

УДК 656.257 : 681.3

В.С. КОНОВАЛОВ, А.А. МЕЛИХОВ, А.В. КОВТУН

Украинская государственная Академия железнодорожного транспорта, Украина

АНАЛИЗ ИЕРАРХИЧЕСКИХ СТРУКТУР СИСТЕМ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ЦЕНТРАЛИЗАЦИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ. КИНЕМАТИКА

Рассмотрен количественный анализ структур функционирования систем микропроцессорной централизации, который сводится к расчету коэффициентов кинематики. В связи с разделением структур функционирования систем микропроцессорной централизации введены новые метод и методика расчета коэффициентов количественного анализа.

микропроцессорная централизация, структура, функционирование, централизованная, децентрализованная и комбинированная структуры

Введение

Внедрение микроэлектроники и микропроцессорной техники на железнодорожном транспорте Украины является одним из основных направлений повышения эффективности современной железнодорожной автоматики.

На протяжении последних 20 – 25 лет [1, 2] в мире, а также в нашей стране, на железнодорожном транспорте успешно внедряются системы микропроцессорной централизации (МПЦ). За рубежом этими системами заменены традиционные системы – релейные. В настоящее время в промышленной эксплуатации находятся системы МПЦ, приведенные в табл. 1.

Безопасные структуры, а также основные структурные схемы микропроцессорных централизаций, которые целесообразно использовать при построении системы МПЦ, рассмотрены в [1, 3]. Эти структуры имеют свои достоинства и недостатки, и оценивать их следует прежде всего по сложности программного обеспечения, надежности и быстродействию.

1. Анализ последних исследований и публикаций

Для систем МПЦ в основном предъявляются требования к коэффициентам надежности и безо-

пасности функционирования систем [4 – 6]. В работе [7] предложена классификация систем МПЦ по рассредоточению функциональных узлов, но по ряду причин изложен только теоретический подход к решению этой задачи.

С введением дополнительного признака классификации структур функционирования систем МПЦ необходимо внедрять методы их анализа и разрабатывать методики расчета.

2. Цель статьи

В статье выполнен расчет в количественном выражении статических коэффициентов для приведенных структур функционирования микропроцессорных систем, а также дана оценка данному расчету.

Задача подбора конкретных микроконтроллеров с конкретными функциями в данной статье не ставится.

3. Основной материал

Микропроцессорный контроллер (МПК) является неотъемлемой частью системы МПЦ. Выход МПК из строя либо ошибки и сбои в его работе могут привести не только к отказам в работе системы, но и к аварийным ситуациям на управляемом объекте, а также к ситуациям, опасным для жизни обслу-

Таблица 1

Системы МПЦ, находящиеся в промышленной эксплуатации

Страна	Фирма, институт	Обозначение системы
Швеция	Ericsson	IZH-850
- " -	ABB Signal	Ebilock
Швеция, Германия	Adtranz (ABB Asea Brown Boveri, Daimler-Benz Group)	Ebilock, SUP, WSKR
Германия	Siemens	SIMIS
- " -	Alcatel SEL	EI L (или ESTW L90), блок безопасности SELMIS
- " -	AEG-Telefunken	LOGISIRE
Дания	DSI	IZSD-770
СССР	ЛИИЖТ	—
СССР	ХИИТ	—
Япония	JNR	SMILE
Австрия	Alcatel Austria	ELECTRA
Великобритания	GEC – General Signal Westinghouse Signals	SSI
Франция	Alsthom	PAI
- " -	CSEF	—
Болгария	BHBTY	—
Великобритания, США, Испания	Westinghouse Brake and Signal, Safetran, Dimetronic	WESTRACE
США	Union Switch & Signal (US&S)	Microlok
США	General Railway Signal (GRS)	VPI
Украина	УкрГАЗТ	БМПЦ-ММН

живающего персонала. Поэтому обеспечению надежности функционирования процессора уделяется первостепенное значение. Известные методы повышения надежности функционирования условно разделяют на аппаратные, программные и структурные [8].

К структурным относятся методы, направленные на совершенствование архитектуры системы управления на базе программируемых логических контроллеров (ПЛК) [9, 10] и в которых применяются:

- архитектуры с троированием программируемых логических контроллеров;
- дуальные архитектуры (архитектуры с резервированием);
- комбинированные и оригинальные архитектуры повышенной живучести.

Приведем классификацию систем МПЦ по рассредоточению функциональных узлов [7] и их краткую характеристику.

