

РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА ТЕПЛОВЫХ НАПРЯЖЕНИЙ КАРТЕРА ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ТРАКТОРА

В.А. Романов

Применительно к задаче расчетного прогнозирования нагруженности картера четырехцилиндрового рядного дизельного двигателя ЧН 13/15 промышленного трактора предложена модель, ориентированная на исследование влияния конструктивных модификаций рубашки охлаждения на тепловые напряжения. Кроме картера в состав геометрической модели включены гильзы и головки цилиндров. Это позволило, с одной стороны – более точно моделировать граничные условия самого картера, а с другой стороны – расширить круг моделируемых проблем вопросами равномерности охлаждения гильз цилиндров и локализации зон возможных локальных перегревов, возникающих в зонах закипания охлаждающей жидкости.

Расчетное определение теплового состояния картера дизельного двигателя требует построения взаимодействующих между собой нестационарных тепловых моделей сгорающей топливной смеси, окружающих камеры сгорания деталей и охлаждающей жидкости. Строгое определение изменения во времени нестационарных тепловых полей по всему объему двигателя требует значительных вычислительных затрат. В качестве альтернативы использована упрощенная модель, ориентированная на расчет той составляющей теплового нагружения, относительно которой в каждом цикле совершаются колебания, обусловленные тактовым характером работы двигателя. В рамках допущения о существовании стационарного режима работы двигателя, эта составляющая температуры рассматривается как независимая от времени.

Расчет выполнен в междисциплинарной постановке FSI (Oneway Fluid-Structure Interaction analysis), когда собственно конструкционному расчету механики деформируемого твердого тела (Structural Analysis) предшествует решение задачи механики жидкости и газа CFD (Computational Fluid Dynamics). Использован метод конечных элементов (КЭ), реализованный в пакете прикладных программ Ansys v 13.0.

Геометрическая модель задачи включает твердотельные домены картера и гильз цилиндров, потоковый домен охлаждающей жидкости и четыре газовых домена, в которых локализованы области тепловыделения (рис. 1).

Основными упрощающими допущениями CFD модели являются:

1. Игнорирование тактового характера движения газа в газовых доменах и, как результат, последовательности воспламенения топливной смеси в отдельных цилиндрах. Течение газа в каждом из газовых доменов принято независимым и стационарным с известным массовым расходом и температурой на входе.

2. В каждом из четырех газовых доменов в верхней трети цилиндрической области, ограничиваемой гильзой цилиндра, располагается источник тепла известной мощности, полученной на основании заявленной мощности двигателя и его индикаторного к.п.д.

3. Граничные условия по поверхностям, отличным от поверхностей контакта доменов, соответствуют граничным условиям III рода с известными коэффициентами теплоотдачи и температурой окружающей среды.

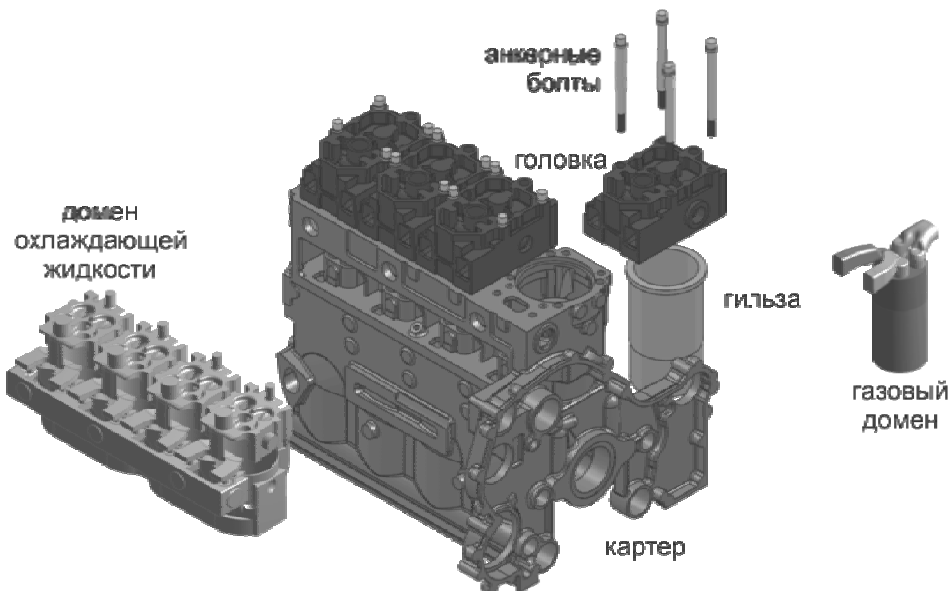


Рис. 1. Элементы модели теплового расчета картера дизельного двигателя

Суммарное количество элементов в КЭ разбиении CFD модели составило около 3,5 млн элементов первого порядка (при числе узлов немногим более 1 млн). Области потоковых доменов, соприкасающиеся с твердотельными доменами (пристеночные зоны) разбивались пятью слоями призматических элементов, остальные области разбивались тетраэдрами с характерным размером 3 мм.

