

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ГАЗОПОРШНЕВЫХ ДВС

Приведена сравнительная характеристика газомоторных топлив, проанализирован опыт их использования в двигателях внутреннего сгорания, показана перспективность расширения областей применения газопоршневых ДВС в условиях ужесточения экологических требований к энергетическим установкам транспортных средств. Представлена оценка влияния перевода двигателя на газовое топливо на показатели рабочего процесса, экономические и экологические характеристики. Сформулированы задачи, требующие решения для более широкого внедрения газопоршневых ДВС.

Введение

Двигатели внутреннего сгорания являются одним из главных источников токсичных веществ, выбрасываемых в атмосферу [1]. Поэтому наряду с улучшением показателей экономичности и надёжности ДВС снижение токсичности и дымности их отработавших газов является важнейшей задачей. Транспорт стал одним из основных источников загрязнения окружающей среды в большинстве стран мира. В России из 35 млн. т в год вредных выбросов от различных транспортных средств около 89 % приходится на автомобильный транспорт, 6...8 % – на железнодорожный. Влияние выбросов судовых дизелей на глобальное состояние воздушного бассейна является ограниченным и составляет 5...7 % от общего количества выбросов вредных веществ стационарными энергетическими установками и наземными транспортными средствами. Однако из-за большой агрегатной мощности судовые дизели могут являться основным источником загрязнения атмосферы в таких локальных зонах как порты, гидротехнические сооружения, акватории рек в черте города. Эмиссия токсичных соединений и твердых частиц с отработавшими газами двигателей различного назначения регламентируется российскими и международными стандартами (Euro, IMO, TA-Luft и другие). В ближайшие годы следует ожидать ужесточения экологических требований к поршневым ДВС, прежде всего по содержанию в отработавших газах оксидов азота NO_x , снижение выбросов которых является одной из актуальных задач современного двигателестроения [2].

Наряду с ужесточением существующих норм вводятся ограничения на выбросы парниковых газов, основным из которых является диоксид углерода (CO_2). Вступившая в силу в 1994 году Рамочная конвенция ООН об изменении климата (UNFCCC) и Киотский протокол 1997 года установили обязательства для стран-участниц в отношении снижения выбросов CO_2 . В период с 2008 по 2012 год развитые страны должны были сократить выбросы парниковых газов, как минимум, на 5 %. Установленные требования фактически означают

необходимость принятия следующих мер: снижение расхода топлива, которое неизбежно приведет к эквивалентному снижению выбросов с ОГ продуктов неполного сгорания топлива: сажи, углеродородов, оксидов углеводородов, бенз(а)пирена, формальдегида; использование новых источников энергии; применение альтернативных топлив.

Постановка проблемы

Постоянное ужесточение норм на содержание токсичных веществ в отработавших газах и повышение требований по улучшению топливной экономичности стимулируют исследования по созданию принципиально новых двигателей, доработки существующих, с одновременным улучшением качества моторных топлив, отвечающих современным и перспективным требованиям по эксплуатационным и экологическим показателям.

Непрерывный рост потребления энергии и истощение запасов невозобновляемых ископаемых топлив делают актуальной задачу поиска альтернативных топлив и анализа перспектив их применения для транспортных и стационарных ДВС. Наибольший интерес с этой точки зрения представляют газопоршневые двигатели (ГПД) – поршневые ДВС традиционных конструкций, работающие на различных видах газообразного топлива.

Перспективность какого-либо типа двигателя следует оценивать по трем основным факторам:

- достаточность ресурсов и приемлемая цена используемого вида топлива;
- высокие ресурсные, экономические и экологические показатели двигателей;
- возможность адаптации двигателей для различных областей применения.

Анализ информации

Перспективным топливом для транспортных и стационарных установок можно считать любой химический источник энергии, использование которого в традиционных или разрабатываемых двигателях позволяет решить энергоэкологические проблемы при обеспечении достаточного ресурса. С учетом специфики поршневых ДВС можно сформулировать пять основных условий перспективности новых энергетических источников:

- наличие достаточных сырьевых ресурсов;
- возможность массового производства;
- технологическая и энергетическая совместимость с транспортными и стационарными энергетическими установками;

- приемлемые токсические и экономические показатели процесса использования;

- безопасность и безвредность в эксплуатации.

