

ЗАСТОСУВАННЯ ІНЖЕНЕРНИХ МЕТОДІВ ПРИ ЕКСПЕРТНОМУ ДОСЛІДЖЕННІ І ВИЗНАЧЕННІ ПРИЧИН ПЕРЕГРІВУ ДВЗ

А.Е.Хрулев

Наведено загальний підхід при експертному дослідженні причин поломок деталей при перегріванні ДВЗ, в тому числі, дана методика аналізу можливих причин перегріву на відповідність ознакам, наявними на деталях. Виконані інженерні розрахунки теплового стану деталей при порушенні охолодження, показана ефективність застосування простих інженерних методів для кількісної оцінки ступеня пошкодження деталей з метою встановлення причини перегріву. Дано приклади практичного використання методики при дослідженні причин поломок ДВЗ при перегріванні в експлуатації, отримані рекомендації з вибору конструктивної схеми системи охолодження ДВЗ.

APPLICATION OF ENGINEERING METHODS IN THE INVESTIGATION AND DEFINITION OF THE CAUSE OF ENGINE OVERHEATING

A.E.Khrulev

An overall approach of expert research into the causes of breakdowns when overheated engine parts, is given including, the method of analysis of the possible causes of overheating on the corresponding features available on the components. Performed engineering calculations of thermal condition of details with violation of the cooling efficiency of application of simple engineering techniques allow quantifying the extent of damage to parts in order to determine the cause of overheating. There are the examples of the practical use of the methodology in the study of the causes of engine overheating failures in operation, are given the advices on the choice of structural layout engine cooling system.

УДК 621.436

Н.М. Луков, О.Н. Ромашкова, А.С. Космодамианский

МЕТОДИКА РАСЧЕТА СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ПАРАМЕТРОВ ДИЗЕЛЬ - ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ЛОКОМОТИВА КАК ОБЪЕКТА РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ВАЛА

Для определения показателей качества работы (перерегулирования, времени регулирования и др.) систем регулирования частоты вращения вала дизельной энергетической установки необходимо знать не только статические, но и динамические характеристики и параметры установки как объекта регулирования частоты вращения вала. Впервые приводятся методика графоаналитического расчета статических и динамических характеристик и параметров установки и зависимости их от условий и режимов работы, а также статические и динамические характеристики и параметры дизель-генератора типа 10Д100 тепловоза 2ТЭ10М. Методика дает возможность не только рассчитать статические и динамические параметры (коэффициенты передачи, факторы устойчивости и постоянные времени) установки, но и определить зависимости их от частоты вращения вала установки и цикловой подачи топлива. Она может быть использована при расчете оптимальных настроек не только обычных систем, но и самонастраивающихся адаптивных автоматических систем.

Автоматизация агрегатов и систем локомотивов обеспечивает наиболее полное использование оборудования и высокие экономичность и надежность, облегчает и упрощает операции по управлению ими с тем, чтобы в дальнейшем автоматизировать и поезд как объект управления.

Как известно, любая автоматическая система содержит две основные, соединенные встречно параллельно, функциональные части: объект регулирования (ОР) и автоматический регулятор (АР). Любой АР содержит две основные соединенные последовательно функциональные части: управляющий орган (УО) и исполнительно-регулирующее устройство (ИРУ). УО содержит устройства: измерительное (ИУ) (датчик регулируемой величины), задающее (ЗУ), сравнивающее (СУ), усилительно-преобразующее (УУ) устройство. В свою очередь ИРУ содержит две основные, соединенные после-

довательно, функциональные части: исполнительный механизм (ИМ) и регулирующий орган (РО) [1].

В автоматических регуляторах частоты вращения вала (АРЧВВ) непрямого действия, содержащих в качестве РО аппаратуру подачи топлива (топливную аппаратуру (ТА)) (регулирующего воздействия μ) в дизель, функции ИМ выполняет пневматический, гидравлический или электромагнитный привод реек топливных насосов высокого давления (ТНВД) или иглы форсунки [2].

В автоматической системе регулирования частоты вращения вала дизельной энергетической установки (АСРЧВВДЭУ) функции ОР частоты вращения вала (ОРЧВВ) выполняют дизель-генератор, турбогенератор или дизель-гидравлическая установка. Во всех случаях (рис. 1) регулируемой выходной величиной φ является ча-

стота вращения вала ω_e (или $n_{дг}$), регулирующим входным воздействием μ - изменение подачи топлива g_u (или перемещения реек ТНВД h_p для дизелей [2]) в тепловой двигатель. По статическим и динамическим характеристикам и параметрам ОР подбирается к нему автоматический регулятор. В АСРЧВВДЭУ обычно применяются пропорционально-интегральные (ПИ) или пропорционально-интегрально-дифференциальные (ПИД) АРЧВВ. Для определения устойчивости и показателей качества работы (перерегулирования, времени регулирования и др.) АСРЧВВДЭУ необходимо знать не только статические, но и динамические характеристики и параметры ДЭУ как ОРЧВВ. В научно-технической литературе по регулированию ДВС не имеется методик расчета статических и динамических характеристик и параметров ДЭУ как ОРЧВВ и зависимости их от условий и режимов работы ДЭУ. В данной статье впервые приводятся методика графоаналитического расчета статических и динамических характеристик и параметров электрической установки локомотива (ЭУЛ) как ОРЧВВ и статические и динамические характеристики и параметры дизель-генератора типа 10Д100 тепловоза 2ТЭ10М.

