

*А.П. СТРОКОВ*, д-р. техн. наук, *А.М. ЛЕВТЕРОВ*, канд. техн. наук,  
*П.Ю. НЕЧВОЛОД*, ХНАДУ (г. Харьков)

## **УЛУЧШЕНИЕ ЭНЕРГОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АВТОНОМНОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СМЕСЕВЫХ МОТОРНЫХ ТОПЛИВ И СИСТЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ**

В роботі розглядаються технології конвертування дизельних двигунів у газові двигуни з іскровим запалюванням та зв'язане з цим покращення екологічних показників поршневого ДВЗ, при роботі двигуна на суміші природного газу та водню. Також у роботі передбачається використання системи утилізації теплоти відпрацьованих газів для підвищення ККД установки з ДВЗ.

In the given work technologies of converting of diesel engines in gas engines with spark ignition and the improvement of ecological parameters connected to it piston ICE are considered, at work of the engine on a mix of natural gas and hydrogen. Also in work it is offered to use systems of recycling of heat of the fulfilled gases for increase of efficiency of installation with ICE.

### **Введение**

Повышение требований к экологическим и экономическим показателям поршневых ДВС продиктовано резким ухудшением экологической обстановки и истощением природных запасов нефти, традиционно используемой для моторных топлив ДВС.

Одним из эффективных путей улучшения экологических показателей поршневого ДВС является использование газообразных топлив, например таких, как сжатый природный газ (СПГ).

Важно отметить, что при сгорании газообразного топлива образуется значительно меньше твердых частиц оказывающих влияние на экологические и ресурсные показатели ДВС, а также отсутствует разжижение моторного масла жидким топливом в отличие от дизельных и бензиновых аналогов, что в свою очередь позволяет повысить моторесурс такого ДВС в 1,5 - 2 раза.

В последнее время в развивающихся странах, например таких как Россия и Индия действуют Государственные программы по переводу ДВС коммунального транспорта на смесь природного газа и водорода. Водородная добавка используется для улучшения как экологических так и экономических показателей таких ДВС.

Рост цен на традиционные топлива нефтяного происхождения стимулирует автопроизводителей к поиску альтернативных видов топлив для ДВС.

Таким образом, уменьшение энергозависимости Украины от поставок традиционного сырья для топлива, используемого в ДВС – нефти, является приоритетной задачей.

Использование природного газа в качестве топлива для поршневых ДВС становится все более привлекательным для автомобильной промышленности, в первую очередь из-за сравнительно низкой стоимости и экологичности этого вида топлива.

### **Анализ публикаций**

Согласно оценкам мировых экспертов [1, 2] разведанные запасы природного газа во много раз превышают запасы нефти, что делает его более перспективным топливом для ДВС.

Интерес к метану как к топливу для ДВС с искровым зажиганием в последнее время проявляют все большее количество автомобильных компаний. Так например компания Toyota планирует выпуск автомобилей Camry Hybrid, двигатели которых будут работать на СПГ. Компания Honda серийно выпускает автомобиль Honda Civic GX с двигателем, работающим на СПГ, и планирует в 2009 увеличить объем продаж этой модели до 2000 автомобилей в год [3].

Таким образом, поиск альтернативных видов топлив для ДВС и улучшение технико-экономических и экологических показателей поршневых двигателей является актуальной задачей современного двигателестроения.

### **Цель и постановка задачи**

Цель работы – улучшение экологических и экономических показателей поршневого ДВС с искровым зажиганием при работе на смесевых топливах на основе сжатого природного газа и водорода.

В проведенном исследовании ставились такие задачи: - провести литературный обзор и патентный поиск, изучить существующие подходы по улучшению экологических показателей поршневых ДВС и выявить перспективные направления исследований;

- проанализировать доступную технологию конвертирования дизельных ДВС в газовые с искровым зажиганием;

- разработать конструкцию теплообменника для системы утилизации теплоты отработавших газов ДВС.

### **Основные этапы и результаты исследования**

В качестве базового был выбран двигатель Владимирского тракторного завода Д12А - двухцилиндровый дизель воздушного охлаждения 2Ч10,5/12. Дизель Д21А имеет неразделенную камеру сгорания в поршне.

Степень сжатия в газовом двигателе определяет пределы бездетонационной работы ДВС на СПГ и экономичность двигателя. Также при выборе степени сжатия требуется учитывать возрастание пробивного напряжения на электродах свечей зажигания.

Сотрудниками ИПМаш им. А.Н. Подгорного НАН Украины были проведены работы по переводу дизеля Д21А для работы на СПГ [4].

Степень сжатия у базового двигателя - 16,5 ед, а у газового доведена до 9,5 ед. за счет дообработки головки поршня. После расточки камеры сгорания головку каждого поршня подрезали на величину  $\delta = 7$  мм.

