

**А. М. ЛЕВТЕРОВ**, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.,  
ИПМаш НАН Украины, Харьков

## **АНАЛИЗ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ В СТРАНЕ И В МИРЕ. МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ ДВС**

Наводиться аналіз енергоспоживання в країні і в світі, умов появи альтернативних палив та заміни ними традиційного органічного палива. Обґрунтовується конкурентоздатність ДВЗ як основного перетворювача енергії на тривалий термін. Пропонується методологія дослідження основних показників ДВЗ, що працюють на різноманітних видах палива. Методологія надає можливість прогнозувати показники двигуна, що визначають його споживачські якості.

Приводится анализ энергопотребления в стране и в мире, условий появления альтернативных топлив и замены ими традиционного органического топлива. Обосновывается конкурентоспособность ДВС как основного преобразователя энергии на длительный период времени. Предлагается методология исследования основных показателей ДВС, работающих на различных видах топлива. Методология дает возможность прогнозировать показатели двигателя, которые определяют его потребительские качества.

Analysis of power consumption in the country and the world, conditions of appearing alternative fuels and substitution of conventional organic fuel to alternative ones is being carried out. Competitiveness of ICE as the main energy converter for a long period is proved. Methodology is offered for investigating the main performances of transport ICE working on different types of fuels. Methodology allows forecasting the main engine performances which identify its consumer qualities.

**Введение и анализ энергопотребления в стране и мире.** Никогда прежде человечество не подвергалось таким перегрузкам, как в начале 3-го тысячелетия. Человек вступил в противоречие с результатами своего же труда, стал предельно зависим от научно-технических достижений, порождающих все новые проблемы. Среди проблем общечеловеческого масштаба, определяющих судьбу цивилизации, важное место занимают глубоко взаимозависимые проблемы экологии и энергопотребления. Вовлечение новых видов топлива на фоне истощения традиционных источников энергии, количественный и мощностной рост потребителей энергии приводит к нарушению баланса в окружающей среде.

К началу 21 века в суммарном энергопотреблении в мире доля нефти составила 40 %, углей – 27 %, газа – 23 %, атомной энергии – 7 %, прочих видов энергии – 3 % с динамикой структуры потребления, представленной на рисунке 1. За 100 лет XX века количество существенных источников энергии увеличилось с двух до шести, причем ни один из новых источников не имел тенденции к сокращению своего производства [1].

На рисунках 2 и 3 представлены два прогноза на изменение энергопотребления: по прогнозам академика Лаверова (Россия) и по данным междуна-

родного информационного агентства статистики и энергетического анализа (США) [1, 2].

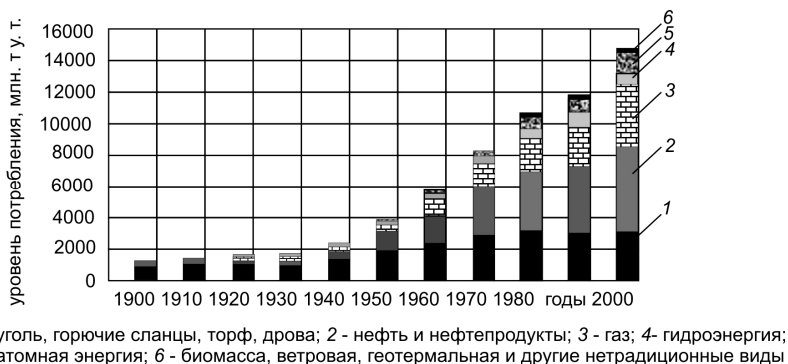


Рисунок 1 – Динамика структуры потребления энергоресурсов в мире в XX столетии.

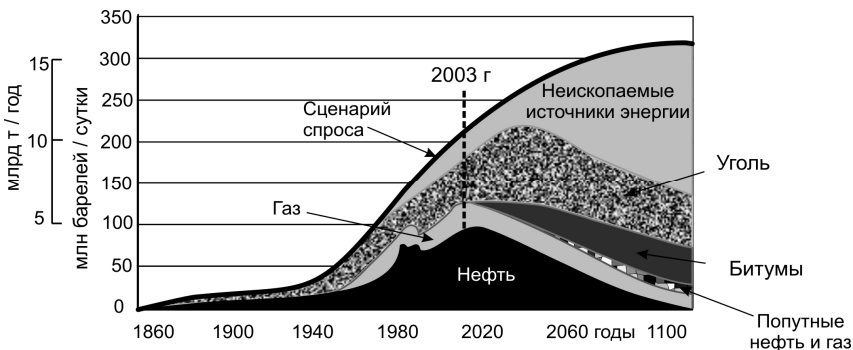


Рисунок 2 – Потребление различных ископаемых источников энергии в мире: прогноз и реальность.