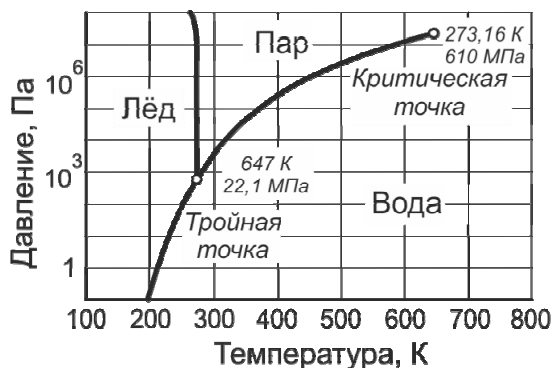


Рис. 2. Фазовая диаграмма охлаждающей жидкости

В качестве охлаждающей жидкости использована модель двухфазной среды (Homogeneous Binary Mixture), соответствующей термодинамическим свойствам воды и пара [1] (рис. 2).

Полученные в результате решения CFD задачи поля температур по всем поверхностям твердотельной части модели, интерполировались на другую КЭ сетку твердотельной части модели. Эта сетка использовалась сначала для выполнения расчета установившегося

теплового состояния (Steady-State Thermal Analysis, тип элемента Solid70: восемь узлов, степенью свободы в каждом узле является температура). Затем эта же сетка использовалась для выполнения расчета полей тепловых перемещений и напряжений (Static Structural Thermal Deformation, тип элемента Solid185, восемь узлов, степени свободы: перемещения в трех независимых направлениях). При выборе характерного размера конечного элемента сетки для конструкционного расчета была учтена структурная неоднородность материала картера (ВЧ-50), обуславливающая слабую чувствительность чугунов к концентрации напряжений. Выбор размера выполнен после испытаний образцов, содержащих концентраторы напряжений, и сопоставления результатов испытаний с соответствующими расчетными экспериментами методом КЭ. По результатам анализа характерный размер КЭ принят равным 3,5 мм, общее число элементов модели составило 3,2 млн (число узлов около 1,1 млн).

Для численного моделирования использована четырехпроцессорная рабочая станция с 24 Гб оперативной памяти.

Обсуждаемая расчетная модель картера использована для анализа целесообразности внесения изменений в геометрию рубашки охлаждения картера экспериментального двигателя, пробные запуски которого сопровождались задирами поршней крайних цилиндров. Рассмотрено несколько вариантов модификации рубашки охлаждения. Вид исходной и одной из модифицированных рубашек, характер изменения потоков охлаждающей жидкости показан на рис. 3 а, б (на рис. 3 плотность линий тока пропорциональна расходу жидкости в рассматриваемой точке объема).

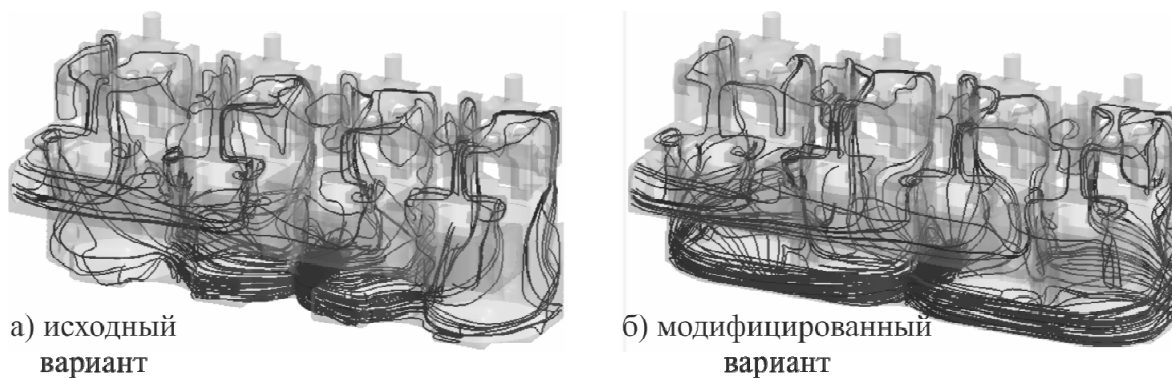


Рис. 3. Вид пространственной области, занимаемой охлаждающей жидкостью для двух вариантов исполнения картера и линии тока охлаждающей жидкости

Показано, что изменение пространственной геометрии области, занимаемой охлаждающей жидкостью без изменения расхода, позволяет практически исключить закипание охлаждающей жидкости, проявляющееся в исходном варианте рубашки охлаждения (рис. 4). Сравнение тепловых полей в установившемся состоянии показало, что модификация рубашки охлаждения позволяет существенно сблизить тепловые состояния гильз

разных цилиндров и заметно выровнять тепловые деформации по высоте каждого цилиндра.

