

УДК 629.7.018

АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНЕЧНО-АВТОМАТНОЙ МОДЕЛИ И НЕЙРОСЕТЕВЫХ СТРУКТУР

А. И. Лоскутов,

канд. техн. наук

В. Б. Вечеркин,

канд. воен. наук, доцент

Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург

О. Л. Шестопалова,

канд. техн. наук, доцент

Филиал «Восход» Московского авиационного института, г. Байконур

Описывается подход к построению автоматизированной контрольно-испытательной аппаратуры сложных технических систем на основе использования математической конечно-автоматной модели и динамических нейросетевых структур. На прикладном уровне в качестве сложной технической системы рассматривается бортовая информационно-телеметрическая система, устанавливаемая на большинстве современных космических аппаратов различного целевого назначения. Предлагается структура перспективной контрольно-испытательной аппаратуры бортовой информационно-телеметрической системы, построенная с использованием синтезированной конечно-автоматной модели и программной реализации динамической нейронной сети, с возможностью разработки программно-алгоритмического обеспечения для построения оптимальных программ контроля и испытаний бортовой информационно-телеметрической системы.

Ключевые слова — автоматизация контроля технического состояния, контрольно-испытательная аппаратура, бортовая аппаратура космических аппаратов, конечно-автоматная модель, динамическая нейронная сеть, качество программ, моделирование качества программ, модель качества программ.

Введение

На всех стадиях жизненного цикла сложной технической системы (СТС) решается задача оценки степени соответствия функционирования ее подсистем представлениям о правильном их поведении в ходе применения СТС по целевому назначению. Одной из основных форм контроля состояния СТС является проведение контрольно-испытательных мероприятий функциональных подсистем (ФПС) перед применением СТС. Для решения этой задачи в настоящее время используются разнообразные системы контроля технического состояния проверяемых ФПС, во многих случаях построенные на основе аппаратных и алгоритмических средств 60–70-х гг. прошлого века. В то же время характерной чертой совершенствования современных СТС является их непрерыв-

ное усложнение. Так, в космической отрасли возрастание сложности бортовой аппаратуры (БА) космических аппаратов (КА) в настоящее время происходит за счет увеличения числа конструктивных элементов, широкого использования новых электронно-вычислительных устройств в целях повышения эффективности применения КА, расширения их функциональных возможностей. Однако, несмотря на постоянное повышение уровня надежности элементной базы БА, возрастание номенклатуры и сложности бортовых систем приводит к недостаточной надежности оборудования КА в целом. Ярким свидетельством этому являются неудачи Роскосмоса последних лет по выводу на целевые орбиты новых КА, что обуславливает необходимость использовать адекватные аппаратные и алгоритмические средства, позволяющие осуществить синтез эффективных

автоматизированных систем контроля исправности СТС космического назначения.

Существенными недостатками используемых в настоящее время систем контроля СТС космического назначения являются:

- ограниченность их применения областью простых объектов;
- использование вербальных моделей функционирования БА (технической документации);
- большие массогабаритные параметры;
- низкая оперативность проведения контрольных проверок;
- большие затраты различного рода ресурсов (людских, энергетических, временных);
- невозможность применять математические модели описания функционирования БА.

Это связано, прежде всего, с тем, что многие задачи алгоритмизации основных процедур контроля таких СТС, как КА, остаются недостаточно исследованными, а известные методы не удовлетворяют современным требованиям по оперативности и достоверности контроля [1–3].

Методической основой для устранения перечисленных недостатков, на наш взгляд, может являться использование математического обеспечения проведения испытаний СТС, разработанного на основе применения конечно-автоматных моделей СТС и перспективных нейросетевых технологий, а также совершенствование программной и аппаратной части испытательных комплексов и программ испытаний, что, безусловно, существенно изменит структуру перспективной автоматизированной контрольно-испытательной аппаратуры (КИА).

Постановка задачи автоматизации контроля состояния СТС

Автоматизация контроля технического состояния СТС предполагает наличие адекватной математической модели функционирования ее ФПС, эффективных методов выбора множества контролируемых параметров, программных и аппаратных средств и первичной обработки данных, оценки текущего состояния СТС.

Общие вопросы формирования множества контролируемых параметров, сбора телеметрической информации достаточно полно освещены в научной и учебной литературе [1, 2]. Методология оценки текущего состояния ФПС рассмотрена в работе [2].

