Кадыров А. А., д-р техн. наук, проф., директор,
Кадырова А. А., канд. техн. наук
Межотраслевой центр стратегических инноваций и информатизации (Ташкент)

СТРУКТУРИЗАЦИЯ И ГРАФОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОГИКО-ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ*

info@innovation.uz

Гибридный характер математических моделей логико-динамических систем (ЛДС) обусловливает возникновение трудностей при решении задач описания и исследования этих систем. В основе структурного метода моделирования лежит естественное разбиение ЛДС на ряд структурных состояний: смена одной подсистемы другой происходит при выполнении определенных логических условий (предикатов) относительно координат системы. Применение топологического метода для моделирования взаимодействия структурных элементов позволяет записывать модели всех элементов в единой универсальной форме записи.

Ключевые слова: *топологический метод моделирования, логико-динамическая система, конечный автомат, структурное состояние, логико-динамический граф.*

Потребности математического моделирования динамических систем различной природы вызывают неослабевающий интерес к логико-динамическим моделям, методам их исследования и программным средствам автоматизации этих исследований. Наибольшие успехи в решении проблемы достигнуты применительно к системам с управляемой структурой логико-динамического класса [1, 2]. Примером использования автоматных моделей для построения сложных систем с управляемой структурой служит работа [3]. В последние 15-20 лет получили интенсивное развитие исследования, связанные с гибридными и реактивными логико-динамическими системами [4-7].

Как отмечается в работах [1, 2], при исследовании ЛДС основная трудность связана с отсутствием математического языка, необходимого для оперирования с функциями, аргументы и значения которых заданы на множествах различной мощности. В связи с этим, особое значение приобретает структурное моделирование, при котором именно структура объекта несет в себе основную информацию о функциональном назначении объекта и определяет его основные технические характеристики.

Для моделирования и исследования логико-динамических систем широкого класса предложен аппарат логико-динамических графов [8]. Отличительная черта развиваемого в настоящей работе подхода заключается в разработке на основе топологических моделей языка описания ЛДС и процессов в них, удобного с точки зрения машинной имитации и обеспечения единства подхода как к ЛДС, так и к структурно-сложным нелинейным дискретным системам. Процесс создания имитационной модели логико-динамической системы рассматривается как последовательность двух этапов: создание моделей отдельных элементов (подсистем) системы и создание модели их взаимодействия. Сложная логико-динамическая система разбивается на ряд более простых подсистем или структурных состояний, причем смена одной подсистемы другой происходит при выполнении определенных логических условий (предикатов) относительно координат системы. На верхнем уровне решается задача логического управления структурой системы, а на нижнем – управление непосредственной динамикой подсистем. Измеримая дифференциальная динамика (хотя и большой мерности) «вкладывается» как элементарный подпроцесс в дискретную совокупность структурных состояний системы в целом [9].

Пусть дан взвешенный граф

$$G_t = \left(X_t, R_{t_t}\right), \qquad (1)$$

где

$$X_t = \{x_1, x_2, \ldots, x_k\},$$

$$R_t \subseteq X_t \times X_t;\ \ <> \left(x_i, x_j\right) = a_{ji},$$

$$X_t \ni x_t = \left(x_i(t_0), x_i(t_1),\ \ldots, x_i(t_l)\right),$$

т.е. каждый из элементов $x_t \in X_t$ при рассмотрении G_t на дискретном (не обязательно равноотстоящем друг от друга) множестве точек представляется упорядоченным множеством (кортежем) своих значений.

Рассматривая $\{x_1, x_2, \ldots, x_k\}$ как предметные переменные на множестве X_t, можно задать произвольные предикаты $P = \{P_1(x_i), P_2(x_i, x_j), \ldots, P_k(x_1, x_2, \ldots, x_k)\}$, истинностное или ложное значение которых устанавливается в каждый из рассматриваемых моментов времени, или иначе в каждой ситуации заменой предметных переменных x_i их значениями $x_i(t_0), x_i(t_1), x_i(t_2)$ и т.д. (i={1, 2, ... ,n). Если при этих предпосылках существование любой из вершин $x_i \in X_t$ или дуг $(x_i, x_j) \in V_t$ графа G_t или некоторого подмножества этих элементов поставлено в соответствие со значениями любого из предикатов $P_j \in P$, то будем считать G_t логико-динамическим графом.