Рисунок 3 – Реальное мировое потребление нефти и прогноз спроса до 2125 года.

Единодушие относительно уменьшения доли нефти к концу 21 века неоспоримо, а, краткосрочные прогнозы и оценка текущего состояния энергопотребления свидетельствуют о неуклонном росте глобального энергопотребления на фоне незначительного уменьшения динамики потребления нефти и небольшого роста потребления природного газа (ПГ) и угля. За последнее 10-летие среднегодовой темп роста потребления нефти был в 2 раза ниже, чем ПГ и 2,5 раза ниже, чем угля. Надо отметить, что нетрадиционные источники энергии и реально, и в прогнозах мало присутствуют на рынке энергоресурсов (рис.4) [1, 3].

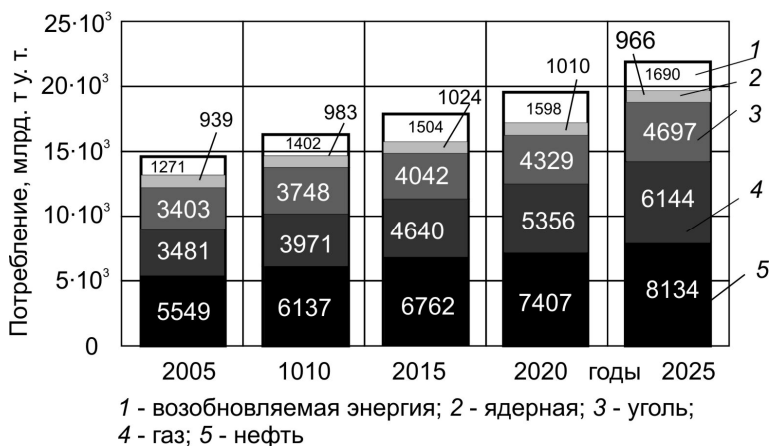


Рисунок 4 – Мировое потребление различных энергоресурсов в период с 2005 до 2025 года.

Энергетическая безопасность любой страны, прежде всего, определяется обеспеченностью запасами углеводородного сырья, эффективностью его добычи, переработки и использования. Время дешевой энергии закончилось, однако зависимость от импорта (по ожиданиям прогнозов) будет расти. Для Украины энергетический эквивалент поставок органического сырья в 2005 году составил 60,7 % от общего энергопотребления, и это большая цифра. С учетом геополитического, макроэкономического, социального и научно-технического развития Украины Кабинетом министров была принята «Энергетическая стратегия Украины на период до 2030 года» [4], направленная на уменьшение энергоемкости отечественного производства, развитие экспортного потенциала энергетики, оптимизацию добычи собственных ресурсов, привлечение нетрадиционных источников энергии.

Рисунок 5 отражает прогноз потребления органического топлива в Украине до 2030 года [4], а таблица 1 – сравнение структуры потребления первичных ресурсов в Украине к 2030 году и ЕС [5]. На ближайшую перспективу в Украине, как и во всем мире, очевидна большая доля потребления ор-

ганического сырья, а возобновляемые источники энергии на настоящий момент составляют лишь 0,8 % от общего энергопотребления в стране.

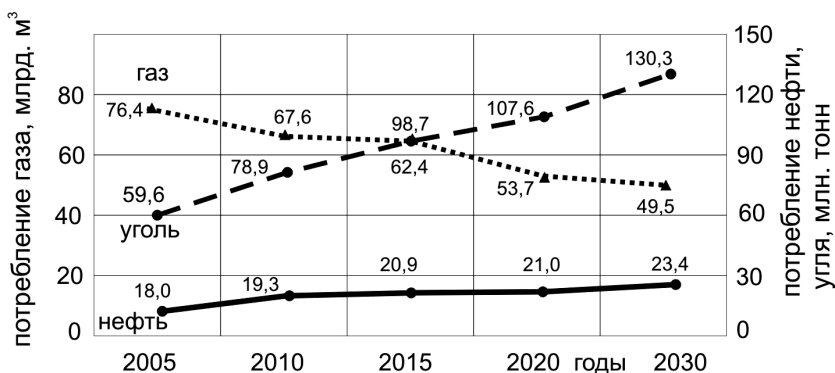


Рисунок 5 – Прогноз потребления угля, нефти и природного газа в Украине.

