строения, ком-

муникации и развития элементов техносферы. Поэтому новый подход к решению задачи создания сложных технических систем, к которым относятся системы топливопитания двигателей, работающих на металлизированном топливе, должен быть трехуровневым.

На рис. 1 [7] показана трехуровневая структура процесса формализованного инновационного синтеза объектов техносферы. При этом процедуры синтеза на каждом уровне связаны с проблематикой социально-гуманитарных, естественных и технических наук, соответственно.

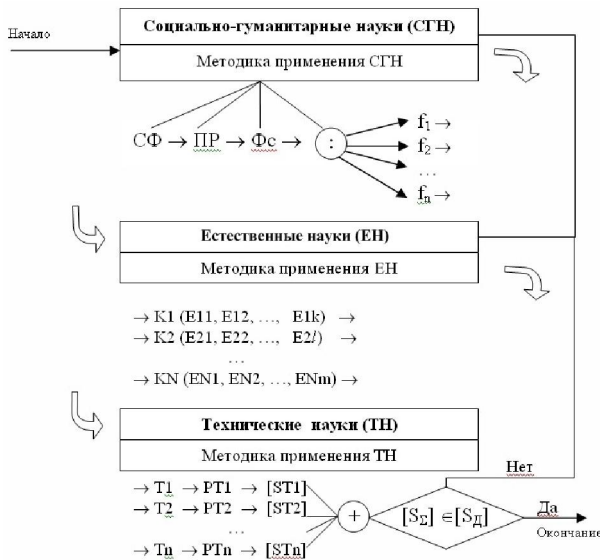


Рис.1. Схема трехуровневой структуры общего метода синтеза техники

На первом уровне решаются задачи: определения сферы применения инноваций (СФ); синтеза предназначения создаваемого объекта в пределах выбранных областей применения (ПР); определения общей интегральной функции инновации (F), которая в свою очередь раскладывается на множество составляющих элементарных функций системы – $f_i, i \in \{1, N\}$. Данные процедуры синтеза предусматривают применение по определенной методике знаний социально-гуманитарных наук.

Каждая из функций системы может реализовываться при помощи различных физических (математических, химических, биологических и др.) эффектов, способных реализовать заданные функции или их объединения. Поэтому на втором уровне определяются кластеры $K_i (E_{i1}, E_{i2}, \dots, E_{ik})$ физических, математических, химических или биологических эффектов, которые детерминируют принцип

действия технической инновации. Это сфера применения знаний естественных наук.

На третьем уровне используются знания собственно технических наук, на базе которых определяются технологические процессы T_i и обеспечивается структурно-параметрический синтез элементов технической системы $ST(N_{i1}, N_{i2}, \dots, N_{im})$, из которых складывается общая структура системы (S_Σ). Здесь N_{ij} – параметры элементов системы.

Процесс синтеза завершается после проверки общей структуры системы на соответствие заданным условиям коммуникации S_d .

На основе трехуровневой структуры общего метода синтеза техники разработан специализированный алгоритм направленного синтеза систем топливопитания двигателей, работающих на металлизированном топливе.

Внесенные отличия в метод заключаются в учете особенности процедуры конкретизации общей структуры, состоящие в том, что она выполняется на основе принципа информационной соподчиненности этапов. Согласно этому, на каждом предыдущем этапе подготавливается необходимая и достаточная информация для осуществления последующего этапа, с учетом численных значений параметров системы топливопитания двигателей, работающих на металлизированном топливе.

На рис.2 изображена общая последовательность конкретизации информации при реализации направленного синтеза систем топливопитания – его алгоритм.

На первых двух этапах решаются задачи определения области применения и установления предназначения систем топливопитания в пределах выбранных областей её применения соответственно. Эти этапы не относятся к сфере собственно технического проектирования. Их выполнение обеспечивается специальными отраслевыми науками.

Информация, получаемая на этих этапах, позволяет на третьем этапе задать общую интегральную функцию системы, критерии оптимизации и ограничения. Далее осуществляется разделение общей интегральной функции системы на составляющие. Максимальная глубина разделения этой функции может доходить до уровня элементарных функций.

