

УДК 378

С. Н. Березин, П. Е. Валивач

Военно-морской политехнический институт

В. Г. Грачёв

Группа компаний «Транзас»

ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОЕ УРАВНЕНИЕ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЕМ СПЕЦИАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕНАЖЁРОВ ИНЖЕНЕРОВ-ЭЛЕКТРИКОВ

Рассмотрены основные этапы формирования структуры адаптивной системы управления содержанием специальной подготовки и электротехнических тренажёров военно-морских инженеров-электриков (выпускников Военного учебно-научного центра Военно-морской академии – ВУНЦ ВМФ (ВМА)). Для описания функционирования ряда блоков системы дополнительно предложен автомат Мили. Связи между элементами разработанной адаптивной системы описаны с помощью передаточных функций. Используя полученное характеристическое уравнение, можно построить кривую переходного процесса контура регулирования адаптивной системы и оценить качество переходных процессов (при этом необходимо рассчитать значения величин постоянных времени и коэффициентов, указанных передаточных функций).

характеристическое уравнение, адаптивность, система, управление, содержание специальной подготовки, электротехнические тренажёры, автомат Мили, передаточная функция, контур регулирования, алгебраическое уравнение.

Введение

Приступая к разработке любой системы управления, необходимо руководствоваться принятыми принципами управления и такими понятиями, как «объект управления» (его математическая модель), «цель управления», «стратегия управления». Если математическая модель задана не полностью, то возникает необходимость в адаптивном управлении. Концепция адаптивного управления предполагает управление в условиях неполной информации о модели объекта и учёт воздействия внешней среды на систему. При этом необходимо задать эталонную модель объекта управления. Совершенствование существующей в неявном виде системы управления содержанием специальной подготовки военно-морских инженеров-электриков (в-м-и-э) необходимо осуществлять путем интроспекции, следуя от границ системы к её элементам, предполагая, что

решение проблемы лежит в границах самой системы, т. е. все отклонения вызваны дефектами в элементах системы и объясняются их специфическими причинами.

1 Переменные и параметры адаптивной системы управления

Формируя структуру адаптивной системы управления содержанием специальной подготовки и электротехнических тренажёров (эТ) в-м-и-э (рис. 1) необходимо определить управляющие факторы U , за счет изменения которых достигается такое состояние объекта, оцениваемого параметрами X , при котором гарантируется требуемое качество (Q) содержания специальной подготовки в-м-и-э. (Авторы предлагают ввести в научный оборот новый термин «электротехнические средства обучения» (эТСО).)

