

РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИЙ МЕТОД И СРЕДСТВА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОПЕРЕДАЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

В представленной работе приведено описание метода диагностирования рабочих характеристик теплообменной аппаратуры транспортных и технологических машин и разработанный стенд реализации метода, позволяющий повысить точность результатов диагностирования и значительно сократить его энерго- ресурсоемкость.

Ключевые слова: диагностирование, теплоотдача, теплообменник, измерительный стенд, энергоэффективность.

В конструкциях транспортных и технологических машин исключительно важную и специфическую функцию выполняют рабочие теплопередающие поверхности различных узлов и агрегатов, например радиаторов системы охлаждения двигателей внутреннего сгорания (ДВС), отопителей, охладителей наддувочного воздуха, конденсаторов и испарителей систем кондиционирования, гильз цилиндров и пр. Главное назначение этих поверхностей, которые в этом смысле являются рабочими, заключается в обеспечении передачи тепловых потоков от одной среды к другой через теплопередающую стенку в заданных пределах, в соответствие со значениями, установленными технической документацией.

В процессе функционирования, работоспособность теплопередающих поверхностей снижается под воздействием различных эксплуатационных факторов [1], [2]. При исчерпании резерва теплопередачи, заложенного на этапах проектирования и производства, теплопередающая способность рабочих поверхностей теряется и может быть восстановлена только при условии выполнения соответствующих профилактических или ремонтных воздействий. Определение момента наступления предельного состояния теплопередающих поверхностей на практике осуществляется субъективно и только по косвенным признакам.

Признаками ухудшения теплопередающей способности поверхностей теплообмена, например радиатора системы охлаждения ДВС, являются: перегрев двигателя, потеря мощности, увеличенный расход топлива (в среднем на 5–6%), повышенный угар масла. Последствием перегрева двигателя является повышенный износ эле-

ментов цилиндропоршневой группы (ЦПГ), нарушение структуры металла, появление трещин термической усталости, интенсивное старение уплотнительных материалов и др.

Процесс теплоотдачи радиатора математически можно описать уравнением [1], [3]:

$$Q = k \cdot F \cdot (t_1 - t_2), \quad (1)$$

где Q – тепловой поток (теплоотдача), Вт;

k – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·°С);

F – площадь теплообмена, м²;

t_1, t_2 – температуры горячего и холодного теплоносителей, °С.

В условиях эксплуатации теплоотдача радиатора при равных условиях реализации тепловой нагрузки изменяется в основном из-за загрязнения теплопередающих поверхностей и изменения формы каналов протока воздуха, что приводит к изменению коэффициента теплопередачи k , а вследствие этого меняется и температурный напор $\Delta t = t_1 - t_2$. В таких условиях уравнение теплопередачи (1) применимо лишь в дифференциальной форме к элементу поверхности dF , а именно:

$$dQ = k_i \cdot \Delta t_i \cdot dF. \quad (2)$$

Общее количество теплоты, переданное через всю поверхность, определяется интегралом (2):

$$Q = \int_0^F k_i \cdot \Delta t_i \cdot dF \quad (3)$$

Как видно из формул (2) и (3), количество передаваемой теплоты при неизменной площади поверхности охлаждения и достаточно узком интервале значений температурного напора зависит от коэффициента теплопередачи k .

Приведенные выше формулы расчета носят прогностический характер и не отражают особенности рабочего процесса в каждом конкретном случае условий эксплуатации. Поэтому, наряду с расчетно-аналитическими методами определения тепловых характеристик теплообменников, применяют экспериментальные методы, основанные на калориметрических измерениях теплофизических параметров в условиях стационарной теплопередачи.

Температурно-динамические характеристики систем охлаждения ДВС определяют в специализированных лабораториях [1], в которых производятся натурные испытания с имитацией дорожно-климатических условий.

Существующие специализированные стенды для оценки тепловой эффективности автотракторных радиаторов (водяных и масляных) и отопителей имеют в своей основе принцип действия аэродинамической трубы.

