

На правах рукописи

УДК.621.431.73



НОВИКОВ
Виктор Григорьевич

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РАСЧЕТНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ
ТЕПЛОВОГО НАГРУЖЕНИЯ ГОЛОВКИ ЦИЛИНДРА
ТРАНСПОРТНОГО ДИЗЕЛЯ**

05.04.02 – Тепловые двигатели

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

г. Москва – 2004 г.

Работа выполнена в Брянском Государственном техническом университете на кафедре «Двигатели внутреннего сгорания».

Научный руководитель:

доктор технических наук,
профессор ИВАЩЕНКО Н.А.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,
профессор КАВТАРАДЗЕ Р.З,

кандидат технических наук,
профессор МАКАРОВ А. Р.

Ведущая организация:

ЗАО
УПРАВЛЯЮЩАЯ КОМПАНИЯ
«Брянский машиностроительный завод»

Защита диссертации состоится «07» октября 2004 г. в 14 часов на заседании Диссертационного Совета Д212.141.09 в Московском Государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу:

105005, Москва, Рубцовская наб. д.5/18, Учебно-Лабораторный корпус, ауд.947

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просьба высылать по адресу: 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д.5, МГТУ им.Н.Э. Баумана, ученому секретарю Диссертационного Совета Д.212.141.09

Автореферат разослан « » 2004 г.

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



Тум

Актуальность работы.

Перед двигателестроением в настоящее время очень остро поставлена задача по значительному улучшению технико-экономических показателей вновь создаваемых перспективных двигателей внутреннего сгорания (ДВС), а также совершенствованию существующих за счет увеличения мощности и ресурса работы, снижения токсичности выпускных газов, применения альтернативных видов топлива (метанол, природный газ и т.д.) и др. при одновременном повышении топливной экономичности.

Форсирование ДВС путем увеличения среднего эффективного давления P_e и частоты вращения коленчатого вала n , применение альтернативных видов топлива привели к появлению ряда проблем при проектировании, изготовлении и в эксплуатации дизелей. Наиболее важные из них связаны с ростом механических и особенно тепловых нагрузок на детали цилиндропоршневой группы (ЦПГ). Их тепловая напряженность стала основным препятствием к дальнейшему форсированию и повышению надежности ДВС.

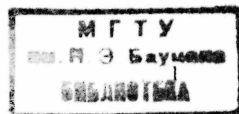
Повышение P_e путем увеличения цикловой подачи топлива приводит к усилению теплообмена между рабочим телом и стенками деталей, образующих камеру сгорания. За счет этого увеличивается удельный тепловой поток через стенки, что вызывает рост температур и температурных градиентов при неизменной конструкции деталей ЦПГ, а следовательно, и к увеличению термических напряжений в них.

В связи с этим назрела необходимость в разработке таких методов оценки и прогнозирования тепловой напряженности деталей ЦПГ, которые позволяют на стадии проектирования и доводки определить ожидаемое тепловое состояние деталей камеры сгорания и обоснованно подойти к выбору оптимальных конструкторско-технологических мероприятий, направленных на совершенствование эксплуатационных характеристик деталей ЦПГ.

Цель настоящего исследования – оценка и прогнозирование тепловой напряженности головок цилиндров транспортных дизелей.

Для достижения указанной цели решаются следующие задачи:

1. Разработка методики, повышающей точность определения тепловых потоков в теплонапряженные детали.
2. Разработка конструкции датчика теплового потока с улучшенными метрологическими характеристиками.
3. Создание комплекса универсальной измерительной аппаратуры для регистрации сигналов от датчика теплового потока (ДТП).
4. Разработка методики, вычислительного алгоритма и программ построения математических моделей для оценки локальных тепловых потоков (ЛТП) в широком диапазоне режимов нагружения дизеля и в любой точке огневой поверхности головки цилиндра.



5. Получение и применение полученных математических моделей для определения и прогнозирования теплового нагружения головок цилиндров транспортных дизелей в широком диапазоне эксплуатационных режимов работы.

Методология и методы исследования.

Исследования теплового нагружения головки цилиндра проводились на полноразмерном дизеле и газодизеле КамАЗ-740 в лаборатории НАМИ. Нагрузка двигателя варьировалась в диапазоне от режима холостого хода до режима номинальной мощности. В качестве объектов исследования использовались штатная головка цилиндра из алюминиевого сплава АЛ4 по ГОСТ 1583-89 и экспериментальная головка из легированного серого чугуна марки СЧ ХНМ.

Научная новизна работы состоит в следующем:

1. Предложена методика определения тепловых потоков с учетом изменения теплофизических свойств материала датчика и термоэлектрических свойств сплавов термопар, что позволило повысить точность измерений. Данная методика универсальна и может быть использована во всех областях техники для исследования теплового нагружения деталей.

2. Разработан датчик теплового потока оригинальной конструкции с тремя электродами, позволяющий реализовать указанную методику. Предложенный датчик практически не вносит искажений в формирование тепловых потоков в деталь при исследовании.

Методика определения тепловых потоков и конструкция ДТП, реализующего ее, защищены патентом Российской Федерации.

3. Создан комплекс универсальной измерительной аппаратуры, регистрирующей сигнал менее 10 мкВ и позволяющий осреднять измеряемую величину сигнала при частоте менее 10 Гц.

4. Установлено, что комплекс параметров, определяющий величину локальных тепловых потоков в головку цилиндра, включает в себя координаты положения датчика тепловых потоков, значения среднего эффективного давления P_e и частоты вращения коленчатого двигателя n . Указанный комплекс параметров оценивает величину локальных тепловых потоков для конкретного материала головки (сплав АЛ4 или чугун СЧ ХНМ) и конкретного типа организации рабочего процесса двигателя (с наддувом, без наддува и газодизеля).