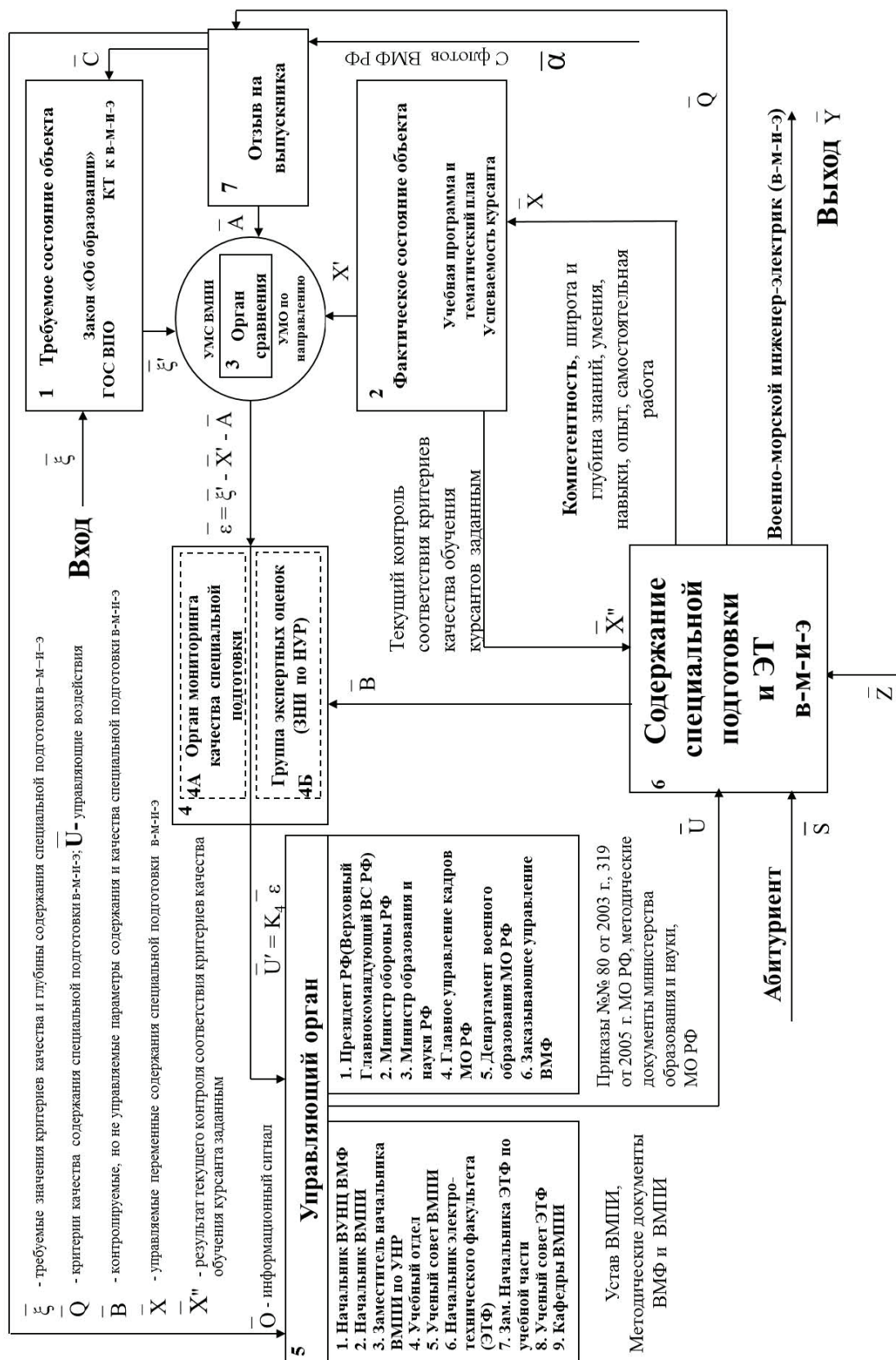


Рис. 1. Структура адаптивной системы управления содержанием специальной подготовки и электротехнических тренажеров военно-морских инженеров-электриков

На рис. 1 обозначены следующие величины:

$\bar{S}$ [1:4] – переменные, характеризующие абитуриента (знания по математике, физике, литературе, русскому языку);

$\bar{Y}$ [1:4] – выходные переменные, характеризующие в-м-и-э (навыки по четырем видам деятельности: специальная, технико-эксплуатационная, административно-управленческая, воспитательная);

$\bar{Q}$ [1:5] – критерии качества содержания специальной подготовки в-м-и-э: $q1$ – фундаментальность электротехнического обучения, дающего глубину и широту знаний в общеинженерной сфере; $q2$ – сложность специализации электротехнического обучения, позволяющая быстро адаптироваться к корабельным условиям и успешно осуществлять обязанности командира группы и вахтенного механика; $q3$ – интегральные характеристики и уровни творческих навыков и способности к восприятию новых достижений науки и техники; $q4$ – способность к реализации полученных знаний в служебной деятельности; $q5$ – интегральные характеристики качества подготовки выпускников и их образования в социальной и гуманитарной сфере;

$\bar{X}$ [1:5] – управляемые переменные процесса специальной подготовки в-м-и-э: $x1$ – уровень фундаментальности знаний, умения и навыки по электротехническим дисциплинам; $x2$ – усвоение пяти уровней согласно квалификационным требованиям; $x3$ – уровень знаний по последним достижениям науки и техники в области электротехники; $x4$ – широта (объем) знаний; $x5$ – самостоятельная работа);

$\bar{B}$ [1:5] – контролируемые, но не управляемые параметры содержания и качества специальной подготовки в-м-и-э (специализация электротехнического образования, креативность мышления, организация обучения, творческая активность, уровень гуманизации);

X'' – результат текущего контроля соответствия критериев качества обучения обучающихся заданным;

$\bar{U}$ – управляющие воздействия на содержание и качество специальной подготовки в-м-и-э;

$\bar{Z}$ – внешние возмущающие воздействия на качество специальной подготовки в-м-и-э;

$\bar{\xi}$ – требуемые значения критериев качества и глубины содержания специальной подготовки в-м-и-э; $\bar{\varepsilon}$ – отклонение фактического состояния объекта (рис. 1, блок 6) от требуемого; $\bar{C}$ – информационный сигнал в элемент 1 (ГОСы, квалификационные требования к в-м-и-э); $\bar{A}$ – задающие воздействия на элемент сравнения 3;

$\bar{\zeta}, \bar{X}'$ – информационные сигналы в элемент сравнения 3;

$\bar{O}, \bar{U}'$ – информационные сигналы в элемент 5;

$\bar{\alpha}$ – информационный сигнал с флотов ВМФ РФ о службе выпускников;

$K4$ – коэффициент, отражающий процесс управления.

