

УДК 621.01

ВЫЯВЛЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ ОТЛИЧИЙ СИСТЕМ ТОПЛИВОПИТАНИЯ ЭНЕРГОУСТАНОВОК ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

В.В. Бушнов, соискатель, Н.Э. Тернюк, профессор, д.т.н., ХНАДУ

***Аннотация.** Установлены зависимости между функциональными возможностями и структурой систем топливопитания энергоустановок транспортных средств, работающих на металлизированном топливе. Показаны их отличия для случаев нерегулируемого, регулируемого и гибридного исполнений.*

***Ключевые слова:** энергоустановки транспортных средств, система топливопитания, металлизированное топливо.*

ВИЯВЛЕННЯ СТРУКТУРНИХ ВІДМІННОСТЕЙ СИСТЕМ ПАЛИВОЖИВЛЕННЯ ЕНЕРГОУСТАНОВОК ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

В.В. Бушнов, здобувач, Н.Е. Тернюк, професор, д.т.н., ХНАДУ

***Анотація.** Встановлено залежності між функціональними можливостями і структурою систем паливоживлення енергоустановок транспортних засобів, що працюють на металізованому паливі. Показано їх відмінності для випадків нерегульованого, регульованого і гібридного виконань.*

***Ключові слова:** енергоустановки транспортних засобів, система паливоживлення, металізоване паливо.*

IDENTIFICATION OF STRUCTURAL DIFFERENCES OF FUEL SUPPLY SYSTEMS OF VEHICLES POWER UNITS

**V. Bushnov, competitor, N. Ternjuk, Professor, Doctor of Technical Science,
KhNAHU**

***Abstract.** The dependences between the functional possibilities and the structure of fuel supply system of vehicles power units operating on metallized fuel are determined. Their differences for cases of noncontrollable, adjustable and hybrid executions are shown.*

***Key words:** power units of vehicles, fuel supply system, metallized fuel.*

Введение

Увеличение степени регулируемости систем топливопитания основных или дополнительных энергоустановок транспортных средств, работающих на металлизированном топливе, является одной из важных особенностей их развития, поскольку это увеличивает возможности адаптации к процессам горения и изменения режимов работы.

Нерегулируемые, регулируемые и гибридные системы топливопитания энергоустановок,

работающих на металлизированном топливе, имеют качественные и количественные различия, прежде всего в функциональной области. Вследствие этого они структурно различны. В то же время решение ряда задач, связанных с анализом, моделированием, направленным синтезом, производством, эксплуатацией и ремонтом таких систем, требует понимания этих различий.

Анализ публикаций

Сегодняшнее состояние теории сложных систем, общей теории механизмов и машин

[1, 2], а также существующей методологии анализа и синтеза систем топливопитания энергоустановок вообще и работающих на металлизированном топливе – в частности, не позволяет дать однозначный ответ на вопрос о принципиальных структурных отличиях систем разных типов. Нет также общей методики направленного синтеза возможных множеств структур таких систем, поэтому выявление структурных отличий между системами топливопитания указанных типов для энергоустановок, работающих на металлизированном топливе, является актуальной задачей.

Цель и постановка задачи

Цель статьи – выявление структурных отличий нерегулируемых, регулируемых и гибридных систем топливопитания для энергоустановок, обеспечивающих реактивный разгон и торможение транспортных средств.

Структурные отличия систем топливопитания

Требуемая функциональность систем топливопитания для энергоустановок, работающих на металлизированном топливе, определяется свойствами объектов транспортной техники. Если объекты такой техники принадлежат области эксплуатации при постоянных режимах, то нет необходимости в гибкости. Процессы здесь реализуются с применением жестких нерегулируемых систем топливопитания. Для таких систем присущ поток одного вида – поток объектов сгорания (топлива), характеристики которых определены на этапе их проектирования и производства и в процессе работы не регулируются. Структура систем топливопитания в этом случае является простейшей, минимальной по количеству элементов. Примером таких систем являются системы топливоподачи вспомогательных двигателей, а также реактивных двигателей-ускорителей транспортных средств.

