

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Плотникова Леонида Валерьевича «Повышение качества газообмена в поршневых ДВС путем совершенствования газодинамики и теплообмена потоков во впускных и выпускных каналах», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальностям 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника, 05.04.02 – Тепловые двигатели

Диссертационная работа посвящена экспериментальному исследованию газодинамики и теплообмена пульсирующих потоков во впускных и выпускных системах поршневых двигателей внутреннего сгорания (ДВС) с наддувом и без него с целью улучшения эффективных показателей двигателей. Она развивает сложившееся под руководством профессора Б.П. Жилкина в Уральском федеральном университете научное направление по управлению газодинамическими и тепловыми процессами в энергетических установках.

Рассматриваемая диссертация относится к актуальным в настоящее время исследованиям физико-технических процессов с выраженным акцентом на решение практических проблем, касающихся совершенствования поршневых ДВС. Автором выделен малоизученный раздел этой проблематики, связанный с особенностями процессов газообмена (пульсирующими потоками в газоздушных системах ДВС). В работе сочетаются фундаментальные исследования газодинамики и теплообмена газовых потоков и прикладные (инженерные) исследования в области тепловых двигателей.

Тема диссертации находится в русле приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в РФ (8. Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика). В работе разрабатываются критические технологии РФ (27. Технологии энергоэффективного производства и преобразования энергии на органическом топливе).

Таким образом, представленную диссертацию следует признать актуальной.

Научная новизна работы состоит, прежде всего, в том, что:

1. Предложена методология исследования интенсивности локальной теплоотдачи нестационарных, пульсирующих потоков в газоздушных трактах поршневых двигателей, включая метод учета газодинамической нестационарности при расчете локального коэффициента теплоотдачи.

2. Установлены основные закономерности изменения мгновенных значений локальных скорости и давления, а также коэффициента теплоотдачи в газоздушных трактах поршневых ДВС с наддувом и без него при разных режимах работы двигателя и компрессора; установлено, что снижение интенсивности локальной теплоотдачи пульсирующего газового потока в газоздушных трактах находится в диапазоне 1,2–2,5 по сравнению со стационарным течением.

3. Физическим моделированием процессов газообмена получены эмпирические уравнения для расчета мгновенного локального коэффициента теплоотдачи  $\alpha_x$  во впускном и выпускном трубопроводах поршневых ДВС с наддувом и без него.

3. Разработаны и обоснованы оригинальные технические решения по увеличению расхода рабочего тела через цилиндры поршневых ДВС и по улучшению очистки цилиндра от отработавших газов за счет поперечного профилирования впускного и выпускного трубопроводов поршневых ДВС без наддува, что приводит к повышению мощности двигателя до 14 % при фактически неизменном удельном эффективном расходе топлива;

4. Предложены направления совершенствования газодинамики и теплообмена в газоздушных трактах поршневых ДВС с наддувом, повышающие его эффективные показатели, а именно: уменьшение амплитуд пульсаций давления и скорости газового потока, а также локального коэффициента теплоотдачи во впускном трубопроводе поршневого ДВС с наддувом; увеличение расхода газов через выпускной трубопровод поршневого ДВС с наддувом на основе эффекта эжекции.

Обоснованность и достоверность полученных автором результатов не вызывает сомнений, поскольку обуславливается сочетанием независимых методик исследования и воспроизводимостью результатов измерений, применением комплекса современных методов исследования, выбором измерительной аппаратуры с соответствующим метрологическим обеспечением, ее систематической поверкой и тарировкой, а также хорошим согласованием опытных данных на уровне пилотных экспериментов с результатами других авторов.