В общем случае структурно-сложная система будет характеризоваться множеством графов G_{t1}, G_{t2}, ..., G_{tn}, каждый из которых является моделью некоторой подсистемы. Эти графы множеством вершин имеют динамические множества

$$X_t^1 = \{x_1^1, x_2^1, \ldots, x_k^1\},$$
$$X_t^2 = \{x_1^2, x_2^2, \ldots, x_k^2\},$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$X_t^n = \{x_1^n, x_2^n, \ldots, x_k^n\},$$

в которых элементы

$$x_i^j \in X_i^j, \; i = (1,2,\ldots,k), \; j = (1,2,\ldots,n),$$

представляют собой упорядоченные множества вида

$$x_n^j = \left(x_i^j\left(t_0^j\right), x_i^j\left(t_1^j\right), \ldots, x_i^j\left(t_k^j\right)\right),$$

где $x_i^j\left(t_0^j\right), x_i^j\left(t_1^j\right), \ldots, x_i^j\left(t_k^j\right)$ – значения переменной x_i^j в моменты времени t_0^j, $t_1^j, \ldots, t_k^j$. Периоды $\tilde{t}_{i,i+1}^j = \left|t_i^j - t_{i+1}^j\right|$ в общем случае будут переменными.

Роль предметных переменных предикатов могут играть элементы либо одного из множеств X_t^i, *где* $i \in l = \{1, \ldots, n\}$,, либо нескольких множеств, в наиболее общем случае элементы всех множеств, в зависимости от того, один, несколько или все графы G_{ti} являются логико-динамическими.

С целью иллюстрации использования динамических графов приведен алгоритм анализа динамики функционирования логико-динамической системы, эквивалентная структурная схема которой имеет вид (рис.1).