Изменение свойств потока продуктов сгорания, которое обеспечивает система топливопитания в энергоустановках, может иметь различный диапазон. Даже при малом диапазоне изменения параметров процесса горения, который может быть осуществлен за счет изменений характеристик средств обеспечения топливоподачи, требуется применение регулируемых систем топливопитания.

В регулируемых системах топливопитания энергоустановок, работающих на металлизированном топливе, изменение параметров средств обеспечения топливоподачи происходит в рамках принятых видов действий, соответствующих выбранным видам физических и химических эффектов, для создания необходимых характеристик потоков объектов сгорания. Это означает, что система топливопитания должна обеспечить организацию подачи потока компонентов топлива, содержащих добавки различных металлов, в требуемом диапазоне, за счет изменения одного или нескольких своих параметров.

Для гибридных систем топливопитания энергоустановок, работающих на металлизированном топливе, сочетающих трансформерность структуры и вариативность параметров, характерно изменение принципов действия (физических, химических эффектов) на различных этапах жизненного цикла, в том числе на этапе функционирования. Это обеспечивается соответствующими управляющими воздействиями, требующими потоков информации и энергии. При таком подходе создается максимальная гибкость систем.

В гибких регулируемых и гибридных системах топливопитания энергоустановок, работающих на металлизированном топливе, мощность множества видов регулируемых параметров зависит от количества компонентов топливной смеси и потребности в вариативности физических и химических свойств.

Детальные структурные различия систем можно установить, рассмотрев их жизненный цикл, а также проведя структуризацию подсистем.

Конкретизированную модель жизненного цикла системы топливопитания можно записать в виде [3]

$$\text{ЖЦ} = (\text{Д} \otimes \text{ОБ} \otimes \text{У}) \oplus (\text{П} \otimes \text{ОБ} \otimes \text{У}) \oplus (\text{И} \otimes \text{ОБ} \otimes \text{У}) \oplus (\text{С} \otimes \text{ОБ} \otimes \text{У}) \oplus (\text{З} \otimes \text{ОБ} \otimes \text{У}) \oplus (\text{Н} \otimes \text{ОБ} \otimes \text{У}) \oplus (\text{Ф} \otimes \text{ОБ} \otimes \text{У}) \oplus (\text{О} \otimes \text{ОБ} \otimes \text{У}) \oplus \dots \oplus (\text{Ф} \otimes \text{ОБ} \otimes \text{У}) \oplus (\text{Р} \otimes \text{ОБ} \otimes \text{У}) \oplus (\text{Н} \otimes \text{ОБ} \otimes \text{У}) \oplus (\text{Ф} \otimes \text{ОБ} \otimes \text{У}) \oplus (\text{М} \otimes \text{ОБ} \otimes \text{У}) \oplus (\text{Н} \otimes \text{ОБ} \otimes \text{У}) \oplus (\text{Ф} \otimes \text{ОБ} \otimes \text{У}) \oplus (\text{Л} \otimes \text{ОБ} \otimes \text{У}). \quad (1)$$

В зависимости (1) знак $\oplus$ отражает последовательное, а знак $\otimes$ – параллельное исполнение циклов. Основные символы обозначают

отношение к циклу (подсистеме): Д – научно-исследовательской деятельности (включая маркетинг); П – проектирования; И – изготовления; С – сертификации; З – сбыта; Н – наладки и обучения; Ф – функционирования; Р – ремонта; О – обслуживания; М – модернизации; Л – утилизации (ликвидации), У – информационно-управляющей, ОБ – обеспечивающей.

Каждая из указанных составляющих жизненного цикла системы топливопитания может реализовываться с помощью полнофункциональных подсистем.

Полнофункциональные подсистемы – базовые элементы системы топливопитания энергоустановок, работающих на металлизированном топливе; относятся к категории сложных систем. Они выполняют управляющие, целевые и обеспечивающие функции, реализуя полный цикл вещественно-энергоинформационных преобразований, и, в то же время, являются элементарными.

Отнесение таких подсистем к классу элементарных означает, что эти подсистемы имеют минимизированную по количеству элементов структуру и не подлежат дальнейшей дифференциации.

