

*Н. М. Луков, О. Н. Ромашкова, А. С. Космодамианский, Г. Ф. Кашников*

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ПАРАМЕТРОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ЛОКОМОТИВА КАК ОБЪЕКТА РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ВАЛА

*Для определения качества работы систем регулирования частоты вращения вала энергетической установки локомотива необходимо знать не только статические, но и динамические характеристики и параметры установки как объекта регулирования частоты вращения вала. Впервые приводятся методика графоаналитического расчета динамических характеристик и параметров установки и зависимости их от условий и режимов работы, а также динамические характеристики и параметры дизель-генератора типа 10Д100 тепловоза 2ТЭ10М. Методика дает 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 расчете оптимальных настроек не только обычных систем, но и самонастраивающихся адаптивных автоматических систем.*

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). В свою очередь ИРУ содержит две основные соединенные последовательно функциональные части: исполнительный механизм (ИМ) и регулирующий орган (РО) [1, 2]. В автоматических регуляторах частоты вращения вала (АРЧВВ) непрямого действия, содержащих в качестве РО аппаратуру подачи топлива (топливную аппаратуру (ТА)) (регулирующего воздействия  $\mu$ ) в ДВС, 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 энергетической установки локомотива (АСРЧВВЭУЛ) функции ОР частоты вращения вала (ОРЧВВ) выполняют дизель-генератор, турбогенератор или дизель-гидравлическая установка. Во всех случаях (рис. 1) регулируемой выходной

величиной  $\varphi$  является частота вращения вала  $\omega_e$  (или  $n_{дг}$ ), регулирующим входным воздействием  $\mu$  - изменение подачи топлива  $g_u$  (или перемещение реек ТНВД  $h_p$  для дизелей [2]) в тепловой двигатель. По статическим и динамическим характеристикам и параметрам объекта регулирования подбирается к нему автоматический регулятор. В АСРЧВВЭУЛ обычно применяются пропорционально интегральные (ПИ) или пропорционально интегрально дифференциальные (ПИД) АРЧВВ. Для определения устойчивости и показателей качества работы (перерегулирования, времени регу-

лирования и др.) АСРЧВВЭУЛ необходимо знать не только статические, но и динамические характеристики и параметры ЭУЛ как ОРЧВВ. В научнотехнической литературе по регулированию ДВС не имеется методик расчета динамических характеристик и параметров ЭУЛ как объекта регулирования частоты вращения вала и зависимости их от условий и режимов работы ЭУЛ. В данной статье впервые приводятся методика графоаналитического расчета динамических характеристик и параметров ЭУЛ как объекта регулирования частоты вращения вала и динамические характеристики и параметры дизель-генератора типа 10Д100 тепловоза 2ТЭ10М.

Экспериментально установлено, что приращение вращающего момента дизеля  $\Delta M_D$  прямо пропорционально приращению цикловой подачи  $\Delta g_u$  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  $C_h = 1900$  Нм/мм, а для дизель-генератора Д70  $C_h = 1400$  Нм/мм.

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

Отклонение регулируемой величины (частоты вращения вала  $\omega_e$  (или  $n_{дг}$ ) относят обычно к её номинальному значению, тогда относительное значение этой величины  $\varphi = (\omega_e - \omega_{e0}) / \omega_{e0}$ .

Относительные отклонения воздействий (перемещение РО, изменение нагрузки) принято относить к максимальному воздействию. Тогда относительные изменения регулирующего  $\mu$  и возмущающего (вращающего момента)  $\lambda$  воздействий (в безразмерных единицах) выразятся соот-

ответственно  $\mu = (g_u - g_{uo}) / g_{u\max}$  (или  $(h_p - h_{po}) / h_{p\max}$ ) и  $\lambda = (M - M_o) / M_{\max}$ .