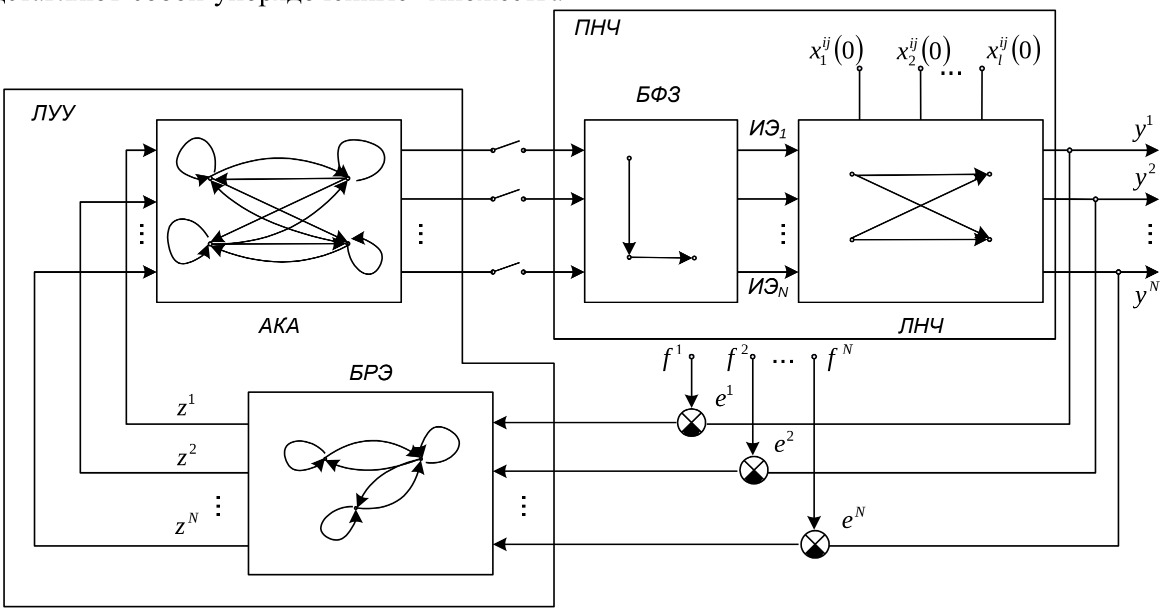

Рис. 1. Эквивалентная структурная схема ЛДС

Алгоритм 1

1. По исходной макроструктуре системы строятся графовые модели релейных элементов, асинхронного конечного автомата, приведенной непрерывной части системы.

2. Формируется обобщенная таблица состояний ЛДС.

3. Для момента времени t_0, принимаемого за начальное, определяются значения входных и выходных координат всех элементов и записываются в первую строку обобщенной матрицы, что определяет начальное состояние S_0 ЛДС.

4. По графовой модели ПНЧ формируются трансцендентные уравнения. Из решения этих уравнений определяется минимальный интервал времени $\tau_{\min} = \min\{\tau^i\}$, по истечении которого соответствующий релейный элемент изменит свое выходное состояние и это изменение передается асинхронному автомату.

5. Для найденного $\tau_{\min}$ пересчитываются значения координат всех элементов ЛДС. Запись их во вторую строку таблицы определит очередное состояние S_1 ЛДС.

6. Осуществляется возврат к пункту 4 алгоритма.

Структура связи алгоритмических модулей с учетом их последующей машинной реализации имеет вид рис. 2.