Горючие газы, применяемые в качестве моторного топлива, можно также разделить в зависимости от условий содержания, влияющих на возможность использования, и способа получения: сжиженные нефтяные газы (СНГ); сжатые природные газы (КПГ); сжиженные природные газы (СПГ); попутный газ нефтяных скважин и пары больших резервуаров; промышленный (пиролизный, коксовый, биогаз, шахтный, газ сточных вод и т. д.); водород.

Перспективными газообразными топливами следует считать природный газ и альтернативные топлива, представляющие собой химические соединения, не являющиеся продуктами переработки нефти.

К перспективным и альтернативным топливам в настоящее время относят:

- природный газ: метан (СН₄);
- водород (Н₂);

- биогаз на основе метана;

- сжиженные углеводородные газы: пропан (С₃Н₈) и бутан (С₄Н₁₀).

В странах Евросоюза к 2020 году предполагается замена 23 % топлива на альтернативные, из них 10 % – на природный газ, 8 % – на биогаз и 5 % – на водород.

Наиболее богатый мировой опыт применения газовых топлив накоплен в автомобильном транспорте. В 60 странах мира на природном газе работает примерно 10 млн. автомобилей. Мировым лидером является Аргентина (более 1 млн. автомобилей, работающих на природном газе) [3]. В соответствии с планами ЕЭК ООН до 2020 года около 30 млн. автомобилей ЕС будут работать на природном газе, в Германии автомобили, работающие на газе к 2020 году должны составлять 30 % автопарка. Ежегодное потребление природного газа таким количеством машин составит 50 млрд. м³.

Расширение применения природного газа представляется наиболее вероятным. Природный газ на 98...99 % состоит из метана, исходя из этого, были определены [4] массовые доли компонентов продуктов сгорания (табл. 1), количества отработавших газов и диоксида углерода в них на 100 кВт мощности двигателя (табл. 2) при полном сгорании топлива.

Таблица 1. Состав продуктов сгорания различных видов топлива

Топливо	Элементарный состав		Массовые доли			
	С	Н	gCO ₂	gH ₂ O	gN ₂	gO ₂
Дизельное	0,872	0,128	0,0700	0,0352	0,7424	0,1484
Природный газ (метан)	0,75	0,25	0,0512	0,05162	0,748	0,149

Таблица 2. Количество отработавших газов и СО₂ на 100 кВт мощности

Топливо	Количество отработавших газов, кг/ч	Количество СО ₂ , кг/ч
Дизельное	1015,128	71,94
Природный газ (метан)	1028,3	52,67

Проведенное сравнение показывает, что применение в качестве топлива для ДВС природного газа обеспечивает снижение выбросов парниковых газов на эквивалентную мощность на 25...30 %.

В настоящее время наблюдается расширение использования ГПД в стационарных и судовых энергетических установках. При улучшенных экологических показателях ГПД превосходят дизельные и газотурбинные двигатели по экономической эффективности при их использовании в составе электрогенераторных станций, в особенности, оснащенных устройствами для когенерации теплоты (рис. 1, рис. 2). На лучших моделях поршневых установок с утилизацией теплоты комбинирован-

ная выработка электрической и тепловой энергии позволяет повысить эффективность использования топлива до 85...90 % (электрический КПД около 40 %, тепловой – 40...45 %). Отношение электрической мощности к тепловой составляет 1:1,2. Теплоэлектростанции на 25...35 % более эффективны, чем энергетическое оборудование, вырабатывающее электричество или теплоту отдельно.

На рисунке 3 представлено сопоставление стоимости производимой энергии при использовании различных видов топлива. Наиболее рациональным является применение природного газа, именно этим объясняется повышение интереса к ГПД различного назначения.

