

Методика индицирования теплового состояния стенок цилиндра и газа рабочей полости роторного компрессора внутреннего сжатия

А.Г. Сайфетдинов, А.В. Кирсанов, М.С. Хамидуллин, И.Г. Хисамеев

(Казанский государственный технологический университет)

Работа посвящена исследованию теплового состояния газа и стенок цилиндра с целью определения коэффициента теплоотдачи газа в рабочей полости роторного компрессора. Представлена методика измерения температур.

Ключевые слова: Роторный компрессор, коэффициент теплоотдачи, температура газа и стенок, термопара, индицирование.

Technique used to indicate thermal state of the cylinder walls and the gas in the working volume of an internal compression rotary compressor

A.G. Saifetdinov, A.V. Kirsanov, M.S. Khamidullin, I.G. Khisameev

The study is devoted to experimental research of the thermal state of the cylinder walls and the gas in order to determine gas heat transfer within the working volume of a rotary compressor. The technique of temperature measurement is presented.

Keys words: rotary compressor, heat-transfer coefficient, temperature of gas and walls, thermocouple, indication.

Особенностью конструкции роторных компрессоров является то, что объем рабочей полости на протяжении всего рабочего процесса «ометается» роторами, вследствие чего установка датчиков для измерения температуры рабочей полости затруднительна. В связи с этим возникают трудности определения расчетно-экспериментальных зависимостей коэффициента теплоотдачи от режимных параметров. В КГТУ разработана методика определения коэффициента теплоотдачи от газа рабочей полости к стенке цилиндра воздушного роторного компрессора внутреннего сжатия [1], основанная на фиксации мгновенных значений температуры газа и поверхности стенки. Температура внутренней поверхности стенок измеряется термопарными датчиками, установленными на корпусе от патрубка всасывания до патрубка нагнетания (рис. 1). Диаметр проволоки хромель-копелевых термопар (ХКТ) этих датчиков составляет 0,02 мм. Температура газа измеряется таким же термопарным датчиком, расположенным на вращающемся роторе компрессора. Постоянная времени ХКТ – 8...10 мкс.

Для измерения давления в полости машины на этом же роторе установлен чувствительный элемент давления (ЧЭД). Сигналы с вращающейся ХКТ и ЧЭД снимаются через ртутно-амальгированный токосъемник ТРАК-8. Температура наружной поверхности стенки измеряется при помощи ХКТ, приваренных непосредственно к ее поверхности. Диаметр проволоки данных ХКТ равен 0,5 мм.

Спай ХКТ датчика измерения температуры газа, установленного на вращающемся роторе, выступает над поверхностью ротора на 3,5 мм. Во избежание повреж-

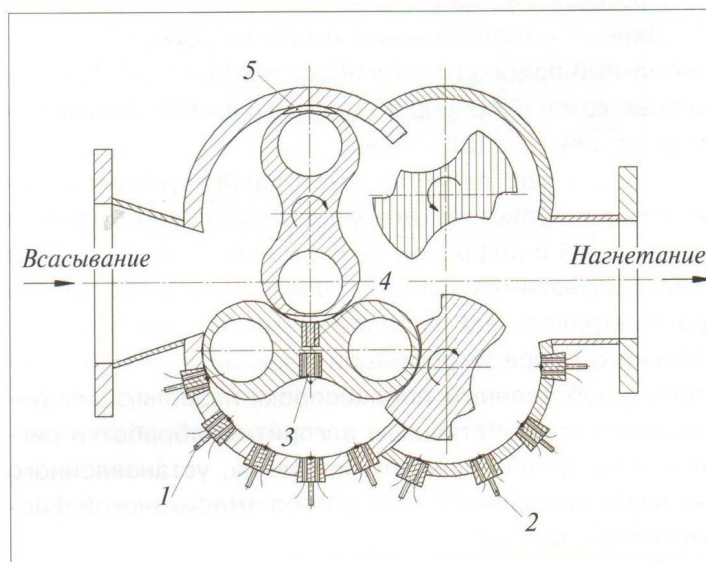


Рис. 1. Расположение датчиков на корпусе и роторе компрессора:

1 – датчик температуры внутренней стенки цилиндра; 2 – датчик температуры внутренней стенки полости нагнетания; 3 – датчик температуры газа рабочей полости; 4 – чувствительный элемент давления; 5 – проточка

дения спая во время работы компрессора на внешних поверхностях ответного ротора выполнена проточка глубиной 4 мм и шириной 1,5 мм.