Структура реальных систем топливопитания является композицией структур элементарных полнофункциональных подсистем. В состав композиции входят элементарные структуры, реализующие все элементарные функции, в совокупности образующие целевую функцию системы. Причем, вследствие наличия взаимосвязи между числом функций и числом реализующих их систем, сложность композиции определяется, в первую очередь, количеством реализуемых функций. Во вторую очередь сложность композиции зависит от уровня технизации функций [4].

Первичными техническими элементами структур (структурными элементами) являются функциональные преобразователи. Количество видов таких элементов ограничено природным путем через их предназначенность.

Минимальная структура полнофункциональной преобразуемой подсистемы имеет в своем составе лишь человека-оператора. В ней нет технических элементов. Такие системы

существовали только в простых энергосистемах и в настоящее время не используются в энергоустановках транспортных средств.

Простейшей структурой полнофункциональной подсистемы, которая имеет один технический элемент в своем составе, является система с рабочим органом (РО), который расширяет функциональные возможности человека-оператора. Следующий шаг – это система, где технические средства дополнены преобразователем (ППР), который расширяет и усиливает возможности рабочего органа. В этой системе технические средства включены последовательно. Такие системы имели место ранее, например, в виде бака с трубопроводом, в них топливо подавалось самотеком.

Дальнейшее увеличение технических средств за счет включения в состав подсистемы дополнительных преобразователей одного и того же вида не дает структурного отличия. Группа одновидовых преобразователей является также преобразователем тождественного вида.

Указанными двумя техническими элементами с участием человека-оператора может обеспечиваться непосредственное выполнение целевых функций, реализоваться вещественный цикл топливопитания. Поставщиками энергии и информации для реализации этого цикла являются люди-операторы. Такие подсистемы классифицируются как ручные. Переход на новый уровень организации работ требует введения в их состав структурных новаций, связанных с технизацией энергетического цикла.

Вид, тип и параметры энергии, которая подается на РО и ППР, должны быть с ними согласованы. Это означает потребность включения в подсистему элемента-преобразователя (согласователя) с функциями рабочего органа энергетического цикла, который передает энергию для ППР и РО. Кроме того, исходя из общих законов сохранения субстанций и управления ими, в эту подсистему должны включаться преобразователь-концентратор энергии, преобразователь-носитель энергии и его преобразователь-регулятор.

Все новые технические элементы, такие как: преобразователь с функциями рабочего ор-

гана энергетического цикла (РЭ) – элементы соединения энергоустановки с объектом техники, преобразователь-концентратор (КЭ) – двигатель топлива, преобразователь-носитель энергии (НЭ) – металлизированное топливо и преобразователь-регулятор (УЭ) – элементы системы топливоподачи, которые в совокупности реализуют энергетический цикл, должны иметь свои преобразователи (усилители, согласователи) ПРЭ, ПКЭ, ПНЭ и ПУЭ соответственно.

Линеаризованные модели структур технических средств для реализации энергетического цикла можно задать в порядке возрастания сложности следующим образом

- 1) РЭ;
- 2) РЭ – ПРЭ;
- 3) РЭ – ПРЭ – ПКЭ;
- 4) РЭ – ПРЭ – ПКЭ – КЭ;
- 5) РЭ – ПРЭ – ПКЭ – КЭ – ПНЭ;
- 6) РЭ – ПРЭ – ПКЭ – КЭ – ПНЭ – НЭ;
- 7) РЭ – ПРЭ – ПКЭ – КЭ – ПНЭ – НЭ – ПУЭ;
- 8) РЭ – ПРЭ – ПКЭ – КЭ – ПНЭ – НЭ – ПУЭ – УЭ;

(2)

В этих структурах учтена направленность потока энергии – от НЭ, который управляется с помощью УЭ через ПУЭ, к РЭ и ПРЭ.

Зависимости (2) отражают закономерность изменения элементного состава от уровня технизации элементарных функций-составляющих общей функции системы.

