

УДК 621.432.3

А. В. БЕЛОГУБ¹, В. А. ПЫЛЕВ², А. А. ЗОТОВ³, Е. А. ГЛИБКО²¹ *Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина*² *Национальный технический университет «ХПИ», Харьков, Украина*³ *ПП «ВЕКТОР - АТТРАКЦИОН»*

ПУТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ ДВИГАТЕЛЯ АШ-62

В работе проведен анализ возможности модернизации конструкции поршневой группы на примере двигателя АШ-62, включающей замену материала поршня, изменение геометрии внешней и внутренней поверхностей; изменение количества и конструкции поршневых колец. Предложена конструкция поршня из литой заготовки с необрабатываемой внутренней поверхностью. Приведены результаты сравнительного расчета напряжений поршня в прогретом состоянии, деформаций поршня и гильзы в процессе наброса нагрузки. Показано, что при назначении зазора в сопряжении гильза-поршень достаточно провести стационарный расчет термовоздействия, корректно назначив ГУ по поршню и гильзе.

Ключевые слова: *двигатель, поршень, гильза, напряжения, деформации.*

Введение

Поршневой однорядный двигатель воздушного охлаждения М-62 (9СН155,5/174,5) [1,2] разработан в ОКБ А. Д. Швецова в 1933 году. За основу взят американский двигатель Райт "Циклон" R-1820-F3. В последствие в конструкции применён ряд оригинальных решений: двухдемпферный коленчатый вал, эластичная шестерня газораспределения, боковое уплотнение главного шатуна, фланкирование зуба неподвижной шестерни редуктора (на АШ-62ИР). Серийное производство организовано в 1937 году на заводе №19 в Перми, позже - на Воронежском механическом заводе. С 1944 года двигатель назывался АШ-62.

Двигателей модификации АШ-62ИР в СССР выпущено более 3500. Выпускался также по лицензии в Китае и Польше. В Польше на заводах в Калише и Жешуве изготовлено 25106 двигателей, в Китае (в Сучжоу) - не менее 2600. Расход топлива на взлетном режиме >235 г/кВт*ч масла >13 г/кВт*ч (паспортная величина - не менее 220 г/кВт*ч и не более 11 г/кВт*ч, соответственно) против 170-185 г/кВт*ч по топливу и 4-7 г/кВт*ч по маслу у оппозитных авиадвигателей типа Lycoming.

В настоящее время количество двигателей АШ-62, находящихся в эксплуатации неизвестно, но количество обращений от эксплуатирующих организаций с просьбами о модернизации с целью снижения потребления топлива, перехода на автомобильные бензины, снижения расхода масла [3] - достаточно велико (3 - 5 обращений в год). В США серии Райт R-1820 Циклон до сих пор доступны.

Сертификат Типа действует, и есть фирмы, которые продолжают их ремонтировать.

Формулирование проблемы

Основной проблемой рассматриваемого двигателя является повышенный расход топлива и масла в эксплуатации. Возможности по модернизации двигателя АШ-62 с целью снижения расхода топлива и масла следующие.

По топливу:

1. Впрыск во впускной коллектор:
 - разработка (адаптация) компьютерной системы управления;
 - разработка (выбор) агрегатов топливоподдачи: форсунки, насосы, аккумуляторы давления, клапана и пр.;
 - разработка (модернизация) впускных патрубков под установку форсунок.
2. Впрыск в цилиндр¹:
 - разработка (адаптация) компьютерной системы управления;
 - разработка (выбор) агрегатов топливоподдачи: форсунки, насосы, аккумуляторы давления, клапана и пр.;
 - модернизация головки цилиндров под установку форсунок (как у двигателя АШ-82ФН);
 - разработка конструкции поршня с уменьшенным до 4-х (3-х) колец;

¹ Хорошо бы реализовать процесс GDI (FSI), но это потребует существенных ресурсов на исследования по привязке процесса к новым условиям.

– разработка (адаптация) компрессионных колец уменьшенной высоты.

3. Модернизация колеса центробежного нагнетателя – оптимизация геометрии и расположения лопаток для повышения КПД на основном режиме эксплуатации.

