

УДК 621.436.03

А. П. МАРЧЕНКО¹, А. В. ГРИЦЮК², В. В. ТАТЬКОВ¹, В. К. САВИЧ²,
А. А. МОТОРА², А. А. МЫЛЬНИКОВ², А. С. ЖУКОВ²

¹ *Национальный технический университет «ХПИ», Харьков, Украина*

² *ГП "Харьковское конструкторское бюро по двигателестроению", Харьков, Украина*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ МАЛОЛИТРАЖНОГО ДИЗЕЛЕСТРОЕНИЯ В СИСТЕМЕ СМАЗКИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Путём использования высоких технологий малолитражного дизелестроения, а именно технологии локального предпускового подогрева узлов силовых установок с малолитражными дизелями многоцелевого назначения, решена задача повышения работоспособности смазываемых механизмов горно-металлургического оборудования. Основным узел в предложенном решении - масляный нагреватель проточного типа (МНПТ), введенный в состав циркуляционной системы жидкой смазки под давлением для местного целевого подогрева рабочей жидкости в непосредственной близости от смазываемого узла. Приведены результаты лабораторных испытаний первого опытного образца МНПТ в условиях моделирующего стенда, которые показали, что кроме существенной экономии электроэнергии, достигнутой введением локализирующего подогрева, достоинством предложенного устройства является его высокая эффективность, характеризующая КПД более 85%. Даны рекомендации по алгоритму включения секций МНПТ.

Ключевые слова: *масляный нагреватель, малолитражный дизель, система смазки.*

Введение

В современном горно-металлургическом оборудовании в большинстве своём используются различные виды циркуляционных систем жидкой смазки под давлением, как наиболее совершенные и отвечающие всем требованиям смазки в данной отрасли. Одним из недостатков данных систем является низкая работоспособность при отрицательных температурах окружающей среды, особенно с использованием масел высокой вязкости. Устранить данный недостаток предлагается введением в состав циркуляционной системы масляного нагревателя проточного типа (МНПТ), нагревательные элементы которого выполнены на основе позисторной керамики.

Такое техническое задание (ТЗ) на модернизацию систем смазки различного горно-металлургического оборудования, согласованное с ОАО «Запорожский металлургический комбинат «Запорожсталь», ПАО «Мариупольский металлургический комбинат имени Ильича», ПАО «Арселор Миттал Кривой Рог» и АО «Запорожский железорудный комбинат», выполняется специалистами ГП «Харьковское конструкторское бюро по двигателестроению» (ХКБД) и НТУ «Харьковский политехнический институт» (ХПИ). На данный момент выполнение ТЗ доведено до этапа изготовления опытной партии продукции для определительных испытаний в реальных условиях эксплуатации.

Обзор публикаций

Как основа для нагревательного элемента позисторная керамика в настоящее время широко используется в системах локального подогрева элементов топливной системы дизеля [1], предпускового подогрева коренных подшипников коленчатых валов [2], а также в нагревателях для маслобаков энергоагрегатов и поддонов блока автотракторных дизелей [3, 4], разработанных ГП «ХКБД».

Все вышеупомянутые системы подогрева базируются на малогабаритных позисторных элементах, созданных институтом общей и неорганической химии им. В.И. Вернадского Национальной Академии Наук Украины. Характерной особенностью позисторных нагревательных элементов (ПНЭ) является прямопропорциональная зависимость величины электрического сопротивления керамики от её внутренней температуры. Так, при достижении температуры порядка 160 °С, электрическое сопротивление ПНЭ возрастает на порядок. Это свойство материала как нельзя лучше выполняет функцию саморегулирования процесса нагрева, достигнув рабочей температуры, значение силы тока снижается до уровня, необходимого для поддержания данной температуры ПНЭ, что исключает необходимость использования какой-либо управляющей аппаратуры, упрощает конструкцию и уменьшает стоимость МНПТ.

Цель данной работы

Описываемая работа ставит своей целью предложить новое конструктивное решение для металлургической промышленности, способное обеспечить стабильную работу циркуляционных систем жидкой смазки при отрицательных температурах окружающей среды и провести лабораторные испытания опытного образца в условиях моделирующего стенда.

