

На правах рукописи



ВИНЦАРЕВИЧ АРТЁМ ВАЛЕРЬЕВИЧ

**ГРАДИЕНТНАЯ ТЕПЛОМЕТРИЯ
ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ТЕПЛООБМЕНА
В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ**

Специальность 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2019

Диссертация выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого».

Научный руководитель

доктор технических наук, доцент,
Митяков Андрей Владимирович

Официальные оппоненты

Онищенко Дмитрий Олегович,

доктор технических наук, профессор,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», профессор кафедры Э-2 «Поршневые двигатели».

Лукьянов Геннадий Николаевич,

доктор технических наук, профессор,
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», профессор факультета систем управления и робототехники.

Ведущая организация

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева», г. Рыбинск.

Защита диссертации состоится 24 декабря 2019 г. в 12 часов на заседании диссертационного совета Д 212.229.06 в Санкт-Петербургском политехническом университете Петра Великого по адресу: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29, Главное здание, ауд. 118. С диссертацией можно ознакомиться на сайте www.spbstu.ru и в библиотеке СПбПУ.

Ваши отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять по адресу: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29, СПбПУ, ученому секретарю диссертационного совета Д 212.229.06.

Автореферат разослан _____

Ученый секретарь

Диссертационного совета, к.т.н. доц.



В.А. Талалов

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертационного исследования. Двигатель внутреннего сгорания (ДВС) – основной тип силовой установки для автомобильного и морского транспорта. Исследование теплообмена на огневой поверхности камеры сгорания поршневого двигателя имеет как фундаментальное, так и прикладное значение.

В фундаментальном смысле исследование теплообмена необходимо для расчёта поля температуры и теплонапряжённого состояния деталей цилиндропоршневой группы.

Практическое значение сведений о теплообмене в камере сгорания связано с мониторингом двигателя. В настоящее время мониторинг ДВС осуществляют только по давлению в камере сгорания, что не позволяет осуществить управление рабочим процессом в цилиндрах в режиме реального времени.

Обе задачи не решены, в первую очередь, в связи с отсутствием или низким уровнем первичных преобразователей (датчиков) теплового потока. В настоящей работе применяются новые первичные преобразователи – градиентные датчики теплового потока, позволяющие прямое измерение плотности теплового потока, что делает задачу диссертации актуальной.

Степень разработанности научной проблемы. Анализ литературных источников показывает, что исследование теплообмена в ДВС является актуальной задачей. В исследованиях основными инструментами измерения теплового потока в камере сгорания (КС) ДВС являются датчики давления и температуры. Тонкоплёночные термопары трудоёмки в производстве, а измерение ими теплового потока является косвенным. По показаниям термопар восстанавливают плотность теплового потока, решая обратную задачу теплопроводности. При этом сложность обработки результатов измерений делает невозможным мониторинг эксплуатируемых ДВС.

Новым этапом в измерении теплового потока стало применение градиентной теплометрии. Эта технология, развиваемая в Санкт-Петербургском политехническом университете Петра Великого, основана на использовании гетерогенных градиентных датчиков теплового потока (ГГДТП) с уникально малой постоянной времени ($10^{-8} \dots 10^{-9}$ с). Ранее нестационарный теплообмен на поверхности КС ДВС с использованием ГГДТП не исследовался.

Цель и задачи диссертационного исследования. Целью диссертации является измерение плотности теплового потока и коэффициента теплоотдачи (КТО) на поверхности огневой плиты на основе индицирования, термометрии и градиентной теплометрии.

Достижение поставленной цели требует решения следующих задач:

1. Разработать и создать зонд с ГГДТП для измерения плотности теплового потока в КС ДВС.
2. Создать экспериментальный стенд для изучения теплообмена в КС ДВС.
3. Тестировать и отработать технологию исследования теплообмена в КС ДВС методом градиентной теплометрии.

4. Экспериментально оценить плотность теплового потока и рассчитанный на её основе КТО и сопоставить результаты с данными литературы.
5. Разработать и создать методику теплотрического мониторинга ДВС в режиме реального времени.
6. Дать заключение применимости предлагаемого подхода к исследованию теплообмена в ДВС.

Объект и предмет исследования. Теплообмен на поверхности КС дизельного двигателя.

Предмет исследования. Градиентная теплотрия как метод прямого измерения плотности теплового потока на поверхности огневой плиты дизельного двигателя.

Теоретическая и методологическая основа исследования. В проведённых исследованиях применялся экспериментальный метод. Методологической базой диссертационного исследования являются работы О.А. Геращенко, Н.П. Дивина, С.З. Сапожникова, В.Ю. Митякова, А.В. Митякова, Р.З. Кавтарадзе, В. Нуссельта, Г. Вошни, Г. Эйхельберга, В. Аннанда, К. Ракопуло и др.

В диссертации реализована принципиально новая технология, основанная на прямом измерении местной плотности теплового потока с помощью уникальных первичных преобразователей – ГГДТП. Метод исследования предусматривает одновременное в нескольких точках измерение местной плотности теплового потока и температуры поверхности теплообмена. Это даёт возможность рассчитать местные КТО и выявить распределение КТО по поверхности огневой плиты.

Информационную базу исследования составили монографии, статьи, научные доклады отечественных и зарубежных авторов; материалы научных конференций и семинаров по исследованию теплообмена в камере сгорания поршневых двигателей; результаты собственных расчётов и проведённых соискателем экспериментов.

