

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГОЛОВКИ ЦИЛИНРА МАЛОГАБАРИТНОГО ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ С УЧЕТОМ ОЦЕНКИ ТЕРМОНАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ

П.Р. Вальехо Мальдонадо, Д.К. Гришин

Российский университет дружбы народов
Ул. Миклухо-Макляя, 6, Москва, Россия, 117198

В.А. Лодня, Е.А. Сигаи

Белорусский государственный университет транспорта
Ул. Кирова, 34, Гомель, Беларусь, 246653

На примере проектирования головки малогабаритного дизельного двигателя МД-8 приводится методика и даны результаты анализа теплового состояния конструкции с использованием инструментария Solid Works и COSMOS Works.

Показано, что существующая в Autodesk Inventor концепция организации и построения сборок наиболее приемлема в практике двигателестроения с учетом большого объема изменяющихся анализируемых параметров.

Ключевые слова: дизельный двигатель, головка цилиндров, поршень, напряжения, температура.

Большое разнообразие конструкций дизельных двигателей далеко не всегда позволяет выработать универсальный подход к проектированию и оптимизации конструктивных решений. Однако общей тенденцией для современных двигателей является уменьшение габаритов и массы конструкции при обеспечении необходимого моторесурса и уровня эколого-экономических показателей.

Головка цилиндра двигателя является одной из важнейших деталей, несущей высокие тепловые и механические нагрузки. Она имеет сложную геометрическую форму, и ее отдельные части подвергаются неравномерному нагреву. Совершенство конструкции головки цилиндра в значительной степени определяет совершенство конструкции двигателя. Создание оптимальной конструкции головки еще не гарантирует надежную работу системы охлаждения и двигателя в целом, но в значительной мере предопределяет ее.

К конструкции головки предъявляются следующие основные требования:

- соответствие величины поверхности охлаждающих ребер количеству отводимой тепловой энергии при заданном расходе охлаждающего воздуха;
- равномерность распределения рабочих температур между отдельными зонами головки; эти температуры не должны превышать критических значений для металла головки;
- высокая прочность и отсутствие деформации головки при работе двигателя во всем диапазоне температурных режимов;
- минимальное аэродинамическое сопротивление головки при обдуве ее воздухом;

- устранение мертвых зон и излишних поворотов воздушных каналов, резких изменений их размеров и формы сечений в направлении движения воздуха;
- технологичность конструкции головки.

Одно из наиболее важных требований к головке цилиндра — рациональное и достаточное охлаждение стенок камеры сгорания и выпускного канала. С одной стороны, это предполагает интенсивный отвод теплоты от наиболее теплонапряженных поверхностей головки в охлаждающую среду, т.е. эффективное охлаждение за счет создания в головке потоков определенного направления. С этим связаны сложные геометрические формы в конструкции головки, что напрямую определяет технологичность и, как следствие, себестоимость производства. С другой стороны, в стенках головки не должно возникать больших перепадов температур. Обычно это наблюдается при значительном изменении толщины стенок камеры сгорания и различной интенсивности их охлаждения. Наличие неравномерно нагретых зон головки также отрицательно влияет на безотказную работу механизмов головки, имеющих сопрягающиеся подвижные соединения.

Немаловажен фактор выбора материала для головки дизельного двигателя. Преимуществом чугуна является низкий коэффициент температурного расширения, высокая жаропрочность и износостойкость. Однако чугунные головки резко увеличивают массу двигателя, что существенно влияет на показатели качества малогабаритного дизеля. Кроме того, из-за своей низкой пластичности чугун чувствителен к локальным перегревам, ведущим к появлению трещин, особенно вблизи седел выпускных клапанов. Вследствие этого чугун в настоящее время в конструкциях головок цилиндров практически полностью заменен силуминами — алюминиевыми сплавами с содержанием кремния 6—10%, обладающими более высокой теплопроводностью.