Конструктивные решения проблемы повышения надёжности металлургического оборудования

Для обеспечения работоспособности металлургического оборудования с циркуляционными системами жидкой смазки ГП «ХКБД» совместно со специалистами НТУ «ХПИ» разработан масляный на-

греватель проточного типа на основе ПНЭ.

Нагреватель представляет собой металлическую толстостенную трубу на резьбовых муфтах для встраивания в магистраль системы смазки и содержит три нагревательные секции. Каждая нагревательная секция (рис. 1) имеет четыре ПНЭ, установленных на алюминиевые радиаторы с отверстиями для прохождения масла, три пружины для обеспечения электрического контакта, две стягивающие шпильки и одну клемму.

Так как питание каждой нагревательной секции постоянным током осуществляется индивидуально, положительные клеммы изолированы от корпуса МНПТ и выведены наружу (рис. 2).

В зависимости от необходимой производительности, МНПТ может быть выполнен в одно-, двух- и трёхсекционном вариантах.

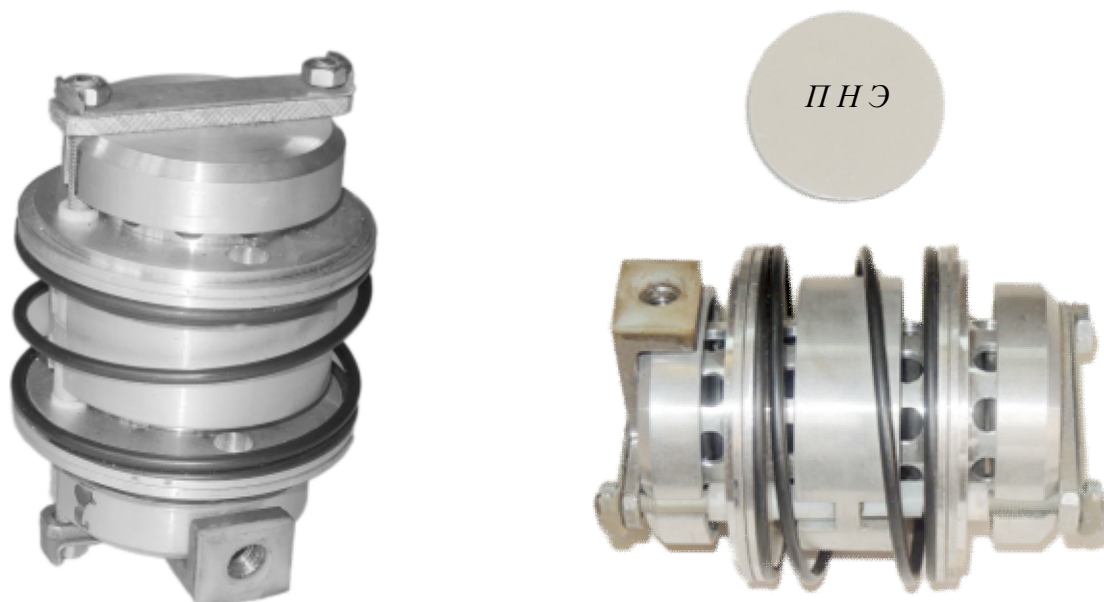


Рис. 1. Внешние виды нагревательной секции МНПТ и ПНЭ



Рис. 2. Внешний вид трёхсекционного МНПТ

Результаты экспериментальных исследований

Для проведения исследований изготовлен опытный образец МНПТ в трёхсекционном варианте и установлен на маслоперекачивающий стенд (рис. 3). Данный стенд включает в себя маслобак, ёмкостью 55 л, мощный электронасос шестерёнчатого типа, систему трубопроводов и регулирующих кранов.

Измерение температуры масла осуществлялось с помощью двух термопар ХК, установленных в потоке масла до и после нагревателя и подключённых к прибору ЦР 7701-03 через стендовый переключатель. Величину силы тока измеряли шунтом 75ШСММЗ-750-0,5 с милливольтметром М2017, напряжение – вольтметром М1106. Питание МНПТ обеспечивал двухмашинный агрегат – генератор постоянного тока ПСМ-1000.

Испытания включали в себя три десятиминутных эксперимента: нагрев масла тремя нагревательными секциями, нагрев масла одной нагревательной

секцией, нагрев масла за счёт прокачки электронасосом.