Обоснованность и достоверность результатов исследования определяется:

- использованием градиентной теплотрии – технологии, получившей признание у широкого круга специалистов и многократно апробированной при решении сходных задач теплофизического эксперимента;
- применением современных и аттестованных средств обработки и регистрации сигналов, оценкой метрологических показателей эксперимента в соответствии с российским и международным стандартами;
- сопоставлением и удовлетворительным соответствием полученных результатов данным, содержащимся в надёжных и получивших признание источниках.

Соответствие диссертации пунктам Паспорта научной специальности. Диссертационное исследование соответствует специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника по следующим пунктам, указанным в Паспорте научной специальности:

п.3. Исследование термодинамических процессов и циклов применительно к установкам производства и преобразования энергии.

п.5. Экспериментальные и теоретические исследования однофазной свободной и вынужденной конвекции в широком диапазоне свойств теплоносителей, режимных и геометрических параметров теплопередающих поверхностей.

Научная новизна результатов исследования заключается в том, что:

- впервые проведено прямое измерение плотности теплового потока на поверхности КС ДВС;
- впервые использовано сочетание индицирования, термометрии и градиентной теплометрии для исследования теплообмена и определения местных КТО на поверхности огневой плиты.

Наиболее существенные результаты исследования, обладающие научной новизной и полученные лично соискателем. Соискатель лично участвовал в разработке экспериментального стенда, его изготовлении, отладке и проведении экспериментов. Он выполнил анализ и обобщил экспериментальные данные, полученные при исследовании различных скоростных режимов двигателя и составах смеси; показал возможность мониторинга двигателя внутреннего сгорания по тепловому потоку.

На защиту выносятся:

- методический подход, позволяющий изучать теплообмен в камере сгорания дизельного двигателя в режиме реального времени;
- методику и аппаратуру для исследования теплообмена в камере сгорания дизельного двигателя;
- новые результаты, полученные при экспериментах по поиску оптимального режима работы двигателя.

Теоретическая и практическая значимость исследования. Предложен новый подход и инструментарий для верификации результатов моделирования и для исследования процессов теплообмена в лабораторном и промышленном эксперименте, а также предложен способ мониторинга дизельного двигателя – по тепловому потоку.

Апробация результатов исследования. Основные результаты диссертационной работы докладывались на следующих семинарах и конференциях:

- 1) XXI школе-семинаре молодых ученых и специалистов академика РАН А. И. Леонтьева «Проблемы газодинамики и тепломассообмена в энергетических установках» (Санкт-Петербург, 2017);
- 2) Международной научной конференции «Современные проблемы теплофизики и энергетики» (Москва, 2017);
- 3) 16-й международной конференции по теплообмену «International Heat Transfer Conference» (Пекин, 2018);
- 4) VII Российской национальной конференции по теплообмену (Москва, 2018);
- 5) Международной научной конференции по энергетике, экологии и строительству ЕЕСЕ-2019 (Санкт-Петербург, 2019);
- 6) заседаниях кафедры «Теплофизика энергетических установок» СПбПУ (Санкт-Петербург, 2015 – 2019);

7) XXII школе-семинаре молодых ученых и специалистов академика РАН А. И. Леонтьева «Проблемы газодинамики и тепломассообмена в энергетических установках» (Москва, 2019);

8) Всероссийской научной конференция с международным участием «XI Семинар ВУЗов по теплофизике и энергетике» (Санкт-Петербург, 2019)

Публикации результатов исследования. Результаты работ представлены в 10 публикациях, включая 3 статьи в журнале перечня ВАК (2 – по специальности) и 3 статьи в журналах, входящих в международную базу данных Scopus, общим объёмом 6,5 п.л.

Структура диссертации: 114 страниц основного текста, 71 рисунок, 3 таблицы. Диссертация состоит из введения, трёх глав с заключениями по каждой главе, общего заключения, списка литературы, включающего 95 наименований.

Значительная часть работы выполнялась при поддержке и в рамках гранта РФФИ 16-08-01263 А.

Основные положения и результаты исследования

Во введении обоснован выбор темы диссертации; показано, что именно выбор оптимального угла опережения впрыска топлива по тепловому потоку повышает эффективность управления двигателем. Указано общее направление диссертационной работы, сформулированы её актуальность, научная новизна и практическая значимость.

В главе 1 выполнен обзор литературных источников, посвящённых исследованию теплообмена в камере сгорания ДВС, в частности экспериментальным методом. Даны краткие сведения о расчёте плотности теплового потока по результатам индицирования и термометрии; особое внимание уделено работам В. Нуссельта, Г. Эйхельберга, В. Аннанда, Д. Ж. Чанга и Х. Сойхана, К. Ракопуло, С. Броккарта, Р. З. Кавтарадзе. Автор использует принципы и технические средства градиентной термометрии – нового направления, основанного на применении градиентных датчиков теплового потока (ГДТП). Их действие основано на поперечном эффекте Зеебека; сигнал ГДТП определяется как произведение вольт-ваттной чувствительности S_0 на площадь F и на плотность теплового потока q :

$$E_{\perp} = S_0 F q. \quad (1)$$

ГДТП обладают уникальным быстродействием: их постоянная времени имеет порядок $10^{-8} \dots 10^{-9}$ с. В работе использованы гетерогенные ГДТП (ГГДТП) из композиции никель + сталь 12Х18Н9Т (Рисунок 1).

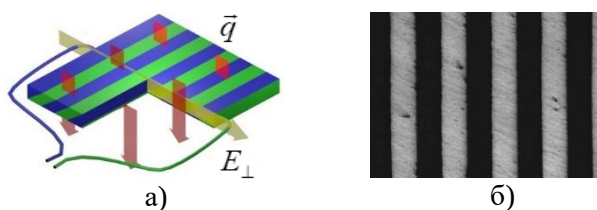


Рисунок 1 – Принцип действия ГДТП (а) и микроструктура ГГДТП (б) из композиции никель + сталь

Глава 2 посвящена методике и технике эксперимента. Описаны методики измерения плотности теплового потока температуры на поверхности КС и температуры рабочего тела.