Создание синтезируемой по данным телеизмерений конечно-автоматной модели функционирования ФПС, а также содержание и пути решения задачи оптимизации синтеза программ испытаний в рамках выбранного критерия на основе нейронной сети (НС) является основным содер-

жанием проводимых авторами исследований в рамках повышения уровня автоматизации контроля состояния СТС. Применительно к решаемой задаче можно использовать следующую математическую постановку задачи исследования: для создания программно-алгоритмического обеспечения (ПАО) перспективной КИА (ПАО_{КИА}) синтезировать конечно-автоматную модель ФПС СТС A , $A \in M_d$, и нейросетевой алгоритм синтеза оптимальной программы контроля и испытаний (ПКИ) $\Delta_{нс}$, $\Delta_{нс} \in \Omega_\Delta$:

$$ПАО_{КИА} = \{A, A \in M_d; \Delta_{нс}: X, \Delta_{нс} \in \Omega_\Delta\}, \quad (1)$$

где A — конечно-автоматная модель; M_d — множество динамических (математических) моделей; $\Delta_{нс}$ — нейросетевой алгоритм синтеза оптимальной ПКИ X ; Ω_Δ — множество нейросетевых алгоритмов.

Упрощенно принцип автоматизации контроля состояния СТС представлен на рис. 1.

Выдача последовательности команд управления X ($X \in X^*$) на СТС и синтезированную модель осуществляется ЭВМ. Результатом контроля является исход проверки эквивалентности множества получаемых параметров СТС Y и множества модельных значений Y^* .

Построение конечно-автоматной модели связано с необходимостью анализа функционирования ФПС СТС. Достоинством конечных автоматов является развитость их теории, относительная простота и адекватность описания дискретных объектов (во времени и по состояниям), использование для их изучения финитных методов логики и алгебры.

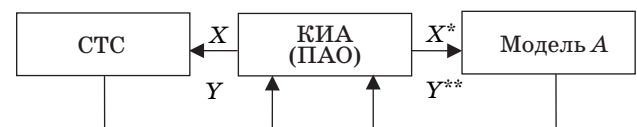
Обычно конечный автомат описывается в виде упорядоченной пятерки [2, 4, 5]

$$A = \{X, Y, Q, \varphi, \psi\}, \quad (2)$$

где X, Y, Q — множества входных воздействий, выходных параметров и состояний системы соответственно; $\varphi: X \times Q \rightarrow Q$ — функция переходов; $\psi: Q \rightarrow Y$ — функция выходов.

Каждое состояние конечно-автоматной модели бортовой информационно-телеметрической системы (БИТС) представляет собой декартово произведение состояний отдельных подсистем:

$$Q = \{q_i^1 \times \dots \times q_i^n\}. \quad (3)$$



■ Рис. 1. Схема испытаний

Синтезированная конечно-автоматная модель вида (2) позволяет использовать динамические и нетрадиционные НС для построения оптимальных полных (обход всех переходов и состояний Q — проверка функции переходов φ и выходов ψ соответственно) и сокращенных (проверка всех состояний Q — частичная проверка функции переходов φ и полная проверка функции выходов ψ) программ испытаний. Это объясняется трудоемкостью (NP-полнотой) решения задач дискретной оптимизации при синтезе оптимальных ПКИ.

Рассмотрим подход к синтезу сокращенной программы контроля и испытаний (СПКИ) рассматриваемой СТС на основе динамической нейронной сети (ДНС) Хопфилда с использованием конечно-автоматной модели. Данная задача является NP-полной и связывается с задачей коммивояжера. Традиционная постановка задачи представлена в работах [2, 6]. В рамках рассматриваемой модели определим структуру и параметры ДНС по методике, предложенной в работе [6]. Введем в рассмотрение матрицу нейронов $|V_{ij}|$ размерности $n \times n$. Возбужденное состояние нейрона $V_{ij} = 1$ в такой матрице соответствует тому факту, что i -е состояние занимает j -е место в маршруте обхода состояний. При использовании НС с непрерывными временем и состояниями время $t \geq 0$ и является непрерывной переменной; состояния нейронов также непрерывны и принадлежат отрезку $[0, 1]$. В связи с этим выберем функцию активации g сигмоидного вида [6, 7]. Поведение конструируемой НС, состоящей из $n \times n$ нейронов, будем описывать следующим уравнением:

$$\frac{dU_{ij}}{dt} = -\frac{U_{ij}}{\tau_{ij}} + \sum_{\mu=1}^n \sum_{\nu=1}^n T_{ij\mu\nu} V_{\mu\nu} - I_{ij}, \quad ij\mu\nu \in \overline{1, n},$$

$$V_{ij} = g(U_{ij}), \quad V_{ij}(t_0) = g(U_{ij}(t_0)) = V_{ij}^{(0)}. \quad (4)$$

Сконструированная энергетическая функция НС в соответствии с нейросетевой интерпретацией описывается выражением

$$E^0(V) = \frac{A}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{\nu=1}^n V_{ij} V_{i\nu} + \frac{B}{2} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \sum_{\mu=1}^n V_{ij} V_{\mu j} + \frac{C}{2} \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n V_{ij} - n \right]^2 + \frac{F}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{\mu=1}^n \sum_{j=1}^n \Delta t_{i\mu} V_{ij} (V_{\mu, j+1} + V_{\mu, j-1}), \quad (5)$$

где Δt_{ij} — время выполнения команд управления (см. табл. 1 ниже) или вес макрокоманды (пути) в графе между i - и j -вершинами (см. рис. 6 ниже).

Анализ данного равенства показывает, что первое и второе слагаемые определяют количество возбужденных нейронов в строке и столбце соответственно. Третье слагаемое есть выполненное условия, что в матрице нейронов возбуждятся ровно n нейронов, равное числу вершин графа. Последний коэффициент определяет замкнутость маршрута обхода всех вершин.

Параметры НС рассчитываются путем сопоставления сконструированной энергетической функции (5) с функцией, записанной в общем виде [6]:

— коэффициенты синаптических связей сети

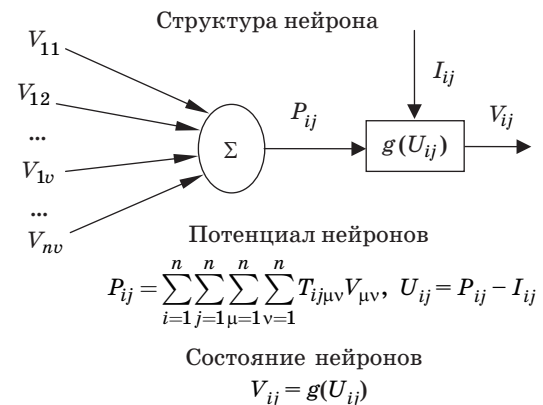
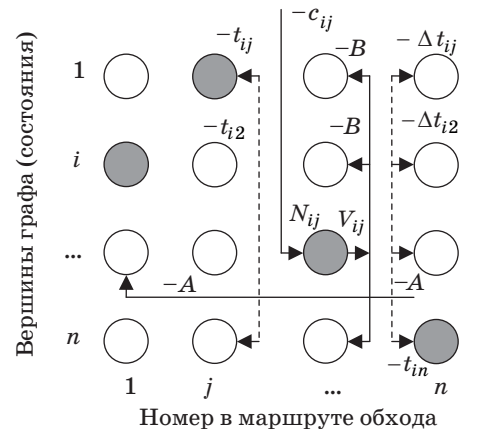
$$T_{ij\mu\nu} = -A\delta_{i\mu}(1 - \delta_{j\nu}) - B\delta_{j\nu}(1 - \delta_{i\mu}) - C - F\Delta t_{i\mu}(\delta_{\nu, j+1} + \delta_{\nu, j-1}); \quad (6)$$

— внешние смещения нейронов (величина порога)

$$I_{ij} = -Cn, \quad i, j, \mu, \nu \in \overline{1, n}. \quad (7)$$

В этом случае нейронная сеть для синтеза СПКИ может быть представлена в виде, показанном на рис. 2.

