

УДК 629.3.018

**Александр Павлович Пославский**, кандидат технических наук, доцент кафедры технической эксплуатации и ремонта автомобилей, ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»  
e-mail: aposlavsky@mail.ru

**Владимир Владимирович Сорокин**, кандидат технических наук, доцент кафедры технической эксплуатации и ремонта автомобилей, ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»  
e-mail: bbc1979@rambler.ru

**Артем Александрович Фадеев**, магистрант кафедры технической эксплуатации и ремонта автомобилей, ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»  
e-mail: aafadeev86@mail.ru

## РАЗРАБОТКА ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛООБМЕННИКОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

**Предмет.** Проблема диагностирования и контроля рабочих характеристик теплообменников транспортных средств на этапе их эксплуатации. **Актуальность** проблемы обусловлена ограниченностью методов и средств инструментального контроля, используемых при диагностировании рабочих характеристик теплообменников транспортных средств на этапе их эксплуатации.

**Цель.** Анализ вариантов и возможностей реализации более совершенных методов и средств диагностирования теплообменников на основе их инструментального контроля.

**Методология.** Ведущими методами исследования данной проблемы является анализ и синтез. Реализуемость теоретических положений осуществлялась посредством физического моделирования и экспериментального определения достоверности полученных результатов.

**Результаты.** Дана характеристика перспективных разработок в области диагностического обеспечения с возможностью измерения наиболее важного параметра – теплоотдачи, как интегрального показателя работоспособности теплообменника. Представлены возможные варианты определения технического состояния теплообменников с использованием новых принципов измерения выходных параметров. Для оценки технического состояния теплообменников на этапе эксплуатации предложен метод диагностирования теплообменников с определением теплоотдачи на специальном стенде. При этом учтена специфика конструктивного исполнения, особенностей функционирования систем охлаждения, организации их технического обслуживания и текущего ремонта.

**Выводы.** Представленный метод измерения теплового потока может быть заложен в основу инструментально-диагностического комплекса с перспективой использования в условиях эксплуатации теплообменной аппаратуры.

**Ключевые слова:** транспортные средства, теплообменники, система охлаждения, диагностирование, стенд, контроль, теплоотдача.

Эффективность использования транспортных средств (ТС) во многом зависит от эффективности работы подсистемы технической эксплуатации, призванной для поддержания их работоспособности за счет проведения работ по техническому обслуживанию (ТО) и текущему ремонту (ТР).

В свою очередь, для повышения эффективности обслуживания и ремонта ТС требуется информация по их техническому состоянию до и после соответствующего воздействия. Важным условием при этом становится требования доступности получения информации без разборки агрегатов и механизмов с минимальными затратами ресурсов. Эта роль отводится технической диагностике, ставшей необходимым атрибутом системы ТО и ТР.

Информация, полученная при диагностировании, позволяет предотвратить преждевременное или запоздалое вмешательство в работу диагности-

руемого объекта, а также контролировать качество выполняемых работ по ТО и ТР.

Диагностирование успешно применяется для:

- поиска неисправностей при выполнении ремонта агрегатов;
- осуществления проверок и регулировок агрегатов, узлов и систем ТС в составе технологических процессов ТО и ТР;
- контроля технического состояния ТС.

Прогнозирование технического состояния ТС, как самостоятельная планируемая форма работ в сфере автомобильного транспорта, пока не получило должного развития.

Наиболее заметно возросла роль диагностирования при эксплуатации современных ТС за счет встроенных средств контроля [4]. Это существенно сокращает потребности в диагностировании внешними средствами на специализированных участках.

Развитие автомобильной диагностики нераз-

ривно связано с совершенствованием диагностического обеспечения как комплекса взаимосвязанных правил, методов, алгоритмов и средств, необходимых для диагностирования на всех этапах жизненного цикла ТС и его составных частей.

