

должна быть максимально возможной. Для оценки показателя текущего режима нагрузки используем логические процедуры, предложенные в [2].

Выводы. 1. Предложено определять параметры фильтрации данных мониторинга трансформатора системой мониторинга на основе анализа частотного спектра колебаний нагрузки. Обоснованы параметры экспоненциального фильтра для фильтрации данных мониторинга нагрузки трансформатора.

2. Обоснован горизонт и корреляционные параметры краткосрочного прогноза нагрузки трансформатора, используемого для опережающего управления охлаждением трансформатора [2].

3. Предложено корректировать интенсивность мониторинга данных нагрузки в процессе их поступления, в зависимости от значения показателя режима нагрузки трансформатора, что позволяет сократить объем памяти системы мониторинга для долговременного хранения данных.

Результаты работы предполагается использовать для совершенствования систем мониторинга и управления силовых трансформаторов разработки ООО “Энергоавтоматизация” [7].

1. Рассальский А.Н. Система мониторинга и управления силовых трансформаторов // *Електротехніка і електромеханіка*. – 2005. – № 2. – С. 46–50. 2. Поляков М.А. Определение и использование показателя режима нагрузки силового трансформатора в системе мониторинга и управления трансформатором // *Електротехніка і електромеханіка*. – 2009. – № 2. – С. 43–46. 3. Поляков М.А. Нечеткий регулятор охлаждения силового масляного трансформатора на основе прогноза изменения возмущающих факторов // *Електротехніка і електромеханіка*. – 2007. – № 3. – С. 47–50. 4. Поляков М.А. Идентификация тепловых параметров силового масляного трансформатора по данным мониторинга параметров // *Вісн. Східноукр. нац. ун-ту*. – 2007. – № 11, ч. 1(117). – С. 167–173. 5. Щокін В.П., Кузьменко А.С., Щокіна О.В. Метод короткотривалого нейронечіткого прогнозу електроспоживання підрозділами ВАТ “ПВНГЗК” // *Праці ЛВ МАІ*. – 2007. – № 1 (14). – С. 84–89. 6. IEC 60076-7 Ed. 1: Power transformers – Part 7: Loading guide for oil-immersed power transformers. Final draft international standard. 7. <http://www.enera.com.ua>.

УДК 621.311.317

О.М. Равлик, Н.О. Равлик

Національний університет “Львівська політехніка”

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ У СХЕМАХ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ

© Равлик О.М., Равлик Н.О., 2009

Розроблена цифрова модель власних потреб електричних станцій для дослідження процесів пуску і самозапуску двигунів з метою оптимізації їх режимів.

The digital model of own needs of power plants is developed for research of processes of start-up and self-start of electric motors for optimisation of their regimes.

Постановка проблеми. Ефективне функціонування електричних станцій здебільшого залежить від правильної роботи обладнання власних потреб. Цю проблему, насамперед, вирішують на стадії проектування з метою оптимізації робочих режимів, а також режимів пуску і самозапуску двигунів власних потреб.

Аналіз останніх досліджень. Результати експлуатації власних потреб електричних станцій показують, що з часом, враховуючи старіння комутаційних апаратів і всього обладнання, виникають проблеми пуску і самозапуску двигунів власних потреб за рахунок перевищення

пускових струмів і хибного відпрацювання захистів. Розрахунки на стадії проектування не можуть дати відповіді на вирішення цих проблем. Опис окремих проблем цього завдання у періодичній літературі вимагає додаткових досліджень.

Задачі і результати досліджень. З погляду аналізу процесів у власних потребах електричних станцій, котрі, переважно, визначаються роботою асинхронних двигунів, виникає проблема відтворення їх в останніх разом із загальною мережею електропостачання.

Для дослідження процесів у власних потребах електричних станцій математичну модель асинхронної машини (АМ) формуємо на основі перетворення модифікованих рівнянь Парка до фазних координат [1] із урахуванням того, що параметри ротора залежать від величини ковзання. Така модель відтворює особливості ідеалізованої електричної машини, однак забезпечує необхідну точність моделювання.

