

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НАСОСА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ И ФОРСУНОК СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ MAN B&W 6S50MC-C ПО ИЗМЕНЕНИЮ ДАВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ В ТРУБОПРОВОДЕ

Целью работы является предложение методов и средств определения технического состояния топливной аппаратуры. Предложена методика определения технического состояния насоса высокого давления и форсунок судового дизеля MAN B&W 6S50MC-C по изменению максимального давления топлива и температуры внешней поверхности трубопровода. Для топливной аппаратуры с максимальным давлением в трубопроводе от 50 до 150 МПа определена допустимая зона изменения давления.

Предложена формула, учитывающая цикловую подачу топлива и массу при оценке температуры от его сжатия плунжером насоса. Определена температура топлива при сжатии в зависимости от величины давления.

Выполнен расчет процесса переноса тепла через стенку трубопровода и от нагретой поверхности стенки к воздуху. Для измерения температуры на поверхности трубопровода и определения технического состояния топливной аппаратуры выбран переносной пирометр RGK PL12. Приведена допустимая зона изменения температуры поверхности трубопровода, по которой оценивают исправное состояние насоса и форсунок.

**Ключевые слова:** насос, трубопровод и форсунка, техническое состояние, давление и температура, диагностический сигнал, допустимая зона, пирометр.

**Введение.** Техническое состояние насоса высокого давления и форсунок судовых дизелей можно определить по изменению максимального давления топлива внутри трубопровода и температуры его наружной поверхности.

Подача топлива от насоса высокого давления к форсункам осуществляется по нагнетательным трубопроводам различной длины (от 100 до 250 см), внутренний диаметр которых может быть равен от 2 до 10 мм, а наружный — от 6 до 30 мм. Дизельное топливо или мазут подводится к распылителям форсунок под высоким давлением до 100 МПа и выше [1, 2]. При исправной системе топливоподдачи давление топлива в локальной зоне (например, на выходе из штуцера всех насосов и входе в трубопроводы) должно быть примерно равным (например, 113–114 МПа).

В работе [3] рассмотрены особенности конструкции, принцип действия судовых дизелей типа MAN B&W, их технико-экономические показатели, цилиндровая мощность которых изменяется от 1310 до 4880 кВт.

Из работ [4–5] следует, что по анализу осциллограмм процесса впрыска топлива (изменение величины давления в различных точках) можно определить техническое состояние топливной аппаратуры (ТА).

При сжатии топлива плунжерной парой создается высокое давление и одновременно нагрев топлива до определенной температуры. Величина давления и температура изменяются от технического состояния насоса высокого давления и форсунок. В работе [6] предложена методика определения технического состояния форсунок по изменению температуры трубопровода высокого давления теплового дизеля 6ЧН 31,8/33 мощностью 882 кВт.

Таким образом, возможные неисправности и отказы топливной аппаратуры можно определить по изменению давления и температуры в характерных участках трубопровода. Измеренное давление или температура (**диагностический сигнал**) сравнивается с эталонным давлением или температурой, определенной ранее для исправной топливной аппаратуры. **Эталонное состояние** — значение исправного состояния топливной аппаратуры, при котором она соответствует всем требованиям нормативно-технической или конструкторской документации и может выполнять на требуемом уровне возложенные на нее функции.

**1. Определение технического состояния топливной аппаратуры по изменению давления внутри трубопровода.** На рис. 1 представлены осцилло-

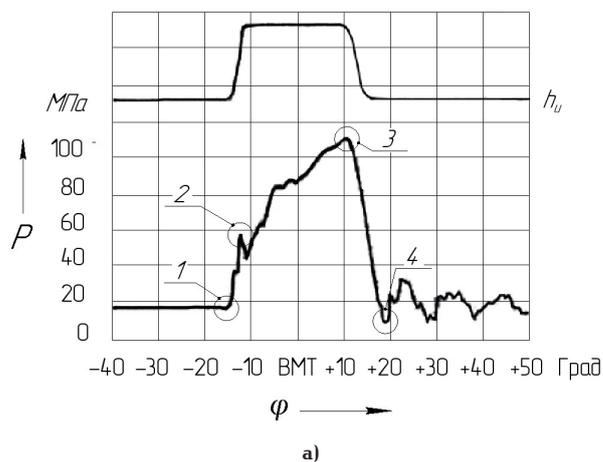


Рис. 1. Осциллограммы изменения перемещения иглы форсунки и давления топлива в трубопроводе (а) и датчик давления серии ПД-100 (б)