Для рассмотренного двигателя наиболее теплонагруженными элементами конструкции картера как исходного, так и модифицированного вариантов, оказались перегородки между цилиндрами. На рис. 5 показаны распределения первых главных напряжений в одной из перегородок. Графики построены для двух взаимно перпендикулярных направлений.

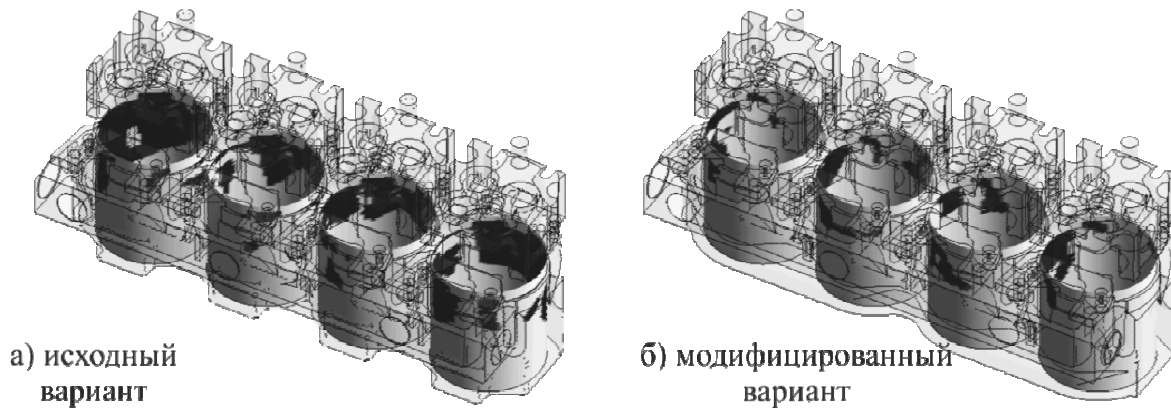


Рис. 4. Локализации областей закипания охлаждающей жидкости

Кроме расчета тепловых напряжений для случая двухфазной модели охлаждения, на рис. 5 показаны результаты расчета с использованием однофазной модели охлаждающей жидкости. Снижение максимальных тепловых напряжений в результате модификации рубашки охлаждения составляет не менее 60 %.

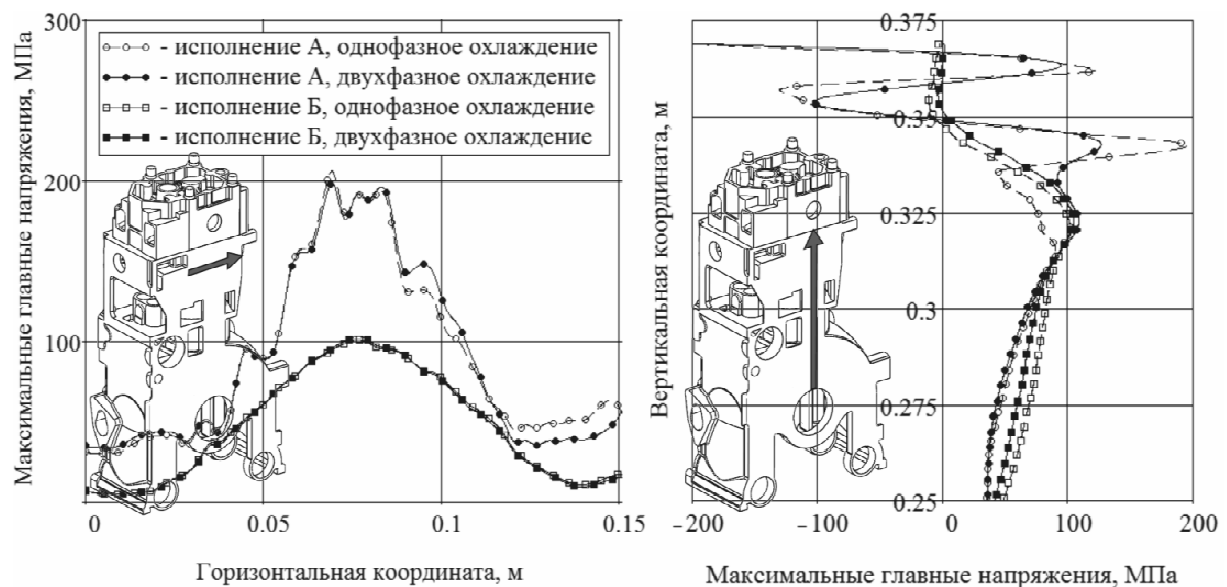


Рис. 5. Тепловые напряжения в картере вблизи области наибольших значений первых главных напряжений

Выполненная работа демонстрирует широкие возможности, предоставляемые CAD/CAE системами, объединенными в рамках CALS-технологий (Continuous Acquisition and Life cycle Support), широко применяемых за рубежом при проектировании и сопровождении современных двигателей внутреннего сгорания.

Библиографический список

1. Wagner, W. The Industrial Standard IAPWS-IF97: Properties of Water and Steam / W. Wagner, A. Kruse. – Berlin: Springer, 1998.