

ции. Среднеквадратичные отклонения для экспериментальных и расчетных кривых  $n_d$  и  $p_{к1}$  составили  $S_g = 12,8 \text{ мин}^{-1}$  и  $S_g = 9372 \text{ Па}$ , соответственно. Коэффициенты вариации не превышают 10 %, для кривых частоты вращения коленчатого вала  $n_d$  и давления наддува после компрессора  $p_{к1}$  равняются  $W_g = 1,04 \%$  и  $W_g = 7,41 \%$ , соответственно.

За 12 с переходного процесса дизель виртуально израсходовал 47,5 г дизельного топлива, что на 5 % меньше, чем при моторных испытаниях.

#### Заключение

Приведенные экспериментальные данные подтверждают адекватность динамической модели САРЧ дизеля 4ЧН12/14. Подтверждена возможность использования модели для последующих расчетных исследований переходных процессов.

На этапах проектирования САРЧ дизеля и других автоматических систем регулирования достаточно первого этапа проверки адекватности математической модели. При усовершенствовании систем автоматического регулирования и расчетных исследованиях переходных процессов для конкретных эксплуатационных режимов силовой установки на основе дизеля возникает потребность

в проведении второго этапа проверки адекватности математической модели.

#### Список литературы

1. Долганов К.С. Автоматичне регулювання двигунів внутрішнього згорання: навч. посібник / К.С. Долганов, А.А. Лисовал – К.: НТУ, 2003. – 138 с. 2. Крутов В.И. Расчет переходных процессов системы автоматического регулирования дизеля с турбинным наддувом с учетом нелинейных характеристик / В.И. Крутов, П.К. Кузьмик. – Изд. вузов: Машиностроение, 1969. – №10. – С. 102–108. 3. Лисовал А.А. Адекватність динамічної математичної моделі автобусного дизеля СМД-23.07 / А.А. Лисовал, М.І. Гуменчук, А.В. Білай // Вісник Кременчуцького держ. політех. у-ту. – Кременчук: КДПУ. – 2006. – Вип. 2/2006 (37). – Част. 1. – С. 62–63. 4. Лисовал А.А. Подготовка математической модели электронного регулятора к расчетным исследованиям / А.А. Лисовал // Двигатели внутреннего сгорания. – 2008. – №1. – С. 98–103.

#### Bibliography (transliterated):

1. Dolganov K.E. Avtomatichne reguljuvannja dviguniv vnutrishn'ogo zgorjannja: navch. posibnik / K.E. Dolganov, A.A. Lisoval – K.: NTU, 2003. – 138 s. 2. Krutov V.I. Raschet perehodnyh processov sistemy avtomaticheskogo regulirovanija dizelja s turbinnym nadduvom s uchetom nelinejnyh harakteristik / V.I. Krutov, P.K. Kuz'mik. – Izd. vuzov: Mashinostroenie, 1969. – №10. – S. 102–108. 3. Lisoval A.A. Adekvatnist' dinamichnoj matematichnoj modeli avtobusnogo dizelja SMD-23.07 / A.A. Lisoval, M.I. Gumenchuk, A.V. Bilaj // Visnik Kremenčuc'kogo derzh. politeh. utu. – Kremenčug: KDPU. – 2006. – Vup. 2/2006 (37). – Chast. 1. – S. 62–63. 4. Lisoval A.A. Podgotovka matematicheskoj modeli elektronnoho reguljatora k raschjotnym issledovanijam / A.A. Lisoval // Dvigateli vnutrennego sgoranija. – 2008. – №1. – S. 98–103.

УДК 621.436.038

*А.В. Грицюк, д-р техн. наук, А.Н. Врублевский, канд. техн. наук,  
Г.А. Щербаков, инж., А.А. Овчинников, инж.*

## ОТРАБОТКА ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ АВТОМОБИЛЬНОГО МАЛОЛИТРАЖНОГО ДИЗЕЛЯ СО СВЯЗАННОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ

#### Введение

Работа транспортного, в особенности автомобильного, дизеля в эксплуатации характеризуется большим количеством переходных и частичных режимов. Начиная с пуска дизеля, любое изменение, длительное или кратковременное, режима его дальнейшей работы определяется возможностями системы автоматического регулирования двигателя и его топливоподающей аппаратуры (ТПА). Стремительное развитие систем электронного регулирования позволяет устанавливать оптимальное сочетание параметров подачи топлива и воздухо-снабжения цилиндров двигателя на любом эксплуатационном режиме его работы. При этом счи-

тается, что только микропроцессорные системы управления способны реализовывать согласованное (связанное) изменение цикловой подачи топлива и угла опережения впрыскивания топлива (УОВТ) одновременно по двум и более параметрам. Например, частоте вращения коленчатого вала (КВ) дизеля и давлению наддувочного воздуха.