Описан экспериментальный стенд для измерения плотности теплового потока в КС ДВС (Рисунок 2). Описаны системы стенда. В опытах измеряли давление, температуру и плотность теплового потока в КС вихрекамерного дизельного ДВС.

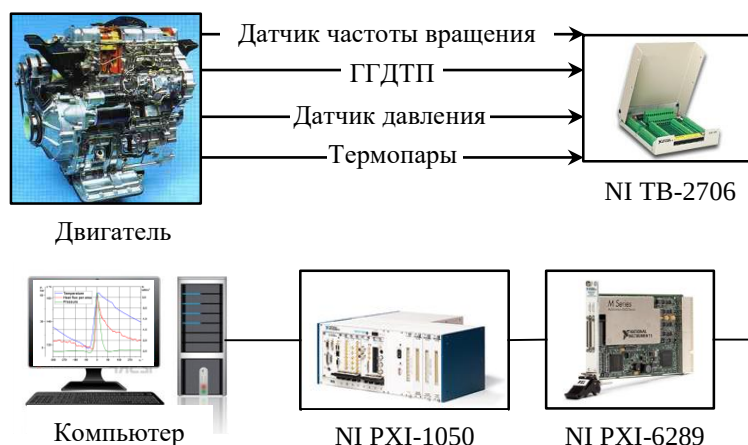


Рисунок 2 – Блок-схема стенда

Первые эксперименты проводились с одиночным ГГДТП, установленным на зонде заподлицо с поверхностью огневой плиты (Рисунок 3). Для ввода зонда использовано технологическое отверстие для индицирования в головке блока цилиндров (ГБЦ).

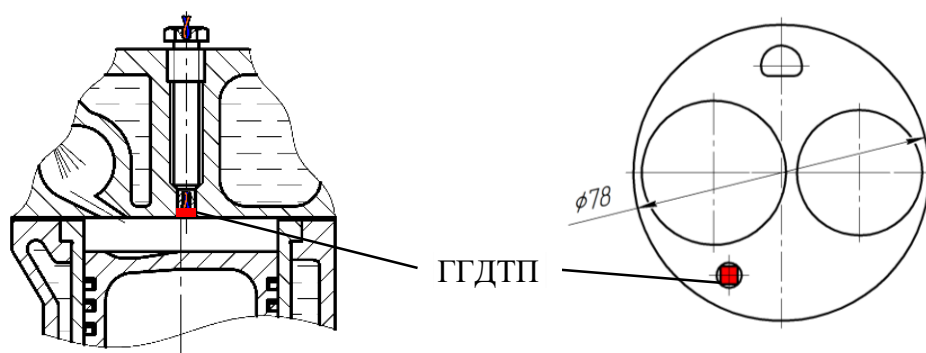


Рисунок 3 – Схема монтажа одиночного ГГДТП

Был изготовлен измерительный зонд (Рисунок 4), наконечник которого был сменным, что позволяло использовать различные типы датчиков.



Рисунок 4 – Технологическая заглушка (слева) и измерительный зонд (справа)

На втором этапе четыре ГГДТП были установлены на огневой плите КС за-
подлицо с поверхностью (Рисунок 5).

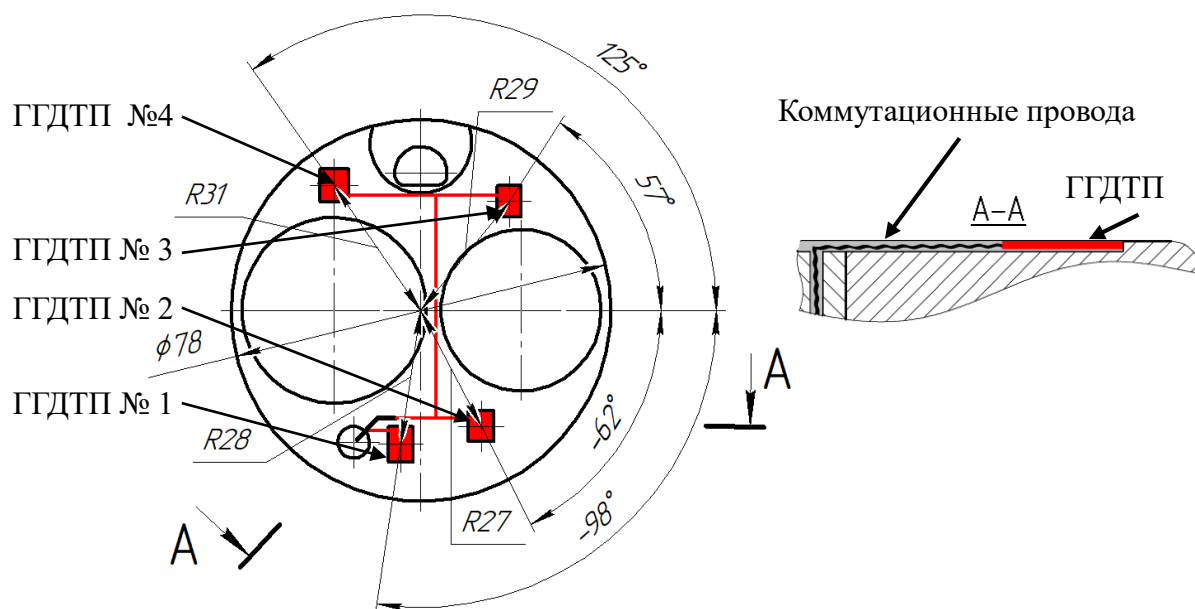


Рисунок 5 – Монтаж группы ГГДТП на поверхности ГБЦ

Рядом с каждым датчиком было установлено по две термопары ТХА. На по-
верхности головки профрезерованы углубления для ГГДТП размерами $5 \times 5 \times 0,5$ мм.
Коммутационные провода выведены наружу через технологическое отверстие.