Таблица

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

Таким образом, роль традиционных энергоносителей в мировом энергобалансе до 2025 – 2030 года принципиально не изменится. В отдаленной перспективе возможен постепенный переход от нефти к газу с последующим сдвигом к возобновляемым источникам энергии. Углубление энергетического кризиса будет расширять экономические границы использования альтернативных топлив. Сокращение потребления нефти может начаться раньше, если будет достигнут прогресс в области водородных технологий. В энергопотреблении Украины предполагается значительно уменьшить долю нефти и газа в общем балансе за счет твердого топлива, ядерной энергетики и возобновляемых источников энергии.

Как известно, 80 % всех производных нефти идет на различного рода транспорт, а большая 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. Этот показатель будет расти, если учесть

уровень автомобилизации населения и существенное изменение структуры перевозок в пользу автотранспорта. Следовательно, будет расти и спрос на моторные топлива. На примере динамики изменения потребности в топливе для транспорта США (рис.6) видно, как растет превышение потребности над производством нефтяного топлива. В США 95 % транспорта зависит от нефтяного топлива, и потребляет транспорт 67 % всей используемой нефти [6, 7]. Очевидно, что такая ситуация характерна для многих стран, во всяком случае, энергодефицитных.

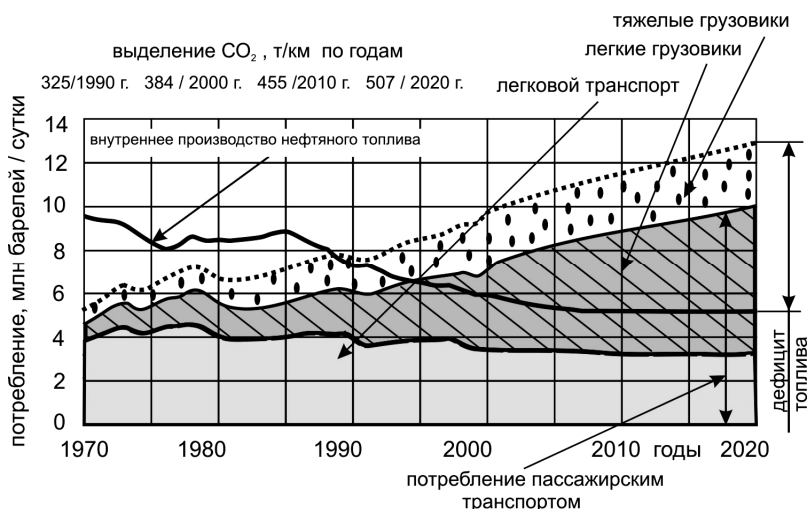


Рисунок 6 – Производство и потребности нефтяного топлива для автомобильного транспорта США.

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 [8] доля вредных выбросов в атмосферу, которую «обеспечил» транспорт к началу третьего тысячелетия составляет: 33% CO<sub>2</sub>, 44% сажи, 53% оксидов азота, 79% угарного газа, 25% макрочастиц, 13% свинца, 7% оксида серы.

**Постановка задачи и методы исследования.** Технический уровень ДВС, главная функция которого эффективное преобразование химической энергии топлива в механическую работу, по-прежнему определяет уровень конкурентоспособности транспортных средств, а проблема экономии традиционного топлива и защиты окружающей среды на текущий момент выдвигается

гает ряд задач, связанных с эксплуатацией и созданием тепловых энергоустановок: совершенствование конструкции и рабочих процессов ДВС разного типа; использование альтернативных топлив всех видов и типов; создание комбинированных энергоустановок; переход на электромобили и автомобили с топливными элементами. Для своего решения каждая из этих задач сопряжена с большим объемом разносторонних исследовательских работ.

По итогам проведенного анализа представляется целесообразным комплексное рассмотрение одной из задач исследования транспортных ДВС на традиционных и альтернативных топливах:

- изучение моторных свойств топлива-претендента;
- прогнозирование основных характеристик ДВС, использующих то или иное топливо, расчетный выбор оптимальных регулировочных параметров двигателя для проведения натурных (стендовых) испытаний;
- способы и методы адаптации ДВС к виду топлива;
- прогнозирование моторесурса как важнейшего показателя надежности двигателя и его обеспечение в эксплуатации;
- экспериментальная оценка проводимых исследований ДВС на моторных стендах.