На четвертом этапе каждой функции ставится в соответствие один или несколько эффектов (принципов действия), способных ее реализовать.

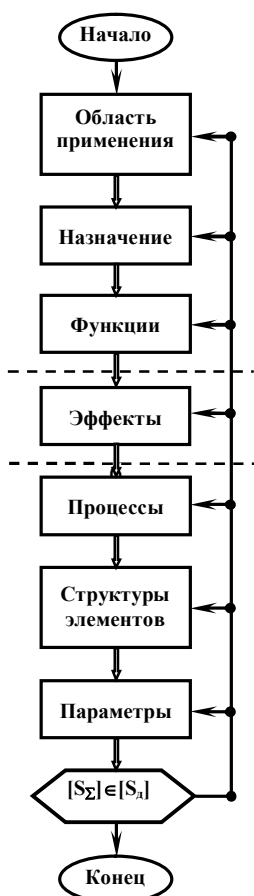


Рис. 2. Алгоритм направленного синтеза систем топливопитания

Наличие информации о функциях системы, а также об используемых эффектах, позволяет выполнить пятый (процессный) этап синтеза, в результате которого получается информация об иерархии структур функционально-временных преобразований и создаются технологические процессы, используемые в системах топливопитания двигателей, работающих на металлизированном топливе.

На шестом этапе проектирования осуществляется синтез вариантов структур элементов систем топливопитания. Это происходит путем постановки в соответствие каждой функции из триад основных, управленческих и дополнительных (подготавливающих, оптимизирующих или завершающих) функций, структур унифицированных типов. Следует учесть, что структура систем топливопитания для двигателей, использующих металлизированное топливо, формируется необходимостью надлежащей организации потоков продуктов сгорания при выполнении задач в зависимости от вида техники, требуемых значений параметров и свойств рабочих процессов, а также обработки

управляющей информации. Функциональность системы определяется требуемыми свойствами объектов техники.

При синтезе вариантов структур элементов систем топливопитания необходимо учесть общую структуру представления атрибутов системы [9].

На рис.3 показана связанность главных атрибутов системы топливопитания: уровни иерархии, виды функций, фазы развития, а также выделено её ядро.

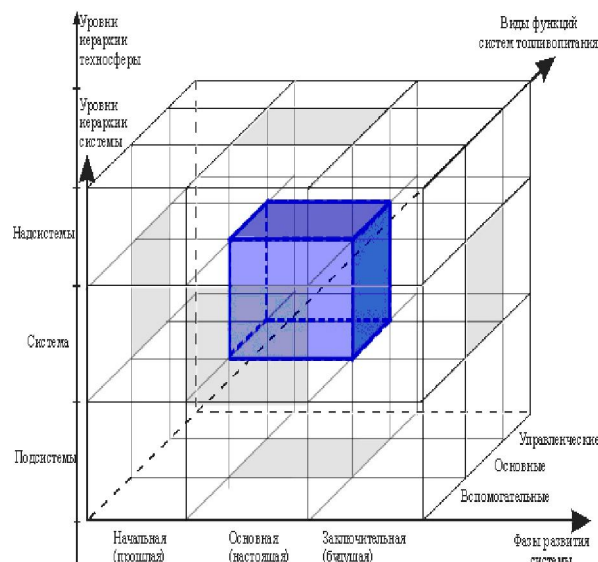


Рис. 3. Структура атрибутов системы топливопитания

Ядро системы топливопитания соответствует иерархическому уровню собственно системы топливопитания в общей иерархии техносферы [9] и её основным функциям в настоящем времени. Оно определяет вид системы топливопитания и задаёт тем самым, её основной отличительный признак в области существенных атрибутов технических объектов, приведенных в таблице 1.