Важным результатом разработки диагностического обеспечения является информация, необходимая для проектирования систем охлаждения ТС и приспособление его элементов к выполнению диагностических операций. Из диагностического обеспечения отдельных агрегатов, узлов и систем складывается диагностическое обеспечение ТС в целом.

Диагностическое обеспечение объекта включает в себя перечень диагностических параметров, методы их оценки, условия работоспособности и признаки наличия дефектов в объекте, алгоритмы и программы диагностирования, показатели контролепригодности объекта и эффективности процесса диагностирования [5].

В составе ТС имеются агрегаты, узлы и системы, не обладающие высоким значением показателя контролепригодности из-за отсутствия информационно-измерительных средств прямого измерения контролируемых параметров. К таковым можно отнести системы охлаждения (нагрева) с теплообменной аппаратурой.

Широко применяемые на автомобильных транспортных средствах теплообменники, предназначенные для охлаждения воды (антифриза), наддувочного воздуха, моторного и трансмиссионного масел, агрегаты климатических систем, выполняют важную функцию в обеспечении надежности силовых установок, систем и агрегатов, комфортных условий водителей и пассажиров.

В составе ТС наибольшее распространение получили теплообменники рекуперативного типа, где передача теплоты осуществляется посредством взаимодействия с разделяющей теплоносители твердой стенкой [2, 9]. Наличие такого элемента неизбежно приводит к снижению надежности теплопередачи из-за изменения качественного состояния поверхности стенки в процессе эксплуатации. Причем, разделяющая твердая стенка меняет свое качественное состояние как со стороны горячего теплоносителя, так и со стороны холодного. Интенсивность этих изменений различна. В реальных условиях эксплуатации процесс изменения качественного состояния приводит к ухудшению условий теплопередачи, закономерность изменения которых, как правило, неизвестна.

Значительную сложность представляет оценка состояния теплопередающей стенки, особенно ее внутренней поверхности. На этапе эксплуатации такая оценка осуществляется по косвенным показателям и преимущественно субъективно [2, 3]. Применительно к радиатору системы охлаждения силового агрегата, как частному случаю теплообменных

аппаратов, косвенными признаками ухудшения теплопередающей способности поверхностей теплообмена являются: перегрев двигателя, потеря мощности, увеличенный расход топлива, возникновение детонации, повышенный угар масла. Последствием перегрева двигателя является повышенный износ элементов цилиндро-поршневой группы, нарушение структуры материала, появление трещин термической усталости, интенсивное старение уплотнительных деталей и др. [8, 10].

Имеющиеся средства контроля температуры охлаждающей жидкости и воздушного потока не могут дать объективную информацию о состоянии рабочих теплопередающих поверхностей, так как рабочий процесс теплоотдачи не является стационарным, а значения расходов теплоносителей зависят от многочисленных факторов, требующих дополнительного учета [6, 10].

Показатели технического состояния теплообменников ТС в течение периода эксплуатации изменяются от номинальных значений, соответствующих техническим условиям на новое изделие, до предельных значений при которых возникают отказы.

Основными функциональными показателями теплообменников, характеризующими протекание процесса переноса тепла от горячего к холодному теплоносителю на определенном стационарном (неизменном по времени) режиме работы теплообменника, являются:

- теплоотдача (тепловой поток), кВт;
- потеря давления (сопротивление) горячего теплоносителя, кПа;
- потеря давления (сопротивление) холодного теплоносителя, кПа.

Каждый из перечисленных показателей может служить диагностическим параметром, характеризующим работоспособность теплообменника на текущем интервале наработки. Если допустить, что объективная количественная оценка технического состояния теплообменника по текущим значениям диагностических параметров может быть получена, то это может быть только в том случае, если правильно и обоснованно установлены их характеристические значения. Эти значения диагностических параметров, необходимые для постановки диагноза и оценки остаточного ресурса, должны быть заложены в эксплуатационную и ремонтную документацию и быть обязательными для проверки и соблюдения при проведении ТО и ТР.