5. Предложены индивидуальные, обобщенные и полная регрессионные модели определения величин ЛТП с учетом теплофизических свойств материала головки цилиндра и особенности организации рабочего процесса двигателя.

Практическая ценность работы.

1. Предложенная методика определения тепловых потоков универсальна и может быть использована во всех областях техники для исследования теплового нагружения деталей.

2. Повышена точность определения величин тепловых потоков.

3. Представленные в работе регрессионные модели позволяют оперативно определять величины ЛТП в головку цилиндра в широком диапазоне режимов нагружения и при форсировании двигателей указанного типа.

4. Использование полученных регрессионных моделей совместно с расчетными программами метода конечных (МКЭ) и граничных (МГЭ) элементов позволяет оперативно оценить уровень теплового нагружения головок цилиндров двигателей типа КамАЗ-740.

На защиту выносятся:

1. Методика уточненного определения локальных тепловых потоков с учетом изменения теплофизических свойств материала ДТП и термоэлектрических свойств термопарных спаев, защищенная патентом РФ.

2. Конструкция датчиков для определения ЛТП.

3. Разработанный, изготовленный и апробированный аппаратно-приборный комплекс.

4. Результаты исследования величин ЛТП в головку цилиндра транспортного дизеля типа КамАЗ-740 при различной организации рабочего процесса в цилиндре с учетом свойств материала головки в широком диапазоне режимов нагружения двигателя.

5. Математические модели для оценки и прогнозирования ЛТП в головку цилиндра транспортного двигателя типа КамАЗ-740 в широком диапазоне режимов нагружения и при его форсировании, при различной организации рабочего процесса в цилиндре (дизель с наддувом, дизель без наддува и газодизель) с учетом свойств материала головки.

Апробация работы.

Отдельные части и работа в целом докладывались и обсуждались:

- на конференциях профессорско-преподавательского состава БГТУ (БИТМ), Брянск, в 1990-2002 гг.;

- на Всесоюзной научно – технической конференции в МВТУ им. Н.Э Баумана, 1987 г.;

- на выставке – продаже “Паритет”, Москва, ВВЦ, 1992 г.;

- на четвертом Всесоюзном научно – техническом совещании “Динамика и прочность автомобиля”, Москва, МАМИ, 1990 г.;

- на Всесоюзной научно-технической конференции “Повышение надежности и экологических показателей двигателей”, ГПИ, г. Горький, 1990 г.;

- на молодежной научно-технической конференции технических ВУЗов центральной России, Брянск, 2000 г.;

- на третьей региональной научно-практической конференции-ярмарке, Брянск, 2001 г.

Публикации по теме диссертации.

Общее количество работ, опубликованных по теме диссертации - 17, из них 5 патентов и авторских свидетельств РФ, 3 статьи в научных журналах и сборниках научных трудов и 9 тезисов докладов на научно-технических конференциях.

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы из 105 публикаций отечественных и зарубежных ав-

торов и 2 приложений. Общий объем диссертации - 134 с., включая 20 рис. и 22 таблицы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во введении показана актуальность проблемы, дана общая характеристика работы.

В главе 1 приведен обзор существующих методов оценки тепловой напряженности деталей ДВС, методов их физического и математического моделирования, указаны их достоинства и недостатки, а также представлены существующие способы и конструкции датчиков для определения локальных тепловых потоков и указаны пути совершенствования конструкции ДТП для определения ЛТП в широком диапазоне эксплуатационных режимов нагружения.

Целью настоящего исследования является разработка методики прогнозирования теплового нагружения головок цилиндров транспортных дизелей.

В этой связи в диссертации поставлены и решаются следующие задачи:

1. Разработка методики повышающей точность определения величины теплового потока и конструкции датчика для реализации данной методики.
2. Выбор математического аппарата, алгоритма и разработка программы для получения аппроксимирующих зависимостей для прогнозирования ЛТП в головку цилиндра в широком диапазоне режимов работы двигателя.
3. Выбор и обоснование комплекса контролируемых параметров двигателя, необходимых для получения этих зависимостей.
4. Получение и применение полученных моделей для прогнозирования локальных тепловых потоков в головку цилиндра в широком диапазоне режимов работы двигателя.

В главе 2 приведена разработанная методика для оценки величин локальных тепловых потоков q с учетом зависимости теплофизических свойств материала ДТП и термоэлектрических свойств термопарных спаев от изменения температуры по уравнению

$$q = k_T * \frac{\lambda_u}{\lambda_T} * [1 + \alpha * (t_T - t_u)] * \frac{e_T}{e_u} * U_u, \quad (1)$$

где k_T - коэффициент пропорциональности измерительной системы “регистрирующий прибор + датчик” до контактирования датчика с испытуемым объектом, то есть при тарировке;

λ_u и λ_T , e_u и e_T - теплопроводности материала датчика и дифференциальные термоэлектродвижущие силы (термоЭДС) термопары соответственно при температурах тарировки t_T и испытании t_u ;

α - температурный коэффициент линейного расширения материала корпуса датчика;

U_u - показание прибора при измерении.

Также разработаны схема устройства для определения величины ЛТП и конструкция датчика для реализации указанной методики, защищенные патентами РФ, которые приведены на рис. 1 и 2.