Перечисленные требования являются весьма важными и вместе с тем трудновыполнимыми. Создание оптимальной конструкции головки цилиндра дизельного двигателя становится сложной оптимизационной задачей со многими значащими факторами. Решать такого рода задачу традиционными методами с применением натурного эксперимента малоэффективно, так как это требует значительного временного и материального ресурса и экономически нецелесообразно.

Повышение эффективности проектирования головки цилиндра с учетом максимально возможных значащих факторов при сжатых сроках проектирования и обеспечении технологичности возможно только на основе использования *CAD* — систем автоматического проектирования с построением легко модифицируемой *3D*-модели.

Процесс решения указанной задачи включает два этапа. На первом этапе производится автоматизированное построение твердотельной модели сборки деталей головки проектируемого дизеля, на втором — автоматизированное моделирование теплонапряженного состояния головки, которое производится на основе построенной твердотельной модели. Оба этапа реализуются путем применения для каждого из них соответствующих программных пакетов: для первого этапа — пакета твердотельного моделирования Autodesk Inventor, для второго этапа — системы COSMOS Works, способной выполнить необходимые расчеты. Совокупность этих пакетов составляет проектный комплекс.

При выборе конкретных инструментов моделирования и методов анализа предпочтение следует отдавать пакетам, имеющим достаточный функциональный инструментарий, позволяющий оценить проектные решения с достаточной степенью точности. Немаловажными факторами при выборе *CAD*-системы является дружелюбность интерфейса (что напрямую определяет скорость решения и упрощает проектирование), наличие средств визуализации получаемых результатов, а также распространенность пакетов в практике машиностроения в целом и в двигателестроении в частности.

Необходимость моделирования теплового состояния головки дизеля при проектировании обуславливается такими проблемами, как возникновение задиров в паре «направляющая втулка — выпускной клапан» и поломка пружин клапанов.

Ниже приводятся результаты решения рассматриваемой задачи на примере проектирования головки малогабаритного дизельного двигателя МД-8.

На первом этапе производилось построение твердотельных моделей деталей головки дизельного двигателя МД-8 и сборочной модели в целом. Исходными данными послужили чертежи реальной конструкции, на основании которых были построены трехмерные модели в формате *IGES* и *IAM*. Затем средствами *Autodesk Inventor* были проверены целостность построенных моделей и отсутствие пересечения деталей в сборке. На рис. 1 и 2 показаны соответственно модели деталей и сборки головки дизельного двигателя МД-8. Совокупность данных моделей является цифровым образом реальной конструкции головки, служащим основой для последующего проведения вычислительного эксперимента.

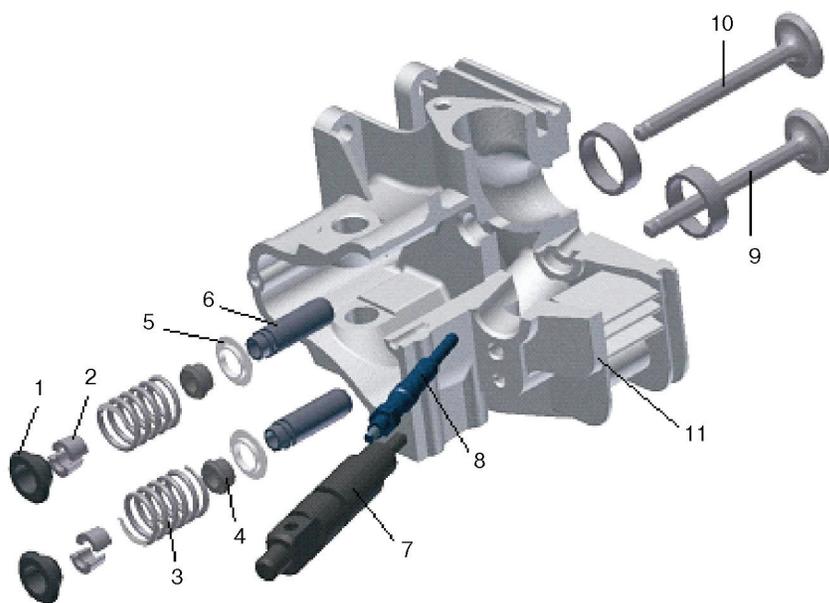


Рис. 1. Трехмерные модели деталей головки двигателя МД-8 с воздушным охлаждением:

- 1 — втулка пружины клапана; 2 — сухарик; 3 — пружина; 4 — маслоотражательный колпачок;
- 5 — опорная шайба пружины клапана; 6 — направляющая втулка; 7 — форсунка; 8 — свеча накаливания; 9 — впускной клапан; 10 — выпускной клапан; 11 — головка

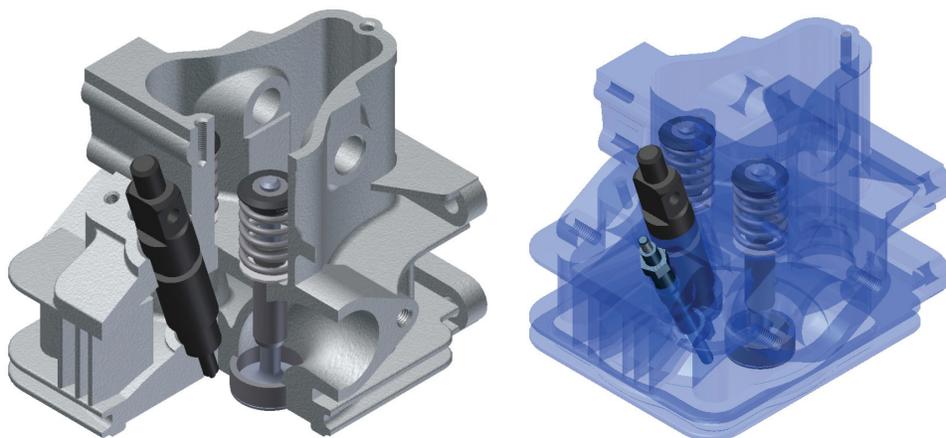


Рис. 2. Трехмерная сборочная модель головки двигателя МД-8

Пространственная модель объекта, созданная в виде сборки Solid Works, содержит совокупность взаимосвязей, определяющих взаимное положение компонентов и их взаимодействие при перемещении. При моделировании принимались некоторые ограничения. В частности, температура нагрева днища головки в зоне перемычки между клапанами принята равной 336 °С (по данным термометрических измерений головки на Гомельском заводе). Эта температура была получена без учета воздушного охлаждения головки, что соответствует наиболее неблагоприятным условиям работы дизеля.

В дальнейшем сборка анализировалась в программном комплексе COSMOS Works. Данный комплекс требует соблюдения базового алгоритма метода конечных элементов, предоставляя внутри каждого этапа определенную свободу в последовательности шагов подготовки модели и рассмотрении результатов. Расчет проводился в упругой постановке.

Первым этапом анализа явилось создание его алгоритма, включающего в себя построение расчетной модели определенного типа (термического, статического), задание граничных условий, получение результатов в графическом виде, а также выполнение соответствующих настроек, которые могут быть изменены пользователем перед выполнением нового варианта расчета.

Следующим этапом стала подготовка исходных данных, необходимых для заданного анализа. В частности, были назначены материалы для всех деталей сборки, определены граничные условия, учитывающие неподвижность днища головки двигателя и горячую посадку направляющей втулки в головку (рис. 3). Учитывалось, что температурный обмен присутствует лишь во впускном коллекторе за счет поступающего воздушного заряда. Для рассматриваемой задачи в упругой постановке граничные условия не изменяются во времени. Расчетная модель сборки при статическом анализе учитывает совместное перемещение сопряженных элементов. На направляющей втулке клапана в месте ее посадки программно имитировался натяг для моделирования механического напряженного состояния, соответствующего горячей посадке.