Перед началом испытаний в маслобак закачено масло М16 марки «Галол» высокой вязкости с известными физическими характеристиками. С помощью регулировочных кранов установлена прокачка холодного масла на уровне 10 л/мин. Температура окружающей среды при проведении экспериментов составляла +12...+14 °С. После каждого эксперимента стенд охлаждался естественным образом в течение суток. Перед каждым экспериментом напряжение на выходе ПСМ-1000 устанавливалось на уровне 25,8...26,0 В.

Полученные результаты представлены на рис. 4 и 5 в виде графиков. При этом, для трёхсекционного режима работы МНПТ величина пускового тока составила 390 А, с последующим быстрым снижением до номинального значения в 140 А (рис. 4). Напряжение на клеммах при этом практически не изменялось.

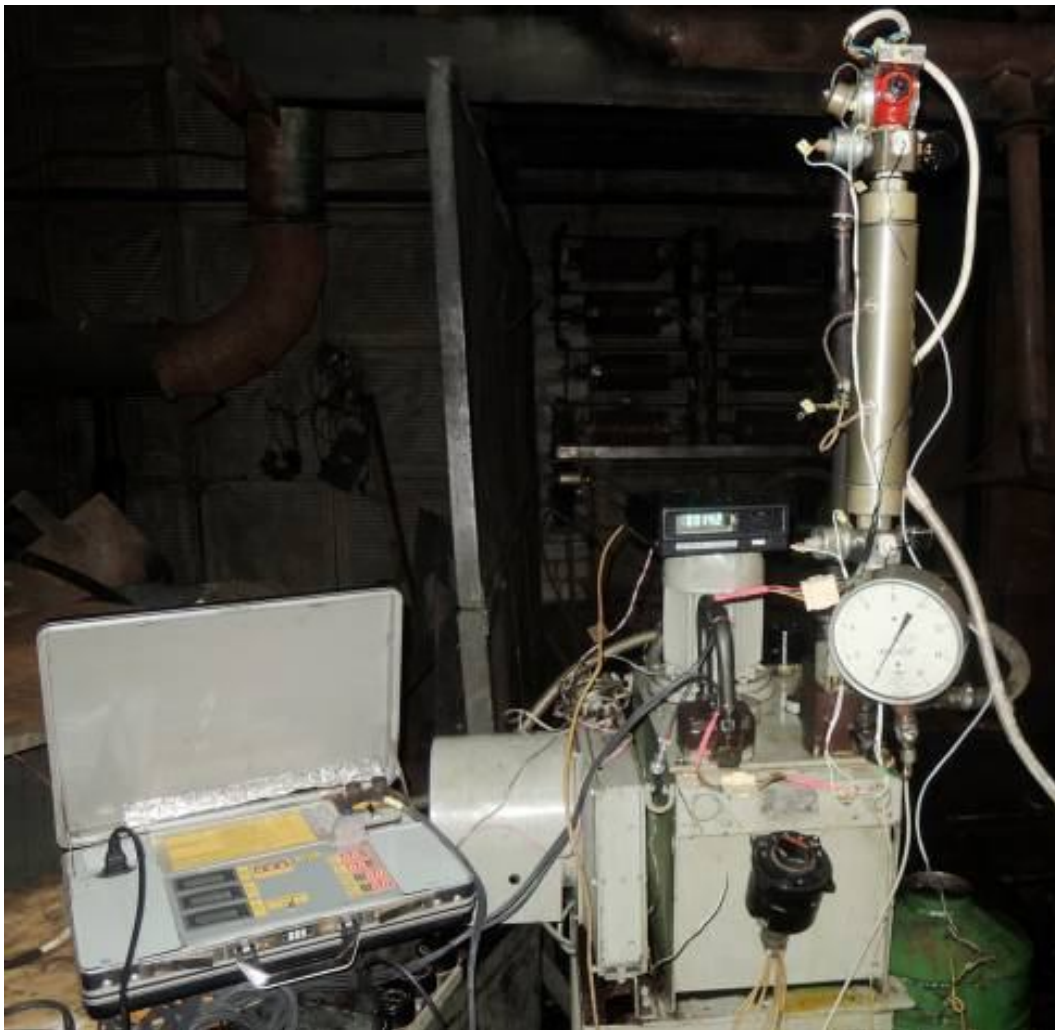


Рис. 3. Внешний вид испытательного стенда

Как видно из графика на рис. 4, характер изменения силы тока в цепи обусловлен принципом работы ПНЭ: быстрый прогрев керамики уменьшает уровень потребляемого тока ровно до термодинамического равновесия между нагревом и теплоотводом через радиаторы нагревательных секций. Таким образом, величина силы тока, потребляемого секциями МНПТ, напрямую зависит от скорости прокачки и температуры масла.