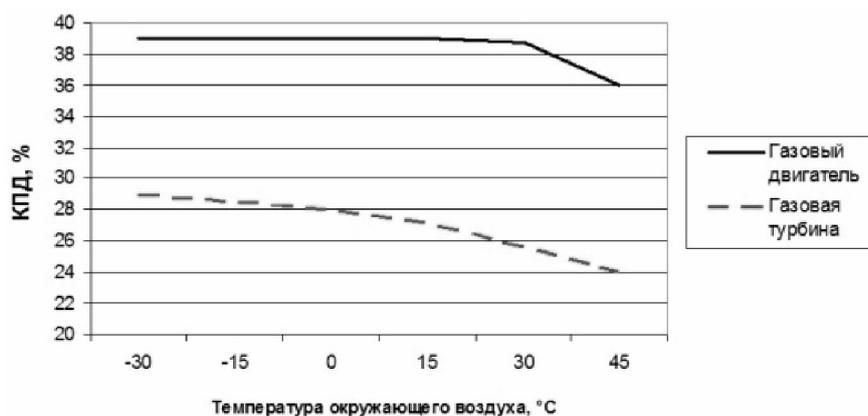


Рис. 1. Влияние температуры окружающего воздуха на КПД газопоршневого двигателя и газовой турбины