Рівняння електричних і магнітних кіл АМ в матрично-векторній формі запишемо у вигляді

$$\begin{pmatrix} \mathbf{L}_{\sigma s} & \mathbf{P}_{dq}^{-1} & \mathbf{0} \\ \mathbf{P}_{dq} & -\mathbf{R}_m(\psi_\delta) & \mathbf{1} \\ \mathbf{0} & \mathbf{1} & \mathbf{L}_{\sigma r}(s) \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} d\mathbf{i}_s / dt \\ d\psi_\delta / dt \\ d\mathbf{i}_r / dt \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{u}_s \\ \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \mathbf{R}_s & \mathbf{P}_{dq}^{-1} & \mathbf{0} \\ \mathbf{P}_{dq} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{R}_r(s) \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \mathbf{i}_s \\ \psi_\delta \\ \mathbf{i}_r \end{pmatrix}, \quad (1)$$

де $\mathbf{i}_s = (i_{sa}, i_{sb}, i_{sc})_t$, $\mathbf{u}_s = (u_{sa}, u_{sb}, u_{sc})_t$ – відповідно вектор-стовпці фазних струмів і напруг статора; $\mathbf{R}_m(\psi_\delta) = \text{diag}(R_{md}, R_{mq})$ – діагональна матриця магнітних опорів головного магнітного кола АМ; $\psi_\delta = (\psi_{\delta d}, \psi_{\delta q})_t$ – вектор-стовпець робочих потокозчеплень в d, q координатах; $\mathbf{i}_r = (i_{rd}, i_{rq})_t$ – вектор-стовпець струмів контурів ротора; $\mathbf{L}_{\sigma s} = \text{diag}(L_{\sigma sa}, L_{\sigma sb}, L_{\sigma sc})$, $\mathbf{R}_s = \text{diag}(R_{sa}, R_{sb}, R_{sc})$ – відповідно діагональні матриці індуктивностей розсіяння та резистансів фаз статора; $\mathbf{L}_{\sigma r}(s) = \text{diag}(L_{\sigma rd}(s), L_{\sigma rq}(s))$, $\mathbf{R}_r(s) = \text{diag}(R_{rd}(s), R_{rq}(s))$ – відповідно діагональні матриці індуктивностей розсіяння та резистансів контурів ротора; $s = (\omega_s - \omega_r) / \omega_s$ – ковзання, ω_s – швидкість зміни координат статора; ω_r – швидкість зміни координат ротора; \mathbf{P}_{dq} і \mathbf{P}_{dq}^{-1} – пряма й обернена матриці перетворення, які визначаються як:

$$\mathbf{P}_{dq} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{pmatrix} x_2 & (\frac{\sqrt{3}}{2}x_1 - \frac{x_2}{2}) & -(\frac{\sqrt{3}}{2}x_1 + \frac{x_2}{2}) \\ x_1 & -(\frac{x_1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}x_2) & -(\frac{x_1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}x_2) \end{pmatrix};$$

$$\mathbf{P}_{dq}^{-1} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{pmatrix} x_2 & x_1 \\ (\frac{\sqrt{3}}{2}x_1 - \frac{x_2}{2}) & -(\frac{x_1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}x_2) \\ -(\frac{\sqrt{3}}{2}x_1 + \frac{x_2}{2}) & -(\frac{x_1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}x_2) \end{pmatrix},$$

де $x_1 = \sin(\theta)$, $x_2 = \cos(\theta)$; θ – кут між віссю d ротора та віссю фази а статора; $\mathbf{P}_{dq}^{-1} = \omega_r d\mathbf{P}_{dq}^{-1}/d\theta$; $\mathbf{P}_{dq} = \omega_r d\mathbf{P}_{dq}/d\theta$.

Швидкість обертання ротора ω_r для АМ визначимо за

$$\frac{T_j}{\omega_H} \frac{d\omega_r}{dt} = M_{M^*}(\omega_r) - M_{e^*}, \quad (2)$$

де T_j – постійна інерції обертючих мас електричної машини; $M_{M^*}(\omega_r)$, M_{e^*} – відносні механічний і електричний моменти на валу ротора.