Экспериментально установлено, что приращение вращающего момента дизеля ΔM_d прямо пропорционально приращению цикловой подачи Δg_u топлива: $M_d = C_g g_u$ [2, 3]. А так как подача топлива прямо пропорциональна перемещению реек ТНВД, то $M_d = C_h h_p$. Так для тепловозного дизель-генератора 10Д100 $C_h = 1900 \text{ Нм/мм}$, а для дизель-генератора Д70 $C_h = 1400 \text{ Нм/мм}$.

Внешним входным возмущающим воздействием λ является изменение мощности N_e (момента M) дизеля, которая в статике равна мощности потребителя энергии N_{Π} (мощности нагрузки). Таким образом, ОРЧВВ имеет два входных воздействия: изменение подачи топлива g_u (или h_p) и изменение мощности нагрузки N_{Π} (момента M) и один выходной сигнал (регулируемую величину) - частоту вращения вала ω_e (или $n_{дг}$) (см. рис. 1) [1-6].

Отклонение регулируемой величины (частоты вращения вала ω_e (или $n_{дг}$) относят обычно к её номинальному значению, тогда относительное значение этой величины $\varphi = (\omega_e - \omega_{eo}) / \omega_{eo}$.

Относительные отклонения воздействий (перемещение РО, изменение нагрузки) принято относить к максимальному воздействию. Тогда относительные изменения регулирующего μ и возмущающего (вращающего момента) λ воздействий (в безразмерных единицах) выразятся, соответственно, $\mu = (g_u - g_{uo}) / g_{u\max}$ (или $(h_p - h_{po}) / h_{p\max}$) и $\lambda =$

$(M - M_o) / M_{\max}$.

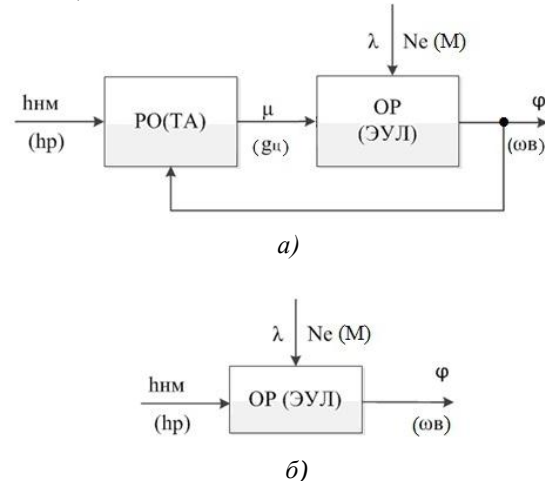


Рис. 1. Функциональная схема ОРЧВВ с выделением РО (а) и включением РО в ОРЧВВ (б)

В результате статические характеристики ОРЧВВ описываются функцией $\omega_e(g_u, N_e)$ и представляют собой два семейства статических характеристик: первое $\omega_e(g_u)$ при $N_e = \text{const}$ и второе $\omega_e(N_e)$ при g_u (или h_p) = const.

Характеристики $\omega_e(g_u)$ при $N_e = \text{const}$ являются статическими характеристиками ОРЧВВ по регулирующему воздействию μ , то есть по изменению подачи топлива g_u (или h_p). В научно-технической литературе по регулированию ДВС они не рассматриваются и не используются [2-8]. В [3] эти статические характеристики называются регулировочными.

Характеристики $\omega_e(N_e)$ при g_u (или h_p) = const являются статическими характеристиками ОРЧВВ по внешнему возмущающему воздействию λ , то есть по изменению мощности N_e при g_u (или h_p) = const и используются при построении комбинированных автоматических систем.

Статические характеристики ОРЧВВ по регулирующему воздействию являются очень важными для расчета устойчивости и показателей качества работы АСРЧВВДЭУ. По этим характеристикам определяются степень нелинейности ОР и значения коэффициентов передачи ОРЧВВ $k_{\mu} = (\partial \omega_e / \partial g_u)$ или $k_{\mu}' = (\partial \omega_e / \partial h_p)$. Изменения коэффициента передачи ОРЧВВ по регулирующему воздействию приводят к соответствующим изменениям коэффициента передачи АСРЧВВДЭУ (в разомкнутом состоянии) $k_{рс} = k_{\mu} \cdot k_p$ и, следовательно, к соответствующим изменениям показателей качества работы АСРЧВВДЭУ (статической неравномерности, относительного перерегулирования, времени регулирования и др.). При постоянном значении коэффициента передачи АРЧВВДЭУ k_p коэффициент передачи системы $k_{рс}$ повторяет изменения коэффи-

циента передачи ОРЧВВ k_{μ} .