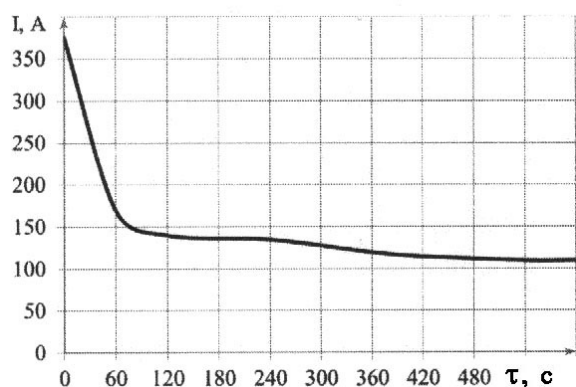


Рис. 4. Изменение силы тока МНПТ

За десять минут нагрева тремя секциями МНПТ температура масла выросла более, чем на 30 °С (рис. 5). При этом максимальный перепад между входом и выходом МНПТ зафиксирован на уровне 8,5 °С. На величину данного значения повлияла особенность конструкции и ёмкость стенда, заключающаяся в том, что слив нагретого масла находится непосредственно возле маслозаборника электронасоса, а также то, что вторая и третья секции нагревают уже подогретое первой секцией масло, а, соответственно, работают на меньшей мощности.

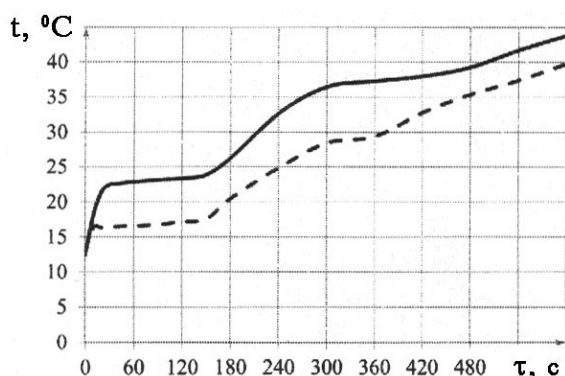


Рис. 5. Изменение температуры на входе и выходе МНПТ

Во втором эксперименте МНПТ работал в режиме нагрева одной секцией, третьей – ближайшей к выходу нагревателя, чтобы исключить охлаждение

масла другими секциями. Характер изменения силы тока и температуры масла аналогичны трёхсекционному варианту и отличаются лишь масштабом: температура масла выросла на 12 °С, а максимальный перепад составил 4 °С. Пусковой ток достиг значения 150 А, номинальный – 45 А.

Из вышеуказанного следует, что в односекционном режиме степень нагрева масла одной секцией несколько выше, чем в трёхсекционном.

Для определения величины побочного нагрева масла от прокачки электронасосом проведён третий эксперимент. За десять минут масло в баке нагрелось на 5 °С, что учтено при определении эффективности работы МНПТ и её сравнении с требованиями ТЗ.

Эффективность работы МНПТ определена экспериментально-расчётным методом.

Объёмный ($\Theta_{м.т.}$) и массовый ($G_{м.т.}$) расходы масла определены как интегральная величина за 10 минут работы:

$$\Theta_{м.т.} = \frac{\int_0^{600} \Theta_{м.т.} \cdot d\tau}{600} = 11,8 \left(\frac{\text{л}}{\text{мин}} \right);$$

$$G_{м.т.} = \rho \cdot \Theta_{м.т.} = 9,7 \left(\frac{\text{кг}}{\text{мин}} \right).$$

Количество теплоты, полученное маслом за 10 минут работы определено по формуле

$$Q_{н.э.} = C \cdot m \cdot \Delta t_{н.э.} = 2,43 \cdot 10^6 \text{ (Дж)},$$

где C – удельная теплоёмкость моторного масла;

m – масса масла в баке;

Δt – повышение температуры масла в баке.