На основе этих зависимостей могут синтезироваться структуры нерегулируемых, регулируемых и гибридных систем топливопитания энергоустановок транспортных средств, работающих на металлизированном топливе, которые соответствуют различным уровням их технизации. Причем технизации могут подвергаться все этапы жизненного цикла в соответствии с зависимостью (1), начиная с этапа Ф – функционирования. При полной технизации всех этапов жизненного цикла может быть образована самоорганизующаяся система топливопитания.

На рис. 1 представлена структурная схема и отражены взаимодействия элементов нерегулируемых систем топливопитания энергоустановок, работающих на металлизированном топливе.

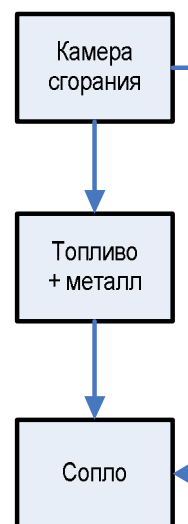


Рис. 1. Структурная схема нерегулируемых систем топливопитания, работающих на металлизированном топливе

Варианты конструктивной реализации такой схемы представлены на рис. 2.

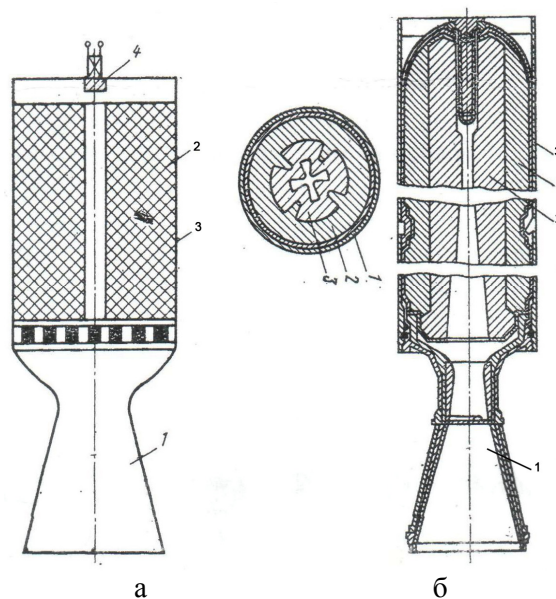


Рис. 2. Конструктивные схемы нерегулируемой системы топливопитания: а – моно-топливо с постоянной формой заряда; б – комбинированное топливо с изменяющейся формой заряда; 1 – сопло; 2 – заряд; 3 – корпус; 4 – пусковое устройство. Обозначение на сечении: 1 – корпус, 2 – заряд, содержащий металл А, 3 – заряд, содержащий металл Б

Металлизированные компоненты топлива различного состава, содержащие частицы металлов необходимой формы и аллотропических модификаций, размещаются в требу-

емом порядке внутри топливного заряда при формовке во время производства.

На сечении схемы рис. 2, 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, по размеру фракций частиц металла, геометрической формой, аллотропическими модификациями.

На рис. 3 приведены структурные схемы двух вариантов гибких регулируемых систем топливопитания.

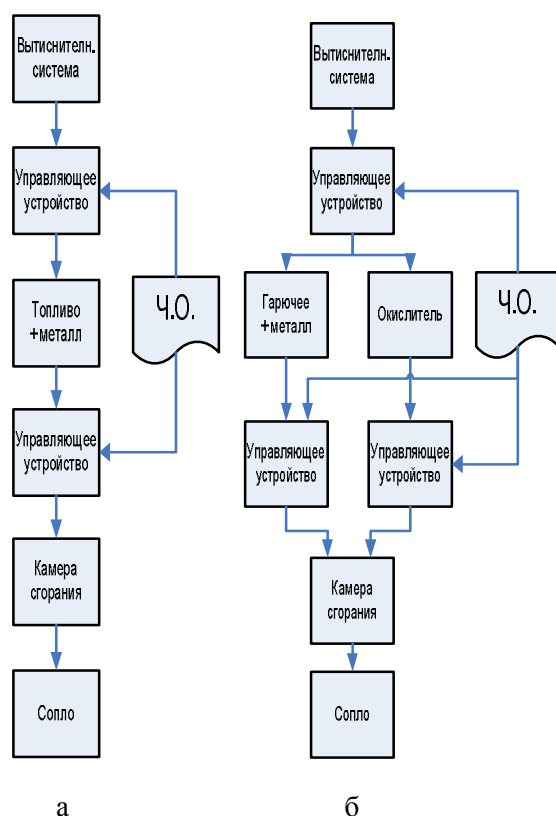


Рис. 3. Структурные схемы регулируемых систем топливопитания: а – металлизированное монотопливо; б – металлизированное горючее; Ч.О. – человек-оператор

На рис. 4 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.

