

## ОТЗЫВ

**официального оппонента о диссертационной работе Москаленко Ивана Николаевича «СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРОФИЛИРОВАНИЯ БОКОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОРШНЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 – двигатели и энергетические установки**

**Актуальность темы диссертации.** Улучшение потребительских свойств двигателей внутреннего сгорания напрямую связаны с такими параметрами, как экономичность, экологичность, надежность, шумность и др., которые, в свою очередь, во многом определяются парой трения «поршень-цилиндр». Геометрия боковой поверхности поршня, в значительной степени влияет на тепловое состояние, режим трения, уровень шума и вибраций ДВС в целом. Распределение механических потерь по узлам и агрегатам большинства современных ДВС показывает, что около половины общих механических потерь двигателей составляет трение деталей цилиндропоршневой группы и сопряжение «поршень-смазочный слой-цилиндр» в частности. Поэтому изучение и совершенствование теоретических методов проектирования профилей поршней с комплексным учетом процессов, происходящих в трибосопряжении «поршень-смазочный слой-цилиндр», а также разработка современной экспериментальной базы для проведения исследовательских работ в этом направлении является *актуальной научно-прикладной задачей*, которая определила направление диссертационной работы.

Диссертационная работа выполнена на кафедре теоретической механики, машиноведения и роботомеханических систем Национального аэрокосмического университета имени М.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт». Материалы диссертации и направление исследований связаны с выполнением госбюджетных тем Министерства образования и науки Украины: «Создание математических моделей сложных механических систем для объектов авиационно-космической техники и оборудования для их изготовления» (№ДР 0109U001392); «Создание математических моделей и анализ на их основе гетерогенных механических систем для объектов авиационно-космической техники и оборудования для их изготовления» (№ДР 0112U000332); «Исследование узлов и деталей летательных аппаратов и их двигателей путем их моделирования как гетерогенных механических систем» (№ДР 0115U001161), где соискатель провел исследование в рамках отдельных задач.

**Следует отметить достаточно высокую степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, базирующуюся на анализе литературных источников по данной проблеме, использовании современных методов исследования, сопоставлении и критическом анализе полученных результатов в сравнении с результатами других исследователей, и качественной формулировки полученных выводов.** Теоретические исследования выполнены с использованием современ-

ного математического аппарата, программного обеспечения, и научного подхода при постановке и решении задач диссертационного исследования, что подтверждает обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в работе.

**Достоверность результатов исследования** обеспечивается корректностью постановок математических задач, применением стандартных процедур математического анализа и методов математической физики, соответствием содержания математических конструкций физической сути описываемых процессов, и подтверждены экспериментальными исследованиями. Научные результаты соискателя успешно использованы во время проектировочных и доводочных работ на ПАО «АВТРАМАТ» (г. Харьков) и АО «МОТОР СИЧ» (г. Запорожье).

**Научная новизна работы** заключается в следующих положениях:

- Усовершенствован метод профилирования боковой поверхности поршня ДВС за счет применения многоуровневой математической модели динамики поршня, учитывающей силовые факторы, гидродинамическое влияние смазочного слоя и термонапряженное состояние деталей ЦПГ.
- Предложен перспективный метод экспериментального исследования динамики поршня в условиях работы двигателя, основанный на бесконтактном измерении зазоров между поршнем и цилиндром.
- Предложен критерий оценки несущей способности смазочного слоя и режима трения в трибосопряжении «поршень-смазочный слой-цилиндр» с помощью модифицированного числа Зоммерфельда.

**Значимость полученных результатов для науки и практического использования.** Разработанный соискателем расчетно-экспериментальный метод определения динамики поршня позволяет вычислять параметры движения поршня и уровень механических потерь в паре «поршень-цилиндр». С использованием таких данных возможно: уточнить конфигурацию контактных площадок и функции распределения давления по боковой поверхности поршня; определить термонапряженное состояние деталей ЦПГ; уточнить конфигурацию зазоров между поршнем и цилиндром; спрогнозировать мгновенный и осредненный за цикл коэффициент трения; оценить несущую способность смазочного слоя и режим трения.

