

УДК 629.4.048.3

Инж. А. В. ГОРИН

Контроль технического состояния систем охлаждения тепловозных дизелей

Аннотация. В настоящее время на отечественных железных дорогах большинство отказов подвижного состава связано с отсутствием мероприятий по диагностике технического состояния оборудования, а учет эксплуатационных показателей производится вручную путем проведения выписок из типовых форм отчетности по локомотивному хозяйству. Только из-за ухудшения в работе охлаждающего устройства и отсутствия мониторинга реального положения дел избыточные затраты могут составлять 6–7 т дизельного топлива в год на одну секцию тепловоза.

В статье проводится обзор и анализ известных способов (объективных и субъективных) определения количественной составляющей снижения эффективности работы охлаждающего устройства, указаны их преимущества и недостатки. Сделан вывод о том, что существующие методы позволяют выявлять тепловозы, состояние охлаждающих устройств которых уже гораздо хуже допустимых значений или трудоемкость диагностических мероприятий неоправданно высока.

Таким образом, на настоящий момент отсутствуют достоверные и оперативные средства контроля, и для диагностики теплорассеивающей способности охлаждающего устройства тепловоза в условиях его работы в эксплуатации необходима разработка специальных методов и средств измерения, учитывающих работу дизеля на переменных режимах со значительной долей переходных процессов. В статье также приводятся рекомендации по созданию комплексного метода определения остаточного запаса теплорассеивающей способности с использованием современных и доступных средств диагностирования основных параметров работы тепловоза в режиме реального времени на удаленном расстоянии. Поддержание требуемого уровня теплорассеивающей способности охлаждающих устройств тепловозов в эксплуатации позволит снизить непроизводительные эксплуатационные затраты.

Ключевые слова: система охлаждения; теплорассеивающая способность; система автоматизированного измерения; техническое состояние тепловоза; теплотехнический процесс

Современная эксплуатация подвижного состава на железнодорожном транспорте требует непрерывной количественной оценки технического состояния узлов и агрегатов. В настоящее время сбор и обработка данных для такого анализа производятся преимущественно вручную — путем проведения выписок из типовых форм отчетности по локомотивному хозяйству, таких как журналы формы ТУ-152 и ТУ-28 [1] локомотивных депо, а также других источников информации. Процесс сбора и обработки результатов достаточно трудоемкий и занимает много времени. При этом качество полученной информации остается на относительно низком уровне.

Для поддержания системы охлаждения дизеля тепловоза в технически исправном состоянии в ОАО «РЖД» предусмотрено выполнение работ по восстановлению теплорассеивающей способности (далее — ТРС) теплообменного оборудования при проведении плановых видов технических обслуживания (ТО) и текущих ремонтов (ТР) тепловозов. Например, для грузовых тепловозов серии 2ТЭ116 работы по демонтажу и восстановлению ТРС теплообменного оборудования предусмотрены на текущем ремонте в объеме ТР-2 [2].

Исследования [3] показывают, что при выпуске тепловоза из текущего ремонта регламентированный запас 15% ТРС охлаждающего устройства системы охлаждения (далее — ОУ) [4] в ряде случаев расходуется раньше, чем наступит очередной плановый текущий ремонт тепловоза, на котором предусмотрено восстановление ТРС. В результате может произойти перегрев охлаждающей жидкости (ОЖ) в пути следования тепловоза [5], а также увеличится расход топлива тепловозом из-за более интенсивной работы вентиляторных установок (ВУ) [6]. Суммарные потери могут достигать 6–7 т дизельного топлива в год на одну секцию магистрального тепловоза! Поддержание требуемого уровня ТРС ОУ тепловозов в эксплуатации позволит снизить непроизводительные затраты дизельного топлива [7].

Причины, по которым происходит ухудшение ТРС ОУ, различны. Самая распространенная из них — загрязнение поверхности теплообмена секций водовоздушного радиатора со стороны ОЖ. Хотя технология ремонта секций радиаторов предусматривает полное восстановление ТРС при текущих ремонтах в локомотивных депо, однако имеют место случаи, когда объем и качество ремонта недостаточны. Подробный анализ причин ухудшения работы ОУ приведен в работе [8]. Поскольку причины ухудшения ТРС ОУ в эксплуатации носят случайный характер, а также зависят от объема и качества ремонта, то для их выявления необходимо вести контроль ТРС ОУ как при работе тепловозов в эксплуатации, так и при выпуске из текущих ремонтов в локомотивном депо.

На отечественных транспортных средствах применяются субъективный и объективный способы контроля ТРС ОУ двигателей внутреннего сгорания. Рассмотрим их особенности.

1. Субъективные способы контроля

1.1. Органолептический. Способ основан на субъективном восприятии человеком физических параметров процессов с помощью органов чувств. При диагностике элементов ОУ тепловозов наибольшее распространение нашли визуальный и тактильный методы.