Практическая значимость работы. Комплекс созданных экспериментальных методик и результаты физико-математического моделирования, совокупность опытных и аналитических данных расширяют базу знаний о теплофизических процессах при течении газовых потоков в условиях нестациона-

нарности, создает основу для совершенствования инженерных методов расчета впускных и выпускных систем двигателей, а также дополняет и уточняет теоретические и прикладные представления о газодинамике и локальной теплоотдаче потока газов при впуске и выпуске, что необходимо для модернизации существующих и разработки новых конструкций перспективных поршневых ДВС. Результаты исследования приняты к использованию на ряде крупных промышленных предприятий: ООО «Уральский дизель-моторный завод», ПАО «Уралмашзавод», ОАО «Машиностроительный завод имени М.И.Калинина» и промышленной группе «Генерация». Технические решения по совершенствованию газодинамики и теплообмена в газоздушных трактах поршневых ДВС защищены охранными документами (автором получены 6 патентов РФ на полезные модели).

Апробация. Результаты, вошедшие в диссертацию, ежегодно, начиная с 2006 года, докладывались и обсуждались на научных семинарах и конференциях самого различного уровня (в т.ч. всероссийские, международные).

Публикация основных результатов диссертации. Основные положения диссертации, выносимые на защиту, достаточно полно отражены в 78 научных и учебных изданиях: 27 работ относятся к рецензируемым научным изданиям, рекомендуемым ВАК для опубликования результатов при защите докторских диссертаций, 6 патентов РФ, 1 монография, 7 статей в журналах, индексируемых базами данных Scopus и WoS, 4 учебных пособия.

Структура диссертации является характерной для экспериментальных работ и состоит из реферата, списка обозначений, оглавления, введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 264 наименований, восьми приложений. Всего 378 страниц (433 страницы с приложениями), 201 рисунок, 6 таблиц.

Во введении (9 страниц) кратко сформулированы актуальность, цели и задачи работы, ориентированные на решение фундаментальных и прикладных проблем, а также отмечаются ее квалификационные признаки.

В первой главе (45 страниц) приведен обзор литературы, создающий представление о исходном состоянии данных об объекте исследования. На этой основе формулируются задачи исследования.

Вторая глава (34 страницы) является методологической. В ней проведен анализ степени газодинамической нестационарности процессов впуска и выпуска в поршневых ДВС, вводятся сравнительные критерии оценки степени этой нестационарности, для инженерных расчетов, предлагается метод учета

влияния тепломеханической нестационарности на интенсивность теплообмена в газоздушных трактах ДВС.

В третьей главе (132 страницы) описываются методики, комплекс лабораторных установок и стенд с действующим двигателем, система сбора и обработки экспериментальных данных, описана ее калибровка, а также указаны особенности проведения исследований. Ввиду сложности объекта исследования автором вполне справедливо выбран экспериментальный подход к анализу явлений. Определена сфера возможных конструктивных решений с потенциальным выходом на новые интересные газодинамические эффекты. В данной главе делается акцент на анализе газодинамики процессов впуска и выпуска в поршневых ДВС. Предлагаются способы газодинамического совершенствования впускных и выпускных систем ДВС с наддувом и без. Предлагается методика корректировки коэффициента наполнения двигателя с учетом профилированного участка впускного трубопровода.

Четвертая глава (77 страниц) посвящена исследованию локальной теплоотдачи во впускных и выпускных системах поршневых ДВС разной конфигурации, проводится анализ влияния турбокомпрессора на интенсивность локальной теплоотдачи в газоздушных трактах ДВС. Осуществляется сравнение интенсивности мгновенной локальной теплоотдачи во впускном и выпускном трубопроводах ДВС при стационарном и пульсирующем течении газов. На основе полученных автором, экспериментальных данных предлагаются методы снижения тепловой напряженности в газоздушных трактах. Получены эмпирические уравнения для расчета мгновенных локальных коэффициентов теплоотдачи для впускного и выпускного трубопроводов с участками с разной формой поперечного сечения для поршневых ДВС с турбонаддувом и без него при различных режимах работы (частотах) двигателя и турбокомпрессора.

