

Факультет «Энергомашиностроение»
Кафедра «Поршневые двигатели»

Н.Д. ЧАЙНОВ, Л.Л. МЯГКОВ, Н.С. МАЛАСТОВСКИЙ, И.В.
ОБОЛОННЫЙ, А.В. СЯЧИНОВ

**Определение температурных полей деталей
цилиндропоршневой группы
(поршень, крышка цилиндра)**

*Методические указания к выполнению лабораторных работ
по курсу
«Конструирование двигателей»*

Москва

2018

Оглавление

Введение

1. Цели и задачи работы, требования к результатам ее выполнения	4
2. Система измерений, приборы, оценка погрешности измерений	5
3. Краткая характеристика экспериментальной установки	15
4. Объект исследования	23
5. Порядок выполнения работы	31
6. Правила безопасности при выполнении лабораторной работы	34

Литература

Введение

Целью лабораторных работ по курсу «Конструирование двигателей» является знакомство студентов с экспериментальными методами определения стационарных температурных полей теплонапряженных деталей двигателя, с методикой проведения экспериментов, с измерительной аппаратурой, а также сравнение полученных опытных данных с результатами расчетов по методикам, изучаемым в указанном курсе. Проведение отдельных работ должно быть увязано с планом чтения лекций по соответствующим разделам курса.

Лабораторные занятия предусматривают проведение работ по изучению теплового состояния крышки (головки) цилиндра с помощью физического моделирования. Физическое моделирование, используемое в данной работе, получило в настоящее время широкое применение. Непосредственный замер температур в деталях работающего двигателя весьма сложен и достаточно трудоемок. При моделировании теплового состояния натурных образцов крышек (головок) цилиндра и поршней не воспроизводятся реальные условия, имеющие место в цилиндре двигателя, а ограничиваются воздействием на огневое днище крышки (поршня) стационарным тепловым потоком, распределенным по поверхности нагрева (днища), аналогично условиям двигателя, работающего на заданном режиме.

При проведении данной лабораторной работы применен нагрев исследуемой натурной детали с помощью лучистого источника - набора галогенных ламп, позволяющих создавать локальные тепловые потоки различной интенсивности с требуемым законом распределения по поверхности нагрева. Охлаждение исследуемой детали, например, крышки цилиндра, может быть выполнено аналогично условиям работы крышки на двигателе.

1. Цели и задачи работы, требования к результатам ее выполнения

К деталям двигателя, образующим камеру сгорания и омываемым горячими газами, относятся поршень, втулка (гильза) цилиндра, крышка (головка) цилиндра с клапанами, а так же элементы выпускной системы и турбина турбокомпрессора (при ее наличии). Эти детали относятся к теплонапряженным и при работе двигателя имеют повышенную температуру и перепад температур в пределах одной детали. Работоспособность двигателя во многом зависит от величины максимальных температур деталей, достигаемых, как правило, на режиме максимальной мощности двигателя. Допустимый уровень температур в деталях двигателя во многом зависит от примененных при изготовлении деталей материалов, свойств смазочного масла, заявленного ресурса работы и др. Так надежная работа поршневых колец требует непревышения температуры поршня в районе канавки первого компрессионного кольца $220\text{--}240\text{ }^{\circ}\text{C}$ в случае использования минеральных смазочных масел. С ростом уровня форсирования двигателей растет и температура огневого днища поршня; предельное значение, которой на кромке камеры сгорания оценивается порядка $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ для алюминиевых сплавов.

В случае крышек (головок) цилиндра, которые отливаются из чугуна (в том числе высокопрочного ВПЧ) и алюминиевых сплавов также установлены предельные значения максимальных температур огневого днища, которые не следует превышать. Так для литейных алюминиевых сплавов температура днища головки не должна быть выше $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ вследствие значительного снижения (при дальнейшем ее росте) прочностных характеристик материала и усиления релаксации температурных напряжений.

В крышках цилиндра, выполненных из ВПЧ, допускаются более высокие значения максимальных температур огневого днища, однако уровень в $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ следует здесь считать предельным.

Таким образом, знание максимальных значений температур деталей ЦПГ при работе двигателя на номинальном режиме имеет большое практическое значение при оценке работоспособности конструкции двигателя в целом. При этом применяются как расчетные, так и экспериментальные подходы к определению стационарных температурных полей как крышки цилиндра, так и поршня форсированного дизеля на тепловом стенде с оптической системой нагрева с помощью галогенных ламп. При этом следует заметить, что на установившемся режиме работы двигателя температурное поле его теплонапряженных деталей практически стационарно.

2. Система измерений, приборы, оценка погрешности измерений

Контрольно-измерительная система стенда состоит из приборов для измерения параметров системы охлаждения (температуры, давления, расхода) и приборов для измерения температурного поля крышки цилиндра или поршня. Давление в системе охлаждения измеряется на входе в рубашку охлаждения и на выходе из нее манометром МТИ 25.05.481-177 с верхним пределом измерений 0,6 МПа. Предел допускаемой погрешности составляет $\pm 0,6\%$ при температуре окружающего воздуха $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$. Общий расход жидкости измеряется электрическим ротаметром типа РЭ-4 ЖУЗ совместно с регистрирующим прибором дифференциально-трансформаторного типа КСДЗ. Основная допускаемая погрешность измерения составляет $\pm 2,5\%$ от верхнего предела измерения.

Расход во внешнем контуре системы охлаждения измеряется электрическим ротаметром РЭ-1,6 ЖУЗ также в комплекте с показывающим прибором типа КСДЗ, причем точность измерений та же, что и при использовании ротаметра РЭ-4 ЖУЗ.

Измерение температуры охлаждающей жидкости осуществляется на входе в опорный бурт и на выходе из исследуемой детали. Для надежности

определения теплового баланса делается замер перепада температуры также и с помощью дифференциальной термопары.

Стенд оснащен двумя системами: ручной и автоматической - для контроля и измерения температуры охлаждающей жидкости и температурного поля исследуемой детали. Схемы систем представлены на рисунке 1.

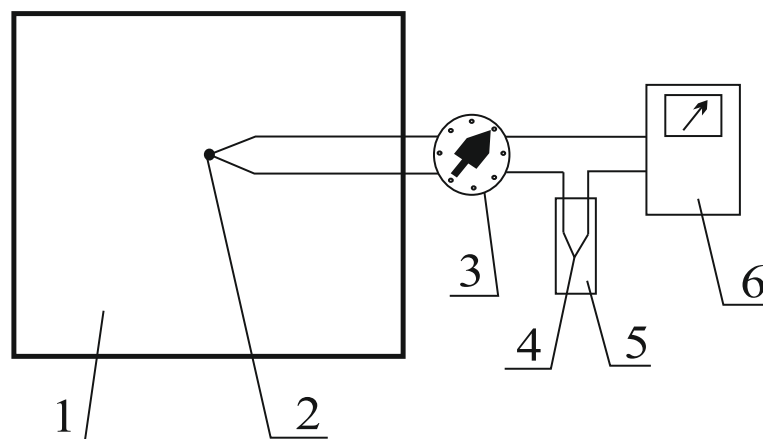
Контактные методы измерения температуры с использованием термопар являются традиционным и достаточно надежным средством при исследовании температурных полей деталей ЦПГ как в условиях работающих двигателей, так и в условиях различных тепловых стендов. Их практическая реализация весьма разнообразна, что связано с различными возможностями исследовательских лабораторий, целями исследований, а также конструкторскими особенностями исследуемых деталей.

В условиях стенда для замеров температур используются хромель-копелевые термопары.

При работе с ручной системой замеров, горячие спаи термопар 2 соединяются термоэлектродными проводами (хромель-копель) с позиционным переключателем 3 типа ПМТ-20. Холодный спай, помещенный в термостат 5 типа "Нуль В" (точность статирования $\pm 0,5$ градуса), одним термоэлектродным проводом (копелевым) соединяется с выходной клеммой переключателя 3, а другим проводом (хромелевым) с приемной клеммой потенциометра 6 типа ПП-63 (класс точности 0,05). Другая приемная клемма потенциометра соединяется напрямую с переключателем 3.