1. Системы с централизованными структурами функционирования. Обработка информации

сконцентрована в одному комплексі технічних засобів, відмова хоча б одного компонента центральної частини призводить до зупинки функціонування великої кількості об'єктів.

2. Системи з децентралізованими структурами. Мають центральний процесорний блок для виконання загальних функцій і районні контролери зі схемами управління об'єктами. Дозволяють локалізувати наслідки відмов, тобто відмова районного контролера впливає на обмежену кількість об'єктів, за рахунок чого забезпечується надійність і безпека. Подібні централізації об'єднані в клас систем, які будуються за «географічним планом станції».

3. Системи з комбінованими структурами. Апаратура розміщується в одному місці (в одному приміщенні), а для реалізації кожної групи функцій виділені окремі технічні засоби. Такий підхід характерний для систем МПЦ великих станцій.

Вказані системи (рис. 1) в чомусь схожі з основними структурними схемами мікропроцесорних централізацій, описаними в [1], а також зі структурним методом підвищення надійності [8], але мають свої відмінні ознаки.

Умовні позначення для представлених схем:

- пост ЕЦ – пост електричної централізації;
- ЦМППК – центральний мікропроцесорний промисловий контролер;
- МПК – мікропроцесорний контролер;
- РМПК – районний мікропроцесорний контролер;
- ЦФУ – центральний функціональний вузол;
- ФУО – функціональні вузли об'єктів;
- РФУ – районний функціональний вузол.

4. Кінематика

Виконаємо розрахунок і аналіз таких категорій, як інформаційне опір τ , сутність інформаційного опору H_τ , інформаційна потужність N , кінетична цілісність $\alpha_{\text{кін}}$.

Допустимо, що для проектування на станції системи МПЦ необхідно вибрати одну з шести структур, представлених на рис. 2 – 7. Для спрощення розрахунків приймемо, що на проектуваній станції необхідно керувати вісьмома двохпозиційними об'єктами і контролювати їх. Це дозволяє представити структуру системи в графічному вигляді.

Середнє час, потрібне для розпізнавання надійшовшої інформації, яке, з одного боку, обмежує швидкість роботи, а з іншого – створює затримку, так що надійшла інформація встигає застаріти на величину τ , називають інформаційним опором системи [11].

Інформаційне опір обернено пропорційно пропускній здатності системи, тобто граничній швидкості сприйняття інформації. Інформаційне опір можна розрахувати за формулою

$$\tau = T \sum_{k=1}^m kp_k, \quad (1)$$

де T – час, за який елементи структури (функціональні вузли) виконують одну операцію порівняння; m – кількість гілок у вузлі; k – порядковий номер гілки; p_k – ймовірність звернення до цієї гілки.

В однорідних структурах

$$\tau = (m + 1)T/2. \quad (2)$$

В лінійних інформаційних системах (цепях) ймовірність того, що реальний період T надходження інформації менше середнього часу інформаційного опору τ , підкоряється закону [11]:

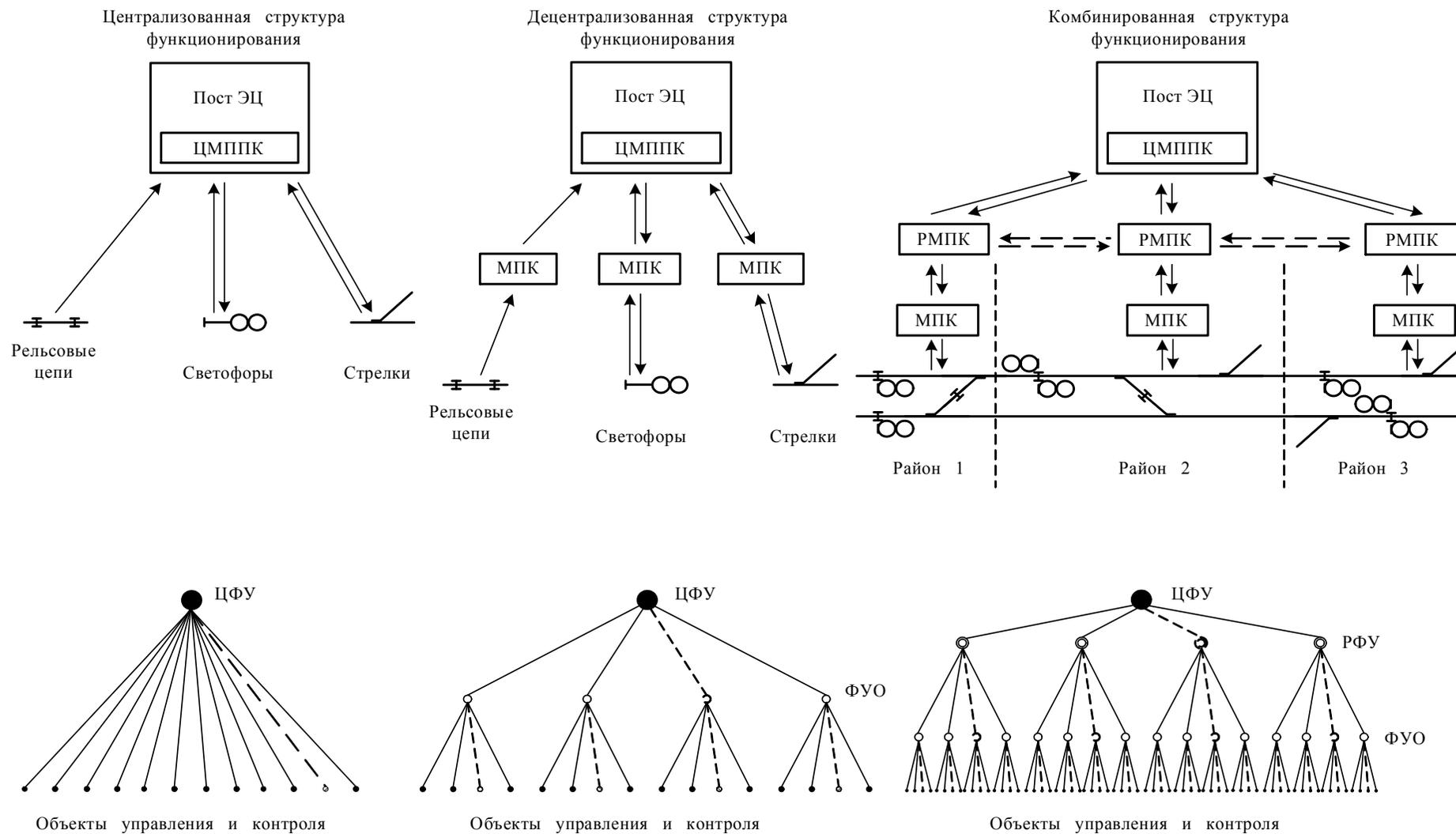


Рис. 1. Структурные схемы микропроцессорных централизаций



Рис. 2. Система с централизованной структурой

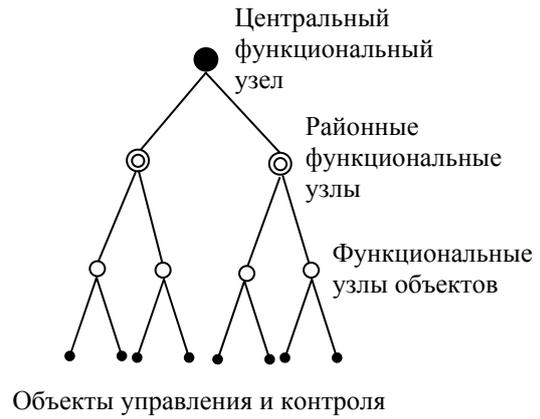


Рис. 3. Система с комбинированной структурой

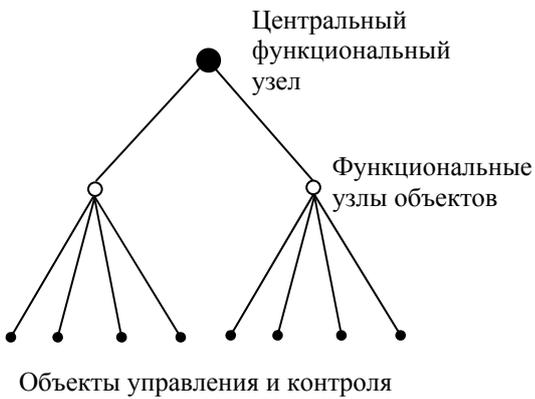


Рис. 4. Система с децентрализованной структурой

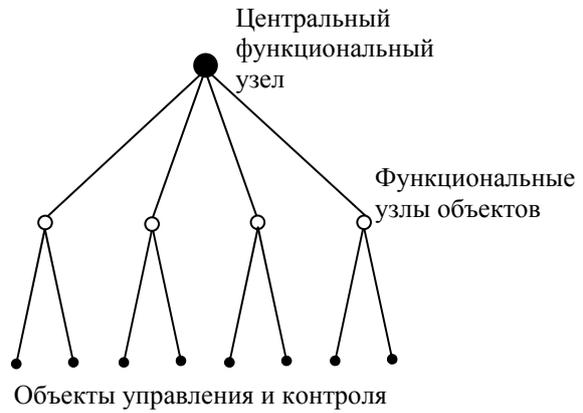


Рис. 5. Система с децентрализованной структурой

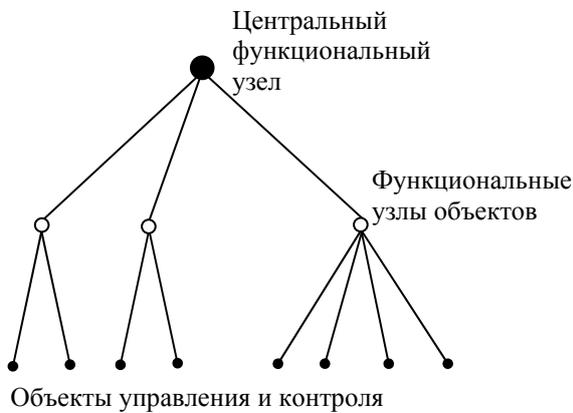


Рис. 6. Система с децентрализованной структурой

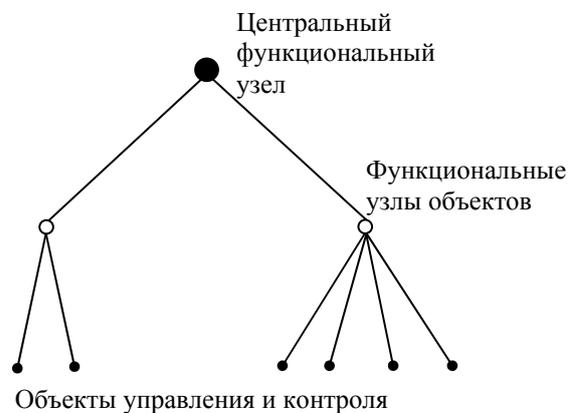


Рис. 7. Система с децентрализованной структурой

$$p = e^{-I\tau \ln 2} = 2^{-I\tau}. \quad (3)$$

Сущность информационного сопротивления

$$H_{\tau} = I\tau, \quad (4)$$

где I – информационный ток.

Соотношение (4) представляет собой информационный закон Ома

$$I = \frac{dJ}{dt} = \frac{1}{T_{cp}}, \quad (5)$$

где T_{cp} – средний период поступления информации.

Информационную мощность можно найти как

$$N = \frac{dC}{dt} = \frac{HdJ}{dt} = HI. \quad (6)$$

Из уравнения (6) с учетом (4) следует также, что

$$N = I^2 \tau = \frac{H^2}{\tau}. \quad (7)$$