При теплотметрии в различных точках огневой плиты рядом с каждым ГГДТП
устанавливали по две термопары ТХА для измерения температуры газа и стенки
(Рисунок 6).

Измерение температуры газа в КС сопряжено с рядом трудностей. Чаще всего
температуру газа восстанавливают по результатам индицирования, применяют раз-
личные оптические методы измерения температуры и т.д. Для корректного измере-

ния температуры газа термопарой необходимо вывести её спай за тепловой пограничный слой в ядро потока. Оценена толщина теплового пограничного слоя, которая составила $\delta_T \approx 0,8$ мм.

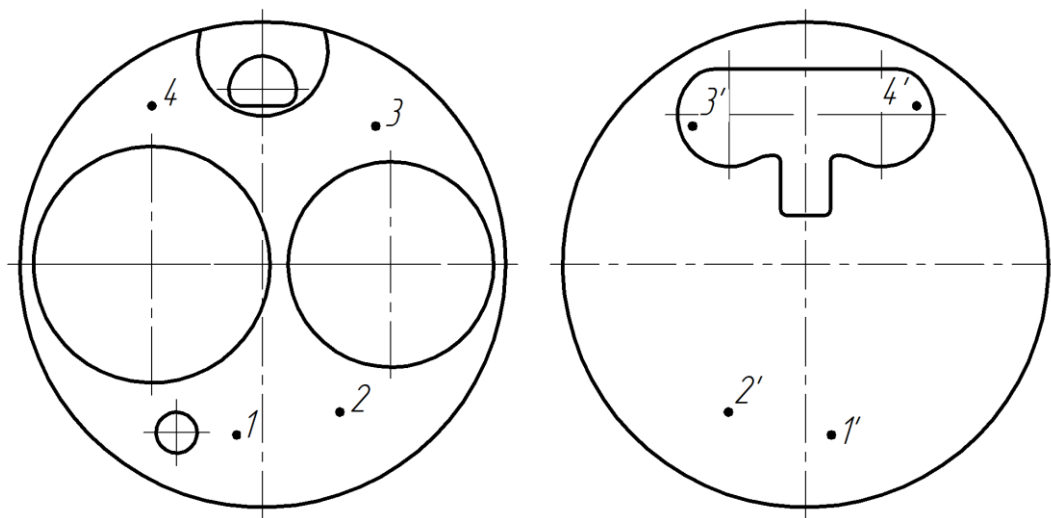


Рисунок 6 – Сходственные точки на огневой плите и поршне

Зазор между поршнем, находящимся в ВМТ, и огневой плитой составляет 0,8 мм. ГГДТП № 1 и № 2 установлены над плоской частью поршня, а ГГДТП № 3 и № 4 находятся над камерой в поршне, что позволяет вывести спаи термопар дальше от огневой поверхности. Поэтому термопары для измерения температуры газа были установлены в двух вариантах: для ГГДТП № 1 и № 2 горячий спай «газовой» термопары выступал в объём КС на 0,8 мм, а для ГГДТП № 3 и № 4 – на 1,7 мм.

При градиентной теплометрии определялись:

- 1) Местная плотность теплового потока на поверхности огневой плиты

$$q = \frac{E}{S_0 F}, \quad (2)$$

где E – сигнал ГГДТП, мВ;

S_0 – вольт - ваттная чувствительность датчика, мВ/Вт;

F – площадь датчика в плане, мм².

- 2) Местный КТО

$$\alpha = \frac{q}{(T_f - T_w)}, \quad (3)$$

где q – плотность теплового потока, Вт/м²;

T_w – температура поверхности огневой плиты, К;

T_f – температура рабочего тела, К.

В главе 3 представлены результаты, полученные при исследовании плотности теплового потока на поверхности огневой плиты при различных режимах работы двигателя.

Исследовались режим холостого хода, влияние состава смеси при частоте вращения 1300 и 1500 об/мин, влияние угла опережения впрыска при неизменной топливоподаче при частоте вращения 1500 об/мин. Влияние частоты вращения на форму теплограммы показано на Рисунке 7. При всех режимах наблюдается двойное сгорание, причём второй максимум больше первого. Среднее значение q для $n = 800$ об/мин значительно меньше, чем для остальных режимов. На этом режиме двигатель работал неустойчиво, с пропуском вспышек; топливо не может штатно воспламениться и полностью сгореть.

Мощность и эффективный КПД ДВС зависит не только от общего количества теплоты, выделившейся в цикле, но и от момента, когда наступит максимум тепловыделения. Чем ближе максимум плотности теплового потока к ВМТ, тем эффективнее рабочий процесс. На используемом двигателе можно регулировать УОВТ поворотом распределительного ТНВД вокруг оси.

Первые опыты проводились одиночным зондом (Рисунок 8). Начальный УОВТ был принят за базовый ($\varphi = \varphi_0$). Как и ожидалось, УОВТ влияет на теплограмму. Выбор неоптимального УОВТ снижает плотность теплового потока на стенке КС, а, значит, и во всём объёме КС. При позднем УОВТ после ВМТ наблюдается провал в плотности теплового потока, который на двух других режимах отсутствует. Мы связываем это снижение с тем, что поздно впрыснутое в КС топливо отбирает от воздуха теплоту на испарение.