Угловой отметчик поворота ротора реализован в виде оптопары (лампа накаливания – фотодиод) с оптическим прерывателем. Последний представляет собой диск с двумя прорезями – на один оборот приходится два электрических импульса.

Снятие и обработка сигнала с термопарных датчиков, чувствительного элемента давления и углового от-

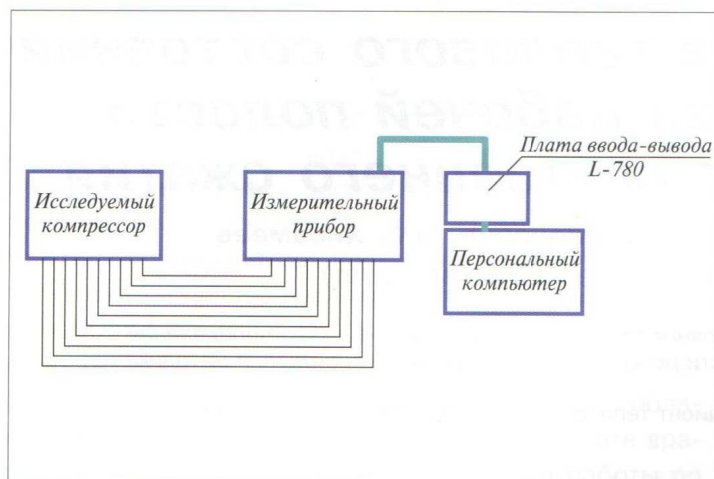


Рис. 2. Схема измерительного комплекса

метчика производится созданным на базе персонального компьютера специализированным измерительным комплексом, предназначенным для исследования быстропротекающих процессов.

Данный измерительный комплекс содержит измерительный прибор и плату ввода и вывода L-780, с помощью которой прибор подключается к персональному компьютеру (рис. 2).

Плата L-780 является быстродействующим и надежным устройством для ввода, вывода и обработки аналоговой и цифровой информации в персональных IBM совместимых компьютерах. Плату L-780 можно рассматривать как удобное средство для многоканального сбора информации и как законченную систему с собственным процессором, позволяющим реализовывать собственные алгоритмы обработки сигналов на уровне программирования, установленного на плате сигнального процессора американской фирмы Analog Devices.

На плате имеется один аналого-цифровой преобразователь (АЦП), на вход которого при помощи коммутатора может быть подведен один из 16 или 32 аналоговых каналов с внешнего разъема платы.

Техническая характеристика АЦП

Число каналов	16 дифференциальных; 32 с общей землей
Разрядность, бит	14
Время преобразования, мкс	2,5
Входное сопротивление, МОм	Не менее 1
Диапазон входного сигнала, В	$\pm 5,12$; $\pm 2,56$; $\pm 0,3125$; $\pm 0,078$
Максимальная частота преобразования, кГц	400
Защита входов	При включенном питании компьютера входная защита выдерживает ± 25 В; при выключенном питании входная защита выдерживает ± 10 В
Отсутствие пропуска кодов, бит	Гарантированно 14

Максимальное время установления аналогового тракта (при максимальном перепаде напряжения), мкс	1,8
Межканальное прохождение на частоте сигнала 10 кГц при коэффициенте усиления «1», дБ	70

Концы термопарных датчиков, ЧЭД и углового отметчика подключаются непосредственно к измерительному прибору. В состав электрической схемы входят следующие функциональные узлы:

- цепь фильтрации и преобразования напряжений питания;
- температурные измерительные каналы;
- канал подключения углового отметчика;
- канал подключения датчика давления.

Питание измерительного прибора осуществляется напряжением постоянного тока $U_{\text{п}} = \pm 12$ В. Для формирования $U_{\text{п}}$ используется внешний источник питания, состоящий из двух блоков марки БПС 12-1.

