

УДК 621.43.016

*А.В. Тринёв, канд. техн. наук, А.Н. Авраменко, асп., С.В. Обозный, инж.,  
В.И. Вахрушев, инж.*

## ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ЛОКАЛЬНОГО ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ОГНЕВОГО ДНИЩА ГОЛОВКИ ЦИЛИНДРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕЗМОТОРНОГО СТЕНДА

### Введение

В представленной работе, с использованием расчетно – экспериментальной методики, был выполнен анализ влияния локального воздушного охлаждения огневого днища на изменение теплового состояния отсека блочной головки цилиндров. Для проведения эксперимента был разработан безмоторный стенд.

Целью проведенного исследования было уточнение граничных условий (ГУ) задачи теплопроводности по участкам теплообменной поверхности каналов локального воздушного охлаждения.

ГУ задачи теплопроводности уточнялись путем решения обратной задачи теплопроводности с использованием результатов термометрии отсека головки цилиндров на безмоторном стенде.

Основным преимуществом локального охлаждения является возможность дискретно снижать температуру наиболее нагретых участков огневого днища, уменьшать перепад температур между центральной частью огневого днища и периферией, снижая тем самым, термические напряжения и деформации огневого днища головки цилиндров.

Выбор рациональной схемы размещения каналов локального воздушного охлаждения, а также геометрических размеров самих каналов, учитывая конструктивные особенности конкретной головки цилиндров требуют дополнительных исследований с использованием, как расчетных, так и экспериментальных методов.

### Анализ публикаций

Использование безмоторных стендов, для анализа теплового и деформированного состояния деталей камеры сгорания широко использовалось в работах отечественных и зарубежных авторов.

Так, например, проф. Г.Б. Розенбит использовал безмоторный стенд для анализа влияния параметров циркуляционного масляного охлаждения на тепловое состояние поршня дизелей семейства Д100 [1].

На каф. ДВС НТУ “ХПИ” проф. А.Ф. Шеховцовым и проф. Ф.И. Абрамчуком был разработан ряд безмоторных стендов для испытания поршня ДВС и стенд для испытаний на термомеханическую усталость материалов камеры сгорания [2].

Безмоторные стенды для моделирования теплонапряженного состояния выпускного клапана использовались зарубежными моторостроительными компаниями, например, такими как Caterpillar [3].

Как правило, использование безмоторных стендов является единственно возможным способом получения достоверных данных о тепловом и деформированном состоянии деталей камеры сгорания.

Применительно к решаемой в данной работе задаче, необходимость создания именно безмоторного стенда по исследованию условий локального воздушного охлаждения отсека блочной головки цилиндров, была продиктована необходимостью изменения конструкции серийной головки цилиндров, а именно, требовалась увеличить высоту приливов между бобышками впускного и выпускного каналов и огневым днищем, а также увеличить толщину ог-

невого днища в зоне перехода боковых стенок головки в днище.

Такие незначительные изменения конструкции головки цилиндров позволят наиболее рационально расположить каналы локального охлаждения в огневом днище, что положительно скажется на эффективности охлаждения.

Рост уровня форсирования современных автодизелей [4] сопровождается значительным увеличением составляющих теплонапряженного и деформированного состояния деталей камеры сгорания (КС).

Возрастающие требования к надежности и долговечности ДВС, в первую очередь к надежности деталей КС требуют использования новых подходов по снижению составляющих теплонапряженного и деформированного состояния.

Наличие достоверных значений ГУ 3<sup>го</sup> рода по участкам теплообменной поверхности каналов локального воздушного охлаждения позволит еще на стадии проектирования, с использованием современных программных комплексов оценить эффективность влияния локального охлаждения огневого днища на распределение температур, напряжений и деформаций по объему головки цилиндров.

Наличие такой информации позволит конструктору выбрать наиболее рациональную схему подвода охладителя и режимы охлаждения.

Таким образом, из проведенного литературного обзора видно, что исследования, посвященные анализу путей повышения надежности головок цилиндров являются актуальными.