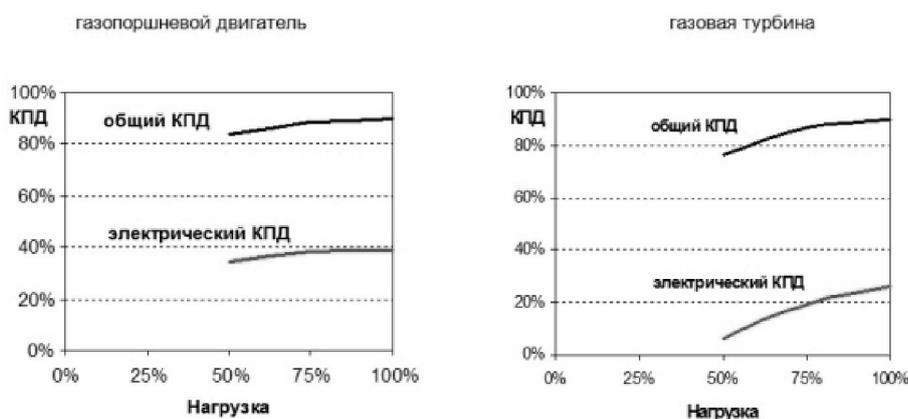


Рис. 2. Эффективность когенерационной электростанции с ГПД и газовой турбиной

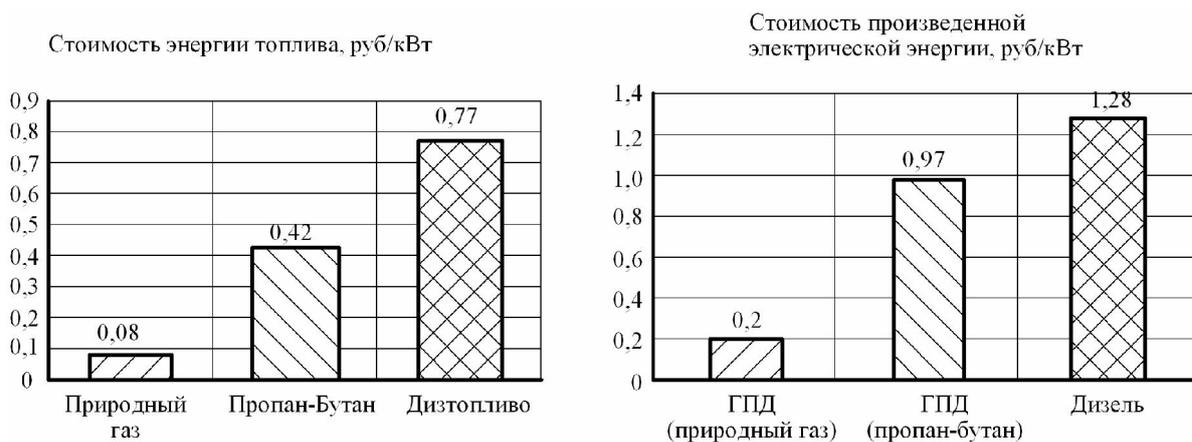


Рис. 3. Сравнительная оценка использования различных видов топлива для ДВС

В 1982 году в Австралии было построено первое грузовое судно, работающее на сжатом газе, «Accolade», в 1985 и 1988 годах в Канаде спустили на воду однотипные паромы «Klatawa» и «Kulleet», на которых газ под давлением 25 МПа находился в 50 стальных баллонах общей вместимостью 14,7 м³, периодически пополняемых с помощью установленного на берегу компрессора, подключенного к городской газораспределительной сети. В 1994 и 2000 годах в Голландии были построены прогулочные суда, работающие на КПГ «Mondriaan», «Escher», «Rembrandt» и «VanGogh».

Из-за ограниченности допустимого объема емкостей, размещаемых в трюме судна, без ущерба его основным функциям, а также в связи с необходимостью наличия в районе плавания специальной инфраструктуры для пополнения запасов топлива, сжатый природный газ не получил широкого применения на флоте.

Более перспективным представляется внедрение сжиженного природного газа (СПГ), поскольку он занимает в 2,5...3 раза меньше места [5]. Первым судном, не относящимся к классу газозовов и работающим на СПГ, стал построенный в 2000 году в

Норвегии паром «Glutra». В его 2 подпалубных криогенных танках суммарной вместимостью 54 м³ размещается 10 т топлива, которого хватает на 5...6 суток, пополнение запасов топлива осуществляется с помощью специального автомобиля-газовоза. В 2008 году в Бразилии был спущен на воду грузопассажирский паром «Ivete Sangalo» на СПГ. Положительные результаты эксплуатации в Таиланде 12 контейнеровозов на СПГ, построенных в Китае в 2009...2010 годах, вызвали закономерный интерес со стороны международного бизнеса и, как следствие, китайские верфи получили заказ на создание еще 12 аналогичных судов. Наибольшее распространение СПГ получил на судах, обеспечивающих освоение, эксплуатацию и снабжение морских нефте-газопромыслов. Только на морских месторождениях Норвегии судов такого типа задействовано порядка 20 единиц, и их строительство продолжается [6].

По оценке специалистов норвежского классификационного общества DNV проектируемое судно типа VLCC, использующее СПГ, будет обладать следующими преимуществами по сравнению с обычным танкером указанного класса: на 34 % более низкий уровень выбросов CO₂, на 80 % более низкий уровень выбросов NO_x, на 95 % – SO_x, на 25 % меньшее энергопотребление. К аналогичным заключениям пришли эксперты судостроительной компании «STX France». Японская компания «Oshima Shipbuilding Co» совместно с норвежским DNV представила первые итоги реализации концепции «ECO-Ship 2020», в рамках которой разрабатывается проект балкера с большим процентом раскрытия палубы (ОНВС – Open hatch bulk carrier). Преследуется цель создания судна с минимально возможным уровнем затрат на топливо, удовлетворяющего экологическим требованиям и одновременно максимально эффективного с точки зрения эксплуатации. За счет применения СПГ балкер не будет иметь выбросов SO_x и твердых частиц, на 90 % сократится NO_x и, как минимум, на 50 % – CO₂.

Несколько лет назад в Санкт-Петербурге эксплуатировался пассажирский теплоход «Нева-1» пр. Р-51 на газе, спроектированный компанией «Сигма-Газ»; была подтверждена эффективность и перспективность использования альтернативного топлива. Однако, несмотря на положительные результаты, проект был приостановлен. В настоящее время в Российской Федерации флота, работающего на СПГ, практически не существует.

Ведутся работы по внедрению ГПД на железнодорожном транспорте. В 1997...1998 гг. в ОАО

«Брянский машиностроительный завод» были построены два опытных маневровых газотепловоза ТЭМ18Г мощностью 882 кВт. ОАО РЖД, ЗАО «Трансмашхолдинг» и компания Caterpillar в 2013 г. провели испытания маневрового тепловоза ТЭМ18ДМ, в котором применен газовый двигатель мощностью 1000 кВт, соответствующий современным и перспективным экологическим требованиям.