По маслу:

4. Модернизация поршневой группы:

– замена материала поршня на кремний содержащий (напр. АК12МЗМгН2) с меньшим, чем у прототипа коэффициентом линейного расширения;

– разработка конструкции поршня с уменьшенным зазором «поршень-гильза» как по юбке, так и по головке поршня;

– разработка (адаптация) сборного масляе-съемного кольца.

Как видно из вышеизложенного, задача повышения потребительского качества двигателя АШ-62 возможна по нескольким направлениям. В настоящей статье рассмотрена работа, посвященная решению частной проблемы – разработке и исследованию поршня из высококремнистого литейного сплава, взамен применяемому из холодно-деформируемого сплава АК-4-1.

Цели и задачи исследования

Целью работы является создание методики учета влияния динамики прогрева деталей цилиндропоршневой группы (ЦПГ) и применение этой методики при конструировании поршня. Основными задачами настоящего исследования являются:

– разработка новой конструкции поршня (синтез 3-D модели), получаемого из литой заготовки и не уступающего прототипу по прочности при статическом нагружении;

– выбор граничных условий для моделирования совместного прогрева поршня и гильзы цилиндров

– моделирование прогрева деталей ЦПГ;

– определение деформаций деталей ЦПГ на режиме прогрева;

– корректировка конструкции поршня по результатам моделирования деформаций.

Пути решения проблемы (основная часть)

Используя известные методы моделирования [4 - 7] синтезирована конструкция поршня, получаемая из литой заготовки. В качестве обязательного принято условие сохранения массы. При этом особое внимание, кроме выполнения условий по максимальной температуре и напряжениям в контрольных точках исходя из принципа «не хуже чем

у прототипа», уделено технологичности изделия. Последнее заключалось в требовании, что внутренняя поверхность поршня и холодильника не подлежат механической обработке. На рисунке 1 приведены внешний вид поршня-прототипа (рис.1а) и разработанного поршня (рис. 1б). Граничные условия температурной задачи представлены в таблице 1. В таблице 2 приведены значения температур и напряжений в контрольных точках.

Условия модельного нагружения идентичны для прототипа и нового поршня. Коэффициент линейного расширения для прототипа – $2,4 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, для нового – $2,2 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

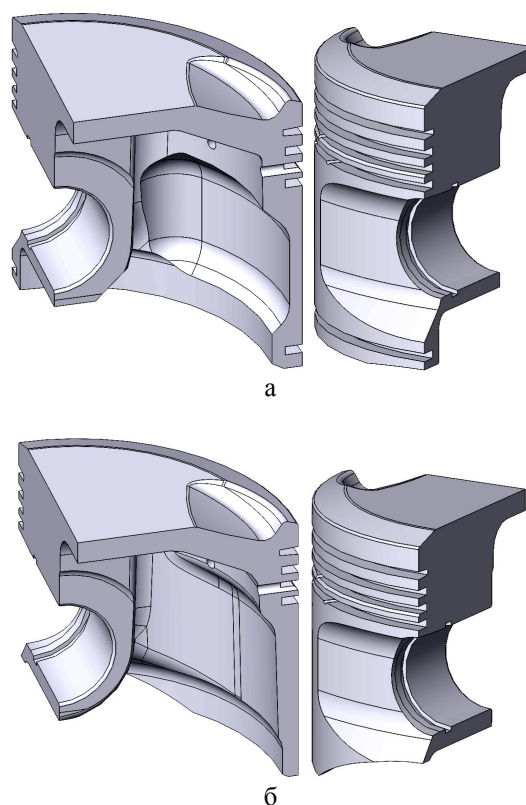


Рис. 1. Внешний вид поршня-прототипа (а) и разработанного (б) для двигателя АШ-62

Таблица 1

Граничные условия для расчета температурного поля поршня

Зона граничных условий	α , Вт/м ² К	T, К
КС	300	1350
1 кольцо	40000	450
2 кольцо	20000	430
3 кольцо	10000	410
4 кольцо	7000	390
юбка	700	370
внутренняя поверхность	250	370

Таблица 2
Значения температур и напряжений
в контрольных точках

Параметр	Прототип	Новый
Макс. температура донца, °С	328	319
Макс. деформация от нагрева по головке (на радиус), мм	0,42	0,37
Макс. деформация по юбке от боковой силы, мм	0,39	0,37

В качестве примера на рис. 2 а, б приведены эпюры суммарных (от силовых и тепловых воздействий) напряжений по фон Мизесу.

