

6. A State Estimation Algorithm for Identification and Measurements of Power System Harmonics / S. A. Soliman [et al.] // Electric Power System Research J. — 1990. — Vol. 19. — P. 195–206.

7. Hartana R. K. Harmonic source monitoring and identification using neural networks / R. K. Hartana, G. G. Richards // IEEE Trans, on Power Systems. — 1990. — Vol. 5, № 4. — P. 1098–1104.

УДК 621.43.01

Ю. В. Галышев,
д-р техн. наук, доцент,
ФГБОУ ВПО «СПбГПУ»;

А. Ю. Шабанов,
канд. техн. наук, доцент,
ФГБОУ ВПО «СПбГПУ»;

А. В. Макарин,
аспирант,
ФГБОУ ВПО «СПбГПУ»

ОЦЕНКА НЕОБХОДИМОЙ ТОЧНОСТИ ЗАДАНИЯ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ ТЕПЛОВОГО НАГРУЖЕНИЯ ГОЛОВКИ ЦИЛИНДРА ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

ASSESSMENT OF NECESSARY ACCURACY OF THE BOUNDARY CONDITIONS TASK OF CYLINDER HEAD THERMAL LOADING OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE

В статье обоснована необходимая точность задания граничных условий теплового нагружения тепловоспринимающих и теплоотдающих поверхностей головки цилиндра, обеспечивающая требуемую степень достоверности и точности расчета параметров работоспособности этого важнейшего узла двигателя. Для решения поставленной задачи был поставлен численный эксперимент, в ходе которого исследовалось влияние изменения составляющих тепловых потоков на температурное состояние модели реальной головки цилиндра высокофорсированного двигателя. Полученные результаты позволяют обосновать выбор методов моделирования процессов газодинамики и теплообмена для задания граничных условий теплового нагружения головки цилиндра.

In article the necessary accuracy of a task of boundary conditions of thermal loading of heatperceiving and heatgiving surfaces of a cylinder head, providing demanded degree of reliability and accuracy of operability parameters calculation of this major knot of the engine is proved. To solve this problem was made a numerical experiment in which studied the effect of changes in the components of heat flux on the thermal condition of real cylinder head model of the high-forced engine. The received results allow to prove a choice of methods of modeling of processes of gas dynamics and heat exchange for a task of boundary conditions of cylinder head thermal loading.

Ключевые слова: тепловое нагружение, граничные условия, численный эксперимент, головка цилиндра, двигатель внутреннего сгорания.

Key words: thermal loading, boundary conditions, numerical experiment, cylinder head, internal combustion engine.



В АЖНЕЙШИМ фактором, влияющим на возможность получения достоверных и точных результатов по оценке работоспособности головки цилиндра, является точность задания тепловых нагрузок на ее тепловоспринимающие и теплоотдающие поверхности [1]. С уче-

том того, что современные расчетные пакеты, построенные на базе метода конечных элементов, предоставляют возможность обеспечения практически 100 %-ной точности геометрического представления детали любой, сколь угодно сложной конструктивной формы, именно погрешности задания действующих на деталь тепловых потоков определяют погрешность расчета температуры [2].

Для головки цилиндра определяющей температурой, влияющей на оценку работоспособности детали, является максимальная температура на огневой поверхности нижней плиты. Для двухклапанных головок она обычно лежит в зоне межклапанной перемычки между впускным и выпускным клапаном, для четырехклапанной — в зоне перемычки между выпускными клапанами. Это определяется высокой интенсивностью теплового нагружения этой зоны и существенно затрудненными условиями теплоотвода от нее. Предельно допустимая температура в этой зоне определяется пределом термостойкости материала, с учетом необходимости обеспечения заданного коэффициента запаса (1,05–1,10).

Кроме того, важными являются значения температуры в зоне расположения полостей охлаждения с точки зрения ограничения зон кипения охлаждающей жидкости. Также контролю должны подлежать температуры в зоне расположения направляющих втулок клапанов — из соображений исключения задира стержней клапанов и сохранения их подвижности.

Точность расчета температур имеет естественное ограничение точностью их измерения. При использовании современных средств измерения температуры с помощью хромель-копелевых термопар погрешность измерения в среднем составляет порядка 2 %. Возьмем эту величину в качестве опорной для оценки необходимой точности задания граничных условий теплового нагружения головки цилиндров.