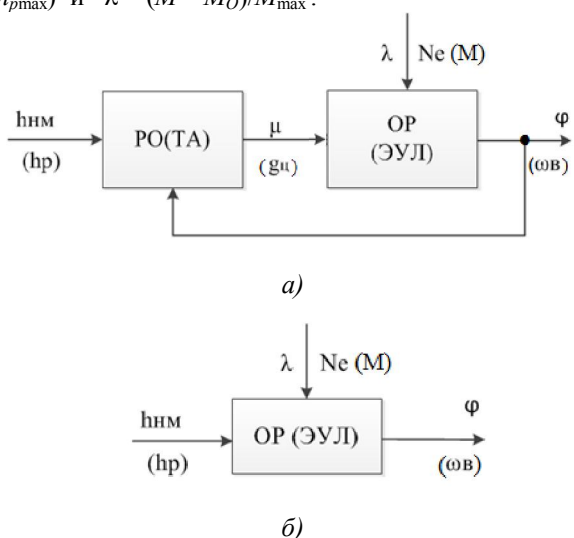


Рис. 1. Функциональная схема ОРЧВВ  
а – с выделением РО; б – ОРЧВВ

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

$$\mu_{\max} = \frac{(g_u - g_{uo})}{g_{u\max}} = 1 \quad (1)$$

$$\lambda_{\max} = \frac{(M - M_o)}{M_{\max}} = 1 \quad (2)$$

Выраженные уравнениями (1,2) максимальные воздействия соответствуют единичным однократным воздействиям.

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

$$[(M_d - M_{до}) - (M_{\Pi} - M_{\Piо})] dt = J_B d\omega_e, \quad (3)$$

откуда

$$(M_d - M_{до}) - (M_{\Pi} - M_{\Piо}) = \frac{J_B d\omega_e}{dt}, \quad (4)$$

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

Зависимость момента двигателя от положения РО ( $h_p$  или подачи топлива  $g_u$ ) и от частоты вращения вала  $\omega_e$  может быть также описана уравнением

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

Степень влияния частоты вращения вала  $\omega_e$  на момент двигателя  $M_d$  в статическом ОР определяется линейным соотношением  $(M_d - M_{до}) / (\omega_e - \omega_{e0}) = \Delta M_{до} / \Delta \omega_e$ .

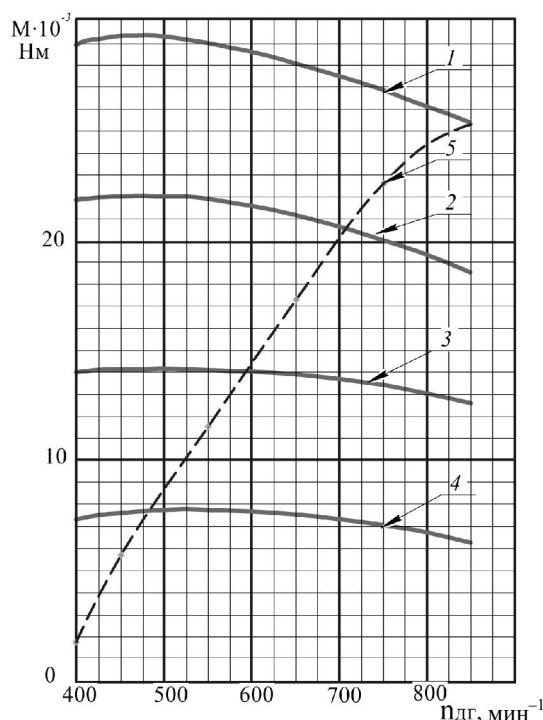


Рис. 2. Внешняя скоростная характеристика (линия 1) и частичные скоростные характеристики (линии 2-4) дизель-генератора типа 10Д100 при относительных цикловых подачах топлива:

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

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 ЭУЛ (рис. 3). Производная  $\partial M_{\Pi} / \partial \omega_e$  является вторым динамическим параметром – фактором устойчивости  $F_{\Pi}$  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 об/мин он меняет знак. Из рис. 3 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  $\partial M_d / \partial h_p$ . Изме-