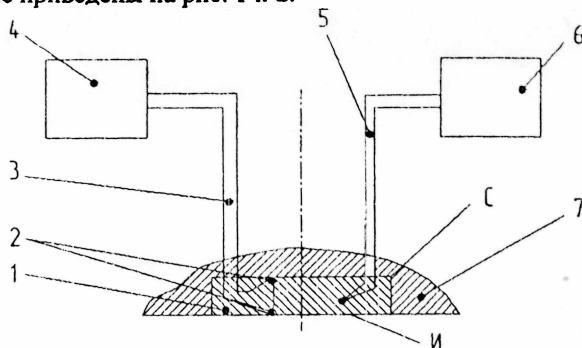


Рис.1. Схема устройства для определения тепловых потоков:

1 – датчик теплового потока; 2 – спай термопары; 3 – дифференциальная термопара; И и С – соответственно исток и сток датчика; 4 – прибор для измерения разности потенциалов; 5 – преобразователь температуры; 6 – прибор для измерения температуры; 7 – испытуемый объект

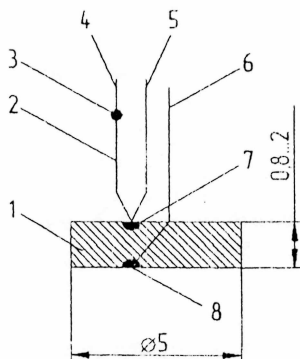


Рис.2. Схема датчика теплового потока:

1 – корпус датчика; 2,4,5,6 – электроды; 3,7,8 – термопарные спай

Сигнал от ДТП регистрируется и измеряется с помощью измерительно-вычислительного прибора оригинальной конструкции, который способен осреднять показания сигнала от ДТП с уровнем менее 10 мкВ при частоте сигнала менее 10 Гц. Общий вид прибора приведен на рис. 3. Для тарировки этого датчика разработана конструктивно новая схема тарировочного комплекса (рис. 4). При этом спроектирован и изготовлен компенсационный калориметр для тарировки ДТП.

Выполненная экспериментальная проверка предложенного уточненного метода определения тепловых потоков показала, что оригинальная методика, предложенная автором, позволяет повысить точность измерения локальных тепловых потоков более чем на 12% по сравнению с существующими методами.

Статистический подход к обработке результатов экспериментальных исследований позволил разработать методику использования регрессионных моделей для прогнозирования теплового нагружения головок цилиндров транспортных дизелей в широком диапазоне режимов, включающую методику построения регрессионных моделей и порядок их использования при определении тепловых потоков в головку цилиндра.

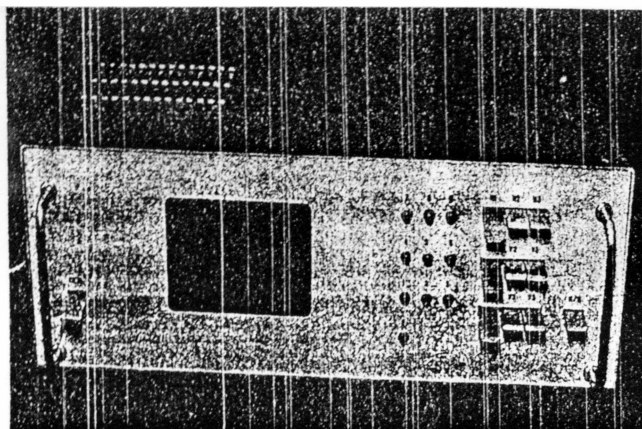


Рис. 3 Общий вид прибора для регистрации сигнала от ДТН

Методика построения регрессионных моделей дает возможность оперативно определять вид и порядок регрессионных зависимостей ЛТН в головку цилиндра транспортного дизеля от выбранных определяющих факторов для различных наборов исходных данных, формируемых по результатам как активных, так и пассивных экспериментов.

Выбранная совокупность статистических критериев дает возможность всесторонней проверки адекватности регрессионной модели, обеспечивает ее соответствие данным экспериментальных исследований дизеля.

Алгоритм и программа построения регрессионных моделей позволяет рассчитывать многофакторные регрессионные зависимости в виде линейных полиномов различных порядков и выполнять

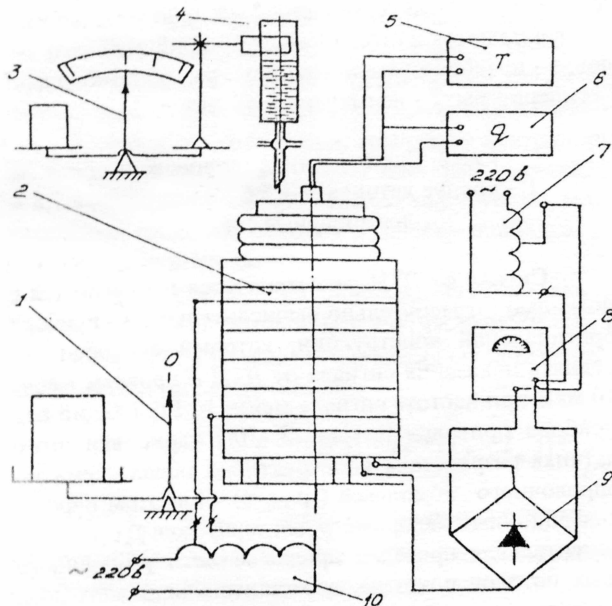


Рис. 4. Схема установки для тарировки датчиков теплового потока

1 - весовое устройство; 2- калориметр; 3 - весы; 4 - бюретка; 5 - эталонный прибор для измерения температуры; 6 - измерительный комплекс; 7 - латр внутреннего нагревателя; 8 - ваттметр; 9 - диодный мост; 10 - латр компенсационного нагревателя

их исследование методами корреляционного и дисперсионного анализов, обоснованно вводить в формируемые уравнения конкретные наборы определяющих факторов, исключать из рассмотрения переменные, не дающие существенного вклада в минимизацию суммы квадратов отклонении экспериментальных точек от значений, предсказываемых регрессионной моделью.

В главе 3 приведены регрессионные модели для прогнозирования тепловых потоков в головку цилиндра транспортного двигателя.