Тепловые испытания теплообменников проводятся согласно принятым методикам испытаний для различных видов теплообменной аппаратуры. Регулировка температуры жидкостного контура осуществляется при помощи системы автоматического регулирования и поддержания этой температуры на протяжении периода испытаний. Температура воздуха в помещении лаборатории регулируется и поддерживается автономной системой подготовки и подогрева его системой отопления на уровне, обеспечивающем проведение испытаний при изменении климатических условий наружного воздуха. Расход воды определяется для каждого испытуемого теплообменника перед началом испытаний в гидравлическом контуре посредством расходомера. Перепад статического давления воды в теплообменнике замеряется с помощью датчиков давления, встроенных в гидравлический тракт на входе и выходе из радиаторного модуля.

Регулировка скорости воздуха осуществляется при помощи регулируемого дросселя в аэродинамическом контуре.

Теплоотдача теплообменника определяется при заданных скоростях воздуха и расходе воды (масла) в радиаторах при установившемся тепловом режиме. Режим считается установившемся, если температура воды (масла) и воздуха на входе в теплообменник и на выходе из него оставалась неизменной при замерах че-

рез каждые 3 минуты. При этом производится не менее 3–5 замеров.

Регулировка расхода наддувочного воздуха производится с пульта управления путём плавного изменения оборотов вращения привода нагнетателя. Нагрев наддувочного воздуха производится в нагревательной камере при помощи нагревательных элементов.

По результатам проведённых испытаний в зависимости от объекта испытаний определяются:

– количество теплоты Q , отданное радиатором воздушному потоку водой:

$$Q_w = G_{w2} \cdot c_{pw} \cdot (t'_w - t''_w), \quad (4)$$

где G_{w2} – массовый расход воды; кг/с;

c_{pw} – удельная теплоёмкость воды, $c_{pw} = 4,1868 \frac{кДж}{кг \cdot К}$;

t'_w – температура воды на входе в радиатор; К;

t''_w – температура воды на выходе из радиатора; К;

– аэродинамическое сопротивление теплообменника:

$$\Delta p_L = p_L^{ex} - p_L^{in}, \quad (5)$$

где p_L^{ex} и p_L^{in} – текущие значения давления воздуха на входе и выходе радиатора, Па;

– гидравлическое сопротивление теплообменника: гидравлическое сопротивление водяного радиатора Δp_w , определяется разностью давления воды на входе и на выходе из радиатора:

$$\Delta p_w = p_w^{ex} - p_w^{in}, \quad (6)$$

где p_w^{ex} и p_w^{in} – текущие значения давления воды на входе и выходе радиатора, Па;

– коэффициент теплопередачи:

$$k = \frac{Q}{\Delta t_{lg} \cdot F_{oxl}}, \quad (7)$$

где $Q = Q_w$ – теплоотдача теплообменника, кВт;

F_{oxl} – поверхность охлаждения теплообменника, м²;

Δt_{lg} – средне логарифмический температурный напор, К.

$$\Delta t_{lg} = \frac{(t''_w - t'_L) - (t'_w - t''_L)}{2,3 \cdot \lg \frac{t''_w - t'_L}{t'_w - t''_L}}, \quad (8)$$

где t''_w – температура жидкости на выходе из теплообменника, К;

t'_L – температура воздуха на входе в теплообменник, К;

t'_w – температура жидкости на входе в теплообменник, К;

t''_L – температура воздуха на выходе из теплообменника, К;

– объёмный коэффициент:

$$k_v = \frac{Q}{\Delta t_{lg} \cdot V}, \quad (9)$$

где V – объём сердцевинны теплообменника, м³.

– массовый коэффициент:

$$K_m = \frac{Q}{\Delta t_{lg} \cdot m}, \quad (10)$$

где m – масса сердцевинны теплообменника, кг.

После проведения испытаний составляется таблица результатов испытаний теплообменников или акт испытаний.

При необходимости строятся графики зависимостей: $Q = f(V_L)$; $\Delta P_L = f(V_L)$; $k = f(V_L)$; $K = f(V_L)$; $K_v = f(V_L)$; $K_m = f(V_L)$; $Q = f(G_w)$ $Q = f(\Delta P_L)$ и другие.

