

М 315900

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

Министерство высшего и среднего специального образования
С С С Р

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н.Э. Баумана

На правах рукописи

САЗОНОВ Юрий Иванович

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ КРЫШКИ
ЦИЛИНДРА ДИЗЕЛЯ И ТЕПЛООБМЕНА МЕЖДУ НЕЕ
ДВИЖЕМ И ГАЗОМ

(специальность 05.04.02 - "тепловые двигатели")

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Министерство высшего и среднего специального образования
С С С Р

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н.Э. Баумана

На правах рукописи

САЗОНОВ Юрий Иванович

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ КРЫШКИ
ЦИЛИНДРА ДИЗЕЛЕМ И ТЕПЛООБМЕНА МЕЖДУ НЕЕ
ДНИЩЕМ И ГАЗОМ

(специальность 05.04.02 - "тепловые двигатели")

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1315900

Сазонов Ю. И. Исследование

и

Работа выполнена в Московском высшем техническом училище им. Н.Э.Баумана.

Научные руководители:

доктор технических наук, профессор ОРЛИН А.С. и
доктор технических наук, доцент ЧАЙНОВ Н.Д.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, и.о. профессора ОВСЯННИКОВ М.К. (ЛВИМУ),
кандидат технических наук, ст.н.сотр. НАСЫРОВ Р.А. (ИНИИ МПС).

Ведущее предприятие - Брянский машиностроительный завод

Защита диссертации состоится "16" мая 1977 г.

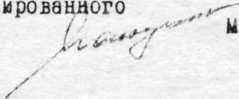
на заседании специализированного Совета (шифр- К33/5) "Тепловые машины и теоретические основы теплотехники" при Московском ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище им. Н.Э.Баумана по адресу: г. Москва, Лефортовская наб., № 1, факультет "Энергомашиностроение".

Ваши отзывы в 2-х экземплярах, заверенные печатью, просьба высылать по адресу: 107005, Москва, 2-я Бауманская ул, дом 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ имени Н.Э.Баумана.

Автореферат разослан "5" апреля 1977 г.

Ученый секретарь специализированного
Совета, к.т.н. доцент

 МАНУШИН Э.А.

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ

Д-79576 от 16/III-77г. Объем I п.л. Тип. МВТУ. Зак. 581. Тир.100.

М В Т У
им. Н. Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Форсирование двигателей внутреннего сгорания привело к значительному повышению тепловых и механических нагрузок, особенно на детали цилиндро-поршневой группы: крышка, поршень, клапаны, гильза, из которых крышка является одной из наиболее сложных по конструкции и теплонапряженных деталей. Из опыта эксплуатации известны многочисленные случаи повреждений крышек цилиндров. Основные дефекты приходится на огневое днище, где часто возникают сквозные трещины, связанные с высоким уровнем термических напряжений. В связи с этим разработка эффективных средств диагностики температурного поля крышки и способов изменения его при необходимости на стадии проектирования или в процессе доводки имеет большое значение при создании современных высокофорсированных дизелей.

Точность оценки теплового состояния крышек на стадии проектирования требует достоверного задания граничных условий с учетом локальности параметров теплообмена. Поэтому исследования по выявлению абсолютных значений локальных тепловых нагрузок и характера распределения их по поверхности, особенно для современных форсированных двигателей, представляет научный и практический интерес.

Цель исследования. Целью настоящей работы является: разработка метода расчета температурного поля днища крышки, основанного на учете локальности граничных условий на поверхностях последнего; усовершенствование экспериментальной методики и проведение исследований по выявлению локальных параметров теплообмена со стороны газа; оценка влияния конструктивных и эксплуатационных факторов на тепловое состояние днища.

Методы исследования. Температурное поле днища крышки определяется расчетным путем с помощью метода конечных элементов (МКЭ) и термометрированием на работающем двигателе. Локальные параметры теплообмена со стороны газа находятся на основании экспериментального определения температурных колебаний на поверхности детали пленочными термометрами сопротивления (ПТС).

Научная новизна. Оработана методика и измерительная аппаратура, позволяющая с достаточной точностью определять параметры нестационарного теплообмена в условиях камеры сгорания двигателя. Предложен метод расчета термических напряжений в ПТС, возникающих при изготовлении датчика и при измерениях в условиях камеры сгорания. Получены экспериментальные данные о локальных нестационарных тепловых потоках и коэффициентах теплоотдачи на огневых поверхностях крышек цилиндров двигателей ИЧ 8,5/11 и ЧН 26/26.

Практическая ценность. Даны рекомендации по назначению локальных

граничных условий по поверхности дна крышек четырехтактных дизелей. Установлено рациональное число зон, характеризующих теплообмен на огневой поверхности дна, введение которых позволило усовершенствовать расчетный метод определения теплового состояния дна крышки. Выявлено влияние толщины дна, коэффициента теплопроводности материала, параметров теплообмена со стороны охлаждения и в отверстиях под клапаны на температурное поле дна.