Для відтворення обертового руху, модель АМ необхідно доповнити рівнянням механічного навантаження на валу ротора. Рівняння, що описує узагальнене механічне навантаження запишемо у такому вигляді:

$$M_{M^*}(\omega_r) = M_{0^*} + a \frac{\omega_r}{\omega_H} + b \left(\frac{\omega_r}{\omega_H} \right)^2 + c \left(\frac{\omega_r}{\omega_H} \right)^3. \quad (3)$$

Цифрову модель АМ запишемо стосовно неявного методу для $k+1$ -го кроку інтегрування і n -го порядку згідно з [2] у вигляді

$$\begin{aligned} & \begin{vmatrix} \mathbf{R}_s + a_0 \mathbf{L}_{\sigma s} & \mathbf{P}_{dq}^{-1} + a_0 \mathbf{P}_{dq}^{-1} & \mathbf{0} \\ \mathbf{P}_{dq}^{-1} + a_0 \mathbf{P}_{dq}^{-1} & -a_0 \mathbf{R}_m(\psi_\delta) & a_0 \mathbf{1} \\ \mathbf{0} & a_0 \mathbf{1} & \mathbf{R}_r(s) + a_0 \mathbf{L}_{\sigma r}(s) \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} \mathbf{i}_{s,k+1}^{(n)} \\ \boldsymbol{\Psi}_{\delta,k+1}^{(n)} \\ \mathbf{i}_{r,k+1}^{(n)} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \mathbf{u}_{s,k+1}^{(n)} \\ \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \end{vmatrix} + \\ & + \begin{vmatrix} a_0 \mathbf{L}_{\sigma s} & a_0 \mathbf{P}_{dq}^{-1} & \mathbf{0} \\ a_0 \mathbf{P}_{dq}^{-1} & -a_0 \mathbf{R}_m(\psi_\delta) & a_0 \mathbf{1} \\ \mathbf{0} & a_0 \mathbf{1} & a_0 \mathbf{L}_{\sigma r}(s) \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} \mathbf{i}_{s,k}^{(n)} \\ \boldsymbol{\Psi}_{\delta,k}^{(n)} \\ \mathbf{i}_{r,k}^{(n)} \end{vmatrix}. \end{aligned} \quad (4)$$

Послідовно виключивши з (4) рівняння контурів ротора і магнітної системи, отримаємо еквівалентне матрично-векторне рівняння статора АМ:

$$\mathbf{u}_{s,k+1}^{(n)} = \mathbf{Z}_{es} \mathbf{i}_{s,k+1}^{(n)} - \mathbf{e}_{es,k+1}^{(n)}, \quad (5)$$

де

$$\mathbf{Z}_{es} = \left\| \mathbf{R}_s + a_0 \mathbf{L}_{\sigma s} \right\| + \quad (6)$$

$$+ a_0^{-1} \left\| \mathbf{P}_{dq}^{-1} + a_0 \mathbf{P}_{dq}^{-1} \right\| \left\| \mathbf{R}_m(\psi_\delta) + a_0 \left\| \mathbf{R}_r(s) + a_0 \mathbf{L}_{\sigma r}(s) \right\|^{-1} \right\|^{-1} \left\| \mathbf{P}_{dq}^{-1} + a_0 \mathbf{P}_{dq}^{-1} \right\|;$$

$$\mathbf{e}_{es,k+1}^{(n)} = a_0 \mathbf{L}_{\sigma s} \mathbf{i}_{s,k}^{(n)} + a_0 \mathbf{P}_{dq}^{-1} \boldsymbol{\Psi}_{\delta,k}^{(n)} - \left\| \mathbf{P}_{dq}^{-1} + a_0 \mathbf{P}_{dq}^{-1} \right\| \boldsymbol{\Psi}_{\delta,k,0}^{(n)}; \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \boldsymbol{\Psi}_{\delta,k,0}^{(n)} &= \left\| \mathbf{R}_m(\psi_\delta) + a_0 \left\| \mathbf{R}_r(s) + a_0 \mathbf{L}_{\sigma r}(s) \right\|^{-1} \right\|^{-1} \left(\mathbf{R}_m(\psi_\delta) \boldsymbol{\Psi}_{\delta,k}^{(n)} - \right. \\ & \left. - (\mathbf{i}_{r,k}^{(n)} - \mathbf{i}_{r,k,0}^{(n)}) - \mathbf{P}_{dq} \mathbf{i}_{s,k}^{(n)} \right); \end{aligned} \quad (8)$$

$$\mathbf{i}_{r,k,0}^{(n)} = a_0 \left\| \mathbf{R}_r(s) + a_0 \mathbf{L}_{\sigma r}(s) \right\|^{-1} (\mathbf{L}_{\sigma r}(s) \mathbf{i}_{r,k}^{(n)} + \boldsymbol{\Psi}_{\delta,k}^{(n)}). \quad (9)$$