Анализ теплового баланса головки цилиндров показывает, что основными его составляющими, определяющими уровень и распределение температур в детали, являются следующие:

1) тепловой поток со стороны камеры сгорания. По физической природе это суммарный тепловой поток, определяемый условиями вынужденной конвекции и радиационного излучения высокотемпературного потока рабочего тела около тепловоспринимающей поверхности головки цилиндра. В общем балансе тепловых потоков, воспринимаемых головкой цилиндров, в зависимости от ее конструкции и режима работы двигателя, эта составляющая может достигать 40–60 %;

2) тепловой поток по поверхности выпускных каналов. Этот тепловой поток определяется условиями вынужденной конвекции при открытых клапанах и свободной конвекции при закрытых клапанах. В общем балансе подводимого к головке цилиндра теплового потока он составляет 30–50 %;

3) тепловой поток по поверхности впускных каналов. По физической природе он аналогичен потокам в выпускных каналах, но работает как составляющая теплоотвода от головки цилиндра. Доля этой составляющей — 20–40 %;

4) тепловой поток по поверхности полости охлаждения головки. Механизм этого теплового потока — вынужденная конвекция с учетом возможности возникновения зон фазового перехода. Общая его доля в балансе отводимого теплового потока — 50–60 %.

Задание тепловых потоков по всем тепловоспринимающим и теплоотдающим поверхностям головки цилиндра происходит согласно закону Ньютона, то есть по типу граничных условий третьего рода. Расчет проводится для установившегося режима работы, определяется стационарное температурное поле. Поэтому для расчета температур детали требуется задание средних за цикл локальных распределений коэффициентов теплоотдачи по поверхностям теплообмена и результирующих температур теплоотдающих и тепловоспринимающих сред [3].

Для оценки необходимой точности задания этих параметров (коэффициентов теплоотдачи и результирующих температур) был поставлен численный эксперимент, в ходе которого проводился анализ влияния изменения параметров граничных условий теплового нагружения головки на итоговые температуры детали.

Использовалась трехмерная модель реальной индивидуальной головки цилиндров высокофорсированного двигателя, выполненная из высокопрочного чугуна. Расчетная модель представлена на рис. 1.

В ходе эксперимента в качестве базового уровня нагружения использовались граничные условия, рассчитанные для номинального режима работы ($n = 2250$ об/мин, $P_e = 2,3$ МПа).

Результат расчета температурного состояния головки цилиндра на этом режиме представлен на рис. 2.

Далее последовательно, пропорционально менялись параметры граничных условий — коэффициентов теплоотдачи и результирующих температур по каждой из поверхностей теплообмена при фиксированных остальных граничных условиях. При этом фиксировалось изменение температур в характерных точках головки («датчиках»), расположенных на огневой поверхности камеры сгорания. Выбор местоположения «датчиков» на огневой поверхности головки диктуется тем, что именно в этой зоне расположены определяющие температуры детали, по которым рассчитываются коэффициенты запаса по температурам.