граммы изменения перемещения иглы форсунки  $h_n$  и давления топлива в трубопроводе  $P$  (рис. 1а) [2], а также датчик давления серии ПД-100 (рис. 1б). Осциллограммы приведены для судового дизеля типа MAN B&W 6S50MC-C, выпускаемого ОАО «Брянский машиностроительный завод» по лицензии Германии и Дании [2]. В качестве топлива применялся мазут марки RMB10 с кинематической вязкостью  $10 \text{ мм}^2/\text{с}$  при температуре  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  и плотностью  $950 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

Надежность, безотказность, долговечность и экономичность дизеля в основном зависят от состояния ТА. Техническое состояние ТА можно определить по анализу характерных точек изменения давления в трубопроводе и хода иглы распылителя форсунки (см. рис. 1а) [7]. Точка 1 определяет величину остаточного давления в трубопроводе (18 МПа). Точка 2 оценивает значение динамического давления начала открытия иглы форсунки. Точка 3 характеризует максимальное давление топлива в трубопроводе (115 МПа). Точка 4 определяет конец впрыска топлива. Продолжительность впрыска топлива составляет 30 градусов поворота кулачкового вала насоса, что видно по диаграмме хода иглы и осциллограмме изменения давления (от точки 2 до точки 4).

Для определения давления в линии высокого давления рекомендуется датчик типа ПД-100ДИ с верхним пределом измерения до 120 МПа (см. рис. 1б). Постоянная установка датчиков рекомендуется в зоне штуцера насоса. Желательно подключать датчик к линии высокого давления только в процессе диагностирования, используя поворотный кран. Устройство и принцип действия датчиков для измерения давления топлива приведены в работах [7, 8].

На рис. 2 показана система подвода топлива к трем форсункам судового дизеля K98MC фирмы MAN [9] (для дизеля MAN B&W 6S50MC-C — к двум). Обычно используют два способа подвода топлива от насоса к форсункам: разветвленный и индивидуальный. Разветвленный (рис. 2а и б) применяют при большом расстоянии насоса до форсунок (до 2,5 м). При индивидуальном способе из головки насоса выходят несколько коротких трубопроводов, подводящих топливо к форсункам (рис. 2в).

Техническое состояние ТА дизеля можно определить по изменению максимальной величины дав-

ления в трубопроводе, определяя допустимую зону возможного повышения или понижения давления от среднего значения ( $\pm 3 \text{ МПа}$ ). Если максимальная величина во всех шести трубопроводах лежит в допустимой зоне, то ТА находится в исправном состоянии и возможна её дальнейшая эксплуатация. Если давление больше или меньше допустимой зоны, то определяют вид неисправности (отказа) насоса, форсунок и выполняют необходимое техническое обслуживание или ремонт. В этом заключается актуальность предлагаемой методики диагностирования технического состояния насоса высокого давления и форсунок судовых дизелей.

На рис. 3а показана расчетная диаграмма с изображением точек максимального давления в шести трубопроводах. Из головки шести насосов высокого давления выходит по одному трубопроводу подачи топлива с последующим разделением его на два, идущих к форсункам.

Для топливной аппаратуры с выходом из головки насосов двух трубопроводов необходимо измерить максимальное давление в двенадцати трубопроводах (шесть цилиндров дизеля имеют по две форсунки) и сделать заключение о техническом состоянии ТА. На рис. 3б показана диаграмма с изображением точек максимального давления в двенадцати трубопроводах. Диаграмма приведена для исправной ТА.

Сплошные линии (115 и 109 МПа) ограничивают допустимую зону изменения максимального давления, штриховая линия характеризует среднее давление с допуском ( $112 \pm 3,0 \text{ МПа}$ ). Повышение давления выше сплошной линии (115 МПа) происходит в результате закоксовывания сопловых отверстий распылителей или завышенной цикловой подачи топлива. Понижение давления ниже сплошной линии (109 МПа) может произойти в результате снижения давления начала открытия иглы (точка 2, см. рис. 1), уменьшения остаточного давления (точка 1), уменьшения цикловой подачи топлива, увеличения диаметра сопловых отверстий.