Ток нагревательного элемента определён как интегральная величина за 10 минут работы

$$I_{н.э.с} = \frac{\int_0^{600} I_{н.э.т} \cdot d\tau}{600} = 137,8 \text{ (А)}.$$

Количество подведенной энергии от ПСМ ($Q_{в.н.}$) определено по формуле

$$Q_{в.н.} = U \cdot I_{н.э.с} \cdot \tau = 2,13 \cdot 10^6 \text{ (Дж)}.$$

Количество теплоты, полученное маслом от маслососа ($Q_{э.м.}$):

$$Q_{э.м.} = C \cdot m \cdot \Delta t_{э.м.} = 0,567 \cdot 10^6 \text{ (Дж)}.$$

КПД нагревательного элемента найдено из выражения

$$\eta_{н.э.} = \frac{Q_{н.э.} - Q_{э.м.}}{Q_{в.н.}} = 87,5 \%$$

Интегральная величина температуры подогрева масла (Δt) в нагревателе определена по результатам обработки экспериментальных данных

$$\Delta t_{н.э.} = \frac{m \cdot \Delta t_{н.э.}}{\rho \cdot \Theta_{м\sigma} \cdot \tau} = 11,9 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

Сравнительная оценка требуемых ТЗ и фактически полученных числовых значений параметров разработанного МНПТ представлена в табл. 1.

Для выполнения требования ТЗ по максимальному потребляемому току рекомендуется использовать последовательное включение секций с интервалом в 60 секунд.

Таблица 1

Сравнительная оценка требуемых и реализованных параметров МНПТ

Наименование параметра	Требования ТЗ	Фактически полученные значения
Расход масла, л/мин	10±2	11,8
Условное минимальное проходное сечение, мм	25	25,2
Температура подогрева масла в нагревателе, $\Delta t, ^\circ\text{C}$	15±5	11,9
Номинальное напряжение электропитания, В	25±3	26,0
Максимальный потребляемый ток, А	200±30	390
Ток в установившемся режиме работы, А	120±15	110
Время выхода на установившийся рабочий режим, мин	8±2	8
Масса нагревателя, кг, не более	6,5	6,5

Заключение

Проведённые испытания показали высокую эффективность МНПТ, более 85 %. При массе в 6,5 кг и малых габаритах, трёхсекционный МНПТ обеспечивает подогрев масла более 10 °С при прокачке 10±2 л/мин.

Пусковой ток не будет превышать 200 А при выполнении рекомендации последовательного включения секций с интервалом в 60 секунд, номинальный – зависит от температуры прокачиваемого масла и с её ростом снижается, вплоть до 10 А и менее, в случае аварийной остановки прокачки масла. Все эти свойства обеспечивают выход на режим в течение 7-10 минут от момента включения МНПТ.

Весомым преимуществом МНПТ перед другими средствами подогрева масла является отсутствие необходимости контролировать процесс нагрева и электроснабжения. Благодаря физико-электрическим особенностям позисторных нагревательных элементов, используемых в его конструкции, эти процессы происходят автоматически, т.е. не требуют вмешательства человека.

Литература

1. Грицюк, А. В. Совершенствование конструкции топливной системы автотракторного дизеля для улучшения её работы в условиях зимней эксплуатации [Текст] / А. В. Грицюк, В. Г. Кондратенко, Г. А. Щербаков // Двигатели внутреннего сгорания. – 2006. – № 1. – С. 109-114.
2. Бородин, Ю. С. Устройство локального предпускового подогрева коренных подшипников коленчатого вала дизеля на основе позисторной керамики [Текст] / Ю. С. Бородин, А.В. Грицюк, А. Н. Дороженко и др. // Двигатели внутреннего сгорания. – 2003. – № 1-2. – С. 15-19.
3. Опыт применения позисторной керамики в устройствах локального предпускового подогрева узлов и систем автотракторного дизеля [Текст] / А. В. Грицюк, Д. В. Демиденко, А. Г. Белоус, Ю. Д. Ступин // Авиационно-космическая техника и технология. – 2006. – № 7(33). – С. 109-113.
4. Термостабілізовані керамічні нагрівачі для поліпшення холодного пуску малолітражних дизельних двигунів енергоагрегатів [Текст] / С. О. Альохін, О. В. Грицюк, О. М. Дороженко, В. Г. Кондратенко // Двигатели внутреннего сгорания. – 2008. – № 2. – С. 107-111.