Экспериментальные исследования тепловых потоков в головки цилиндров проводились на дизелях семейства 8Ч12/12 и 8ЧН12/12 (КамАЗ-740) в лаборатории НАМИ. Стенд был оборудован комплексом контрольно-измерительных приборов в соответствии с ГОСТ 14846-81. Эксперимент проводился на следующих модификациях двигателя:

- серийный двигатель с наддувом КамАЗ-7408;
- газодизель на основе двигателя КамАЗ-7408;
- серийный дизель КамАЗ-740 без наддува.

Исследования тепловых потоков проводились для головок цилиндров, выполненных из алюминиевого сплава АЛ4, и экспериментальной головки из серого чугуна СЧ ХНМ.

Для проведения экспериментов изготовлены и протарированы по 20 датчиков тепловых потоков с корпусами, выполненными из алюминиевого сплава и чугуна. Из этих партий выбраны по 11 датчиков. Схема расстановки датчиков приведена на рис. 5.

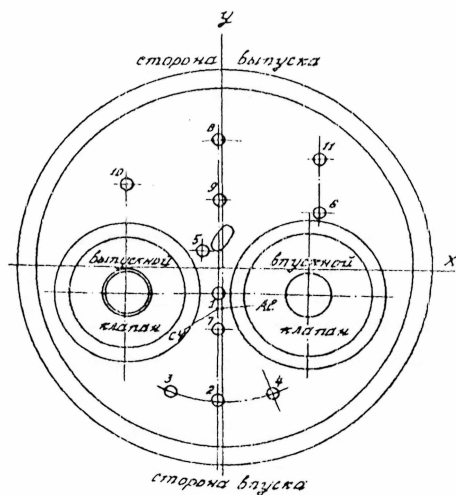


Рис. 5. Схема расстановки датчиков теплового потока

Анализируя информацию литературных источников по исследованиям теплового нагружения деталей ЦПГ можно сделать вывод, что величина локальных тепловых потоков в головку цилиндра определяется совокупностью следующих непосредственно контролируемых параметров двигателя: мощностью Ne (или средним эффективным давлением Pe), частотой вращения коленчатого вала n , расходом воздуха Ga , температурой выпускных газов Tg , часовым расходом топлива Gt , крутящим моментом M .

Степень влияния указанных выше параметров на величину теплового потока q определилась по результатам корреляционного анализа.

В результате проведенного корреляционного анализа установлено, что между указанными определяющими факторами существует эффект мультиколлинеарности, поэтому окончательно в качестве определяющих факторов для последующего введения в регрессионную модель оставлены координаты расположения датчиков X и Y , величины среднего эффективного давления Pe и частоты вращения коленчатого вала двигателя n с учетом их парных и квадратичных взаимодействий.

Регрессионные модели оценки ЛТП в головку цилиндра дизеля строятся по методу исключения переменных. При этом методе вначале строится регрессионная модель в виде уравнения (2)

$$q = b_0 + b_1 \cdot x + b_2 \cdot y + b_3 \cdot Pe + b_4 \cdot n + b_5 \cdot x \cdot y + b_6 \cdot x \cdot Pe + b_7 \cdot x \cdot n + b_8 \cdot y \cdot Pe + b_9 \cdot y \cdot n + b_{10} \cdot Pe \cdot n + b_{11} \cdot x^2 + b_{12} \cdot y^2 + b_{13} \cdot Pe^2 + b_{14} \cdot n^2. \quad (2)$$

В ее состав входят линейные, парные и квадратичные взаимодействия определяющих факторов. Заключение о необходимости включения того или иного фактора (или его взаимодействия) делается на основании T -критериев Стьюдента. Если для соответствующего фактора (или его взаимодействия) величина T -критерия превышает табличное значение, его необходимо оставить в регрессионном уравнении. В противном случае фактор подлежит исключению из регрессионной модели.

Окончательным уравнением для определения ЛТП в головку цилиндра из чугуна СЧ ХНМ дизеля с наддувом будет:

$$q = 8,056 + 0,02245 \cdot y + 6,48 \cdot Pe + 0,013 \cdot n + 0,000701 \cdot x \cdot y - 0,045 \cdot x \cdot Pe + 0,00416 \cdot Pe \cdot n - 0,00566 \cdot x^2 - 0,00406 \cdot y^2 - 0,00000329 \cdot n^2. \quad (3)$$

Для этого уравнения расчетные величины T -критериев коэффициентов превышают табличные значения, и ни один из параметров уже не может быть исключен из уравнения регрессии. Это уравнение является адекватным для описания изменения ЛТП, так как величина критерия Фишера для него $F = 187,00$ значительно превышает его табличное значение $F = 2,56$ при 95 % уровне значимости. Для него величины квадрата коэффициента множественной детерминации и стандартной ошибки оценки не превышают соответственно $R^2 = 0,966$ и $S = 1,83$.

Аналогичным образом получены регрессионные модели распределения ЛТП по огневому днищу головок цилиндров из серого чугуна (4) и сплава АЛ4 (5) для газодизеля, а также для головок из сплава АЛ4 для дизеля с наддувом (6) и без наддува (7):

$$q = 16,988 + 0,0579 \cdot x + 0,00269 \cdot n - 10,1 \cdot Pe - 0,133 \cdot x \cdot Pe + 0,1198 \cdot y \cdot Pe - 0,0066 \cdot x^2 - 0,00287 \cdot y^2 + 32,39 \cdot Pe^2; \quad (4)$$

$$q = 8,129 + 0,1657 \cdot x + 0,001851 \cdot n + 0,006443 \cdot x \cdot y + 0,2907 \cdot y \cdot Pe + 0,00002951 \cdot y \cdot n + 0,006576 \cdot Pe \cdot n + 0,004553 \cdot x^2 - 0,001412 \cdot y^2 + 13,93 \cdot Pe^2; \quad (5)$$