Визуальный метод используется при оценке:

- процентного соотношения неисправных секций водовоздушного радиатора разного типа, а также количества ремонтных секций в блоках радиаторов;
- площади замятия передних кромок охлаждающих пластин секций;
- уровня загрязнения поверхности охлаждения со стороны воздуха;
- достаточности открытия верхних и боковых жалюзи;
- наличия недемонтированных утеплительных щитов и площади перекрытия ими свободного фронта радиаторов;
- наличия течей в элементах водяной СО;
- герметичности закрытия смотровых люков ОУ;
- наличия и состояния уплотнительных заделок и пр.

Способ отличается простотой и доступностью. Однако имеет целый ряд недостатков:

а) нет возможности выявлять состояние секций радиаторов с внутренней стороны поверхности охлаждения;

б) не может быть дана объективная количественная оценка текущего состояния ОУ, в результате чего невозможно сделать прогноз о допустимости или целесообразности дальнейшей эксплуатации тепловоза в целом.

1.2. Тактильный. Способ характеризуется простотой и доступностью. Основан на эффекте более быстрого охлаждения воды в трубках радиаторов из-за уменьшения или прекращения ее течения. Снижение расхода обусловлено, как правило, загрязнением внутренних полостей или закупоркой сечения отдельных охлаждающих трубок. В результате температура воды в трубках и воздуха на внешней поверхности охлаждающих пластин у секций с плохим истечением ниже (на 3 – 5 °С), чем у секций с нормальным расходом воды. Разница температур между соседними секциями легко определяется путем прикосновения к ним руки.

Способ широко распространен, но ему присущ тот же недостаток, что и визуальному: способ не позволяет давать количественную оценку текущего состояния ОУ и, как следствие этого, прогнозировать допустимость или нецелесообразность дальнейшей эксплуатации тепловоза. Кроме того, способ позволяет оценить состояние только секций водовоздушного радиатора, но не позволяет выявлять дефекты других элементов

ОУ. Наконец, способ позволяет выявлять секции, состояние внутренних полостей у которых уже достигло предельно допустимого значения.

2. Объективный (инструментальный) способ контроля

Способ основан на использовании инструментальных средств измерения, результаты которых применяются в расчетных методах оценки состояния.

2.1. Термографический и тепловизионный. Разница с предыдущим способом состоит в том, что вместо субъективной оценки «на ощупь» используются инструментальные средства, дающие количественную оценку температуры или термического состояния секций радиатора: термограф или тепловизор. Результаты оценки состояния при использовании этих средств практически идентичны и отличаются только качеством обработки полученной информации. Очевидно, что данные, полученные с помощью термографа, более детально и точно отражают состояние секций водовоздушного радиатора. Однако для сравнительного анализа состояния соседних секций в блоке радиатора достаточно использования тепловизионного метода.

Преимуществом является то, что использование этих средств измерения полностью исключает человеческий фактор, а также позволяет выявлять частичное ухудшение состояния секций водовоздушных радиаторов.

К недостаткам этих средств можно отнести следующие:

- требуется применение дорогостоящей аппаратуры и высококвалифицированного персонала для ее обслуживания;

- используемая аппаратура очень чувствительна к коэффициенту отражения поверхности теплового излучения, который, в свою очередь, зависит от ракурса экспозиции при термографировании, наличия замятий охлаждающих пластин, наличия пятен масла или иных загрязнений на поверхности экспозиции, состояния и цветовой гаммы поверхности и пр. Выделение и учет этих особенностей достаточно трудоемки и требуют больших затрат времени и определенной квалификации персонала. Так, стесненное пространство кузовов магистральных тепловозов не позволяет производить термографирование фронта радиатора под прямым углом. Термографирование частей фронта под разными углами приводит к существенному искажению результатов, особенно при сравнительном анализе состояния соседних секций между собой. Замятые кромки охлаждающих пластин, неокрашенные области или масляные пятна на термограмме выглядят как поверхности с пониженным теплоизлучением;

- позволяет производить анализ состояния только наружной поверхности секций со стороны

экспозиции. Внутренние ряды трубок остаются вне зоны досягаемости визуализации прибора;

- позволяет оценить только состояние секций водовоздушного радиатора, но не позволяет выявлять дефекты других элементов ОУ тепловоза;
- для проведения контроля требуется отставка тепловоза от эксплуатации.

2.2. Комплексные инструментальные средства измерения и расчетные методы оценки ТРС ОУ тепловоза при реостатных испытаниях. На их основе проводятся количественная и качественная оценки состояния ОУ с наибольшей точностью по сравнению с другими подходами. Используются при приемке новых или модернизации существующих тепловозов для оценки способности ОУ обеспечивать указанные в технических условиях на тепловоз (ТУ) значения температур теплоносителей дизеля при указанных режимах работы.

Наиболее достоверную информацию о состоянии ОУ тепловоза позволяют получить полные реостатные испытания на режиме работы дизеля при полной мощности. Для этого необходимо провести подготовительные работы по установке специальных средств измерений, в том числе:

- оборудовать водяные системы тепловоза устройствами и датчиками для измерения расходов воды через блоки радиаторов «горячего» и «холодного» контуры циркуляции ОЖ (ГК и ХК соответственно);
- установить датчики для оценки расходов воздуха через блоки радиаторов ГК и ХК;
- в трубопроводах системы охлаждения установить карманы для размещения датчиков температур ОЖ на входе и выходе из блоков радиаторов ГК и ХК с погрешностью не более $0,1^\circ\text{C}$.