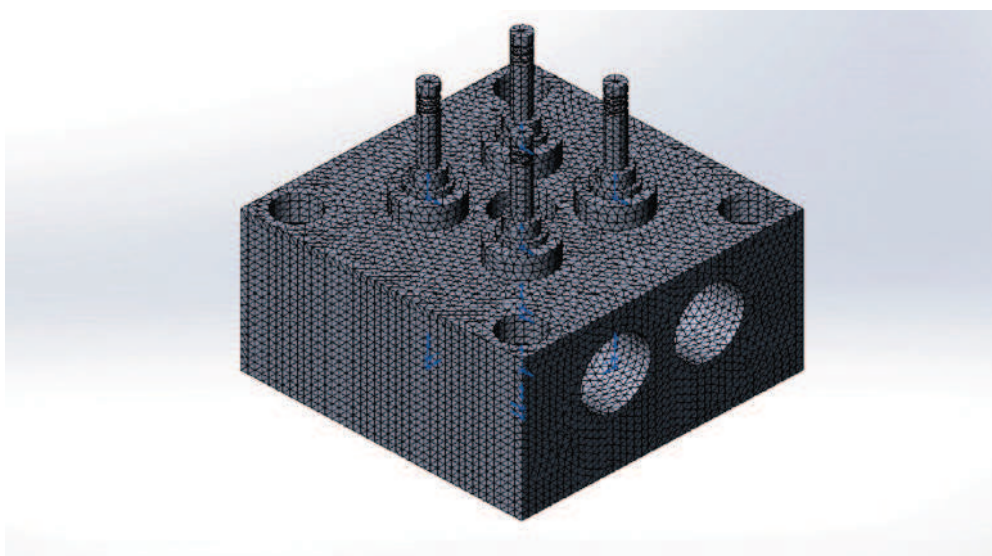


Рис. 1. Расчетная модель головки цилиндра

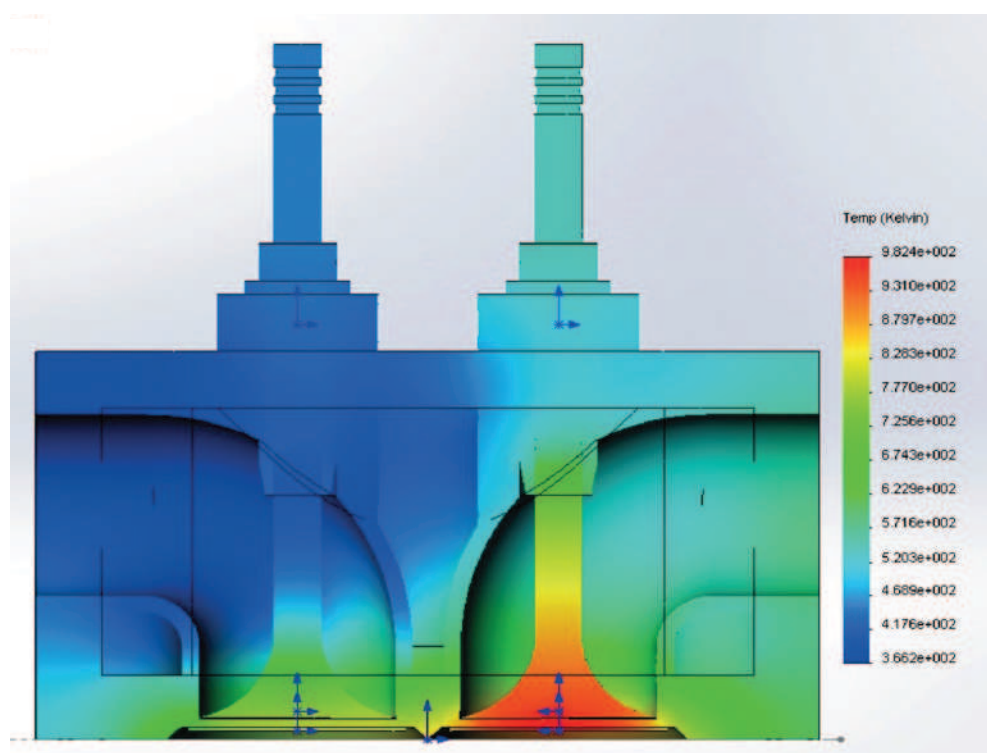


Рис. 2. Результат расчета температурного состояния головки цилиндра на номинальном режиме работы

Расположение «датчиков» проиллюстрировано на рис. 3. Процентное отклонение уровня температур в «датчиках» от базового состояния показывает степень зависимости получаемых результатов от отклонений в задании граничных условий. Эти результаты и позволяют оценить минимально необходимую погрешность задания тепловых потоков.

Результаты расчетного эксперимента показали следующее. Основное влияние на температуры в критических зонах головки цилиндров оказывает интенсивность теплового потока со стороны камеры сгорания. Влияние тепловых потоков по газовоздушным каналам существенно только в зонах, прилегающих к межклапаным перемычкам головки. Однако эти тепловые потоки существенно влияют на температурное состояние верхней части головки цилиндра и клапанов.

Влияние изменения величины коэффициента теплоотдачи со стороны камеры сгорания на изменение температуры в зоне расположения «датчиков» приведено на рис. 4.