В состав элемента 4 (управляющего объектом исследования) вводится дополнительный элемент –4А, позволяющий осуществлять мониторинг качества специальной подготовки выпускников, и элемент 4Б, дающий экспертную оценку поступающей информации.

2 Краткая характеристика процесса управления

Процесс управления складывается из циклов управления. По цепи обратной связи информация о реальном состоянии объекта передается с выхода системы обратно на его вход.

В системах с отрицательной обратной связью информация поступает с упреждением об относительном значении конечного результата (сигналы поступают в противофазе) [1]. В элементе 7 обрабатывается информация с флотов ВМФ РФ о качестве службы выпускников (α). Соответственно задающее воздействие (A) поступает в элемент сравнения 3, информационный сигнал ($\bar{C}$) – в элемент 1, а информационный сигнал 0 – в элемент 5.

На рис. 2 представлена структурная схема и граф разработанной адаптивной системы управления, а на рис. 3 – блок-схема собственно адаптивного процесса.

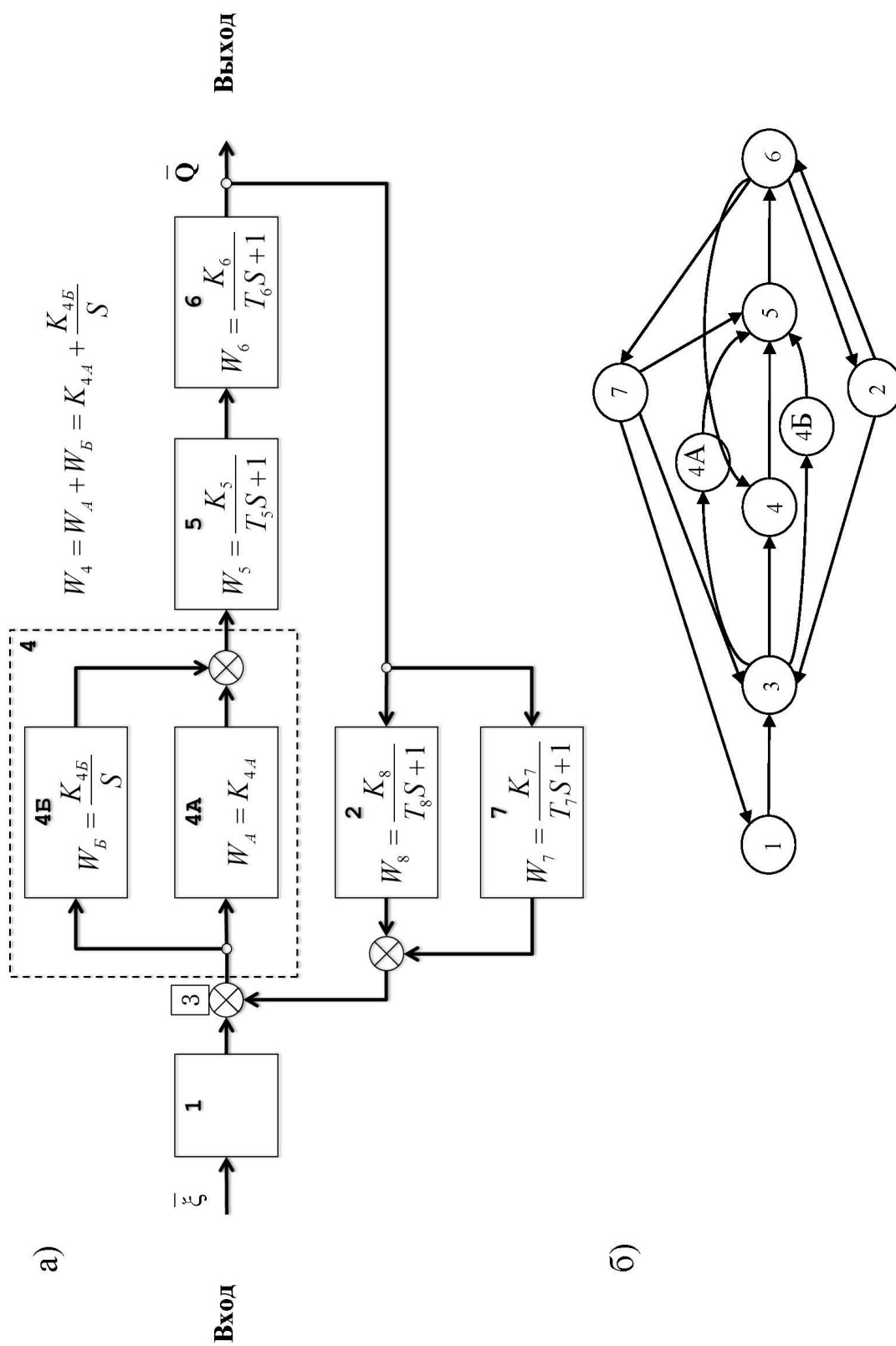


Рис. 2. Структурная схема (а) и граф (б) адаптивной системы управления содержанием специальной подготовки и электротехнических тренажеров военно-морских инженеров-электриков