#### Цель и постановка задачи

Целью данной работы было получение значений ГУ задачи теплопроводности по участкам теплообменной поверхности каналов локального воздушного охлаждения с использованием безмоторного эксперимента и расчетных методов.

В проведенной работе ставились такие задачи:

- разработать конструкцию безмоторного стенда по исследованию условий локального воздушного охлаждения днища головки цилиндров;
- получить экспериментальную зависимость влияния локального охлаждения на температурное поле отсека блочной головки цилиндров;
- разработать математическую модель отсека головки цилиндров;
- восстановить значения ГУ 3<sup>го</sup> рода на участках теплообменной поверхности отсека головки цилиндров и каналов локального охлаждения, решив обратную задачу теплопроводности;
- сделать выводы и рекомендации по перспективам использования локального воздушного охлаждения огневого днища для головок цилиндров современных форсированных дизелей.

#### Основные этапы и результаты моделирования

Объект исследования – отсек блочной головки цилиндров дизеля СМД-23Н.

Отсек головки цилиндров представляет собой фрагмент серийной головки, выполненной из специального чугуна. Огневое днище отсека имеет толщину 10 мм, а толщина боковых стенок изменяется от 6 до 8 мм.

Общий вид отсека головки цилиндров представлен на рис. 1.

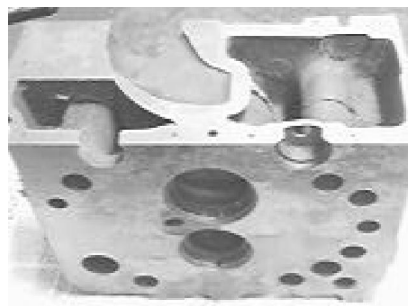


Рис. 1. Отсек головки цилиндров

На рис. 2. представлен отсек головки, оснащенный термопарами и системой каналов для подвода охлаждающего воздуха к седлам впускного и выпускного клапанов.

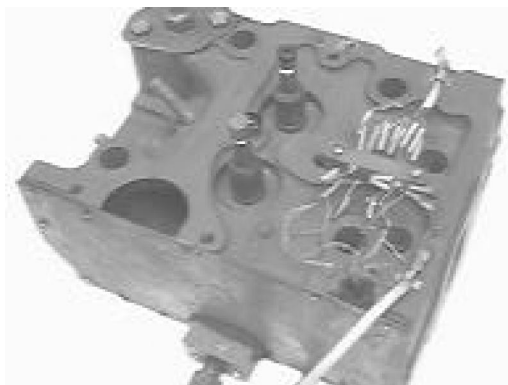


Рис. 2. Оснащенный термопарами отсек головки цилиндров

Отверстия для подвода охлаждающей жидкости из блока цилиндров в головку, а также боковая поверхность осеченной части были закрыты при помощи стальных пластин, а места стыков обработаны термостойким герметикам.

Принципиальная схема безмоторного стенда представлена на рис. 3. Стенд содержит отсек головки цилиндров 1, оснащенный термопарами 2, установленными в огневом днище, ресивер для выхода охлаждающего воздуха из отсека 3, плавильную электропечь открытого типа 4, трансформатор 5 с регулируемым напряжением на выходе от 0 до 250 В переменного тока, переключатель 6, 7 – прибор для регистрации сигналов от термопар А565, расходомер охлаждающего воздуха 8, термометр сопротивления 9 для определения температуры охлаждающего воздуха, ресивер 10, поршневой компрессор 11, пружинный манометр для контроля давления охлаждающего воздуха 12 с диапазоном измерений от 0 до 6 кгс/см<sup>2</sup>, ресивер охлаждающего воздуха 13, штуцер 14 подвода охлаждающего воздуха в отсек головки и 15 – прибор для регистрации сигнала от термометра сопротивления А566.

