

М 320618

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

МОСКОВСКОЕ
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшее
техническое училище им. Н.Э. Баумана

На правах рукописи

ТИМОХИН Александр Викторович

МЕТОДЫ РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТАВНЫХ
ПОРШНЕЙ ВЫСОКОФОРСИРОВАННЫХ СУДОВЫХ И ТЕПЛОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ
(05.04.02 - Тепловые двигатели)

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

Москва 1977

Работа выполнена в Московском ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище им.

Н.Э.Баумана.

Научные руководители: Заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор А.С.Орлин,
доктор технических наук, доцент
Н.Д.Чайнов.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор В.С.Жуковский,
кандидат технических наук
Д.К.Громыко.

Ведущее предприятие: Брянский машиностроительный завод.

Защита
на заседании
научно-технической
по адресу:
От
печатать уч
С д
Баумана.
Авт
УЧЕНЫЙ
197__г.
овые маши-
Баумана
нный пе-
су.
МВТУ им.
нушин

М 320618

Актуальность проблемы. XXV съездом КПСС на десятую пятилетку перед отечественным двигателестроением поставлена задача организовать производство новых типов тепловозных и судовых дизелей с прогрессивными технико-экономическими характеристиками и большой агрегатной мощностью. Основой для увеличения агрегатных мощностей является повышение среднего эффективного давления P_e . Освоение уровней форсирования по P_e до 20 - 25 кгс/см² для четырехтактных и 10 - 12 кгс/см² для двухтактных дизелей вызывает увеличение тепловых и механических нагрузок на детали, образующие камеру сгорания, к числу которых относятся и поршень. Более распространенной конструкцией с точки зрения долговечности и надежности при высоком уровне форсирования является составной поршень. В связи с этим вопросы расчетного и экспериментального исследования теплового и напряженно-деформированного состояний составных поршней являются актуальными.

Цель исследования. Целью настоящей работы является создание методов расчетного и экспериментального исследования составных поршней с учетом теплового и силового взаимодействий составляющих их деталей, а также оценка работоспособности поршней при высоком уровне форсирования дизелей.

Методы исследования. Сложность конструкции составного поршня обуславливает применение как теоретического, так и экспериментального методов исследования, основанных на использовании современных ЭВМ и средств физического моделирования.

Научная новизна. Разработан метод анализа теплового и напряженно-деформированного состояний системы контактирующих тел. Созданные на его основе методики расчета позволяют производить анализ теплового и напряженно-деформированного состояний составных поршней на стадии проектирования и доводки двигателя.

Практическая ценность. Разработанная методика решения контактных задач реализована в виде блока программ для ЭВМ "Минск-22", который позволяет производить анализ теплового и напряженно-деформированного состояний системы тел, находящихся в тепловом и силовом взаимодействии. Отработана методика физического моделирования теплового и напряженного состояний при высоком уровне тепловой нагрузки. В работе приводятся ре-

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1320618

Тихошин А.В. Методы расчета

зультаты расчетных и экспериментальных исследований поршней тепловозных и судовых дизелей, полученные в результате расчета на ЭВМ и на тепловых статических стендах с радиационным нагревом.

Внедрение и реализация в промышленности. Разработанные методики расчетного и экспериментального исследований составных поршней переданы коломенскому тепловозостроительному заводу им. Куибышева (КТЗ) и ряду научно-исследовательских организаций.

Апробация работы. Результаты работы докладывались на научно-технической конференции кафедры КДВС МВТУ им. Н.Э.Баумана в 1976 г., на Всесоюзной научно-технической конференции "Тепловыделение, теплообмен и теплонапряженность высокофорсированных ДВС, работа их на неуставившихся режимах" (г. Ленинград)

Публикации. Основное содержание диссертационной работы отражено в трех статьях.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Диссертация изложена на 190 страницах машинописного текста, включая введение, пять глав, общие выводы, 52 страницы иллюстраций и список литературы из 97 наименований.