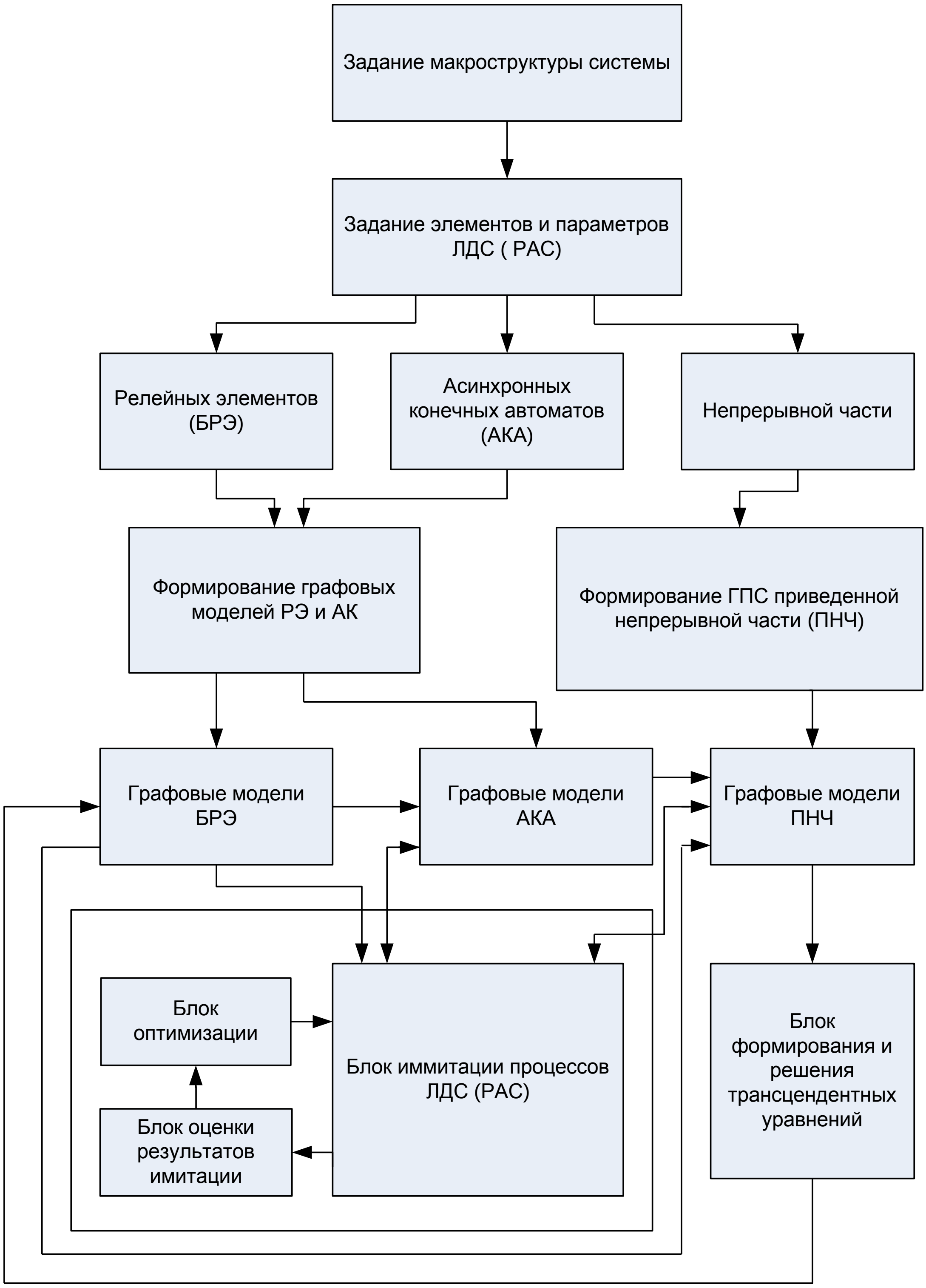

Рис. 2. Блок-схема алгоритма расчета динамики и оптимизации ЛДС

Схема охватывает как частный случай и релейные автоматические системы. В этом случае из числа алгоритмических модулей исключаются блоки АКА, графовые модели АКА, а остальные модули и связи между ними сохраняются неизменными.

Предложенный в работе метод является эффективным средством при решении задачи моделирования и анализа динамики функционирования логико-динамических систем. Анализ и синтез с помощью топологических моделей является весьма удобным с точки зрения реализации на вычислительных машинах и дает возможность единообразного подхода к решению задач с большим числом управляемых и управляющих переменных.

**Работа выполнена в рамках реализации проекта фундаментальных исследований Ф-4-47 «Развитие общей теории дискретных динамических и логико-динамических систем с ЭВМ в контуре управления».*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жук К.Д., Тимченко А.А. Автоматизированное проектирование логико-динамических систем. Киев: Наук.думка, 1981. 320 с.
2. Старикова М.В. Исследование автоматических систем с логическими управляющими устройствами. М.: Машиностроение, 1978.
3. Уолли С., Рид И. Асинхронные конечные автоматы – новый класс систем регулирования// Ракетная техника и космонавтика, 1969. № 3.
4. Сениченков Ю.Б. Численное моделирование гибридных систем. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2004. 206 с.
5. Васильев С.Н., Маликов А.И. О некоторых результатах по устойчивости переключаемых и гибридных систем // Сборник статей «Актуальные проблемы механики сплошной среды. К 20-летию ИММ КазНЦ РАН». Казань: Фолиант, 2011. Т. 1. С. 23-81.
6. Mosterman P.J. An overview of hybrid simulation phenomena and their support by simulation packages. In Hybrid Systems: Computation and Control '99, vol. 1569 in Lecture Notes in Computer Science, Frits W. Vaandrager and Jan H. van Schuppen (eds.), pp. 165-177, 1999.
7. Dion B., Dissoubray S. Modeling and implementing critical real-time systems with SyncCharts/Esterel // Real Time Magazine 99-1.
8. Кадыров А.А. Динамические множества, графы и гиперграфы // Автоматическое управление. Вып. 273. Ташкент, 1979.
9. Кадырова А.А. Методы моделирования и исследования нелинейных и логико-динамических систем управления. Ташкент: Янги аср авлоди, 2010. 186 с.