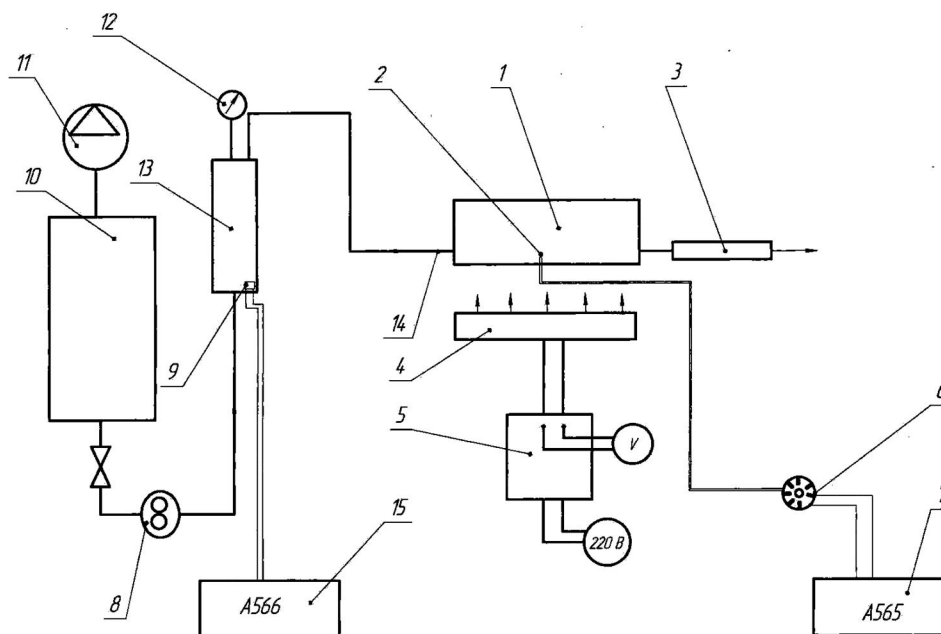


Рис. 3. Принципиальная схема безмоторного стенда

Стенд работает следующим образом. Отсек головки цилиндров 1 нагревается до заданного температурного режима при помощи плавильной

электропечи 4 за счет теплообмена свободной конвекцией и теплообмена излучением. Отсек головки опирается на фрагмент штатной прокладки головки

цилиндров, что позволяет реализовать равномерный подвод теплоты к огневому днищу по диаметру цилиндра – 120 мм.

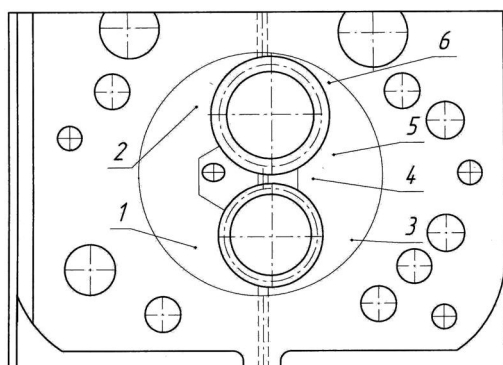


Рис. 4. Расположение термопар в огневом днище

Температурный режим выдерживается при помощи изменения выходного напряжения трансформатора таким образом, чтобы температурное поле огневого днища было близким к реальным температурам огневого днища головки цилиндров.

Температура огневого днища контролировалась шестью хромель-алюмелевыми термопарами, установленными в огневом днище.

Температуры в контрольных точках сравнивались с экспериментальными данными термометрии блочной головки цилиндров дизеля СМД-23Н на режиме с  $N_e = 105 \text{ кВт}$  [2].

Предварительно сжатый поршневым компрессором 11 воздух, из ресивера 10, через регулировочный кран и расходомер 8, поступает в ресивер

13. Далее сжатый воздух подавался по воздухоподводящей магистрали к штуцеру подвода воздуха 14 и далее, через систему каналов в огневом днище сжатый воздух поступал из отсека головки в ресивер 3.

Расход охлаждающего воздуха через систему контролировался при помощи расходомера и частотомера. Давление охлаждающего воздуха контролировалось образцовым пружинным манометром 12, а температура при помощи термометра сопротивления 9 и прибора А566.