Первая глава посвящена анализу развития конструкций поршней с масляным охлаждением тепловозных и судовых дизелей, а также методам их расчетного и экспериментального исследований. В процессе своего развития поршни с масляным охлаждением претерпели значительные конструктивные изменения, которые были вызваны повышением уровня форсирования дизелей. При высоком уровне форсирования конструкция монометаллического поршня с масляным охлаждением не обеспечивает надежную работу поршневой группы. В первую очередь это связано с ростом температуры и температурных напряжений, а также падением прочностных характеристик материала поршня. Поэтому при высоком уровне форсирования наиболее распространенной конструкцией становится составной поршень со стальной головкой и тронком из легкого сплава. К основным преимуществам составных поршней можно отнести следующие: высокую жаропрочность головки поршня, которая позволяет работать при температурах до 650°C ; возможность изго-

М В Т У
им. Н. Э. Баумана
ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ
БИБЛИОТЕКА

товления полостей охлаждения сложной геометрической формы, что обеспечивает эффективное охлаждение маслом; возможность применения термообработки головки поршня, что уменьшает износ трущихся частей; возможность установки небольших монтажных зазоров в районе головки и т.д. Учитывая вышеизложенное, за основную конструкцию в работе был выбран составной поршень.

Исследованию теплового и напряженного состояний поршней дизелей посвящено большое количество работ, к числу которых относятся труды Б.Я.Гинцбурга, Г.А.Давидова, А.С.Орлина, М.К.Овсянникова, А.В.Кострова, В.А.Ваншейдта и других авторов. Расчетные методики, предложенные в этих работах, позволяли приближенно оценивать уровни температур и напряжений в поршнях простой геометрической формы, которые применялись на дизелях с невысоким уровнем форсирования по P_e . Дальнейшее форсирование дизелей привело к конструктивному усложнению поршней, что потребовало применения более эффективных методов расчета теплового и напряженно-деформированного состояний. В настоящее время такие полноценные расчеты выполняются в основном с применением вычислительной техники. При этом наибольшее распространение из численных методов получил метод конечных элементов (МКЭ). Проблемам расчета МКЭ полей температур и напряжений в поршнях ДВС посвящены работы Э.Ваккера, м.Рорле, А.Сарстена, К.Хааланда, Л.А.Ивашенко, Н.п.Шаорова и других авторов. Основное внимание в этих работах уделялось вопросам реализации МКЭ применительно к расчету монометаллических поршней, а также отдельных компонентов составных конструкций поршней. Наибольшего распространения в расчетной практике получила постановка осесимметричной задачи. Это, в первую очередь, связано с большими затратами машинного времени и значительной трудоемкостью организации решения в трехмерной постановке.

В диссертации отмечается отсутствие методики расчета МКЭ составного поршня как системы контактирующих тел в существующих работах. Достоверность результатов, получаемых при помощи МКЭ, обычно проверяют решением контрольных задач, а также экспериментальным путем. Причем эксперимент в этом случае целесообразно проводить на стендах для физического моделирования, не прибегая к дорогостоящим экспериментам на двигателе. Методы экспериментального исследования поршней на стендах для физи-

ческого моделирования нашли широкое применение в ряде двигателестроительных и научных организаций, к числу которых можно отнести МВТУ, ЛПИ, ЦНИИ МПС, КТЭ, БМЗ, ВЭПИ, ЦНИДИ и др. Наибольшее распространение получили стенды для изучения последствий теплового нагружения. Анализ опубликованных данных показал, что наиболее перспективными из них являются стенды, в которых нагрев осуществляется при помощи горячих газов и лучистым потоком большой удельной мощности. Только эти источники тепла обеспечивают получение на тепловоспринимающей поверхности поршня плотность теплового потока порядка 400000 – 450000 ккал/м²ч, которая наблюдается при высоком уровне форсирования дизеля.

На основании изложенного в работе поставлены следующие задачи:

1. Разработать методику конечно-элементного анализа составных поршней, как системы контактирующих тел.
2. Проверить экспериментальным путем надежность разработанной методики расчета составных поршней на стенде для физического моделирования, а также выявить возможности имитации тепловых нагрузок, соответствующих высоким уровням форсирования дизелей, используя для этого радиационный нагрев.
3. Провести расчетное исследование поршней перспективных высокофорсированных тепловозных и судовых дизелей, используя разработанную методику конечно-элементного анализа.