Ручная система замеров температуры является дублирующей. Для повышения эффективности экспериментальных исследований используется автоматическая система замеров. Горячие спаи 2 подключаются к электромагнитному коммутатору 3, выполненному на базе двух: последовательно включенных стапозиционных переключателей типа ПД-100М. Холодный спай 4 одним электродом соединяется с коммутатором 3, а другим с цифровым вольтметром 6 типа Щ301-3 (класс точности

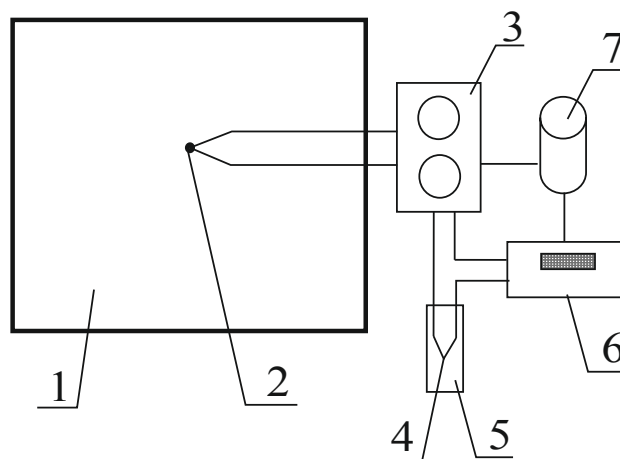
0,05/0,02). Для построения замкнутой цепи вольтметр имеет прямое соединение с коммутатором 3.



а)

а) – схема ручного замера температур:

1 - исследуемая деталь; 2 - горячий спай термопары; 3 - переключатель;
4 - холодный спай термопары; 5 - термостат; 6 - потенциометр;



б)

б) - схема автоматического замера температур:

1 - исследуемая деталь; 2 - горячий спай термопары; 3 -
электромагнитный коммутатор;
4 - холодный спай термопары; 5 - термостат ; 6 - цифровой вольтметр;
7 - система управления и записи результатов

Рис. 1 – Схема измерения температур

Система снабжена блоком управления и записи результатов на основе портативного компьютера. Система может работать как в режиме разовых измерений, так и автоматических. В последнем случае опрос точек производится через заданные интервалы времени. Скорость опроса для 100 термопар не превышает одной минуты, что является вполне удовлетворительным при исследованиях стационарных температурных полей. Абсолютная и относительная погрешности измерения температур с использованием автоматической системы лежат в тех же пределах, что и при использовании ручной измерительной системы.

Наряду с термометрированием крышки (поршня) в условиях стенда может быть проведено и тензометрирование деталей с целью определения температурных деформаций и температурных напряжений, которые могут быть весьма значительными.

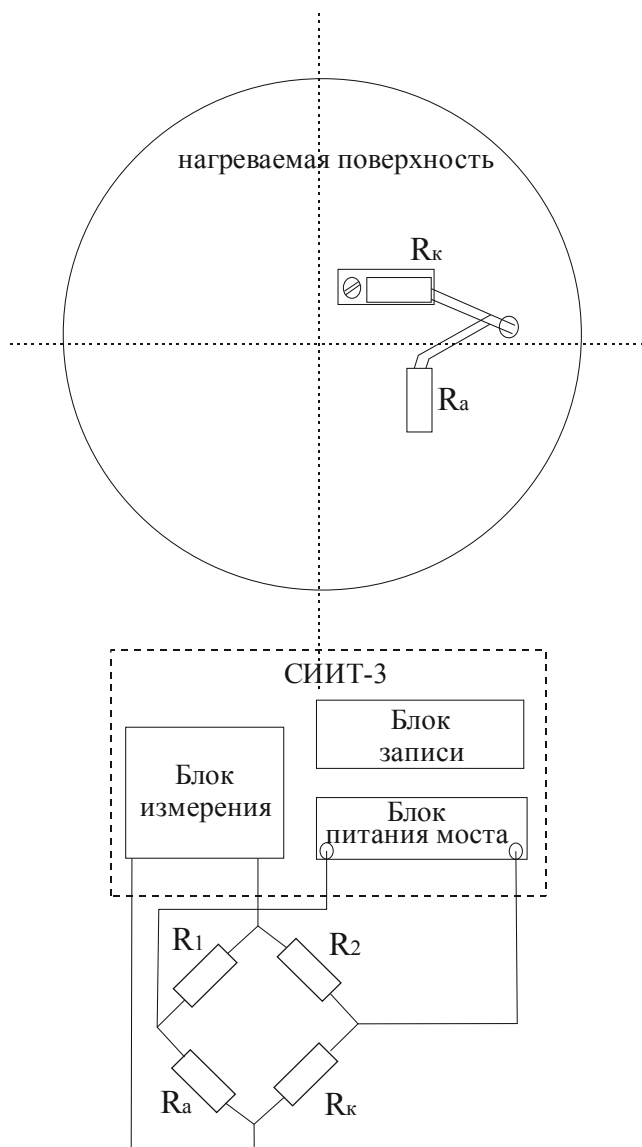
Для определения деформаций используются приклеиваемые высокотемпературные тензорезисторы ТВК-450 с базой 5 мм, для которых рабочая область значений температуры от 25 до 450°С и возможность измерений деформаций $\pm 0,15$ %. Для защиты от влияния лучистого нагрева тензорезисторы защищаются экранами из стеклоткани из кварцевых нитей.

После наклейки тензорезисторов и установки защитных экранов производится стабилизирующая термообработка: выдержка в течение 20 часов при температуре 470 °С и в течение 10 часов при температуре 450 °С.

Схема установки тензорезисторов определяется конструкцией исследуемой детали.

Известно, что сопротивление тензорезистора значительно зависит от рабочей температуры, учесть же эту зависимость при нестационарном температурном нагружении сложно. Поэтому, чтобы исключить температурную составляющую в выходном сигнале рабочего тензорезистора в мостовую схему был включается компенсационный тензорезистор, который устанавливается около рабочего на отдельной пластине толщиной 1 мм из

материала исследуемой детали. Как видно из рисунка 2, такой способ крепления позволяет пластине свободно деформироваться и обеспечивает надежный контакт между пластиной и нагреваемой поверхностью.



R_k – компенсационный датчик; R_a – рабочий датчик; R_1 и R_2 – постоянные резисторы

Рис. 2 – Схема расположения и подключения тензодатчиков

Рабочий и компенсационный тензорезисторы тщательно подбираются по номинальному сопротивлению, объединение их в мостовую схему осуществляется вне зоны нагрева. Длина монтажных проводов также должна

быть одинакова. Это позволяет добиться практически полной температурной компенсации при проведении измерений.

Согласно выбранной схеме измерения, как показано на рисунке 2, с одним активным и одним компенсационным тензорезистором для вычисления уровня выходного сигнала можно воспользоваться следующей зависимостью:

$$\xi = \frac{4 (N_i - N_0)}{(1 + 2N_0 \cdot 10^{-6})(1 - 2N_i \cdot 10^{-6})} \quad (1)$$

где ξ - выходной сигнал;

N_i - показания прибора;

N_0 - показания прибора в исходном состоянии.

Формула применима для приборов, использующих небалансный метод измерений, каким и является тензометрическая станция СИИТ-3.

В общем случае выходной сигнал тензорезистора представляет собой сумму информативной и неинформативной составляющих:

$$\xi = \xi_{\varepsilon} + \xi_{\text{н}}, \quad (2)$$

При измерениях температурных деформаций неинформативная составляющая сигнала установленного тензорезистора представляется выражением:

$$\xi_{\text{н}} = \xi_t + \xi_p + \xi_{\alpha}, \quad (3)$$

где ξ_t – температурная составляющая;

ξ_p - составляющая, связанная с ползучестью тензорезистора;

ξ_{α} - составляющая, связанная с дрейфом выходного сигнала.

В нашем случае температурная составляющая исключается путем компенсации температурного приращения сопротивления рабочего тензорезистора установкой компенсационного тензорезистора рядом с рабочим. Влияние же составляющих, связанных с ползучестью и дрейфом

выходного сигнала тензорезистора незначительно ввиду относительной кратковременности эксперимента, приблизительно один - два часа. При оценке погрешности измерений они входят как составляющие неисключенной систематической погрешности.

Деформация связана с выходным сигналом тензорезистора следующей зависимостью:

$$\varepsilon = \frac{\xi(1+a)}{K\Phi_t}, \quad (4)$$

где K - коэффициент тензочувствительности;

Φ_t - функция влияния температуры на тензочувствительность;

a - параметр линии связи, определяемый из соотношения:

$$a = \bar{r}/\bar{R} \quad (5)$$

где r - сопротивление линии связи;

R - сопротивление тензорезистора.

Для тензорезисторов ТВК-450 значение функции $\Phi_t \leq 1.0$, что позволяет пренебречь влиянием температуры на коэффициент тензочувствительности. Среднее сопротивление линий связи $r = 0,6$ Ом, сопротивление тензорезисторов $R = 100$ Ом, параметр линии связи a соответственно равен 0,006, то есть влияние сопротивления линий связи незначительно и оно может не учитываться при определении деформаций. Эти параметры (Φ_t и a) входят как составляющие систематической погрешности при оценке погрешности измерений.