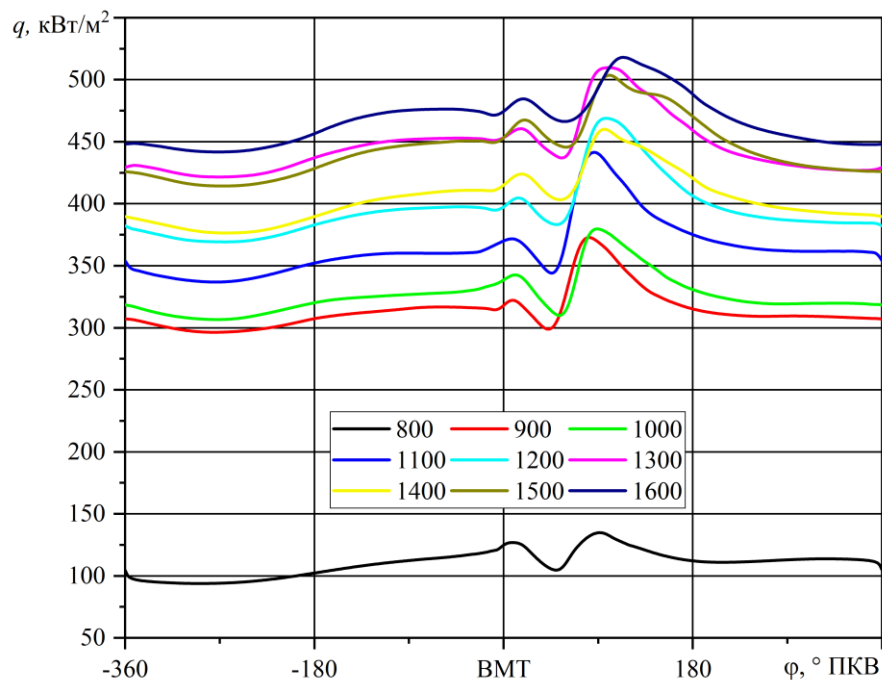


Рисунок 7 – Влияние частоты вращения на теплограмму

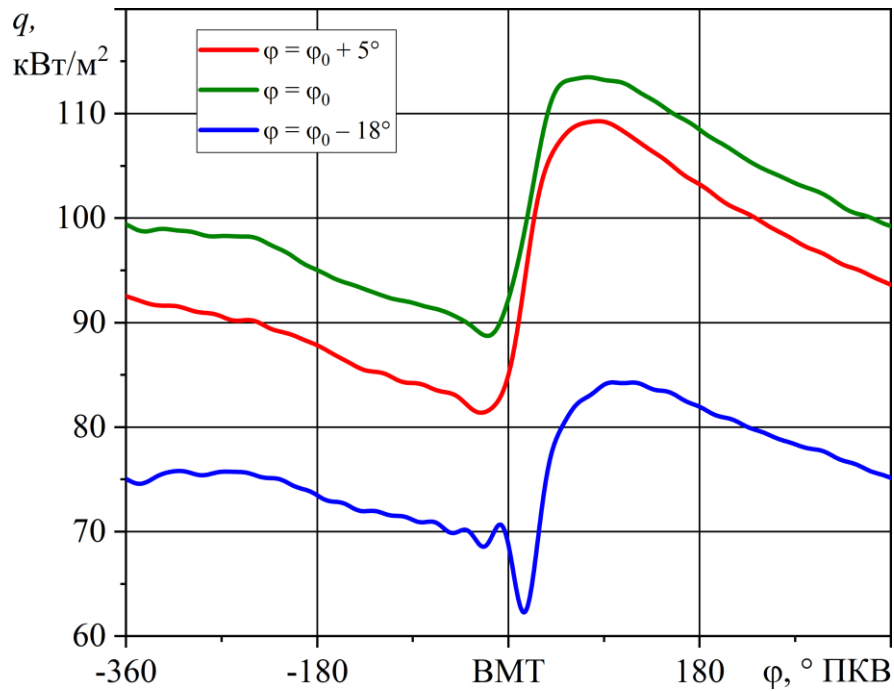


Рисунок 8 – Влияние УОВТ на теплограмму при теплотерии одиночным зондом

Результаты опытов показывают, что максимум теплового потока при базовом УОВТ достигается одновременно на всей поверхности огневой плиты независимо от того, включена ли топливоподача (Рисунок 9), при этом максимальные значения плотности теплового потока в различных точках КС неодинаковы. Также несколько различается и характер теплограмм: для ГГДТП № 1 и № 2 наблюдали двойное сгорание, в то время как для ГГДТП № 3 и № 4 оно отсутствует.