$$q = 3,657 - 0,0669 \cdot x - 0,125 \cdot y + 0,0126 \cdot n + 0,00222 \cdot x \cdot y + 0,0614 \cdot y \cdot Pe + 0,0000301 \cdot y \cdot n + 0,00563 \cdot Pe \cdot n - 0,00574 \cdot y^2 - 0,00000312 \cdot n^2; \quad (6)$$

$$q = 2,059 + 0,4198 \cdot x - 0,277 \cdot y + 0,00662 \cdot n + 0,00908 \cdot x \cdot y + 0,0000364 \cdot y \cdot n + 0,00878 \cdot Pe \cdot n - 0,01481 \cdot x^2 - 0,00609 \cdot y^2 - 0,000001098 \cdot n^2. \quad (7)$$

Поскольку серый чугун и сплав АЛ4 обладают различными теплофизическими свойствами, для их учета в уравнения регрессии вводится дополнительная переменная m - признак материала. Для серого чугуна принимаем ее значение $m=1$; для сплава АЛ4 - $m=2$.

Таким образом, обобщенное уравнение определения ЛГП в головку дизеля с наддувом с учетом признака материала имеет вид

$$q = 9,392 - 0,0333 \cdot x + 10,27 \cdot Pe + 0,0122 \cdot n + 0,00147 \cdot x \cdot y + 0,0442 \cdot y \cdot Pe + 0,00431 \cdot Pe \cdot n - 3,975 \cdot Pe \cdot m - 0,00443 \cdot x^2 - 0,00412 \cdot y^2 - 0,00000303 \cdot n^2 - 1,175 \cdot m^2, \quad (8)$$

а для газодизеля

$$q = 27,09 + 0,18 \cdot x + 10,66 \cdot m - 0,1445 \cdot x \cdot Pe - 0,1206 \cdot x \cdot m + 0,1519 \cdot y \cdot Pe - 0,01879 \cdot y \cdot m + 0,002058 \cdot m \cdot n - 0,006118 \cdot x^2 - 0,002917 \cdot y^2 + 21,11 \cdot Pe^2. \quad (9)$$

Для получения обобщенной модели локального теплового потока в головку цилиндра из сплава АЛ4 для всей исследованной совокупности двигателей (дизель с наддувом, дизель без наддува и газодизель) в уравнение регрессии введен признак R_p , который характеризует организацию и качество рабочего процесса. Величину R_p принимаем для дизеля с наддувом 1; для дизеля без наддува 2; для газодизеля 3.

Получаем регрессионную модель

$$q = 13,36 - 0,1279 \cdot x - 0,0444 \cdot y + 0,00661 \cdot n - 8,487 \cdot Rp + \\ + 0,00212 \cdot x \cdot y + 0,0000375 \cdot x \cdot n + 0,0327 \cdot x \cdot Rp + 0,1204 \cdot \\ \cdot y \cdot Pe - 0,0212 \cdot y \cdot Rp + 0,0053 \cdot Pe \cdot n + 3,466 \cdot Pe \cdot Rp - \\ - 0,001558 \cdot x^2 - 0,004388 \cdot y^2 - 0,00000126 \cdot n^2 + 1,519 \cdot Rp^2. \quad (10)$$

На основании проведенных расчетных исследований имеется принципиальная возможность получить полное уравнение определения ЛТП для генеральной совокупности экспериментальных данных всех обследованных двигателей с головками цилиндра из серого чугуна и сплава АЛ4 с учетом факторов m и Rp , которое имеет вид

$$q = 18,225 - 0,08229 \cdot x + 0,008739 \cdot n - 3,902 \cdot m - 4,87 \cdot Rp + \\ + 0,001159 \cdot x \cdot y - 0,05459 \cdot x \cdot Pe + 0,00002552 \cdot x \cdot n + 0,0313 \cdot x \cdot m + \\ + 0,0742 \cdot y \cdot Pe + 0,00319 \cdot Pe \cdot n + 1,867 \cdot Pe \cdot Rp - 0,686 \cdot m \cdot Rp - \\ - 0,00489 \cdot x^2 - 0,00319 \cdot y^2 + 7,32 \cdot Pe^2 - 0,00000178 \cdot n^2 + 1,233 \cdot Rp^2. \quad (11)$$

Полученные уравнения прошли необходимую статистическую проверку адекватности и значимости коэффициентов.

Оценка распределения локальных тепловых потоков в чугунную головку цилиндра дизеля КамАЗ-740 в относительном виде $q/q_{\max}$ выполнена для режима нагружения с $Pe=0,7$ Мпа и $n=1700$ об/мин.

Расчеты произведены по трем предложенным выше регрессионным моделям (3, 8 и 11), которые учитывают как свойства материала головки цилиндра дизеля, так и особенности организации рабочего процесса.

Результаты расчетов относительных величин локальных тепловых потоков в головку цилиндра дизеля $q/q_{\max}$, определенные по указанным выше регрессионным уравнениям, сравнивались с аналогичными величинами $q/q_{\max}$, рассчитанными по известной методике, приведенной в [*, (Телонапряженность двигателей внутреннего сгорания. Справочное пособие / А.К. Костин, В.В. Ларионов, Л.И. Михайлов. – Л.: Машиностроение, 1979. – 222 с.)]. Сравнительные диаграммы распределения относительных тепловых потоков в сечениях X-X и Y-Y (см. рис. 5) приведены на рис. 6 и 7.