Значение коэффициента тензочувствительности получается на градуировочной балке. Таким образом, величина измеряемых деформаций определяется по следующей формуле:

$$\xi = \frac{4(N_i - N_0)}{K(1 + 2N_0 \cdot 10^{-6})(1 - 2N_i \cdot 10^{-6})}, \quad (6)$$

Эти мероприятия и технические возможности стенда позволяют воссоздать температурные поля деталей ЦПГ, соответствующие температурным полям на режимах холостого хода, номинальной мощности, а также цикл нагружения, позволяющий исследовать малоцикловую усталость.

Методика оценки погрешности измерений

Исследуемый параметр может быть измерен прямым или косвенным методом. При прямых методах числовое значение измеряемой величины определяется непосредственно оценкой показаний регистрирующего прибора. При испытаниях на стенде все исследуемые параметры измеряются прямым методом.

Уменьшение систематических погрешностей при прямых измерениях обеспечиваются использованием регистрирующих приборов с классом точности 0.5 и 0.25, прошедших метрологическую поверку. Исключение грубых погрешностей проводится многократным повторением измерений.

Систематические погрешности полученных показателей оцениваются по допустимым погрешностям приборов. Погрешность средства измерения определяется по методике [1 - 3]. Приведённая погрешность прибора:

$$\Theta = \pm 100 \frac{\Delta}{X_n}, \quad (7)$$

где: Θ – предел допускаемой приведённой погрешности в процентах нормирующего значения;

X_n – нормирующее значение в единицах измеряемой величины;

Δ – абсолютная погрешность прибора.

Среднее арифметическое исправленных (по ГОСТ 11.002-73) результатов наблюдений:

$$\bar{A} = \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{n}, \quad (8)$$

где: n – число измерений;

A_i – значение измеряемой величины.

Среднее квадратичное отклонение результата измерения:

$$S(\bar{A}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{A})^2}{n(n-1)}}, \quad (9)$$

где x_i – i -й результат наблюдения.

Доверительные границы (без учёта знака) случайной погрешности результата измерения:

$$\varepsilon = t \cdot S(\bar{A}) \quad (10)$$

где t – коэффициент Стьюдента, значения которого для доверительной вероятности $P=0.95$ приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Значения коэффициента Стьюдента

Число измерений n	4	5	6
t	3.182	2.776	2.571

Граница неисключённой систематической погрешности (без учёта знака):

$$\Theta = K \sqrt{\sum_{i=1}^m \Theta_i^2}, \quad (11)$$

где: Θ_i – предел допускаемой приведённой погрешности i -го средства измерения;

K – коэффициент, определяемый доверительной вероятностью, для $P=0.95$ $K=1.1$;

m – количество средств измерения.

При $\Theta/S(\bar{A}) < 0.8$ неисключёнными систематическими погрешностями по сравнению с случайными пренебрегают и принимают $\Delta=\varepsilon$. При $\Theta/S(\bar{A}) > 8$ пренебрегают случайной погрешностью по сравнению с систематической и $\Delta=\Theta$. При $0.8 < \Theta/S(\bar{A}) < 8$ граница погрешности результата измерения (без учёта знака):

$$\Delta = K \cdot S_{\Sigma}, \quad (12)$$

где K – коэффициент, зависящий от соотношения случайной и неисключенной систематической погрешностей:

$$K = \frac{\varepsilon + \Theta}{S(\bar{A}) + \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{\Theta_i^2}{3}}}, \quad (13)$$

где S_{Σ} – оценка суммарного среднего квадратического отклонения результата измерения:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \Theta_i^2 / 3 + [S(\bar{A})]^2} \quad (14)$$

Тарировка термопар проводится при помощи комплекта ртутных термометров, образцовой термопары и прибора Щ301-3 отдельно при нагреве и остывании. Погрешность для прямых измерений указана в таблице 2.

Таблица 2 - Погрешность прямых измерений

Величина	Обозначение	Средство измерения	Погрешность, %
Напряжение в цепи питания, В	V	Вольтметр Э-365	± 1
Сила тока в цепи питания, А	I	Вольтметр Э-365	± 1
Температура детали, С	T	ХК, вольтметр Щ301-3	± 0.82
Температура охлаждающей жидкости, С	$T_{ж}$	Ртутный термометр	± 0.1
Расстояние между термopаpами, мм	l	Штангенциpкyль	± 0.1

3. Краткая характеристика экспериментальной установки

Тепловой стенд предназначен для исследования теплового и теплонапряженного состояния деталей ЦПГ высокофорсированных дизелей.

Принципиальная схема стенда представлена на рисунке 3 и включает: съёмный переходник 1, ламповый нагреватель 2, систему охлаждения для отвода тепла от испытуемых деталей, систему питания электроэнергией 5, блок контрольно-измерительной аппаратуры 6.

В качестве нагревателя используются кварцевые галогенные лампы КГ-220-2000-4; охлаждение корпуса нагревателя осуществляется водой.

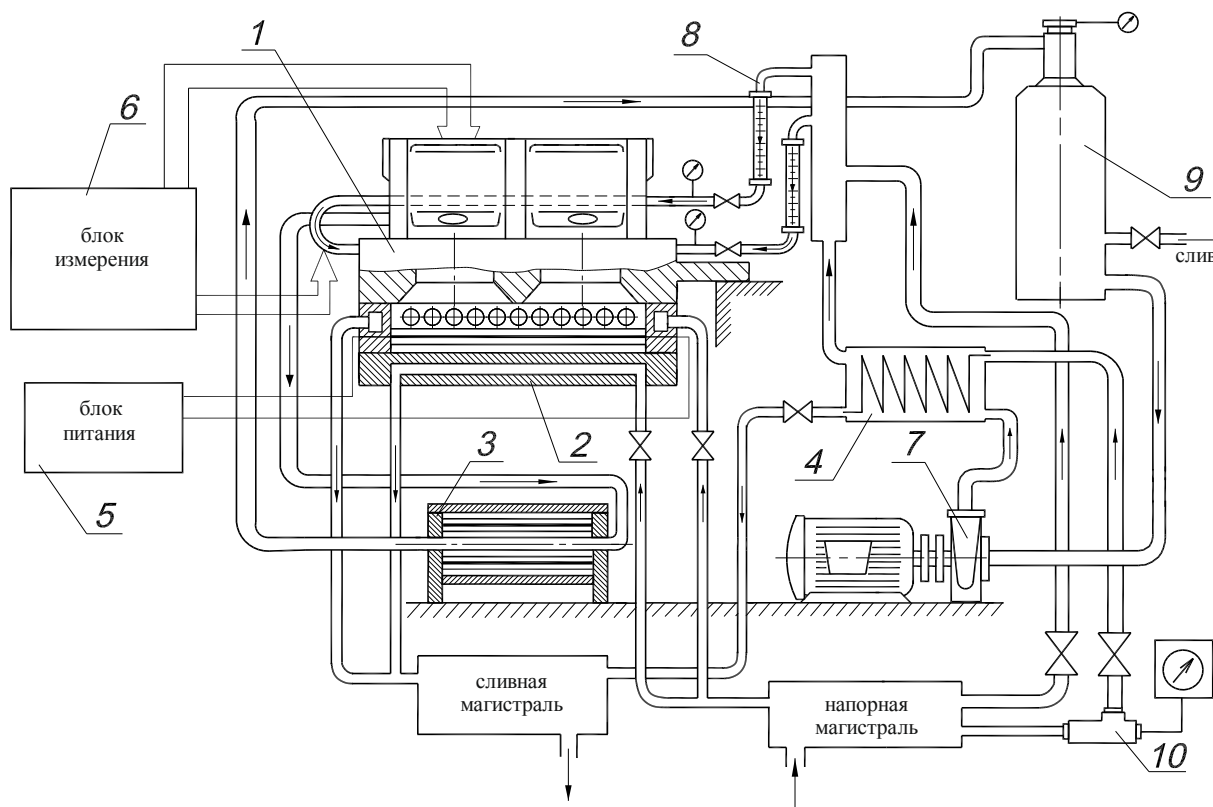


Рис. 3 – Принципиальная схема безмоторного теплового стенда

Система охлаждения стенда предназначена для поддержания температуры, давления и расхода охлаждающей жидкости на заданном уровне во время испытаний и включает следующие основные элементы: подогреватель охлаждающей жидкости 3, холодильник 4, насос 7, расходомер 10, расходомеры входных отверстий 8, расширительный бачок 9, трубопроводы, манометры.