Испытания теплообменников вышеописанным методом повышают достоверность информации о рабочих процессах теплообменников,



1 – рама, 2 – корпус стенда, 3 – парогенератор (находится внутри корпуса), 4 – водяной насос, 5 – вентилятор, 6 – расширительная емкость (находится внутри корпуса), 7 – шкаф управления вентилятором, 8 – расходомер, 9 – воздухопровод (аэродинамическая труба), 10 – гидравлический контур, 11 – радиаторный модуль

Рисунок 1. Общий вид стенда

однако требуют значительного количества времени, трудозатрат и энергии, так как система должна войти в тепловое равновесие.

В Оренбургском государственном университете проводятся НИОКР по исследованию нового, ресурсосберегающего метода испытания теплообменников на этапах их жизненного цикла [5], [6], [7]. Для реализации метода создан экспериментальный диагностический стенд определения теплотехнических параметров теплообменной аппаратуры, принципиальная схема которого представлена на рисунке 1.

Стенд испытаний модулей теплообменной аппаратуры СИМТА-1 (в дальнейшем – стенд) предназначен для определения параметров рабочего процесса теплообменной аппаратуры в формате радиаторного модуля с размером фронта 250×250 мм. Технические характеристики стенда приведены в таблице 1.

Для автоматической регистрации и обработки параметров рабочего процесса, стенд оснащен программно-аппаратным комплексом, принципиальная схема которого представлена на рисунке 2.

Стенд позволяет регистрировать и определять следующие параметры рабочего процесса теплообменников:

- теплоотдачу с выводом в табличные данные и построением графика зависимости $Q = f(V_L)$ в логарифмических координатах, кВт;
- энергию, затрачиваемую в процессе испытаний, кВт·ч;
- коэффициент теплопередачи (теплоотдачи), Вт/(м²·°С);
- температуру воды, воздуха на входе-выходе, °С;
- температурный напор (среднелогарифмический), °С;
- скорость воздушного потока, м/с;
- массовый расход воздуха, кг/с;
- аэродинамическое сопротивление теплообменника, Па;
- гидравлическое сопротивление теплообменника, кПа.

Время непрерывной регистрации: до 12 часов.

Рабочий диапазон теплового потока – 0...40 кВт.

Рабочий диапазон измеряемого температурного напора – 0...110 °С.

Предел основной приведенной погрешности измерения температуры – не более 1%, теплового потока – не более 2%.

Для обеспечения регистрации перечисленных выше диагностических параметров, в состав диагностического комплекса включены:

- 1) электрический трехфазный генератор тепловой нагрузки (электропарогенератор) переменного тока 220/380 В, 50 Гц;
- 2) функциональные аппаратные модули ИВК, в том числе:
 - датчики (Д) температуры теплоносителей;

- измерительные преобразователи (ИП) температуры;
 - измерительный преобразователь активной мощности;
 - устройство связи с объектом (УСО);
- 3) программное обеспечение для персонального компьютера (ПК), обеспечивающие прием, обработку, графическое представление и документирование результатов измерений;
 - 4) сопутствующие устройства;
 - 5) сопрягающие устройства.

Передача теплоты в исследуемых теплообменных устройствах (радиаторных модулях) производится между двумя теплоносителями, разделенными твердой стенкой. С внутренней



Рисунок 2. Структурная схема измерительно-вычислительного комплекса стенда

Таблица 1. Технические характеристики стенда

Технические характеристики	Ед. измерения	Количественная характеристика
1. Высота	мм	1900
2. Длина, ширина	мм	2000 ? 880
3. Напряжение питания электроустановок	В	220/380
4. Общая установленная мощность	кВт	52 (max)
5. Теплоноситель внутреннего контура	–	вода техническая
6. Максимальное расчетное давление теплоносителя в контуре	МПа	0,12
7. Мощность парогенератора	кВт	36,0 max
8. Мощность вентилятора	кВт	0,350
9. Установленная мощность водяного насоса	кВт	2,2
10. Давление питательной воды на входе	МПа	Не менее 0,03
11. Время выхода на рабочий режим	ч	1,2 max

стороны радиаторного модуля в качестве теплоносителя используется вода, с внешней стороны теплоносителем является воздух, проходящий по аэродинамической трубе.