Очевидно, что проведение таких мероприятий требует больших затрат времени и средств. Поэтому иногда испытания проводятся по упрощенной методике — без использования или с частичным использованием специальных средств измерений. В зависимости от полноты использования средств измерений достоверность получаемых данных различна.

Общими недостатками всех разновидностей реостатных испытаний являются:

- высокая трудоемкость и, как следствие, высокая их стоимость;
- относительно высокая продолжительность проведения таких испытаний;
- необходимость «привязки» тепловоза к реостату и, как следствие, отвлечение его от выполнения работ на период проведения таких испытаний.

Указанные недостатки позволяют рекомендовать такие виды испытаний для оценки ТРС ОУ тепловозов после проведения ТО и ТР. В то же время относительно высокая точность определения эффективности ОУ позволяет использовать реостатные испытания для выборочного или периодического контроля

достоверности других, более рациональных методов оценки их ТРС.

2.3. Метод оценки ТРС ОУ по скорости убывания температуры теплоносителя. Метод основан на положении теории нестационарного регулярного теплового режима [9], которое можно сформулировать так: «Разность значений между количеством тепла, подведенного к телу, и количеством тепла, отведенного от него, за некоторый промежуток времени расходуется на изменение теплосодержания тела».

Количественно это выражается уравнением

$$(Q_n - Q_o)\Delta\tau = C_M \Delta t, \quad (1)$$

где Q_n — скорость подвода тепла к телу (теплоподвод), Вт; Q_o — скорость отвода тепла от тела (теплоотвод), Вт; C_M — теплоемкость тела, Дж/°C; $\Delta\tau$ — промежуток времени процесса, с; Δt — изменение температуры тела, °C.

Регулярный нестационарный тепловой режим не рассматривает перетоки тепла внутри тела и предполагает, что темпы изменения температур всех отдельных частей тела одинаковы.

При оценке ТРС ОУ телом следует считать СО или один из контуров СО тепловоза. Для решения поставленной задачи сделаны следующие предположения и допущения:

- теплоподвод от дизеля в СО — величина постоянная и не зависит от времени процесса ($Q_n = \text{const}$);
- теплоотвод от СО осуществляется в радиаторах рассматриваемого контура охлаждения и зависит от удельной ТРС ОУ и разности температур между ОЖ t и атмосферным воздухом t_0 :

$$Q_o = KF(t - t_0), \quad (2)$$

где KF — удельная ТРС радиатора, приведенная к среднему значению температуры ОЖ, Вт/°C;

- начальное t_n (в момент времени $\tau = 0$) и конечное t_k (в момент времени $\tau = \tau_k$) значения температуры СО равны среднеарифметическим измеренным значениям температур ОЖ при входе в радиатор (t'_n, t'_k) и при выходе из него (t''_n, t''_k) в соответствующие моменты времени:

$$t_n = \frac{t'_n + t''_n}{2}, \quad (3)$$

$$t_k = \frac{t'_k + t''_k}{2}. \quad (4)$$

С учетом принятых допущений выражение (1) можно записать в виде дифференциального уравнения первого порядка

$$Q_n - KF(t - t_0) = C_M \frac{dt}{d\tau}. \quad (5)$$

Решение уравнения (5) относительно KF имеет вид

$$KF = \frac{C_M}{\tau} \ln \left| \frac{t_n - t_\infty}{t_k - t_\infty} \right|, \quad (6)$$

где t_{∞} — предельное значение температуры охлаждающей жидкости при установившемся тепловом режиме (при $\tau = \infty$ и $Q_o = Q_n$), °C:

$$t_{\infty} = t_0 + \frac{Q_n}{KF}. \quad (7)$$

Значение KF находится с помощью выражений (3), (4), (6) и (7) методом подбора по заданным, принятым или измеренным значениям C_M , t_0 , Q_n , τ , t'_n , t''_n , t'_k и t''_k .

Оценка ТРС ОУ проводится по отношению текущего значения KF к расчетному, соответствующему ОУ нового тепловоза:

$$\varepsilon = \frac{KF}{K_0 F_0}, \quad (8)$$

где K_0 — ожидаемое значение коэффициента теплопередачи радиатора при установленных расходах (скоростях) течения теплоносителей через радиатор, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$; F_0 — поверхность теплообмена, к которой приведено значение K_0 , м^2 ;

$$K_0 = f(v_1, U_2), \quad (9)$$

где v_1 — скорость воды в трубках радиатора при установленном режиме работы дизеля и ВУ, м/с ; U_2 — массовая скорость воздуха перед фронтом радиаторов при установленном режиме работы дизеля и ВУ, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}$.

В отличие от предыдущего метод контроля ТРС по темпу прогрева или остывания теплоносителей позволяет оценить текущее состояние без «привязки» тепловоза к реостату — при работе тепловоза без нагрузки (на холостом ходу дизеля). Остальные недостатки аналогичны методу с использованием комплексных инструментальных средств измерения при реостатных испытаниях тепловоза. Кроме того, принятое допущение о значении теплоемкости ОЖ СО (C_M) как однородного тела снижает достоверность и повторяемость метода.