Принятая система охлаждения позволяет обеспечить практически любые параметры охлаждающей жидкости, имеющие место в существующих поршневых двигателях.

Корпус нагревателя 2 выполнен в виде коробчатой конструкции с отверстиями под лампы и внутренним водяным охлаждением, подвод которого осуществляется через штуцер. В качестве источников излучения используется кварцевые галогенные лампы накаливания КГ 220-2000-4 (ТУ I6-535.253-74) с вольт-амперной характеристикой, представленной на рисунке 4 [4].

Лампы устанавливаются в двух рядах так, что их оси, принадлежащие различным рядам, перпендикулярны друг другу. Количество устанавливаемых ламп определяется диаметром огневой поверхности исследуемой детали. Конструкция токоподвода обеспечивает индивидуальный подвод электрической энергии к клеммам ламп. Для компенсации теплового расширения ламп во время работы индивидуальные патроны установлены на пружинах. Блок питания 5 (показан на рисунке 5) выполнен на базе регуляторов напряжения РНШ (ТУ 79 339-72), позволяющих плавно изменять напряжение питания ламп от 0 до 230 В. Схема электрического питания нагревателя приведена на рисунке 6.

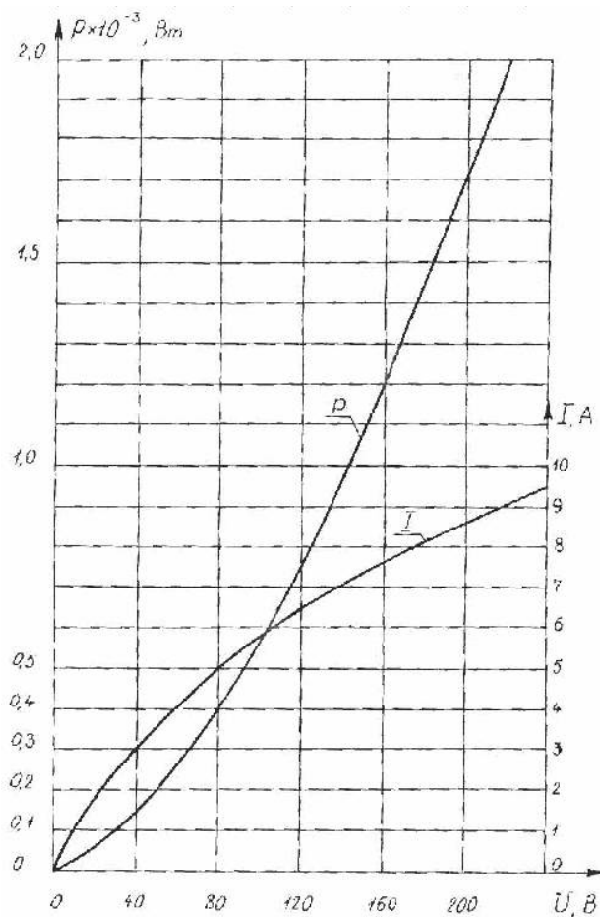


Рис. 4 – Вольтамперная характеристика лампы КГ 220-2000-4

Система автоматического управления осуществляет ввод задания, которое соответствует сигналу преобразователя при максимальном и

минимальном значениях температуры цикла, задаёт и автоматически отслеживает произвольный по времени режим термоциклирования.

Система автоматического управления состоит из двух регуляторов Р-111, реле времени РВ, блоков управления БУТ-01, входящих в комплект тиристорных усилителей У-252. Посредством настройки регуляторов Р-111 устанавливаются необходимые уровни питания нагревателя. Сформированный выходной управляющий сигнал через разъёмные контакты реле времени поступает на вход в У-252. Реле времени осуществляет последовательное включение в цепь управления, через заданный интервал времени, выходных управляющих сигналов регуляторов. Система электроснабжения обеспечивает питание приборов системы автоматического управления, плавное изменение напряжения на клеммах галогенных ламп при выводе их на рабочий режим, а также раздельное регулирование по фазам подводимого к галогенным лампам напряжения.

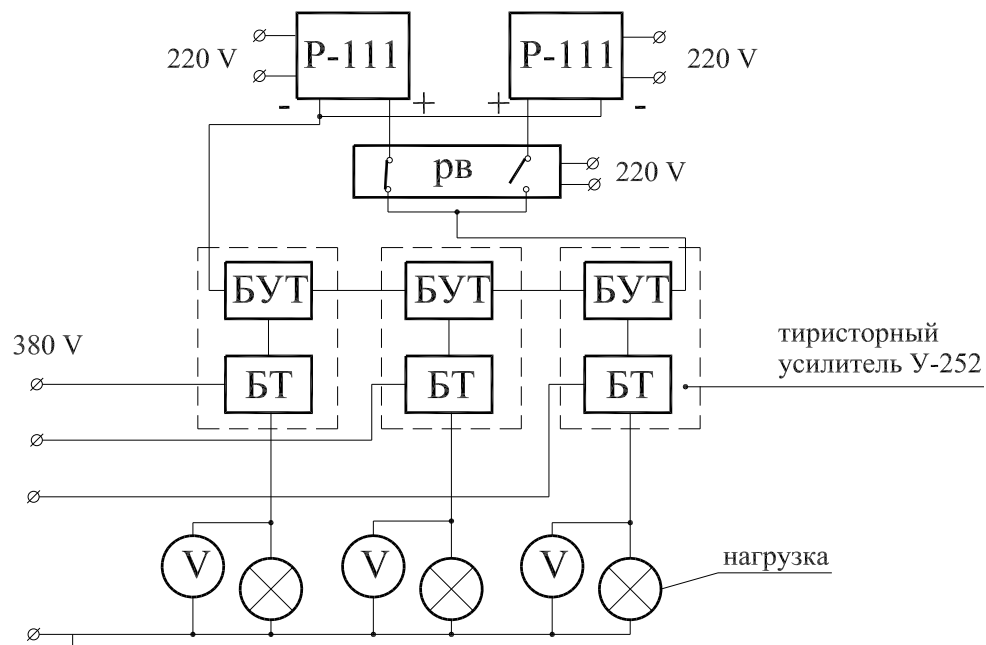


Рис. 5 – Принципиальная схема системы автоматического управления и электроснабжения стенда

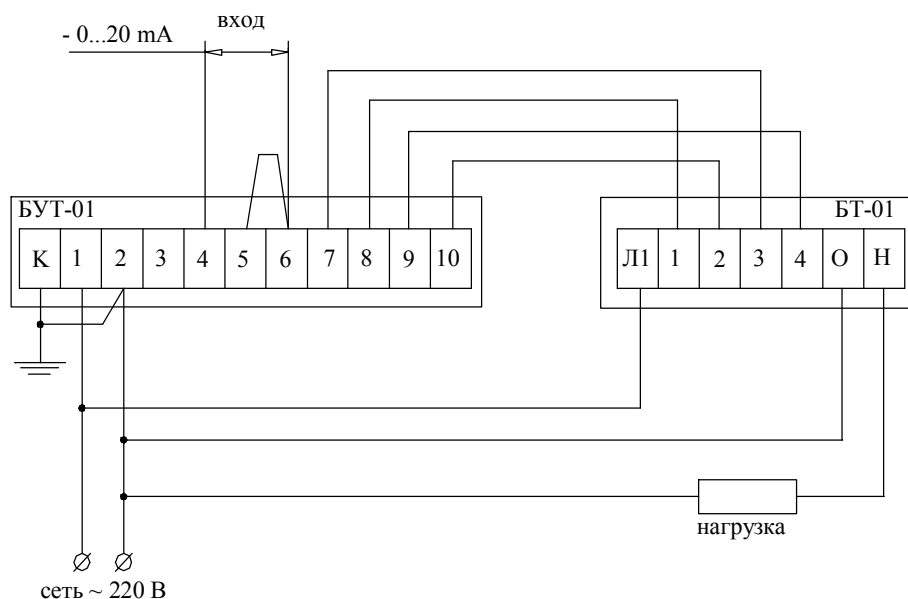
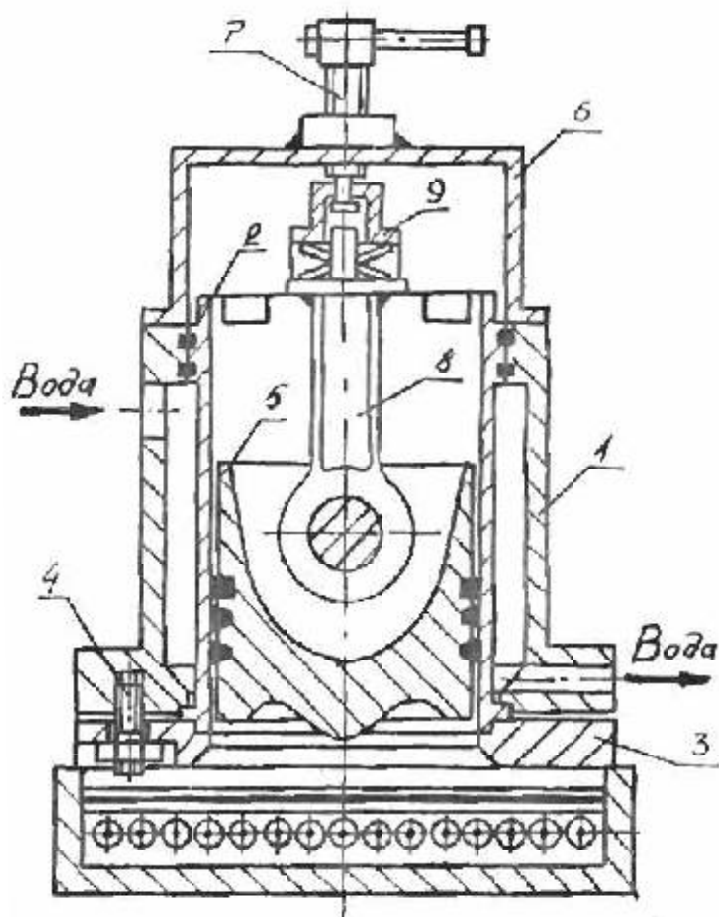