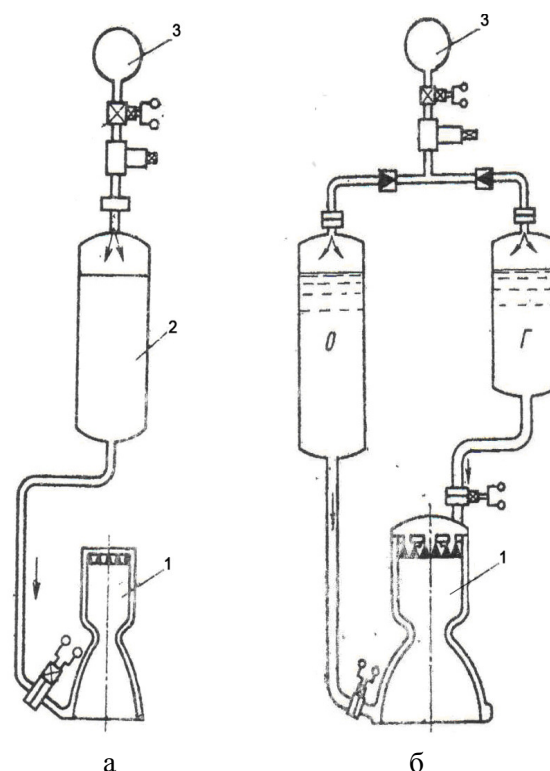


Рис. 4. Конструктивные схемы регулируемых систем топливопитания: а – с металлизированным монотопливом; б – с металлизированным горючим; 1 – камера сгорания; 2 – однокомпонентное топливо с металлизированными добавками; 3 – вытеснительная система; О – окислитель; Г – горючее с металлизированными добавками

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 электро-магнитных, акустических и прочих устройств для воздействия на кинетику горения металлизированных компонентов.

На рис. 5 представлен пример структурной схемы гибридной системы топливопитания, которая имеет максимальную гибкость.

На подсистемном уровне структура регулируемых гибридных систем топливопитания тоже может отличаться: агрегатным состоянием компонентов топлива, по химическому

составу компонентов, по размеру фракций частиц металла, геометрической формой, аллотропическими модификациями, наличием электрофизических, акустических и прочих устройств для воздействия на кинетику горения металлизированных компонентов.

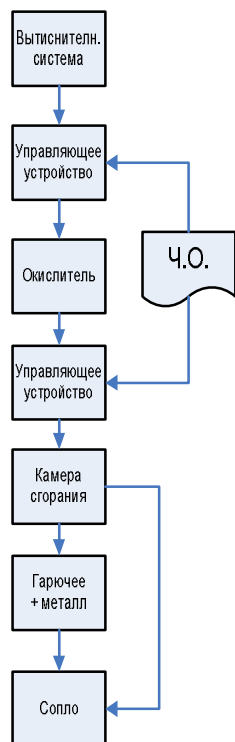


Рис. 5. Структурная схема гибридной системы топливопитания: Ч.О. – человек-оператор

На рис. 6 приведен пример конструктивной схемы гибридной системы топливопитания, где выбрана конструктивная схема с вытеснительной системой топливопитания. Существуют 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,

Приведенные структурные и конструктивные схемы иллюстрируют отличия структур си-

стем 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 [5, 6] с учетом отличий в путях обеспечения требуемых уровней вариативности [7].