Разработанная конструкция ПТС показала надежную работу в условиях камеры сгорания ДВС и может быть применена для исследований нестационарного теплообмена в других областях техники. Предложенный при этом метод расчета термических напряжений в ПТС позволяет рационально выбирать элементы датчика при его конструировании.

Апробация работы. Материалы диссертационной работы докладывались на ежегодных конференциях в МВТУ (1972, 1974 г.), на Всесоюзной научно-технической конференции по ДВС (Москва, 1973) на Всесоюзном научно-техническом семинаре по ДВС (Москва, 1974).

Объем работы. Диссертация изложена на 147 страницах машинописного текста, включая введение, 4 главы, общие выводы и содержит 60 рисунков, 4 таблицы, список использованной литературы из 134 наименований и приложений.

В первой главе диссертации дан анализ работ по определению температурного состояния крышки цилиндра и условий теплообмена со стороны газа на поверхности.

Вопросами тепловой напряженности и теплообмена в ДВС занимается большая группа ученых. Здесь следует отметить труды Н.Р.Брилинга, А.С.Орлина, Н.Х.Дьяченко, Б.Я.Гиндбурга, Н.Н.Иванченко, А.К.Костиной, Р.М.Петриченко, М.К.Овсянникова, Б.С.Стефановского, А.С.Хачияна, Н.Д.Чайнова, Г.Б.Розенблита, В.Нуссельта, Г.Эйхельберга, В.Пёлаума, В.Аннанда, Г.Вонни и др. Несмотря на то, что исследователи уделяют большое внимание разработке новых универсальных методов определения температурных полей в сложных теплонапряженных деталях двигателя (электро-тепловая аналогия, методы конечно-разностный и конечного элемента), указанные методы в двигателестроении получили ограниченное применение. Это объясняется не только относительно большой трудоемкостью реализации численных методов расчета сложных деталей, но также значительными трудностями при назначении граничных условий, особенно со стороны газа. Последнее связано с тем, что необходимо располагать локальными значениями параметров, поскольку использование обычных средних по поверхности значений коэффициентов теплоотдачи не позволяет определить реальное температурное поле. Применительно к крышке цилиндра выполнено сравнительно небольшое количество

во работ, обзор которых показал, что как характер распределения тепловых потоков и коэффициентов теплоотдачи от газа к поверхности днища крышки, так и абсолютные значения последних для разных типов двигателей различны. Анализ рассмотренных методик по определению отмеченных выше параметров позволил установить, что наиболее достоверные результаты получают методом анализа замеренных колебаний температуры на поверхности детали.

На основании изложенного основными задачами являются следующие:

1. Разработать уточненный метод определения теплового состояния днища крышек цилиндра дизелей, особенностью которого является использование локальных граничных условий теплообмена.
2. Исследовать особенности локального теплообмена на огневой поверхности днища крышки с целью уточнения граничных условий.
3. Отработать методику экспериментального исследования теплообмена между днищем крышки и газом с помощью пленочных термометров сопротивления в дизелях с повышенным средним эффективным давлением.
4. Исследовать влияние конструктивных и эксплуатационных факторов на температурное состояние днища крышки цилиндра высокофорсированного четырехтактного дизеля.

Вторая глава содержит материал, связанный с расчетным определением стационарного температурного поля днища крышки.

Для большинства конструктивных вариантов крышек днище можно представить в виде плиты с отверстиями под клапаны, форсунку и т.д. при соответствующих условиях теплообмена на ее поверхностях. Замена плиты набором элементов призматического типа позволяет учесть теплообмен на основаниях, а также боковых поверхностях упомянутых элементов при расчете пространственного температурного поля днища и решать по существу двумерную задачу. С этой целью дифференциальное уравнение теплопроводности

$$\operatorname{div}(\lambda \operatorname{grad} T) = 0 \quad (1)$$

преобразуется с помощью аппроксимации распределения температуры T по толщине δ днища полиномом второй степени относительно координаты z нормальной к срединной плоскости днища

$$T = T_0 + T^{(1)}z + T^{(2)}z^2 \quad (2)$$

Как показано в работах А.Д. Коваленко и И.А. Мотовиловца, задача при этом сводится к решению системы 3-х дифференциальных уравнений второго порядка относительно неизвестной температуры T_0 и неизвестных функций полинома $T^{(1)}$ и $T^{(2)}$. В работе Н.Д. Чайнова предложено с помощью граничных условий на охлаждаемой и нагреваемой сторонах днища $z = \pm \frac{\delta}{2}$ неизвестные функции $T^{(1)}$ и $T^{(2)}$ выразить через температуру

T_0 срединной плоскости. В результате система 3-х дифференциальных уравнений преобразуется в одно дифференциальное уравнение 2-го порядка в частных производных относительно T_0 . Используя метод конечных элементов в вариационной трактовке, минимизируя соответствующий функционал, приходим к системе линейных алгебраических уравнений относительно T_0

$$[A] \left\{ \begin{matrix} T_{0i} \\ T_{0n} \end{matrix} \right\} = \{R\}, \quad (3)$$

где $[A]$ - матрица теплопроводности, $\{R\}$ - вектор, характеризующий теплообмен на поверхностях $z = \pm \frac{\delta}{2}$ и на контурах днаща,

n - число узловых точек. Температура в любой точке днаща находится по выражению (2) после определения T_0 .