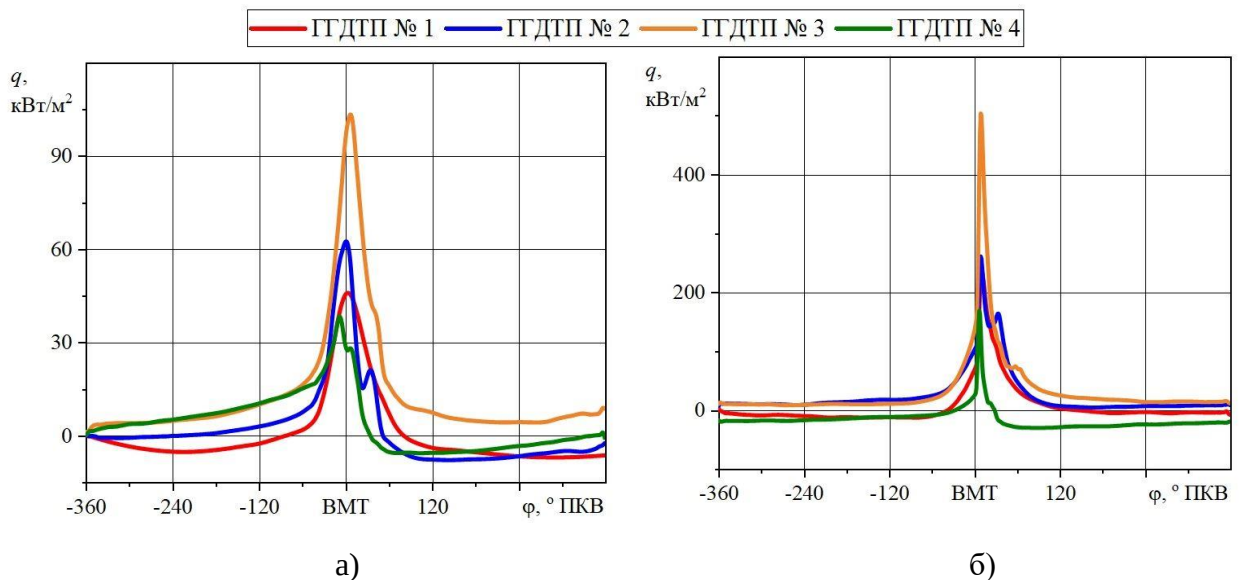


Рисунок 9 – Плотность теплового потока в различных точках КС при работе без топливоподачи (а) и с топливоподачей (б)

Привлекает внимание положение максимума теплограммы при изменении УОВТ. При базовом УОВТ максимум наиболее близок к ВМТ и, следовательно,

оптимален. Уменьшение или увеличение УОВТ ведёт к запаздыванию максимума плотности теплового потока от ВМТ.

Таким образом, удалось экспериментально показать, что зависимость положения максимума теплограммы от УОВТ имеет оптимум. Ранее такое поведение только предсказывалось в расчётных работах.

Но можно ли судить о рабочем процессе в КС всего по одной точке? Для индигирования этот вопрос решен: давление устанавливается в КС меньше, чем за 1° поворота коленчатого вала (ПКВ). Для теплового потока ответ на вопрос не ясен. Чтобы удостовериться в возможности мониторинга теплового потока в КС с помощью зонда, мы расположили 4 ГГДТП в различных точках КС.

На Рисунке 10, а показано влияние УОВТ на плотность теплового потока в месте установки ГГДТП № 1. Датчик установлен рядом с технологическим отверстием, через которое ранее вводился зонд. Хотя места установки ГГДТП на зонде и огневой плите близки (Рисунок 5), результаты различны: при позднем УОВТ пиковая плотность теплового потока для ГГДТП № 1 больше на 25 %, чем при базовом и раннем УОВТ. Для ГГДТП, вводимого в КС на зонде, пиковое значение плотности теплового потока при позднем УОВТ оказалось наименьшим.

В других зонах КС при позднем УОВТ максимальное значение плотности теплового потока может как расти (Рисунок 10, б), так и снижаться (Рисунок 10, в). Однако для всех мест установки ГГДТП и всех исследуемых УОВТ наблюдается отдаление максимума теплограммы от ВМТ.

Интересна также общая картина протекания рабочего процесса в КС (Рисунок 10 г, д, е). Максимум плотности теплового потока на теплограмме для исследуемых точек достигается неодновременно.

На всех режимах раньше всего он наступает у ГГДТП № 4, расположенного рядом с соплом вихрекамеры. Разница во времени наступления максимумов невелика и соответствует углам $0,7^\circ$ и $2,0^\circ$ для раннего и базового УОВТ, соответственно. Для позднего УОВТ пики отстоят друг от друга на 10° , что на первый взгляд, существенно. Однако для выбранной частоты вращения ($n = 1500$ об/мин) такой УОВТ не подходит: работа двигателя была неустойчивой, частота вращения снижалась, происходили пропуски вспышек.

Провал на теплограмме при позднем УОВТ во время исследований одиночным ГГДТП (Рисунок 8) мы наблюдали по всей КС одновременно. При этом максимальное значение теплового потока для ГГДТП № 4 уменьшилось в два раза, а для ГГДТП № 1 и № 2 увеличилось примерно на 25 %. Мы объясняем это тем, что при позднем УОВТ топливо распределяется по объёму КС не так, как при базовом, что и вызывает перераспределение очагов сгорания.