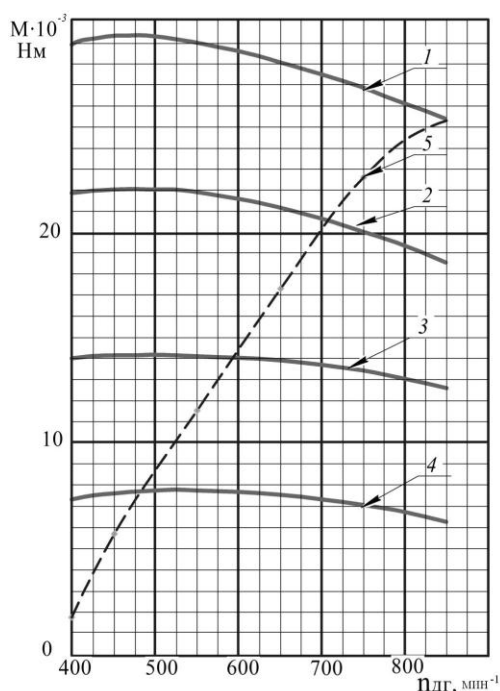


Рис. 2. Внешняя скоростная моментная (линия 1) и частичные скоростные моментные характеристики (линии 2-4) дизель-генератора типа 10Д100 при относительных цикловых подачах топлива:

1 – 1,0; 2 – 0,75; 3 – 0,50; 4 – 0,25 и экономическая характеристика нагружения дизеля тяговым генератором (линия 5)

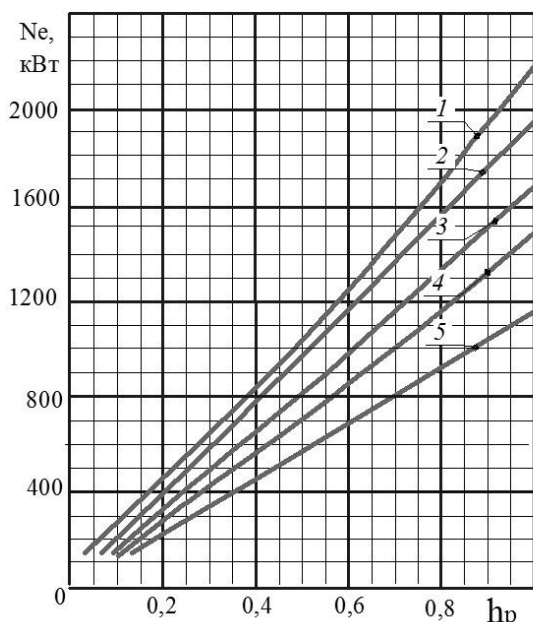


Рис. 3. Зависимости мощности дизель-генератора типа 10Д100 от относительной цикловой подачи топлива при разной частоте вращения вала:

1 – 850 мин⁻¹; 2 – 725 мин⁻¹; 3 – 575 мин⁻¹; 4 – 500 мин⁻¹; 5 – 400 мин⁻¹

Статические характеристики ОРЧВВ по регулиющему воздействию $\omega_e(g_u)$ при $N_e = \text{const}$ строятся графоаналитическим методом следующим образом. С использованием внешней и частичных скоростных моментных характеристик дизеля $M(\omega_e)$ при разных g_u (или h_p) = const (рис. 2) строятся скоростные мощностные характеристики $N_e(\omega_e)$ при g_u (или h_p) = const (рис. 3). С использованием скоростных моментных характеристик (см. рис. 2) строятся характеристики $N_e(g_u$ (или h_p)) при ω_e (или $n_{дг}$) = const (рис. 3).

Далее с использованием характеристик, представленных на рис. 3, строятся статические характеристики ОРЧВВ по регулиющему воздействию $n_{дг}(h_p)$ при мощности $N_e = \text{const}$ (рис. 4).

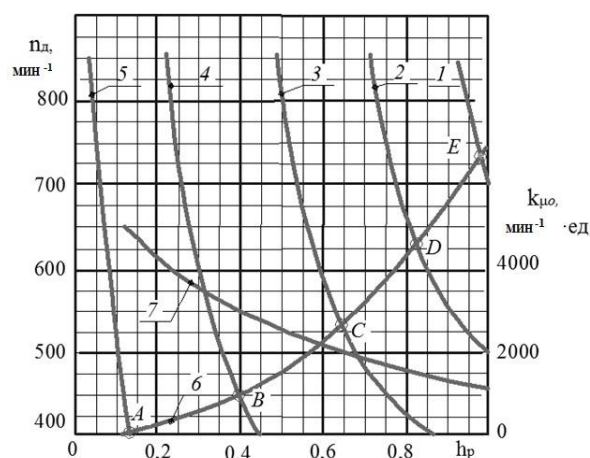


Рис. 4. Статические характеристики ОРЧВВ – дизель-генератора типа 10Д100 по регулиющему воздействию при разной мощности:

1 – 2000; 2 – 1500; 3 – 1000; 4 – 500; 5 – 150 кВт; 6 – линия точек (А, В, С, Д и Е) пересечения статической характеристики при нагружении дизеля по экономической характеристике со статическими характеристиками при постоянной мощности; 7 – зависимость коэффициента передачи дизель-генератора по регулиющему воздействию от относительного перемещения рейки ТНВД

На рис. 5 для примера представлены статические характеристики ОРЧВВ – дизель-генератора с дизелем типа ЯМЗ-238 Ярославского моторного завода по регулиющему воздействию h_p при разной мощности $N_e = \text{const}$. Эти характеристики построены с использованием скоростных моментных характеристик дизеля типа ЯМЗ-238, приведенных в [9].