В пятой главе (44 страницы) рассмотрены вопросы практической реализации основных научных результатов с элементами эскизной проработки газоздушных систем поршневых ДВС: оригинальные конструкции впускных и выпускных трубопроводов с профилированными участками; конструкция впускной системы дизельного двигателя 8ДМ-21 (ООО «Уральский дизель-моторный завод») с системой регулируемого сброса части наддувочного воздуха; конструкция выпускной системы дизелей семейства ДМ-21 (ООО УДМЗ) с системой эжекции отработавших газов. Приведены результаты численного моделирования рабочих процессов полноразмерного дизельного

двигателя 8ДМ-21 с учетом конфигурации газоздушных трактов и газодинамической нестационарности процессов впуска и выпуска с помощью программного комплекса ACTUS с целью улучшения технико-экономических показателей.

В заключении (2 страницы) приведены основные результаты работы, полученные автором. Из чего следует, что поставленные автором задачи по исследованию и повышению качества газообмена в поршневых ДВС путем совершенствования газодинамики и теплообмена потоков во впускных и выпускных каналах в ходе выполнения работы решены, и достигнута обозначенная цель работы.

Автореферат отражает содержание диссертации и передает ее основные положения.

Замечания, пожелания и рекомендации по диссертации:

1. Автор работы, имея столь богатый экспериментальный материал, оперирует в основном размерными величинами скорости, расхода, давления потока, коэффициента теплоотдачи и т.д., не использует для анализа газодинамической эффективности газоздушных трактов безразмерные оценочные показатели такие как коэффициент газодинамических потерь, коэффициент расхода и др. Также в диссертации фактически отсутствуют оценки диапазонов изменения общепринятых определяющих теплофизических параметров потока, например, числа Рейнольдса, степени турбулентности потока и др., что сужает применимость полученных результатов. К каким типам двигателей можно отнести результаты: надувным или безнадувным, четырехтактным или двухтактным, какой размерности, быстроходности и с какими конфигурациями газоздушных трактов?

2 В диссертации присутствуют иллюстрации вихревых токов других авторов, полученные для стационарного течения газов в каналах разной конфигурации. Однако отсутствует какая-либо информация о структуре потоков и наличии вихревых структур в пульсирующих газовых потоках в каналах ДВС.

3 Автор фактически не затрагивает вопрос совместного влияния клапанного узла и профилированных участков на газодинамические и расходные характеристики потоков в газоздушных трактах. Влияние какого конструктивного элемента является определяющим и в какой степени?

4. В работе анализ и выводы по газодинамике делаются на основе датчиков термоанемометра, установленных в определенных поперечных сечениях

каналов. Однако очевидно, что в газоздушных трактах имеет место сложное трехмерное нестационарное течение. Не приведет ли увеличение числа точек измерения к другим заключениям? Большинство данных по газодинамике и локальной теплоотдаче получены только для прямолинейных трубопроводов. Однако впускные и выпускные системы ДВС чаще всего имеют сложные изгибы и повороты.

5. Следует отметить, что опыты на экспериментальной установке проведены в «холодном» режиме: воспроизведение реального цикла ДВС она не осуществляет. Это обстоятельство могло существенно влиять на характер течения рабочего тела в каналах, поскольку: отсутствовало сгорание топлива, температура газа была существенно ниже, не осуществлялось перекрытие фаз работы клапанов, не было противотоков выпускных газов во впускной трубопровод и др. А в разделе 3.4 при анализе процессов газообмена на лабораторной установке и действующем двигателе автор не упоминает, что в последнем случае рабочим телом во впускной системе является двухфазная топливовоздушная смесь с отличными свойствами от воздуха, также в этом случае необходимо учитывать наличие карбюратора и дроссельной заслонки. Таким образом, явления во впускном и выпускном трубопроводе автор рассматривает в отрыве от рабочего процесса двигателя и его показателей (исключение составляет коэффициент наполнения, коэффициент остаточных газов).

6. Из работы не ясно, где автор предполагает использовать полученные эмпирические выражения (4.3 - 4.14) для расчета локального коэффициента теплоотдачи  $\alpha_x$  ( $N_{\text{лх}}$ )? Возможно для уточнения математических моделей?

7. Постоянная времени термоанемометра 3,5 мс (стр.62) соизмерима с исследуемыми процессами: «...наиболее динамичный участок подъема ,, составляет 0,0063 с» (стр.72).