Таблица 1. Область существенных атрибутов систем топливопитания

№ п/п	Существенные атрибуты систем топливопитания
1.	Сфера применения
2.	Предназначение
3.	Функции
4.	Кластеры физических, химических или биологических эффектов (принципы действия)
5.	Процессы функционирования и развития
6.	Структура
7.	Параметры

Принимая во внимание сказанное, многомерную классификацию систем топливопитания для двигателей, работающих на металлизированном топливе, соответственно уровням иерархии существенных атрибутов технических объектов и уровню технизации, можно представить так, как показано на рис.4.

Классы систем соответствуют уровню техносферы, в котором находится ядро системы. Также учтено многообразие уровней технизации.

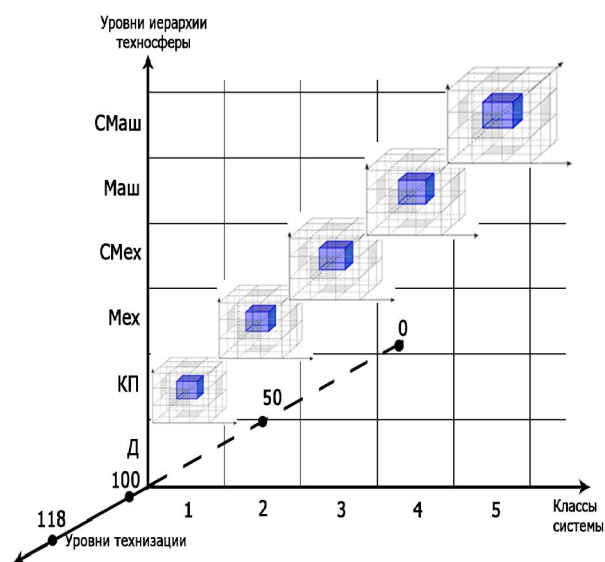


Рис. 4. Классификация систем топливопитания по уровням иерархии техносферы и уровню технизации. Д – деталь, КП – кинематическая пара, Мех – механизм, СМех – система механизмов, Маш – машина, СМаш – система машин

Таким образом, для направленного синтеза вариантов структур элементов систем топливопитания необходимо учесть общую структуру представления атрибутов системы, отвечающих требуемому уровню технизации (механизации, автоматизации, интеллектуализации и т.д.), с последующим объединением унифицированных структур в более общие образования с учетом информации о заданных ограничениях. Структуры итеративно конкретизируются путем прибавления ограничивающей выбор информации.

Конкретизация структур позволяет перейти к параметризации объектов и конкретизации их значений на основе составления и решения уравнений и неравенств, отражающих взаимодействия элементов системы между собой и со средой, а также имеющиеся физические, технические, временные, организационные или стоимостные ограничения с

учетом информации о критериях оптимальности. При параметрическом синтезе параметры системы разделяются на те, которые изменяются до момента приведения системы в состояние функционирования (конструктивные, в том числе – наладочные) и те, которые изменяются при функционировании системы (рабочие, технологические, в том числе – параметры режимов двигателей). Для изменяемых параметров ставятся в соответствие необходимые подсистемы управления.

Последовательным выполнением указанных действий для множества возможных структурно различных вариантов системы, формируется область оптимизации, в пределах которой выбирается комплексно оптимальное решение. Для него отрабатывается соответствующий алгоритм поведения системы в различных условиях.

Как и при объектно-ориентированном проектировании, при новом методе процесс создания систем топливопитания двигателей, работающих на металлизированном топливе, представляет собой конечное множество шагов.

Большинство этапов направленного синтеза может быть формализовано и компьютеризовано.

Приведенный обобщенный алгоритм направленного синтеза систем топливопитания для двигателей, работающих на металлизированном топливе, позволяет генерировать полные, для данного уровня развития знаний, области возможных решений, и тем самым, обеспечивать получение более эффективных результатов. В частности, могут проектироваться вариативные, трансформерные, вариативно-трансформерные, поливариативные и другие виды систем топливопитания, имеющие существенно возросшие значения диапазонов адаптации системы к условиям внешней среды.