#### Анализ публикаций

Наиболее эффективно регулирование работы дизеля осуществляется при помощи топливной аппаратуры с электронным управлением [1, 2]. Вместе с тем, разработан целый ряд конструкций и гидравлических схем топливных систем непосредственного действия, применение которых обеспе-

чивает ступенчатую или двухстадийную подачу топлива с давлением 80 МПа и выше [2, 3].

В КП "Харьковское конструкторское бюро по двигателестроению" применительно к быстроходному дизелю серии 4ДТНА с непосредственным впрыскиванием топлива разработана новая разделенная ТПА, которая включает рядный топливный насос высокого давления (ТНВД) с диаметром плунжера 8 мм и максимальной скоростью плунжера 2,36 м/с и бездренажную форсунку для двухстадийного впрыскивания. ТНВД оснащен нагнетательными клапанами двойного действия, а привод плунжеров выполнен с дезаксиалом. В работах [3, 4] приведены результаты расчетного и экспериментального исследования данной ТПА и ее отдельных компонентов. На следующем, после безмоторных испытаний, этапе опытная ТА была испытана на одноцилиндровом дизеле [3].

Перед механическими и гидромеханическими регуляторами отечественных дизелей до недавнего времени задача связанного регулирования даже не ставилась, т.к. отсутствовали не только конструктивные, но и схемные решения, имеющие перспективу быть доведенными до промышленных образцов. Вместе с тем ужесточение требований к топливно-экономическим и экологическим показателям побудило исследователей активизировать работы, направленные на целевое формирование и дальнейшую реализацию рациональной внешней скоростной характеристики (ВСХ) дизеля конкретного назначения, а не довольствоваться приспособлением к фактической характеристике регулятора [5, 6].

#### Цель и постановка задачи

Целью данной работы является исследование возможностей связанного регулирования топливоподачей в системе непосредственного действия, способной обеспечить эволюционный переход от механического к электронному (микропроцессорному) управлению. Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать методику и провести безмоторные испытания опытной топливоподающей аппаратуры;
- получить эмпирические зависимости изменения параметров топливоподачи от режима работы дизеля;
- уточнить регулировочные параметры топливоподающей аппаратуры, что позволит осуществить переход к моторным испытаниям.

#### Объект исследования

Решение поставленных задач продемонстрируем на примере ТПА отечественных высокооборотных малолитражных дизелей (ВМД) автомобильной и тракторной модификаций с газотурбинным наддувом (ГТН) серии ДТА разработки КП ХКБД. Сформированные для этих дизелей ВСХ представлены в [4], а комплексная схема объединенных в один узел ТНВД и регулятора показана на рис. 1. При этом зависимости  $g_e=f(n_{KB})$ ,  $G_T=f(n_{KB})$  сформированы на основании вероятных значений показателей современного технического уровня, а в качестве базовой конструкции принят ТНВД безнаддувного серийного тракторного дизеля 2ДТАВ, состоящий из непосредственно топливного насоса и расположенных в нем элементов гидромеханического регулятора.

На основании анализа результатов экспериментальных исследований одноцилиндрового дизельного отсека 1ДТА определено, что рационально формировать характеристику управления УОВТ ( $\Theta_{ВПР}$ ) для создаваемой серии ВМД по двум параметрам, а именно частоте вращения КВ ( $n_{KB}$ ) и давлению наддувочного воздуха ( $P_S$ ).

Объектом исследования являются процессы, сопровождающие топливоподачу в топливной аппаратуре непосредственного действия для высокооборотного дизеля (рис. 1).

ТНВД оснащен гидромеханическим регулятором, который в отличие от известных аналогов оснащен комплексом корректоров:

- гидромеханическим и пневматическим корректорами цикловой подачи;
- гидромеханическим и пневматическим корректорами УОПТ.