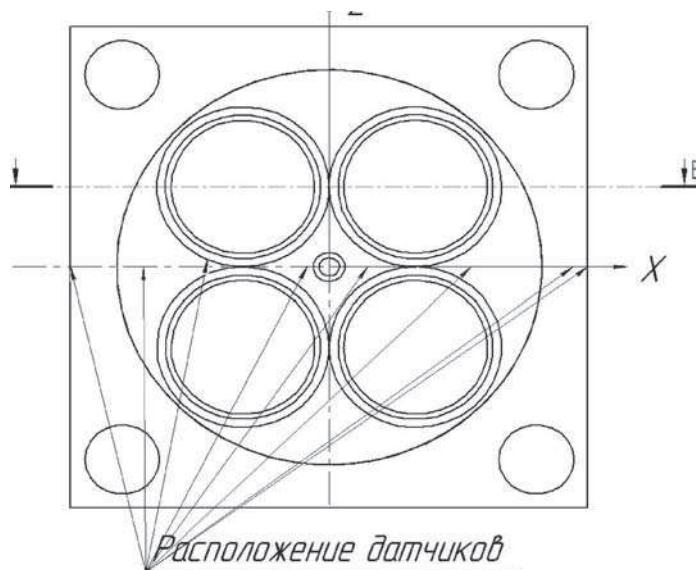


Рис. 3. Расположение «датчиков» температур на огневой поверхности головки цилиндров

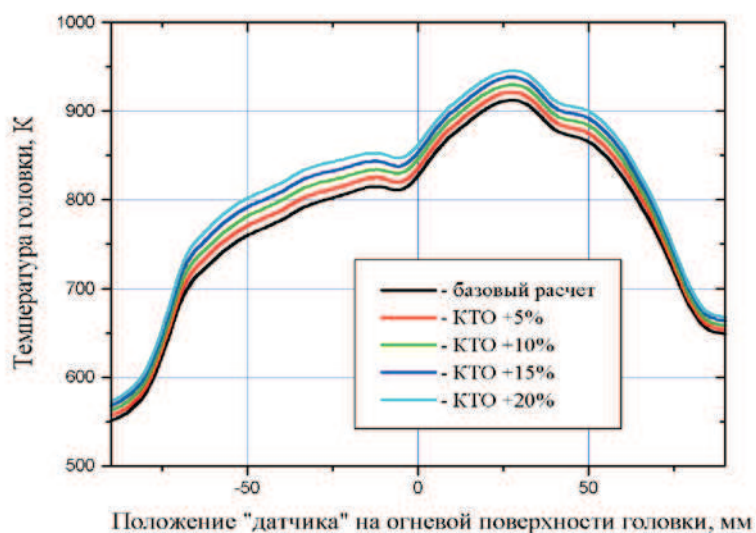


Рис. 4. Влияние изменения коэффициента теплоотдачи со стороны камеры сгорания на температуры головки

Как следует из результатов расчета, погрешность задания коэффициентов теплоотдачи не меняет качественного характера распределения температур в детали, при этом степень зависимо-

сти величин получаемых температур в выбранном диапазоне изменения варьируемого параметра не столь существенна. Так, даже 20 %-ное отклонение коэффициента теплоотдачи от базового значения приводит к средней разнице получаемых температур в точках «датчиков» не более чем на 4 % (рис. 6).

Значительно более выражена зависимость погрешности расчета температур нижней плиты головки от погрешности задания результирующей температуры (рис. 5 и 6). В этом случае 10 %-ная погрешность в задании температуры среды приводит к существенной (более 6,5 %) погрешности определения температур детали.

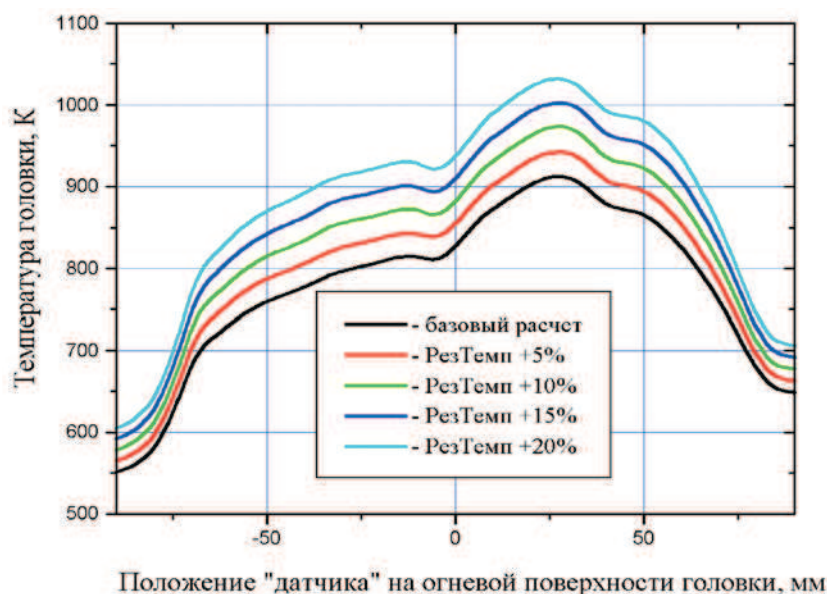


Рис. 5. Влияние изменения результирующей температуры рабочего тела со стороны камеры сгорания на температуры головки