Нейронная сеть представляет собой матрицу $n \times n$ нейронов, на каждый из которых подается



■ Рис. 2. Структура ДНС

внешнее смещение, а выходной сигнал любого нейрона с коэффициентом $-A$ и $-B$ подается на входы всех нейронов одноименных с ним строки и столбца. Для того чтобы не загромождать рисунок, на нем изображены связи и смещение только одного нейрона N_{ij} . После запуска сети НС осуществляется поиск решения. Пример обхода всех состояний модели представлен совокупностью возбужденных (заштрихованных) нейронов.

Для определения качества решения задачи при помощи НС необходимо использовать относительный показатель эффективности, так как различные исходные данные (обозначим их через c) решаемой задачи будут определять и различные диапазоны значений целевой функции $F(c, x)$ на множестве допустимых решений Ω_x . Выберем следующее выражение [6]:

$$\Phi_w(c) = \frac{F_{cp}(c) - F(c, x^*)}{F_{cp}(c) - F(c, x^{\min})}, \quad (8)$$

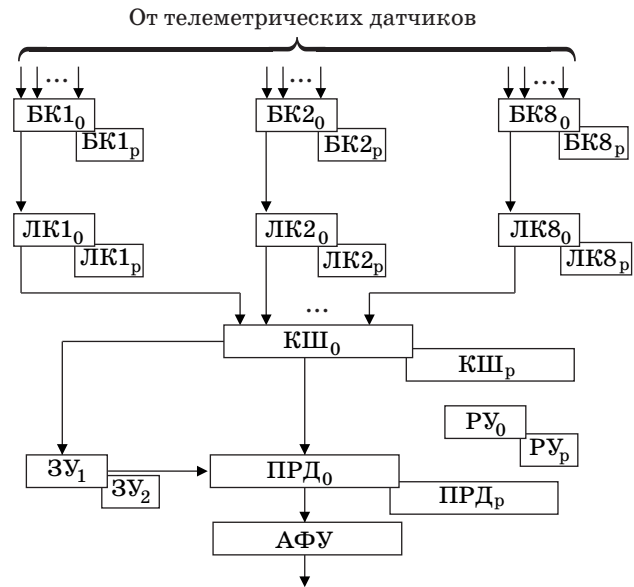
где $F_{cp}(c)$ — среднее значение функции по всему множеству допустимых решений Ω_x при конкретном наборе исходных данных c .

Возможны два варианта реализации НС — аппаратная и программная. При построении ПКИ с использованием аппаратно реализованной НС оператор с помощью ЭВМ осуществляет передачу исходных данных и инициализацию НС, а также получение результата в виде последовательности чисел, характеризующих номер выдачи команды управления. В случае программной эмуляции данные автоматически передаются в программу для реализации ПКИ.

Синтез КИА бортовой информационно-телеметрической системы КА с использованием конечно-автоматной модели и ДНС

В целях разработки структуры КИА рассмотрим схему испытаний цифровой БИТС. Выбранная система устанавливается на большее число КА различных типов. БИТС служит для регистрации и передачи телеметрической информации через радиолинию, ее запоминания и воспроизведения.

В состав БИТС (рис. 3) [8] входят: по восемь основных ($БК1_0 - БК8_0$) и резервных ($БК1_p - БК8_p$) блоков кроссировки сигналов телеметрических датчиков; по восемь основных ($ЛК1_0 - ЛК8_0$) и резервных ($ЛК1_p - ЛК8_p$) локальных коммутаторов; основные и резервные комплекты коммутатора шифратора ($КШ_0$ и $КШ_p$), распределительного устройства ($РУ_0$ и $РУ_p$) и передатчика ($ПРД_0$ и $ПРД_p$); антенно-фидерное устройство $АФУ$ и два комплекта запоминающего устройства ($ЗУ_1$ и $ЗУ_2$).



■ Рис. 3. Структурная схема штатной БИТС

Для БИТС характерны четыре режима работы: 1) режим «непосредственная передача» («НП»), когда информация с телеметрических датчиков непосредственно поступает в радиоканал без записи в ЗУ;

2) режим «непосредственная передача + запись» («НП + Зап.»), когда информация с телеметрических датчиков непосредственно передается в радиоканал и, кроме того, записывается в ЗУ;

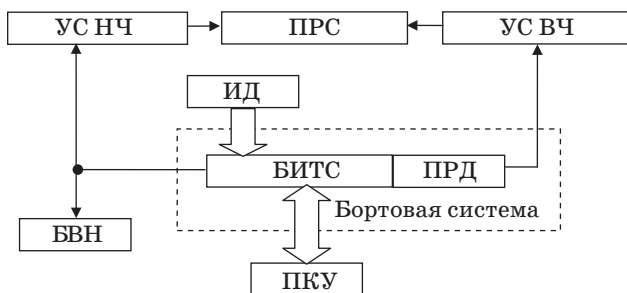
3) режим «Запись» («Зап.»), когда информация с телеметрических датчиков только записывается в ЗУ;

4) режим «Воспроизведение» («Воспр.»), когда в радиоканал поступает информация, ранее записанная в ЗУ.