Для формирования напряжения +5 В на печатной плате измерительного прибора имеется схема, выполняющая также фильтрацию высокочастотных импульсных помех по цепи питания. Резистивный делитель R_1/R_2 преобразует напряжение 12 В в 5 В. Для установки точного значения +5 В используется подстроечный резистор R_2 . Напряжение на выходе делителя с учетом сопротивлений R_1 , R_2 определяется следующим образом:

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}} \left(\frac{R_1 + R_2}{R_2} \right). \quad (1)$$

Принципиальная электрическая схема строится на основе интегральной микросхемы DDI (марки AD 595), которая предназначена для подключения термопар К-типа (хромель-алюмель), но в данном случае она перекалибрована для работы с термопарами типа L (хромель-копель). Основные функции и характеристики микросхемы AD 595:

- встроенная схема компенсации температуры холодного спая термопары;
- встроенная схема сигнализации обрыва термопары;
- амплитуда выходного сигнала соответствует 10 мВ/°С;
- диапазон напряжений питания – от +5 до ± 15 В;
- потребляемая мощность < 1 мВт;
- дифференциальный вход с высоким входным сопротивлением.

Необходимый диапазон измеряемых температур обеспечивается выбором напряжения питания. Так, напряжение питания 0...5 В обеспечивает измерение температуры в диапазоне 0...300°C.

Цепь R_1 , VD_1 (рис. 3) обеспечивает сигнализацию обрыва термопары. Резисторы $R_3...R_5$ необходимы для перекалибровки микросхемы для работы с термопарой типа L.

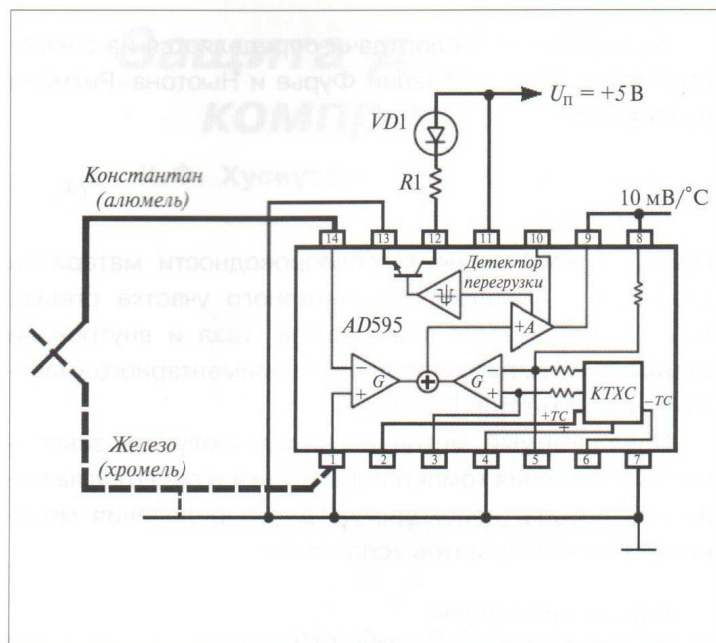


Рис. 3. Типовая схема включения микросхемы AD 595 (КТХС – компенсатор температуры холодного спая)

Выходной сигнал термопары ($U_{ВХ+}$, $U_{ВХ-}$) подается на входы 1, 14 (+IN, -IN) микросхемы DD1. Усиленное напряжение, представляющее собой сигнал стеночной температуры компрессора, с выхода 9 (VO) DD1 подается на выход прибора. Фильтр верхних частот (ФВЧ) первого порядка пропускает только переменную составляющую сигнала. Граничная частота этого ФВЧ определяется по формуле

$$F_0 = 1 / RC, \quad (2)$$

где R – сопротивление резистора; C – емкость конденсатора.