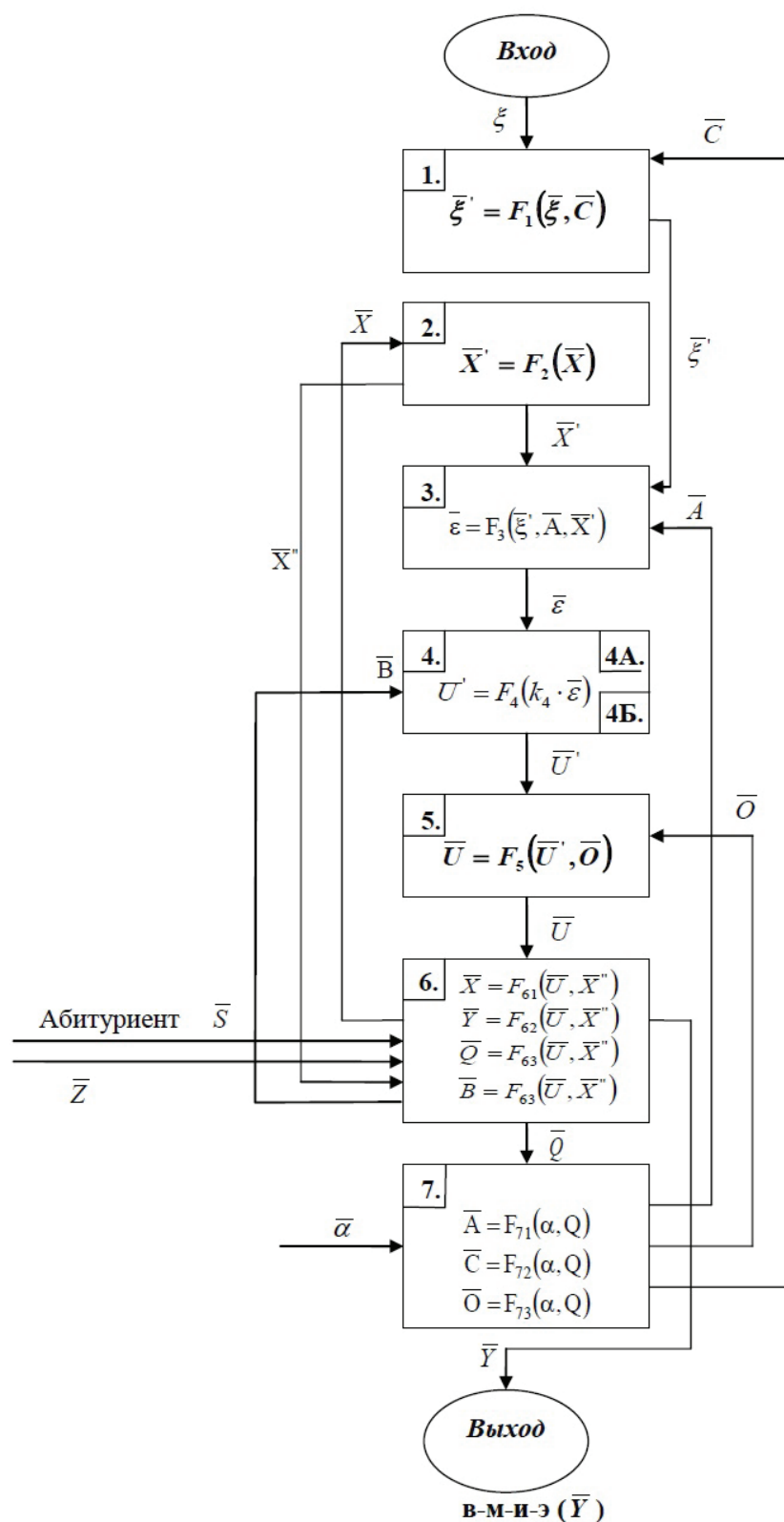


Рис. 3. Блок-схема адаптивного процесса управления содержанием технологии высшего профессионального образования и технических средств обучения в-м-и-э

Управление содержанием электротехнических тренажѐров предлагается осуществлять в разделе их методического обеспечения посредством формирования дидактических единиц такого компонента содержания специальной подготовки, как знания на стадии технического задания. При этом предлагается заложить в исходные знания материалы диссертационного исследования и ряда статей, написанных одним из авторов ранее [2–7].