Установлено, что формы кривых распределения $q/q_{\max}$, рассчитанных по уравнениям (3, 8 и 11) существенно отличаются от распределения $q/q_{\max}$, определенных по методике, представленной в [*. Это особенно заметно на периферии огневого днища ($R \approx \pm 60$ мм) и при $R/R_{\max} \approx 0,5$. Кривые распределения $q/q_{\max}$, рассчитанные по уравнениям (3, 8 и 11) имеют плавный характер, без перегибов и резких выбросов $q/q_{\max}$, что характеризует график распределения $q/q_{\max}$, оцененных по методике [*. Установлено также, что на краях огневого днища головки цилиндра данного типа дизелей ($R \approx \pm 60$ мм)

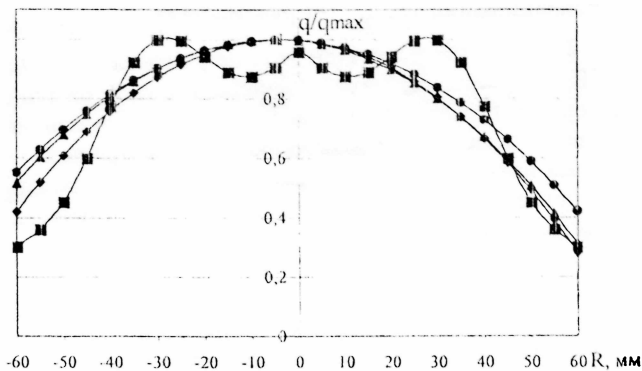


Рис. 6. Сравнительная диаграмма распределения тепловых потоков в сечении X-X, вычисленных по уравнениям.
—♦— 3; —●— 8; —▲— 11; —■— по методике [*]

величины $q/q_{\max}$, рассчитанных по методике [*], существенно ниже (примерно в 2 раза) величин $q/q_{\max}$, определенных по уравнениям (3, 8 и 11).

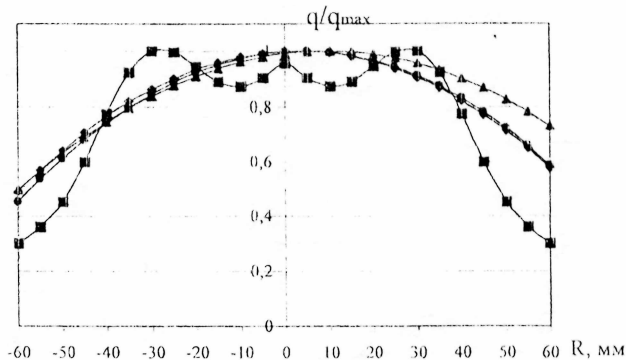


Рис. 7. Сравнительная диаграмма распределения тепловых потоков в сечении Y-Y, вычисленных по уравнениям:
—♦— 3; —●— 8; —▲— 11; —■— по методике [*]

Следует отметить, что характер распределения $q/q_{\max}$, полученный по предложенным автором уравнениям, хорошо согласуется с характером распределения $q/q_{\max}$, приведенным в работе [**, (Б.С. Стефановский. Теплонапряженность деталей быстроходных двигателей. – М.: Машиностроение, 1978. – 128 с.)] на рис. 16.

Существующие методики прогнозирования локальных тепловых потоков базируются на использовании $q_{\max}$ [*] или q_{Σ} [**] и распределении их в зависимости от R , d/D , ω_r/ω_R и т.д. При этом не учитываются индивидуальные особенности ДВС, а именно, свойства материала головки, расположение камеры сгорания и форсунки относительно нее, направление топливных факелов и т.п. Это существенно искажает предлагаемое осесимметричное распределение локальных тепловых потоков, которое определяется по методикам [*, **].

В главе 4 приведены результаты проверки эффективности применения предложенных моделей. Она осуществлена сравнением температур головки в характерных точках, полученных экспериментальным методом на работающем дизеле с их величинами, рассчитанными по МКЭ. При расчете для получения граничных условий 2-го рода по огневой поверхности головки использованы разработанные регрессионные модели определения тепловых потоков. При этом тепловые потоки определялись на режимах нагружения двигателя (по Pe и n) вне диапазона построения регрессионных моделей. Конечно-элементная разбивка головки цилиндра дизеля вдоль оси Y (см. рис. 5) приведена на рис. 8.

Граничные условия на огневой поверхности днища головки цилиндра рассчитывались в соответствии с параметрами режимов нагружения дизеля для $Pe=0,8$ МПа и частоты вращения коленчатого вала $n=2600$ об/мин. по регрессионным уравнениям (6, 8, 10, 11). Они приведены в таблице 1.

Таблица 1

Граничные условия по огневой поверхности днища головки из сплава АЛ4 для дизеля с наддувом q , Вт/см².

Номер уравнения	Номер линии					
	59	90	86	84	93	98
6	13,93	24,05	26,49	26,04	17,76	8,25
8	18,84	25,27	26,57	25,47	18,63	11,24
10	20,22	27,24	28,72	27,71	20,60	12,85
11	24,48	28,66	29,25	27,67	21,50	15,23

Граничные условия со стороны свободных поверхностей и поверхностей охлаждения задавались в соответствии с рекомендациями литературных источников. Расчеты величин граничных условий выполнялись по известным методикам.

Температуры в характерных точках головки цилиндра двигателя КамАЗ-740, определенные в результате натурного эксперимента и вычисленные по МКЭ, приведены в таблице 2.

При анализе теплового состояния головки цилиндра выявлено, что температуры и температурные напоры в полостях охлаждения не могут привести к режиму двухфазного охлаждения, что соответствует рекомендациям.