Схема расположения термопар в огневом днище отсека головки цилиндров представлена на рис. 4, а схема заделки термопар в огневое днище на рис. 5.

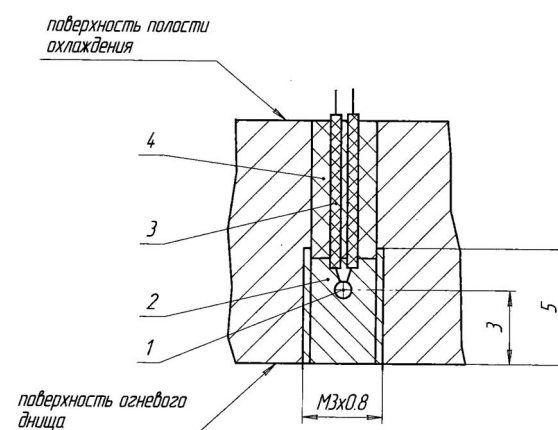


Рис. 5. Схема заделки термопар в огневое днище  
1 – горячий спай термопары;  
2 – заливка свинцом;  
3 – электроды;  
4 – заливка компаундом.

Таблица 1. Основные результаты экспериментального исследования

Значения температур в контрольных точках по огневому днищу, °С							Параметры охлаждающего воздуха		
							Темп-а	Давление	Расход
№	1	2	3	4	5	6	$T_{\text{возд}}, \text{°С}$	$P_{\text{возд}}, \text{МПа}$	$G_{\text{возд}}, \text{м}^3/\text{ч}$
1	236	240	214	230	246	241	без охлаждения		
2	214	210	213	211	214	221	16.58	0.1	5.7
3	201	200	198	199	193	204	17.42	0.2	6.2
4	179	176	180	177	170	183	18.6	0.3	7

Для проведения термометрии огневого днища головки использовались хромель – алюмелевые термопары, с диаметром провода 0.2 мм в оплетке. Диаметр шарика спая термопары равен 0.7 мм.

Горячий спай термопары устанавливался в резьбовое отверстие в огневом днище на заданной глубине, фиксировался и заливался расплавленным свинцом (рис. 5), выводы проводов изолировались, выводились на наружную поверхность головки и подпаивались к колодке (рис. 2).

В проведенном расчетно - экспериментальном исследовании охлаждающий воздух подводился через каналы в огневом днище к седлу выпускного и впускного клапанов и стравливался через ресивер в атмосферу (рис. 6).

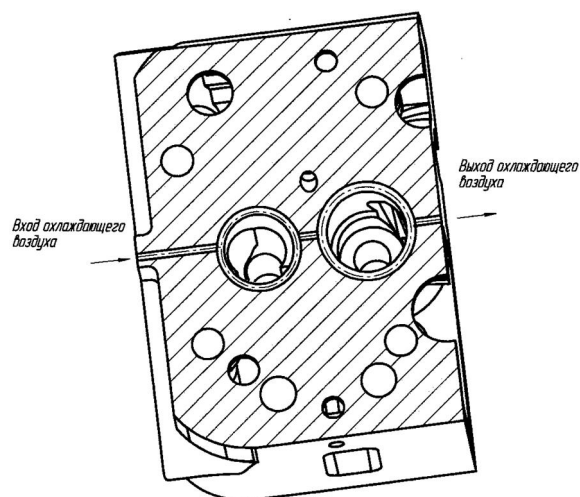


Рис. 6. Схема подвода и отвода охлаждающего воздуха в огневом днище

На конструкцию такой схемы подвода и отвода охлаждающего воздуха, когда охлаждающий воздух стравливается не в выпускной тракт, а в атмосферу, был получен патент Украины [5].

Диаметр каналов в огневом днище равен 4 мм, а расстояние от оси канала до поверхности огневого днища – 6 мм.

Для циркуляции охлаждающего воздуха по посадочной поверхности седел выпускного и впускного клапанов на этой поверхности были выполнены кольцевые проточки высотой 2.7 мм и глубиной 2.5 мм. Эксперимент был проведен без охлаждающей жидкости в полостях охлаждения отсека головки цилиндров.