2.4. Метод оценки ТРС ОУ по перепаду температур воды в радиаторах. Метод широко применяется при диагностике СО автомобильных двигателей и описан в работах [8] и [10]. Также он предложен и для диагностирования ОУ тепловозного дизеля.

Метод основан на предположении, что при работе двигателя на режиме с постоянной нагрузкой и частотой вращения коленчатого вала тепловыделение от двигателя в ОЖ стабильно. При этом расход ОЖ через радиатор зависит от гидравлического состояния его внутренних полостей, и при чистых радиаторах этот расход известен (нормативное паспортное значение). По мере загрязнения радиатора расход охлаждающей жидкости через него падает, а перепад температур на входе и выходе ОЖ в ОУ растет. Количественно это выражается зависимостью

$$\bar{V} = \frac{Q_0}{V_0 c_{p1} \rho_1 (t'_1 - t''_1)} \frac{(\text{факт})}{(\text{норма})}, \quad (10)$$

где $\bar{V}$ — относительное изменение расхода ОЖ через радиатор (факт) по сравнению с ожидаемым значением (норма); Q_0 — ожидаемое значение тепловыделения от двигателя в ОЖ, соответствующее заданному режиму его работы, Вт; V_0 — ожидаемое значение расхода ОЖ через радиатор, соответствующее заданной частоте вращения коленчатого вала дизеля, $\text{м}^3/\text{с}$; ρ_1 — плотность ОЖ, кг/м^3 ; c_{p1} — удельная теплоемкость ОЖ, $\text{Дж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$; t'_1 и t''_1 — температура ОЖ соответственно при входе в радиатор и при выходе из него, °C.

Недостатки метода заложены в самом предположении, изложенном выше. В действительности ожидаемые значения тепловыделения (Q_0) и расхода ОЖ через радиатор (V_0) для дизелей одного типа при одинаковой мощности, частоте вращения коленчатого вала и условиях работы могут существенно отличаться друг от друга. Например, при проведенных на Ворошиловградском тепловозостроительном заводе испытаниях тепловозов 2ТЭ116 № 033 А, 2ТЭ116-М и 2ТЭ116 № 118 (исследования ОАО «ВНИКТИ») получены различные значения теплоотводов дизелей типа 5Д49, установленных на разных тепловозах 2ТЭ116 (табл. 1).

Разброс значений составляет более 10%. Следовательно, чтобы пользоваться выражением (10), необходимо заранее установить ожидаемые значения этих параметров для конкретного тепловоза и занести эти параметры в паспорт (формуляр). Это можно сделать только при проведении реостатных испытаний тепловозов (см. п. 2.2). Следует отметить, что теплоотводы дизеля при работе на одном и том же режиме не остаются постоянными, а зависят от внешних условий, в том числе от температуры атмосферного воздуха, температур масла и ОЖ, а также от разрежения воздуха на входе в турбокомпрессор и от противодействия газов на выходе из турбокомпрессора. Величины температуры ОЖ и масла зависят также от температуры атмосферного воздуха и способности САРТ поддерживать их установленные значения. Следовательно, для того, чтобы пользоваться выражением (10), необходимо учитывать ряд других параметров.

Таблица 1

Тепловыделения в теплоносители магистральных тепловозов, ккал/ч

Тепловозы	Тепловыделения		
	в воду	в масло	наддувочного воздуха
2ТЭ116 № 033 А	$630 \cdot 10^3$	$320 \cdot 10^3$	$280 \cdot 10^3$
2ТЭ116-М	$650 \cdot 10^3$	$350 \cdot 10^3$	$400 \cdot 10^3$
2ТЭ116 № 118	$700 \cdot 10^3$	$350 \cdot 10^3$	$300 \cdot 10^3$

Кроме вышеизложенного, существует вероятность изменения ожидаемого значения расхода ОЖ по причинам, не зависящим от состояния радиаторов. Так, например, это изменение может быть вызвано износом рабочего колеса водяного насоса или загрязнением внутренних водяных полостей каналов охлаждения дизеля, охладителя наддувочного воздуха, охладителя масла, их трубопроводов и пр. Следовательно, в процессе эксплуатации тепловоза для оценки состояния его ОУ по перепаду температур воды в радиаторах требуется периодическое подтверждение и уточнение ожидаемых параметров тепловыделений (Q_0) и расходов ОЖ через радиатор (V_0). Очевидно, что игнорирование изложенных проблем приведет к погрешности определения фактического состояния ОУ, а тщательный учет всех факторов — к высокой трудоемкости и стоимости метода.