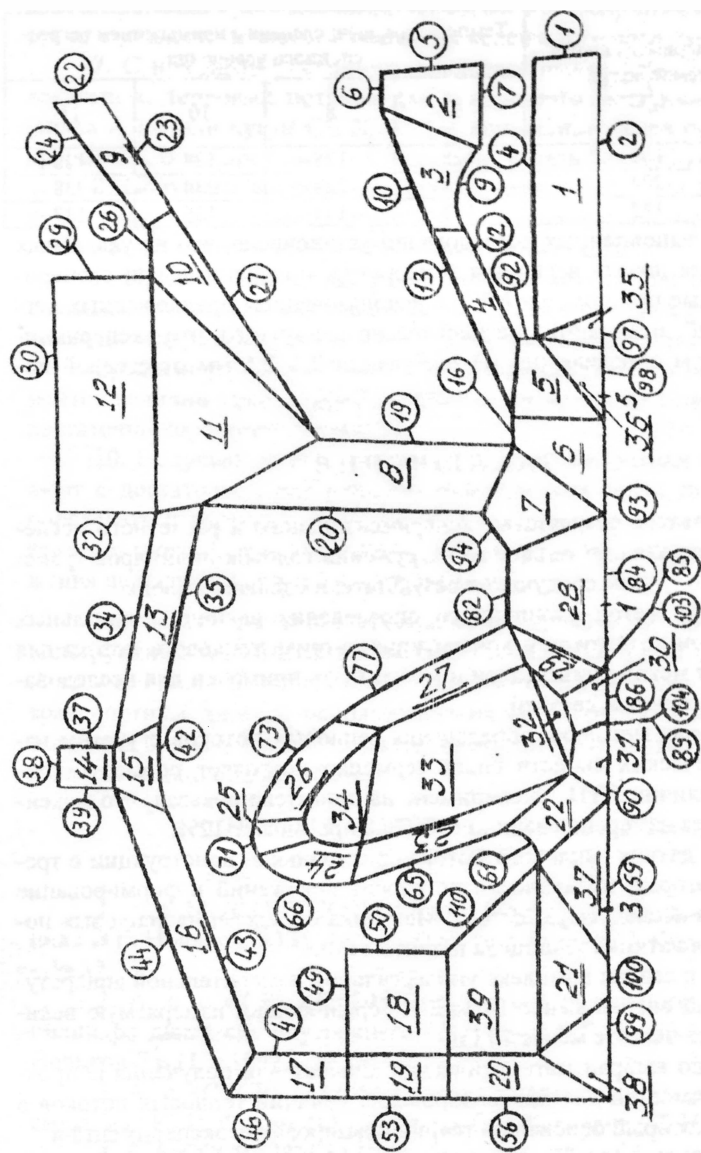


Рис. 8 Схема разбивки на области головки цилиндра дизеля КамАЗ-740 по оси Y (рис.5):

10 - номер области; 5 - номер линии области; 3, 1, 5 - характерные точки.

Температуры головки цилиндра двигателя КамАЗ-740 в характерных точках

Характерная точка по рис. 6	Экспериментальная температура $t, ^\circ\text{C}$	Температура, вычисленная с применением регрессионного уравнения			
		6	8	10	11
3	109	125	125	127	128
1	204	222	228	234	238
5	127	133	134	136	137

В результате выполненных исследований установлено, что на указанных режимах нагружения дизеля величины температур, полученные при эксперименте и рассчитанные при помощи МКЭ с использованием предложенных регрессионных моделей, отличаются незначительно ввиду того, что экспериментальные температуры определялись на расстоянии 2 – 2,5 мм от огневой поверхности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе изложены результаты экспериментального и расчетного исследования по прогнозированию теплового нагружения головок цилиндров транспортного дизеля. Получены следующие результаты и сделаны выводы:

1. Разработаны метод уточненного определения величины локальных стационарных тепловых потоков и конструкция датчика теплового потока для реализации ее. Этот метод универсален и может быть применен для исследования всех теплонагруженных деталей.

2. Предложенная методика определения тепловых потоков с учетом изменения теплофизических свойств спаев термпар позволяет повысить точность измерений величин ЛТП. Эксперимент на двигателе показал, что максимальная погрешность измерения величин ЛТП не превышает 12%.

3. Разработан датчик теплового потока оригинальной конструкции с тремя электродами, который практически не вносит искажений в формирование тепловых потоков в исследуемую деталь. Методика определения тепловых потоков и конструкция датчика защищена патентом РФ.

4. Разработан и создан комплекс универсальной измерительной аппаратуры, регистрирующий сигнал менее 10 мкВ и осредняющий измеряемую величину сигнала при его частоте менее 10 Гц.

5. Обоснованно выбран математический аппарат для получения аппроксимирующих зависимостей для прогнозирования величин тепловых потоков в головку цилиндра, который основан на теории планирования эксперимента и множественном регрессионном анализе данных.

6. Определены факторы, с помощью которых составлены регрессионные модели для определения величин локальных тепловых потоков в головку цилиндра транспортного дизеля в широком диапазоне эксплуатационных режи-

мов нагружения. Установлено, что комплекс параметров, определяющих величины локальных тепловых потоков в головку цилиндра, включает в себя координаты расположения датчиков тепловых потоков, значения среднего эффективного давления и частоты вращения коленчатого вала двигателя.

7. С помощью указанного комплекса параметров оценивается величина локальных, тепловых потоков для конкретного материала головки цилиндра (сплав АЛ-4 или чугун СЧ ХНМ) и конкретного типа организации рабочего процесса в цилиндре (дизель с наддувом, дизель без наддува и газодизель).

8. Получены аппроксимирующие зависимости для прогнозирования величин тепловых потоков в широком диапазоне режимов работы двигателя и в любой точке огневой поверхности головки цилиндра.

9. Предложена полная регрессионная модель для определения величин локальных тепловых потоков с учетом теплофизических свойств материала головки цилиндра и особенностей организации рабочего процесса двигателя.