Следуя общепринятому подходу при расчете стационарных полей деталей ДВС, нестационарные параметры теплообмена заменяются квазистационарными. При этом

$$\alpha_{кл} = \frac{1}{\varphi} \left(\int_{\varphi_{откр}} \alpha_{рс} d\varphi + \bar{F} \int_{\varphi_{закр}} \alpha_{к} d\varphi \right), \quad T_{кл} = \frac{\int_{\varphi_{откр}} \alpha_{рс} T_{ркл} d\varphi + \bar{F} \int_{\varphi_{закр}} \alpha_{к} T_{фкл} d\varphi}{\int_{\varphi_{откр}} \alpha_{рс} d\varphi + \bar{F} \int_{\varphi_{закр}} \alpha_{к} d\varphi}, \quad (4)$$

где $\alpha_{кл}$ - приведенный коэффициент теплоотдачи на контуре клапанного отверстия;

$T_{кл}$ - результирующая по теплоотдаче температура клапана;

$\alpha_{рс}, \alpha_{к}$ - мгновенные значения коэффициентов теплоотдачи на седле при открытом клапане и коэффициент теплообмена при закрытом клапане;

$T_{ркл}, T_{фкл}$ - мгновенные значения температуры среды, омывающей контур клапанного отверстия, и фаски клапана;

$\varphi_{откр}, \varphi_{закр}, \varphi$ - продолжительность открытия, закрытия и длительность цикла в углах п.к.в.;

$\bar{F}$ - коэффициент, учитывающий площади контакта клапана (опорного пояса) и площади боковой поверхности днаща на контуре отверстия под клапан.

Третья глава посвящена экспериментальному исследованию температурного состояния крышки цилиндра и условий теплообмена между ее дном и газом с помощью пленочных термометров сопротивления (ПТС).

Известно, что при гармоническом изменении температуры среды и постоянном значении коэффициента теплоотдачи

$$\Delta T_{мет} = \Delta T_{стекл} \sqrt{\frac{(\lambda c \gamma)_{стекл}}{(\lambda c \gamma)_{мет}}}, \quad (5)$$

где $\Delta T_{мет}$, $\Delta T_{стекл}$ - переменная составляющая температуры на поверхности металла и стекла, λ, c, γ - коэффициенты теплопроводности, удельной теплоемкости и удельного веса для соответствующих материалов. Соотношение (5) применительно к двигателям было экспериментально проверено на кафедре автотракторных двигателей в МАДИ (М.С.Ховах, Ю.А.Поляков, В.А.Родионов).

В ходе исследований потребовалось провести большие работы по созданию работоспособных конструкций ПТС для применения в камерах сгорания высокофорсированных тепловозных дизелей. С этой целью было испытано несколько вариантов датчика, отдельные элементы которого изготавливались из различных материалов (таблица №1).

Таблица № I

№№	Материал			
п/п	Корпус	Подложка	Электроды	Пленка
1.	Молибден	Молибденовое стекло	Платина	Платина
2.	Нержавеющая сталь	БД-I	—"	—"
3.	—"	пирекс	—"	—"
4.	ковар-Н29К18-а	стекло № 40	—"	—"

При высоких температурах подложки (450°C и более) при работе датчика на двигателе стекла БД-I и пирекс растрескивались, а иногда оплавлялись. Наиболее удачным из рассматриваемых вариантов оказался 4-й вариант сочетания материалов ПТС.

Технологический процесс создания датчика включал операции отжига корпуса из ковара в течение суток в водородной печи, заливки жидкого стекла № 40 в корпус, в котором монтировалась двухканальная керамическая соломка с электродами, шлифовку и полировку приемного торца с применением алмазных порошков. Для получения чувствительной пленки из платины приготавливалась коллоидная паста на основе H_2PtCl_6 , которая в виде пелоски наносилась на обработанную поверхность между электродами и подвергалась термообработке в динамическом режиме для выделения чистой платины. Толщина пленки составляла $\sim 0,3$ мкм, а полная время ~ 1 мкс.

Предварительные эксперименты с ПТС, имевшими незащищенную пленку, обнаружили существенный недостаток: не сохранялась стабильность сопротивления пленки из-за насыщения продуктами сгорания (CO и CO_2). К тому же было обнаружено шунтирующее действие нагара, погрешность от которого составляла порядка 16 % при изменении температуры пленки на 200°C . Отмеченные недостатки были устранены нанесением на поверхность чувствительной пленки двуокиси кремния SiO_2 методом напыления толщиной 0,1 мкм, что ненамного ухудшает динамические характеристики датчика. Серия опытов на воспроизводимость метрологических характеристик ПТС показала, что конструкция датчика (рис.1) в течение десятков часов не меняет своих номинальных характеристик. Датчик легко монтируется и демонтируется, не требуя снятия крышки цилиндра двигателя.