Рядный ТНВД соединен трубопроводом с форсункой закрытого типа, оснащенной дифференциальным поршнем.

Оригинальный элемент ТНВД - рейка 3 (рис. 1), которая одновременно является чувствительным элементом регулятора частоты вращения, элементом механизма изменения угла начала подачи и исполнительным органом ТНВД. Частота вращения КВ определяется по давлению топлива, величина которого задается грузом-золотником 8, имеющим непосредственный механический привод от кулачкового вала ТНВД 2, и изменяется пропорционально квадрату частоты вращения коленчатого вала.

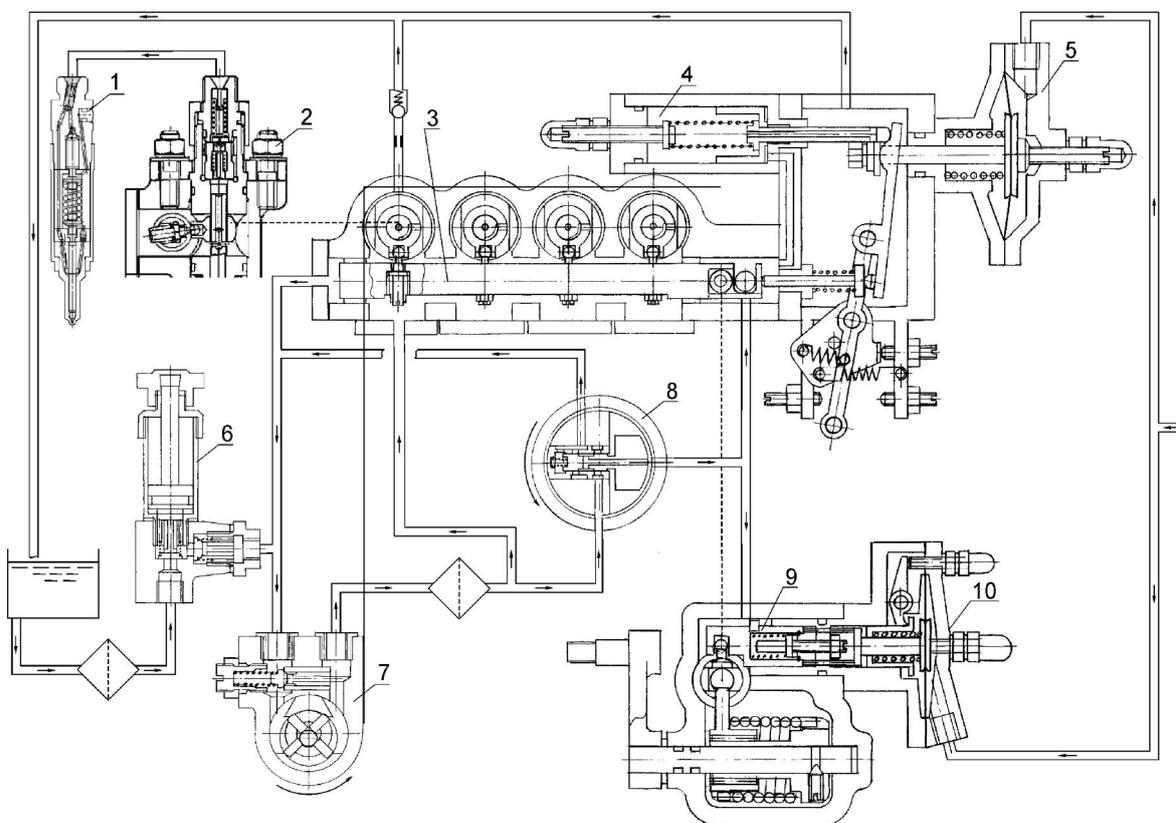


Рис. 1. Комплексная схема ТНВД и регулятора:

- 1 - форсунка; 2 - секция ТНВД; 3 - рейка; 4 - топливный корректор цикловой подачи топлива;  
 5 - пневматический корректор цикловой подачи топлива; 6 - ручной топливоподкачивающий насос (ТПН);  
 7 - механический ТПН; 8 - груз-золотник; 9 - топливный корректор УОВТ;  
 10 - пневматический корректор УОВТ

Гидромеханический регулятор обеспечивает устойчивую работу ВМД во всем диапазоне частот вращения КВ и нагрузок, а также приемлемое качество переходных процессов.