Важным этапом в расчете методом конечных элементов является создание расчетной сетки, когда модель разбивается на элементарные геометрические составляющие, такие как тетраэдр, параллелепипед, цилиндр с определенными взаимосвязями между ними. Чем меньше ячейка сетки, тем точнее результат, но больше время расчета. COSMOS Works не имеет инструментов для ручного создания сетки. Данная система формируется автоматически без возможности последующей корректировки. Проектировщику предоставляется лишь возможность выбора размера конечного элемента и уплотнения сетки. Сетку следует создавать таким образом, чтобы наиболее эффективно использовались вычислительные мощности. Для рассматриваемой модели (рис. 4) сетка была построена автоматически с последующим ее уплотнением на участках со сложной геометрией и в местах, вызывавших указанные выше проблемы.

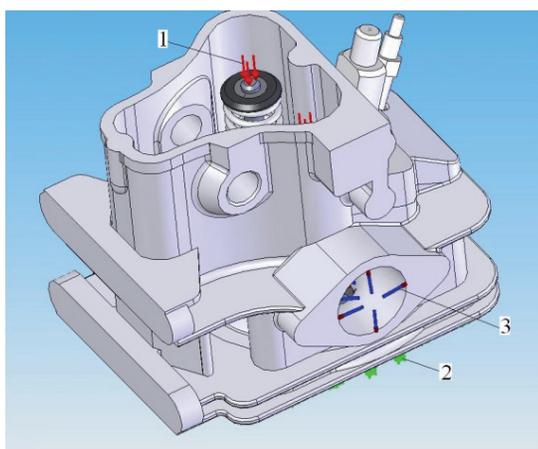


Рис. 3. Определение граничных условий.

1 — усилие со стороны коромысла; 2 — граничные условия в днище; 3 — граничные условия в выпускном коллекторе

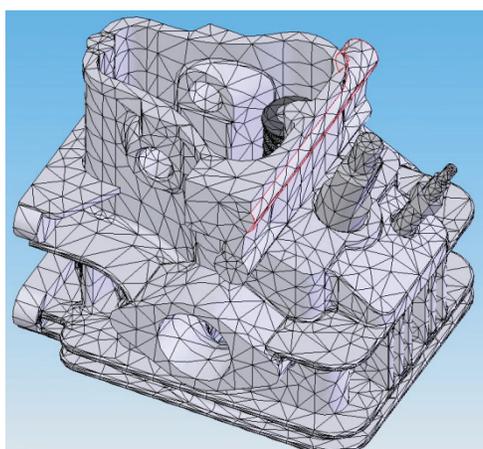


Рис. 4. Конечно-элементная модель головки двигателя МД-8

Конечным этапом исследований явился расчет и вывод результатов в графическом и численном видах (рис. 5).

Для оценки точности полученных решений проводилась серия расчетов на сетках с разным разрешением геометрических особенностей модели, отличающихся размером и количеством ячеек. При оценке результатов использовалась градиентная окраска распределения температурных полей по объему конструкции, что позволило проводить многофакторный анализ. Были выделены критические участки и проведена оптимизация исходной геометрии конструкции в Autodesk Inventor.

Таким образом, существующая в Autodesk Inventor концепция организации и построения сборок наиболее приемлема в практике двигателестроения с учетом большого объема изменяющихся анализируемых параметров. Рассмотренная технология моделирования позволяет оперативно выполнять большое количество экспериментов, варьируя как граничные условия, так и геометрические формы конст-

рукции головки. В данном подходе к проектированию и анализу реальной конструкции обеспечивается получение оптимального проектного решения и значительное снижение затрат, связанных обычно с необходимостью проведения натурного эксперимента.