К нормативным значениям относятся номинальные, предельные и допускаемые значения. Установление значений этих параметров для теплообменных аппаратов в эксплуатационном цикле до настоящего времени является проблемой в связи с отсутствием методов количественного измерения наиболее важного диагностического параметра – теплоотдачи (теплого потока). Наибольшую трудность составляет задача установления допу-

скаемого значения этого параметра, которое могло бы позволить прогнозировать ресурс безотказной работы и выстроить стратегию поддержания работоспособности теплообменника.

На этапах проектирования и производства теплообменника устанавливаемых на ТС теплообменников определяется на специальных стендах типа «Аэродинамическая труба» (рисунок 1).

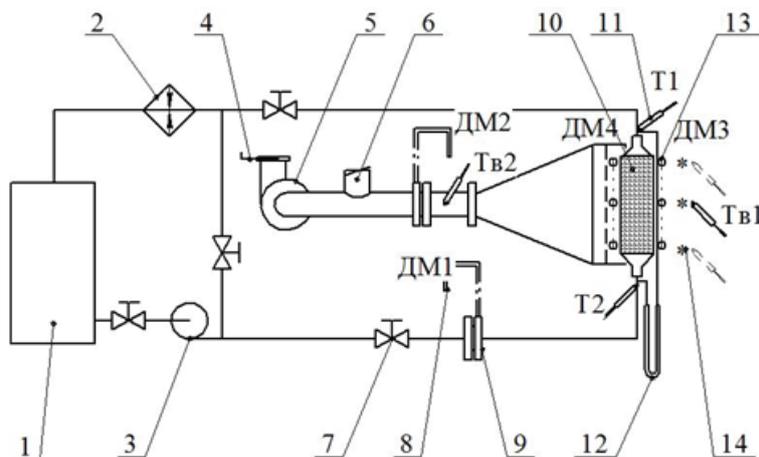


Рисунок 1. Схема типового стенда «Аэродинамическая труба» (Примечание: 1 – бак; 2 – электроподогреватель; 3 – насос водяной; 4 – шиббер; 5 – вентилятор центробежный; 6 – заслонка; 7 – вентиль; 8 – дифференциальный манометр; 9 – расходомерная диафрагма; 10 – теплообменник; 11 – термодатчик; 12 – манометр; 13 – места замера статического давления; 14 – места замеров температуры воздушного потока)

Работа стенда связана с имитационным моделированием процесса теплообмена циклически замкнутого горячего гидравлического контура соответствующего теплообменника в скоростном воздушном потоке. Воздушный контур моделирует физические условия движения теплоносителя перед фронтом теплообменника. Гидравлический контур объединяет теплообменник с баком, в котором производится нагрев воды до температуры, соответствующей рабочему процессу силовой установки в заданном стационарном режиме.

Расход горячего теплоносителя задается параметрами работы центробежного насоса с учетом обеспечения установленных скоростных режимов течения жидкости по каналам охлаждающих трубок. Управление скоростью и, соответственно, массовым расходом воздуха в аэродинамической трубе может осуществляться любым из известных способов.

Измерение параметров, необходимых для получения определяемых показателей процесса тепло-массопереноса, обеспечивается средствами измерений температуры, давления, расхода и др. Основными требованиями к метрологическому обеспечению являются: допустимая погрешность измерения.

Испытания проводятся при следующих параметрах:

- температуре воздуха перед водяным, масляным радиаторами и охладителями наддувочного воздуха (ОНВ) – 303К;

- температуре воздуха перед отопителем – 293 К;

- температуре воды на входе в теплообменник – 363 К;

- температуре масла на входе в теплообменник – 363 К;

- расход воды, масла и воздуха через теплообменник, температура наддувочного воздуха устанавливаются в соответствии с техническими характеристиками по конструкторской документации на теплообменник или техническими требованиями технического задания на разработку теплообменника при проектировании.