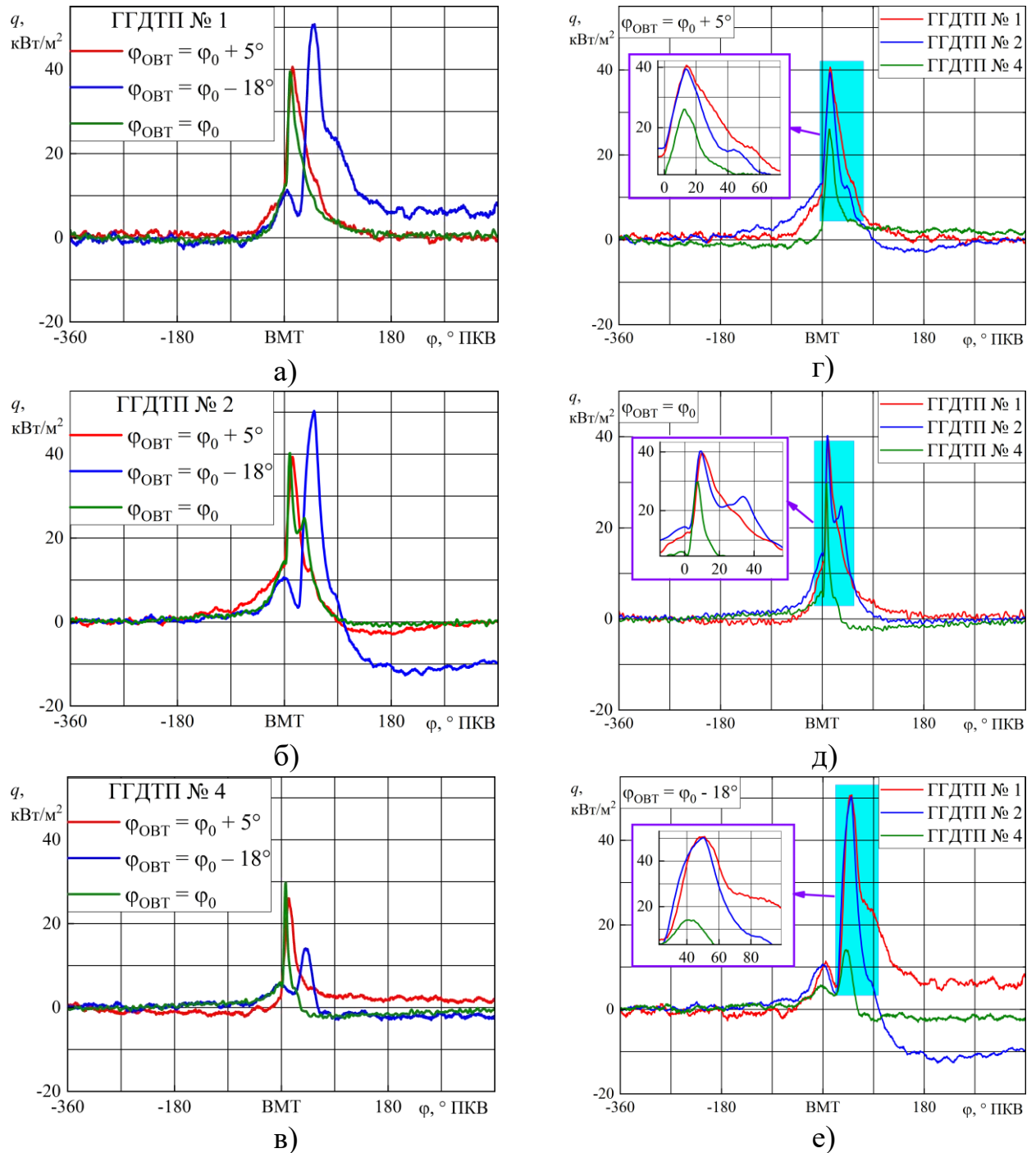


Рисунок 10 – Влияние УОВТ на термограмму в различных точках КС

Для оценки рабочего процесса в КС в целом мы усреднили показания ГГДТП для каждого угла опережения (Рисунок 11, а). Во всех исследуемых точках зависимость положения максимума термограммы от УОВТ имеет оптимум. Эти результаты аналогичны полученным с помощью одиночного ГГДТП на зонде. Таким образом, место установки ГГДТП в КС при мониторинге несущественно.

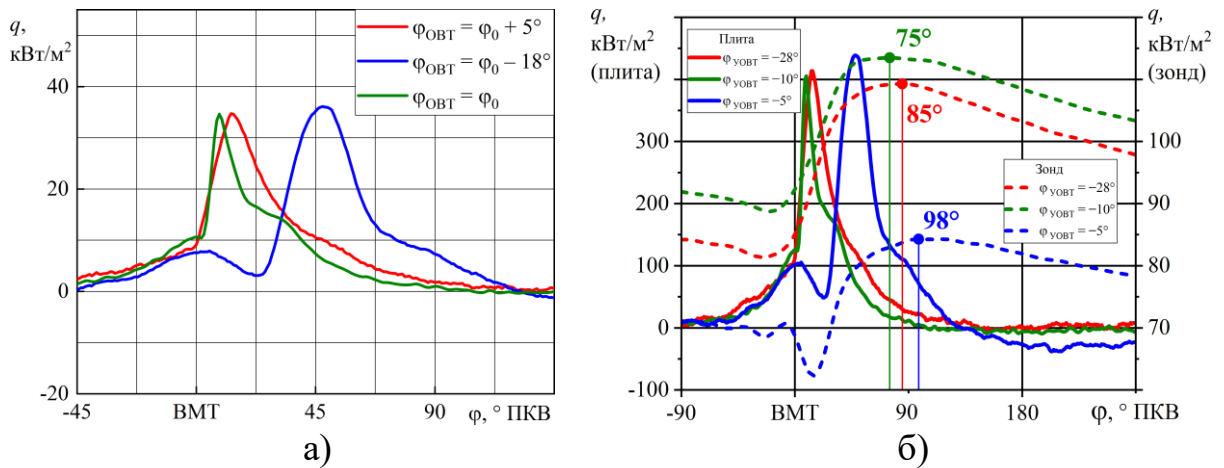


Рисунок 11 – Усредненные теплограммы при различных УОВТ

Отметим, что для управления двигателем по показаниям датчика давления необходимо задавать максимальное давление в цикле и следить за тем, чтобы максимум не наступал раньше ВМТ. Для этого необходима карта углов опережения, которая перестает быть актуальной, если изменилось топливо или двигатель сильно изношен. В то же время при управлении двигателем по тепловому потоку карта углов опережения не нужна: достаточно найти УОВТ, при котором максимум плотности теплового потока будет наиболее близок к ВМТ.