2.5. Метод оценки ТРС ОУ по перепаду температур воздуха. Метод предложен в работах [10], [11] и также основан на предположении, что при работе двигателя с фиксированными нагрузкой и частотой вращения коленчатого вала тепловыделения от двигателя в охлаждающую жидкость фиксированы. При этом расход воздуха через радиатор зависит от аэродинамического состояния, и при чистых радиаторах этот расход известен. По мере загрязнения радиатора расход воздуха через него падает, а перепад температур на входе и выходе растет. Количественно это выражается зависимостью

$$\bar{G}_2 = \frac{Q_0}{G_{20} c_{p2} (t_2'' - t_2')}, \quad (11)$$

где $\bar{G}_2$ — относительное изменение расхода воздуха через радиатор по сравнению с ожидаемым значением; G_{20} — ожидаемое значение массового расхода воздуха через радиатор, соответствующее заданной частоте вращения коленчатого вала дизеля, кг/с; c_{p2} — удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг·°C); t_2' и t_2'' — температура воздуха соответственно при входе в радиатор и при выходе из него, °C.

В большинстве случаев исполнения ОУ тепловозов температура воздуха при входе в радиатор по значению равна температуре атмосферного воздуха. Но в некоторых случаях эти температуры могут отличаться. Так, например, в ОУ тепловоза 2ТЭ25К (А, АМ, АМ*) воздух на входе в радиатор ГК поступает уже нагретым в радиаторах ХК. Поэтому в выражении (11) приведено общее определение этого параметра.

Недостатки указанного метода те же, что и метода оценки состояния ОУ по перепаду температур ОЖ (см. п. 2.4).

Кроме того, из-за особенностей теплопередачи при перекрестной схеме течения теплоносителей поле температур воздуха после радиатора очень неравномерно по фронту. Для исключения ошибки измерения

усредненного значения температуры потребуются установка большого количества датчиков. Например, в работе [10] предложена установка 16 датчиков температуры. Установить такое количество датчиков затруднительно с технической точки зрения.

Следует отметить, что поле температур воздуха после радиатора очень чувствительно к наличию различных изменений аэродинамической схемы течения воздуха, связанных с факторами технического состояния ОУ. Так, наличие недемонтированных утеплительных щитов потребует пересмотра схемы установки датчиков, а отсутствие уплотнительных заделок — к искажению усредненного значения температуры воздуха после радиатора. При этом достоверность способа зависит не только от количества таких датчиков и правильности определения мест их установки, но и от отказности работы каждого датчика.

2.6. Метод оценки ТРС ОУ по перепаду давлений ОЖ в радиаторе. Метод предложен в работе [8] и основан на предположении, что при работе двигателя с фиксированными нагрузкой и частотой вращения коленчатого вала расход ОЖ через радиатор постоянен и зависит от его гидравлического сопротивления. При чистых радиаторах этот параметр известен. По мере загрязнения сопротивление радиатора растет. Количественно это выражается зависимостью

$$\bar{\xi} = \frac{P' - P''}{P_0' - P_0''} \left(\frac{V}{V_0} \right)^2, \quad (12)$$

где $\bar{\xi}$ — относительное значение изменения удельного сопротивления радиатора; P_0' и P_0'' — ожидаемые значения давлений ОЖ соответственно при входе в радиатор и при выходе из него, кПа; V_0 — ожидаемое значение расхода ОЖ через радиатор, м³/с; P' и P'' — измеренные значения давлений ОЖ соответственно при входе в радиатор и при выходе из него, кПа; V — измеренное значение расхода ОЖ через радиатор, м³/с.

Основным недостатком метода является то, что для достоверной оценки ТРС ОУ по перепаду давлений точность измерений гидравлического сопротивления радиатора ($\Delta P = P' - P''$) и расхода жидкости через него (V) должна быть очень высока. Так, например, при фиксированном расходе порядка 5,00 м³/ч, значение которого характерно для большинства ОУ тепловозов, работающих на максимальной нагрузке (с максимальной частотой вращения коленчатого вала), гидравлическое сопротивление чистого радиатора типа Р62.131.000 ($P_0' - P_0''$) составляет приблизительно 25...35 кПа, или 0,26...0,32 кг/см². Разброс показаний обусловлен технологическими особенностями изготовления радиаторов. При этом даже небольшое увеличение гидравлического сопротивления радиатора относительно исходного состояния в пределах 1 кПа

Таблица 2

Способы, методы и средства контроля теплотехнического состояния системы охлаждения тепловоза

Способ контроля							
субъективный (человеком)		объективный (инструментальный)					
Метод контроля							
1	2	3	4	5	6	7	8
визуальный	тактильный	инструментальное измерение параметров работы системы охлаждения с расчетной оценкой теплотехнического состояния					
		термографический, тепловизионный	на полной мощности	по скорости нарастания или убывания температуры	по перепаду в радиаторах		
					температуры		давления жидкости
					воды	воздуха	
Средства контроля							
глазами	рукой	преобразователь температуры или теплового потока	комплекс преобразователей	преобразователь температуры			преобразователь давления
Режим работы дизеля (системы охлаждения)							
установившийся				переходный		установившийся	
холостой ход, под нагрузкой, остановлен	холостой ход, под нагрузкой	холостой ход, под нагрузкой	на полной мощности	на максимальной частоте вращения коленчатого вала			
Рекомендуется использовать для контроля							
оперативного в эксплуатации		входного при ТО и ТР		при выпуске из ТР-2			

(0,01 кг/см²), или ~3%, которое обусловлено загрязнением его внутренних полостей в эксплуатации, соответствует снижению его ТРС на величину порядка 0,5–1%. Датчики давлений с такой точностью измерений сложны в изготовлении, а их использование в системах диагностики в режиме реального времени может поставить под сомнение экономическую целесообразность проведения оценки текущего состояния ТРС ОУ. Использование же датчиков менее точных с погрешностью 10 кПа (0,1 кг/см²) может привести к недопустимым ошибкам при принятии решения. Следует отметить, что доля времени работы тепловозов с максимальной нагрузкой составляет до 2% [12]. При оценке ТРС ОУ по перепаду гидравлического сопротивления ОЖ в радиаторах на частичных нагрузках ДГУ величина погрешности несоизмеримо выше.