ние момента двигателя, т. е.  $M_D - M_{ДО}$ , при изменении положения РО от  $h_{po}$  до  $h_p$  и частоты вращения вала  $\omega_\epsilon$  от  $\omega_{\epsilon 0}$  до  $\omega_\epsilon$  будет определяться выражением

$$M_D - M_{ДО} = \left( \frac{\partial M_D}{\partial h_p} \right) \cdot (h_p - h_{po}) + \left( \frac{\partial M_D}{\partial \omega_\epsilon} \right) \cdot (\omega_\epsilon - \omega_{\epsilon 0}) \quad (5)$$

Для установления зависимости, существующей между изменениями частоты вращения вала, момента двигателя и момента потребителя, подставим уравнение (3) в уравнение (2), в результате чего получим

$$\frac{\partial M_D}{\partial h_p} \cdot (h_p - h_{po}) + \frac{\partial M_D}{\partial \omega_\epsilon} \cdot (\omega_\epsilon - \omega_{\epsilon 0}) - (M_{II} - M_{ПО}) = \frac{J_B d\omega_\epsilon}{dt} \quad (6)$$

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

Для получения дифференциального уравнения в безразмерных единицах отнесем отклонения частоты вращения вала к её номинальному значению  $\omega_{\epsilon 0}$ , отклонение положения РО  $h - k h_{pmax}$ , а отклонения момента двигателя  $M_D$  и момента потребителя  $M_{II} - k M_{IImax}$  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 (6) на  $M_{max}$  и приняв  $\left( \frac{d\omega_\epsilon}{dt} \right) = \frac{d(\omega_\epsilon - \omega_{\epsilon 0})}{dt}$ , будем иметь

$$\frac{\partial M_D}{\partial h_p} \cdot \left( \frac{h_p - h_{po}}{h_{pmax}} \right) + \frac{\partial M_D}{\partial \omega_\epsilon} \cdot \frac{\omega_{\epsilon 0}}{M_{max}} \left( \frac{\omega_\epsilon - \omega_{\epsilon 0}}{\omega_{\epsilon 0}} \right) - \left( \frac{M_{II} - M_{ПО}}{M_{ПО}} \right) = \frac{J_B d\omega_\epsilon}{M_{max}} \cdot \frac{d}{dt} \left( \frac{\omega_\epsilon - \omega_{\epsilon 0}}{\omega_{\epsilon 0}} \right) \quad (7)$$

Коэффициент первого члена уравнения (7) может быть упрощен, если принять, что РО имеет линейную характеристику, т. е. момент двигателя  $M_D$  изменяется прямо пропорционально положению РО. В этом случае

$$\frac{\partial M_D}{\partial h_p} \cdot \left( \frac{h_{pmax}}{M_{max}} \right) = 1. \quad (8)$$

Для коэффициента второго члена уравнения (5) введем обозначение

$$\frac{\partial M_D}{\partial \omega_\epsilon} \cdot \frac{\omega_{\epsilon 0}}{M_{max}} = -\rho_1. \quad (9)$$

Далее, в уравнении (7) введем следующие обозначения:  $(h_p - h_{po})/h_{pmax} = \mu$  относительное

отклонение регулирующего воздействия (положение РО);  $-(M_{II} - M_{ПО})/M_{max} = \lambda$  - относительное отклонение момента потребителя;  $(\omega_\epsilon - \omega_{\epsilon 0})/\omega_{\epsilon 0} = \varphi$  - относительное отклонение регулируемой величины - частоты вращения вала установки.

Для коэффициента в правой части уравнения (7) введем обозначение

$$\frac{J_B \omega_{\epsilon 0}}{M_{max}} = T_p. \quad (10)$$

Коэффициент  $T_p$  имеет размерность времени и является временем разгона одноемкостного статического ОР - ЭУЛ.