Использование предложенного метода проектирования профиля боковой поверхности позволяет уменьшить монтажные зазоры между поршнем и цилиндром; уменьшить толщину стенки и массу поршня; снизить инерционные нагрузки; увеличить несущую способность смазочного слоя в трибосопряжении «поршень-смазочный слой-цилиндр»; сузить зоны полужидкостного трения; снизить тепловыделение и температуру деталей ЦПГ, и, как следствие, увеличить вязкость смазочного материала; уменьшить механические потери на трение в ЦПГ.

Научные положения диссертации использованы при проектировании профиля боковой поверхности поршня 11194-1004015МУ двигателя ВАЗ 11194 на ПАО «АВТРАМАТ» (г. Харьков) и выполнении работ по доводке

конструкции поршней малоразмерных поршневых двигателей Д-250 и МС-10П на АО «МОТОР СИЧ» (г. Запорожье).

**Основные положения и результаты диссертационной работы** достаточно полно опубликованы в 7 научных публикациях, из них 5 в научных изданиях Украины, 1 в периодическом иностранном специализированном издании, 1 в материалах конференций, а также докладывались и были положительно оценены на XIV, XV, XVI, XVII, XVIII Международных конгрессах двигателестроителей (Крым, с. Рыбачье, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013); на Международных научно-технических конференциях «Интегрированные компьютерные технологии в машиностроении» (г. Харьков, 2008); на научных семинарах кафедры теоретической механики, машиноведения и роботомеханических систем Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского «ХАИ» в 2010-2016 годах.

В целом, уровень и количество публикаций, а также апробации материалов диссертации на конференциях полностью отвечают требованиям ВАК Украины.

Автореферат идентичный по смыслу с основными положениями диссертации и достаточно полно отражает основные ее научные результаты, полученные соискателем.

**Оценка содержания работы и ее оформления.** Диссертация состоит из введения, 4 разделов, выводов, приложений. Общий объем работы составляет 168 страниц, из них 61 рисунков по тексту, 20 рисунков на 12 отдельных страницах, 7 таблиц по тексту, 3 таблицы на 3 отдельных страницах, список использованных источников состоит из 102 наименований на 10 страницах, 4 приложения на 13 страницах.

**В введении** описана актуальность темы, сформулированы цели и задачи исследования, приведена общая характеристика работы.

**В первом разделе** сделан обзор существующих методов проектирования пары трения «поршень–цилиндр», рассмотрены расчетно-экспериментальные методы профилирования боковой поверхности поршней, выделены характерные режимы трения, а также определены основные конструктивные решения для снижения уровня механических потерь в трущихся сопряжениях.

В разделе приведены методы экспериментальных исследований динамики поршня в трибосопряжении «поршень-смазочный слой-цилиндр». Сделан обоснованный выбор схемы эксперимента и датчиков.

Сформулирована цель работы и задачи, которые необходимо решить в рамках диссертационного исследования.

Из содержимого раздела следует, что совершенствование метода профилирования боковой поверхности поршня ДВС за счет применения математических моделей процессов, происходящих в трибосопряжении «поршень-смазочный слой-цилиндр» является актуальной научно-практической задачей.

**Во втором разделе** рассмотрены основные этапы предлагаемого автором метода определения динамики поршня в трибосопряжении «поршень-

цилиндр». Основу метода составляет математическая модель механических и гидродинамических процессов протекающих в цилиндре и определяющих параметры движения поршня. В пределах цикла выделяются участки с характерными режимами трения: гидродинамическим, смешанным или граничным. На каждом из таких участков параметры смазочного слоя и динамика поршня определяется, опираясь на расчетные и экспериментальные данные.