Впервые рассчитаны статические характеристики дизель-генераторов типа 10Д100 и ЯМЗ-238 (см. рис. 4 и 5) по регулиющему воздействию h_p при разных $N_e = \text{const}$, которые представляют со-

бой части гипербол, что определяется условием их построения $N_e = \text{const}$. Коэффициент передачи по регулируемому воздействию $k_{\mu o}$ дизель-генератора типа 10Д100 (см. рис. 4, линия 7) при изменении относительного перемещения рейки ТНВД h_{po} от 1,0 до 0,13 изменяется от 1200 до 5000 мин^{-1} ед, то есть увеличивается в 4,17 раза. Такое значительное увеличение коэффициента передачи $k_{\mu o}$ приводит к значительному уменьшению устойчивости и ухудшению показателей качества работы системы регулирования частоты вращения вала ДЭУ, что указывает на необходимость разработки автоматической адаптивной самонастраивающейся системы регулирования частоты вращения вала ДЭУ [10].

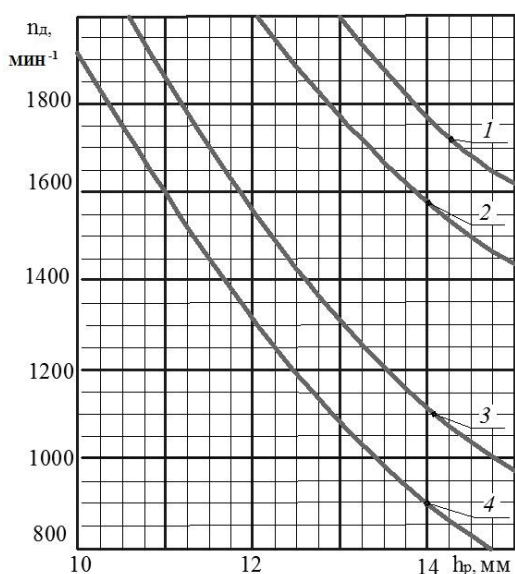


Рис. 5. Статические характеристики ОРЧВВ – дизель-генератора типа ЯМЗ-238 по регулируемому воздействию при разной мощности: 1 – 160 кВт; 2 – 140 кВт; 3 – 100 кВт; 4 – 80 кВт

При максимальных воздействиях, т. е. при $g_{\mu} - g_{\mu o} = g_{\mu \max}$ (или $h_p (h_p - h_{po}) / h_{p \max}$) или $M - M_o = M_{\max}$ относительные изменения воздействий будут равны единице, т. е.

$$\mu_{\max} = (g_{\mu} - g_{\mu o}) / g_{\mu \max} = 1;$$

$$\lambda_{\max} = (M - M_o) / M_{\max} = 1. \quad (1)$$

Выраженные уравнениями (1) максимальные воздействия, соответствуют единичным однократным воздействиям.

В ДЭУ вследствие изменения вращающих моментов двигателя M_d и потребителя его энергии (агрегата нагрузки) M_{Π} на величину ΔM за время dt изменится частота вращения вала на величину $d\omega_e$, т. е.

$$[(M_d - M_{do}) - (M_{\Pi} - M_{\Pi o})] dt = J_e d\omega_e, \quad (2)$$

откуда

$$[(M_d - M_{do}) - (M_{\Pi} - M_{\Pi o})] = J_e d\omega_e / dt, \quad (3)$$

где $(M_d - M_{do})$ – изменение момента двигателя; $(M_{\Pi} - M_{\Pi o})$ – изменение момента потребителя; J_e – динамический момент инерции ЭУЛ для дизель-генератора 10Д100 тепловоза 2ТЭ10М он равен 863,3 Нм^2 [2]; $d\omega_e / dt$ – скорость изменения частоты вращения вала ЭУЛ.

Зависимость момента двигателя от положения РО (h_p или подачи топлива g_{μ}) и от частоты вращения вала ω_e может быть также описана уравнением

$$M_d = f_1(h_p) + f_2(\omega_e) \text{ (рис. 2) [7].}$$

Степень влияния частоты вращения вала ω_e на момент двигателя M_d в статическом ОР определяется линейным соотношением

$$(M_d - M_{do}) / (\omega_e - \omega_{eo}) = \Delta M_{do} / \Delta \omega_e.$$

В пределе, при $\Delta \omega_e \rightarrow 0$, это отношение обращается в производную, т. е. в $\partial M_d / \partial \omega_e$, которая является динамическим параметром – фактором устойчивости F_d двигателя ДЭУ (рис. 6).