Одним из вероятных направлений, способных качественно изменить сложившуюся ситуацию в мировой транспортной энергетике, во многих странах считается переход к водородному топливу. Первый двигатель на водороде был изобретен Франсуа Исааком де Ривацом в 1806 году. В Советском союзе ученый Шелищ, будучи военным техником, предложил использовать воздушно-водородную смесь в качестве топлива для ДВС. Во время блокады в Ленинграде свыше 600 автомобилей эксплуатировалось на водороде.

На сегодняшний день водород является одним из наиболее интересных и перспективных источников энергии. Работы по развитию водородной энергетики активно ведутся в США, Японии, Китае, Индии, Канаде, Австралии, странах ЕС [7].

Водород может использоваться в качестве топлива в поршневом бензиновом двигателе внутреннего сгорания традиционной конструкции. В этом случае мощность двигателя снижается до 82...65 %. За счет модернизации системы зажигания, мощность двигателя может быть повышена до 117 % в сравнении с бензиновым аналогом, но при этом значительно увеличиваются выбросы оксидов азота из-за более высокой температуры в камере сгорания. Кроме того, водород при температурах и давлениях, которые создаются в двигателе способен вступать в реакцию с материалами двигателя и смазкой, приводя к более быстрому износу, что требует внедрения дополнительных мероприятий по обеспечению надежности.

В настоящее время разработкой двигателей внутреннего сгорания на водороде занимается ряд крупнейших компаний, таких как M.A.N., BMW, Honda, Hyundai, Nissan, GM, Daimler Cr.-Mercedes-Benz, разработки авиационных двигателей ведет компания Boeing Company. Наиболее интересными из них являются: компания BMW, разработавшая и выпускающая серийно, малыми партиями автомобиль BMW Hydrogen 7, с 12 цилиндровым двигателем мощностью 194 кВт, работающий на сжиженном водороде и развивающий мощность 170 кВт. Компания M.A.N. выпускает городские автобусы Lion City Bus. Разработкой легкового автомобиля на водороде так же занимается компания MAZDA,

разрабатываемая модель – RX-8 Hydrogen. Компания Opel применяет водородные топливные элементы в своих автомобилях. Их автомобиль Opel Zafira с двигателем на водородном топливном элементе, мощностью 94 кВт, на 160 км пробега использует 1,8 литра водорода. Opel Zafira с 1,6 – литровым бензиновым двигателем на 160 км использует 5,8 литра топлива. Так же во всем мире на водород переводят двигатели локомотивов: к примеру в Дании существует поезд, который курсирует между двумя городами, расстояние между которыми 59 км. Длина маршрута ограничивается емкостью водородных баков. Водород должен храниться при температуре около минус 250 °С. Производством емкостей для хранения баллонов занимаются несколько фирм, самая крупная из которых Magna International (Magna Steyer). Эта компания большое внимание уделяет безопасности хранения водорода. Она создает и испытывает системы хранения водорода. Компания Magna создала систему хранения для BMW Hydrogen и для многих других автомобилей. Бак двухслойный, в промежутке в вакууме расположено 70 слоев специальной пены. Параллельно с этой фирмой работает фирма UTC Power, производящая топливные элементы. Достоинством ДВС, работающих на водороде, является их высокая экономичность. Во время испытаний автобуса на водородных топливных элементах ка-

надской компании Ballard Power Systems был зафиксирован КПД 57 %. Городские автобусы с водородными двигателями используются в Барселоне (Испания) и Рейкьявике (Исландия). Накопленный в автомобильном транспорте опыт представляет интерес и для других видов транспорта.

Широкое внедрение водородного топлива сдерживается более высокой ценой водорода по сравнению с другими видами топливами, а также отсутствием необходимой инфраструктуры.

Биогаз, представляющий собой, продукт сбраживания органических отходов (**биомассы**), является смесью **метана** и **углекислого газа**. К настоящему времени использование биогаза в качестве топлива для поршневых ДВС находится на стадии разработки. Для оценки возможностей применения и перспективности данного вида топлива, а также природного газа, основным компонентом которого является метан, был произведен тепловой расчет с использованием программы Diesel RK Net. Расчет был произведен для двигателя 8 ЧН 14/14 для дизельного топлива, биогаза и еще одного вида альтернативного топлива – этанола (C₂H₅OH). Основные эффективные и индикаторные показатели двигателя, работающего на дизельном, и альтернативных видах топлива с полным замещением первого, представлены в табл. 3.