Рис. 7 – Схема соединений усилителя У-252

К системе нагрева также относится подогреватель 3 и холодильник 4, показанные на рисунке 3. Подогреватель охлаждающей жидкости предназначен для компенсации потерь теплоты в окружающую среду и обеспечения заданной температуры охлаждающей жидкости на входе в зарубашечное пространство исследуемой детали. Источником теплоты являются тены накаливания, устанавливаемые по периметру водяного коллектора и закрытые кожухом.

Система охлаждения предназначена для отвода заданной доли теплоты от граничных поверхностей. Отличительной особенностью данной системы является съемный модуль 1, показанный на рисунке 8, и различающийся для исследования крышки и поршня с гильзой.



1 – рубашка охлаждения; 2 – гильза; 3 – бурт; 4 – шпилька; 5 – поршень; 6 – скоба; 7 – силовой винт; 8 – шатун; 9 – нагрузочная пружина

Рис. 8 – Общий вид съемного модуля для поршня

Для поршня в специально запроектированную рубашку охлаждения 1 устанавливается штатная гильза 2, крепящаяся буртом 3 при помощи шпилек 4. Геометрия зарубашечного пространства выполнена в соответствии с размерам зарубашечного пространства отсека двигателя. Поршень 5 с кольцами и шатуном 8 устанавливается в гильзу и фиксируется при помощи направляющей 6 и силового винта 7.

Необходимое усилие в контакте кольцо-гильза обеспечивается клиньями, устанавливавши в замок поршневого кольца. Для этого в нижней части гильзы фрезеруются 3 специальных паза, равномерно расположенных по окружности. При установке поршня в гильзу замок кольца подводится к пазу, через который запрессовывается клин. Силовым винтом 7 с помощью

динамометрического ключа создается усилие в контакте кольцо-поршень, сохраняемое в процессе эксперимента устройством 9. Обеспечив заранее рассчитанную шероховатость на поршневом кольце и поршне и выбрав межконтактную среду с необходимой теплопроводностью, при помощи нагрузочного устройства выполняются заданные условия отвода теплоты через кольца в гильзу.

Установка поршня внутренней поверхностью кверху позволяет заполнять зазор между тронком поршня и гильзой средой с любой вязкостью, а установка в замки колец клиньев и плотный контакт между кольцами и поршнем предохраняет от перетекания жидкости в зазор между головкой поршня и гильзой.

Для крышки цилиндра съемный модуль выполнен в виде бурта, имитирующего условия стыковки крышки с блоком и гильзой для обеспечения подачи охлаждающей жидкости в рубашку охлаждения крышки. Для обеспечения теплового потока, соответствующего диаметру камеры сгорания двигателя, на корпус нагревателя сверху устанавливается специальный экран, выполненный в виде плоского полого корпуса с центральным отверстием, равным диаметру цилиндра, как показано на рисунке 9. Для обеспечения его работоспособности во внутреннюю полость корпуса экрана из магистрали поступает охлаждающая вода.

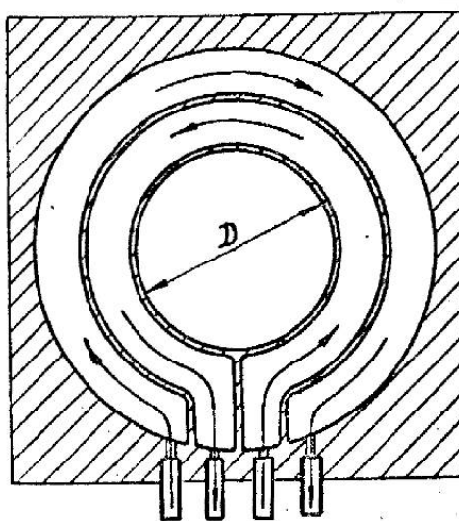


Рис. 9 – Схема охлаждения верхнего экрана

Чтобы обеспечить более симметричное температурное поле экрана, охлаждающая вода движется двумя противоположно направленными потоками. При полной нагрузке нагревателя расход охлаждающей воды устанавливается таким, чтобы температура на поверхности периферийной зоны корпуса экрана соответствовала температуре блока двигателя.

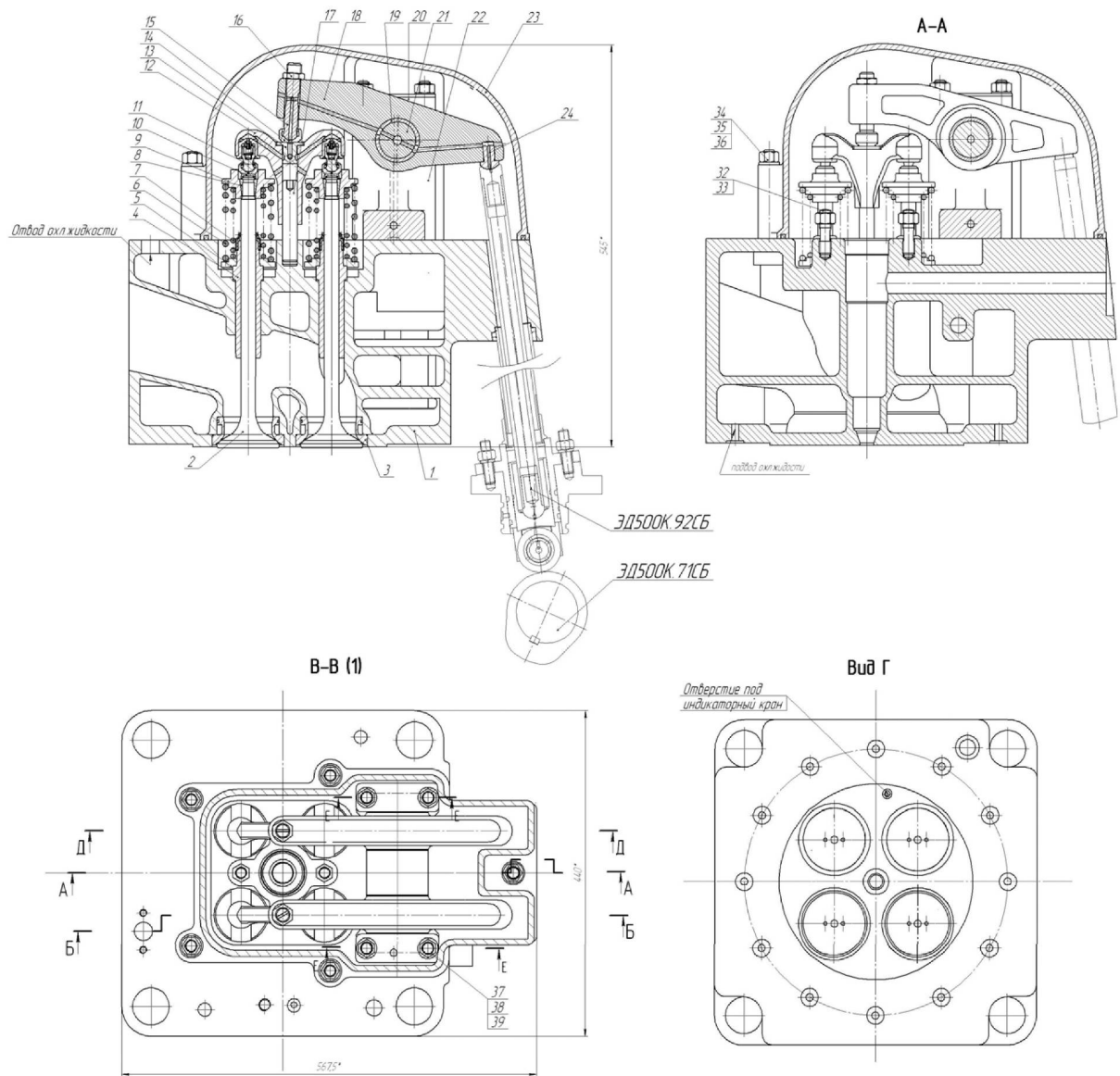
Система охлаждения модуля состоит из двух контуров: внутреннего, непосредственно охлаждающего модуль, и внешнего - поддерживающего необходимый температурный уровень охлаждающей жидкости, как показано на рисунке 3. Во внутреннем контуре охлаждающая жидкость насосом 7 через подогреватель 3 и общий расходомер 8 подается на вход в рубашку охлаждения, из которой через индивидуальные расходомеры и рекуперативный холодильник 4 попадает на вход насоса 7. Заполнение системы внутреннего контура осуществляется из напорной магистрали через вентиль 10. Необходимое давление в системе внутреннего контура обеспечивается подачей сжатого воздуха в расширительный бачок 9, на котором установлен предохранительный клапан. Во внешнем контуре холодная вода из напорной магистрали через расходомер поступает в холодильник 4 и затем в сливную магистраль. Расход воды во вторичном контуре регулируется вентилем.