Выбраны следующие номиналы элементов: $R_8 = 1$ МОм, $C_3 = 1$ нФ, при этом $F_0 = 1$ Гц. Таким образом, цепь ФВЧ (R_8 , C_3) обеспечивает фильтрацию практиче-

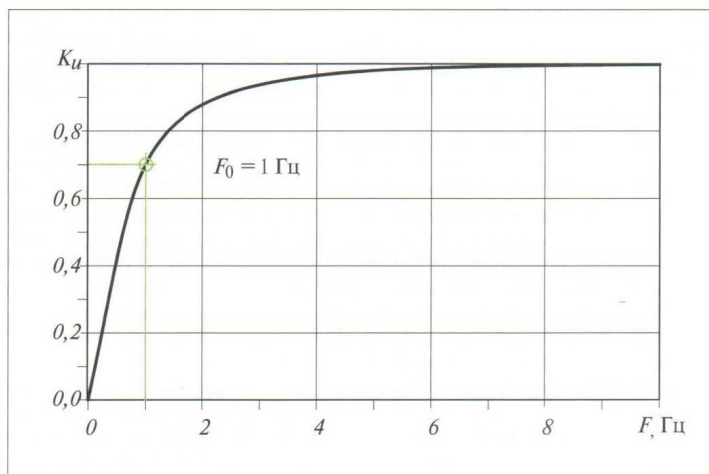


Рис. 4. АЧХ дифференцирующей RC-цепи I порядка

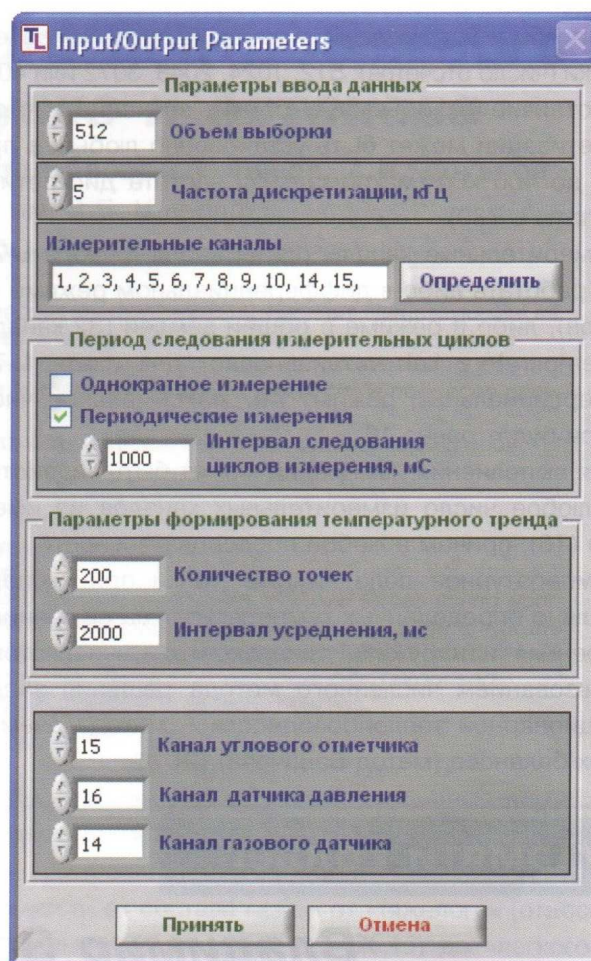


Рис. 5. Меню задания параметров измерений

ски только постоянной составляющей сигнала. Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) RC-цепи показана на рис. 3.

Полученный сигнал усиливается каскадом DD3, который имеет коэффициент усиления $K_u = 10$. Величина K_u определяется выражением

$$K_u = 1 + \frac{R_{10}}{R_9}. \quad (3)$$

Для сбора и обработки сигналов используется программное обеспечение Temperature Lab, разработанное в среде программирования LabVIEW 8.5. К параметрам измерений данной программы относятся (рис. 5):

- объем выборки;
- частота дискретизации;
- число измерительных каналов;
- периодичность измерений;
- периодичность записи данных в тренд;
- максимальная длина тренда (число точек);
- номера измерительных каналов платы ввода/вывода, используемых для подключения углового отметчика, датчика давления и газового датчика.

Могут быть установлены следующие значения объема выборки (число отсчетов): 512, 1024, 2048, 3072 или 4096.

В отличие от объема выборки, значение частоты дискретизации может быть установлено любым в пределах до 400 кГц (максимальная частота дискретизации платы L-780).

Измерительные каналы платы ввода-вывода L-780 могут работать либо в дифференциальном режиме (16 каналов), либо в режиме с общей землей (32 канала). ПО Temperature Lab устанавливает для платы L-780 дифференциальный режим, т.е. максимальное число каналов будет равно 16.