3 Формирование характеристического уравнения

Наличие связей между элементами разработанной адаптивной системы описано с помощью передаточных функций. Представляется целесообразным рассмотреть элементы 2, 5, 6, 7 в качестве апериодических звеньев с передаточными функциями: элемент 2 – $W_8 = \frac{K_8}{T_8 S + 1}$; элемент

$$5 – W_5 = \frac{K_5}{T_5 S + 1}; \text{ элемент 6 – } W_6 = \frac{K_6}{T_6 S + 1};$$

$$\text{элемент 7 – } W_7 = \frac{K_7}{T_7 S + 1}. \text{ В свою очередь,}$$

элемент 4 (включающий в себя элементы 4А и 4Б) представлен в виде суммы передаточных функций пропорционального и интегрирующего звеньев – $W_4 = K_{4A} + \frac{K_{4B}}{S}$

(см. рис. 2).

Передаточная функция контура регулирования адаптивной системы выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} W_{\text{конт}} &= \frac{W_{\text{пр}}}{1 + W_{\text{пр}} W_{\text{ос}}} = \frac{W_4 \cdot W_5 \cdot W_6}{1 + W_4 \cdot W_5 \cdot W_6 \cdot W_{\text{ос}}} = \\ &= \frac{(W_A + W_B) \cdot W_5 \cdot W_6}{1 + (W_A + W_B) \cdot W_5 \cdot W_6 (W_7 + W_8)} = \\ &= \frac{\left(K_{4A} + \frac{K_{4B}}{S}\right) \cdot \frac{K_5}{T_5 S + 1} \cdot \frac{K_6}{T_6 S + 1}}{1 + \left(K_{4A} + \frac{K_{4B}}{S}\right) \cdot \frac{K_5}{T_5 S + 1} \cdot \frac{K_6}{T_6 S + 1} \cdot \left(\frac{K_7}{T_7 S + 1} + \frac{K_8}{T_8 S + 1}\right)} = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= (K_5 \cdot K_6 \cdot K_{4B} + K_5 \cdot K_6 \cdot K_{4A} \cdot S + \\ &+ K_5 \cdot K_6 \cdot K_{4B} \cdot S \cdot T_7 + K_5 \cdot K_6 \cdot K_{4B} \times \\ &\times S \cdot T_8 + K_5 \cdot K_6 \cdot K_{4A} \cdot S^2 \cdot T_7 + \\ &+ K_5 \cdot K_6 \cdot K_{4A} \cdot S^2 \cdot T_8 + \\ &+ K_5 \cdot K_6 \cdot K_{4A} \cdot S^3 \cdot T_7 \cdot T_8 + \\ &+ K_5 \cdot K_6 \cdot K_{4B} \cdot S^2 \cdot T_7 \cdot T_8) / \\ &(S + S^2 \cdot T_5 + S^2 \cdot T_6 + S^2 \cdot T_7 + S^2 \cdot T_8 + \\ &+ S^3 \cdot T_5 \cdot T_6 + S^3 \cdot T_5 \cdot T_7 + S^3 \cdot T_5 \cdot T_8 + \\ &+ S^3 \cdot T_6 \cdot T_7 + S^3 \cdot T_6 \cdot T_8 + S^3 \cdot T_7 \cdot T_8 + \\ &+ K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_{4B} + K_5 \cdot K_6 \cdot K_8 \cdot K_{4B} + \\ &+ S^4 \cdot T_5 \cdot T_6 \cdot T_7 + S^4 \cdot T_5 \cdot T_6 \cdot T_8 + \\ &+ S^4 \cdot T_5 \cdot T_7 \cdot T_8 + S^4 \cdot T_6 \cdot T_7 \cdot T_8 + \\ &+ S^5 \cdot T_5 \cdot T_6 \cdot T_7 \cdot T_8 + \\ &+ K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_{4A} \cdot S + \\ &+ K_5 \cdot K_6 \cdot K_8 \cdot K_{4A} \cdot S + \\ &+ K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_{4A} \cdot S^2 \cdot T_8 + \\ &+ K_5 \cdot K_6 \cdot K_8 \cdot K_{4A} \cdot S^2 \cdot T_7 + \\ &+ K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_{4B} \cdot S \cdot T_8 + \\ &+ K_5 \cdot K_6 \cdot K_8 \cdot K_{4B} \cdot S \cdot T_7), \end{aligned}$$