Каждому структурно различимому варианту систем топливопитания соответствует свой уровень гибкости (вариативности) этой системы. В работе [10] разработана классификация уровней вариативности технологических систем.

Согласно этой классификации минимальный уровень вариативности (на уровне параметров режимов) имеют нерегулируемые системы топливопитания.

На рис.5 представлена структурная схема и отражены взаимодействия элементов нерегулируемых систем топливопитания двигателей, работающих на металлизированном топливе.

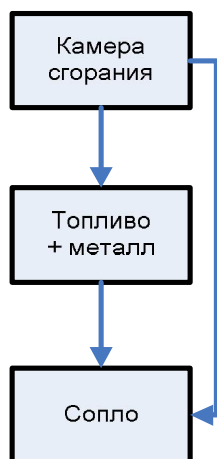


Рис. 5. Структурная схема нерегулируемых систем топливопитания, работающих на металлизированном топливе

Варианты конструктивной реализации такой схемы представлены на рис.6.

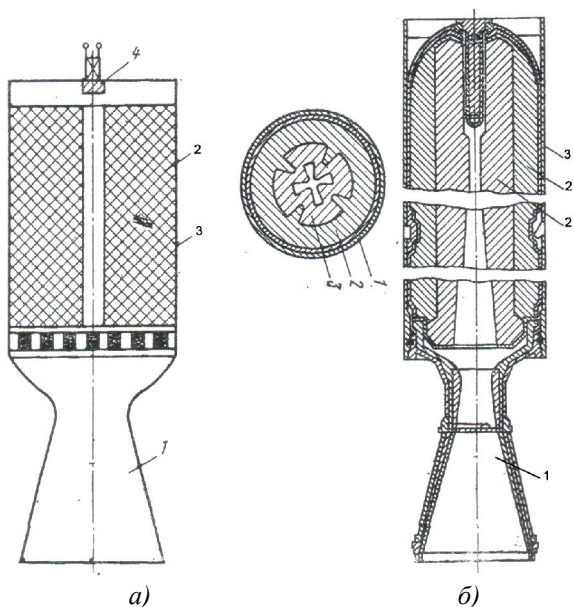


Рис. 6. Конструктивные схемы нерегулируемой системы топливопитания:

а – монотопливо с постоянной формой заряда; б – комбинированное топливо с изменяющейся формой заряда;

1 – сопло; 2 - заряд, 3- корпус; 4 - пусковое устройство. Обозначение на сечении: 1 – корпус; 2 - заряд, содержащий металл А; 3 - заряд, содержащий металл Б

Металлизированные компоненты топлива различного состава, содержащие частицы металлов необходимой формы и аллотропических модификаций, размещаются в требуемом порядке внутри топливного заряда при формовке во время произ-

водства.

На сечении схемы б) показан вариант размещения зарядов с содержанием разных металлов, что иллюстрирует развитие систем топливопитания на подсистемном уровне.

На подсистемном уровне приведенная структура может отличаться: по химическому составу компонентов топлива, по размеру фракций частиц металла, геометрической формой, видами аллотропических модификаций металлизированных компонентов.

Второй уровень вариативности соответствует параметрически гибким – регулируемым системам, допускающим изменение параметров топливоподдачи.

На рис. 7 приведены структурные схемы двух вариантов гибких регулируемых систем топливопитания,