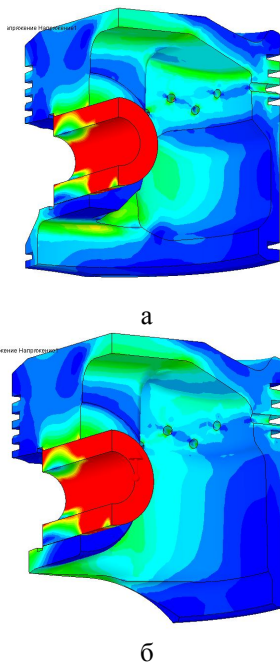


Рис. 2. Эпюры эквивалентных напряжений (по фон Мизесу) от воздействия силовых и тепловых нагрузок. Шкала напряжений 0-200 МПа

Анализируя полученные данные можно сделать вывод, что разработанный поршень по температурам, деформациям и напряжениям в контрольных точках согласно принципу «не хуже, чем» несколько превосходит прототип.

Следующая часть исследования посвящена прогреву новой конструкции. При этом для исследования зазора в паре цилиндр-поршень потребовалось создание модели цилиндра (с головкой), для которой установлены граничные условия, соответствующие полю температур [8, 9].

На рисунке 3 представлена модель гильзы с головкой, а в таблице 3 приведены граничные условия, принятые для расчета. Здесь по внутренним поверхностям объекта исследования (зоны 1-8) граничные условия приняты неизменными в окружном направлении модели. При этом ее внешняя поверхность в окружном направлении разбита на три сек-

тора – 40°, 70° и 70°. Соответственно эти сектора зоны 9-11 расположены на головке цилиндра, а зоны 12-14 – на гильзе цилиндра.

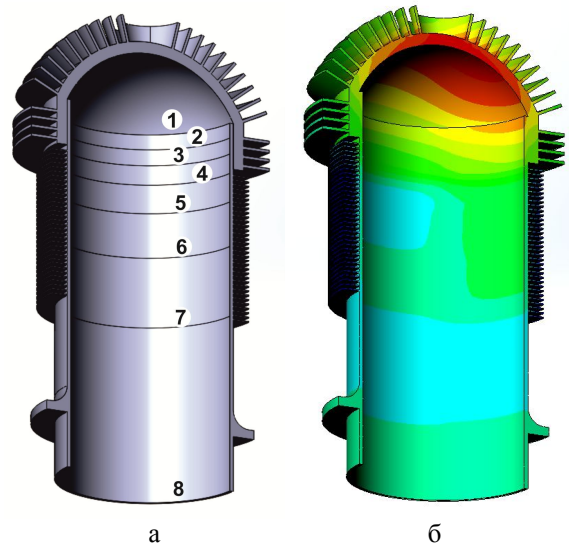


Рис. 3. Зоны назначения граничных условий (а) и температурные поля (б) гильзы цилиндров в сборе с головкой

Таблица 3
Граничные условия для расчета
температурного состояния и деформаций цилиндра

Характерные зоны граничных условий	Номер зоны	α , Вт/м ² К	T, К
Внутренняя поверхность модели	1	300	1350
	2	250	1200
	3	300	900
	4	350	720
	5	500	600
	6	500	510
	7	500	440
	8	500	383
Внешняя поверхность модели	9	160	288
	10	220	288
	11	140	288
	12	300	288
	13	350	288
	14	150	288

На рисунке 4 представлены деформация оси и зеркала цилиндра в прогретом состоянии объекта анализа. Очевидно, что деформация связана с несимметричным охлаждением внешней поверхности цилиндра. Искривление и овализация достаточно велики (до 0,1 мм и более), что подтверждает тезис о неудовлетворительной работе высоких маслосбра-

сывающих колец и желательности их замены на хорошо адаптирующиеся сборные.