Изменение давления возможно также от увеличения максимального хода иглы, ее зависания (потере подвижности), изменения вязкости топлива (мазута) [4].

Давление начала открытия иглы (см. рис. 1а, точка 2) не должно быть меньше на 2–3 МПа от требуемого значения (6–10 %) [4]. Отклонение максимальной величины давления топлива (точка

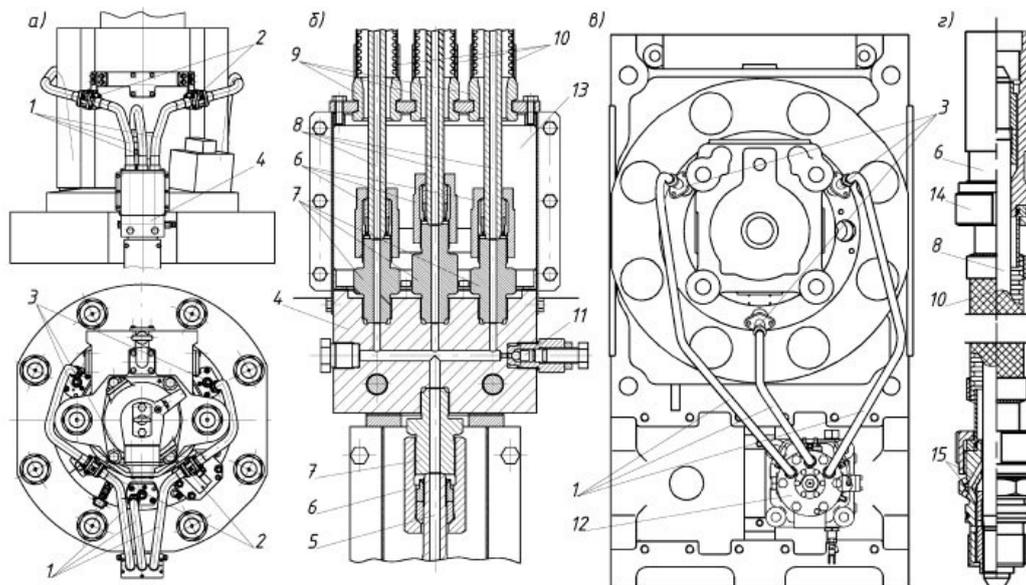


Рис. 2. Система высокого давления топлива судовых дизелей:

- a* — расположение трубопроводов на крышке цилиндра дизеля;  
*б* — распределение по форсункам; *в* — расположение трубопроводов на двигателе K98MC фирмы MAN;  
*г* — конструкция трубопровода и присоединительных устройств;  
 1 — трубопроводы высокого давления; 2 — соединительные устройства; 3 — форсунки;  
 4 — распределитель топлива по форсункам; 5 — подводящий трубопровод;  
 6 — накидная гайка трубопроводов; 7 — присоединительный штуцер;  
 8 — внутренний трубопровод высокого давления; 9 — штуцер; 10 — наружная оболочка (сетка);  
 11 — клапан для удаления воздуха; 12 — насос высокого давления;  
 13 — коробка сбора утечек топлива; 14 — гайка; 15 — канал сбора утечек топлива