Для усиления сигнала ПТС применялась тензостанция 8 АНЧ-7М с несущей частотой 3000 гц. Во внешние плечи моста подключались магазинные сопротивлений Р51-7М типа МСР класса 0,05. Выходной ток тензостанции подавался на шлейф осциллографа Н-105. Запись производилась на фотобумагу. Для проверки баланса моста применялся высокочувствительный гальванометр.

Разработка сварной конструкции датчика потребовала проведения анализа термических напряжений в наиболее опасных с точки зрения прочности местах: соединениях электрода со стеклом (т.А) и стекла с корпусом (т.В) (рис. 2).

Для расчета напряжений сложный спай ПТС можно представить состоящим из двух элементарных спаев: "бусинкового" и "глазкового". Радиальные σ_r , тангенциальные σ_θ и осевые σ_z напряжения для "бусинкового" спаи определялись по формулам: $\sigma_{zn} = -E_n \delta' k (\alpha^2/b^2 - \alpha^2/z^2)$;

$$\sigma_{\theta n} = -E_n \delta' k (\alpha^2/b^2 + \alpha^2/z^2); \quad \sigma_{zn} = -E_n \delta' k \left[2\alpha^2/b^2 + \frac{1}{K(1+mR)} \right]; \quad (6)$$

а для "глазкового" спаи по формулам:

$$\sigma_z = \sigma_\theta = -E_n \delta' k (\alpha^2/b^2 - 1); \quad \sigma_z = E_n \delta' k m \frac{(1+mR+b^2/a^2)\alpha^2}{(1+mR)b^2}. \quad (7)$$

Здесь z - текущий радиус; индексы "н" и "в" означают, что соответствующие величины относятся к наружному или внутреннему цилиндрам;

$\delta = (\alpha'_n - \alpha'_b)(T - T_0)$; α' - коэффициент термического расширения; T_0, T - начальная и конечная температуры; $K = 1/(1 + n + nmR)$; $n = (\alpha^2/b^2)(1 - 2\nu)$; $m = (b^2/a^2) - 1$; $R = E_n/E_b$; E - модуль упругости; ν - коэффициент Пуассона. Остальные обозначения ясны из рис. 2.

Суммарные напряжения в наиболее опасных точках А и В определяются методом наложения соответствующих напряжений, полученных по формулам (6), (7). Расчет показал, что наибольшую опасность для ПТС представляет напряжение растяжения σ_z в стекле (т.А) после охлаждения датчика до комнатной температуры. При работе датчика в условиях камер сгорания термические напряжения понижаются ($\sigma_z = 3,1$ кгс/мм², $\sigma_\theta = -4,34$ кгс/мм², $\sigma_z = -1,06$ кгс/мм²), что благоприятно сказывается на работоспособности ПТС. Напряжения от термического удара, сил давления газов являются сжимающими и для стекла особой опасности не представляют. Влияние на уровень напряжений диаметров электродов (0,15; 0,3; 0,5 мм) незначительное. Разработанная методика позволяет при конструировании ПТС различного назначения (для ударных труб, лазерной техники и т.д.) производить оценку напряжений и наметить мероприятия по их снижению.

В диссертации проведена оценка погрешностей ПТС, связанных с теплопроводом по электродам, нагреванием пленки током питания мостовой

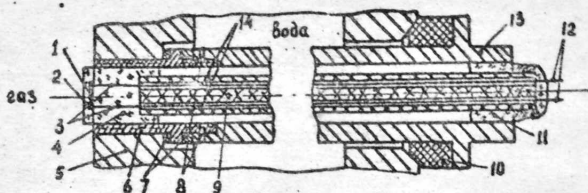


Рис. 1. Конструкция ПТС. 1-чувствительная пленка/платина/; 2-защитная пленка/ SiO_2 /; 3-электроды/платина/; 4-подложка/стекло/; 5-исследуемая деталь; 6-корпус датчика; 7-медные шайбы; 8-крепежные винты; 9-керамическая соломка; 10-резиновая прокладка; 11-эпоксидная смола; 12-никелевые выводы; 13-защитный штуцер; 14-место сварки элементов 3 и 12.

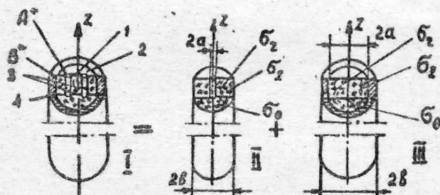


Рис. 2. Модель ПТС для анализа термических напряжений. 1-ПТС; II - бусинковый спай; III - глазковый спай; 1-пленка; 2-стекло; 3-электроды; 4-металл.