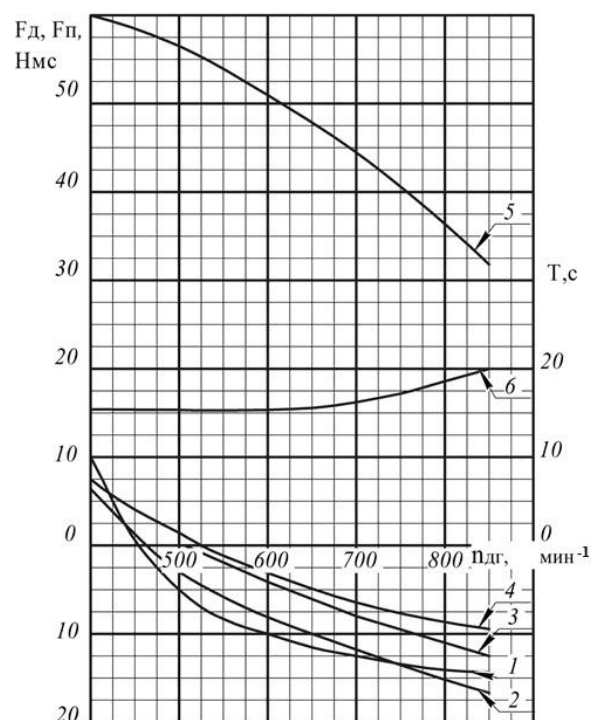


Рис. 6. Зависимости фактора устойчивости двигателя дизель-генератора типа 10Д100 при относительных цикловых подачах топлива: 1 – 1,0; 2 – 0,75; 3 – 0,50; 4 – 0,25; фактора устойчивости потребителя энергии – тягового генератора (линия 5) и постоянной времени установки (линия 6) от частоты вращения вала

Производная $\partial M_{\Pi} / \partial \omega_e$ является вторым динамическим параметром – фактором устойчивости

F_{II} потребителя. Факторы устойчивости определяются графоаналитическим методом дифференцирования характеристик, представленных на рис. 2. Фактор устойчивости F_D имеет отрицательные значения. Однако, при частоте вращения вала менее 500 мин^{-1} он меняет знак. Из рис. 6 видно, что зависимости факторов устойчивости двигателя и потребителя энергии, а также постоянной времени установки от частоты вращения вала существенно нелинейны. Это необходимо учитывать при расчете оптимальных настроек АРЧВВ [1, 2].

Зависимость момента M_D от положения РО h_p определяется производной $\partial M_D / \partial h_p$. Изменение момента двигателя, т. е. $M_D - M_{DO}$, при изменении положения РО от h_{po} до h_p и частоты вращения вала ω_e от ω_{eo} до ω_e будет определяться выражением

$$M_D - M_{DO} = \left(\frac{\partial M_D}{\partial h_p} \right) \cdot (h_p - h_{po}) + \left(\frac{\partial M_D}{\partial \omega_e} \right) \cdot (\omega_e - \omega_{eo}). \quad (4)$$

Для установления зависимости, существующей между изменениями частоты вращения вала, момента двигателя и момента потребителя, подставим уравнение (4) в уравнение (2), в результате чего получим

$$\frac{\partial M_D}{\partial h_p} \cdot (h_p - h_{po}) + \frac{\partial M_D}{\partial \omega_e} \cdot (\omega_e - \omega_{eo}) - (M_{II} - M_{II0}) = J_e d\omega_e / dt \quad (5)$$

Это дифференциальное уравнение является математическим описанием переходного процесса в ДЭУ с учетом её свойств самовыравнивания.

Для получения дифференциального уравнения в безразмерных единицах отнесем отклонения частоты вращения вала к её номинальному значению ω_{eo} , отклонение положения РО h к h_{pmax} , а отклонения момента двигателя M_D и момента потребителя M_{II} – к максимальному моменту потребителя, который в установившемся режиме определяет как максимальный момент двигателя, так и максимальный момент потребителя, т. е.

$$M_{max} = M_{Dmax} = M_{IImax}.$$

Тогда, разделив уравнение (5) на M_{max} и приняв $(d\omega_e / dt) = d(\omega_e - \omega_{eo}) / dt$ будем иметь

$$\begin{aligned} & \frac{\partial M_D}{\partial h_p} \cdot \frac{h_{pmax}}{M_{max}} \cdot \left(\frac{h_p - h_{po}}{h_{pmax}} \right) + \frac{\partial M_D}{\partial \omega_e} \cdot \frac{\omega_{eo}}{M_{max}} \times \\ & \times \left(\frac{\omega_e - \omega_{eo}}{\omega_{eo}} \right) - \frac{M_{II} - M_{II0}}{M_{max}} = \\ & = \frac{J_e d\omega_e}{M_{max}} \cdot \frac{d}{dt} \cdot \left(\frac{\omega_e - \omega_{eo}}{\omega_{eo}} \right). \end{aligned} \quad (6)$$

Коэффициент первого члена уравнения (6) может быть упрощен, если принять, что РО имеет линейную характеристику, т. е. момент двигателя M_D изменяется прямо пропорционально положению РО. В этом случае

$$\left(\frac{\partial M_D}{\partial h_p} \right) \cdot (h_{pmax} / M_{max}) = 1.$$

Для коэффициента второго члена уравнения (6) введем обозначение

$$\left(\frac{\partial M_D}{\partial \omega_e} \right) \cdot (\omega_{eo} / M_{max}) = -\rho_1. \quad (7)$$

Далее, в уравнении (6) введем следующие обозначения: $(h_p - h_{po}) / h_{pmax} = \mu$ относительное отклонение регулирующего воздействия (положение РО);

$(M_{II} - M_{II0}) / M_{max} = \lambda$ - относительное отклонение момента потребителя;

$(\omega_e - \omega_{eo}) / \omega_{eo} = \varphi$ - относительное отклонение регулируемой величины - частоты вращения вала установки.