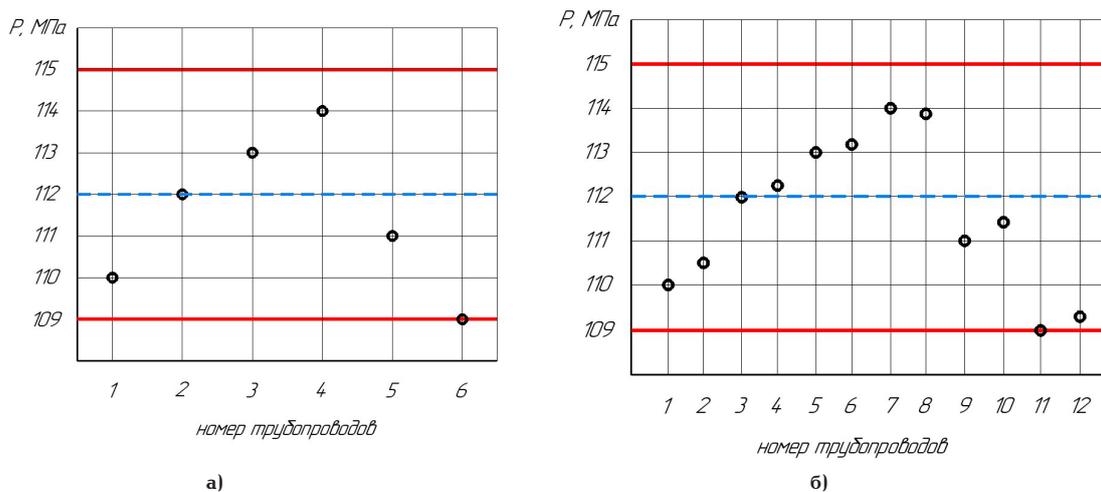


Рис. 3. Изменение максимальной величины давления топлива в шести (а) и двенадцати (б) трубопроводах

3) от среднего значения должно лежать в пределах  $\pm 3,0$  МПа. Для нашего примера  $112 \pm 3$  МПа. Допустимый диапазон изменения максимального давления составляет 5,2 % (или  $\pm 2,6$  %).

В табл. 1 для топливной аппаратуры с максимальным давлением в трубопроводе от 50 до 150 МПа указаны допустимые значения снижения давления в процессе эксплуатации. Вид неисправности форсунок можно определить способом сравнения по изменению характерных точек и участков на диаграмме давления. Данная методика диагностирования заключается в следующем [7]:

1. На режиме малых частот и нагрузок с параметрами ТА, соответствующими требованиям завода-изготовителя, фиксируют датчиком эталонный

импульс давления с пояснением характерных участков и точек.

2. Для каждого вида возможных неисправностей (снижение давления открытия иглы, образование кокса в сопловых отверстиях, потеря подвижности иглы, увеличение хода иглы) фиксируют нарушенный импульс давления.

3. В процессе диагностирования полученный импульс давления сравнивается с эталонным; если он изменен, то путем сравнения (используется программное обеспечение) с заранее снятыми осциллограммами определяется вид неисправности.

2. **Определение температуры при сжатии топлива и теплового потока, проходящего через стенку трубопровода.** Диагностирование ТА

Допустимое снижение давления  $P_{\text{доп}}$  для различных  $P_{\text{max}}$ 

$P_{\text{max}}$ , МПа	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
$P_{\text{доп}}$ , МПа	47	57	66	76	85	95	104	114	123	133	142

Таблица 2

Повышение температуры топлива  $\Delta t_t$  при различных давлениях  $\Delta P$ 

$\Delta P$ , МПа	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
$\Delta t_t$ , °С	6,0	7,1	8,3	9,5	10,7	11,9	13,1	14,3	15,5	16,6	17,8

по изменению давления в трубопроводах — сложный процесс, требует монтажа датчиков в систему подачи топлива и применения сложной аппаратуры. Рассмотрим более простой бесконтактный способ определения давления по изменению температуры трубопровода.

Для этого расчетным путем для судового двухтактного дизеля MAN B&W 6S50MC-C с шестью цилиндрами диаметром 50 см мощностью 9480 кВт определим цикловую подачу топлива, путь, пройденный топливом в трубопроводе за впрыск, время впрыска, скорость и режим течения топлива.

Цикловую подачу топлива в  $\text{см}^3$  для двух форсунок дизеля MAN B&W 6S50MC-C на режиме номинальной мощности определим по формуле [7]

$$q_{\text{ц2}} = \frac{N_e \cdot q_e}{i \cdot n_n \cdot \rho_T \cdot 60} = \frac{9480 \cdot 171}{6 \cdot 127 \cdot 0,95 \cdot 60} = 37,0 \text{ см}^3, \quad (1)$$

где  $N_e$  — эффективная номинальная мощность дизеля, 9480 кВт;  $q_e$  — удельный эффективный расход топлива, 171 г/(кВт·ч);  $i$  — число цилиндров, 6;  $n_n$  — частота вращения вала насоса, 127  $\text{мин}^{-1}$ ;  $\rho_T$  — плотность топлива (мазута) 0,95 г/см<sup>3</sup>.