Во второй главе излагаются методика расчета стационарного осесимметричного температурного поля МКЭ, методика задания граничных условий теплообмена в поршне и методика расчета МКЭ напряженно-деформированного состояния осесимметричных тел. Указанные алгоритмы явились базой для создания методики расчета системы контактирующих тел вращения. Для нахождения стационарного распределения температуры в твердом теле осесимметричной формы при использовании вариационной формулировки МКЭ необходимо найти последовательность функций, удовлетворяющих минимуму функционала вида:

$$\Phi = \int_V \left(\frac{1}{2} \lambda \left(\frac{\partial T}{\partial r} \right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right)^2 \right) - fT \bigg| r dr dz + \int_S r q T dS - \frac{1}{2} \int_S \alpha T^2 r dS,$$

где Ω - область, ограниченная контурами меридиального сечения тела вращения; λ - коэффициент теплопроводности; T - температура; f - интенсивность внутренних источников тепла; S - поверхность тела; α - коэффициент теплоотдачи; q - плотность теплового потока. Для построения минимизирующей последовательности функций область, в которой ищется распределение температуры, представляется системой конечных элементов. Далее выбирается вид координатной функции, описывающей однозначно распределение температуры в элементе. Процедура минимизации функционала по отношению к системе неизвестных температур приводит к системе линейных алгебраических уравнений:

$$[A] \begin{Bmatrix} T_1 \\ \vdots \\ T_n \end{Bmatrix} = \{R\},$$

где n - число узлов дискретной модели; $[A]$ - матрица теплопроводности системы элементов. Решив матричное уравнение относительно неизвестных температур, получим приближенное решение поставленной задачи.

Рассмотренный метод решения задачи теплопроводности позволяет учитывать произвольный характер изменения параметров теплообмена по тепловоспринимающим поверхностям в виде граничных условий I, II, III родов и их комбинаций.

Методика расчета МКЭ полей перемещений и напряжений тел вращения основана на методе перемещений. Процедура минимизации полной потенциальной энергии системы по отношению поля перемещений узлов дискретной модели тела, также как и в задаче теплопроводности, приводит к системе алгебраических уравнений, порядок которой равен произведению числа степеней свободы одного узла на число узлов системы

$$[K]\{\delta\} = \{R\} - \{F\}_g - \{F\}_{rc} - \{F\}_{e_0}.$$

где $[K]$ - матрица жесткости системы элементов; $\{\delta\}$ - вектор перемещений узлов; $\{R\}$ - вектор внешних сосредоточенных усилий, приложенных в узлах; $\{F\}_{rc}$, $\{F\}_g$ - векторы узловых усилий, статически эквивалентных распределенной внешней нагрузке и массовым силам соответственно; $\{F\}_{e_0}$ - вектор узловых усилий, статически эквивалентных напряжениям, вызванным на-

чальными деформациями. Решение этой системы уравнений с учетом граничных условий позволяет найти систему перемещений (δ). После этого производится расчет деформаций и напряжений в каждом элементе.

В третьей главе излагается методика расчета МКЭ теплового и напряженно-деформированного состояний составного поршня, как системы контактирующих тел. При расчете МКЭ теплового состояния системы сопряженных тел зону реального контакта удобно представить тонким слоем конечных элементов, обладающих специфическими свойствами, отличными от свойств материалов контактирующих деталей. Эта концепция позволяет учесть контактное термическое сопротивление, эффект выделения теплоты трения, а также ряд других тепловых процессов, наблюдаемых в реальных условиях подвижного или неподвижного, постоянного или периодического контактов.