Здійснивши розв'язок системи рівнянь математичної моделі ЕМ разом з (5), координати магнітної системи і контурів ротора АМ отримаємо з таких виразів:

$$\boldsymbol{\Psi}_{\delta,k+1}^{(n)} = \boldsymbol{\Psi}_{\delta,k,0}^{(n)} + \quad (10)$$

$$+ a_0^{-1} \left\| \mathbf{R}_m(\psi_\delta) + a_0 \left\| \mathbf{R}_r(s) + a_0 \mathbf{L}_{\sigma r}(s) \right\|^{-1} \right\|^{-1} \left\| \mathbf{P}_{dq}^{-1} + a_0 \mathbf{P}_{dq}^{-1} \right\| \mathbf{i}_{s,k+1}^{(n)};$$

$$\mathbf{i}_{r,k+1}^{(n)} = \mathbf{i}_{r,k,0}^{(n)} - a_0 \left\| \mathbf{R}_r(s) + a_0 \mathbf{L}_{\sigma r}(s) \right\|^{-1} \boldsymbol{\Psi}_{\delta,k+1}^{(n)}. \quad (11)$$

Рівняння руху ротора (2) і (3) розв'язуємо за явним методом Ейлера, що дозволяє виключити ω_r з невідомих координат АМ.

На рис. 1 наведена розрахункова схема власних потреб блока електричної станції, для якої проводилися дослідження процесів пуску і самозапуску. Результати симулювання нормального режиму з подальшою втратою живлення і його відновленням через 2,8 с. наведені на рис. 2. Як показують цифrogramи, процес самозапуску асинхронного двигуна потужністю 5 МВт успішний, що свідчить про правильність вибору потужності трансформатора власних потреб і його навантаження.