Таблица 3. Основные показатели работы двигателя

Основные показатели работы двигателя	Дизельное топливо	Метан (CH ₄)	Этанол (C ₂ H ₅ OH)
n , мин ⁻¹	1900		
E	16,5		
улучшенные показатели при α	1,7	1	1
оптимальный угол опережения впрыска/зажигания	20	15...25	10...20
N_e , кВт	300	300	300
P_e , МПа	1,406	1,586	1,549
M_e , Н·м	1685	1511	1508
g_e , г/(кВт·ч)	205	220	246
η_e	0,4	0,382	0,394
η_i	0,44	0,443	0,433
P_i , МПа	1,617	1,75	1,48
$\eta_{мех}$	0,875	0,86	0,86
G_T , кг/ч	60	95,8 (м ³ /ч) экв. 66 кг/ч ДТ	73,8

Полученные результаты свидетельствуют о том, что по технико-экономическим показателям двигателя, работающие на альтернативных видах топлива, практически не уступают двигателям, работающим на дизельном топливе.

Как отмечалось выше кроме экономических, важное значение для транспортных двигателей имеют экологические показатели, прежде всего токсичность и дымность отработавших газов. В

таблице 4, где $\alpha=1,0$ – стехиометрический состав; $\alpha_{пр}$ – предельно обедненный состав, при котором возможна устойчивая работа двигателя; α_m – состав, соответствующий максимальному среднему индикаторному давлению, указаны расчетные данные, полученные с использованием программы Diesel-RK Net по составу отработавших газов двигателя при работе на метане и этаноле.

Таблица 4. Расчетные составы отработавших газов характерных топливовоздушных смесей метана и этанола

Топливо	Коэффициент избытка воздуха α	Состав отработавших газов, мольные доли						
		H ₂	H ₂ O	N ₂	NO	CO	CO ₂	O ₂
Метан	$\alpha=1,0$	–	0,229	0,656	–	–	0,114	0,0003
	$\alpha_{пр}=1,34$	–	0,180	0,685	0,003	–	0,087	0,0470
	$\alpha_{м}=0,9$	0,016	0,228	0,633	0,007	0,02	0,102	0,0009
Этанол	$\alpha=1,0$	–	0,308	0,692	–	–	–	0,0003
	$\alpha_{пр}=1,25$	–	0,258	0,715	0,002	–	–	0,0272
	$\alpha_{м}=0,95$	0,001	0,31	0,686	–	–	–	0,0003

Для работы двигателя на биогазе, необходимо:

- установить адаптированное газобаллонное оборудование с баллоном повышенного объема;
- модернизировать систему охлаждения, в том числе охладитель надувочного воздуха, т.к. температура в конце такта сжатия значительно выше, чем аналогичная температура дизельного топлива;
- увеличивать подачу топлива, для компенсации потерь мощности, связанных со свойствами биогаза;
- установить дополнительные индикаторы и датчики, с целью повышения информативности системы управления двигателем;
- обеспечить безопасность энергетической установки для человека.

Ограниченность применения биогаза в качестве моторного топлива обусловлена малыми объемами его производства в Российской Федерации.

Применение газообразного топлива в поршневых ДВС обеспечивает повышение их ресурсных показателей. Основной причиной этого является то, что газ не смывает масляную пленку со стенок гильзы цилиндра, увеличивает срок службы масла из-за пониженного нагарообразования в камере сгорания двигателя. По имеющимся данным наработки ГПД до среднего и капитального ремонтов превышают соответствующие периоды для поршневых двигателей, работающих на жидких топливах, в 1,5 раза и газотурбинных двигателей – в 2 раза.

Выводы

Анализ имеющейся информации позволяет сделать следующие выводы.