Выражение (4) описывает суть происходящих в той или иной системе изменений и соответствует суждениям типа “Суть (H) происходящих с функциональным узлом изменений состоит в том, что он (функциональный узел) обрабатывает пришедшую новую информацию”, причем τ – время обработки новой информации (т.е. время “понимания” функциональным узлом новой информации), а $I = dJ/dt$ – количество информации, обрабатываемой функциональным узлом в единицу времени.

Кинетическая целостность определяется следующим образом:

$$\alpha_{кин}(I) = -H_{\tau\theta}/H_{\tau}, \quad (8)$$

где H_{τ} и $H_{\tau\theta}$ – собственная и взаимная сущности установившегося движения системы, т.е. сущности соответствующих информационных токов.

Положим теперь, что перед структурами, изображенными на рис. 2, стоит задача – пропускать поступающий к ним от ЦФУ информационный ток I , т.е. перерабатывать поступающую информацию. Положим для простоты, что все элементы всех структур осуществляют одну операцию

сравнения минимум за T секунд. В этом случае информационное сопротивление τ любого функционального узла будет определяться как среднее значение времени сравнения из выражения (1).

Оценим для всех структур их смысловую нагрузку, т.е. выраженную в битах в квадрате в секунду производительность труда N (информационную мощность), которую согласно выражению (6) им придется обеспечить, а также H_{τ} согласно формуле (4).