схемы, от покрытия двуокисью кремния; с погрешностями измерительной схемы, тарировки, от давления газов и термического удара. Суммарная погрешность составляет 4 %.

Экспериментальные исследования проводились на стендах, созданных на базе двигателя ТЧ 8,5/II и отсека высокофорсированного двигателя типа ЧН 26/26, отличающихся способами смесеобразования, размерами цилиндра и уровнем форсировки.

В ходе эксперимента определялись граничные условия, необходимые для расчета температурного поля днища крышки (при этом основное внимание уделялось определению мгновенных локальных коэффициентов теплоотдачи α_n), и температурное поле днища для последующего сопоставления расчетных и опытных данных.

Стенды были оснащены необходимой регистрирующей и измерительной аппаратурой. Индицирование производилось индикатором МАИ-2. Температура воды измерялась ртутными термометрами на входе и выходе из двигателя. Термометрирование крышек производилось хромель-копелевыми термопарами с диаметром электродов 0,1-0,5 мм. В днище крышки двигателя ТЧ 8,5/II было установлено 29 термопар, а в днище крышки двигателя ЧН 26/26 - 72 термопары. Регистрация показаний производилась потенциометром ПП-63 класса 0,005. Наряду с термопарами в днище крышек устанавливались по 3 ПТС. Места расположения датчиков выбирались таким образом, чтобы в дальнейшем можно было с определенным

приближением оценить характер распределения тепловых потоков и коэффициентов теплоотдачи по поверхности дна.

Испытания двигателя ИЧ 8,5/II проводились по нагрузочной и скоростной характеристикам, в отсека двигателя ЧН 26/26 - по нагрузочной характеристике при $P_e = 6, 9, 12, 15 \text{ кгс/см}^2$, $n = 700 \text{ об/мин}$, $P_k = 2,5 \text{ кгс/см}^2$.

В результате проведенных экспериментов были зарегистрированы цикловые колебания температур ΔT в различных точках днищ крышек и замерены стационарные температурные поля. С увеличением частоты вращения вала n и нагрузки P_e стационарная температура в крышках растет по зависимости, близкой к линейной. При этом зарегистрирован рост цикловых ΔT на поверхности крышек с увеличением P_e , что связано с увеличением цикловой подачи топлива. При увеличении n с 985 до 1385 об/мин ($P_e = \text{const}$) (ИЧ 8,5/II) величина ΔT практически не уменьшалась.

На рис. 3, в качестве примера, приведены характерные осциллограммы периодических колебаний температуры на поверхности крышки двигателя ЧН 26/26. Различия изменения ΔT в т.2" и т.3" связано с особенностями обтекания газом поверхности в этих местах и их расположением относительно излучающей среды и конуса топливного факела (рис.3). (Изменение ΔT в т.3" и т.2" имеет сходный характер, отличаясь лишь по размаху ΔT ; в т.3" $\Delta T \sim 14^\circ\text{C}$). В дизеле ИЧ 8,5/II протекание ΔT для всех точек по перемычке между вихревой камерой и выпускным клапаном имеет примерно сходный характер. Величины ΔT составляют $9-12,5^\circ\text{C}$ при $P_e = 6,1 \text{ кгс/см}^2$ и $n = 1385 \text{ об/мин}$. При этом максимальная величина ΔT зафиксирована вблизи оси цилиндра, а минимальная - на периферии.

На рис. 4, в качестве примера, приведены графики изменения мгновенных локальных коэффициентов теплоотдачи α_r на огневой поверхности дна крышки цилиндра двигателя ЧН 26/26.

Изменение экспериментальных значений мгновенных удельных тепловых потоков q и коэффициентов теплоотдачи α_r для различных мест огневой поверхности днищ крышек и различных режимов работы двигателей обуславливается теми же особенностями газодинамической обстановки в камере сгорания, что и описанные выше температурные колебания.

Распределение тепловой нагрузки по огневой поверхности крышки цилиндра дизеля ИЧ 8,5/II отличается большей равномерностью по радиусу цилиндра, чем у дизеля ЧН 26/26. Значение $\alpha_{\text{ср}}$, вычисленное по мгновенным значениям α_r составляет $420 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч.град}$, а на периферии дна $270 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч.град}$.

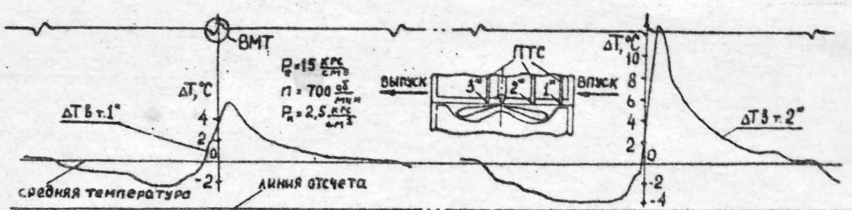


Рис.3. Характерные осциллограммы температурных колебаний ΔT на огневой поверхности дна крышки цилиндра двигателя ЧН 26/26.