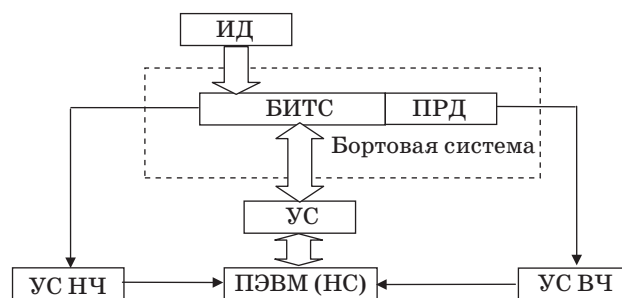
Данная БА проходит несколько стадий испытаний перед принятием решения о готовности ее к дальнейшему использованию по назначению. Схема автономных проверок БИТС штатной КИА представлена на рис. 4.

Как видно из схемы, в процессе испытаний используются устройства, от которых эффективность проверки исправности БИТС зависит прямо пропорционально степени их технической реализации. Это, прежде всего, ПРС и ПКУ. Рассмотрим недостатки данных систем в стандартной комплектации при проведении автономных проверок.

В качестве наземной ПРС используется МА9-МКТМ с различными вариантами модернизации. Данная аппаратура имеет большие массогабаритные параметры, занимает значительное, по современным меркам, пространство, обеспечивает контроль в реальном масштабе времени всего 16



■ **Рис. 4.** Схема контроля технического состояния БИТС: БС — бортовая система (собственно БИТС и ПРД); ПКУ — пульт контроля и управления; ПРС — приемно-регистрационная станция телеметрируемых параметров; ИД — имитатор датчиков; УС НЧ — устройство согласования по низкой частоте; УС ВЧ — устройство согласования по высокой частоте; БВН — блок визуального наблюдения



■ **Рис. 5.** Структура перспективной КИА

параметров (остальные параметры записываются на магнитное ЗУ) и требует несколько человек обслуживающего персонала. Много времени занимает дешифровка и анализ телеметрируемых данных для представления информации в графическом виде.

Пульт контроля и управления представляет собой терминал ручного ввода, для которого необходимо заранее разработать техническую документацию и определить последовательность выдачи управляющих воздействий. Значительные временные затраты на проведение подготовительных и заключительных операций определяют низкую эффективность использования данного устройства при испытаниях и повышении вероятности ошибок оператора при выполнении технологического цикла проверки исправности БИТС.

В то же время НС параллельно и одновременно могут обрабатывать информацию всеми нейронами. Благодаря этой способности при большом количестве межнейронных связей достигается значительное ускорение процесса обработки информации. НС способны решать NP-полные задачи дискретной оптимизации с заданным качеством и являются эффективным средством синтеза оптимальных программ испытаний БА. Учитывая данные обстоятельства, можно предложить следующую структуру КИА БИТС (рис. 5).

Все функции ПКУ и ПРС реализуются ЭВМ. Использование конечно-автоматной модели и применение программной эмуляции НС в ПАО_{КИА} позволит осуществить автоматический режим выдачи команд управления. Регистрация параметров, запись на диск или внешний носитель выполняются с одновременной дешифровкой данных телеизмерений и возможностью применять

когнитивную графику. Перед проведением контроля или в случае обнаружения неисправности строится программа испытаний при помощи НС.

Согласно предложенной модели (2), синтезируем конечно-автоматную модель БИТС КА. Используемые команды управления представлены в табл. 1.

В табл. 2 представлены ФПС и соответствующие им состояния.

Конечно-автоматная модель в виде декартова произведения состояний отдельных ФПС согласно выражению (3) представлена в табл. 3.