Размеры трубопровода высокого давления дизеля MAN B&W 6S50MC-C следующие — длина 2500 мм, внутренний диаметр 8 мм, наружный диаметр 24 мм. Площадь сечения внутреннего отверстия диаметром 8 мм равна 50 мм<sup>2</sup> (0,5 см<sup>2</sup>). В головке цилиндров установлены две форсунки. В каждую форсунку подводится топливо от насоса высокого давления по отдельному трубопроводу. Процесс передачи тепла через стенку трубопровода рассмотрим за время впрыска топлива. Топливо должно поступать в головку насоса в подогретом состоянии (для применяемого мазута 50 °С).

В результате сжатия топлива в объеме над плунжером его температура повышается и определяется из выражения

$$\Delta t_t = k_{\text{оп}} \cdot T_o \cdot q_{\text{ц1}} \cdot \Delta P / (M \cdot c_{\text{пр}}), \quad (2)$$

где  $k_{\text{оп}}$  — коэффициент объемного расширения для дизельного топлива (мазута) равен  $0,7 \cdot 10^{-3}$  1/К;  $T_o$  — температура топлива на входе в головку насоса, К;  $q_{\text{ц1}}$  — цикловая подача (объем) топлива, м<sup>3</sup>;  $M$  — масса топлива, сжимаемого плунжером, кг;  $\Delta P$  — изменение давления при сжатии топлива, Па;  $c_{\text{пр}}$  — удельная средняя теплоемкость топлива, 2000 Дж/(кг·К). При давлении 115 МПа и температуре  $T_o = 323$  К, (50 °С),  $q_{\text{ц1}} = 18,5 \cdot 10^{-6}$  м<sup>3</sup>,

$M = 0,0176$  кг ( $M = q_{\text{ц1}} \cdot \rho_T$ ), где  $\rho_T$  — плотность топлива, 950 кг/м<sup>3</sup>, величина  $\Delta t_t = 13,7$  °С.

В формулу (2) введены новые параметры  $q_{\text{ц1}}$  и  $M$ , что позволяет более точно определять значение  $\Delta t_t$ , чем в работе [9].

В табл. 2 показано повышение температуры топлива  $\Delta t_t$  при сжатии в объеме над плунжером насоса при изменении давления  $\Delta P$  от 50 до 150 МПа.

При подаче топлива по отдельному трубопроводу для одной форсунки  $q_{\text{ц1}} = 18500$  мм<sup>3</sup> путь продвижения столба топлива внутри трубопровода от штуцера насоса за впрыск составит

$$L = q_{\text{ц1}} / S_{\text{тр}} = 18500 / 50 = 370 \text{ мм}. \quad (3)$$

При подаче топлива насосом в общий трубопровод и дальнейшим его разделением в формуле (3) значение  $q_{\text{ц1}} = 18500$  мм<sup>3</sup>, а будет  $q_{\text{ц2}} = 37000$  мм<sup>3</sup>.

Зная продолжительность впрыска топлива ( $\varphi_B = 30$  °), частоту вращения вала насоса  $n_n$  в  $\text{мин}^{-1}$ , время впрыска определим из выражения [7].

$$\tau_b = \frac{\varphi_B}{6 \cdot n_n} = \frac{30}{6 \cdot 127} = 0,039 \text{ с}. \quad (4)$$

Скорость движения топлива в трубопроводе в период впрыска составит

$$\vartheta_{\text{тр}} = L / t_b = 370 / 0,039 = 9490 \text{ мм/с},$$

или 9,49 м/с. (5)

Режим течения топлива внутри трубопровода диаметром  $d_1 = 8$  мм при кинематической вязкости топлива  $\nu = 10 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с определим из выражения

$$R_e = \vartheta_{\text{тр}} \cdot d_1 / \nu = 9,49 \cdot 0,008 / 10 \cdot 10^{-6} = 7592 \text{ (режим турбулентный)}. \quad (6)$$

Рассмотрим отрезок трубопровода с внутренним диаметром  $d_1 = 2r_1$  и наружным  $d_2 = 2r_2$  (рис. 4). Температура топлива изменяется вдоль радиуса  $T = T(r)$ . С достаточной для практики точностью принимаем, что температура с 63,7 °С (50 + 13,7) в результате теплоотдачи от штуцера насоса до входа в трубопровод (участок замера) снизилась от нагрева внутренней стенки на 0,7 °С и стала равна 63 °С.