ДВС можно рассматривать как сложную открытую неоднородную динамическую стохастическую систему. При рассмотрении установившегося режима работы двумя последними свойствами двигателя как технической системы можно пренебречь [9]. Сюда же необходимо добавить свойство иерархичности двигателя как технической системы. Иерархичность структуры объекта является основой для разработки методики, алгоритмов и программ исследования объекта в целом и его элементов.

В подтверждение того, что ДВС – сложная техническая система, свидетельствуют следующие признаки [10]:

- 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 при взаимодействии с внешней средой, которая оказывает влияние на их формирование;
- наличие элементов случайности в реакции системы на внешние воздействия.

Сюда же по Шеннону Р. [11] можно добавить: изменчивость, противоинтуитивное поведение, тенденции к ухудшению характеристик.

Используя системные понятия применительно к ДВС, значительно легче применить в исследовании и проектировании двигателей подходы, теории и методы, нашедшие успешное распространение в других прогрессивных областях техники. Увеличение номенклатуры составных частей, усложнение конструкции двигателя, улучшение его качества в связи с возрастающими требованиями потребителя; регламентированные ресурсы математических

средств диктуют необходимость применения в исследованиях ДВС именно такого подхода, способного учитывать взаимодействие всех составляющих системы. На вооружение берется физическое, математическое моделирование и натуральный эксперимент.

Задач исследования сложных систем две: задача анализа\_связана с изучением свойств и поведения системы в зависимости от ее структуры и значений параметров; задача синтеза\_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) [10]. 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 физического объекта, каковым является ДВС, определяется взаимосвязанной совокупностью процессов различной физической природы (механических, газо- и гидродинамических, физико-химических, информационных) и внешними факторами (рис. 7).

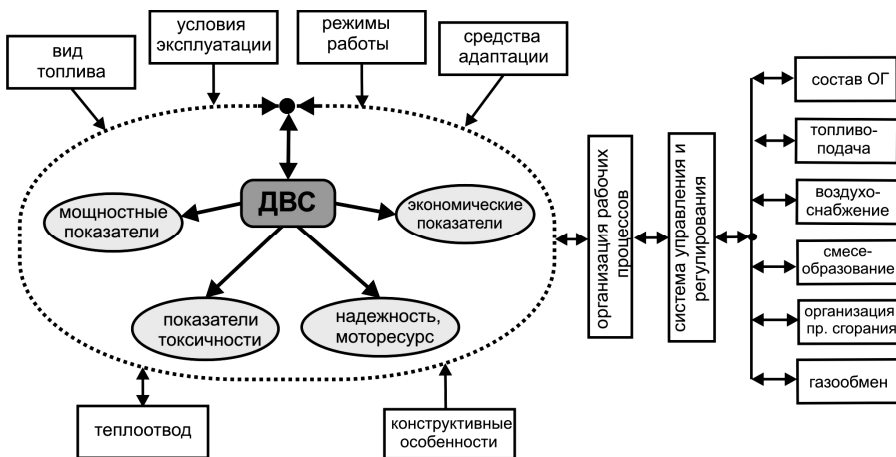


Рисунок 7 – Схема взаимовлияния систем двигателя и внешних факторов на его основные показатели.

Формализация большинства процессов сложна и трудна в описании, тем более, во взаимосвязи процессов часто невозможна. В этом случае помогает концепция системы, системный подход: систему приходится расчленять на подсистемы, сохраняя связи между ними, обеспечивающие учет взаимодействия. Каждый элемент иерархической системы двигателя можно рассматри-

вать как самостоятельный объект, так как он является вполне определенной функциональной единицей. 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 традиционных и новых видов топлив.

В этой связи представляется возможным осуществлять прогнозирование по двум направлениям: путем анализа расчетно-экспериментальных исследований рабочего цикла двигателя с определением мощностных, экономических показателей, показателей токсичности и по результатам расчетно-экспериментальных исследований теплового и напряженно-деформированного состояния наиболее нагруженных элементов, обеспечивающих 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 биотоплив 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 [12, 13]. 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, возмож-



но 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.

**Выводы.** Таким образом, 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 исследований как на стадии проектирования и модернизации, так и в эксплуатации. Предлагаемая методология исследования транспортных ДВС, работающих на разного вида топливах, позволяет прогнозировать основные показатели двигателя, определяющие его потребительские качества, и принимать решение относительно объекта в целом.

Это особенно важно, когда речь идет о смесевых 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 смесевое 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 публикациях [14 – 22, другие].