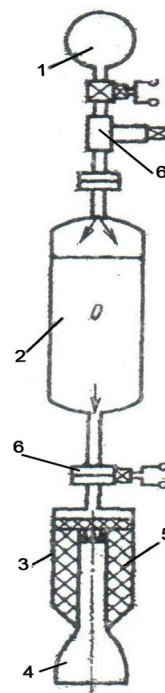


Рис. 6. Конструктивная схема гибридной системы топливопитания: 1 – вытеснительная система; 2 – окислитель; 3 – заряд; 4 – сопло; 5 – камера сгорания; 6 – управляющие клапаны

При объединении отдельных структур в систему необходимо учитывать ограничения: системные, технические, физические, химические, временные, пространственные, организационные, коммуникационные, качественные, стоимостные и другие [5, 6], а также возможность появления полифункциональных элементов.

Выводы

Выявленные закономерности изменения структур систем топливопитания энергоустановок транспортных средств, в зависимости от уровня вариативности, создают основу для формализованного определения облика систем топливопитания при их автоматизированном проектировании. Структуры систем топливопитания энергоустановок,

работающих на металлизированном топливе, будут проектироваться в зависимости от необходимой организации потоков продуктов сгорания, от вида и назначения транспортного средства и требуемого уровня его техники.

Нерегулируемые, регулируемые и гибридные системы топливопитания для энергоустановок транспортных средств имеют существенные структурные отличия, вытекающие из характера организованных в них потоков топливных компонентов.

Гибкие регулируемые и гибридные системы относятся к системам с многовидовыми потоками. В отличие от жестких нерегулируемых систем, имеющих поток одного вида – поток компонентов топлива, обусловленный конструкцией системы при производстве топливных зарядов, они имеют два дополнительных потока: поток управленческой информации и поток необходимой для управления энергии.

Особенностью регулируемых и гибридных систем топливопитания энергоустановок является наличие средств управления, определяющих режимы топливоподачи в зависимости от изменения целей и задач.

Структура гибридных систем топливопитания энергоустановок транспортных средств, работающих на металлизированном топливе, отличается от структуры гибких систем наличием средств, обеспечивающих изменение вида и состава компонентов топлива и количества окислителя топлива.

Степень развитости структуры системы топливопитания для энергоустановок с металлизированным топливом определена уровнем технизации функций.

Выявленные структурные отличия и приведенные закономерности их изменения, в зависимости от функций и уровня технизации, создают основу для решения задач анализа и синтеза систем топливопитания энергоустановок транспортных средств соответствующего вида при проектировании.

Дальнейшие исследования рассмотренных систем следует провести для определения

степени функциональности структурных элементов, в зависимости от уровня сложности и надежности систем,

Литература

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин / И.И. Артоболевский. – М.: Наука, 1985. – 686 с.
2. Кожевников С.Н. Теория механизмов и машин / С.Н. Кожевников. – М.: Машиностроение, 1973. – 592 с.
3. Беловол А.В. Общие модели структур циклов, функций и процессов технологических систем / А.В. Беловол, В.А. Кордюк, Н.Э. Тернюк // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. – 2005. – Вып. 16. – С. 112–116.
4. Тернюк Н.Э. Система периодических систем элементов материального мира / Н.Э. Тернюк // Сучасні проблеми науки та освіти: матеріали 15-ї міжнар. міждисциплінарної наук.-практ. конф. 30 квітня – 9 травня 2011 р.: – Х.: Харк. нац. ун-т імені В.Н. Каразіна, 2011. – С. 11–22.
5. Тернюк Н.Е. Класифікація рівнів варіативності технологічних систем // Н.Е. Тернюк, В.Ф. Сорокін / Розвиток наукових досліджень 2007: матеріали Третньої міжнародної науково-практичної конференції. – Полтава: ІнтерГрафіка, 2007. – Т. 6. – С. 73–76.
6. Беловол А.В. Новый подход к проектированию гибких технологических систем высокой и сверхвысокой производительности для машиностроения / А.В. Беловол, Н.Э. Тернюк // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2003. – № 39/4. – С. 117–121.
7. Сорокин В.Ф. Направленный 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. – 2008. – №3 (54). – С. 110–115.

Рецензент: Ф.И. Абрамчук, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 1 ноября 2011 г.