Тепловой поток, протекающий через цилиндрическую стенку трубопровода (теплопроводность) длиной 0,37 м при температурном перепаде 1,0 °С, будет равен [9, 10]

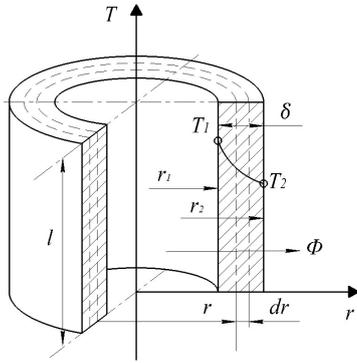


Рис. 4. Часть цилиндрической стенки трубопровода

$$\Phi_c = \frac{2\pi \cdot L \cdot \lambda (T_1 - T_2)}{\ln(d_2/d_1)} = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,37 \cdot 50 \cdot (336 - 335) / \ln(24/8) = 105,8 \text{ Вт.} \quad (7)$$

где  $L$  — расчетная длина, 0,37 м;  $\lambda$  — коэффициент теплопроводности, для стали 20 равный 50 Вт/(м·К);  $T_1$  — температура топлива на внутренней стенке трубопровода, 336 К;  $T_2$  — температура на внешней стенке трубопровода, 335 К;  $d_1$  и  $d_2$  — диаметр внутренней и внешней стенок трубопровода.

**3. Расчет теплоотдачи от поверхности трубопровода к воздуху.** При естественном переносе тепла от поверхности трубопровода к воздуху определяющим критерием является число Грасгофа [10, 11]. Оно характеризует отношение подъемной силы к силам вязкости воздуха. Подъемная сила возникает в результате разности плотности нагретых и холодных слоев воздуха. В данном случае движение воздушных масс начинается в результате процесса теплообмена и число Грасгофа определяется выражением

$$G_r = \beta \cdot g \cdot \Delta T \cdot d_2^3 / \nu_b^2 = 0,0034 \cdot 9,81 \cdot 42 \cdot 0,024^3 / (15 \cdot 10^{-6})^2 = 8,9 \cdot 10^4, \quad (8)$$

где  $\beta$  — температурный коэффициент объемного расширения воздуха  $1/T_b$ , равен  $1/293 = 0,0034$  1/К;  $g$  — ускорение свободного падения, 9,81 м/с<sup>2</sup>;  $\Delta T$  — температурный напор между наружной стенкой трубопровода и воздухом, 42 °С;  $d_2$  — наружный диаметр трубопровода, 0,024 м;  $\nu_b$  — кинематическая вязкость воздуха при 20 °С,  $15 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с.

Принимаем среднюю температуру наружной поверхности стенки трубопровода  $T_c$  равной 335 К.

Режим движения воздуха считаем ламинарным, так как внешняя поверхность трубопровода не обдувается воздухом. Число Нуссельта для вертикальных труб при ламинарном режиме движения имеет вид [10]

$$N_u = 0,695 \cdot G_r^{0,25} = 0,695 \cdot 89000^{0,25} = 12,1. \quad (9)$$

Определив число Нуссельта, находим коэффициент теплоотдачи  $\alpha_2$

$$\alpha_2 = N_u \cdot \lambda_b / d_2 = 12,1 \cdot 0,0259 / 0,024 = 13,05 \text{ Вт/(м}^2\text{·К)}, \quad (10)$$

где  $\lambda_b$  — коэффициент теплопроводности для воздуха, Вт/(м·К). При 20 °С  $\lambda_b = 0,0259$  [11].