Для коэффициента в правой части уравнения (6) введем обозначение

$$J_e \omega_{eo} / M_{max} = T_p. \quad (8)$$

Коэффициент T_p имеет размерность времени и является временем разгона одноемкостного статического ОР – ДЭУ.

После подстановки в уравнение (6) принятых обозначений получим

$$T_p \left(\frac{d\varphi}{dt} \right) + \rho_1 \varphi = \mu - \lambda. \quad (9)$$

В уравнении (9) коэффициент ρ_1 величина безразмерная и является коэффициентом самовыравнивания (саморегулирования) ОР. Чем круче статическая характеристика ОР $M_D(\omega_e)$, тем больше самовыравнивание и тем раньше (с меньшим отклонением частоты вращения) наступит стабилизация режима (новое равновесное состояние). Знак минус, введенный перед коэффициентом ρ_1 в формуле (7), указывает на то, что самовыравнивание имеет место лишь тогда, когда отклонение частоты вращения вала вызывает уменьшение величины, которая это отклонение вызвала, т. е. когда фактор устойчивости двигателя $F_D = \left(\frac{\partial M_D}{\partial \omega_e} \right) < 0$ (см. рис. 6. линии 1 – 4). Такое самовыравнивание является самовыравниванием на притоке энергии в установку.

Самовыравнивание на стоке энергии из установки принципиально ничем не отличается от самовыравнивания на притоке. Здесь полностью остается справедливым уравнение ОР (9). Коэффициент самовыравнивания в этом случае будет выражаться соотношением

$$\left(\frac{\partial M_{II}}{\partial \omega_e} \right) \cdot (\omega_{eo} / M_{max}) = \rho_2. \quad (10)$$

Самовыравнивание на стоке энергии из установки будет иметь место лишь в том случае, когда с ростом частоты вращения вала растёт сток энергии из установки, а при снижении частоты вращения он уменьшается, т. е. когда фактор устойчивости потребителя (агрегата нагрузки двигателя) $F_{II} = (\partial M_{II} / \partial \omega_e) > 0$ (см. рис. 6, линия 5).

ЭУЛ как ОР частоты вращения вала обладает самовыравниванием, как на притоке, так и на стоке энергии из установки. В этом случае общее самовыравнивание определяется влиянием частоты вращения вала на изменение, как притока, так и стока энергии из установки. Коэффициент самовыравнивания в этом случае будет выражаться соотношением

$$(\partial M_{II} / \partial \omega_e - \partial M_{II} / \partial \omega_e) \cdot (\omega_{eo} / M_{\max}) = \rho_3. \quad (11)$$

Для статического ОР – ЭУЛ имеется ряд важных особенностей. Для статического ОР, у которого регулируемая величина изменяется с непрерывно убывающей скоростью, время разгона T_p является условным показателем, выражающим время, в течение которого эта величина достигла бы отклонения, соответствующего воздействию, если бы она изменялась с постоянной скоростью, равной начальной, т. е. соответствующей моменту возмущения. На практике динамические свойства статического ОР представляются дифференциальным уравнением, выраженным не через T_p , а через постоянную времени T . Для её определения правую и левую части уравнения (9) разделим на ρ_1 , в результате чего получим

$$\frac{T_p}{\rho} \frac{d\varphi}{dt} + \varphi = \frac{1}{\rho} \cdot (\mu - \lambda). \quad (12)$$

В уравнении (12) отношение времени разгона T_p к коэффициенту самовыравнивания ρ_1 и есть постоянная времени T статического ОР, т. е.

$$T_p / \rho_1 = T.$$

Постоянная времени ЭУЛ является динамическим параметром переменным и сильно зависящим от частоты вращения вала (см. рис. 6, линия 6). В результате ЭУЛ является существенно нелинейным звеном в АСРЧВВЭУЛ.

Величина, обратная коэффициенту самовыравнивания, есть коэффициент усиления (коэффициент передачи) статического ОР k_{op} , т. е.

$$\frac{1}{\rho} = k_{op}.$$

Тогда после соответствующей замены коэффициентов в уравнении (12) будет получено дифференциальное уравнение (математическая модель) одномерного ОР с самовыравниванием в общем виде, выраженное через постоянную времени T и коэффициент передачи k_{op} :

$$T \frac{d\varphi}{dt} + \varphi = k_{op} \cdot (\mu - \lambda), \quad (13)$$

либо в операторной форме:

$$Tp\varphi + \varphi = k_{op} \cdot (\mu - \lambda), \quad (14)$$

где $d/dt = p$ – оператор дифференцирования.

Таким образом, ДЭУ представляет собой одномерный статический ОР в контуре АСРЧВВДЭУ и обладает динамическими свойствами апериодического звена первого порядка с передаточной функцией

$$W(p) = k_{op} / (Tp + 1).$$

Дифференциальные уравнения (13, 14) выражают зависимость частоты вращения вала ω_e и скорости её изменения $d\omega_e/dt$ от изменения воздействий μ и λ . При этом коэффициент передачи k_{op} показывает, во сколько раз отклонение частоты вращения вала ω_e в установившемся режиме превышает обусловившее его отклонение воздействия.