1. Основными преимуществами ГПД, определяющими их перспективность, являются:
 - малые выбросы токсичных и парниковых газов;
 - низкие эксплуатационные расходы;
 - увеличенный срок службы;
 - низкий уровень шума;
 - экономическая эффективность.

2. Наиболее распространенным видом газообразного топлива является сжиженный природный газ. Перспективным следует признать использование в качестве моторного топлива водорода и биогаза.

3. Опыт использования газового топлива, накопленный в автомобильном транспорте, позволяет расширять сферы применения ГПД, наиболее перспективными из которых являются электрогенерирующие станции, водный транспорт, газоперекачивающие станции, железнодорожный транспорт.

4. Для успешной реализации перспектив использования ГПД необходимо осуществить комплекс технических и организационных мероприятий: модернизацию систем топливоподачи и впуска поршневых двигателей, расширение инфраструктуры получения и доставки газообразного топлива потребителям, создание нормативной базы проектирования, производства, эксплуатации и ремонта ГПД.

5. Подтверждением перспективности ГПД можно считать следующие факты:

- в апреле 2013 года подписано эксклюзивное соглашение между компаниями "Газпром" и Volkswagen о поставке российского газомоторного топлива команде Volkswagen Motorsport, принимающей участие в гонках автомобилей, которые работают на природном газе;
- в порту Усть-Луга в 2013 г. завершено строительство комплекса для приема и налива в суда-газовозы охлажденного (сжиженного) углеводородного газа. Достаточно активно обсуждается вопрос о строительстве завода по сжижению природного газа в порту Приморск (Ленинградская обл.);
- в рамках Петербургского международного экономического форума 2013 прошла встреча между Алексеем Миллером, главой "Газпрома" и Дональдом Джеймсом Амплби III, президентом Группы компании "Caterpillar". Участниками встречи было отмечено, что у рынка газомоторного топлива России огромный потенциал роста, который открывает широкие возможности сотрудничества

компаний. Итогом переговоров стало подписание Меморандума о возможном сотрудничестве в секторе использования газа как моторного топлива;

– Ярославский моторный завод «Автодизель» заключил соглашение с компанией Westport, ведущим международным производителем автомобильных газотопливных систем и компонентов, о разработке линейки газовых двигателей для автомобильной, а также дорожно-строительной и сельскохозяйственной техники, работающей на сжатом природном газе. Производство новых российских газовых двигателей на Ярославском моторном заводе начнется в 2014 году.

Список литературы:

1. Котиков, Ю.Г. *Транспортная энергетика* [Текст] / Ю.Г. Котиков, В.Н. Ложкин. – М.: Изд-кий центр «Академия», 2006. – 272 с. 2. Гальговский, В. Р. *Развитие нормативов ЕЭК ООН по экологии и формирование высокоэффективного транспортного дизеля* [Текст] / В.Р. Гальговский, В.А. Долецкий, Б.М. Малков – Ярославль: Изд-во Ярославского гос. техн. ун-та, 1995. – 171 с. 3. Канило, П.М., *Анализ эффективности использования альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания* [Текст] / П.М. Канило, И.В. Парсаданов // *Двигатели внутреннего сгорания*. – 2009. – № 1. – С. 8 – 14. 4. Хачиян, А.С. *Сравнительная оценка выбросов двуокиси углерода различными двигателями* [Текст] / А.С. Хачиян // *Перспективы развития энергетических установок для автотранспортного комплекса: сб. научных трудов МАДИ (ТУ) / М.:, 2006. – С. 4 – 9. 5. Бармин, И.В. *Сжи-**

женный природный газ вчера, сегодня, завтра [Текст] / И.В. Бармин, И.Д. Кулис. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 256 с. 6. Власов, А.А. *Придет ли природный газ на смену мазуту?* [Электронный ресурс] / А.А. Власов. – Режим доступа: http://www.korabel.ru/news/comments/prid_t_li_prirodnyy_gaz_na_smenu_mazutu.htm – 11.03.2014 г. 7. Кузык, Б.Н. *Россия: стратегия перехода к водородной энергетике* [Текст] / Б.Н. Кузык, Ю.В. Яковец. – М.: Институт экономических стратегий, 2007. – 400 с.