Движение теплоносителей через каналы исследуемого теплообменника обеспечивается водяным насосом (для внутреннего теплоносителя – воды) и вентилятором (для внешнего теплоносителя – воздуха). При этом для создания направленного движения воздушного потока в конструкции стенда используется аэродинамическая труба.

В конструкции стенда предусмотрена возможность устанавливать скорость движения воздушного потока на заданном уровне. Это достигается путем переключения режимов частоты вращения вентилятора.

Нагрев воды в гидравлическом контуре производится парогенератором.

Температура внешнего теплоносителя регистрируется при помощи датчиков, установленных внутри аэродинамической трубы (до и после радиаторного модуля по ходу движения теплоносителя).

Температура внутреннего теплоносителя регистрируется при помощи датчиков, установленных внутри гидравлического контура (до и после радиаторного модуля по ходу движения теплоносителя).

Для контроля массового объема теплоносителя прошедшего через теплообменник используется прибор контроля расхода воды – расходомер.

По разности температур теплоносителей на входе и выходе из радиатора производится оценка эффективности теплоотдачи того или иного радиаторного модуля (при одинаковых условиях проведения эксперимента).

Управляющая программа функционирует на персональных компьютерах со стандартным набором периферийных устройств в среде операционных систем Windows 95/98, Windows NT, Windows XP.

Программа имеет стандартный пользовательский интерфейс. Главное меню программы позволяет выполнять:

- 1) работу с файлами, в которых записаны результаты регистрации;
- 2) настройку каналов МВА 8, настройку основных параметров ТРМ210, выбор СОМ-порта;
- 3) настройку отображения графиков;
- 4) настройку градуировочной характеристики датчика массового расхода воздуха.

Регистрации измеряемых параметров выполняется в реальном времени через каждую секунду. В процессе регистрации и после ее за-

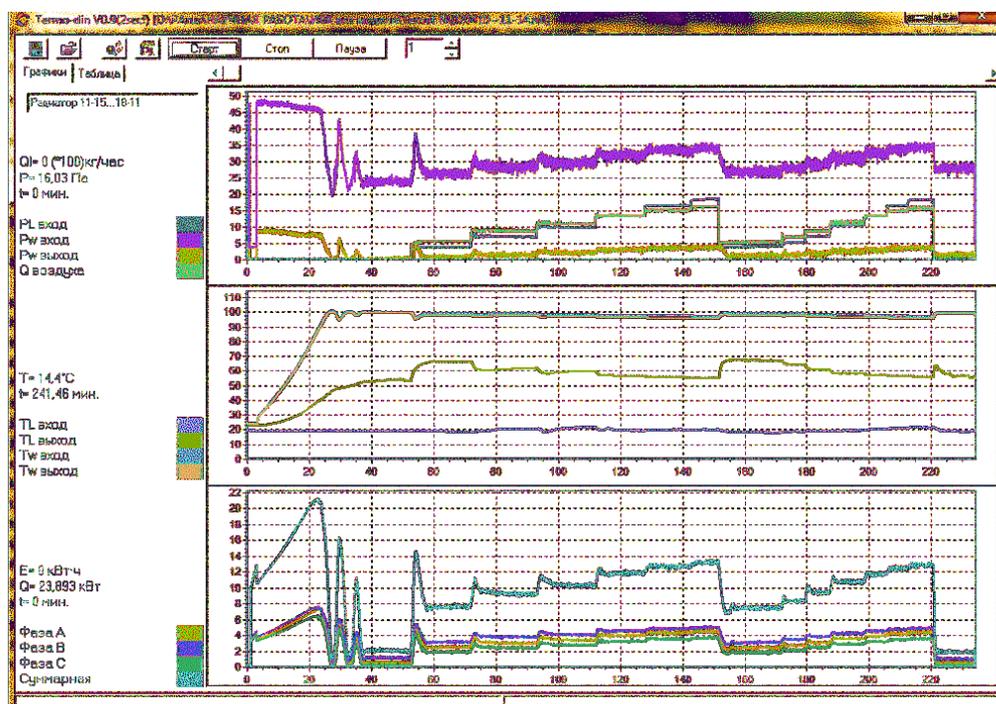


Рисунок 3. Интерфейс управляющей программы с формой отчета в виде графиков

вершения пользователь имеет возможность анализировать полученные результаты. При этом допускается изменение масштаба по времени и регистрируемыми параметрам на любом интересующем пользователя интервале. Во время работы данные обрабатываются и отображаются на графиках. Текущие значения расчетных величин также выводятся в окне программы. Форма отчета содержит заголовок с информацией о модели радиатора, графики и таблицу с данными, полученными при испытаниях. Форма отчета представлена на рисунке 3.