Поступила в редакцию 29.05.2014, рассмотрена на редколлегии 17.06.2014

Рецензент: д-р техн. наук, профессор кафедры гидропневмоавтоматики и гидропривода Г. А. Крутиков, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", Харьков.

ВИКОРИСТАННЯ ВИСОКИХ ТЕХНОЛОГІЙ МАЛОЛІТРАЖНОГО ДИЗЕЛЕБУДУВАННЯ В СИСТЕМІ ЗМАЩЕННЯ МЕТАЛУРГІЙНОГО УСТАТКУВАННЯ

*А. П. Марченко, О. В. Грицюк, В. В. Татков, В. К. Савіч,
О. А. Мотора, А. О. Мильников, О. С. Жуков*

Шляхом використання високих технологій малолітражного дизелебудування, а саме технології локального передпускового підігріву вузлів силових установок з малолітражними дизелями багатоцільового призначення, вирішено задачу підвищення працездатності змащуваних механізмів гірничо-металургійного устаткування. Основний вузол у запропонованому рішенні - масляний нагрівач проточного типу (МНПТ), уведений до складу циркуляційної системи рідкого мастила під тиском для місцевого цільового підігріву робочої рідини в безпосередній близькості від вузла, що змащується. Приведено результати лабораторних випробувань першого дослідного зразка МНПТ в умовах моделюючого стенда, які показали, що крім суттєвої економії електроенергії, досягнутої введенням локалізуючого підігріву, позитивною якістю запропонованого пристрою є його висока ефективність, яка характеризується ККД більш 85%. Дано рекомендації з алгоритму включення секцій МНПТ.

Ключові слова: масляний нагрівач, малолітражний дизель, система змащення.

HIGH TECHNOLOGY SUBCOMPACT DIESELS USE IN THE LUBRICATING SYSTEM OF METALLURGICAL EQUIPMENT

*A. P. Marchenko, A. V. Gritsuk, V. V. Tatkov, V. K. Savich,
A. A. Motora, A. A. Mylnikov, A. S. Zhukov*

By the way of using high technologies of small displacement diesel engines namely technologies of local pre-starting heating of components of power-plants with small displacement diesel engines, the problem of increase of serviceability of lubricating mechanisms of the mining and smelting equipment is solved. The basic component in offered decision is an oily heater of flowing through type (OHFT), included into structure of lubricating liquid rescue circulating system for local heating of a working liquid in immediate proximity from the lubricating unit. Results of laboratory researches of first pre-production model OHFT in the conditions of the modeling stand are presented and they have shown that beside of essential economy of electric power reached by introduction of localizing heating, the advantage of the offered device is its high efficiency, the characterized by EFFICIENCY more than 85%. Recommendations algorithm of inclusion of section OHFT are given.

Key words: oil heater, subcompact diesel, lubricating system.

Марченко Андрей Петрович – д-р техн. наук, проф., проректор по научной работе, зав. кафедры двигателей внутреннего сгорания, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина, e-mail: marchenko@kpi.kharkov.ua.

Грицюк Александр Васильевич – д-р техн. наук, ст. науч. сотр., заместитель генерального конструктора по НИР - главный конструктор, Государственное предприятие "Харьковское конструкторское бюро по двигателестроению", Харьков, Украина, e-mail: dthkbd@ukr.net.

Татков Владимир Викторович – канд. техн. наук, вед. науч. сотр. научно-исследовательской части, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина, e-mail: tatjkov@kpi.kharkov.ua.

Савич Виктор Константинович – начальник отдела, Государственное предприятие "Харьковское конструкторское бюро по двигателестроению", Харьков, Украина, e-mail: hkbd@kharkov.ukrtel.net.

Мотора Александр Анатольевич – начальник отдела, Государственное предприятие "Харьковское конструкторское бюро по двигателестроению", Харьков, Украина, e-mail: hkbd@kharkov.ukrtel.net.

Мильников Андрей Александрович – инженер, Государственное предприятие "Харьковское конструкторское бюро по двигателестроению", Харьков, Украина, e-mail: hkbd@kharkov.ukrtel.net.

Жуков Александр Сергеевич – инженер, Государственное предприятие "Харьковское конструкторское бюро по двигателестроению", Харьков, Украина, e-mail: hkbd@kharkov.ukrtel.net.