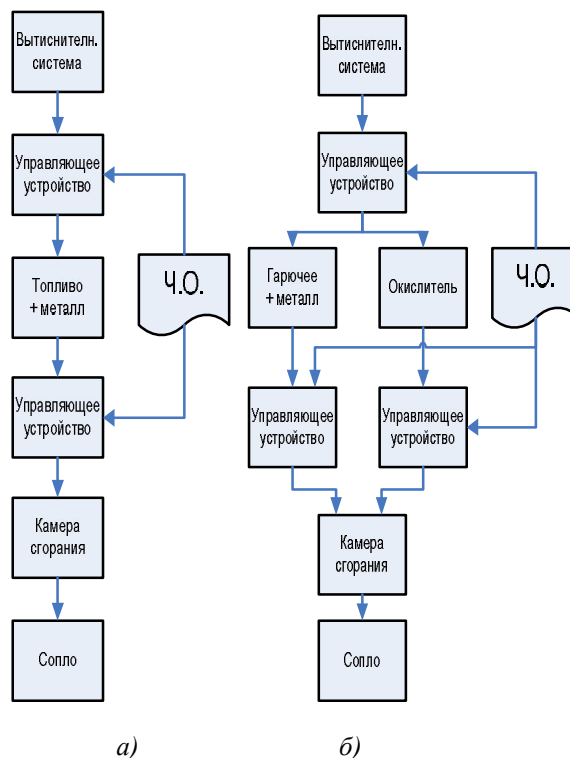


Рис. 7. Структурные схемы регулируемых систем топливопитания:

а - металлизированное монотопливо; б - металлизированное горючее; Ч.О. – человек-оператор

На рис. 8 представлены варианты конструктивных схем регулируемых систем топливопитания. В качестве примера выбраны конструктивные схемы с вытеснительной системой топливопитания. Существуют также схемы с насосной и парогенераторной системой подачи топлива.

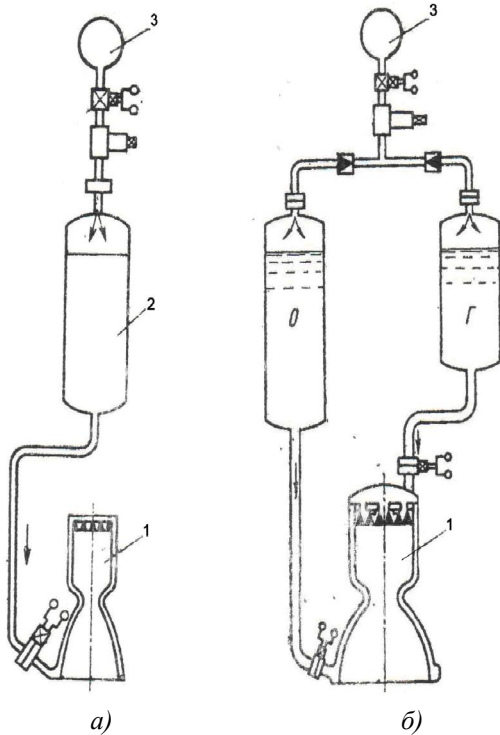


Рис. 8. Конструктивные схемы регулируемых систем топливопитания:

а – с металлизированным монотопливом;

б – с металлизированным горючим;

1 – камера сгорания; 2 – однокомпонентное топливо с металлизированными добавками; 3 – вытеснительная система; О – окислитель; Г – горючее с металлизированными добавками

Гибкие регулируемые системы содержат средства управления количеством подачи металлизированного монотоплива, металлизированного горючего и окислителя топлива.

На подсистемном уровне структура регулируемых систем топливопитания также может отличаться: по химическому составу компонентов, по размеру фракции частиц металла, геометрической формой, аллотропическими модификациями, наличием электромагнитных, акустических и прочих устройств для воздействия на кинетику горения металлизированных компонентов.

Третий уровень имеет место, когда в системе изменяется структура элементов и связи между ними. Такая система названа структурно-гибкой.

На рис. 9 представлен пример структурной схемы гибридной системы топливопитания, которая имеет максимальную гибкость.

На подсистемном уровне структура регулируемых гибридных систем топливопитания тоже может отличаться: агрегатным состоянием компо-

нентов топлива, по химическому составу компонентов, по размеру фракций частиц металла, геометрической формой, аллотропическими модификациями, наличием электро-физических, акустических и прочих устройств для воздействия на кинетику горения металлизированных компонентов.