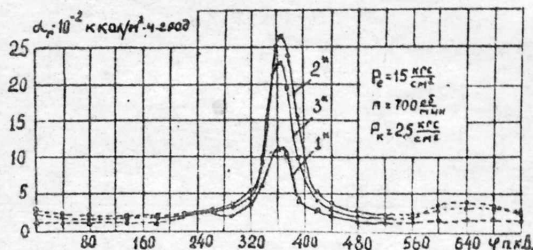


Рис.4. Мгновенные локальные значения коэффициентов теплоотдачи на огневой поверхности дна крышки/точки по рис.3/; $\alpha_{r,ср}$ в т.1,2,3 соответственно равны 210,440 и 370 ккал/м²·ч·град.

Испытания двигателя ТЧ 8,5/II по скоростной характеристике ($P_c = \text{const}$) показали, что с увеличением n с 985 до 1385 об/мин среднее значение удельного теплового потока $q_{ср}$ в одной из точек дна, вычисленного по мгновенным q , увеличилось на 28 %. При увеличении нагрузки ($n = \text{const}$) q и α_r значительно повышаются, особенно в период сгорания. Увеличение P_c с 6 до 15 кгс/см² (двигатель ЧН 26/26) вызвало увеличение $\alpha_{r,ср}$ почти в 1,8 раза. При этом максимальная температура, зарегистрированная на поверхности дна крышки возросла на 140°C (до 395°C).

В четвертой главе представлены результаты расчета температурного поля дна серийной крышки двигателя ЧН 26/26 и исследовано влияние конструктивных и эксплуатационных факторов на тепловое состояние дна.

Расчет выполнен по методике, изложенной во второй главе, по программе, разработанной на кафедре "Комбинированные двигатели внутреннего сгорания" МВТУ им.Н.Э.Баумана. Учитывая, что конструкция дна крышки близка к симметричной, расчет производился только для половины дна, разбитой на 808 элементов при 496 узлах.

При назначении граничных условий использовались данные эксперимента, результаты предшествующих испытаний двигателя ЧН 26/26 (МВТУ)

и рекомендации из литературных источников для двигателей, подобных исследуемому. Экспериментальные данные о локальных значениях α , были использованы для получения локальных $\alpha_{гср}$ и построения кривой распределения $\alpha_{гср}$ по поверхности дна крышки. Для учета локальных параметров теплообмена со стороны газа, в отверстиях впускных и выпускных клапанов дна крышки разбивалось на зоны (рис.5), в которых граничные условия для всех элементов соответствующей зоны одинаковые (таблица 2). Также была усовершенствована существующая программа расчета (время расчета не превышает 30 минут на ЭВМ "Минск-22").

В результате расчета получены температурные поля в 3-х сечениях дна: в срединной плоскости, на огневой и охлаждаемой поверхностях. Максимальные температуры на огневой поверхности имеют место в районе перемычке между выпускными клапанами (350-400°C). Температуры T_n участков дна, расположенные в районе анкерных шпилек, имеют сравнительно низкие температуры (77-79°C). Расхождение между расчетными и экспериментальными данными составляет примерно 12 %, что подтверждает приемлемость выбранной расчетной методики и правильность задания граничных условий. Последнее дало основание провести многопараметрическое расчетное исследование влияния на тепловое состояние дна его толщины, материала (коэффициент теплопроводности), условий теплообмена со стороны охлаждения и в клапанных отверстиях.

На рис. 6, в качестве примера, приведено изменение температуры T на огневой поверхности дна крышки, а также температурные перепады по толщине ΔT_s^s , ΔT_s^A , в срединной плоскости дна ΔT_c^s , ΔT_c^A между центральной зоной и периферией в зависимости от толщины дна δ и коэффициента теплопроводности материала λ .

Уменьшение толщины дна ведет к снижению температуры во всех точках, хотя эффективность снижения для разных точек различна. Снижение T_n незначительно ($\sim 1^\circ\text{C}$). Уменьшение δ снижает ΔT_s^s и ΔT_c^s , что вызывает снижение соответствующих напряжений. Увеличение δ действует в обратном направлении. Т.о., уменьшение δ дна снижает теплонапряженность крышки, но при этом следует учитывать уровень напряжений, возникающих в дне от газовых сил и требования к обеспечению необходимой жесткости для сохранения формы посадочных поясков.

На тепловое состояние и работоспособность детали существенно влияет важнейшая характеристика материала — коэффициент теплопроводности λ . Исследование выполнено в диапазоне λ , охватывающем материалы, из которых изготавливаются крышки цилиндров дизелей. Увеличение λ снижает температуру дна и температурные перепады (рис.6). Особенно заметно последнее происходит при применении алюминиевого сплава.