Для расширения функциональных возможностей ТПА и обеспечения возможности формирования перспективных ВСХ автомобильной и тракторной модификаций ВМД с ГТН доработана система регулирования в части управления цикловой подачей топлива по внешней скоростной характеристике пневматическим 5 и топливным 4 корректорами. Внедрение такого регулятора в ТПА дизеля 4ДТНА позволяет реализовать внешнюю скоростную характеристику автомобильного высокооборотного малолитражного дизеля, имеющего номинальную мощность  $N_e = 55$  кВт при  $n_{KB} = 4000$  мин<sup>-1</sup> [4].

#### Методика проведения испытания

В ходе безмоторных испытаний эффективность топливоподачи и возможность организации процесса управления цикловой подачей и УОПТ определялись по характеристикам впрыскивания. Для этого регистрировались давление топлива у

форсунки  $p_f$  и штуцера ТНВД  $p_n$ , измерялась цикловая подача. Дополнительно безмоторный стенд (рис. 2) был оснащён пневматической системой, обеспечивающей необходимый уровень давления воздуха на входе в пневматические корректоры.

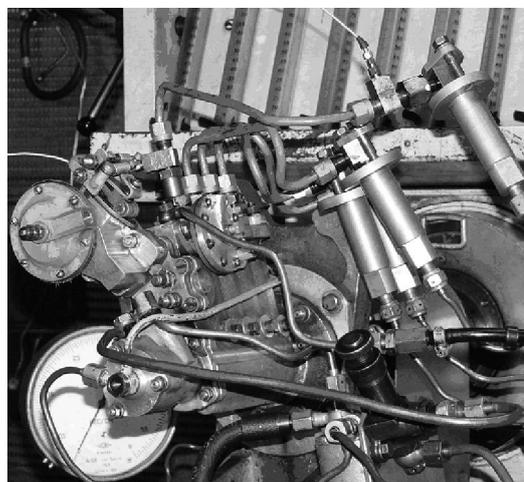


Рис. 2. ТПА дизеля 4ДТНА1 на безмоторном стенде

Измерение давлений  $p_{\phi}$  и  $p_n$  во время проведения моторных испытаний осуществлялось при помощи пьезодатчиков AVL, установленных в специальные адаптеры. Также в ходе испытаний регистрировалось геометрическое начало подачи топлива, что позволило определить действительный УОПТ. Преобразованные сигналы с датчиков поступали в

компьютер, где происходила их обработка и анализ.

В процессе подготовки испытаний использован традиционный подход, применяемый при планировании эксперимента. Значения варьируемых параметров – частоты вращения  $n_{кв}$  и давления наддува  $P_s$  приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты безмоторных испытаний ТПА дизеля 4ДТНА1

Точка	$n_{кв}, \text{мин}^{-1}$	$P_s, \text{МПа}$	$q_{ц}, \text{мм}^3$				$q_{ц}^{ср}$	$p_{\phi}, \text{МПа}$	$\Theta_{впр}, \text{град. п.к.в. до ВМТ}$
			форсунки						
			1	2	3	4			
1	3600	0,19	63	61	59	63	61,5	64,5	18
2	3600	0,13	46	51,5	45	47,5	47,5	65,1	25
3	2400	0,19	53,5	63,5	57	55,5	57,3	66,6	18
4	2400	0,13	51	54	48,5	51,5	51,2	49	19
5	3000	0,16	57	64	55,5	59,5	59	52	17
6	4200	0,16	51	48	51	51	50,2	68,8	23
7	1800	0,16	58	61	54	41	53,5	51	16
8	3000	0,22	60	65	56	60	60,2	59,5	16
9	3000	0,1	38	49	46	46,5	44,8	52	24
10	4200	0,22	56,5	56	54	57,5	56	72,6	17
11	4200	0,1	44,5	43	41,5	44	43,2	60	25
12	1800	0,22	47	63	54	44	52	57,7	13
13	1800	0,1	43	56	44	34	44,2	53,7	18

**Результаты безмоторных испытаний**

Безмоторные испытания проведены в лаборатории топливной аппаратуры КП ХКБД.

Полученные в результате безмоторных испытаний зависимости  $\Theta_{впр} = f(n_{кв}, P_s)$  и  $q_{ц} = f(n_{кв}, P_s)$ , а также зарегистрированный уровень давления топлива у форсунки показывают эффективность предложенного способа связанного регулирования.