В проведенном экспериментальном исследовании давление охлаждающего воздуха выбиралось равным 0.1, 0.2 и 0.3 МПа.

Значения температур в контрольных точках по огневому днищу, а также температура, давление и расход охлаждающего воздуха приведены в табл.1.

Для определения значений ГУ 3<sup>го</sup> рода на участках теплообменной поверхности отсека головки цилиндров и каналов локального воздушного охлаждения была решена обратная задача теплопроводности.

Для решения поставленной задачи был разработан ряд математических моделей: геометрическая модель отсека головки цилиндров дизеля СМД-23Н, конечноэлементная и модель теплового состояния отсека головки.

Задача решалась в трехмерной стационарной постановке задачи теплопроводности в декартовых координатах.

Конечноэлементная модель отсека головки цилиндров (рис. 6) состоит из 54135 конечных элементов и 93305 узловых точек. Для разбивки модели на конечные элементы (КЭ) используется тетраэдрическая форма КЭ.

Для задания ГУ задачи теплопроводности на поверхности огневого днища отсека головки было выделено 2 участка: один участок, равный по размеру диаметру цилиндра 120 мм, а второй – участок контакта прокладки с поверхностью огневого днища. Схема задания граничных условий задачи теплопроводности представлена на рис. 7, а значения ГУ в табл.2.

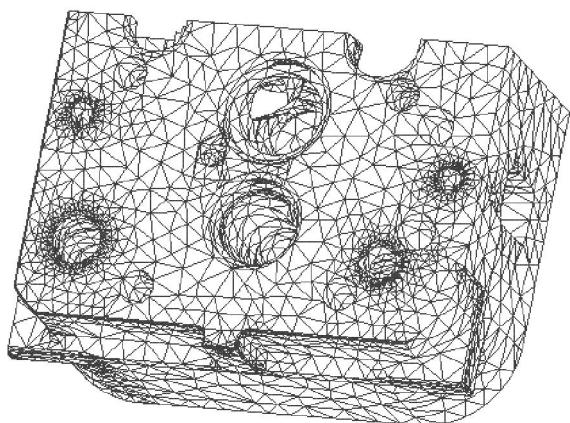


Рис. 6. Разбивка отсека головки цилиндров на КЭ

На поверхностях полостей охлаждения и наружной поверхности отсека головки ГУ 3<sup>го</sup> рода задавались на основании рекомендаций работ [1, 2] и корректировались с учетом полученных значений температур при помощи контактной терпары по-

очередно устанавливаемой на выбранные поверхности отсека в ходе эксперимента.

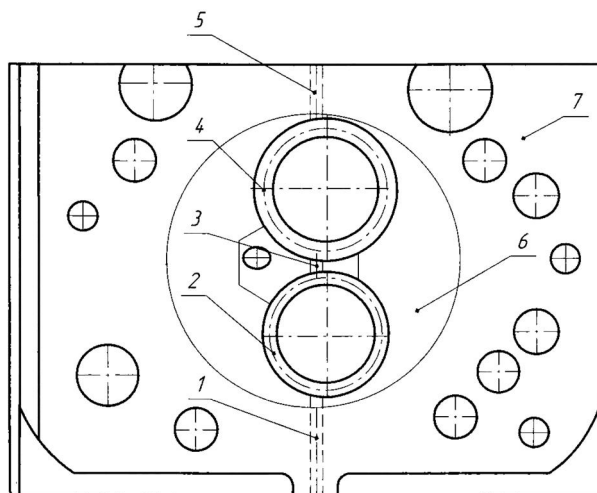


Рис. 7. Схема задания ГУ 3<sup>го</sup> рода на поверхностях каналов локального воздушного охлаждения и огневом днище

Таблица 2. Граничные условия теплообмена

Режим охлаждения		Давление охлаждающего воздуха $P_{возд} = 0.1$ МПа						
Зона		1	2	3	4	5	6	7
ГУ 3 <sup>го</sup> рода	$\alpha, \text{Вт/м}^2\text{К}$	450	400	360	320	300	100	2
	$t, ^\circ\text{C}$	30	50	50	70	85	450	115

Авторами была выполнена серия тестовых задач по определению температурного поля отсека головки цилиндров для различных режимов, с давлением охлаждающего воздуха равным 0.1, 0.2 и 0.3 МПа.