Сравнение результатов, полученных с помощью ГГДТП на измерительном зонде и ГГДТП, установленных на поверхности огневой плиты показывает, что для оптимизации рабочего процесса место установки датчика не имеет значения (Рисунок 11, б).

В работе оценена неопределённость значений основных величин по ГОСТ Р 54500.3 – 2011. Стандартная неопределённость измеренной плотности теплового потока составила 37,1 кВт/м², а КТО – 327,8 Вт/(м²·К); оба показателя позволяют считать результаты исследования достаточно достоверными.

Заключение

1. Совмещение индицирования, термометрии и градиентной теплотометрии позволило рассчитать КТО с помощью традиционных методик и предлагаемой методики – градиентной теплотометрии, а также сравнить оба подхода.
2. Разработан и создан экспериментальный стенд, позволяющий проводить мониторинг дизельного двигателя по тепловому потоку в режиме реального времени.
3. Адекватность предложенного подхода подтверждена сравнением с общепризнанными данными литературных источников. Показано, что достигнутый в эксперименте метрологический уровень достаточен для того, чтобы считать результаты доказательными.
4. Методом градиентной теплотометрии получено распределение плотности теплового потока на поверхности огневой плиты. Показано, что это распределение неравномерно, однако максимум плотности теплового потока достигается одновременно во всех исследуемых точках.

5. Исследованы компрессорный режим и работа с включённой топливоподачей при холостом ходе. Выявлены различия КТО при работе на этих режимах. Полученные результаты согласуются с работами других исследователей или имеют приоритетный характер.
6. Сформулирована идея и разработана методика мониторинга рабочего процесса в дизельном ДВС. Характер изменения плотности теплового потока по всей поверхности огневой плиты одинаков, поэтому можно ограничиться установкой только одного датчика на зонде. ГГДТП позволяют проводить мониторинг в каждом цилиндре индивидуально.

Основные научные публикации по теме диссертационного исследования

В рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Винцаревич А.В. Прямое измерение теплового потока в камере сгорания дизельного двигателя методом градиентной теплотметрии / Сапожников С.З., Митяков В.Ю., Митяков А.В., Винцаревич А.В., Герасимов Д.В. Вестник рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А. Соловьева. – 2018 – №1(44).
2. Винцаревич А.В. Применение методов градиентной теплотметрии для измерения плотности теплового потока в двигателе внутреннего сгорания / С.З. Сапожников, В.Ю. Митяков, А.В. Митяков, А.В. Винцаревич, Герасимов Д.В. // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева №2 – 2018.
3. Винцаревич А.В. Градиентная теплотметрия при мониторинге дизельного двигателя / С.З. Сапожников, В.Ю. Митяков, А.В. Митяков, А.В. Винцаревич, Д.В. Герасимов, А.В. Павлов, Л.А. Воробьев, А.В. Ларин // Тепловые процессы в технике №3–4, с. 166-170 – 2018.

В рецензируемых научных изданиях, входящих в международную базу данных Scopus:

1. A. V. Vintsarevich. Heat transfer measurement and heat transfer study / S.Z. Sapozhnikov, V. Yu. Mityakov, A.V. Mityakov, A.A. Gusakov, M.A. Grekov, A. V. Vintsarevitch, V. V. Seroshtanov, E. R. Zaynullina // Proceedings of the 16th international heat transfer conference IHTC – (16 August 2018) Beeijing, China.
2. A. V. Vintsarevich, «Gradient heat flux measurement as monitoring method for the diesel engine» / S.Z. Sapozhnikov, V. Yu. Mityakov, A.V. Mityakov, A. V. Pavlov, I. D. Naletov, 2017 J. Phys.: Conf. Ser. 891 012096.
3. A. V. Vintsarevich. Gradient heat flux measurement as monitoring tool for the diesel engine / Vladimir Yu. Mityakov, Andrey V. Mityakov, Artyom V. Vintsarevich, Daniil V. Gerasimov // MATEC Web of Conferences 2018.

В других изданиях:

1. Винцаревич А.В. Градиентная теплотметрия в камере сгорания дизельного двигателя. Расчет поля температуры / Винцаревич А.В., Митяков А.В., Герасимов Д.В. // Седьмая российская национальная конференция по теплообмену (РНКТ-7) (Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» 22-26.10.2018) – г. Москва, 2018.

2. Винцаревич А.В. Градиентная теплотметрия как метод мониторинга для дизельного двигателя / Винцаревич А.В., Налетов И.Д., Митяков А.В. // В сборнике: Проблемы газодинамики и тепломассобмена в энергетических установках. XXI Школа-семинар молодых ученых и специалистов под руководством академика РАН А.И. Леонтьева. 2017. Т.2. С.91-93.
3. Винцаревич А.В. Теплотметрия в ДВС: прямое измерение плотности теплового потока / Винцаревич А.В., Бабич А.Ю., Митяков А.В. // В сборнике: Неделя науки СПбПУ. Материалы научного форума с международным участием. Институт энергетики и транспортных систем. 2016. С. 232-233.
4. Винцаревич А.В. Теплотметрия в ДВС: контроль и управление в режиме реального времени. / Винцаревич А.В., Митяков А.В. // В сборнике: Неделя науки СПбПУ. Материалы научного форума с международным участием. Институт энергетики и транспортных систем. 2015. С. 13-15.