Для открытой внешней поверхности трубопровода (без изоляции) наружным диаметром  $d_2 = 0,024$  м и общей длиной  $L_r = 2,5$  м его площадь теплообмена

$$A = \pi d_2 L_r = 3,14 \cdot 0,024 \cdot 2,5 = 0,188 \text{ м}^2. \quad (11)$$

С учетом закона Ньютона и Рихмана тепловой поток (мощность)  $\Phi_b$  при теплоотдаче пропорционален площади теплообмена  $A$ , коэффициенту теплоотдачи  $\alpha_2$ , разности температур стенки трубопровода и воздуха

$$\Phi_b = A \cdot \alpha_2 \cdot (T_c - T_b) = 0,188 \cdot 13,05 \cdot (335 - 293) = 103,04 \text{ Вт,} \quad (12)$$

где  $T_c$  — температура наружной стенки трубопровода, 335 К.

При тепловом балансе  $\Phi_c = \Phi_b = \Phi$  наружная поверхность стенки трубопровода нагревается и стабилизируется до определенной постоянной температуры, которая зависит от марки стали, толщины стенки трубопровода и давления топлива. Изменение давления и, соответственно, температуры приняты за **диагностический признак**. По анализу измененной температуры определяется техническое состояние ТА, ее неисправность или повреждение.

Измерение температуры топлива рекомендуется проводить на участке при входе потока топлива в трубопровод. Для измерения температуры на поверхности трубопровода предлагается переносной инфракрасный пирометр RGK PL-12 (рис. 5а). Относительная погрешность измерения температуры в диапазоне от 20 до 300 °С составляет 1 %.

Из анализа формулы (2) следует, что если при исправной топливной аппаратуре и работе на номинальном режиме давление в трубопроводе достигает 115 МПа, то в процессе сжатия топлива плунжером насоса высокого давления температура нагретого топлива повышается на 13,7 °С ( $50 + 13,7 = 63,7$  °С). В результате теплоотдачи и теплопроводности на поверхности трубопровода (в районе штуцера) температура на установившемся режиме будет равна примерно 62 °С (335 К).

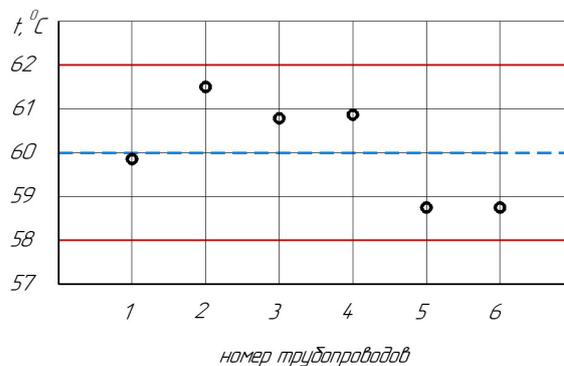
На рис. 5б в качестве примера показаны возможные значения максимальной температуры на поверхности шести трубопроводов в допустимой зоне. Топливо подается насосом в один общий трубопровод, который затем распределяется и направляется к двум форсункам. Температура на поверхности всех шести трубопроводов находится в допустимых пределах, ТА считается исправной и возможна ее дальнейшая эксплуатация (рис. 5б).

Если в общем трубопроводе диагностирование показало, что температура находится вне допустимой зоны, то необходимо измерить температуру в каждом отдельном трубопроводе, идущем к форсункам, и сделать заключение.

В качестве примера возьмем неисправность в виде поломки пружины форсунки. Максимальное давление в трубопроводе снизилось с 115 МПа до 55 МПа. Это привело к тому, что температура топлива в процессе его сжатия плунжером уменьшилась с учетом формулы (2) с 13,7 до 6,5 °С. Температура на контролируемой внешней поверхности трубопровода стала равна 54,5 °С (вне допустимой



а)



б)

Рис. 5. Пирометр типа RGK PL12 (а) и возможные значения максимальной температуры на поверхности трубопровода в допустимой зоне (б)

зоны). По изменению температуры делается заключение о нарушении процесса подачи топлива, ведется поиск неисправности и её устранение.

Методика оценки технического состояния ТА по изменению давления и температуры в трубопроводе предлагается для различных типов судовых дизелей и может быть использована для тепловозных и автотракторных двигателей.