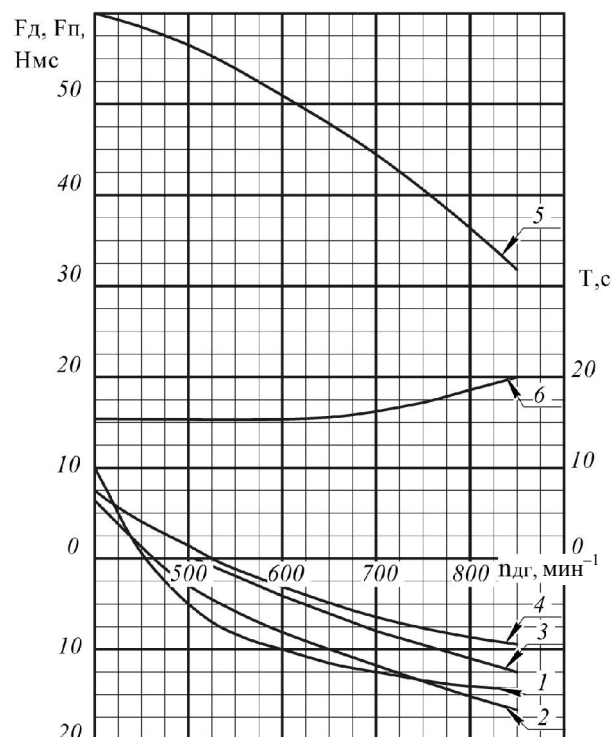


Рис. 3. Зависимости фактора устойчивости двигателя дизель-генератора типа 10Д100 при относительных цикловых подачах топлива:

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

После подстановки в уравнение (7) принятых обозначений получим

$$T_p \frac{d\varphi}{dt} + \rho_1 \varphi = \mu - \lambda. \quad (11)$$

В уравнении (11) коэффициент  $\rho_1$  - величина безразмерная и является коэффициентом самовыравнивания (саморегулирования) ОР. Чем круче статическая характеристика ОР  $M_D(\omega_\epsilon)$ , тем больше самовыравнивание и тем раньше (с меньшим отклонением частоты вращения) наступит стабилизация режима (новое равновесное состояние). Знак

минус, введенный перед коэффициентом  $\rho_1$  в формуле (9), 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  $F_D = (\partial M_D / \partial \omega_e) < 0$  (см. рис. 3, 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 (11). Коэффициент самовыравнивания в этом случае будет выражаться соотношением

$$\frac{\partial M_{II}}{\partial \omega_e} \cdot \frac{\omega_{eo}}{M_{\max}} = \rho_2. \quad (12)$$

Самовыравнивание на стоке энергии из установки будет иметь место лишь в том случае, когда с ростом частоты вращения вала растет 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. 3, 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

$$\left( \frac{\partial M_{II}}{\partial \omega_e} - \frac{\partial M_D}{\partial \omega_e} \right) \cdot \frac{\omega_{eo}}{M_{\max}} = \rho_3 \quad (13)$$

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 (11) разделим на  $\rho_1$ , в результате чего получим

$$\frac{T_p}{\rho_1} \frac{d\varphi}{dt} + \varphi = \frac{1}{\rho_1} (\mu - \lambda) \quad (14)$$

В уравнении (14) отношение времени разгона  $T_p$  к коэффициенту самовыравнивания  $\rho_1$  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 (рис. 3, 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.

$$\frac{1}{\rho_3} = k_{op}. \quad (15)$$

Тогда после соответствующей замены коэффициентов в уравнении (14) будет получено дифференциальное уравнение (математическая модель) одноемкостного ОР с самовыравниванием в общем виде, выраженное через постоянную времени  $T$  и коэффициент передачи  $k_{op}$ :

$$T \frac{d\varphi}{dt} + \varphi = k_{op} (\mu - \lambda). \quad (16)$$

Либо в операторной форме:

$$Tp\varphi + \varphi = k_{op} (\mu - \lambda), \quad (17)$$

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

Таким образом, ЭУЛ представляет собой одноемкостной статический ОР в контуре АСРЧВВЭУЛ и обладает динамическими свойствами аperiodического звена первого порядка с передаточной функцией

$$W(p) = \frac{k_{op}}{Tp + 1} \quad (18)$$

и амплитудно-фазово-частотной функцией

$$W(j\omega) = \frac{k_{op}}{Tj\omega + 1}. \quad (19)$$

Известно, что амплитудно-фазово-частотная характеристика ОР используется при расчете оптимальных параметров настройки автоматических систем [1].