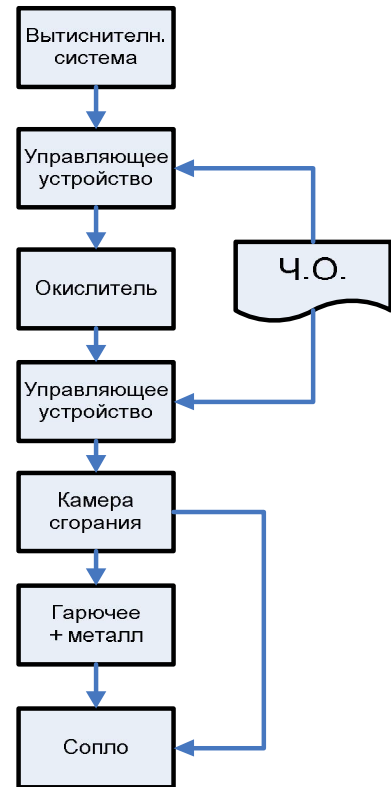


Рис. 9. Структурная схема гибридной системы топливопитания:

Ч.О. – человек-оператор

На рис. 10 приведен пример конструктивной схемы гибридной системы топливопитания, где выбрана конструктивная схема с вытеснительной системой топливопитания. Существуют, как и в вышеприведенном случае, также схемы с насосной и парогенераторной системой подачи окислителя.

Гибридные системы топливопитания энергоустановок, работающих на металлизированном топливе, сочетают трансформерность структуры и вариативность параметров. Это обеспечивается изменением принципов действия и возможностью неограниченного сочетания топливных компонентов различного агрегатного состояния. Таким образом, гибридные системы имеют максимальную гибкость и расширенные возможности регулирования.

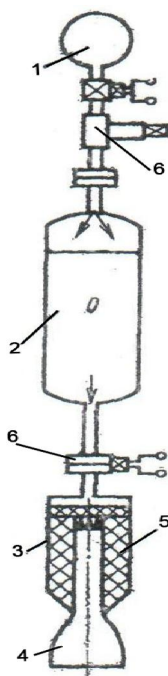


Рис. 10. Конструктивная схема гибридной системы топливопитания:

1 - вытеснительная система; 2 - окислитель;
3 - заряд; 4 - сопло; 5 - камера сгорания;
6 - управляющие клапаны

Если система допускает изменение технологического процесса без изменения видов применяемых эффектов, она относится к четвертому уровню вариативности и называется процессно-гибкой. На пятом уровне изменяются виды применяемых эффектов и морфология системы. Такая система также относится к классу трансформерных систем. Уровни вариативности выше пятого относятся к атрибутам надсистемы. Изменение функций системы – переход её в класс полифункциональных соответствует шестому уровню вариативности. Седьмой уровень соответствует системам с множеством предназначений, а восьмой – многосферным системам, у которых варьируется область применения.

Требуемый уровень вариативности определяется при отборе систем с учетом критерия оптимальности и принятых ограничений на всех этапах жизненного цикла системы. При этом, критерии оптимальности могут быть различными для различных ситуаций или этапов жизненного цикла подсистем техники. Варианты возможных решений на уровне подсистем могут определяться, исходя из общей периодической системы элементов техники [11].

Приведенные структурные и конструктивные

схемы иллюстрируют отличия структур систем топливопитания различных типов, но не исчерпывают возможных их вариантов. Полное множество структурно различных вариантов может быть получено на основе нового подхода к проектированию технических систем [3,10] с учетом отличий в путях обеспечения требуемых уровней вариативности [8].

При объединении отдельных структур в систему необходимо учитывать ограничения: системные, технические, физические, химические, временные, пространственные, организационные, коммуникационные, качественные, стоимостные и другие [3,10], а также возможность появления полифункциональных элементов.

Заключение

Предложенная информационная технология процесса направленного синтеза систем топливопитания, позволяет на регулярной основе создавать сложные системы топливопитания двигателей, работающих на металлизированном топливе. Структурированный, модульный, итерационный алгоритм синтеза этих систем обеспечивает гибкость принятия решений и имеет способность к постоянному развитию.

Использование предложенной технологии для решения задач повышения энерговооруженности и вариативности объектов мобильной техники при проектировании новых и модернизации существующих систем топливопитания двигателей, работающих на металлизированном топливе, позволяет выявить резервы повышения эффективности систем общего и специального назначения.