4. Объекты исследования

Крышка цилиндра

Крышка цилиндра (рисунок 10) предназначена для образования совместно со втулкой цилиндра и поршнем камеры сгорания, а также для установки в ней двух впускных, двух выпускных клапанов и форсунки. На верхней плите крышки цилиндра установлены рычаги и траверсы механизма привода клапанов и индикаторный кран. Крышка цилиндра (поз.1) – литая, из высокопрочного легированного чугуна. К верхней плите крышки крепится стойка (поз. 22) с крышками (поз. 19) из ковкого алюминия, на оси которой (поз. 21) установлены рычаги (поз. 18) впускных и выпускных клапанов. На

поверхности огневого днища со стороны камеры сгорания выполнен зубчатый газовый стык замкового типа и центрирующий бурт, для фиксации положения крышки относительно втулки цилиндра при сборке. Для совместного монтажа (демонтажа) цилиндрического комплекта в тело крышки и втулки цилиндра вворачивают два болта, опирающихся на верхнюю плоскость крышки. В крышку запрессованы штоки (поз. 17) для установки траверс (поз. 12) и направляющие втулки (поз. 4), в которых установлены два впускных клапана (поз. 2) и два выпускных клапана (поз. 32) из жаропрочного сплава. Клапаны прижимаются к седлам в закрытом состоянии двумя пружинами (поз. 6 и 7). Пружины опираются на нижние тарелки (поз.5) с устройством принудительного вращения и удерживаются разрезными сухарями (поз. 8) и верхними тарелками (поз. 9), которые одновременно фиксируют положение траверс от проворачивания. На верхние торцы штоков клапанов установлены колпачки (поз. 10) для регулировки одновременности открытия одноименных клапанов. Рабочие фаски клапанов опираются на фаски охлаждаемых седел (поз. 3 и 33), запрессованных в днище крышки. Седла по посадочным поверхностям дополнительно уплотняются резиновыми кольцами. Рабочее движение каждой пары одноименных клапанов осуществляется траверсой через гидравлические толкатели (поз. 11), которые компенсируют зазоры в механизме привода клапанов в процессе работы дизеля. Все пары трения механизма привода клапанов смазываются маслом, подводимым из блока через трубки, затем через штуцерное соединение по сверлениям в крышке цилиндра к стойке с рычагами. Одновременно по сверлениям в рычагах, нажимных болтах (поз. 15) и траверсах осуществляется подвод масла к гидравлическим толкателям. В верхней плите крышки имеется полость для сбора масла, стекающего с рычажно-клапанного механизма, и система отверстий в крышке через штуцерное соединение по трубкам к блоку для слива масла в полость расположения распределительного вала и далее в картер.



- 1 – крышка цилиндра; 2 – клапан впускной; 3 – седло впускного клапана; 4 – втулка направляющая; 5 – нижняя тарелка; 6,7 – пружина;
 8 – сухарь; 9 – верхняя тарелка; 10 – колпачок; 11 – толкатель;
 12 – траверса; 13 – упор; 14 – сухарь; 15 – болт нажимной; 16 – гайка;
 17 – шток; 18 – рычаг; 19 – втулка; 20 – крышка; 21 – ось рычагов;
 22 – стойка; 23 – кожух

Рис. 10 - Крышка цилиндра

Охлаждение крышки цилиндра, направляющих втулок клапанов и седел осуществляется водой, поступающей во внутреннюю полость из рубашки втулки цилиндра через систему сверлений в теле крышки. Отвод охлаждающей воды выполняется через отверстие в верхней плите в общий водяной коллектор. Клапанно-рычажный механизм закрывается кожухом

(поз. 23) из алюминиевого сплава (возможен вариант полимерного материала), который крепится шпильками, ввернутыми в верхнюю плиту крышки, и гайками с шайбами. Между кожухом и крышкой устанавливается резиновое уплотнение.

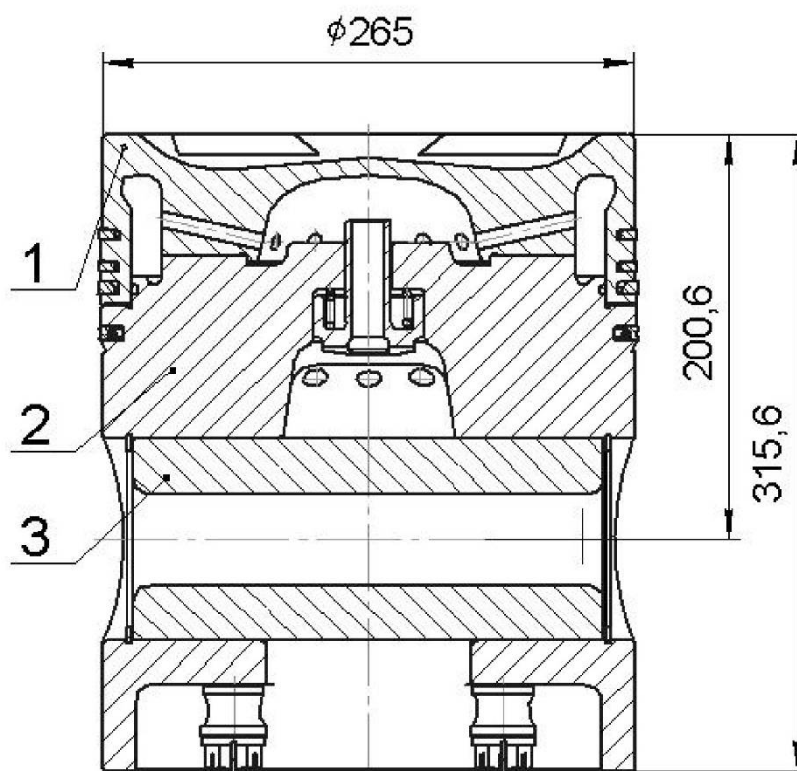
Поршень

Поршень (рисунок 11) составной конструкции с головкой (поз. 3) из легированной теплостойкой стали и тронком (поз. 2) из высокопрочного алюминиевого сплава. Применение для головки стали 20Х3МВФ позволяет обеспечить высокую прочность $\sigma_{0,2} \geq 650$ МПа при температурах до 400-450°C и высокую износостойкость ручьёв под поршневые кольца.