**Определение давления впрыскивания**

На всех исследуемых режимах давление возле форсунки превышает 50 МПа (рис. 3). Это более, чем в 2 раза превышает  $p_{\phi}$  в штатной ТПА. Расхождение в уровне  $p_{\phi}$  между форсунками и отдельными циклами не превышает 4%, что свидетельствует о достигнутом высоком уровне стабильности топливоподачи. Такие результаты являются следствием применения форсунки с дифференциальным поршнем. Механизм повышения давления при использовании данной форсунки описан в работе [3].

**Определение возможности изменения параметров ТП**

Реализация требуемой характеристики изменения УОВТ по  $n_{кв}$  и  $P_s$  осуществлена доработкой системы регулирования парой пневматического 10

(рис. 1) и топливного 9 корректоров, но уже для управления УОВТ.

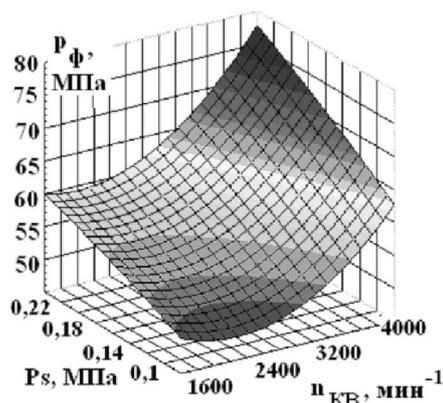


Рис. 3. Зависимость максимального давления топлива у форсунки  $p_{\phi}$  от частоты вращения коленчатого вала  $n_{кв}$  и давления наддува  $P_s$

Приведенная графическая (рис. 4) и полиномиальная зависимости  $\Theta_{впр} = f(n_{кв}, P_s)$  показывают возможности обеспечения управления УОВТ на всех эксплуатационных режимах работы дизеля. При этом диапазон изменения  $\Theta_{впр}$  составляет 13 – 25 град. п.к.в.

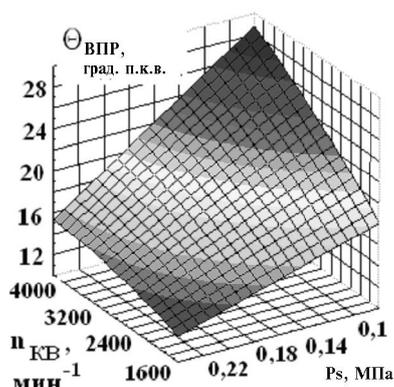


Рис. 4. Зависимость действительного угла начала подачи топлива  $\Theta_{VIP}$  от частоты вращения коленчатого вала  $n_{KB}$  и давления наддува  $P_S$

$$\Theta_{VIP} = 9,7729 + 0,0075 \cdot n_{KB} + 4,1291 \cdot P_S - 3,2377 \cdot 10^{-7} \cdot n_{KB}^2 - 6,0437 \cdot P_S^2 - 0,0186 \cdot n_{KB} \cdot P_S$$

Полученная зависимость  $q_{ци} = f(n_{KB}, P_S)$  (рис. 5) удовлетворяет условиям работы ВМД.

Таким образом, в работе показана возможность связанного управления цикловой подачей топлива и УОВТ по всем характеристикам всережимного регулятора в традиционной разделенной ТПА непосредственного действия. Реализованный в металле для автомобильного дизеля 4ДТНА1 мощностью 66 кВт при  $n_{KB} = 4200 \text{ мин}^{-1}$  единый узел ТНВД и регулятора (рис. 1), полностью взаимозаменяем с базовым вариантом ТПА, но позволяет выполнить требования достаточно близкие к возможностям электронной системы регулирования.