В соответствии с разработанной программой и методикой в рамках данного исследования планируется провести моторный эксперимент на двигателе Д21А, переведенном на природный газ, с целью получения характеристик токсичности и оценки эффективности системы утилизации теплоты отработавших газов ДВС.

Стенд оборудован системами и устройствами для подачи и измерения расходов жидкого топлива, воздуха и газа; температуры газа, воздуха, отработавших газов и масла двигателя; давления масла, высокого и низкого давления природного газа, разрежения воздуха на впуске, противодействия на выпуске и приборами измерения концентрации оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ), оксидов углерода ( $\text{CO}$ ), несгоревших углеводородов ( $\text{C}_n\text{H}_m$ ) в отработавших газах.

Разработка системы утилизации теплоты отработавших газов ДВС мотивировалась и заключалась в следующем. Одним из путей повышения КПД энергоустановки с ДВС является использование теплоты отработавших газов двигателя. Такие системы в общем случае можно разделить на системы первичной утилизации теплоты и системы глубокой утилизации теплоты. Последние целесообразно использовать преимущественно для мощных стационарных дизель-генераторов, или судовых, для которых характерны значительные абсолютные потери теплоты в систему охлаждения, смазки, с отработавшими газами и сброс теплоты с теплообменных поверхностей блока и головок цилиндров в атмосферу.

Для автономных малоразмерных генераторных установок, работающих на природном газе и смесях природного газа с водородом экономически целесообразно устанавливать систему первичной утилизации теплоты отработавших газов.

Система утилизации теплоты представляет собой двухконтурный теплообменник и систему циркуляции теплоносителя (рис. 1). Теплообменник устанавливается вблизи выпускного коллектора ДВС. Он имеет два контура – контур отбора теплоты от отработавших газов и контур циркуляции теплоносителя. Отработавшие газы омывают внешние поверхности контура теплообменника, которые имеют большую площадь теплообменной поверхности, что связано с существенно более низким коэффициентом теплоотдачи от отработавших газов к стенкам. Теплоноситель, имеющий более высокий коэффициент теплоотдачи, циркулирует по внутреннему контуру теплообменника. За счет теплообмена через стенку теплоноситель нагревается, проходя по внутреннему контуру теплообменника, и далее поступает к потребителю, например в жилое или производственное помещение.

Для повышения надежности и исключения паровых пробок внутреннего контура теплообменника, в случае кипения теплоносителя, в контур включен расширительный бачок. Циркуляция теплоносителя осуществляется принудительно от центробежного насоса. В качестве теплоносителя в работе

предполагается использовать антифриз, имеющий необходимые эксплуатационные характеристики.

Принципиальная схема системы когенерационной установки с поршневым ДВС представлена на рис. 1.

Для выбора конструктивных параметров теплообменника использовались существующие рекомендации, а также были выполнены предварительные расчеты с использованием современных программных комплексов.

Теплообменник конструктивно представляет собой теплоизолированную емкость в виде цилиндра с наружным диаметром 100 мм, длиной 300 мм и толщиной стенок 0,3 мм.

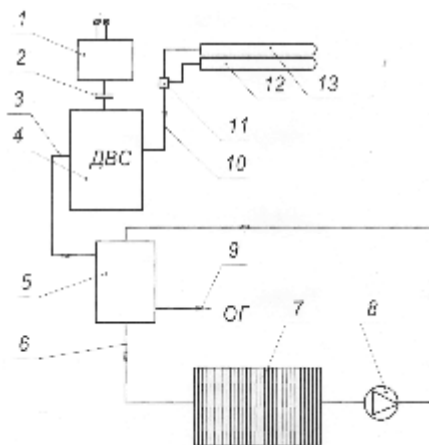


Рисунок 1 - Принципиальная схема когенерационной установки с поршневым ДВС. 1 – генератор; 2 – предохранительная муфта; 3 – отвод отработавших газов; 4 – двигатель; 5 – теплообменник; 6 – отвод нагретого теплоносителя от теплообменника; 7 – радиатор; 8 – циркуляционный насос; 9 – отвод отработавших газов от теплообменника; 10 – подвод топливоздушной смеси; 11 – блок смесителя и редукторов; 12 – баллон с водородом; 13 – баллон с сжатым природным газом.