Сравнение экспериментальных и вычисленных по методу конечных элементов величин температур для головки цилиндра из сплава АЛ-4 показали их достаточно хорошую сходимость.

10. Полученные регрессионные модели для оценки величин ЛТП позволяют с достаточной для решения практических задач точностью оперативно определять и прогнозировать уровень теплового состояния головки цилиндра транспортного дизеля типа КамАЗ-740 в широком диапазоне режимов нагружения двигателя и при его форсировании.

Результаты научного исследования применены при разработке новых конструкций деталей ЦПГ автомобильных дизелей в НАМИ, г. Москва, а методика уточненного определения теплового нагружения головок цилиндров транспортных дизелей использована на ПК «Брянский машиностроительный завод», г. Брянск, что подтверждается соответствующими актами, приведенными в диссертационной работе.

СПИСОК РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

1. А. с. 1420211 (СССР) Головка цилиндров двигателя внутреннего сгорания / В.Г. Новиков, Ю.И. Фокин, В.И. Воробьев, В.П. Фомин // Б.О.и И. – 1986. – № 32.

2. А. с. (СССР) 1726806 Система испарительного охлаждения крышки цилиндра двигателя внутреннего сгорания / В.В. Евенко, Г.Л. Васильев, В.Г. Новиков // Б.И. – 1992. - № 14.

3. А. с. (СССР) 1332054 Головка цилиндров для двигателя внутреннего сгорания / Ю.И. Фокин, В.Г. Новиков, Г.Л. Васильев // Б.И. и О. – 1987. - № 31.

4. А. с. СССР 1332055 Головка цилиндров для двигателя внутреннего сгорания / В.Г. Новиков, Ю.И. Фокин, В.И. Воробьев, В.И. Воробьев// Б.И. и О. – 1987. - № 31.

5. Патент 2063006 (РФ) Способ определения тепловыделения / В.Г. Новиков, А.В. Забрянский // Б.И. – 1996. – № 18.
6. Евенко В.И., Козлов Ю.С., Новиков В.Г. Выбор оптимального типа охлаждения крышек цилиндров тепловозных дизелей // Тез. докл. отраслевой конф.:–ВПИ, 1985. – С. 48.
7. Евенко В.И., Козлов Ю.С., Моисеенко М.А., Новиков В.Г. Стенд для исследования прочности головок дизеля // ЦННИИТЭИтяжмаш.-1985.-№ 12.- С.15.
8. Васильев Г.Л., Козлов Ю.С., Новиков В.Г. Исследование влияния различных факторов на температурное и напряженное состояние крышки цилиндров ДВС // Тез. докл. Всесоюз. техн. конф. – М., 1987. – С.132.
9. Забрянский А.В., Новиков В.Г. Экспериментальное определение граничных условий для решения задач теплопроводности при проектировании двигателей внутреннего сгорания. / Брянский инс-т тр. маш-ия, 1991. – 5 с. (Деп. в ИНИИГЭИавтопром 27.07.89, № 1918).
- 10 Забрянский А.В., Кратко А.П., Новиков В.Г. Методика определения теплонапряженного состояния головок дизелей // Тез. докл.IV Всесоюзн. научн.-техн. совещания “Динамика и прочность автомобиля”. - М., 1986.- С. 25.
11. Забрянский А.В., Козлов Ю.С, Новиков В.Г. Оценка влияния режимов охлаждения на температурное состояние крышек цилиндров ДВС // Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конфер.. «Повышение надежности и экологических показателей двигателей». – Горький, 1990 . - С. 33.
12. Забрянский А.В., Козлов Ю.С, Новиков В.Г. Повышение точности при определении граничных условий при разработке ДВС // Повышение надежности энергетических машин: Сб. науч. тр. Брянского гос. техн. ун-та. –1996. – С.105–111.
13. Забрянский А.В., Новиков В.Г. Методика тарирования датчиков для измерения стационарных тепловых потоков в деталях энергетических машин // Повышение надежности энергетических машин: Сб. науч. тр. Брянского гос. техн. ун-та. –1996.– С. 111 – 117.
14. Рогалев В.В., Козлов Ю.С., Новиков В.Г. Прогнозирование тепловых потоков в головках дизеля типа КамАЗ-740 // Тез. докл. 54-ой научн.-техн. конф. проф.-преп. состава БГТУ.– Брянск,1998.– С. 48- 63.
15. Новиков В.Г., Рогалев А.В. Прогнозирование теплового нагружения головок цилиндров двигателя КамАЗ-740 // Тез. докл. молодежной научн.-техн. конф. центра России.–Брянск, 2000.– С. 48- 63.
16. Новиков В.Г., Рогалев В.В. Прогнозирование нагружения теплонапряженных деталей двигателей // Новые идеи, технологии и инвестиции. Тез. докл. третьей региональной научн.-техн. конф. Брянск, 2001.– Ч.1.– С.55.
- 17 Новиков В.Г. Прогнозирование тепловых потоков в головках дизеля // Тез. докл. 56-ой научн.-техн. конф. проф.-преп. состава БГТУ–Брянск, 2002.– С.167-169.

НОВИКОВ
Виктор Григорьевич

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РАСЧЕТНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ
ТЕПЛОВОГО НАГРУЖЕНИЯ ГОЛОВКИ ЦИЛИНДРА
ТРАНСПОРТНОГО ДИЗЕЛЯ**

Подписано в печать 02.07.2004 Формат 60X84 1/16 Бумага офсетная.
Офсетная печать. Усл.печ.л. 1,16. Уч.- изд.л. 1,16 Тираж 100 экз.
Заказ 486 Бесплатно

Брянский государственный технический университет.
241035, Брянск, бульвар 50-летия Октября, 7 БГТУ. 55-90-49.
Лаборатория оперативной полиграфии БГТУ, ул. Институтская , 16.