Для выполнения измерений может быть задействовано любое число измерительных каналов из имеющихся (16), причем в любой последовательности.

Температурное поле внутри стенки при экспериментально определенных температурах на ее границах (внутренняя и наружная поверхность) вычисляется с использованием численного метода решения задачи нестационарной теплопроводности – метода элементарных балансов (метод Ваничева) [2].

Коэффициент теплоотдачи определяется из совместного решения уравнений Фурье и Ньютона–Рихмана по формуле

$$\alpha = \frac{\lambda_{\text{ст}}(t_{\text{вн}} - t_1)}{\delta(t_{\text{г}} - t_{\text{вн}})}, \quad (4)$$

где $\lambda_{\text{ст}}$ – коэффициент теплопроводности материала стенки; δ – толщина элементарного участка стенки; $t_{\text{г}}$, $t_{\text{вн}}$ – мгновенные температуры газа и внутренней стенки; t_1 – температура первого элементарного участка стенки в методе Ваничева.

Предлагаемый метод позволяет получить зависимость изменения температуры стенки и газа от угла поворота ротора, необходимую для определения мгновенных коэффициентов теплоотдачи.

Список литературы

1. Хамидуллин М.С. Разработка и исследование роторного компрессора внутреннего сжатия на основе геометрического анализа и моделирования процессов в рабочих камерах. Дис. ... канд. техн. наук. Казань: КХТИ им. С.М. Кирова, 1992.
2. Теоретические основы тепло- и хладотехники: в 2 ч./Под ред. Э.И. Гуйго. Л.: Изд-во ЛГУ, 1976. Ч. 2.

Памяти коллег

Владимир Зосимович Семаков



1.04.2010 г. на 63-м году жизни скоропостижно скончался В.З. Семаков – основатель и генеральный директор Научно-производственной фирмы «Энтехмаш», действительный член Международной академии холода, высококвалифицированный инженер и организатор производства, инициатор и руководитель множества энергосберегающих работ по турбокомпрессорному оборудованию, широко известных в стране и за рубежом.

Творческий путь Владимира Зосимовича был тесно связан с Невским машиностроительным заводом им. В.И. Ленина, куда он был принят на должность инженера-конструктора. На НЗЛ произошло становление В.З. Семакова как конструктора паровых турбин, здесь проявились его способности лидера в кол-

лективе, где он занимал должности руководителя группы, зам. начальника производства по конструкторско-технологической работе.

В полной мере талант Владимира Зосимовича, его организаторские и творческие способности раскрылись в период создания Научно-производственной фирмы «Энтехмаш», которая приступила к работе на рынке энергетического машиностроения в начале 90-х годов. Основными направлениями деятельности фирмы стали инжиниринг и производство энергетического и технологического оборудования для химических, нефтехимических, металлургических и других отраслей промышленности: центробежных и осевых компрессоров; приводных и энергетических паровых турбин; редукторов, мультипликаторов; теплообменников с водяным и воздушным охлаждением; различного нестандартного оборудования. Благодаря инициативе Владимира Зосимовича, на фирме трудятся высококвалифицированные специалисты, имеющие большой опыт производственной, конструкторской и научной деятельности на петербургских предприятиях.

Генеральный директор много сил отдал развитию фирмы, созданию производственной базы, ее оснащению передовым высокопроизводительным и высокоточным оборудованием. Он очень внимательно относился к инженерным и научным кадрам. Владимир Зосимович особенно гордился высококвалифицированными рабочими и молодыми специалистами, к которым он проявлял поистине отеческую заботу.

В.З. Семаков известен технической общественности как автор множества публикаций по тематике турбокомпрессоростроения, в том числе в нашем журнале.

Сотрудники НПФ «Энтехмаш», члены АСКОМП, редакция и редколлегия журнала «Компрессорная техника и пневматика», заказчики продукции, поставляемой фирмой, друзья, коллеги и родные покойного глубоко скорбят о невосполнимой утрате.

Вместе с тем сотрудники НПФ «Энтехмаш» полны уверенности в том, что лучшие традиции фирмы, рожденные при ее основателе, будут сохранены и преумножены.