Список литературы:

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин / И.И. Артоболевский. – М.: Наука, 1985. – 685 с.
2. Кожевников, С. Н. Теория механизмов и машин [Текст] / С. Н. Кожевников. – М.: Машиностроение, 1973. – 591 с.
3. Беловол А.В. Новый подход к проектированию гибких технологических систем высокой и сверхвысокой производительности для машиностроения / А.В. Беловол, Н.С. Тернюк – *Авіаційно-космічна техніка і технологія*, 2003. – № 39/4. – С. 117-121.
4. Михайлов А.Н. Основы синтеза поточно-пространственных технологических систем непрерывного действия / А.Н. Михайлов. – Донецк: ДонНТУ, 2002. – 379 с.
5. Миронович П.В. О методе синтеза конструкций из подсистем. – *Ракетная техника и космонавтика* / П.В. Миронович, А.Л. Хейл. – 1981. – № 9. С. 128–139.
6. Месарович М. Общая теория систем: математические основы / М. Месарович. – М.: Мир, 1978. – 311 с.
7. Тернюк Н.Э. Методология трехэтапного синтеза сложных систем / Н.Э. Тернюк, В.Ф. Сорокин. – *Сб. научных трудов ХНАДУ, Харьков, вып. 24. Харьков, 2008, С. 22-29.*
8. Сорокин В.Ф. *Направ-*

ленный синтез гибких технологических систем высокой и сверхвысокой производительности / В.Ф. Сорокин, Н.Э. Тернюк. – Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. Спец. вып. «Новые технологии в машиностроении». №3 (54). 2008. – С. 110-115. 9. Тернюк Н.Э. Законы развития техники и их применение при создании инноваций / Н.Э. Тернюк – «Сучасні проблеми науки та освіти. матеріали 12-ї міжнародної міждисциплінарної науково-практичної конференції». міжнарод. науч.-практ. конф., 27 кв. – 9 травня 2012р., – Х. Харк. Нац. ун-т ім. В.Н. Каразіна, 2012. – С. 89-102. 10. Тернюк Н.Е. Класифікація рівнів варіативності технологічних систем – / Н.Е. Тернюк В.Ф. Сорокін – Розвиток наукових досліджень 2007: матеріали третьої міжнародної науково-практичної конференції – Полтава, ІнтерГрафіка, 2007. – Т. 6. – С. 73-76. 11. Тернюк Н.Э. Система периодических систем элементов материального мира – / Н.Э. Тернюк – «Сучасні проблеми науки та освіти. матеріали 11-ї міжнародної міждисциплінарної науково-практичної конференції». міжнарод. науч.-практ. конф., 30 кв. – 9 травня 2011р., – Х. Харк. Нац. ун-т ім. В.Н. Каразіна, 2011. – С.11-22.

Bibliography (transliterated):

1. Artobolevskij I.I. Teorija mehanizmov i mashin / I.I. Artobolevskij. – М.: Nauka, 1985. – 685 s. 2. Ko-zhevnikov, S. N. Teorija mehanizmov i mashin [Tekst] / S. N. Kozhevnikov. – М.: Mashinostroenie, 1973. – 591 s. 3. Belovol A.V. Novyj podhod k