8. Утверждение автора о том, что «флуктуации скорости и давления потока связаны с влиянием лопаточного механизма компрессора на газодинамику процессов газообмена» (стр. 152, 154), требует более веского обоснования, т.к. здесь же автор отмечает, что «в атмосферном ДВС после закрытия впускного клапана скорость потока не обращается в нуль, а наблюдаются некоторые колебательные явления» (стр. 152).

9. Требуется обоснования выбор автором для исследования частоты вращения коленчатого вала 600, 1500, 3000 1/мин (для справки: частота враще-

ния к/вала при максимальной мощности двигателя 248,2/7,1 составляет 5600 1/мин).

10. Хотелось бы получить дополнительное пояснение по следующим позициям:

- необходимость математического моделирования и экспериментального исследования процессов впуска и выпуска при одних и тех же условиях. Обычно эксперимент применяют для проверки и настройки матмоделей, получения недостающих исходных данных и др.

- «показатели качества газообмена», что автор понимает под этим (стр. 41)?

- определение локального коэффициента теплоотдачи  $\alpha_x$  (стр. 86, рис.2.17).

- методика измерения частоты вращения ротора ТК (стр.113).

- утверждение автора: «перспективное направление дальнейших исследований процессов в газоздушных трактах, в частности, изучение взаимосвязи процессов впуска и выпуска».

11. В тексте диссертации встречаются описки и опечатки, например:

- на рисунке 5.14 (стр.312) изображен выпускной трубопровод двигателя, ниже автор называет это изображение впускным трубопроводом. Требуется пояснения, о чем все же идет речь? Следует заметить, что выпускной трубопровод (рис.5.14) не изготавливается методом литья, и установка профилированных участков значительно усложнит технологию изготовления.

- «Возможно более высокого значения коэффициентов наполнения и коэффициента остаточных газов (?!), которые являются характеристиками, определяющими оптимальные значения технико-экономических показателей двигателей, уровни дымности и токсичности отработавших газов.» (стр.52).

- не все символы выражения для параметра ускорения  $K_w$  (стр. 75 и 79) имеют расшифровку.

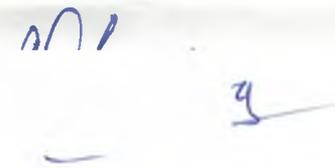
12. Автор ограничился оценкой эффективности разработанных методов газодинамического совершенствования газоздушных трактов на совершенство рабочего процесса полноразмерных поршневых ДВС с турбонаддувом и без него только с помощью математического моделирования в специализированных программных комплексах «Дизель-ПК» и АСТУС, а также с помощью расчетно-аналитических методов, разработанных профессором Б. А. Шароглазовым. Логическим продолжением выполненных исследований в перспективе напрашивается исследование рабочего процесса двигателя с реализо-

ванными мероприятиями по доводке процессов во впускном и выпускном трубопроводах.

Отмеченные замечания имеют в основном дискуссионный характер, не снижают научной и практической ценности выполненного автором исследования и не ставят их под сомнение.

Таким образом, представленная диссертационная работа является завершенным научным исследованием, направленным на совершенствование газодинамики и теплообмена пульсирующих потоков в газовоздушных трактах поршневых двигателей внутреннего сгорания, удовлетворяет квалификационным требованиям, предъявляемым ВАК Российской Федерации к докторским диссертациям (п.9-11 «Положения о присуждении ученых степеней»), а отмеченные недостатки не снижают научной и практической ценности работы. Автор диссертации Плотников Леонид Валерьевич заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальностям 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника и 05.04.02 – Тепловые двигатели.

Официальный оппонент,  
заведующий кафедрой «Двигатели  
внутреннего сгорания» Алтайского  
государственного технического  
университета им. И. И. Ползунова,  
доктор технических наук (05.04.02),  
профессор

  
Андрей Евгениевич Свистула

12.02.2018

Подпись Свистулы А.Е удостоверяю  
Ученый секретарь ученого совета АлтГТУ



 Головина Т.А.

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

656038, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, АлтГТУ

тел/факс: (3852) 290710 / 367864; e-mail: dekan\_feat@mail.ru.