При графическом отображении модель представляет собой граф (см. рис. 6), дуги которого — команды управления (см. табл. 1), а вершины — состояния БА (см. табл. 3). Пунктирные дуги определяют полносвязность модели в целях реализации достижимости всех состояний и обхода всех переходов — команд управления.

Это позволяет построить конечно-автоматную модель А (см. рис. 1), описывающую функционирование БИТС. Данная модель реализуется в ПАО_{КИА} на ЭВМ. Следующей задачей является синтез последовательности команд управле-

■ **Таблица 1.** Перечень команд управления

Номер	Время Δt_i , мин	Действие команды
x_1	30	Включение режима «НП» по высокой частоте
x_2	2	Выключение режима «НП»
x_3	6	Включение режима «Зап.»
x_4	3	Выключение режима «Зап.»
x_5	8	Включение режима «Воспр.»
x_6	5	Выключение режима «Воспр.»
x_7	1	Подключение ЗУ ₁
x_8	1	Подключение ЗУ ₂
x_9	1	Подключение питания к ПРД ₀
x_{10}	1	Подключение питания к ПРД _p
x_{11}	1	Подключение БК1 ₀ – БК8 ₀ , ЛК1 ₀ – ЛК8 ₀ , РУ ₀ , КШ ₀
x_{12}	1	Подключение БК1 _p – БК8 _p , ЛК1 _p – ЛК8 _p , РУ _p , КШ _p

■ Таблица 2. Состояния отдельных ФПС

№ ФПС	Описание	Состояние	Команды	Параметры
1	Переключение БК ₁₀ – БК ₈₀ , ЛК ₁₀ – ЛК ₈₀ , РУ ₀ , КШ ₀ на резервный комплект и обратно	q_0^1 — включен основной комплект	x_{11}	$y_0^1 = 0$
		q_1^1 — включен резервный комплект	x_{12}	$y_1^1 = 1$
2	Переключение ПРД ₀ на резервный комплект и обратно	q_0^2 — включен основной комплект ПРД ₀	x_9	$y_0^2 = 0$
		q_1^2 — включен резервный комплект ПРД _p	x_{10}	$y_1^2 = 1$
3	Включение и выключение режима «НП»	q_0^3 — включен режим «НП»	x_1	$y_0^3 = 0$
		q_1^3 — выключен режим «НП»	x_2	$y_1^3 = 1$
4	Переключение с ЗУ ₁ на ЗУ ₂ и обратно	q_0^4 — подключено ЗУ ₁	x_7	$y_0^4 = 0$
		q_1^4 — подключено ЗУ ₂	x_8	$y_1^4 = 1$
5	Контроль режимов работы	q_0^5 — включен режим «НП»	x_1	$y_0^5 = \langle 10 \rangle$
		q_1^5 — включен режим «Воспр.»	x_5	$y_1^5 = \langle 01 \rangle$
		q_2^5 — включен режим «НП + Зап.»	x_3, x_1	$y_2^5 = \langle 11 \rangle$
		q_1^3 — выключен режим «Зап.»	x_2	$y_3^5 = \langle 00 \rangle$

■ Таблица 3. Состояние бортовой аппаратуры

Номер состояния	Состояние модели БИТС, $Q = \{q_i^1 \times \dots \times q_i^5\}$					Содержание состояния Q
	q_i^1	q_i^2	q_i^3	q_i^4	q_i^5	
1	0	0	1	0	00	Включен режим «Зап.»; режим «НП» выкл.; ЗУ ₁ подкл. (на основных комплектах)
2	0	0	0	0	11	Включены режимы «НП + Зап.»; режим «НП» вкл. (на основных комплектах)
3	0	0	0	0	01	Включен режим «Воспр.»; режим «НП» вкл. (на основных комплектах)
4	0	0	0	0	10	Включен режим «НП» (на основных комплектах)
5	0	0	0	1	10	Смена комплекта ЗУ — подключение ЗУ ₂ (на резервном ЗУ)
6	0	0	0	1	01	Включен режим «Воспр.»; режим «НП» вкл. (на резервном ЗУ)
7	0	0	1	1	00	Включен режим «Зап.»; режим «НП» выкл.; ЗУ ₂ подкл. (на резервном ЗУ)
8	0	0	0	1	11	Включены режимы «НП + Зап.» и «НП»; ЗУ ₂ подкл. (на резервном ЗУ)
9	1	0	1	1	00	Смена комплекта БК ₀ , ЛК ₀ , РУ ₀ , КШ ₀ на резервный; включен режим «Зап.»; режим «НП» выкл.
10	1	1	1	1	00	Смена комплекта ПРД ₀ на резервный; включен режим «Зап.»; режим «НП» выкл.
11	1	1	0	1	10	Включен режим «НП» (на резервных комплектах)
12	1	1	0	1	11	Включены режимы «НП + Зап.»; режим «НП» вкл. (на резервных комплектах)
13	1	1	0	1	01	Включены режимы «Воспр.» и «НП»; ЗУ ₂ подкл. (на резервных комплектах)