proektirovaniju gibkih tehnologicheskikh sistem vysokoj i sverhvysokej proiz-voditel'nosti dlja mashinostroenija / A.V. Belovol, N.E. Ternjuk – Aviacijno-kosmichna tehnika i tehnologija, 2003. – № 39/4. – S. 117-121. 4. Mihajlov A.N. Osnovy sinteza potочно-prostranstvennyh tehnologicheskikh sistem nepreryvnogo dejstvija / A.N. Mihajlov. – Do-neck: DonNTU, 2002. – 379 s. 5. Mironovich P.V. O meto-de sinteza konstrukcij iz podsistem. – Raketnaja tehnika i kosmonavtika / P.V. Mironovich, A.L. Hejl. – 1981. – № 9. S. 128–139. 6. Mesarovich M. Obvaja teorija sistem: matematicheskie osnovy / M. Mesarovich. – М.:Mir, 1978. – 311 s. 7. Ternjuk N.Je. Metodologija trehjetapnogo sinteza slozhnyh sistem / N.Je. Ternjuk, V.F. Sorokin. – Sb. nauchnyh trudov HNADU, Har'kov, vyp. 24. Har'kov, 2008, S. 22-29. 8. Sorokin V.F. Naprav-lennyj sintez gibkih tehnologicheskikh sistem vysokoj i sverhvysokej proizvoditel'nosti / V.F. Sorokin, N.Je. Ternjuk. – Voprosy proektirovanija i proizvodstva konstrukcij letatel'nyh apparatov. Spec. vyp. «No-vye tehnologii v mashinostroenii». №3 (54). 2008. – S. 110-115. 9. Ternjuk N.Je. Zakony razvitija tehniki i ih primenenie pri sozdanii innovacij / N.Je. Ternjuk – «Suchasni problemi nauki ta osviti. materialy 12-ї mizhnarodnoї mizhdisciplinarnoї naukovo-praktichnoї konferencii». mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 27 kv. – 9 travnja 2012r., – H. Hark. Nac. un-t im. V.N. Karazina, 2012, – S. 89-102. 10. Ternjuk N.E. Klasifikacija rivniv variativnosti tehnologichnih sistem – / N.E. Ternjuk V.F. Sorokin – Rozvitok naukovih doslidzhen' 2007: materialy tret'oi mizhnarodnoї naukovo-praktichnoї konferencii – Poltava, InterGrafika, 2007. – T. 6. – S. 73-76. 11. Ternjuk, N.Je. Sistema periodicheskikh sistem jelementov material'nogo mira – / N.Je. Ternjuk – «Su-chasni problemi nauki ta osviti. materialy 11-ї mizhna-rodnoї mizhdisciplinarnoї naukovo-praktichnoї konferencii». mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 30 kv. – 9 travnja 2011r., – H. Hark. Nac. un-t im. V.N. Karazina, 2011. –S.11-22.

УДК 621.436

**В.С. Кукис, д-р техн. наук, В.А. Романов, канд. техн. наук,
Ю.А. Постол, канд. техн. наук**

ОСОБЕННОСТИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДИЗЕЛЯ С ПНЕВМАТИЧЕСКИМ РАСПЫЛИВАНИЕМ ТОПЛИВА

Введение

Дальнейшее развитие поршневых ДВС невозможно без решения ряда проблем, среди которых наиболее важными являются: применение высоко-го наддува; обеспечение надежного пуска при низкой температуре окружающей среды; использование топлив широкого фракционного состава (много-топливность); уменьшение выброса токсичных веществ.

При этом важно, чтобы повышение литровой мощности форсированием ДВС высоким наддувом не приводило к увеличению механических и термических нагрузок на детали двигателя и ухудшению удельного эффективного расхода топлива.

При реализуемых в современных ДВС термодинамических циклах выполнение этих требований можно обеспечить только при относительно невысоких степенях сжатия. Однако малые степени сжатия снижают термический и индикаторный

КПД, ухудшают пусковые качества, прежде всего, дизелей, создают неблагоприятные условия для использования топлив различного фракционного состава.

Таким образом, краткое рассмотрение проблем, связанных с организацией рабочего процесса в поршневых ДВС, указывает на очевидные противоречия в выборе значения степени сжатия.

Наиболее радикальным путем разрешения этих противоречий, на наш взгляд, является переход (возвращение) к варианту термодинамического цикла со сгоранием при неизменном давлении [1, 2, 3].

Теоретические предпосылки

Рис. 1 позволяет сравнить указанный цикл с циклами современных (бескомпрессорных) дизелей и двигателей с искровым зажиганием при одинаковых максимальных давлениях и температурах рабочего тела (т. е. при одинаковых механических и