Существенными недостатками таких испытательных стендов являются:

- длительность процедуры подготовки и испытания теплообменника;

- значительный расход энергоресурсов на создание и обеспечение необходимых условий испытания;

- значительная потребность в производственной площади как для самого стенда, так и сменной оснастки для испытаний всей номенклатуры теплообменников и их типоразмеров.

Методика исследования на таких стендах преследует цель сравнительной оценки тепловой эффективности и гидравлического и аэродинамического сопротивления испытываемых теплообменников. Для снижения погрешности таких оценок в расчетную методику включены физические кон-

станты теплоносителей с учетом многочисленных поправок на внешние условия. При этом статистическая погрешность результата измерения не может быть менее суммы среднеквадратических погрешностей измеряемых параметров. Приемлемым результатом считается допустимое значение погрешности определения наиболее важной характеристики теплообменника – теплоотдачи, на уровне  $\pm 5\%$ .

Следует иметь в виду, что значительная продолжительность испытания приводит к возникновению динамической составляющей погрешности, в результате чего общая погрешность измерения увеличивается.

Введенный в действие национальный стандарт РФ ГОСТ Р 53832-2010 устанавливает технические требования, методы испытаний и контроля функциональных показателей, а также показателей надёжности теплообменников. В качестве контролируемых функциональных показателей дополнительно к вышеуказанным введены:

- приведенная теплоотдача – количество теплоты, передаваемое в теплообменнике в единицу времени при определенных фиксированных значениях температур приведения горячего и холодного теплоносителей на входе в теплообменник;

- температуры приведения – условные фиксированные температуры теплоносителей, обеспечивающие сопоставимость экспериментальных данных по теплоотдаче, полученных при различных температурных условиях.

Испытания проводят при начальных температурах теплоносителей на входе в теплообменник, близких к принятым температурам приведения. Это требование, с одной стороны, существенно упрощает условия проведения испытаний, так как возможна температурная компенсация за счет изменения температуры горячего теплоносителя, что, в свою очередь, позволяет обеспечить температурный интервал приведения при изменяющихся температурных условиях окружающей среды. С другой стороны, испытания проводят в квазистационарном тепловом режиме, характеризуемом изменением перепада температур горячего теплоносителя не более  $0,1\text{ }^\circ\text{C}$  за 5 минут при отклонении от заданного расхода теплоносителя не более  $\pm 2\%$ , что является практически трудноосуществимым без значительных капитальных затрат на обеспечение этих условий.

Наиболее современные стенды оснащаются аппаратно-программными измерительно-вычислительными комплексами, представляющими собой системы на базе информационно-измерительных технологий [1, 7].

Каждый из таких стендов является нестандартным и уникальным в своем конструктивном исполнении, поэтому возникает проблема обеспечения единства измерений и, соответственно, аттестации стенда как испытательного оборудования.

Принципиальным моментом аттестации и определения погрешности измерений является невозможность получения истинного (действительного) значения характеристики теплообменника. Отсутствие эталона и взаимосвязанных с ним атрибутов (неизменность, воспроизводимость и сличаемость) не позволяет установить достоверность измерительной информации о значениях показателей качества продукции, а также о значениях характеристик воздействующих факторов и (или) режимов функционирования объекта при испытаниях. Дополнительным ограничением при оценке воспроизводимости результатов испытаний является их зависимость не только от точности измерений, но и от однородности и стабильности характеристик испытуемого теплообменника, не обладающего постоянством характеристик между испытаниями.

Средства диагностического обеспечения, используемые на этапе проектирования и производства, как уже отмечалось выше, по технико-экономическому критерию не могут быть использованы для диагностирования теплообменников на этапе эксплуатации и ремонта.

Численное значение теплоотдачи, полученное на стенде «Аэродинамическая труба», не может служить номинальным значением диагностического параметра, так как оно определяет только потенциальные возможности самого теплообменника, без учета условий его установки на ТС.