Разработанная методика даёт возможность не только рассчитать динамические параметры (факторы устойчивости и постоянную времени) установки, но и определить зависимости их от частоты вращения вала установки и цикловой подачи топлива. Она может быть использована при расчёте оптимальных настроек АРЧВВ не только обычных систем, но и самонастраивающихся адаптивных автоматических систем [1, 12].

Список литературы:

1. Ротач, В. Я. Расчёт настройки промышленных систем регулирования [Текст] / В. Я. Ротач ; М. – Л.: ГЭИ, 1961. – 344 с.
2. Луков, Н. М. Автоматизация тепловозов, газотурбовозов и дизель-поездов [Текст] / Н. М. Луков ; М.: Машиностроение, 1988. – 272 с.
3. Левин, М. И. Автоматизация судовых дизельных установок [Текст] / М. И. Левин ; Л.: Судостроение, 1969. – 468 с.
4. Крутов, В. И. Двигатель внутреннего сгорания как регулируемый объект [Текст] / В. И. Крутов ; М.: Машиностроение, 1978. – 472 с.
5. Ланчуковский, В. И. Автоматизированные системы управления судовых дизельных и газотурбинных установок [Текст] / В. И. Ланчуковский, А. В. Козьминых ; М.: Транспорт, 1990. – 335 с.
6. Луков, Н. М. Автоматические системы управления локомотивов [Текст]: учебник для вузов ж.-д. транспорта / Н. М. Луков, А. С., Космодамианский ; М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2007. – 429 с.
7. Васильев, В. Г. Составление электронной модели дизеля и регулятора тепловоза ТЭ10 [Текст] / В. Г. Васильев, Л. Е. Тимановская; Изв. вузов. Электромеханика, 1963, № 2 – с. 205-206.
8. Лаврик, А. Н. Расчёт системы автоматического регулирования частоты вращения коленчатого вала дизеля [Текст] / А. Н. Лаврик ; Челябинск, ЧГТУ, 1991. – 37 с.
9. Барков, Ю. А. Алгоритмы регулирования частоты вращения дизельных и газодизельных двигателей внутреннего сгорания на основе микропроцессорных систем управления [Текст]: дис. канд. тех. наук / Барков Юрий Александрович. – Рыбинск, 2005. – 214 с. – Библиогр.: 61 05-

5/3751. 10. Горбунова, Н.А. Автоматическое регулирование и управление ДВС [Текст] / Н.А. Горбунова; Коломна, КИ(Ф)МГОУ, 2010. – 268 с. 11. Горбунова, Н.А. Автоматическое регулирование ДВС [Текст] / Н.А. Горбунова; Коломна, 2012. – 50 с. 12. Козлов, Ю.М. Бесписковые самонастраивающиеся системы [Текст] / Ю. М. Козлов, Р.М. Юсупов; М., Наука, 1969. – 455 с. ...

Bibliografy (transliterated):

1. Rotach, V.Y. Raschetnastroiki promishlennikh system regulirovaniya [Tekst] / V.Y. Rotach ; M. – L.: GEI, 1961. – 344s. 2. Lukov, N.M. Avtomatizatsiya teplovozov, gazoturbovozov i dizel-poezdov [Tekst] / N.M. Lukov; M.: Mashinostroyeniye, 1988. – 272 s. 3. Levin, M.I. Avtomatizatsiya sudovih dizelnih ustanovok [Tekst] / M.I. Levin; L.: Sudostroyeniye, 1969. – 468 s. 4. Krutov, V.I. Dvigatel vnutrennego sgoraniya kak reguliruemiy ob'ekt [Tekst] / V.I. Krutov; M.: Mashinostroyeniye, 1978. – 472 s. 5. Lanchukovskii, V.I. Avtomatizirovaniye sistem i upravleniya sudovih dizelnih i gazoturbinnih ustanovok [Tekst] / V.I. Lanchukovskii, A.V. Kozminih; M.: Transport, 1990 – 335 s. 6. Lukov, N.M. Avtomaticheskie sistemi upravleniya lokomotivov [Tekst]: uchebnik dlya vuzov zh.d. transporta / N.M. Lukov, A.S. Kosmodamianskiy; M.: GOU "Uchebno-metodicheskii centr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte", 2007. – 429 s. 7. Vasilev, V.G. Sostavleniye elektronnoi modeli dizelya i regulatora teplovoza TE10 [Tekst] / V.G. Vasilev, L.E. Timanovskaya; Izv. Vuzov. Elektromekhanika, 1963, №2 – s. 205-206. 8. Lavrik, A.N. Raschet sistem i avtomaticheskogo regulirovaniya chastoti vrasheniya kolenchatogo vala dizelya [Tekst] / A.N. Lavrik; Chelyabinsk, CHGTU, 1991. – 37 s. 9. Barkov, U.A. Algoritmi regulirovaniya chastoti vrasheniya dizelnih i gazodizelnih dvigatelei vnutrennego sgoraniya na osnove mikroprocessornih sistem upravleniya [Tekst]: dis. kand. teh. nauk / Barkov Urii Aleksandrovich. – Ribinsk, 2005. – 214 s. – Bibliogr.: 61 05-5/3751. 10. Gorbunova, N.A. Avtomaticheskoe regulirovaniye i upravleniye DVS [Tekst] / N.A. Gorbunova; Kolomna, KI(f) MGOU, 2010. – 268 s. 11. Gorbunova, N.A. Avtomaticheskoe regulirovaniye DVS [Tekst] / N.A. Gorbunova; Kolomna, 2012. – 50 s. 12. Kozlov, U.M. Bespis-kovye samonastraivaushiesya sistemi [Tekst] / U.M. Kozlov, R.M. Usupov; M.: Nauka, 1969. – 455 s.