где $S^5 \cdot T_5 \cdot T_6 \cdot T_7 \cdot T_8 + S^4 \cdot (T_5 \cdot T_6 \cdot T_7 + T_5 \cdot T_6 \cdot T_8 + T_5 \cdot T_7 \cdot T_8 + T_6 \cdot T_7 \cdot T_8) + S^3 \cdot (T_5 \cdot T_6 + T_5 \cdot T_7 + T_5 \cdot T_8 + T_6 \cdot T_7 + T_6 \cdot T_8 + T_7 \cdot T_8) + S^2 \cdot (T_5 + T_6 + T_7 + T_8 + K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_{4A} \cdot T_8 + K_5 \cdot K_6 \times K_8 \cdot K_{4A} \cdot T_7) + S(1 + K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \times K_{4A} + K_5 \cdot K_6 \cdot K_8 \cdot K_{4A} + K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_{4B} \cdot T_8 + K_5 \cdot K_6 \times K_8 \cdot K_{4B} \cdot T_7) + K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_{4B} + K_5 \cdot K_6 \cdot K_8 \cdot K_{4B} = 0$ – характеристическое уравнение.

Используя полученное характеристическое уравнение, можно построить кривую переходного процесса контура регулирования адаптивной системы и оценить качество переходных процессов (при этом необходимо рассчитать значения величин T и

коэффициентов K , указанных передаточных функций).

Рассмотрим полученное алгебраическое уравнение:

$$\begin{aligned}
 h = & S^5 \cdot T_5 \cdot T_6 \cdot T_7 \cdot T_8 + \\
 & + S^4 \cdot (T_5 \cdot T_6 \cdot T_7 + T_5 \cdot T_6 \cdot T_8 + \\
 & + T_5 \cdot T_7 \cdot T_8 + T_6 \cdot T_7 \cdot T_8) + \\
 & + S^3 \cdot (T_5 \cdot T_6 + T_5 \cdot T_7 + T_5 \cdot T_8 + \\
 & + T_6 \cdot T_7 + T_6 \cdot T_8 + T_7 \cdot T_8) + \\
 & + S^2 \cdot (T_5 + T_6 + T_7 + T_8 + \\
 & + K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_{4A} \cdot T_8 + \\
 & + K_5 \cdot K_6 \cdot K_8 \cdot K_{4A} \cdot T_7) + \\
 & + S(1 + K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_{4A} + \\
 & + K_5 \cdot K_6 \cdot K_8 \cdot K_{4A} + \\
 & + K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_{4B} \cdot T_8 + \\
 & + K_5 \cdot K_6 \cdot K_8 \cdot K_{4B} \cdot T_7) + \\
 & + K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_{4B} + \\
 & + K_5 \cdot K_6 \cdot K_8 \cdot K_{4B} = 0.
 \end{aligned} \quad (1)$$

Рассмотрим случаи, характеризующие невыполнение данного характеристического уравнения, определяющего передаточную функцию контура регулирования. Очевидно, что в наиболее общем случае передаточная функция не определена при выполнении системы условий:

$$\begin{aligned}
 SS = & \\
 = & \left\{ \begin{aligned} & = T_5 \cdot T_6 \cdot T_7 \cdot T_8 = 0; \\ & T_5 \cdot T_6 \cdot T_7 + T_5 \cdot T_6 \cdot T_8 + \\ & + T_6 \cdot T_7 \cdot T_8 = 0; \\ & T_5 \cdot T_6 + T_5 \cdot T_7 + T_5 \cdot T_8 + \\ & + T_6 \cdot T_7 + T_6 \cdot T_8 + T_7 \cdot T_8 = 0; \\ & T_5 + T_6 + T_7 + T_8 + K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \times \\ & \times K_{4A} \cdot T_8 + K_5 \cdot K_6 \cdot K_8 \cdot K_{4A} \cdot T_7 = 0; \\ & 1 + K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_{4A} + K_5 \cdot K_6 \times \\ & \times K_8 \cdot K_{4A} + K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_{4B} \cdot T_8 + \\ & + K_5 \cdot K_6 \cdot K_8 \cdot K_{4B} \cdot T_7 = 0; \\ & K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_{4B} + \\ & + K_5 \cdot K_6 \cdot K_8 \cdot K_{4B} = 0 \end{aligned} \right\}. \quad (2)
 \end{aligned}$$

Данная система решается при условиях, которые делают возможным появление особенностей неконтролируемого поведения передаточной функции адаптивной системы управления:

$$\begin{aligned}
 T_5 &= 0; \\
 T_6 &= 0; \\
 T_7 &= 0; \\
 K_6 &= -\frac{1}{K_5 \cdot K_7 \cdot K_{4A}}; \\
 K_8 &= -K_7; \\
 T_8 &= \frac{K_{4A}}{K_{4B}}; \\
 T_5 \cdot T_6 \cdot T_7 \cdot T_8 &= 0.
 \end{aligned} \quad (3)$$