Bibliography (transliterated):

1. Kotikov, Y.G. *Transportnaja energetika* [Tekst] / Y.G. Kotikov, V.N. Lozhkin. – M.: Izd-kij zentr "Akadmiya", 2006. – 272 s. 2. Gal'govskij, V.R. *Razvitie normativov EEK OON po ekologii i formirovanie vysokoeffektivnogo transportnogo dizelja* [Tekst] / V.R. Gal'govskij, V.A. Doletskij, B.M. Malkov – Yaroslavl': Izd-vo Yaroslavskogo gos. techn. un-ta, 1995. – 171 s. 3. Kanilo, P.M. *Analiz effektivnosti ispol'zovanija al'ternativnyh topliv v dvigateljach vnutrennego sgoranija* [Tekst] / P.M. Kanilo, I.V. Parsadanov // *Dvigateli vnutrennego sgoranija*. – 2009. – № 1. – S. 8 – 14. 4. Khachijan, A.S. *Sravnitel'naja ozenka vybrosov dnuokisi ugleroda razlichnymi dvigateljami* [Tekst] / A.S. Khachijan // *Perspektivy razvitija energeticheskikh ustanovok dlja avtotransportnogo kompleksa: sb. nauchnyh trudov MADI (TU) / M.:, 2006. – S. 4 – 9. 5. Barmin, I.V. *Szhizhenyj prirodnyj gas vchera, segodnja, zavtra* [Tekst] / I.V. Barmin, I.D. Kulis. – M.: Izd-vo MGTU im N.E. Bauman, 2009. – 256 s. 6. Vlasov, A.A. *Pridet li prirodnyj gas na smenu mazutu?* [Elektronnyj resurs] / A.A. Vlasov. – Rezhim dostupa: http://www.korabel.ru/news/comments/prid_t_li_prirodnyy_gaz_na_smenu_mazutu.htm – 11.03.2014 g. 7. Kuzyk, B.N. *Rossija: strategija perechoda k vodorodnoj energetike* [Tekst] / B.N. Kuzyk, Y.V. Yakovets. – M.: Institut ekonomicheskikh strategij, 2007. – 400 s.*

Поступила в редакцию 04.06.2014

Безюков Олег Константинович – доктор техн. наук, профессор, заведующий кафедрой теории и конструкции судовых ДВС ФГБОУ ВПО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова», Санкт-Петербург, Россия, E-mail: Okb-nauka@yandex.ru

Жуков Владимир Анатольевич – доктор техн. наук, доцент, профессор кафедры теории и конструкции судовых ДВС ФГБОУ ВПО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова», Санкт-Петербург, Россия, E-mail: gukovv@rambler.ru

Яценко Оксана Игоревна – аспирантка кафедры теории и конструкции судовых ДВС ФГБОУ ВПО «Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова», Санкт-Петербург, Россия, E-mail: kaf_sdvs@gumrf.ru

АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВНОСТІ ГАЗОПОРШНЕВИХ ДВЗ

О. К. Безюков, В. А. Жуков, О. И. Яценко

Наведено порівняльну характеристику газомоторних палив, проаналізовано досвід їх використання у двигунах внутрішнього згорання, показана перспективність розширення областей застосування газопоршневих ДВЗ в умовах посилення екологічних вимог до енергетичних установок транспортних засобів. Представлена оцінка впливу конвертації двигуна на газове паливо на показники робочого процесу, економічні та екологічні характеристики. Сформульовані завдання, які потребують вирішення для більш широкого впровадження газопоршневих ДВС.

ANALYSIS OF GAS-PISTON ENGINE'S OUTLOOK

O. K. Bezjukov, V. A. Zhukov, O. I. Yashenko

Comparative characteristics of different kinds of gas fuel for internal combustion engines are given in the article. Experience of use gas-fuel for engines was analysed. Prospects of widening gas-piston engines' employment into conditions of rising ecological requirements for power plant of means of transport are shown. The appraisal of influence of gas-fuel's using by index of working process, economical and ecological characteristics of engines is presented. Problems, which must be solved for spreading gas-piston engines, are formulated.