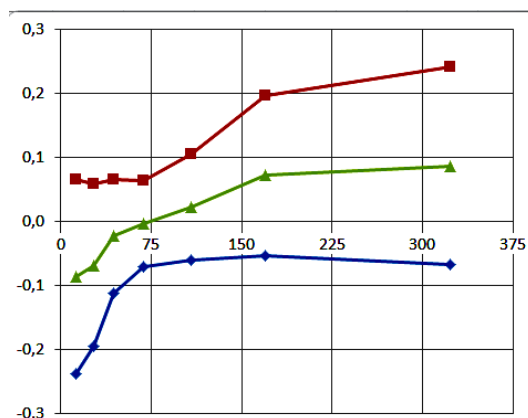


Рис. 4. Деформация гильзы (мм) в прогретом состоянии

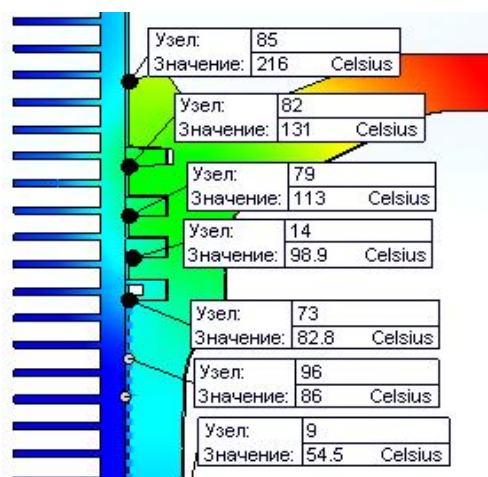
Для оценки характеристик прогрева в процессе наброса нагрузки проведены численные эксперименты, при которых приложение граничных условий было ступенчатым (табл. 1) и плавным. Проведен расчет прогрева сборки поршня с цилиндром и кольцами. На рис. 5а приведены точки «измерения» температуры, а на рис. 5б – относительные (к максимальной температуре в этих точках при установившемся режиме) температуры при прогреве.

Характер изменения температуры меняется незначительно при зафиксированном положении поршня и приложении модельных тепловых воздействий.

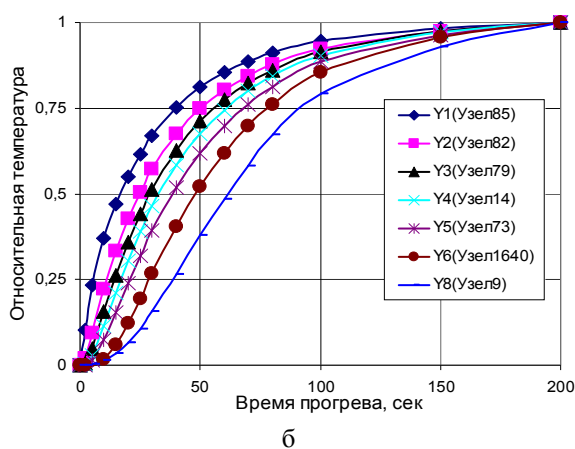
Численный эксперимент по прогреву поршня проведен следующим образом: 1-й эксперимент – на 1-й секунде расчета приложены постоянные ГУ по таблице 1; 2-й эксперимент – коэффициенты теплопередачи постоянные из таблицы 1, температуры – с учетом данных рис. 5. На рис. 6а приведено расположение точек «измерения», а на рис. 6б – термические деформации поршня в этих точках при ступенчатом приложении нагрузки и при плавном.

На рис. 7 приведены значения зазора в паре поршень-цилиндр при положении поршня в нижней мертвой точке.

Выполненные расчеты продемонстрировали сложный характер изменения зазоров в процессе наброса нагрузки двигателя. При этом деформация гильзы максимальна при выходе на режим, а темп прогрева поршня в целом происходит интенсивнее, чем гильзы. Однако в зоне юбки темп прогрева поршня может отставать от темпа прогрева гильзы даже в нижней части последней. Это означает, что зазор в рассматриваемой паре в процессе прогрева деталей не превышает зазор в начальный момент их прогрева.



а



б

Рис. 5. Точки «измерения» температуры (а) и зависимость относительной температуры в этих точках от времени (б)

Таким образом, для рассмотренной конструкции можно утверждать, что при назначении зазора в сопряжении гильза-поршень достаточно корректно назначить ГУ по поршню и гильзе, и провести стационарный расчет. Выполненные, таким образом, расчеты позволяют назначить зазор по всей высоте поршня.

Выводы

Предложенная технология позволяет учесть особенности работы гильзы и поршня при назначении зазоров. Она может быть полезна при создании новых и совершенствовании конструкций существующих двигателей. Предложенные в работе подходы также необходимы при выполнении оптимизации системы охлаждения и связаны с решением задачи обтекания цилиндра воздухом при соответствующем уточнении граничных условий внешних поверхностей гильзы и головки цилиндров.