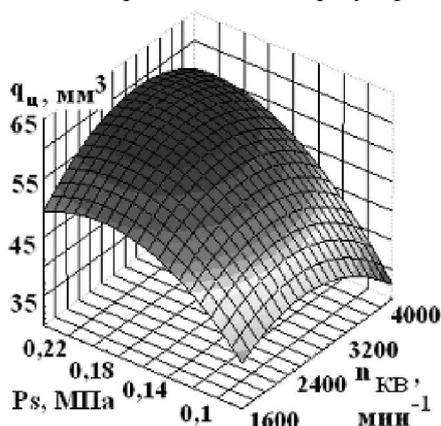


Рис. 5. Зависимость цикловой подачи при фиксированном положении рейки ТНВД от частоты вращения коленчатого вала  $n_{KB}$  и давления наддува  $P_S$

$$q_{ци} = -7,7728 + 0,0177 \cdot n_{KB} + 378,8662 \cdot P_S - 3,776 \cdot 10^{-6} \cdot n_{KB}^2 - 1090,0444 P_S^2 + 0,027 \cdot n_{KB} \cdot P_S$$

#### Выводы

1. При совершенствовании отечественного малолитражного автомобильного дизеля целесооб-

разно применить связанное регулирование топливopодачи, позволяющее путем применения двух пневматических и двух топливных корректоров одновременно управлять цикловой подачей и УОВТ на всех режимах работы ВМД без радикальной переработки конструкции ТПА.

2. Безмоторные испытания опытной ТПА для высокооборотного дизеля серии ДТА показали возможность гибкого изменения цикловой подачи и УОВТ (от 13 до 25 град. п.к.в.) в зависимости от режима работы ВМД.

3. Определено, что максимальное давление перед форсункой в период впрыскивания в системе, укомплектованной форсунками с дифференциальным поршнем, достигает уровня 72,5 МПа. Это в 1,6 раза больше аналогичного давления в штатной ТПА дизеля серии ДТА.

4. В ходе безмоторных испытаний получены величины регулировочных параметров ТПА, позволяющие осуществить переход к следующему этапу исследования – проведению моторных испытаний ТПА в составе ВМД серии ДТА.

#### Список литературы:

1. Пинский Ф.И. Микропроцессорные системы управления автомобильными двигателями внутреннего сгорания / Ф.И. Пинский, Р.И. Давтян, Б.Я. Черняк – М.: Легион-Автodata, 2001.–136 с.
2. Грехов Л.В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей: Учебник для вузов / Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков. – М.: Легион – Автodata. 2004. – 344 с.
3. Грицюк А.В. Новые возможности разделенной топливной системы непосредственного действия для улучшения показателей малолитражного дизеля / А.В. Грицюк // Двигатели внутреннего сгорания: Всеукр. научн.-техн. журнал. – 2009. – №2. – С. 32 – 35.
4. Грицюк А.В. Основы создания отечественного малолитражного дизеля / А.В. Грицюк // Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков: НТУ "ХПИ", 2007. – №2. – С. 3 – 9.
5. Лисовал А.А. Выбор параметров регулирования газовой турбины автомобильного дизеля / А.А. Лисовал // Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков: НТУ "ХПИ", 2009. – №2. – С. 65 – 69.
6. Гоц А.Н. Моделирование внешних скоростных характеристик дизелей / А.Н. Гоц, В.В. Эфрос // Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей: Материалы X Междунар. науч.-практ. конф., 27-29 июня 2005 г. – Владимир: ВлГУ, 2005. – С. 48 – 49.

#### Bibliography (transliterated):

1. Pinskiy F.I. Mikroprotsessornye sistemy upravleniya avtomobil'nymi dvigatelyami vnutrennego sgoraniya / F.I. Pinskiy, R.I. Davtyan, B.YA.Chernyak -M.: Legion-avtodata, 2001.-136 s.
2. Grechov L.V. Toplivnaya apparatura i sistemy upravleniya dizelei: uchebnik dlya vuzov / L.V. Grechov, N.A. Ivaschenko, V.A. Markov. -M.: Legion - avtodata. 2004. - 344 s.
3. Gritsyuk A.V. Novye vozmozhnosti razdelennoi toplivnoi sistemy neposredstvennogo deistviya dlya uluchsheniya pokazatelei malolitrazhnogo dizelya / A.V. Gritsyuk // Dvigateli vnutrennego sgoraniya: Vseukr. nauchn.-techn. zhurnal. - 2009. - №2. - s. 32 - 35.
4. Gritsyuk A.V. Osnovy

sozdaniya otchestvennogo malolitrazhnogo dizelya / A.V. Gritsyuk // Dvigateli vnutrennego sgoraniya. - Char'kov: NTU "CHPI", 2007. - №2. - s. 3 - 9. 5. Lisoval A.A. Vybor parametrov regulirovaniya gazovoi turbiny avtomobil'nogo dizelya / A.A. Lisoval // Dvigateli vnutrennego sgoraniya. - Char'kov: NTU "CHPI", 2009. - №2. - s.