Дифференциальные уравнения (16,17) выражают зависимость частоты вращения вала  $\omega_e$  и скорости её изменения  $d\omega_e/dt$  от изменения воздействий  $\mu$  и  $\lambda$ . При этом коэффициент передачи  $k_{op}$  показывает, во сколько раз отклонение частоты вращения вала  $\omega_e$  в установившемся режиме превышает обусловившее его отклонение воздействие.

Разработанная методика дает 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 расчете оптимальных настроек АРЧВВ не только обычных систем, но и самонастраивающихся адаптивных автоматических систем [1, 11].

#### Список литературы:

1. Ротач В. Я. Расчет настройки промышленных систем

регулирования / В. Я. Ротач. – М.–Л.: ГЭИ, 1961. – 344 с. 2. Луков Н. М. Автоматизация тепловозов, газотурбовозов и дизель-поездов / Н. М. Луков. – М.: Машиностроение, 1988. – 272 с. 3. Леевин М. И. Автоматизация судовых дизельных установок / М. И. Леевин.- Л.: Судостроение, 1969. – 468 с. 4. Крутов В. И. Двигатель внутреннего сгорания как регулируемый объект / Крутов В. И. – М.: Машиностроение, 1978. – 472 с. 5. Ланчуковский В. И. Автоматизированные системы управления судовых дизельных и газотурбинных установок// Ланчуковский В. И., Козьминых А. В. – М.: Транспорт, 1983. – 320 с., 1990. – 335 с. 6. Луков Н.М. Автоматические системы управления локомотивов /Н. М. Луков, А. С., Космодамианский : Учебник для вузов ж.-д. транспорта. – 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 / В. Г. Васильев, Л. Е. Тимановская . Изв. вузов. Электромеханика. – 1963. - № 2. - С. 205-206. 8. Лаврик А. Н. Расчет системы автоматического регулирования частоты вращения коленчатого вала дизеля / А. Н. Лаврик. - Челябинск, ЧГТУ, 1991. - 37 с. 9. Горбунова Н.А. Автоматическое регулирование и управление ДВС / Н.А. Горбунова. – Коломна, КИ(ф)МГОУ – 2010. - 268 с. 10. Горбунова Н.А. Автоматическое регулирование ДВС / Н.А. Горбунова. - КИ(ф)МГОУ, Коломна, 2012. – 50 с. 11. Козлов Ю.М. Беспoisковые самонастраивающиеся системы // Ю. М.

Козлов, Р. М. Юсупов. – М.: Наука, 1969. – 226 с.