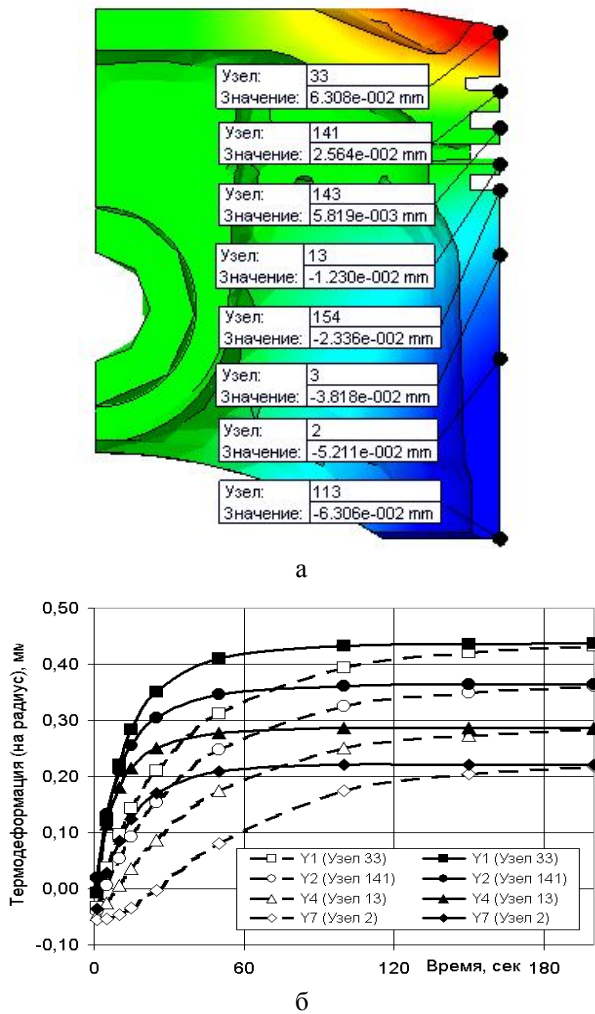


Рис. 6. Точки «измерения» деформаций (а) и деформации (б) поршня при нагреве. Сплошные линии – ступенчатое приложение ГУ, пунктирные – плавное изменение температуры

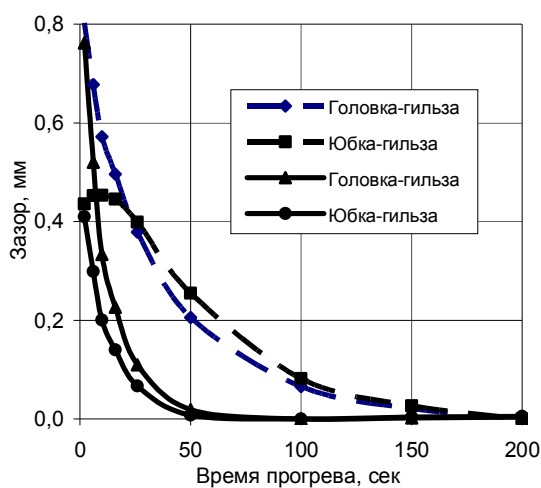


Рис. 7. Зазор в сочленении поршень-цилиндр по мере прогрева. Пунктиром обозначен зазор при плавном приложении нагрузки