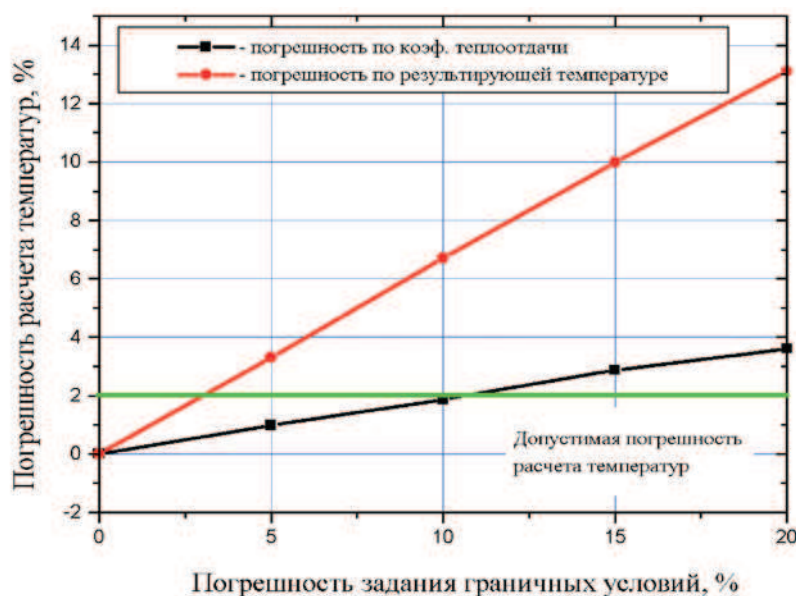


Рис. 6. Зависимость погрешности расчета температур головки от погрешности задания коэффициентов теплоотдачи и результирующих температур

При этом степень влияния погрешностей задания граничных условий по всем остальным поверхностям существенно менее выражена. Поэтому оценку предельно допустимой погрешно-

сти целесообразно делать по наиболее значимой части теплового потока — со стороны камеры сгорания.

Для оценки величины предельно допустимой погрешности был построен график зависимости погрешности расчета определяющих температур в зоне расположения «датчиков», по которым определяется степень работоспособности головки цилиндров, от погрешности задания коэффициентов теплоотдачи и результирующих температур (рис. 6).

Анализ графика на рис. 6 показывает, что максимальная погрешность задания граничных условий для обеспечения заданной погрешности расчета температур головки цилиндра (2 %) составляет:

- по коэффициентам теплоотдачи — 10 %;
- по температурам теплоотдающей или тепловоспринимающей среды — 3 %.

Полученные пороговые значения погрешностей могут быть использованы в качестве ключевых параметров выбора методик моделирования сложных газодинамических и теплообменных процессов в рабочих полостях головки цилиндра при формировании математической модели теплового нагружения этой детали.

Работа выполнена в ФБГОУ ВПО «СПбГПУ» за счет средств субсидии на реализацию комплексных проектов по созданию высокотехнологичного производства, выделяемой в рамках реализации Постановления Правительства РФ «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства» от 9 апреля 2010 г. № 218 Министерством образования и науки РФ (договор № 02.G25.31.0094).

Список литературы

1. *Петриченко Р. М.* Конвективный теплообмен в поршневых машинах / Р. М. Петриченко, М. Р. Петриченко. — Л.: Машиностроение, 1979. — 232 с.
2. *Шабанов А. Ю.* Конечно-элементный метод расчета граничных условий теплового нагружения головки блока цилиндров поршневого двигателя / А. Ю. Шабанов, М. А. Машкур // Деп. в ВИНТИ: № 1827-B2004 от 19.11.04.
3. *Яксон И. А.* Оценка влияния погрешности задания граничных условий на точность расчетов теплонапряженного состояния деталей ЦПГ ДВС / И. А. Яксон, А. Ю. Шабанов // Деп. в ВИНТИ: № 790-B2002 от 30.04.02.