65 - 69. 6. Gots A.N. Modelirovanie vneshnich skorostnykh charakteristik dizelei/ A.N. Gots, V.V. Efros // Fundamental'nye i prikladnye problemy sovershenstvovaniya porshnevnykh dvigatelei: Materialy X mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 27-29 iyunya 2005 g. - Vladimir: VLGU, 2005. - s. 48 - 49.

УДК 629.03

**А.В. Грицюк, д-р техн. наук, А.А. Мотора, инж., Е.В. Шаповалов, инж., А.С. Жуков, инж.**

## АВТОНОМНЫЙ ДВУХРЕЖИМНЫЙ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОАГРЕГАТ ДЛЯ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

В настоящее время очень остро ставится вопрос снижения общих затрат органического топлива при практическом увеличении количества энергии, вырабатываемой ДВС для удовлетворения человеческих потребностей. И если ранее вопросы, связанные с получением и потреблением энергии от сгорания в ДВС органического топлива, были проблемными лишь для экономик государств, зависящих от внешних поставщиков топлива, то сейчас они поднимаются даже на центральных мировых форумах по развитию силовых установок транспортных средств. Показательной в этом отношении является 6-я Международная конференция АВЛ "Силовые установки для коммерческих транспортных средств", на которой в докладе [1] был представлен прогноз по наметившемуся с 2013 года дефициту известных предложений по выработке органического топлива относительно возрастающей потребности в его использовании (рис. 1).

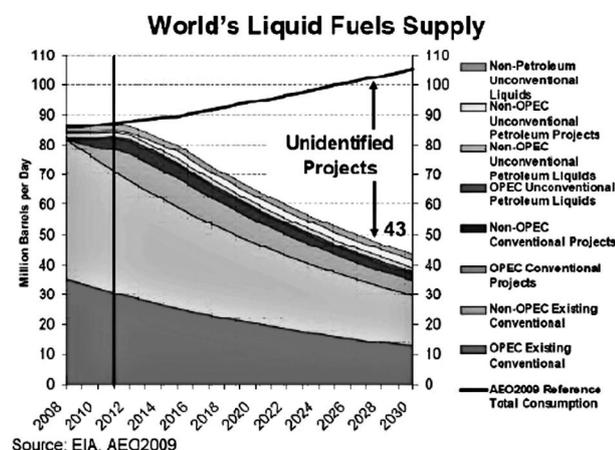


Рис. 1. Прогнозируемый дефицит предложений по добыче и реализации органического топлива относительно его потребности

Эффективными для снижения этого дефицита

являются мероприятия по улучшению топливно-экономических показателей ДВС, но при продолжающемся ужесточении нормативных требований к экологическим показателям двигателей всевозможного назначения ожидать требуемой экономии топлива в эксплуатации только за счёт дальнейшего совершенствования рабочего в грядущее десятилетие не приходится.

В связи с этим интересной является наметившаяся тенденция пересмотра сложившихся стереотипов и увеличения коэффициента полезности использования силовых установок различной номинальной мощности при выполнении конкретных работ. Прежде всего это относится к грузопассажирским перевозкам, строительно-дорожным работам, работам в аграрном комплексе и использованию электроэнергии, вырабатываемой генераторными установками с приводом от ДВС. В частности под последним имеется ввиду расширение использования вспомогательных силовых установок, разрабатываемых на базе экономичных высокооборотных малолитражных дизелей (ВМД).

Впервые экономическая целесообразность передачи части функций основного двигателя наземного транспортного средства вспомогательной силовой установке (ВСУ) показана в работе [2], где описана разработанная КП ХКБД установка ЭА10УМ, рекомендуемое применение которой в составе танка "Оплот", должно привести к экономии дизельного топлива в количестве 15,2 кг за один час эксплуатации танка. Установка разработана на базе единственного в своём роде специального двухцилиндрового малолитражного дизеля 468А-1 с горизонтальным рядным расположением цилиндров, явившегося модернизированной версией дизеля 468, предложенного в 70-х годах 20-го столетия научно-исследовательским институтом двигателей (НИИД, г. Москва).