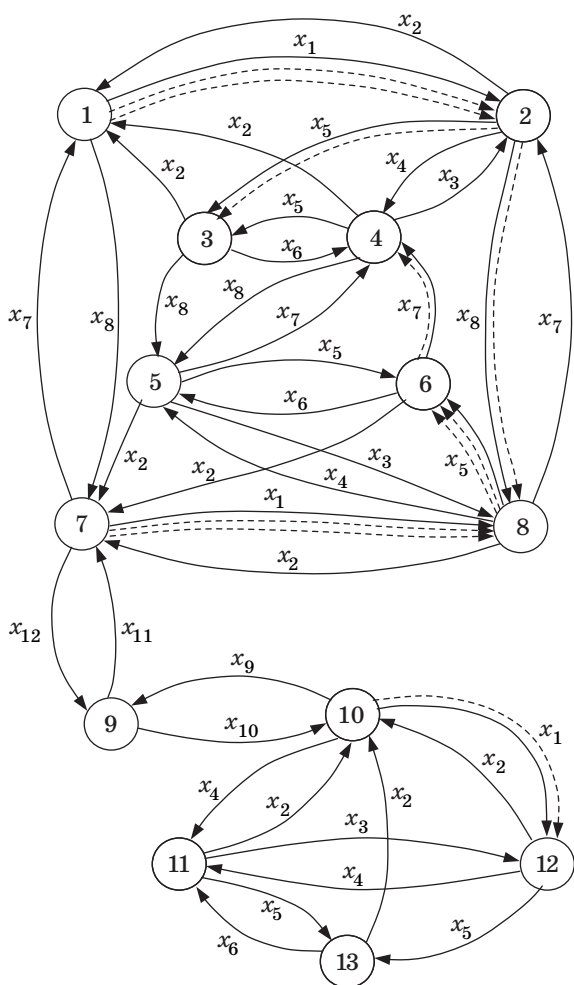
ния — ПКИ X по модели в целях решения задачи технического диагностирования [2].

Для расчета выражения (8) значения $F_{cp}(c)$ и $F(c, x^{min})$ определим при помощи простого перебора. Для оценки среднестатистического значения качества $\Phi_w(c)$ рассматриваются 10 различных вариантов исходных данных, случайно выбираемых из диапазона {0, 1}, для каждого из которых получаем 10 решений из различных начальных условий эволюции сети $V^{(0)}$. Выраже-

ние, определяющее параметры сети для синтеза СПКИ, рассмотрим в следующем варианте:

$$\begin{cases} T_{ij\mu\nu} = -5\delta_{i\mu}(1 - \delta_{j\nu}) - 5\delta_{j\nu}(1 - \delta_{i\mu}) - \\ - 9 - 3t_{ij}(\delta_{v, j+1} + \delta_{v, j-1}); \\ I_{ij} = -9n. \end{cases} \quad (9)$$

Среднестатистическая оценка качества (8) для 13 состояний (см. табл. 3) и правила определения



■ Рис. 6. Граф конечно-автоматной модели БИТС

параметров сети (9) $\hat{\Phi}_w(c) = 0,929$. Данное значение свидетельствует о вполне приемлемом качестве решения задачи синтеза СПКИ с помощью динамической НС Хопфилда.