**Bibliography (transliterated):**

1. Rotach V. Ja. Raschet nastrojki promyshlennyh sistem regulirovaniya / V. Ja. Rotach. – М.–Л.: GJel, 1961. – 344 s. 2. Lukov N. M. Avtomatizacija teplovozov, gazoturbobozov i dizel'-poezdov / N. M. Lukov. – М.: Mashinostroenie, 1988. – 272 s. 3. Leevin M. I. Avtomatizacija sudovyh dizel'nyh ustanovok / M. I. Leevin.- L.: Sudostroenie, 1969. – 468 s. 4. Krutov V. I. Dvigatel' vnutrennego sgoranija kak reguliruemyj ob#ekt / Krutov V. I. – М.: Mashinostroenie, 1978. – 472 s. 5. Lanchukovskij V. I. Avtomatizirovannye sistemy upravlenija sudovyh dizel'nyh i gazoturbinnnyh ustanovok// Lanchukovskij V. I., Koz'minyh A. V. – М.: Transport, 1983. – 320 s., 1990. – 335 s. 6. Lukov N.M. Avtomaticheskie sistemy upravlenija lokomotivov /N. M. Lukov, A. S., Kosmodamianskij : Uchebnik dlja vuzov zh.-d. transporta. – М.: GOU «Uchebno-metodicheskij centr po obrazovaniju na zheleznodorozhnom transporte», 2007. – 429 s. 7. Vasil'ev V.G. Sostavlenie jelektronnoj modeli dizelja i reguljatora teplovoza TJe10./ V. G. Vasil'ev, L. E. Timanovskaja . Izv. vuzov. Jelektromehaniка, 1963, № 2, S. 205-206. 8. Lavrik A. N. Raschet sistemy avtomaticheskogo regulirovaniya chastoty vrashhenija kolencatogo vala dizelja / A. N. Lavrik. - Cheljabinsk, ChGTU, 1991. - 37 s. 9. Gorbunova N.A. Avtomaticheskoe regulirovanie i upravlenie DVS / N.A. Gorbunova. – Kolonna, KI(f)MGOU – 2010. - 268 s. 10. Gorbunova N.A. Avtomaticheskoe regulirovanie DVS / N.A. Gorbunova. - KI(f)MGOU, Kolonna, 2012. – 50 s. 11. Kozlov Ju.M. Bespoiskovyje samonastrajvajushiesja sistemy // Ju. M. Kozlov, R. M. Jusupov. – М.: Nauka, 1969. – 226 s.

Поступила в редакцию 29.05.2014

**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 Оксана Николаевна** – доктор техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Прикладная информатика» Московского педагогического государственного университета, г. Москва, Россия, e-mail: ox-gom@yandex.ru.

**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, e-mail: askosm@mail.ru.

**Кашников Геннадий Филиппович** – доктор техн. наук, зав. отделом «Электрические машины и аппараты» ВНИКТИ, г. Коломна, Россия, e-mail: vnikti\_ema@mail.ru.

**THE METHOD OF CALCULATION OF DYNAMIC CHARACTERISTICS AND PARAMETERS IN LOCOMOTIVE POWER PLANT AS OBJECT OF SHAFT'S SPEED ADJUSTMENT**

*N. M. Lukov, O. N. Romashkova; A. S. Kosmodamiansky; G. F. Kashnikov*

To determine quality of work automatic system of regulation of frequency of rotation of the shaft power plant of locomotive must know not only the static but also the dynamic characteristics and parameters as the object of regulation of frequency of rotation of the shaft. For the first time graphic-analytical methods of calculation of dynamic characteristics and parameters of installation as an object of regulation of frequency of rotation of the shaft and their dependence on the conditions and modes of operation, and dynamic characteristics and parameters of the diesel-generator type 10D100 of locomotive ТЭ10М. The method gives the possibility not only to calculate dynamic parameters (factors of sustainability and the time constant) installation, but also to determine the dependence of the frequency of rotation of the shaft installation and cycle fuel supply. It can be used when calculating the optimal settings not only conventional systems, but also adaptive self-tuning of automatic systems

**МЕТОДИКА РОЗРАХУНКІВ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК І ПАРАМЕТРІВ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ ЛОКОМОТИВА ЯК ОБ'ЄКТА РЕГУЛЮВАННЯ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ ВАЛА**

*М. М. Луків, О. М. Ромашкова, А. С. Космодамианський, Г. Ф. Кашніков*

Для визначення якості роботи систем регулювання частоти обертання вала енергетичної установки локомотива необхідно знати не тільки статичні, але й динамічні характеристики та параметри установки як об'єкта регулювання частоти обертання вала. Уперше приводяться методика графоаналітичного розрахунків динамічних характеристик і параметрів установки та залежності їх від умов і режимів роботи, а також динамічні характеристики і параметри дизель-генератора типу 10Д100 тепловоза 2ТЭ10М. Методика дає можливість не тільки розрахувати динамічні параметри (фактори стійкості і постійну часу) установки, але й визначити залежності їх від частоти обертання вала установки та циклової подачі палива. Вона може бути використана при розрахунках оптимальних налаштувань не тільки звичайних систем, але й самонастроювальних адаптивних автоматичних систем.