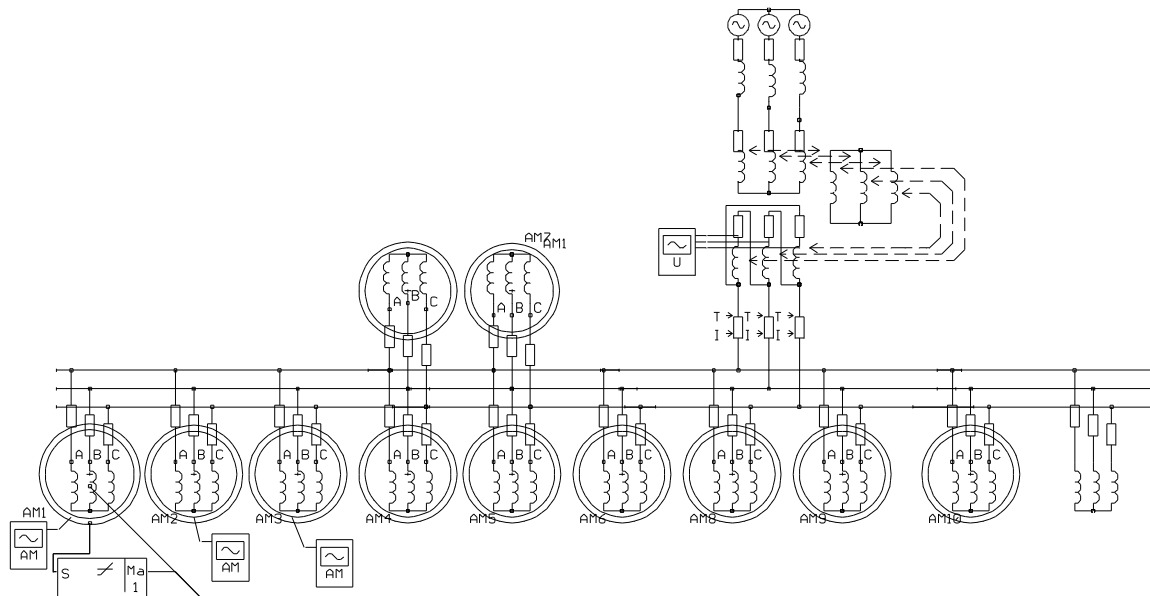


Рис. 1. Розрахункова схема власних потреб блока електричної станції

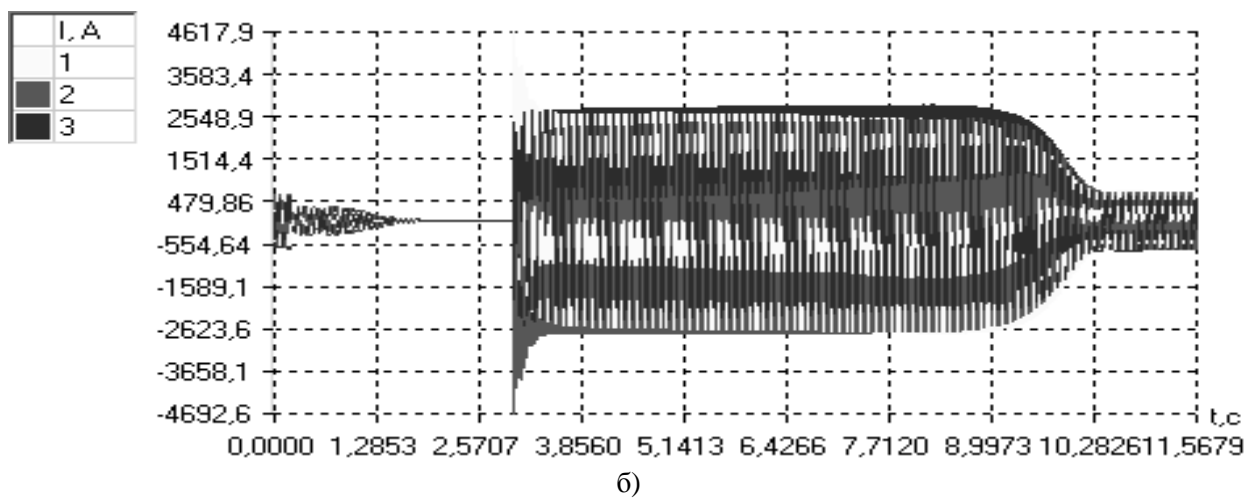
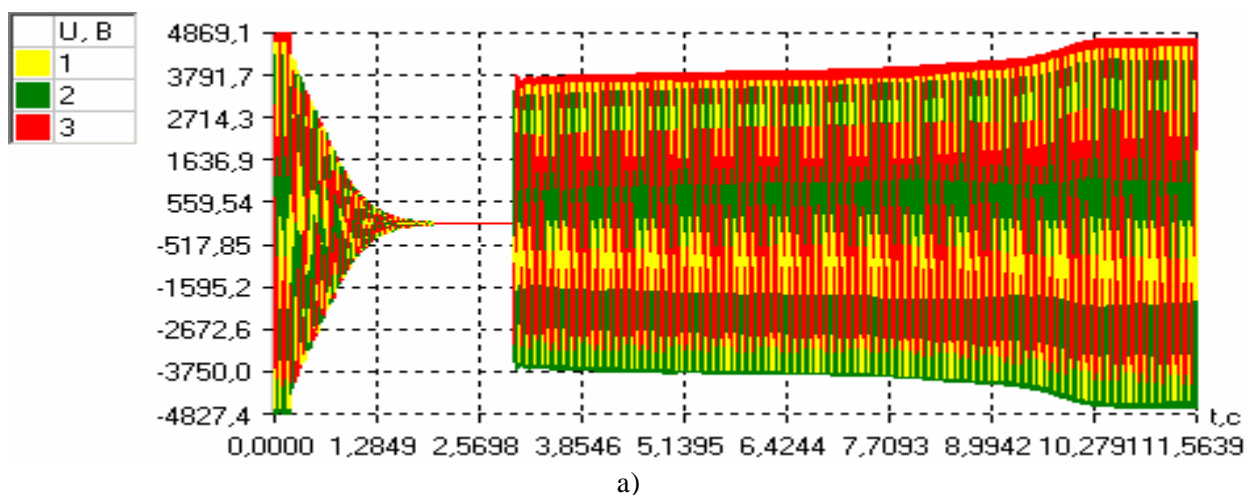