Вторым недостатком метода является необходимость измерения текущего расхода ОЖ. Устройства для измерения расходов также должны иметь достаточно высокую точность, а существующие, как правило, не отличаются высокой надежностью. И наоборот, надежные и недорогие устройства измерения расходов ОЖ отличаются низкой точностью, что делает невозможным их применение для оценки ТРС ОУ. В работе [8] сделано предположение, что при изменении гидравлического сопротивления радиатора производительность насоса остается практически неизменной или слабо меняется ($V = V_0$). В этом случае необязательно контролировать расход ОЖ. Достаточно измерить перепад давления ОЖ в радиаторе. Следует

отметить, что это предположение условно справедливо только при малых изменениях гидравлического сопротивления радиатора. Однако при малых изменениях гидравлического сопротивления возникает трудность его достоверной оценки. При больших же изменениях гидравлического сопротивления радиатора, когда его можно достоверно определить с помощью доступных средств измерений, пренебрежение изменением производительности водяного насоса приводит к недопустимой погрешности.

Результаты рассмотрения приведенных выше способов и методов контроля ТРС ОУ тепловозов сведены в табл. 2. Здесь же приведены рекомендации по использованию каждого из них для оперативного контроля состояния ОУ тепловозов при работе в эксплуатации (локомотивной бригадой), а также в сервисном локомотивном депо при выполнении технических обслуживания и текущих ремонтов тепловозов. Также видно, что все рассмотренные инструментальные методы контроля могут быть использованы при работе дизеля на установившихся режимах (под нагрузкой, на холостом ходу). При этом на каждом режиме работы требуется некоторое время для стабилизации теплотехнического состояния дизеля и системы охлаждения (более 15 мин). Ни один из рассмотренных методов не позволяет производить оперативную оценку текущего состояния ТРС ОУ тепловозов в режиме реального времени.

Понятно, что реализовать указанные требования проведения контроля можно, только когда тепловоз

находится в локомотивном депо и есть условия для установки на локомотиве измерительных приборов. Реально это можно сделать при проведении ТО и ТР тепловоза.

Для контроля ТРС ОУ тепловоза в условиях его работы в эксплуатации необходима разработка специальных методов и средств измерения, учитывающих работу дизеля на переменных режимах со значительной долей переходных процессов [13]. Целесообразно уже сейчас начать разработку таких методов, согласовав их с принятыми в ОАО «РЖД» бортовыми системами диагностики технического состояния тепловозов и их силовых установок (автоматизированные системы учета работы и технического состояния РПРТ, РПДА-Т, Борт, АСК-ВИС, МСУ-ТЭ (МСУ-ТП)).

Выводы. 1. Показано влияние изменения технического состояния системы охлаждения тепловоза на расход топлива в эксплуатации. Указана основная причина ухудшения состояния системы — загрязнение поверхности теплообмена секций водовоздушного радиатора со стороны охлаждающей жидкости. Отмечена важность поддержания исправного технического состояния этих систем тепловозов в эксплуатации.

2. Приведен обзор и анализ известных способов, методов и средств измерения параметров, используемых для контроля теплотехнического состояния охлаждающих устройств тепловозов. Выявлены их преимущества и недостатки. Выведены аналитические зависимости, связывающие фактическое теплотехническое состояние охлаждающих устройств с его нормативным значением.

3. Даны рекомендации по использованию каждого из способов, методов и средств измерения параметров для контроля теплотехнического состояния охлаждающих устройств при работе тепловозов в эксплуатации и при выполнении технических обслуживаний и текущих ремонтов в сервисном локомотивном депо.

4. Показано, что все рассмотренные инструментальные методы контроля теплотехнического состояния охлаждающих устройств тепловозов могут быть использованы при работе дизеля на установившихся режимах (под нагрузкой, на холостом ходу). При этом на каждом режиме работы требуется некоторое время для стабилизации теплотехнического состояния дизеля и системы охлаждения. Отмечено, что ни один из рассмотренных методов не позволяет производить оперативную оценку текущего состояния теплорассеивающей способности охлаждающего устройства в режиме реального времени работы тепловоза в эксплуатации.