При стационарном неподвижном контакте и заданной (выбранной) толщине контактного слоя элементов $\delta_{\text{эк}}$, условная теплопроводность материала слоя выражается через проводимость α_k контакта

$$\lambda_{\text{ус}} = \alpha_k \delta_{\text{эк}}$$

Если программы, реализующие процедуры МКЭ, позволяют задавать свойства среды индивидуально для каждого элемента, то представляется возможным учесть любой закон изменения давления в зоне контакта и вытекающий отсюда закон изменения термического сопротивления контактного перехода. В качестве иллюстрации на рис.1 приведена конечно-элементная аппроксимация сопряжения поршень-кольцо.

Представление зоны контакта системой конечных элементов оказывается полезным и для случая подвижного контакта в сопряжении при выделении тепла от трения. Элементы контактных слоев помимо условной теплопроводности в данном случае наделяются еще одним свойством: в их объеме действуют фиктивные распределенные источники тепла, производительность которых эквивалентна выделению тепла от трения

$$q_v = \frac{q_s}{\delta_{\text{эк}}},$$

где q_v - интенсивность фиктивных источников тепла; q_s - интенсивность выделения тепла от трения.

концепция фиктивных источников тепла и условной теплопроводности пригодна для расчета деталей с сопряжениями поршень-кольцо, головка - тронк и т.д. Используя разработанную методику, было произведено расчетное исследование теплового состояния составного поршня дизеля ЧН 26/26, в результате которого было получено температурное поле поршня (рис.3). Исследуемый составной поршень был представлен единой системой конечных элементов, расчет которой аналогичен расчету изолированной детали, с элементами, имеющими различные теплофизические свойства. Конечно-элементная модель поршня приведена на рис.2.

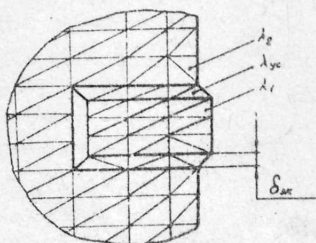


Рис.1. Конечно-элементное представление зоны контакта сопряжения поршень-кольцо

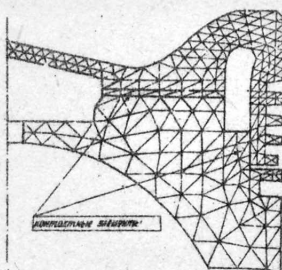


Рис.2. Дискретно-элементная модель составного поршня дизеля ЧН 26/26

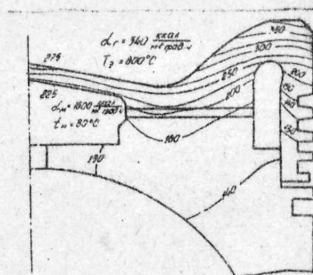


Рис.3. Температурное поле поршня дизеля ЧН 26/26

Расчет напряженно-деформированного состояния составного поршня сводится к расчету системы контактирующих тел с идеальными и реальными контактами в сопряжениях. Расчет систем с идеальными контактами в сопряжениях не представляет принципиальных трудностей и легко реализуется существующими программами МКЭ. Более сложная задача возникает при наличии реального контакта в сопряжениях поршня, так как в зонах контакта возможно их раскрытие, совместное перемещение контактирующих поверхностей или скольжение их относительно друг друга. Причем априори не всегда удастся определить конечный эффект взаимодействия в сопряжениях, что предопределяет построение итерационной схемы расчета.

Первый способ расчета перемещений и напряжений в такой системе тел с использованием МКЭ связан с представлением каждого из тел, входящего в состав системы отдельной дискретно-элементной моделью. В частности, указанная методика расчета была применена в работах Е. Вильсона, Б. Парсона, О. Сатоши, О. Зенкевича, А. Френкэвила, Ю. А. Шевченко и др. Каждую зону контакта в этом случае представляют в виде двойной системы узлов. В зависимости от величины усилий в сопряжении можно рассматривать следующие варианты: совместное перемещение точек контактирующих поверхностей; относительное перемещение в контакте; раскрытие стыка контактирующих деталей. К сожалению, данная процедура громоздка, кроме того, во время каждой итерации необходимы операции по исключению неизвестных из сформированной системы уравнений. Предложенный в настоящей работе прием расчета систем сопряженных деталей основан на замене зоны контакта слоем элементов, обладающих специфическими свойствами. Существенно, что этот прием совпадает с методом учета проводимости контакта при решении температурной задачи, поэтому сохраняется общность дискретно-элементной модели системы деталей для различных этапов расчета теплового и напряженного состояний деталей и вытекающая отсюда совместимость программы. Основные положения метода контактного слоя элементов можно свести к следующему: материал элементов контактного слоя обладает свойством трансверсальной изотропии; на поверхностях контактного слоя действуют усилия, эквивалентные силам трения в сопряжении. В этом случае расчет полей перемещений и напряже-