Рис. 2. Цифрограми симулювання самозапуску асинхронного двигуна потужністю 5 МВт власних потреб блока електричної станції:
а – напруга; б – струм

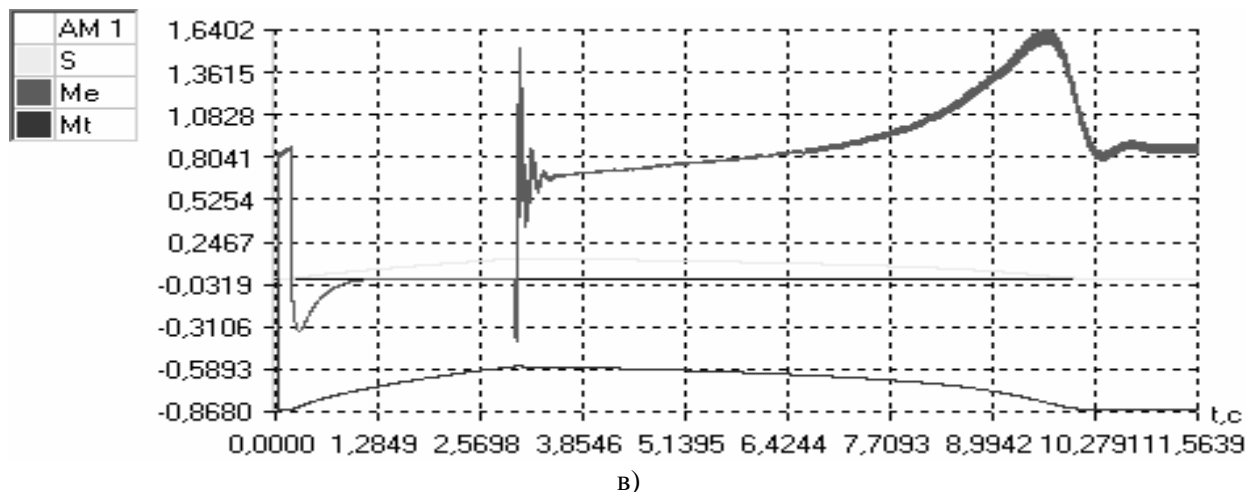


Рис. 2. (Продовження). Цифрограми симулювання самозапуску асинхронного двигуна потужністю 5 МВт власних потреб блока електричної станції:
в – ковзання, електричний і тормозний моменти

1. Андерсон П., Фуад А. Управление энергосистемами и устойчивость / Пер. с англ. под ред. Я.Н. Лугинского. – М.: Энергия, 1980. –568 с. 2. Равлик О.М. Методи розв'язування диференційно-інтегрально-скінчених рівнянь перехідних процесів електротехнічних систем // Вісн. Нац. ун-ту "Львівська політехніка". – 2005. – № 544. – С. 122–126.

УДК 621.418

В.М. Рябенський, А.О. Ушкаренко, В.И. Воскобоенко
Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова

МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНЫМИ УСТАНОВКАМИ

О Рябенський В.М., Ушкаренко А.О., Воскобоенко В.И., 2009

Наведено модель автономної електростанції дизель-генераторним агрегатом, модель автоматизованого робочого місця оператора і мікропроцесорної системи керування дизель-генератором.

The model of the autonomous electro-energetic system with diesel-generator, workplace of the operator and microprocessor control system of the diesel-generator are presented.

Постановка проблеми. В последнее время на судах широко применяются автоматизированные системы управления, в частности автоматические устройства управления дизель-генераторов, устройства синхронизации и распределения мощности и др. Современные дизель-генераторы используют микропроцессорное управление [1]. Моделирование как инструмент научных исследований в области силовой электроники применяется в последнее время все более широко. В литературных источниках [2] описываются различные инструменты моделирования и объекты моделирования. В последние годы все чаще разработчики прибегают к пакету моделирования Matlab Simulink, возможности которого шире. Однако в этом пакете нет возможности моделирования микропроцессорных устройств управления. Поэтому актуальна задача создания модели энергетической системы в Matlab, которая могла бы управляться микропроцессорной системой созданной в другой системе моделирования. При этом система управления, собственно как и энергетическая система, могут быть как виртуальными, так и