Оценка эффективности использования конечно-автоматной модели и ДНС для синтеза КИА

Для оценки эффективности будем использовать следующие показатели [8]:

— коэффициент полноты проверки

$$K_{п.п} = \frac{Q_k}{Q}, \tag{10}$$

где Q_k — вероятность отказа контролируемой части объекта; Q — вероятность отказа всего объекта;

— время контроля

$$T_k = t_{п} + t_3 + \sum_{i=1}^D (t_i + \Theta_i), \tag{11}$$

где $t_{п}$, t_3 — время выполнения подготовительных и заключительных операций соответственно; D — число команд управления, предусмотренных программой испытаний; t_i — максимальное время выполнения команд управления в исправной аппаратуре; Θ_i — время оценки параметров после выдачи команды управления;

— ресурсоемкость контроля

$$C_k = C_p + C_{и} + C_э, \tag{12}$$

где C_p — стоимость разработки системы контроля; $C_{и}$ — стоимость изготовления системы кон-

■ Таблица 4. Сравнительный анализ показателей и затрат

Показатель	Обозначение показателя	Штатная КИА БИТС	Перспективная КИА БИТС
Полнота контроля (переключение блоков и режимов)	$K_{п.п}$	0,95	0,98
Время контроля	$t_{п}, t_3$	Сборка схемы 60 мин, приведение в исходное состояние органов управления 10 мин, выключение аппаратуры 5 мин	Сборка схемы 40 мин, загрузка испытательной программы 5 мин, выключение аппаратуры 2 мин
	$\sum_{i=1}^D (t_i + \Theta_i)$	2 ч 40 мин	1 ч 30 мин
	T_k	≈ 3 ч 55 мин	≈ 2 ч 17 мин
Стоимость контроля	C_p	Данные отсутствуют	Работа выполнена в рамках НИР
	$C_{и}$	Данные отсутствуют	30 000 руб. (устройство сопряжения + ПЭВМ)
	$C_э$	Данные отсутствуют	Данные отсутствуют
	C_k	Данные отсутствуют	30 000 руб.
Количество обслуживающего персонала	N	2 чел. (плюс 4 чел. станция МА-9 МКТМ)	1 чел.

троля; C_3 — эксплуатационные расходы на контроль.

Проведенный сравнительный анализ выбранных показателей и различного рода затрат при контроле и испытаниях БИТС КА представлен в табл. 4.

Заключение

Таким образом, использование конечно-автоматных моделей и ДНС повышает эффективность контроля состояния таких СТС, как БИТС КА, а именно: обеспечивается высокий уровень достоверности испытаний за счет совершенствования

ее методической составляющей; уменьшается время на подготовку КИА к проверке; сокращается штат обслуживающего персонала — за счет повышения автоматизации процесса контроля и испытаний.

Рассмотрение всех перечисленных преимуществ решения задачи автоматизации контроля состояния СТС в рамках создания автоматизированной КИА является основой для дальнейших программных и аппаратных разработок в рассматриваемой области и определяет возможность широкого использования математических моделей и нейросетевых методов при решении задач оперативного контроля и управления.

Литература

1. **Дмитриев А. К., Юсупов Р. М.** Идентификация и техническая диагностика / МО СССР. — М., 1987. — 521 с.
2. **Дунаев В. В., Поляков О. М., Фролов В. В.** Алгоритмические основы испытаний / Под ред. проф В. И. Белицкого; МО СССР. — М., 1991. — 427 с.
3. **Верзиков Г. Ф., Киншт Н. В., Рабинович В. И., Тимонен Л. С.** Введение в техническую диагностику / Под ред. К. Б. Карандеева. — М.: Энергия, 1968. — 224 с.
4. **Брауэр В.** Введение в теорию конечных автоматов. — М.: Радио и связь, 1987. — 392 с.
5. **Трахтенброт Б. А., Барздин Я. М.** Конечные автоматы (поведение и синтез). — М.: Наука, 1970. — 400 с.
6. **Ефимов В. В.** Нейроподобные сети в бортовых информационно-управляющих комплексах летательных аппаратов. Решение оптимизационных задач / ВИККА им. А. Ф. Можайского. — СПб., 1996. — 113 с.
7. **Уоссермен Ф.** Нейрокомпьютерная техника. Теория и практика: пер. с англ. — М.: Мир, 1992. — 161 с.
8. **Кочелаев Ю. С.** Автоматизированные испытательные комплексы. Оптимизация алгоритмов автоматизированного тестового контроля / МО РФ. — М., 1992. — 118 с.