ний осуществляется по обычным программам МКЭ с небольшими изменениями, заключающимися в вычислении для элементов контактного слоя матриц упругости, соответствующих выбранному варианту анизотропии. Для осесимметричной задачи выражение матрицы упругости имеет следующий вид

$$[D]^* = \frac{E}{(1+\nu_1)(1-\nu_1-2\nu_2^2)} \begin{bmatrix} \kappa(1-\nu_1) & n\nu_2(1+\nu_1) & n\nu_2(1+\nu_1) & 0 \\ & S(1-n\nu_2^2) & S(n\nu_2^2+\nu_1) & 0 \\ & & S(1-n\nu_2^2) & 0 \\ \text{Симметрично} & & & m(1+\nu_1)/(1-\nu_1-2\nu_2^2) \end{bmatrix},$$

где ν_1 - коэффициент Пуассона, характеризующий сокращение размеров в плоскости изотропии при растяжении в этой же плоскости; ν_2 - коэффициент Пуассона, характеризующий сокращение размеров в плоскости изотропии при растяжении в направлении, перпендикулярном ей.

Для составных поршней наиболее характерны контакты на поверхностях $r = \text{const}$ и $z = \text{const}$. Для контакта поверхностей $z = \text{const}$ параметры в выражении $[D]^*$ определяются как $\bar{E} = E_a$; $n = E_{az}/\bar{E}$; $m = G_{r\theta}/\bar{E}$; $S = n$; $\kappa = 1$. Если принять $E_{r\theta} = 0$; $G_{r\theta} = 0$; $E_z = E$ и $\nu_1 = \nu$, то получим совместное перемещение современных поверхностей в осевом направлении и их свободное перемещение в радиальном направлении, ограничиваемое силами трения в сопряжении. Для контакта поверхностей $r = \text{const}$ параметры $\bar{E} = E_{r\theta}$; $n = E_a/\bar{E}$; $m = \bar{E}/G_{r\theta}$. Если принять $E_z = 0$; $\nu_1 = \nu$; $S = 1$; $\kappa = n$, то получим взаимодействие в сопряжении, соответствующее условию свободного скольжения в осевом направлении. Для оценки точности предложенного метода выполнено решение контрольной задачи о сжатии двух цилиндрических колонн. Выполненное решение показало, что результаты, получаемые МКЭ, близки по своим значениям к аналитическим и тем самым подтверждают правомерность разработанной методики.

На рис. 4 приведены результаты расчета напряженного состояния составного поршня дизеля ЧН 26/26 на режиме $P_g = 18,5 \text{ кгс/см}^2$, $n = 1000 \text{ об/мин}$. Расчеты выполнены в осесимметричной постановке с применением разработанной методики учета контактного взаимодействия в сопряжениях поршня.

Разработанный метод контактных элементов в сочетании с

методом эквивалентной жесткости позволяет учитывать в расчетной схеме наличие болтовых связей, которые вносят свой вклад в распределение напряжений в элементах составного поршня. В этом случае систему болтов или шпилек представляют единым осесимметричным телом, обладающим эквивалентной жесткостью (см. рис. 5). Ослабление элементов поршня отверстиями под болты учитывается аналогичным способом. Для этого материалу элементов системы болтов или отверстий подбирают значения физических констант (модуль упругости, коэффициент Пуассона) из условия равной жесткости.