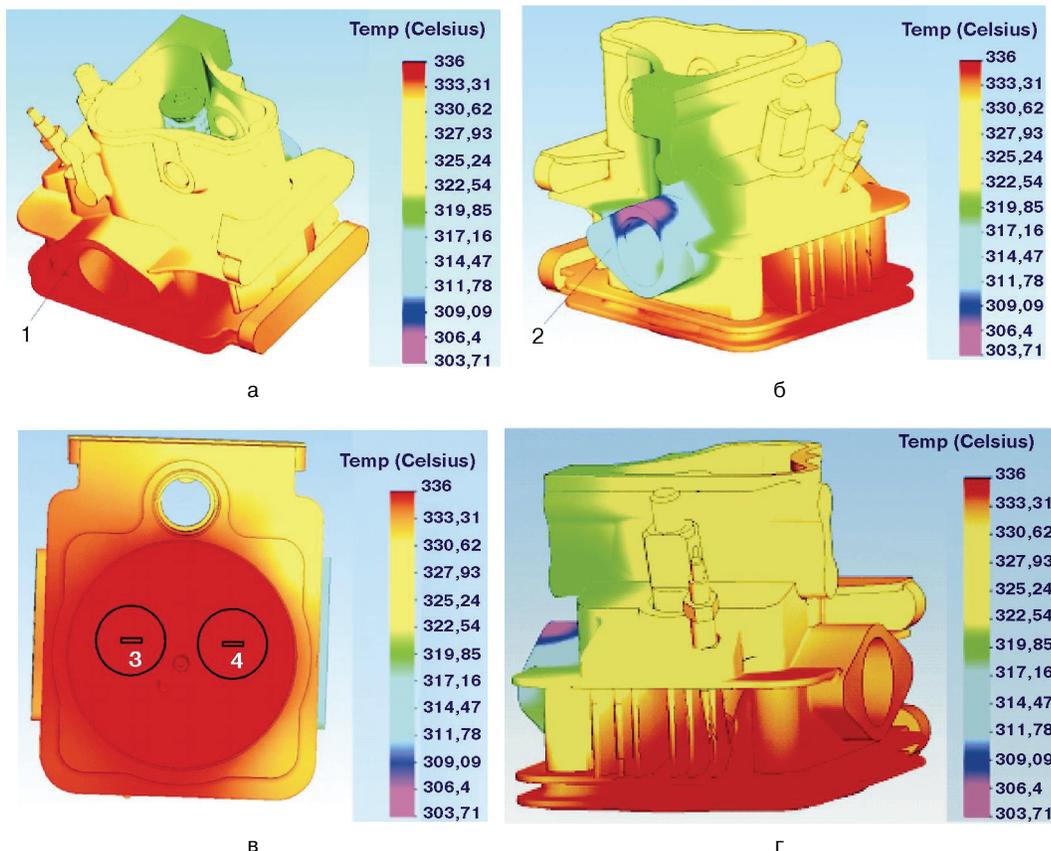


Рис. 5. Распределение температур по объему конструкции головки.

1 — выпускной коллектор; 2 — впускной коллектор;
3 — выпускной клапан; 4 — впускной коллектор

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Solid Works*. Компьютерное моделирование в инженерной практике / Под общ. ред. А.А. Алямовского. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005.
- [2] Алямовский А.А. *Solid Works/COSMOSWorks*. Инженерный анализ методом конечных элементов. — М.: ДМК Пресс, 2004.
- [3] Комбинированные двигатели внутреннего сгорания: Учебник для студентов вузов / Под ред. Н.Д. Чайнова. — М.: Машиностроение, 2008.

UDC 621.436

DESIGN OF A HEAD OF SMALL-SIZED DIESEL ENGINE WITH IN VIEW OF THERMAL STRESS LEVEL CONDITION

P.R. Vallejo Maldonado, D.K. Grishin

Peoples' Friendship University of Russia
Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198

V.A. Lodnya, E.A. Sigay

The Belarus State University of Transport
Kirov str., 34, Gomel, Belarus, 246653

On an example of designing a head of small-sized diesel engine MD-8 the technique and results of the analysis of a thermal condition of a design with use of toolkit Solid Works and COSMOS Works are resulted.

It is shown, that existing in Autodesk Inventor the concept of the organization and construction of assembly units is most convenient in internal-combustion engine design in view of great volume of changing analyzed parameters.

Key words: the diesel engine, a head of cylinders, the piston, pressure, temperature.