Возможно установление нормативного значения теплоотдачи  $Q_n$  путем учета так называемого коэффициента капотирования  $\chi$ , если известно потенциально возможное значение теплоотдачи  $Q_n$ , кВт.

$$Q_n = \chi \cdot Q_n, \quad (1).$$

Однако данный случай нельзя рассматривать как определяющий условия движения автомобиля в характеристическом эксплуатационном цикле, так как сам коэффициент капотирования  $\chi$  является функцией скорости набегающего потока воздуха  $v_e$

$$\chi_i = f(v_e) \quad (2).$$

Численные значения коэффициентов капотирования  $\chi$  на сегодняшний день известны только для единичных моделей автомобилей.

Возможным вариантом получения достоверной информации о техническом состоянии теплообменника на этапе эксплуатации может служить ресурсосберегающий метод диагностирования [4, 7], при котором теплообменник тестируют на теплоотдачу на специальном стенде, схематично изображенном на рисунке 2.

Принцип измерения теплового потока заключается в том, что внутри гидравлического контура,

который объединяет теплообменник с электропарогенератором посредством трубопроводов. При заполнении контура технической водой (при полном вытеснении воздуха) и включении электропитания создается саморегулируемая пароконденсационная система, которая устанавливает баланс между генерируемой электродным узлом мощностью  $Q_E$  и тепловым потоком  $Q_W$ , рассеиваемым в окружа-

ющую среду при естественной или искусственной конвекции.

$$Q_E = Q_W + Q_{LOS}, \text{ кВт}, \quad (3),$$

где  $Q_{LOS}$  – мощность потерь на нерабочих поверхностях.