#### Заключение

1. Приведена методика определения технического состояния насоса и форсунок по изменению максимального давления внутри трубопровода и температуры на его внешней поверхности.

2. Для топливной аппаратуры с максимальным давлением в трубопроводе от 50 до 150 МПа определена допустимая зона снижения давления.

3. Вид неисправности форсунок предложено дополнительно определять способом сравнения по изменению положения характерных точек и участков на осциллограммах давления.

4. Предложена формула, учитывающая цикловую подачу топлива и массу при оценке температуры от его сжатия плунжером насоса. Определена температура топлива при сжатии в зависимости от величины давления.

5. Выполнен расчет процесса переноса тепла через стенку трубопровода и от нагретой поверхности стенки к воздуху.

6. Приведена допустимая зона изменения температуры внешней поверхности трубопровода, которая определяет техническое состояние насоса и форсунок.

7. Для измерения температуры на поверхности трубопровода и определения технического состояния насоса высокого давления и форсунок предлагается переносной инфракрасный пирометр RGK PL12.

#### Библиографический список

1. Астахов И. В., Трусов В. И., Хачиян А. С. [и др.]. Подача и распыливание топлива в дизелях. Москва: Машиностроение, 1971. 359 с.
2. Конкс Г. А., Лашко В. А. Современные подходы к конструированию поршневых двигателей. Москва: Моркнига, 2009. 388 с.
3. Marine Propulsion Engines. Propulsion Systems. Marine Gen Sets. MAN B & W, 1999. 82 p.
4. Возницкий И. В. Топливная аппаратура судовых дизелей. Конструкция, проверка состояния и регулировка. Москва: Моркнига, 2007. 128 с.

5. Волкова Л. Ю., Макушев Ю. П. Диагностирование процесса подачи топлива в дизелях // Наука и техника Казахстана. 2018. № 2. С. 19–29.

6. Балагин Д. В. Совершенствование технологии контроля технического состояния топливной аппаратуры тепловозных дизелей: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Омск, 2013. 19 с.

7. Макушев Ю. П., Жигадо А. П., Волкова Л. Ю. Системы подачи топлива и воздуха дизелей. Омск: Изд-во СибАДИ, 2017. 208 с.

8. Макушев Ю. П., Салихов Р. Ф., Волкова Л. Ю. Диагностирование процесса подачи топлива дизеля накладным пьезоэлектрическим датчиком давления / Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, новации: сб. материалов III Междунар. науч.-практ. конф., 29–30 ноября 2018 г. Омск: Изд-во СибАДИ, 2019. С. 130–135. URL: <http://bek.sibadi.org/fulltext/esd929.pdf> (дата обращения: 15.06.2022).

9. Волкова Л. Ю., Рындин В. В., Макушев Ю. П., Полякова Т. А. Диагностирование технического состояния насоса и форсунок судовых дизелей по изменению температуры в трубопроводе высокого давления // Образование. Транспорт. Инновации. Строительство: сб. материалов V Нац. науч.-практ. конф. Омск: Изд-во СибАДИ, 2022. С. 109–115.

10. Рындин В. В. Теплотехника: моногр. Павлодар: Изд-во Кереку ПГУ им. С. Торайгырова, 2007. 460 с.

11. Михеев М. А. Основы теплопередачи. Москва: Энергия, 1977. 344 с.

**ВОЛКОВА Лариса Юрьевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Энергетика» Калининградского государственного технического университета, г. Калининград.

SPIN-код: 9822-6287

AuthorID (РИНЦ): 1013467

AuthorID (SCOPUS): 57210983249

Адрес для переписки: [volkova0969@mail.ru](mailto:volkova0969@mail.ru)

#### Для цитирования

Волкова Л. Ю. Определение технического состояния насоса высокого давления и форсунок судового дизеля MAN B&W 6S50MC-C по изменению давления и температуры в трубопроводе // Омский научный вестник. 2022. № 4 (184). С. 12–17. DOI: 10.25206/1813-8225-2022-184-12-17.

Статья поступила в редакцию 02.09.2022 г.

© Л. Ю. Волкова