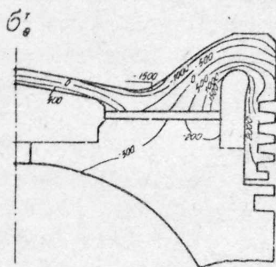


Рис. 4. Поле окружных температурных напряжений (кгс/см^2) в составном поршне дизеля ЧН 26/26

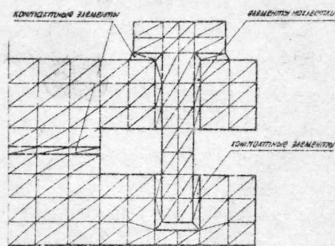


Рис. 5. Дискретно-элементное представление болтового соединения

В четвертой главе содержится методика экспериментального исследования теплового и напряженно-деформированного состояний поршней на тепловых статических стендах с радиационным нагревом от галогеновых ламп. На примере исследования составного поршня дизеля ЧН 26/26 была показана согласованность результатов экспериментального и расчетного исследований и тем самым была подтверждена правомерность разработанной методики расчета МКЭ составного поршня, как системы контактирующих тел. В главе приводятся результаты экспериментального исследования теплового состояния поршня тепловозного дизеля типа Д100 на тепловом статическом стенде, который был разработан и построен в ЦНИИ МПС при участии автора. Показано, что плотность теплового потока на поверхности днища указанного поршня

масляным охлаждением достигает 360000-380000 ккал/м²ч. Достигнутые величины плотности теплового потока, а также абсолютные уровни температур поршня приближаются к реальным значениям на работающем двигателе.

В пятой главе приводятся результаты расчетного исследования поршней судовых и тепловозных дизелей. Исследование четырех вариантов поршней высокофорсированного среднеоборотного четырехтактного судового дизеля ЧН 48/52 производилось при двух уровнях форсирования до P_e 19,5 и 25 кгс/см². Расчеты выполнялись по методике, изложенной в главах II-III. Анализ теплового и напряженно-деформированного состояния показал, что наиболее работоспособной конструкцией при форсировании дизеля ЧН 48/52 выше 20 кгс/см² является составной поршень со стальной головкой и тронком из легкого сплава. Чугунный тонкостенный поршень имеет более высокий уровень механических и температурных напряжений в районе компрессионных колец и при его использовании необходимо в первую очередь оптимизировать конструкцию в районе второго компрессионного кольца. У поршней из легкого сплава (со вставкой из чугуна типа нирезиста и без нее) при $P_e = 19,5$ кгс/см² опасным местом является верхняя часть полости охлаждения. Кроме того, у них наблюдается повышенный уровень температур на указанном режиме работы в районе верхнего компрессионного кольца. И если учесть, что кремний-алюминиевые сплавы плохо сопротивляются износу и ударным нагрузкам, то можно ожидать, что при работе дизеля на тяжелом топливе, даже при $P_e = 19,5$ кгс/см² данные конструкции поршней не обеспечат его надежной работы. Результаты расчета теплового состояния указанных поршней приведены на рис.6-7.

В этой главе также рассматриваются особенности расчета зон с высокой концентрацией напряжений, в частности нирезистовой вставки поршня из легкого сплава. Для этих целей расчет выполняется в два этапа. На первом этапе производится расчет полей температур, перемещений и напряжений для конечно-элементной модели деталей, представленной в виде совокупности конечных элементов, имеющих сравнительно крупные размеры. Далее на втором этапе выделяются зоны с концентрацией напряжений и заменяют их локальными конечно-элементными моделями, использующими элементы значительно меньших размеров. Указан-

ный прием расчета позволил получить подробные поля напряжений в нирезиновой вставке. Применение методов эквивалентной жесткости и эквивалентной теплопроводности позволило рассчитать два варианта поршней дизеля типа Д100 (вариант 14В и З), у которых имеется оребрение, нарушающее осевую симметрию.