**Список литературы:** 1. *Лаверов Н. Л.* Топливоэнергетические ресурсы. //Вестник Российской академии наук. – 2006. – том 76. – №5. – С 398 – 408. 2. Long Term World Oil Supply // U.S Energy Information Administration. – 2000. – July, 28. – Режим доступа: www.eia.doe.gov. 3. *Иванов А. С., Матвеев И. Е.* Мировой энергетический рынок: «Перезагрузка» в контексте глобального финансово-экономического кризиса. //Бурение и нефть.– 2009.– №11.– С. 3 – 7. 4. Энергетическая стратегия Украины на период до 2030 года. Принята распоряжением КМ Украины от 15 марта 2006 г., № 145-р.– 129 с. 5. *Capros P.* EU energy trends to 2030 // *Mantzos, P. Capros, N. Tasios, A. De Vita* // EC Directorate-General for Energy in collaboration with Climate Action DG and Mobility and Transport DG –2009.– 184 p.– Режим доступа: Europa server (<http://europa.eu>). 6. Transportation Energy Data Book: Edition 25 DOE/ORNL.– 2006.– 332 p. 7. Annual Energy Outlook 2000 With Projections to 2020 //EIA-0383(2000).– 1999.– 250 p.– Режим доступа: www.eia.doe.gov. 8. David Rodgers Putting Advanced Transportation Technologies to Work for Clean Air and Energy Security// The Mobile Source Technical Review Subcommittee.– U.S. Department of Energy.– 2001. 9. *Исерлис Ю. Э., Мирошников В. В.* Системное проектирование ДВС. – Л.: Машиностроение, 1981.– 254 с. 10. *Бусленко Н. П.* Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978.– 400 с. 11. *Шеннон Р.* Имитационное моделирование систем и наука. – М.: Мир, 1978.– 423 с. 12. *Куценко А. С.* Моделирование рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания на ЭВМ. – К.: Наук. думка, 1988. – 100 с. 13. *Кулеиов А. С., Грехов Л. В.* Математическое моделирование и компьютерная оптимизация топливоподачи и рабочих процессов ДВС. – М.: МГТУ, 2000.– 64 с. 14. *Левтеров А.М., Левтерова Л.И., Гладкова Н.Ю.* Исследование характеристик двигателя с искровым зажиганием, работающего на бензоэтанольных топливных композициях. // Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2008. – № 1. – С. 52-57. 15. *Левтеров А.М., Мараховский В.П., Левтерова Л.И., Гладкова Н.Ю.* Результаты расчетно-экспериментальных исследований характеристик автомобильного двигателя при использовании бензоэтанольных смесей. // Автомобильный транспорт: сб. научн. тр. – 2008. – № 23. – С. 100-103. 16. *Левтеров А.М., Авраменко А. Н.* Трехмерная конечно элементная модель анализа нестационарных термоупругих напряжений поршня быстроходного дизеля. //Материалы Х111 Международного конгресса двигателестроителей. – 2008. – № 1. – С. 49 – 55. 17. *Левтеров А. М., Белогуб А. В.* Контроль качества проектирования поршня быстроходного автомобильного двигателя. //Двигатели внутреннего сгорания.– 2005.– №1.– С.135 – 137. 18. *Левтеров А. М., Абрамчук Ф. И* Опыт конвертации дизелей в газовые двигатели с искровым зажиганием. //Автомобильный транспорт: сб. научн. тр. – 2007. – № 21. – С. 94–97. 19. *Левтеров А.М., Строков А. П. Авраменко А. Н.* Разработка модели нестационарной термоупругости составного поршня транспортного дизеля. //Проблемы машиностроения.– 2009.– №2.– С. 76–84. 20. *Левтеров А.М., Левтерова Л.И., Гладкова Н.Ю.* Использование альтернативных топлив в транспортных ДВС. // Автомобильный транспорт: сб. научн. тр. – 2010. – № 27. – С. 78– 82. 21. *Левтеров А.М., Левтерова Л.И., Гладкова Н.Ю.* Образование монооксида азота и исследование влияния на его эмиссию регулируемых параметров двигателя и вида используемого топлива. //Двигатели внутреннего сгорания.– 2010.– №2.– С. 113 – 117. 22. *Левтеров А. М.* Анализ теплового и напряженно-деформированного состояния составного поршня форсированного дизеля. //Авиационно-космическая техника и технология: Сб. науч. Трудов.- Харьков.- 2000.– Вып. 19.– С. 268 – 270.

Поступила в редколлегию 14.09.2011г.