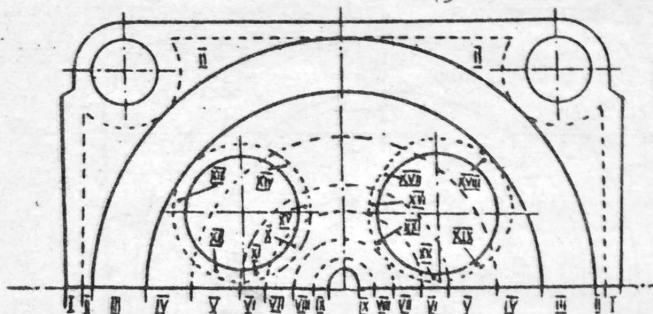


Рис. 5. Схема разбивки дна крышки на зоны.

Таблица 2

Граничные условия, теплофизические свойства (λ) и толщина элементов (δ) для огневого дна крышки по зонам.

зоны	В плоскости дна		Огневая поверхность		Сторона охлаждения			
	α	T	α	T	α	T	λ	δ
	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot 2000}$	$^{\circ}\text{C}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot 2000}$	$^{\circ}\text{C}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot 2000}$	$^{\circ}\text{C}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot 2000}$	см
I	20	30	5000	90	2000	74	25	1,5
II	0	0	5000	90	2000	74	25	1,5
III	0	0	10	90	2000	74	25	1,0
IV	0	0	200	790	2000	74	25	1,5
V	0	0	300	790	2000	74	25	1,5
VI	0	0	400	790	2000	74	25	1,5
VII	0	0	400	790	2000	74	25	1,5
VIII	0	0	350	790	2000	74	25	1,5
IX	300	790	300	790	2000	74	25	1,5
X	2000	440	400	790	2000	74	25	1,5
XI	2000	460	400	790	2000	74	25	1,5
XII	2000	460	300	790	2000	74	25	1,5
XIII	2000	420	200	790	2000	74	25	1,5
XIV	2000	420	300	790	2000	74	25	1,5
XV	2000	420	400	790	2000	74	25	1,5
XVI	1900	360	400	790	2000	74	25	1,5
XVII	1900	300	300	790	2000	74	25	1,5
XVIII	1900	300	200	790	2000	74	25	1,5
XIX	1900	280	300	790	2000	74	25	1,5
XX	1900	280	400	790	2000	74	25	1,5
XXI	1900	340	400	790	2000	74	25	1,5

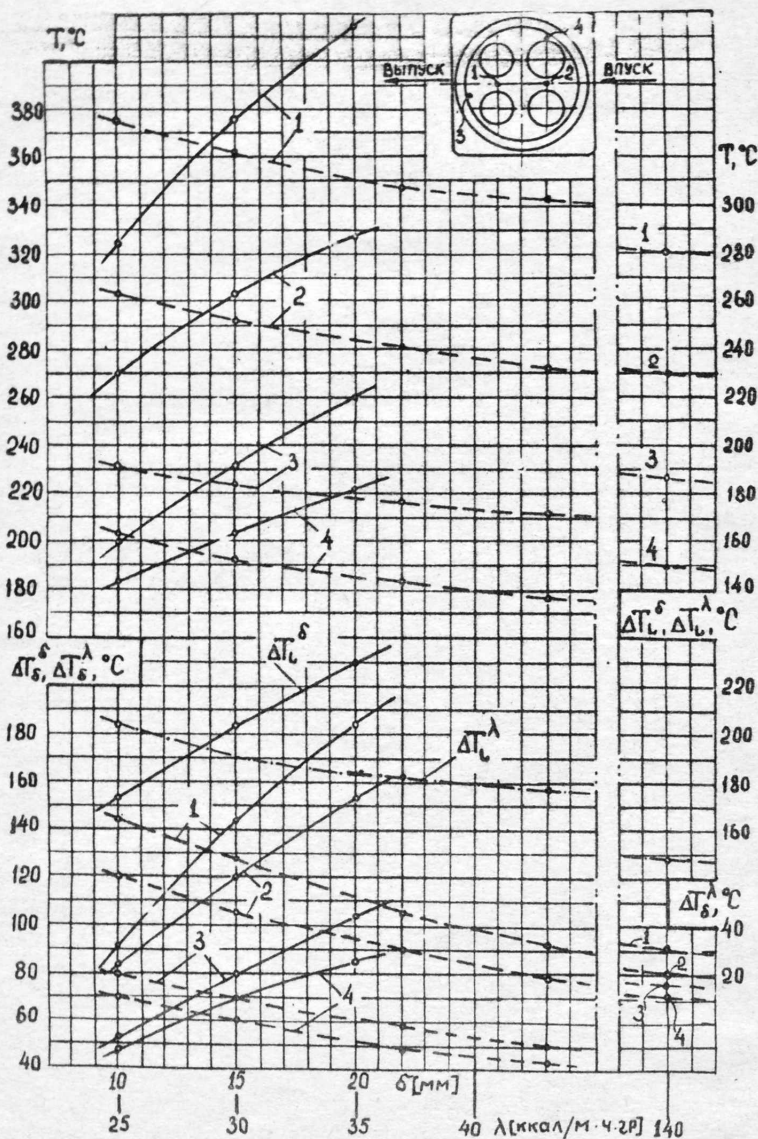


Рис. 6. Влияние толщины дна δ и коэффициента теплопроводности материала λ на температуру T огневой поверхности дна крышки, температурные перепады по толщине $\Delta T_\delta, \Delta T_\lambda$ в срединной плоскости дна $\Delta T_\delta, \Delta T_\lambda$; — для δ , --- для λ .