Таким образом, по результатам проведенного исследования можно заключить следующее. Разработан новый метод определения теп-

лофизических параметров и оборудование его реализации. Принципиальное отличие предложенного метода заключается в прямом измерении неэлектрических параметров теплофизического процесса передачи теплоты электрическими и электронными устройствами. В связи с этим упрощается их регистрация в любой форме представления параметров и закономерностей их изменения в моделируемом или реальном процессе. Метод отличается энергоэкономичностью, быстродействием, удобством обработки результатов испытаний, наглядностью и высокой точностью, обеспечиваемой электрическими и электронными приборами с высоким классом точности.

10.08.2014

Список литературы:

1. Бурков, В.В. Автотракторные радиаторы / В.В. Бурков, А.И. Индейкин. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1978. – 216 с.
2. Бурков, В.В. Аллюминиевые теплообменники сельскохозяйственных и транспортных машин / В.В. Бурков. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985. – 239 с.
3. Аверкиев, Л.А. Сервисно-диагностический комплекс для автотракторных теплообменников / Л.А. Аверкиев, А.П. Пославский, В.С. Мануйлов // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 2007. – №10. – С. 41–42.
4. Ковриков, И.Т. Диагностирование эксплуатационных характеристик теплообменников транспортной техники / И.Т. Ковриков, А.П. Пославский, В.Ю. Соколов // Вестник Оренбургского государственного университета, 2009. – №9. – С. 134–138.
5. Пат. 2352925 Российская Федерация, МПК G 01 N 25/18. Устройство для измерения теплового потока / А.П. Пославский, А.В. Хлуденев, В.В. Сорокин; заявитель и патентообладатель Пославский А.П.; заявлено 08.11.2007; опубл. 20.04.2009, Бюл. №11.
6. Пат. 86702 Российская Федерация, МПК F 22 В 1/30. Устройство для измерения теплового потока / А.П. Пославский, А.В. Хлуденев, В.С. Мануйлов; заявитель и патентообладатель Пославский А.П.; заявлено 13.11.2007; опубл. 10.09.2009, Бюл. №25.
7. Пат. 2395756 Российская Федерация, МПК G 01 N 25/18. Устройство для измерения теплоэффективности теплообменников / Пославский А.П., Апсин В.П., Хлуденев А.В., Зацепин П.П., Сорокин В.В.; заявитель и патентообладатель Оренбургский гос. ун-т.; опубл. 27.07.2010. Бюл. №21.

Сведения об авторах:

Пославский Александр Павлович, доцент кафедры технической эксплуатации и ремонта автомобилей транспортного факультета Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук, доцент, e-mail: aposlavsky@mail.ru

Фадеев Артем Александрович, аспирант кафедры технической эксплуатации и ремонта автомобилей транспортного факультета Оренбургского государственного университета, инженер-конструктор ООО «Оренбургская промышленная лаборатория»

Сорокин Владимир Владимирович, доцент кафедры технической эксплуатации и ремонта автомобилей транспортного факультета Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук, e-mail: bbc1979@rambler.ru
460000, г. Оренбург, пр-т Победы, 149, ауд. 10302, тел. (3532) 91-22-26

Хлуденев Александр Владимирович, доцент кафедры промышленной электроники и информационной техники электроэнергетического факультета Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук, доцент
460000, Шарлыкское шоссе, 5, ауд. 15319, тел. (3532) 36-16-16

Трошина Татьяна Васильевна, старший преподаватель Оренбургского государственного института менеджмента
460038, г. Оренбург, ул. Волгоградская, 16, тел. (3532) 36-48-18