В результате решения обратной задачи тепло-

проводности удалось восстановить значения ГУ 3<sup>го</sup> рода по участкам теплообменной поверхности каналов локального воздушного охлаждения.

Полученные в результате расчетного моделирования значения ГУ 3<sup>го</sup> рода представлены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты расчета значений ГУ 3<sup>го</sup> рода

Зона	ГУ 3 <sup>го</sup> рода					
	$P_{возд} = 0.1$ МПа		$P_{возд} = 0.2$ МПа		$P_{возд} = 0.3$ МПа	
	$\alpha$ Вт/м <sup>2</sup> К	$t$ °C	$\alpha$ Вт/м <sup>2</sup> К	$t$ °C	$\alpha$ Вт/м <sup>2</sup> К	$t$ °C
1	450	30	550	27	650	25
2	400	50	520	45	625	40
3	360	50	480	50	580	48
4	320	70	450	70	560	60
5	300	85	420	80	540	70

### Выводы

В результате проведенного расчетно – экспериментального исследования можно отметить:

– разработанный авторами безмоторный стенд позволяет достаточно точно исследовать влияние локального воздушного охлаждения огневого днища на температурное поле отсека головки цилиндров;

– для размещения каналов локального воздушного охлаждения в огневом днище требуется незначительные изменения конструкции головки цилиндров;

– наибольший эффект снижения температуры огневого днища отсека головки цилиндров наблюдается для режима с давлением охлаждающего воздуха 0.3 МПа, при этом расход воздуха через систему локального воздушного охлаждения не превышает 7 м<sup>3</sup>/ч;

– при давлении охлаждающего воздуха 0.3 МПа температура на периферийных участках огневого днища снижается в среднем на 50 – 60 °С, а вблизи седел клапанов на 80 – 120 °С;

– полученные в результате решения обратной задачи теплопроводности значения ГУ 3<sup>го</sup> рода по участкам теплообменной поверхности каналов локального воздушного охлаждения можно в дальнейшем использовать для расчета теплонапряженного и деформированного состояния головок цилиндров со-

временных форсированных дизелей с охлаждаемыми седлами выпускного и впускного клапанов.

### Список литературы:

1. Розенблит Г.Б. *Теплопередача в дизелях*. – М.: Машиностроение, 1977. – 216 с.
2. Абрамчук Ф.И., Марченко А.П., Разлейцев Н.Ф., Третьяк Е.И., Шеховцов А.Ф., Шокотов Н.К.; Под общ. ред. Шеховцова А.Ф. *Современные дизели: повышение топливной экономичности и длительной прочности*. – К.: Техника, 1992. – 272 с.
3. Apparatus and method for testing internal combustion engine valves. Satish et al (US). пат. США, 6647770 В2, МПК <sup>7</sup> G01M15/00, № 10/097,686. Заявл. Mar. 13, 2002, Опубл Nov. 18, 2003. НПК 73/119.
4. Курилов А.Г., Гальговский В.Р., Субботин Ю.Г., Попов Ю.В. *Направления разработок нового семейства дизельных двигателей ЯМЗ для тяжелой транспортной техники / Совершенствование мощностных, экономических и экологических показателей ДВС. Владимир 2001*. – С. 162 – 164.
5. Система локального воздушного охлаждения головки цилиндров. Патент Украины на полезную модель № 13660 / Шеховцов А.Ф., Триньов О.В., Авраменко А.М., Гончар П.Д. – и 2005 09327; Заявл. 04.10.2005; Опубл. 17.04.2006, Бюл. № 4.