Использование в качестве заготовки штамповки обеспечивает в готовой детали высокий уровень механических свойств и практически 100% отсутствие металлургических дефектов. Для тронков поршней применяется кованный высокопрочный алюминиевый сплав В96Ц-3, имеющий предел прочности $\sigma \geq 500$ МПа, что приближается к прочности высокопрочного легированного чугуна. Применение в качестве заготовки штамповки обеспечивает отсутствие в детали металлургических дефектов, чего обычно не удаётся избежать в литых деталях (например из чугуна). Использование алюминия позволяет применять методы поверхностного пластического деформирования наиболее напряжённых участков, что обеспечивает повышение прочности в локальных зонах дополнительно на 30-50%. Применение алюминия для изготовления тронка позволяет существенно снизить массу поршня, что благоприятно с точки зрения минимизации усилий на втулку цилиндра, снижает износ деталей, уменьшает вероятность кавитации в водяных полостях охлаждения, уменьшает уровень вибрации дизеля в целом. Применение в качестве материала тронка алюминия в сочетании с нанесением на его рабочую поверхность твёрдой смазки в виде дисульфида молибдена обеспечивает отличные трибологические свойства при работе в паре с чугунными втулками цилиндров. Поршневой палец (поз. 3) плавающего типа из высококачественной легированной стали с

азотированной рабочей поверхностью, что обеспечивает его высокую прочность, износостойкость и ресурс. Сочетание перечисленных положительных свойств головки, тронка и пальца обеспечивает необходимый ресурс работы поршней до капитального ремонта.

Перечисленные используемые материалы и технологии освоены в производстве поршней на Коломенском заводе, что предопределяет технологичность изготовления подобных поршней диаметром до 265 мм. Имея в виду высокий уровень форсирования дизелей по $P_{zmax} \approx 200$ бар, по условиям прочности может потребоваться поршень с тронком из более прочных материалов – чугуна или стали.



1 – головка поршня; 2 – тронк поршня; 3 – поршневой палец

Рис. 11 – Поршень

Поршневые кольца

Поршневые кольца (рисунок 12, 13, 14) являются ответственными деталями двигателя, от технического уровня которых и качества их

изготовления во многом зависит технический уровень двигателя в целом. Поршневые кольца должны изготавливаться копирной обточкой, обеспечивающей необходимую форму и заданную эпюру радиальных давлений на втулку цилиндра. По наружной поверхности компрессионные кольца должны иметь оптимальную бочкообразную форму, обеспечивающую хорошее прилегание колец ко втулке цилиндра во всех положениях поршня. Компрессионные кольца должны иметь твёрдое износостойкое покрытие и развитую маслоёмкую поверхность (хромирование с последующим дехромированием наружной поверхности, хромокерамические покрытия и др.) Маслосъёмные кольца также должны иметь оптимальную форму рабочей поверхности, острые кромки, твёрдое покрытие рабочей поверхности. На поршень устанавливаются 2-3 компрессионных и 1-2 маслосъёмных кольца (по результатам испытаний на опытном двигателе).

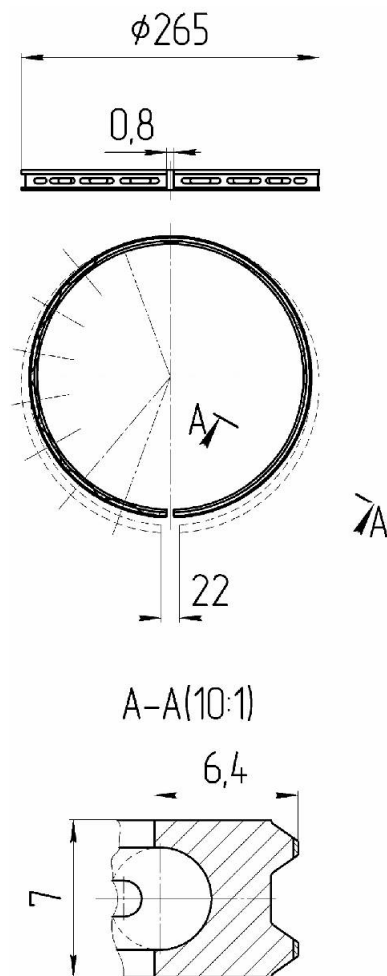


Рис. 12 - Кольцо маслосъёмное

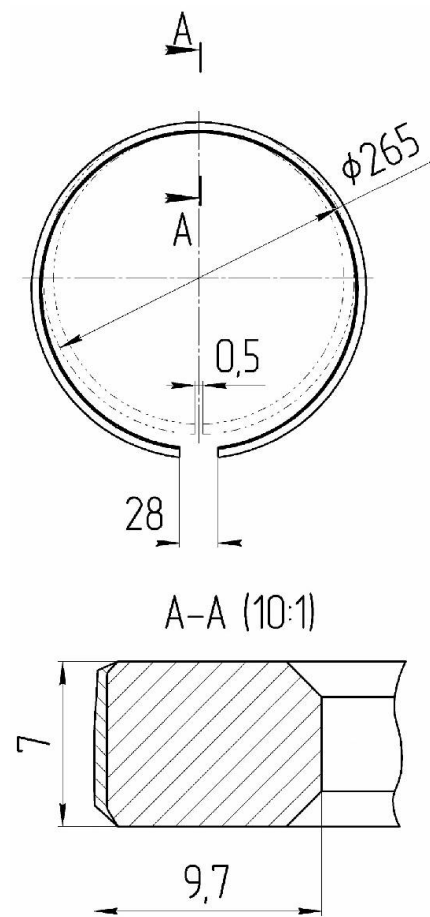


Рис. 13 - Кольцо компрессионное № 1

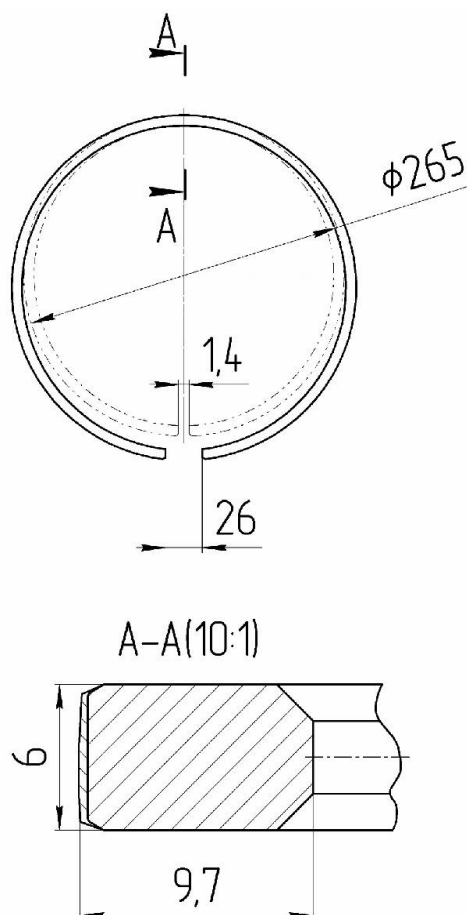


Рис. 14 - Кольцо компрессионное № 2

5. Порядок выполнения работы

При термометрировании крышки цилиндра (поршня) изучается схема расположения термопар и проверяется их работоспособность, строится тарировочная кривая. Выбирается режим работы теплового стенда, соответствующий заданному режиму работы двигателя, крышка (поршень) которого подлежит исследованию. Режим работы стенда определяется нагрузкой и расстоянием до нагреваемой поверхности включенных галогенных ламп. Устанавливаются режимы работы системы охлаждения стенда: задается расход охлаждающей жидкости, ее давление и температура.

Термометрируемая деталь и элементы системы охлаждения выводятся на установившийся температурный режим, о чем свидетельствует

неизменность параметров системы охлаждения и температур в контрольных точках исследуемой детали.

Схемы расположения термопар для крышки цилиндра приведены на рисунке 15 и в таблице 3, для поршня – на рисунке 16.