Для схемы на рис. 2:

$$\tau = 4,5 T; H_{\tau} = I\tau = 4,5 I T; N_a = H_{\tau}I = 4,5 I^2 T.$$

Точно так же получаем для уровней схемы на рис. 3:

$$\begin{aligned} & \text{– для верхнего – } \tau_1 = 1,5T; H_{1\tau} = I\tau_1 = 1,5I T; \\ & N_1 = H_{1\tau}I = 1,5 I^2 T; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{– для среднего, в котором звенья с } \tau_2' = \tau_1 \text{ ра-} \\ & \text{ботают параллельно, перерабатывая совместно} \\ & \text{ток } I, \quad \tau_2 = \tau_1 / 2 = 0,75T; \quad H_{2\tau} = I\tau_2 = 0,75 I T; \\ & N_2 = H_{2\tau}I = 0,75 I^2 T; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{– соответственно для нижнего } \tau_3 = \tau_1/4 = \\ & = 0,375 T; H_{3\tau} = 0,375 I T; N_3 = 0,375 I^2 T, \end{aligned}$$

а смысловая производительность всей схемы:

$$N_6 = 2,625 I^2 T.$$

Для схемы на рис. 4:

$$\tau_1 = 1,5 T; N_1 = 1,5 I^2 T;$$

$$\tau_2 = 1,25 T; N_2 = 1,25 I^2 T;$$

$$N_6 = 2,75 I^2 T.$$

Для схемы на рис. 5:

$$\tau_1 = 2,5 T; N_1 = 2,5 I^2 T;$$

$$\tau_2 = 0,375 T; N_2 = 0,375 I^2 T;$$

$$N_2 = 2,875 I^2 T.$$

Для неоднородных схем примем наиболее оптимальный для них вариант, при котором сравнение начинается с наиболее вероятной ветви.

Тогда для схемы на рис. 6:

$$\tau_1 = 1,75 T; N_1 = 1,75 I^2 T;$$

$$\tau_2 = 2T; N_2 = 2I^2 T;$$

$$N_6 = 3,75 I^2 T.$$

Для схемы на рис. 7:

$$\tau_1 = 1,25 T; N_1 = 1,25 I^2 T;$$

$$\tau_2 = 3 T; N_2 = 3 I^2 T;$$

$$N_e = 4,25 I^2 T.$$

Сопоставление этих цифр показывает, что выполнение одной и той же задачи требует наибольшего напряжения сил при работе по схеме на рис. 2 и наименьшего – по схеме на рис. 3, причем при использовании последней затрачивается ежесекундно почти в 2 раза меньше информационной мощности, чем при использовании схемы на рис. 2. Все остальные схемы занимают промежуточное положение, но равномерные схемы более совершенны, чем неравномерные. Отметим также, что схема на рис. 4 в работе оказалась лучше схемы на рис. 5.

С другой стороны, если руководствоваться критерием равномерности нагрузки различных уровней иерархии, то в лучшем положении оказываются схемы на рис. 4 и 6, в которых оба уровня нагружены практически одинаково, а в худшем – схема на рис. 5, в которой нагрузки уровней различаются более чем в 6,5 раз, и схема на рис. 3, в которой нагрузки уровней различаются более чем в 4 раза, в то время как пропускная способность всех узлов во всех схемах одинакова и составляет $I_{np} = 1/T$.

Согласно выражению (8) для определения кинетической целостности необходимо знать собственные суммарные сущности отдельно взятых элементов и сущность каждой из систем как целого. Если при этом определять сущности элементов и систем как произведения информационных сопротивлений и одинакового для них тока (например предельного), то в соответствии с формулой (8) ток сократится и дело сведется к определению отношения соответствующих информационных сопротивлений.

Таким образом, для схемы на рис. 3 информационное сопротивление составляет

$$\tau_c = (1,5 + 1,5 / 2 + 1,5 / 4) T = 2,625 T,$$

для ее элементов, взятых в отдельности,

$$\tau = 1,5 \cdot 7T = 10,5T,$$

а кинетическая целостность для этой схемы

$$\alpha_{кин б} = (10,5 - 2,625) / 10,5 = 0,75.$$

Для схемы на рис. 4:

$$\tau_c = (1,5 + 2,5 / 2) T = 2,75 T; \tau = (1,5 + 1 \cdot 2,5) T = 6,5 T;$$

$$\alpha_{кин в} = (6,5 - 2,75) / 6,5 = 0,58.$$

Для схемы на рис. 5:

$$\tau_c = (2,5 + 1,5 / 4) T = 2,875 T; \tau = (2,5 + 4 \cdot 1,5) T = 8,5 T;$$

$$\alpha_{кин г} = (8,5 - 2,875) / 8,5 = 0,66.$$

Для схемы на рис. 6:

$$\tau_c = (1,75 + 1,5 / 2 + 2,5 / 2) T = 3,75 T;$$

$$\tau = (2 + 1,5 \cdot 2 + 2,5) T = 7,5 T;$$

$$\alpha_{кин д} = (7,5 - 3,75) / 7,5 = 0,5.$$

Для схемы на рис. 7:

$$\tau_c = (1,25 + 1,5 / 4 + 3 \cdot 3,5 / 4) T = 4,25 T;$$

$$\tau = (1,5 + 1,5 + 3,5) T = 6,5 T;$$

$$\alpha_{кин е} = (6,5 - 4,25) / 6,5 = 0,33.$$

Сравнивая полученные результаты, можно констатировать, что наибольшей кинетической целостностью обладает структура на рис. 3, а наименьшей – структура на рис. 7, если не считать обладающую нулевой целостностью структуру на рис. 2. Так что собственные кинетические свойства элементов в наибольшей степени используются схемой на рис. 7, а свойство целостности в наибольшей степени присуще схеме на рис. 3.

Разнообразие моделей, функциональных возможностей и технических характеристик ПЛК позволяет рассматривать их в качестве универсальных средств, с помощью которых можно решить практически любые задачи промышленной автоматизации.

Выбор типа и исполнения системы МПК осуществляется на основе анализа управляемого объекта с учетом особенностей разработанного алгоритма программного управления.

Выводы

1. Системы любой природы тем совершеннее и устойчивее, чем выше степень их целостности.
2. С точки зрения решения задач выбора желательного, чтобы структура системы железнодорожной МПЦ была древовидной иерархической и как можно более равномерной.
3. При сравнении иерархических структур с применением оценки целостности появляется возможность неоднозначного введения критерия принятия решения: чему отдавать предпочтение – наименьшей загруженности элементов или экономичности использования функциональных узлов в целом.

Приведенные в статье данные и методику расчета можно использовать как базу для анализа структур функционирования систем управления.

Литература

1. Станционные системы автоматики и телемеханики. Учебник для вузов ж.-д. трансп. / Вл. В. Сапожников, Б.Н. Елкин, И.М. Кокурин и др. Под ред. Вл. В. Сапожникова. – М.: Транспорт, 1997. – 432 с.
2. Малинов В.М. Современные зарубежные системы микропроцессорной централизации (МПЦ) // Автоматика, связь, информатика. – 2000. – № 7. – С. 45 – 47.
3. Мойсеенко В.І. Мікропроцесорні системи залізничної автоматики. – Х.: Транспорт України, 1999. – Ч. 1: Централізація стрілок та сигналів. – 148 с.
4. Справочник по надежности: В 3 т. / Пер. с англ. Ю.Г. Епишина, Б.А. Смиренина; Под ред. Б.Р. Левина. – М.: Мир, 1969. – Т. 1. – 339 с.
5. Справочник по надежности: В 3 т. / Пер. с англ. Ю.Г. Епишина, Б.А. Смиренина; Под ред. Б.Р. Левина. – М.: Мир, 1969. – Т. 2. – 339 с.
6. Сертификация и доказательство безопасности систем железнодорожной автоматики / В.В. Сапожников, Вл.В. Сапожников, В.И. Талалаев и др. Под ред. Вл.В. Сапожникова. – М.: Транспорт, 1997. – 288 с.
7. Меліхов А.А., Коновалов В.С. Кількісний аналіз структур функціонування мікропроцесорних централізацій на залізничному транспорті // Зб. наук. пр. – Х.: УкрДАЗТ. – 2003. – Вип. 56. – С. 61 – 66.
8. Программируемые контроллеры для систем управления / Г.И. Загарий, Н.О. Ковзель, В.И. Поддубняк, А.И. Стасюк, И.А. Фурман. – Х.: Транспорт Украины; Регион-информ, 2001. – Ч. 1. Архитектура и технология применения. – 316 с.
9. Мишель Ж. Программируемые контроллеры. – М.: Машиностроение, 1992. – 320 с.
10. Янтовский А.В., Беленький И.Э. Управление автоматическими линиями с гибкими и жесткими связями на базе программируемых контроллеров (обзор). – М.: НИИмаш, 1983. – 68 с.
11. Денисов А.А. Информационные основы управления. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 72 с.

Поступила в редакцию 30.03.2004

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.А. Фурман, Харьковский государственный университет сельского хозяйства, Харьков.