В разделе автором получены математические описания: профиля боковой поверхности поршня; модель движения поршня; распределения гидродинамических давлений в смазочном слое и его толщину; напряженно-деформированного состояния деталей цилиндропоршневой группы; траектории движения поршня.

**В третьем разделе** представлен метод экспериментального измерения динамических параметров плоскопараллельного движения поршня в пределах цилиндра. С учетом особенностей рабочих процессов протекающих в цилиндре, автором разработана оригинальная измерительная система с вихретоковыми резонансными датчиками, позволяющими проводить бесконтактные измерения малых перемещений на работающем двигателе. Представлен действующий образец измерительной системы, получены статические характеристики датчиков, произведена оценка точности аппаратуры, составлена программа и методика исследований.

В результате экспериментальных исследований были установлены зазоры между поршнем и цилиндром ДВС и определена траектория движения поршня двигателя ВАЗ 21083.

**В четвертом разделе** проведен анализ результатов математического моделирования и экспериментальных исследований. Автором предложено использовать как критерий для оценки энергоэффективности профиля модифицированное число Зоммерфельда и приведенный коэффициент трения.

Также автором предложен усовершенствованный метод профилирования боковой поверхности поршня, основанный на уточнении граничных условий нагружения за счет учета силовых и гидродинамических факторов, а также термонапряженного состояния деталей цилиндропоршневой группы. В результате внедрения метода при создании нового профиля для поршня двигателя ВАЗ 11194 получены следующие результаты: уточнена конфигурация площадок контакта и эпюра распределения гидродинамического давления по боковой поверхности, увеличена несущая способность смазочного клина в соединении «поршень-цилиндр», сужена зона полужидкостного трения, снижены механические потери в цилиндропоршневой группе.

**Замечания по диссертации.** В целом, диссертационная работа выполнена на хорошем уровне, однако встречаются небольшие недочеты в виде опечаток, например, «энеоэнергоэффективностью» на стр.11 или пропуск знаков препинания на стр.21, где отсутствует двоеточие перед началом списка.

Не все рисунки читабельны из-за мелкого шрифта (рис.1.8 на стр.37 и 2.10 на стр.63) и информативны. На рис.1.1 (стр.25) размеры проставлены таким образом, что трудно понять их назначение.

На странице 49 упомянут метод прогонки, но не пояснено в чем он заключается.

На рис.2.5 (стр.59) указано расположение рисунков «слева» и «справа», а должно быть «сверху» и «снизу».

При нумерации страниц пропущена цифра 52.

На рис. 2.7 (стр. 61) представлены граничные условия при расчете методом конечных элементов. Одно из предлагаемых закреплений по поверхностям 2 и 3 ограничивает перемещения в радиальном направлении на обширных площадках, внося погрешность в результаты расчета. Автор не комментирует этот факт и не объясняет допустимость такого упрощения.

На стр.70 указана величина, но не указана её размерность.

Тем не менее, указанные недостатки не влияют на общую положительную оценку выполненной работы, которая по своему содержанию отвечает паспорту специальности 05.05.03 – двигатели и энергетические установки. Оценивая диссертацию в целом можно отметить, что она является завершённой научно-исследовательской работой, в которой получены отличающиеся научной новизной и практической ценностью результаты, обеспечивающие в совокупности решение важной научно-технической задачи по совершенствованию методов профилирования боковой поверхности поршней ДВС.

Считаю, что представленная к защите диссертационная работа соответствует требованиям п.п. 11, 12 и 14 «Порядка присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Кабинета Министров Украины от 07.03.2007 № 423, а ее автор, Москаленко Иван Николаевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 – двигатели и энергетические установки.

Официальный оппонент,  
кандидат технических наук,  
ведущий инженер-конструктор  
ЧП «Вектор аттракцион»

02.06.16 

Зотов А.А.

Подпись к.т.н. Зотова А.А. удостоверяю  
Директор ЧП "Вектор-аттракцион"



  
Елисеев А.Е.