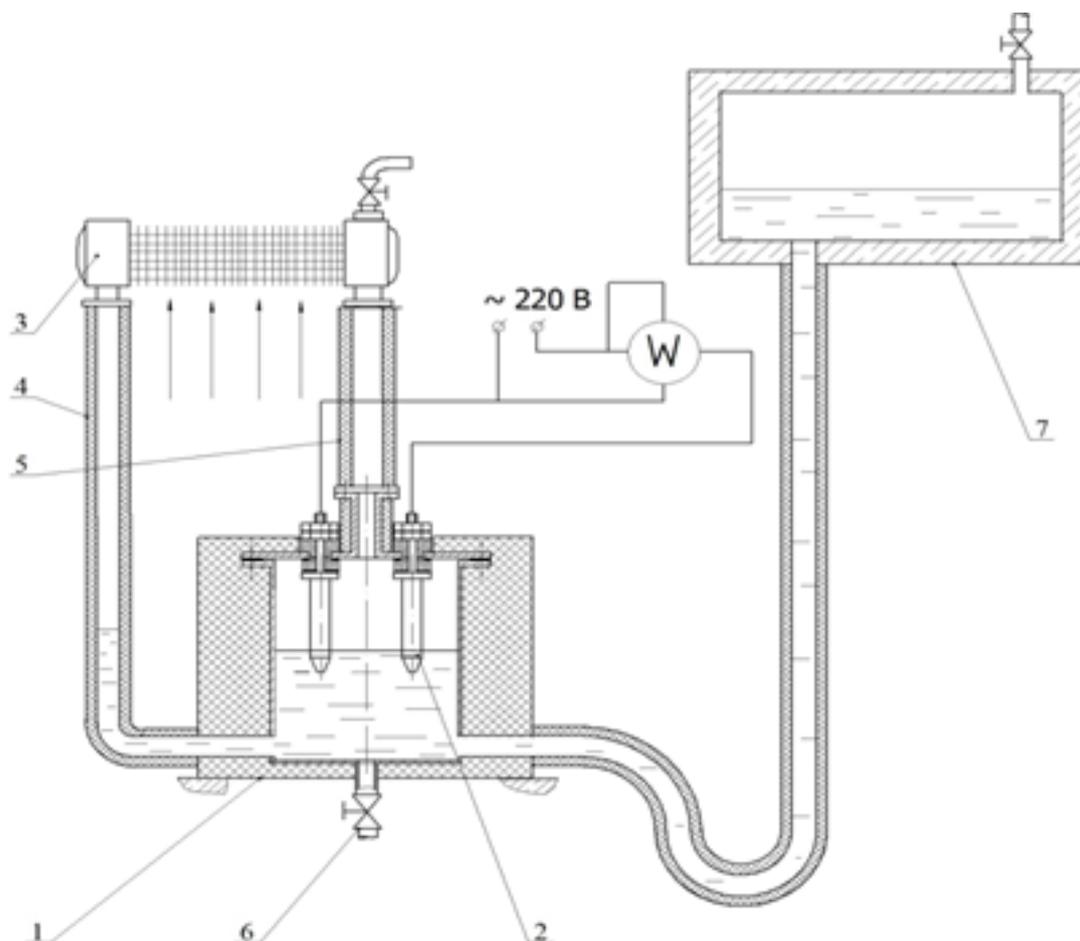


Рисунок 2. Схема устройства для определения теплоотдачи (теплого потока) теплообменника (Примечание: 1 – электропарогенератор; 2 – электродный узел; 3 – теплообменник; 4, 5 – трубопроводы; 6 – вентиль; 7 – расширительная ёмкость; W – ваттметр)

Достоинствами такого метода измерения теплоотдачи являются:

- простота реализации метода;
- незначительные затраты времени на испытание;
- минимальная погрешность измерения структурного диагностического параметра – теплоотдачи;
- ресурсоэкономичность;
- высокая приспособленность к автоматиза-

ции процесса получения, регистрации и обработки результатов испытаний.

Таким образом, представленный метод измерения теплового потока может быть заложен в основу инструментально-диагностического комплекса с перспективой использования в условиях эксплуатации теплообменной аппаратуры. Авторским коллективом осуществляется поиск наиболее эффективных средств метрологического обеспечения и разработка прикладного программного обеспечения.

*Литература*

1. Аверкиев, Л.А. Совершенствование конструкции теплообменной аппаратуры мобильных транспортных машин / Л.А. Аверкиев, А.П. Пославский, А.А. Фадеев // Прогрессивные технологии в транспортных системах: материалы XI Международной научно-практической конференции. – Кумертау. ГУП РБ Кумертауская городская типография, 2013. – С. 15-18.
2. Бурков, В.В. Автотракторные радиаторы / В.В. Бурков, А.И. Индейкин. – Ленинград: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1978. – 216 с.
3. Бурков, В.В. Эксплуатация автомобильных радиаторов / В.В. Бурков. – Москва: Транспорт, 1975. – 80 с.
4. Мануйлов, В.С. Диагностирование автомобильных радиаторов тепловой нагрузкой в эксплуатации: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Мануйлов Вячеслав Сергеевич. – Оренбург, 2010. – 168 с.
5. Михайловский, Е.В. Аэродинамика автомобиля / Е.В. Михайловский. – Москва: «Машиностроение», 1973. – 224 с.
6. Михеев, М.А. Основы теплопередачи / М.А. Михеев, И.М. Михеева. – Москва: Энергия, 1977. – 344 с.
7. Пославский, А.П. Метод определения термического сопротивления элементов силовых агрегатов с поверхностями теплообмена / А.П. Пославский // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2015. – № 4 (179). – С. 95-101.
8. Ховах, М.С. Автомобильные двигатели / М.С. Ховах, Г.С. Маслов. – Москва: Машиностроение, 1971. – 456 с.
9. Якубович, А.И. Системы охлаждения двигателей тракторов и автомобилей. Исследования, параметры и показатели / А.И. Якубович, Г.М. Кухаренок, В.Е. Тарасенко. – Минск: БНТУ, 2014. – 300 с.
10. Якубович, А.И. Определение поверхности охлаждения радиатора / А.И. Якубович, В.Е. Тарасенко // Вестник Белорусского национального технического университета: научно-технический журнал. – 2009. – № 1. – С. 54-61.