Наружная поверхность теплообменника изолируется асбестовой тканью с низким коэффициентом теплопроводности. Внутри теплообменник имеет

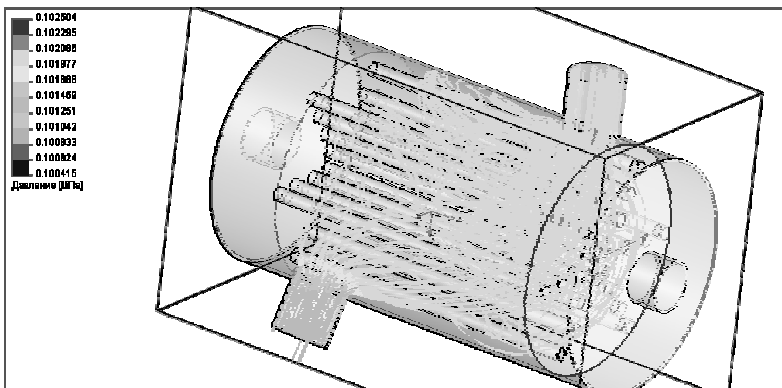


Рисунок 2 - Результаты предварительного расчета гидравлических сопротивлений теплообменника

три полости – полость входа теплоносителя, рабочая полость (вход и выход отработавших газов) и полость выхода теплоносителя. Теплоноситель внутри рабочей полости отделен от отработавших газов тонкостенными трубками с наружным диаметром 12 мм.

С использованием существующих экспериментальных данных о температуре и расходе отработавших газов, для газового двигателя на базе дизеля Д21А был выполнен предварительный расчет распределения давлений в полостях теплообменника, необходимый для оценки гидравлических сопротивлений проточной части теплообменника. Эти сопротивления важно учитывать при разработке конструкции теплообменника, так как они оказывают существенное влияние на условия выпуска отработавших газов и, соответственно, влияют на экономичность автономной когенерационной установки с ДВС.

Поставленная задача решалась в трехмерной стационарной постановке методом конечных объемов. При решении задачи рассматривались уравнения Навье-Стокса, законы сохранения массы, импульса и энергии, а также зависимость теплофизических свойств рабочих тел (отработавших газов и теплоносителя) от температуры.

Разработанная модель позволяет учитывать шероховатость поверхностей теплообменника и теплообмен рабочих тел с этими поверхностями. При этом коэффициенты теплоотдачи от отработавших газов к стенкам теплообменника и от стенок к теплоносителю задавались с учетом рекомендаций проф. Розенблита Г.Б. [5] и существующих зависимостей.

Учитывая режимы эксплуатации таких теплообменников следует отметить проблему поддержания чистоты наружных поверхностей трубок, омываемых отработавшими газами. В процессе длительной работы на вышеуказанных поверхностях неизбежно будут оседать твердые частицы,

которые обладают существенно более низким коэффициентом теплопроводности по сравнению с нержавеющей сталью, что в свою очередь будет снижать эффективность работы теплообменника.

Оценочная расчетная температура на внешней поверхности трубок теплообменника составляет порядка 320 – 350 °С, что существенно ниже температуры выгорания сажи (520 °С). Таким образом, для обеспечения эффективной длительной работы теплообменника необходимо организовывать принудительное выгорание сажи.

Такое выгорание сажи может быть реализовано двумя известными способами: подачей дополнительной порции топлива в выпускной коллектор в течение ограниченного промежутка времени (порядка 100 с), либо отключением контура циркуляции теплоносителя и кратковременная работа без теплоносителя в рабочей части теплообменника. Результаты предварительного расчета приведены на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что предложенная конструкция теплообменника практически не оказывает сопротивления истечению отработавших газов ДВС и может в дальнейшем использоваться для проведения моторных исследований и уточненных расчетов параметров теплообмена.

### **Выводы**

В ИПМаш им. А.Н. Подгорного НАН Украины разработана технология конвертирования дизельных двигателей малой мощности в газовые двигатели с искровым зажиганием, в которых используется СПГ и его смеси с водородом в качестве моторного топлива при полном замещении жидкого топлива.

Использование водорода в качестве добавки к СПГ позволит снизить эмиссию вредных веществ и массовый выброс твердых частиц, с отработавшими газами, что в свою очередь позволит существенно улучшить экологические показатели поршневого ДВС в составе автономной энергоустановки.

Использование системы утилизации теплоты отработавших газов позволяет повысить КПД энергоустановки и превратить её в когенерационную, а также снизить затраты на обогрев близлежащих промышленных или жилых помещений.

**Список литературы:** 1. Режим доступа: <http://www.eriras.ru>. 2. *Uitenbroek Paul C. High efficiency Natural Gas Engine With Throttle-Free Load Control and Miller Cycle Valve Timing / Paul C. Uitenbroek, Peter Cremer, Hans Peter Kraemer, Johanas Minnaert.. NGV2002. - Washington, USA. - 2002.* 3. Режим доступа: <http://www.hcars.ru> 4. *Бганцев В.Н.* Газовый двигатель на базе четырёхтактного дизеля общего назначения / В.Н. Бганцев, А.М. Левтеров., В.П. Мараховский // Международный технический журнал/ Мир Техники и Технологий / № 10. – 2003. С. 74 - 75. 5. *Розенблит Г.Б.* Теплопередача в дизелях/ Г.Б. Розенблит. – М.: Машиностроение, 1977. – 216 с.

*Поступила в редколлегию 28.10.2009*