Transport, 1990 – 335 s. 6. Lukov, N.M. Avtomaticheskie sistemi upravleniya lokomotivov [Tekst]: uchebnik dlya vuzov zh.d. transporta / N.M. Lukov, A.S. Kosmodamianskiy; M.: GOU "Uchebno-metodicheskii centr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte", 2007. – 429 s. 7. Vasilev, V.G. Sostavleniye elektronnoi modeli dizelya i regulatora teplovoza TE10 [Tekst] / V.G. Vasilev, L.E. Timanovskaya; Izv. Vuzov. Elektromekhanika, 1963, №2 – s. 205-206. 8. Lavrik, A.N. Raschet sistem i avtomaticheskogo regulirovaniya chastoti vrasheniya kolenchatogo vala dizelya [Tekst] / A.N. Lavrik; Chelyabinsk, CHGTU, 1991. – 37 s. 9. Barkov, U.A. Algoritmi regulirovaniya chastoti vrasheniya dizelnih i gazodizelnih dvigatelei vnutrennego sgoraniya na osnove mikroprocessornih sistem upravleniya [Tekst]: dis. kand. teh. nauk / Barkov Urii Aleksandrovich. – Ribinsk, 2005. – 214 s. – Bibliogr.: 61 05-5/3751. 10. Gorbunova, N.A. Avtomaticheskoe regulirovaniye i upravleniye DVS [Tekst] / N.A. Gorbunova; Kolomna, KI(f) MGOU, 2010. – 268 s. 11. Gorbunova, N.A. Avtomaticheskoe regulirovaniye DVS [Tekst] / N.A. Gorbunova; Kolomna, 2012. – 50 s. 12. Kozlov, U.M. Bespis-kovye samonastraivaushiesya sistemi [Tekst] / U.M. Kozlov, R.M. Usupov; M.: Nauka, 1969. – 455 s.

Поступила в редакцию 07.05.2015 г.

Луков Николай Михайлович – доктор техн. наук, профессор, академик Академии транспорта России и Транспортной Академии Украины, профессор МГУПС (МИИТ), г. Москва, Россия, e-mail: nm-57@yandex.ru.

Ромашкова Ольга Николаевна – доктор техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Прикладная информатика» Московского педагогического государственного университета, г. Москва, Россия.

Космодамианский Андрей Сергеевич – доктор техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Тяговый подвижной состав» РОАТ МГУПС (МИИТ), председатель экспертного совета ВАК РФ по транспорту, академик Академии электротехнических наук Российской Федерации, г. Москва, Россия, e-mail: askosm@mail.ru.

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКІВ СТАТИЧНИХ І ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК І ПАРАМЕТРІВ ДИЗЕЛЬ-ЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ ЛОКОМОТИВА ЯК ОБ'ЄКТА РЕГУЛЮВАННЯ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ ВАЛА

М.М. Луков, О.М. Ромашкова, А.С. Космодамианський

Для визначення показників якості роботи (перерегулювання, часу регулювання та ін.) систем регулювання частоти обертання вала дизельної енергетичної установки необхідно знати не тільки статичні, але й динамічні характеристики й параметри установки як об'єкта регулювання частоти обертання вала. Уперше приводяться методика графоаналітичного розрахунку статичних і динамічних характеристик і параметрів установки та залежності їх від умов і режимів роботи, а також статичні та динамічні характеристики й параметри дизель-генератора типу 10Д100 тепловоза 2Е10М. Методика дає можливість не тільки розрахувати статичні й динамічні параметри (коефіцієнти передачі, фактори стійкості й постійні часу) установки, але й визначити залежності їх від частоти обертання вала установки й циклової подачі палива. Вона може бути використана при розрахунках оптимальних налаштувань не тільки звичайних систем, але й самонастроювальних адаптивних автоматичних систем.

CALCULATION OF STATIC AND DYNAMIC CHARACTERISTICS AND PARAMETERS OF DIESEL LOCOMOTIVE -ELECTRIC PLANTS AS OBJECT FREQUENCY CONTROL ROTATION

N.M. Lukov, O.N. Romashkova, A.S. Kosmodamianskiy

To determine the performance (overshoot, time regulation, etc.) systems of regulation of frequency of rotation of the shaft diesel power plant it is necessary to know not only static, but also dynamic characteristics and parameters of the installation as an object of regulation of frequency of rotation of the shaft. For the first time the graphic-analytical method of calculation of static and dynamic characteristics and parameters of the installation and their dependence on conditions and modes of operation, as well as static and dynamic characteristics and parameters of the diesel generator type D locomotive AM. The technique makes it possible not only to calculate the static and dynamic parameters (the coefficients of transmission, factors of resistance and time constant) of the unit, but also to determine their dependence on the rotational speed of the shaft and install the fuel supply cycle. It can be used in the calculation of the optimal settings not only conventional systems, but also a self-tuning adaptive automatic systems.