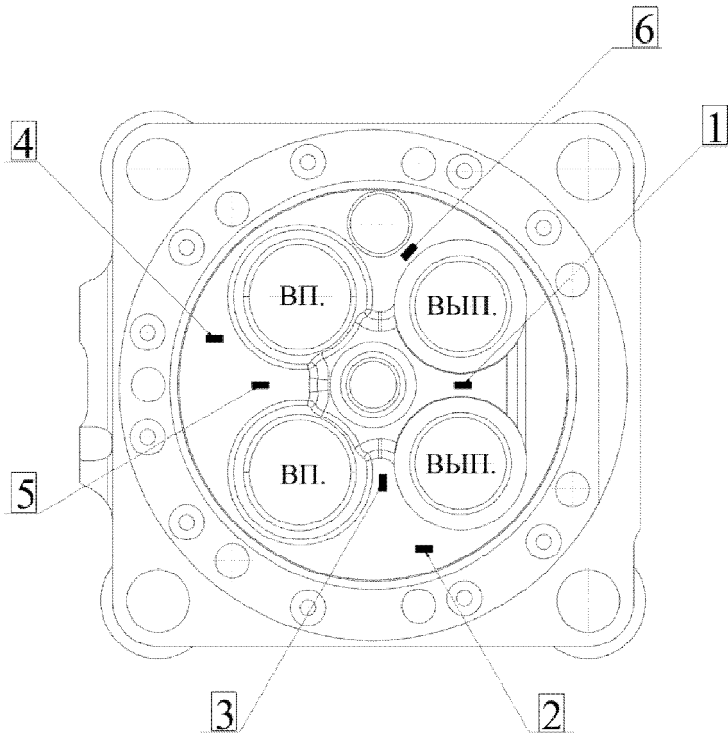


Рис. 15 - Схема расположения термопар на огневом днище крышки цилиндра

Таблица 3 - Места установки термопар

Номер точки	Координаты		Глубины залегания		
	X	Y	Z ₀	Z ₁	Z ₂
	(мм)	(мм)	(мм)	(мм)	(мм)
1	65	0	2.4	10.7	2.8
2	25	-120	2.4	10.7	3.0
3	5	-70	2.4	10.4	3.5
4	-120	20	2.5	10.6	2.5
5	-50	0	2.6	10.6	3.5
6	25	100	2.5	10.6	1.0

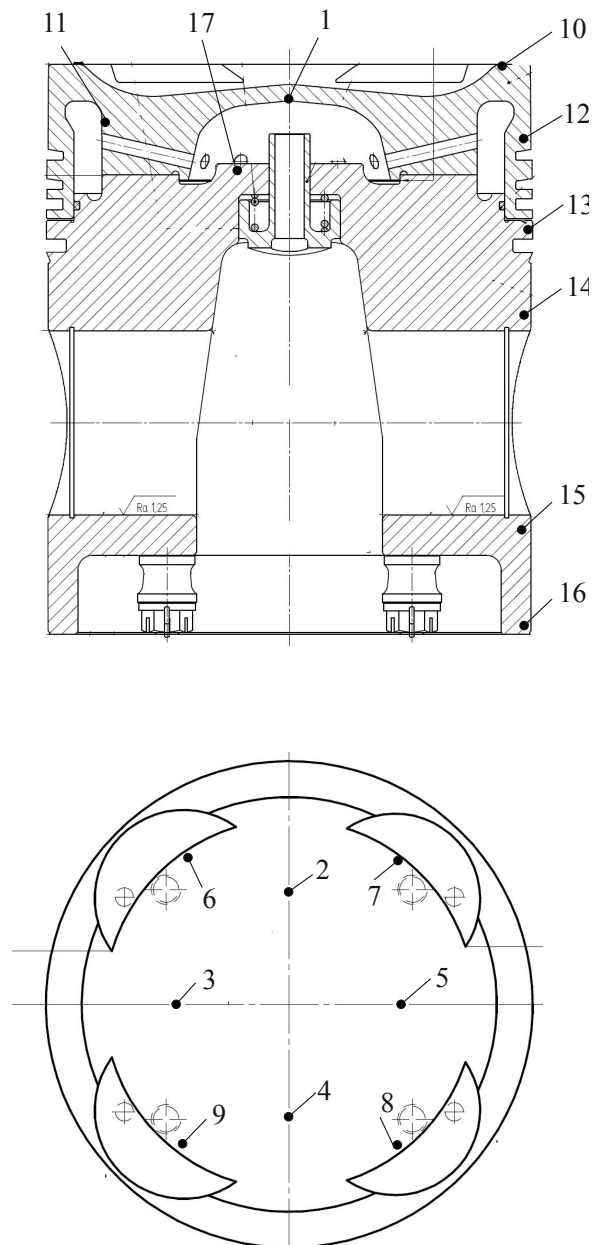


Рис. 16 – Схема расположения термопар в поршне

После этого производится запись величин температур с помощью описанных выше ручной или автоматической системы измерения. Далее оценивается погрешность измерения и величина возможной систематической ошибки полученных результатов.

Результаты эксперимента заносятся в протокол испытаний (таблица 4), строится температурное поле детали со стороны нагрева и дается оценка полученного уровня теплонапряженности исследуемой детали.

Таблица 4

№ датчика	Режим двигателя Ре	Показания прибора, мВ			Величина температуры, °С		
		№ замера			№ замера		
		1	2	3	1	2	3
1							
2							
3							
4							

6. Правила безопасности при проведении лабораторной работы

1. Общие положения

1.1. Эксплуатация электроустановок любого напряжения относится к работам, проводимым в условиях повышенной опасности. При выполнении работы студент должен:

- иметь отчетливое представление об опасности электрического тока, опасности приближения к токоведущим частям и опасности соприкосновения с горячими элементами стенда и исследуемой детали;

- иметь практические навыки оказания первой доврачебной помощи пострадавшим от электрического тока.

1.2. К работе с электротехническими установками допускаются лица, имеющие первую квалификационную группу допуска.

1.3. Для обеспечения безопасности людей все корпуса электроприборов должны быть заземлены.

1.4 В целях обеспечения безопасности и исключения несчастных случаев во время проведения испытаний студенты должны пройти обязательный предварительный (вводный) инструктаж по технике безопасности. Инструктаж проводится в лаборатории и регистрируется в специальном журнале.

Студенты, не прошедшие вводный инструктаж к лабораторной работе не допускаются.

1.5 При проведении работы студенты обязаны соблюдать следующие правила:

1.5.1 В помещении лаборатории должно быть не более 10 студентов. Если в академической группе больше студентов, то она должно быть разделена на несколько подгрупп.

1.5.2 Во время проведения работы все студенты должны находиться вне зоны стенда, отмеченной на полу.

1.5.3. Категорически запрещается самовольное включение/отключение каких бы то ни было приборов и устройств, кнопочных пускателей, тумблеров, регуляторов и т.п.; а также прикосновение к токопроводам стенда и оборудования.

1.5.4 При обнаружении в процессе работы каких-либо неожиданных, посторонних, необычных (с точки зрения студентов) явлений, как то: утечки охлаждающей жидкости из системы охлаждения стенда или исследуемой детали, возникновении посторонних шумов, вибраций, стуков, появлении запахов пара, дыма, огня, искрения или разрывов в электрических цепях и т.п., следует немедленно сообщить преподавателю или учебному мастеру.

1.5.5 В случае возникновения пожара следует по указанию преподавателя (учебного мастера) быстро и организованно покинуть помещение лаборатории или по его просьбе приступить к ликвидации возгорания имеющимися в лаборатории противопожарными средствами.

1.5.6 Во время проведения работы запрещается прикасаться:

- ко всем элементам теплового стенда и исследуемой детали;
- ко всем узлам и конструкциям, окрашенным в красный цвет;
- к проводам системы электропитания стенда;
- к элементам системы охлаждения стенда и исследуемой детали;
- к вращающимся элементам электродвигателя насоса системы охлаждения.

1.5.7 Категорически запрещается курение в помещениях лаборатории и прилегающих коридорах.

1.6 При получении травм (ожог, порез, удар и проч.) необходимо немедленно поставить в известность преподавателя (учебного мастера) и использовать средства имеющейся в лаборатории аптечки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Касандрова О.Н., Лебедев В.В. Обработка результатов наблюдений. – М.: Наука, 1970. – 104 с.
2. Веников В.А. Теория подобия и моделирования.- М.: Высшая школа, 1976,- 380с.
3. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем.- М.: Высшая школа, 1985.- 271с.
4. Вугман С.М., Волков В.И. Галогенные лампы накаливания.- М.: Энергия, 1980. – 136 с.
5. Автоматизированные тиристорные нагружающие устройства для испытания двигателей внутреннего сгорания: Тез. докл. науч.-техн. семинара, 11-12 окт., 1988 г. – Саранск, 1988. – 38 с.
6. Чайнов Н.Д., Петров В.Б., Сидоров А.А. и др. Статический стенд для моделирования теплового состояния поршней транспортных форсированных дизелей // Известия ВУЗов. Машиностроение, 1988. – № 1. – С. 81-84.
7. Аникин С.А., Станкевич И.В., Кулинский Э.А. Исследование тепловой напряженности деталей цилиндропоршневой группы высокофорсированных транспортных дизелей. - Тр./МВТУ, 1981, № 351, с.77-86.
8. Чайнов Н.Д., Заренбин В.Г., Иващенко Н.А. Тепломеханическая напряжённость деталей двигателей. – М.: Машиностроение, 1977. – 152 с.