5. Для контроля теплорассеивающей способности охлаждающего устройства тепловозов в условиях работы в эксплуатации необходима разработка

специальных методов и средств измерения, учитывающих работу дизеля на переменных режимах со значительной долей переходных процессов. Целесообразно уже сейчас начать разработку таких методов, согласовав их с бортовыми системами учета работы и технического состояния тепловозов (РПРТ, РПДА-Т, Борт, АСК-ВИС, МСУ-ТЭ (МСУ-ТП)) и автоматизированной системой мониторинга бортовых систем АСМ БР, принятыми в ОАО «РЖД».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альбом форм первичной документации по локомотивному хозяйству: утв. зам. министра путей сообщения Рос. Федерации 19.07.1999 / Департамент локомотивного хозяйства. М.: ПКБ ЦТ ОАО «РЖД», 1999. 175 с.
2. Руководство по техническому обслуживанию и текущему ремонту тепловозов 2ТЭ116 ТЭ116ИО: утв. вице-президентом ОАО «РЖД» 31.03.2004 г. / Департамент локомотивного хозяйства. 2004. 387 с.
3. Горин В. И. Охлаждающее устройство для современных тепловозов: каким ему быть? // Локомотив. 2013. № 7. С. 27 – 29.
4. ГОСТ 31187–2003, п. 3.7.1. Тепловозы магистральные. Общие технические требования: введ. 01.07.2004. М.: Госкомитет РФ по управлению качеством продукции и стандартам. 12 с.
5. Гогричиани Г. В., Горин А. В. Метод расчета вероятности перегрева теплоносителей систем охлаждения тепловозных дизелей // Вестник ВНИИЖТ. 2013. № 1. С. 60 – 66.
6. Горин А. В. К вопросу оценки вентиляторной мощности магистральных тепловозов и рекомендации по ее сокращению // Железнодорожный транспорт на современном этапе развития: сб. трудов молодых ученых ОАО «ВНИИЖТ» / под. ред. М. М. Железнова, Г. В. Гогричиани. М.: Интекст, 2013. С. 167 – 172.
7. Горин В. И. Резервы экономии топлива при эксплуатации тепловозов серии 2ТЭ116 // Локомотив. 2012. № 6. С. 18 – 19.
8. Перминов В. А. Оценка состояния теплообменных аппаратов системы охлаждения тепловозных дизелей в эксплуатации: автореферат дис. ... канд. техн. наук. М., 1988. 23 с.
9. Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел А. С. Теплопередача. М.: Энергия, 1969. 440 с.
10. Свизяев В. П., Муратов А. Х., Назаренко В. М. Вопросы диагностики секций холодильников магистральных тепловозов // Тр. ТашиИТ. 1981. Вып. 169/16. С. 48 – 53.
11. Розенблит Г. Б., Алексеев В. Г. Влияние уменьшения теплорассеивающей способности систем охлаждения тепловозного дизеля на его эксплуатационную и топливную экономичность // Двигателестроение. 1990. № 7. С. 14 – 15.
12. Володин А. И., Фофанов Г. А. Топливная экономичность силовых установок тепловозов. М.: Транспорт, 1979. 128 с.
13. Горин А. В. Диагностика параметров системы охлаждения как средство для повышения надежности и ресурса тепловозного дизеля // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2014. № 1 (41). С. 112 – 118.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

ГОРИН Антон Владимирович,

научный сотрудник,

ОАО «ВНИИЖТ».

129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10.

Тел.: (499) 260-42-03.

E-mail: goravluck@gmail.com

Condition Monitoring of the Diesel Locomotive Engines' Cooling Systems

Anton V. Gorin, Research Worker, JSC Railway Research Institute (JSC VNIIZhT). 10, 3rd Mytischinskaya str., 129626 Moscow, Russian Federation. Tel.: + 7 (499) 2604203. E-mail: goravluck@gmail.com

Abstract. At present time most rolling stock failures on domestic railway transport are induced by the absence of adequate diagnostics of the equipment technical condition. Record of operating indices is a manual one, representing extracts from standard reports of locomotive service. Meanwhile annual losses due to degradation of cooling equipment performance can amount to 6–7 t of diesel fuel per diesel locomotive unit.

The paper contains review and analysis (covering inter alia advantages and disadvantages) of the known objective and subjective techniques to determinate quantitative constituent of reduction in the cooling system operating efficiency. There is drawn conclusion that the existing techniques are appropriate in identifying diesel locomotives with cooling equipment technical condition much inferior to the permitted one. Otherwise diagnostic measures' labour input becomes unreasonably high.

So in the absence of reliable on-line monitoring tools the development of special-purpose on-line techniques and tools for heat-dissipating capacity diagnostics of diesel locomotive cooling equipment is needed, considering diesel engine intermittent operation with a large proportion of transient phenomena. There are presented guidelines for the development of integrated determination technique of heat-dissipating capacity residue employing available up-to-date means for on-line remote diagnostics of the diesel locomotive principal operating parameters. Maintaining the required heat-dissipating capacity level of the diesel locomotive cooling equipment in operation will contribute to notable reduction in unproductive operating costs.