В том случае, если

$$h_2 = \left\{ \begin{aligned} & K_5 \cdot K_6 \cdot K_{4B} = 0 \\ & K_7 + K_8 = 0 \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

характеристическое уравнение (1) порождает два уравнения четвертой степени:

$$\begin{aligned}
 h_1 = & S^4 \cdot T_5 \cdot T_6 \cdot T_7 \cdot T_8 + \\
 & + S^3 \cdot (T_5 \cdot T_6 \cdot T_7 + T_5 \cdot T_6 \cdot T_8 + \\
 & + T_6 \cdot T_7 \cdot T_8) + S^2 \cdot (T_5 \cdot T_6 + \\
 & + T_5 \cdot T_7 + T_5 \cdot T_8 + T_6 \cdot T_7 + \\
 & + T_6 \cdot T_8 + T_7 \cdot T_8) + \\
 & + S \cdot (T_5 + T_6 + T_7 + T_8 + \\
 & + K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_{4A} \cdot T_8 + \\
 & + K_5 \cdot K_6 \cdot K_8 \cdot K_{4A} \cdot T_7) + \\
 & + 1 + K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_{4A} + \\
 & + K_5 \cdot K_6 \cdot K_8 \cdot K_{4A} = 0; \\
 h_{11} = & S^4 \cdot T_5 \cdot T_6 \cdot T_7 \cdot T_8 + \\
 & + S^3 \cdot (T_5 \cdot T_6 \cdot T_7 + T_5 \cdot T_6 \cdot T_8 + T_6 \cdot T_7 \cdot T_8) + \\
 & + S^2 \cdot (T_5 \cdot T_6 + T_5 \cdot T_7 + T_5 \cdot T_8 + T_6 \cdot T_7 + \\
 & + T_6 \cdot T_8 + T_7 \cdot T_8) + S \cdot (T_5 + T_6 + T_7 + T_8 + \\
 & + K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_{4A} \cdot T_8 + \\
 & + K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_{4A} \cdot T_7) + \\
 & + 1 + K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_{4B} \cdot T_8 + \\
 & + K_5 \cdot K_6 \cdot K_8 \cdot K_{4B} \cdot T_7 = 0.
 \end{aligned} \quad (5)$$

Они определяют все комбинации параметров, задающие условия устойчивости функционирования передаточной функции либо ее отсутствия.

Рассмотрим случай, когда корни характеристического уравнения (1) явно определены. Это, в частности, имеет место при условии

$$SS_2 = \left\{ \begin{array}{l} = K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_{4B} + \\ + K_5 \cdot K_6 \cdot K_8 \cdot K_{4B} = 0; \\ T_5 \cdot T_6 \cdot T_7 + T_5 \cdot T_6 \cdot T_8 + T_6 \cdot T_7 \cdot T_8 = 0; \\ 1 + K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_{4A} + \\ + K_5 \cdot K_6 \cdot K_8 \cdot K_{4A} + \\ + K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_{4B} \cdot T_8 + \\ + K_5 \cdot K_6 \cdot K_8 \cdot K_{4B} \cdot T_7 = 0; \\ T_5 \cdot T_6 + T_5 \cdot T_7 + T_5 \cdot T_8 + \\ + T_6 \cdot T_7 + T_6 \cdot T_8 + T_7 \cdot T_8 = 0 \end{array} \right\}, \quad (6)$$

что эквивалентно

$$h_4 = \left\{ \begin{array}{l} K_{4A} = -\frac{1}{K_5 \cdot K_6 \cdot (K_7 + K_8)} \\ K_{4B} = 0 \\ T_5 = -\frac{T_7 \cdot T_8}{T_7 + T_8} \\ T_6 = 0 \end{array} \right\}. \quad (7)$$

Следовательно, коэффициенты K_5, K_6, T_7, T_8 и суммы $K_7 + K_8, T_7 + T_8$ не равны нулю.