Литература

1. Поршневой двигатель воздушного охлаждения М-62 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://aviaros.narod.ru/m-62.htm>. – 2.06.2014.
2. Бочаров, В. Е. *Авиационный мотор АШ-62ИР. Описание конструкции и эксплуатация.* [Текст] / В. Е. Бочаров, Л. Д. Гутман. – М. : Редак.-издат. отдел Аэрофлота, 1951. – 350 с.
3. АВИАЦИОННЫЙ ФОРУМ → АШ-62ИР со впрыском автобензина [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.forumavia.ru/forum/1/4/1623728996563868061461174072714_2.shtml. – 2.06.2014.
4. Пылев, В. А. Особенности термомеханического нагружения и учета ресурсной прочности тонкостенного поршня бензинового ДВС [Текст] / В. А. Пылев, А. В. Белогуб // *Двигатели внутреннего сгорания.* – 2010. – № 2. – С. 74-81.
5. Белогуб, А. В. Геометрические и силовые граничные условия при анализе напряженно-деформированного состояния поршней методом конечных элементов [Текст] / А. В. Белогуб, А. А. Зотов, М. А. Максимова // *Двигатели внутреннего сгорания.* – 2013. – № 2. – С. 70-74.
6. Москаленко, И. Н. Обзор методов профилирования юбок поршней ДВС [Текст] / И. Н. Москаленко, В. Н. Доценко, А. В. Белогуб // *Двигатели внутреннего сгорания.* – 2013. – № 2. – С. 75-80.
7. Пылев, В. А. Прогнозирование ресурсной прочности поршня легкомоторного авиационного двигателя Ободец [Текст] / В. А. Пылев, А. В. Белогуб // *Авиационно-космична техника и технологія.* – 2013. – № 9(106). – С. 177-182.
8. Поспелов, Д. Р. *Двигатели внутреннего сгорания с воздушным охлаждением. Теория и расчет.* [Текст] / Д. Р. Поспелов. – М. : Машиностроение, 1971. – 535 с.
9. Закомолдин, И. И. *Методологические основы проектирования систем воздушного охлаждения поршневых двигателей внутреннего сгорания транспортных машин* [Текст] : дис. ... д-ра техн. наук : 05.04.02. / Закомолдин И. И. – Челябинск, 2010. – 414 с.

Поступила в редакцию 2.06.2014, рассмотрена на редколлегии 17.06.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. каф. Конструкции авиационных двигателей Д. Ф. Симбирский, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

ШЛЯХИ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПОРШНЕВОЇ ГРУПИ ДВИГУНА АШ-62

О. В. Білогуб, В. О. Пильов, О. О. Зотов, О.А. Глібко

У роботі проведено аналіз можливості модернізації конструкції поршневої групи на прикладі двигуна АШ-62, що включає заміну матеріалу поршня, зміну геометрії зовнішньої і внутрішньої поверхонь; зміну кількості і конструкції поршневих кілець. Запропоновано конструкцію поршня з литої заготовки з внутрішньою поверхнею, що не підлягає обробці. Наведено результати порівняльного розрахунку напружень поршня в прогрітому стані, деформацій поршня і гільзи в процесі накиду навантаження. Показано, що при призначенні зазору в сполученні гільза-поршень досить провести стаціонарний розрахунок термовпіву, коректно призначивши ГУ поршню і гільзі.

Ключові слова: двигун, поршень, гільза, напруги, деформації.

STRATEGIES TO MODERNIZE PISTON-CYLINDER UNIT OF ASH-62 RECIPROCATING ENGINE

A. V. Bilogub, V. A. Pilyov, A. A. Zotov, E. A. Glibko

The paper addresses the analysis of strategies to modernize the construction of the piston-cylinder unit. Strategies are changing the material of the piston, the geometrical parameters of external and internal surfaces of the piston, number and geometrical parameters of piston rings. All the considerations in the paper are made for piston of ASh-62 reciprocating engine, as an example. Authors suggested a new construction of the piston manufactured from casted workpiece with nonmachining internal surface. Paper comprises the results of comparative analysis of stresses in wormed up piston, strains of piston and liner during acceleration. It is shown that to set the clearance between the piston and the liner, it is enough to set boundary conditions for piston and liner and carry out static analysis.

Keywords: engine, piston, liner, stresses, strains.

Білогуб Александр Витальевич – д-р техн. наук, профессор каф. 203, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков, Украина, e-mail: a_belogub@mail.ru.

Пильов Владимир Александрович – д-р техн. наук, проф., и.о. зав. каф. ДВС, Национальный технический университет «ХПИ», г. Харьков, Украина, e-mail: pylyov@meta.ua.

Зотов Александр Александрович – канд. техн. наук, ведущий конструктор, ПП «Вектор-Аттракцион», г. Харьков, Украина, e-mail: z145071@rambler.ru.

Глибко Елена Анатольевна – канд. техн. наук, доцент каф. «Геометрическое моделирование и компьютерная графика», Национальный технический университет «ХПИ», г. Харьков, Украина, e-mail: e_glibko@mail.ru.