Keywords: cooling system; heat-dissipating capacity; automated measurement system; diesel locomotive technical condition; thermotechnical process

References

1. *The album of primary documentation forms for locomotive facilities*. Approved by the Deputy Minister of Railways of Russian Federation on July 19, 1999. Department of Locomotive Facilities. Moscow, JSC "Russian Railways", 1999. 175 p. (in Russ.)
2. *Guidelines for maintenance and current repair of locomotives 2TE116 TE116IO*. Approved by the Vice-President of JSC "Russian Railways" on March 31, 2004. Department of Locomotive Facilities. Moscow, 2004. 387 p. (in Russ.)
3. Gorin V.I. *Okhlazhdayushchee ustroystvo dlya sovremennykh teplovozzov: kakim emu byt'?* [The cooling device for modern diesel locomotives: What will it be?]. *Lokomotiv*, 2013, no. 7, pp. 27–29.
4. *GOST Standard 31187–2003, p. 3.7.1. Mainline locomotives. General technical requirements*. Appl. July 01, 2004. Moscow, Izd. Standartov Publ., 2004. 12 p. (In Russ.)
5. Gogrichiani G.V., Gorin A.V. *Metod rascheta veroyatnosti peregreva teplonositeley sistem okhlazhdeniya teplovozznykh dizelei* [Probability calculation technique of coolant overheating in the locomotive diesel-engine cooling system]. *Vestnik VNIIZhT* [Vestnik of the Railway Research Institute], 2013, no. 1, pp. 60–66.
6. Gorin A.V. *K voprosu otsenki ventilyatornoy moshchnosti magistral'nykh teplovozzov i rekomendatsii po ee sokrashcheniyu* [On assessment of the fan power of diesel locomotives, and recommendations for its reduction]. *Zheleznodorozhnyy transport na sovremennom etape razvitiya*: Sb. tr. molodykh uchenykh OAO "VNIIZhT" [Rail transport at the present stage: Coll. works of young scientists of JSC "VNIIZhT" (Railway Research Institute)]. Moscow, Intext Publ., 2013, pp. 167–172.
7. Gorin V.I. *Rezervy ekonomii topliva pri ekspluatatsii teplovozzov serii 2TE116* [Reserves of fuel economy in the operation of diesel locomotives series 2TE116]. *Lokomotiv*, 2012, no. 6, pp. 18–19.
8. Perminov V.A. *Otsenka sostoyaniya teploobmennyykh apparatov sistemy okhlazhdeniya teplovozznykh dizelei v ekspluatatsii*. Kand. tekhn. nauk. diss. Avtoref. [Assessment of the heat exchangers of the cooling system of locomotive diesel engines in operation. Cand. tech. sci. diss. Synopsis]. Moscow, 1988. 23 p.
9. Isachenko V.P., Osipova V.A., Sukomel A.S. *Teploperedacha* [Heat transfer]. Moscow, Energiya Publ., 1969. 440 p.
10. Svizayev V.P., Muratov A.X., Nazarenko V.M. *Voprosy diagnostiki sektsiy kholodil'nikov magistral'nykh teplovozzov* [Issues of diesel locomotives refrigerators sections diagnostics]. *Trudy TashIIT* [Proceedings of Tashkent Institute of Railway Transport Engineers], 1981, no. 169/16, pp. 48–53.
11. Rozenblit G.B., Alekseev V.G. *Vliyaniye umen'sheniya teplo-rasseivayushchey sposobnosti sistem okhlazhdeniya teplovozznogo dizelya na ego ekspluatatsionnyuyu i toplivnyuyu ekonomichnost'* [The effect of reducing the heat dissipation capacity of the cooling system of locomotive diesel engine on its operational and fuel efficiency]. *Dvigatelsestroenie*, no. 7, pp. 14–15.
12. Volodin A.I., Fofanov G.A. *Toplivnaya ekonomichnost' silovyykh ustanovok teplovozzov* [Fuel efficiency of diesel power equipment]. Moscow, Transport Publ., 1979. 128 p.
13. Gorin A.V. *Diagnostika parametrov sistemy okhlazhdeniya kak sredstvo dlya povysheniya nadezhnosti i resursa teplovozznogo dizelya* [Diagnostics of parameters of the cooling system as means of reliability and resource of the locomotive diesel increase]. *Sovremennyye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovaniye*, 2014, no. 1 (41), pp. 112–118.

ВЫШЛИ В СВЕТ ТРУДЫ ВНИИЖТ

Дыдышко П. И. Земляное полотно железнодорожного пути. Справочник: науч. тр. ОАО «ВНИИЖТ». М.: Интекст, 2014. 416 с.

Изложены справочные данные и научное обоснование обеспечения стабильности земляного полотна железнодорожного пути, включая инновационные решения, на основе исследований процессов тепломассопереноса в грунтах. Представлено неизвестное ранее термоэлектрокинетическое явление, обуславливающее перенос влаги в капиллярных анизотермических системах, который влияет на несущую способность и устойчивость основания пути. Материалы справочника включают в себя порядок проведения ин-

женерных изысканий, методы расчетов, конструкции земляного полотна новых линий, дополнительных главных путей и усиления (реконструкции) эксплуатируемых линий. Рассмотрены объекты в различных инженерно-геологических условиях. Приведены порядки содержания земляного полотна, правила приемки объектов в эксплуатацию и правила охраны окружающей среды.

По вопросам предварительного заказа на приобретение книги обращайтесь в редакционно-издательский отдел ОАО «ВНИИЖТ», тел. (499) 260-43-20.