Тогда уравнение (1) примет вид

$$h_5 = S(T_8 \cdot S + K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_{4A} \cdot T_8 \cdot S + \\ + T_7 \cdot S + T_5 \cdot S + K_5 \cdot K_6 \cdot K_8 \cdot K_{4A} \cdot T_7 \cdot S + \\ + K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_{4A} + K_5 \cdot K_6 \cdot K_8 \cdot K_{4A} + 1). \quad (8)$$

Его нетривиальное решение:

$$S = \frac{-K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_{4A} -}{T_5 + T_8 + K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_{4A} \cdot T_8 +} \rightarrow \\ \rightarrow \frac{-K_5 \cdot K_6 \cdot K_8 \cdot K_{4A} - 1}{+T_7 + K_5 \cdot K_6 \cdot K_8 \cdot K_{4A} \cdot T_7}. \quad (9)$$

Очевидно, что при выполнении условий

$$(-K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_{4A} - \\ - K_5 \cdot K_6 \cdot K_8 \cdot K_{4A} - 1) = 0;$$

$$T_5 + T_8 + K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_{4A} \cdot T_8 + \\ + T_7 + K_5 \cdot K_6 \cdot K_8 \cdot K_{4A} \cdot T_7 = 0 \quad (10)$$

параметр S не определен, т. е. система работает непредсказуемо.

Изучая комбинации значений параметров данной формулы, установим все условия устойчивости функционирования передаточной функции¹.

В общем случае исследование корней характеристического уравнения (1) возможно после определения их в явном виде в соответствии с требованиями [8].

Заключение

На наш взгляд, представленная адаптивная система достаточно полно описывает процесс управления содержанием специальной подготовки и электротехнических тренажеров военно-морских инженеров-электриков в структуре военно-морского образования России. Однако отсутствие до настоящего момента математического описания, структурных и блок-схем, существующего в неявном виде управления содержанием специальной подготовки в-м-и-э препятствует дальнейшему обновлению и оптимизации обучения. Разработанная адаптивная система управления содержанием специальной подготовки и электротехнических тренажеров военно-морских инженеров-электриков является подсистемой более высокого уровня управления (Военный учебно-научный центр ВМФ, «Военно-морская академия», Военно-морской политехнический институт).

Библиографический список

1. Долгосрочный прогноз и управление многоуровневыми социально-экономическими системами / Н. И. Бондаренко. – Великий Новгород, 2000. – 534 с.

¹ Уравнения 1–10 составлены при участии Незбайло Т. Г.

2. **Вековые** циклы динамики развития электротехнического знания и образования / П. Е. Валивач, А. И. Субетто // Вестник КГУ им. Н. А. Некрасова. – 2006. – № 1. – С. 25–27.

3. **Математический** анализ гипотезы очередного всплеска открытий в теоретических основах электротехники к 2020 году / П. Е. Валивач и др. // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2009. – № 3 (84). – С. 14–27. – (Серия «Наука и образование»).

4. **Основные** исторические этапы становления электротехнического образования военно-морских инженеров-электриков России / П. Е. Валивач // Труды Третьей Международной научно-практической конференции. – СПб. : Изд-во Санкт-Петербургского гос. политехнического ун-та, 2003. – С. 719–721.

5. **Состояние** проблемы становления и использования современных технических средств

обучения, их классификация и задачи дальнейшего развития / П. Е. Валивач // Вестник СПбУ МВД России. – 2011. – № 4 (52). – С. 163–167.

6. **Концептуальная** модель адаптивной системы управления содержанием высшего профессионального образования специалистов ВМФ / П. Е. Валивач // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2009. – № 3 (84). – С. 214–222. – (Серия «Наука и образование»).

7. **Гносеологические** аспекты и исторические факторы, влиявшие на формирование содержания военно-морского образования в различных социальных условиях / П. Е. Валивач. – СПб., 2011. – 9 с. (Деп. в ИНИОН РАН 06.03.12 г. № 61040).

8. **Теория** нахождения корней алгебраических уравнений / Т. Г. Незбайло. – СПб. : Корона-Век, 2007. – 208 с.

УДК 656.25

П. Е. Булавский, Д. С. Марков

Петербургский государственный университет путей сообщения

СИНТЕЗ ФОРМАЛИЗОВАННОЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ

Предложена формализованная схема (ФС) электронного документооборота технической документации (ЭДТД) систем железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ) как сложной системы массового обслуживания (ССМО).

ФС включает описание внешней среды в виде модели потока заявок – комплектов технических документов (ТД), систем и процессов обслуживания (обработки) заявок, формализуемых на языке параллельных логических схем алгоритмов (ПЛСА). ФС обеспечивает естественный переход к синтезу имитационной модели (ИМ) ЭДТД и в значительной мере определяет ее адекватность.

система железнодорожной автоматики и телемеханики, электронный документооборот технической документации, имитационное моделирование, формализованная схема.

Введение

Создание такой сложной и объемной системы, как электронный документооборот технической документации (ЭДТД) систем

железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ), является непрерывным процессом. ЭДТД разрабатывается и внедряется поэтапно, на протяжении длительного периода времени, а уже внедренные подсистемы