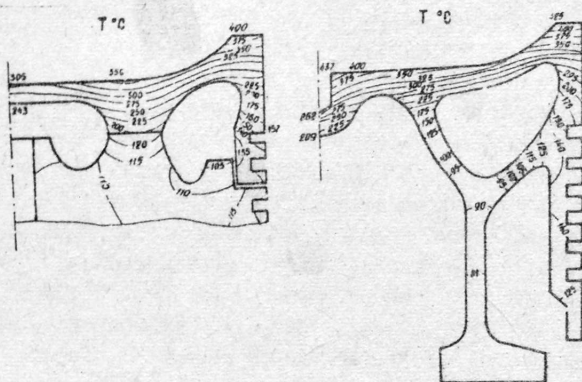


Рис.6. Температурные поля составного и чугунного поршней дизеля ЧН 48/52 на режиме $P_e = 25 \text{ кгс/см}^2$; $n = 470 \text{ об/мин}$

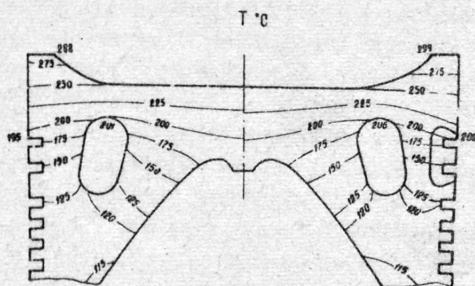


Рис.7. Температурные поля поршней из легкого сплава дизеля ЧН 48/52 на режиме $P_e = 12,5 \text{ кгс/см}^2$, $n = 470 \text{ об/мин}$

В этом случае система ребер заменяется совокупностью конечных элементов, материал которых имеет соответствующим образом подобранные физические и теплофизические константы. Проведенное исследование показало более высокую надежность поршня варианта 14В при нормальном охлаждении маслом и при отсутствии охлаждения. Отмечается хорошее совпадение, рассчитанного МКЭ температурного поля поршня варианта 3 с полем, полученным на работающем двигателе при помощи термопар с периодическим включением.

ВЫВОДЫ

По результатам методических разработок, экспериментальных и расчетных исследований можно сделать следующие основные выводы.

1. Разработана методика расчета теплового и напряженно-деформированного состояний составных поршней современных высокофорсированных ДВС.

2. Разработанные методы расчета позволяют производить анализ составных поршней с учетом болтовых связей, а также получать подробные поля напряжений в зонах с концентрацией. Кроме того, эти методы успешно применяются при расчете орбренных конструкций поршней.

3. Надежность методики расчета систем контактирующих тел МКЭ проверена решением контрольной задачи и экспериментальным путем.

4. Выполненные расчетные исследования поршней среднеоборотного четырехтактного дизеля с использованием модифицированных программ, реализующих МКЭ, показали, что при дальнейшем форсировании дизеля по среднему эффективному давлению (выше 20 кгс/см^2) наиболее работоспособной конструкцией является составной поршень.

5. Сравнение результатов расчета МКЭ и эксперимента на двигателе подтверждает надежность расчетных методов анализа теплового состояния поршней.

6. Результаты стендовых испытаний поршней показали, что для имитации высоких тепловых нагрузок целесообразно использование радиационных источников тепла, в частности, галогеновых ламп.

По материалам диссертации опубликовано:

1. Орлин А.С., Иващенко Н.А., Тимохин А.В. Тепловое состояние поршней дизеля. "Известия вузов. машиностроение", № 5, 1976.

2. Орлин А.С., Иващенко Н.А., Тимохин А.В. Расчет напряженно-деформированного состояния составных поршней ДВС. "Известия вузов. Машиностроение", № 12, 1976.

3. Орлин А.С., Иващенко Н.А., Тимохин А.В. Тепловое и напряженно-деформированное состояние поршней среднеоборотного высокофорсированного двигателя. Сб. "Комбинированные двигатели внутреннего сгорания". М., 1977 (Труды МВТУ № 257, вып.1).

У 02056. Подписано в печать 7.12.77. Формат 60х84 1/16. Бумага
для мнoжит.техники. Объем 0,93 усл.печ.л., 0,85 уч.-изд.л.
Тираж 100 экз. Заказ № 159 Бесплатно.

Отпечатано на ротапринте Владимирского политехнического института
г.Владимир, ул.Горького, д.87 •