Влияние охлаждения со стороны воды оценивалось коэффициентом теплоотдачи к воде α_m . Увеличение α_m с 2000 до 3000 ккал/м².ч.град понизило T в т.1 на 6 %, а в т.2 на 4 % (точки по рис.6); в остальных точках дна T изменилась примерно в этих же пределах. Перепады температур по толщине дна возросли на 8 %, а в плоскости дна перепад температур уменьшился на 10 %. Дальнейшее увеличение α_m в меньшей степени влияет на указанные величины.

Оценка влияния теплообмена в клапанных отверстиях производилась сравнением результатов расчета с наличием теплообмена в последних и без него. Установлено сильное влияние этого фактора на участки дна, находящиеся в непосредственной близости к выпускным клапанам. Неучет теплообмена с клапанами уменьшает температуру в т.1 на 112°C, а в т.2 - на 38°C. Температура периферийной зоны дна в пределах камеры сгорания уменьшилась на 12-15 %. Сказанное свидетельствует о необходимости улучшения теплового состояния выпускных клапанов.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Предложены рекомендации по назначению локальных граничных условий при расчете температурного поля дна крышки высокофорсированного теплового двигателя, обеспечивающие удовлетворительную сходимость с экспериментом и тем самым повышающие эффективность расчетного метода.

2. Исследовано влияние конструктивных факторов, свойств материала, охлаждения со стороны воды и теплообмена в отверстиях под клапаны на тепловое состояние дна крышки цилиндров. По результатам исследования предложены практические рекомендации по выбору этих параметров для снижения теплонапряженности крышки цилиндра двигателей.

3. Для крышек двигателей ЧН 26/26 и ИЧ 8,5/II проведено экспериментальное исследование нестационарной теплоотдачи от газа к дну, которое подтвердило локальность коэффициентов теплоотдачи. При этом значения средних во времени локальных коэффициентов теплоотдачи на поверхности крышки двигателя ЧН 26/26 отличаются примерно в 2 раза, а для крышки двигателя ИЧ 8,5/II - в 1,5 раза. Исследование нестационарной теплоотдачи по нагрузочной и скоростной характеристикам двигателей показало, что с ростом нагрузки и частоты вращения вала коэффициенты теплоотдачи и удельные тепловые потоки растут; последнее необходимо учитывать при форсировании двигателя по этим характеристикам. Так, при увеличении частоты вращения вала двигателя ИЧ 8,5/II с 985 до 1385 об/мин среднее по времени значение локального теплового потока увеличилось на 28 %, а при повышении среднего эф-

эффективного давления в двигателе ЧН 26/26 с 6 до 15 кгс/см² среднее во времени значение локального коэффициента теплоотдачи увеличилось на 76 %.

4. Разработана конструкция ПТС, хорошо зарекомендовавшая себя при работе в условиях камеры сгорания двигателя с высоким средним эффективным давлением. Предложен метод оценки погрешностей при измерении температуры с помощью ПТС, учитывающий особенности условий в камере сгорания двигателя.

5. Разработана методика расчета термических напряжений в ПТС, позволяющая рационально выбирать материалы для элементов датчика.

6. Разработанная конструкция ПТС может быть использована при соответствующей постановке эксперимента для определения других параметров в двигателе (времени задержки воспламенения, угла опережения подачи топлива и т.д.), а также для исследования теплообмена в смежных областях науки и техники.

7. Материалы настоящей работы переданы в промышленность и используются в конструкторской практике при доводке существующих и создании новых конструкций крышек цилиндра высокофорсированных транспортных двигателей, а также в учебном процессе.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Анализ термических напряжений в пленочных термометрах сопротивления (ПТС). Сб. "Теплофизика высоких температур", изд. АН СССР, т. II, № 2, 1973 (в соавторстве).
2. Исследования теплового состояния днищ крышек двигателя внутреннего сгорания. Сб. "Пути повышения мощности, надежности и долговечности двигателей внутреннего сгорания", М., 1973 (в соавторстве).
3. Экспериментальное исследование теплообмена между газом и крышкой цилиндра вихрекамерного дизеля ИЧ 8,5/II пленочными термометрами сопротивления. "Энергомашиностроение", Л., № 6, 1975 (в соавторстве).
4. Исследование теплового состояния головки цилиндра двигателей внутреннего сгорания. Сб. "Повышение мощности, экономичности и надежности тракторных двигателей", научные труды УСХА, Киев, 1976 (в соавторстве).