

ВОПРОСЫ ТЕОРИИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОТКРЫТЫХ СИСТЕМ

Н. Б. Кобелев (Москва)

Существует целый ряд объектов, которые функционируют независимо друг от друга, но могут вступать в определенные взаимодействия. Обычные схемы моделирования, например, на основе игрового подхода или иные, не обеспечивают необходимой достоверности результатов решения, сложны для реализации и восприятия работниками взаимодействующих объектов. В этой связи возникает задача имитационного моделирования независимых или открытых систем при их взаимодействии между собой. Предполагается, что поведение таких открытых систем мы не можем предсказать. Интересы или целевые функции открытых систем в данном подходе не регламентируются и могут быть по отношению к другим открытым системам антагонистическими, совпадающими, нейтральными или иными. Взаимоотношения такого типа встречаются в экономике при взаимодействии предприятий на рынке; в сложных технических и технологических самообучающихся системах; в военном деле при имитации военных действий с учетом различных сил сторон, характеристик местности и иных факторов, влияющих на исход сражения; в медицине при имитации состояния человека и оценки влияния различных медицинских предписаний; в политике, когда целесообразно просчитать варианты поведения сторон с учетом слабо формализуемых факторов и т.п.

Определение 1. Открытой системой (ОС) называется некоторая система, атрибуты которой (входы, выходы, состояния, параметры, целевые функции и т.п.) существуют в некотором пространстве атрибутов открытых систем (ПАОС), независимо от атрибутов других открытых систем, находящихся в том же ПАОС. В рамках ПАОС может осуществляться взаимодействие ОС между собой по законам ПАОС.

Определение 2. ПАОС существует в соответствии с порядком (правилами), устанавливаемыми некоторой системой управления ПАОС, которая задает различные способы взаимодействия ОС между собой в каждый интервал времени взаимодействия ОС.

Определение 3. Закрытой системой (ЗС) называется система, атрибуты которой зависят только от внутренней структуры данной (ЗС). Для ЗС из внешней среды могут исходить только входные сигналы, задаваемые исследователем.

Пусть имеется некоторое абстрактное многомерное пространство L

$$L = \tilde{X} \cup \tilde{Y} \cup \tilde{S} \cup \tilde{\alpha},$$

объединяющее множества входных \tilde{X} и выходных \tilde{Y} сигналов, множества состояний \tilde{S} и параметров $\tilde{\alpha}$. Входные, выходные сигналы, а также состояния и параметры понимаются в смысле элементарного блока универсальной имитационной модели (УИМ) [1,2], а обозначения $\tilde{X}, \tilde{Y}, \tilde{S}, \tilde{\alpha}$ показывают, что данные характеристики являются отображением функционирования некоторой совокупности объектов $\tilde{A} = \tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \dots, \tilde{A}_\Delta, \Delta = \bar{1}, \bar{\Delta}$. Каждый объект \tilde{A}_Δ представляет собой ОС, которая при определенных условиях может вступать во взаимодействие с любой другой ОС или группой ОС из совокупности \tilde{A} .

Взаимодействие заключается в том, что входы и выходы группы взаимодействующих ОС соединяются в порядке, установленном специальной системой A_L , которая называется системой управления пространством L . Эта система обеспечивает сопряжение взаимодействующих систем в определенные моменты времени \tilde{t}_ψ , которые назы-

ваются моментами времени прихода входных сигналов или появления состояний особого значения по причине выдачи соответствующего выходного сигнала [2, стр. 326].

Система A_L , управляет совокупностью открытых систем \tilde{A} в соответствии с установленными детерминированными или случайными правилами организации взаимодействия, зависящими от специфики конкретных объектов из совокупности \tilde{A} и характеристик пространства L .

Описание объектов \tilde{A}_Δ не представляет сложности и осуществляется в форме элементарного блока УИМ [2]. Объект \tilde{A}_Δ , представляемый в виде имитационной модели, является открытой системой по отношению к совокупности \tilde{A} и закрытой в части своего внутреннего функционирования в определенный интервал времени.

Рассмотрим особенности описания системы A_L , которая осуществляется также в терминологии УИМ [2, стр.325], где основным блоком является элементарный блок – переключатель связей [2, с. 292], обозначающим его ПС.

Суть ПС состоит в том, чтобы в определенный заданный момент времени \tilde{t}_ψ образовать определенные связи между какой-то группой объектов \tilde{A}_Δ из \tilde{A} . Эти связи действуют некоторый интервал времени $\Delta\tilde{t}_\psi$, на протяжении которого они остаются неизменными. На этот период времени группа объектов из \tilde{A}_Δ становится обыкновенной закрытой системой, и ее имитационное моделирование полностью соответствует подходу [2].

По истечении интервала времени $\Delta\tilde{t}_\psi$ может быть два исхода: совокупность связей сохраняется и не сохраняется. В первом случае сохраняется эквивалентность моделируемой группы объектов на период $\Delta\tilde{t}_{\psi+1}$, а во втором, для периода $\Delta\tilde{t}_{\psi+1}$, образуется новая группа с новой структурой связей и объектов \tilde{A}_Δ .

Система A_L состоит из блока ПС и совокупности других элементарных блоков, задающих необходимый алгоритм сопряжения объектов \tilde{A}_Δ . ПС представляет собой блок, фиксирующий координаты посылки определенных входных и выходных сигналов, т. е. блок, образующий на время $\Delta\tilde{t}_\psi$ определенную схему соединения группы, состоящей из объектов \tilde{A}_Δ . Формализуем в общем виде элементарный блок ПС. Пусть $x_i^{nc}(\tilde{t}_\psi)$ – входной сигнал и $y_i^{nc}(\tilde{t}_\psi)$ – выходной сигнал блока ПС. Обозначим через $s_p^{nc}(\tilde{t}_\psi)$ – состояния, а через $\alpha_p^{nc}(\tilde{t}_\psi)$ – параметры блока ПС, причем

$$x_i^{nc}(\tilde{t}_\psi) = (ПС; i, \pi_1^{nc}, \pi_2^{nc}, \dots, \pi_{i_{nc}}^{nc}; \tilde{t}_\psi),$$

$$y_i^{nc}(\tilde{t}_\psi) = (ПС; j, \varepsilon_1^{nc}, \varepsilon_2^{nc}, \dots, \varepsilon_{j_{nc}}^{nc}; \tilde{t}_\psi),$$

$$s_p^{nc}(\tilde{t}_\psi) = (ПС; s_1^{nc}; s_2^{nc}, \dots, s_p^{nc}; \alpha_1^{nc}, \alpha_2^{nc}, \dots, \alpha_p^{nc}; \tilde{t}_\psi),$$

где $\pi, \varepsilon, s, \alpha$ – характеристики входных и выходных сигналов, значений состояний и параметров соответственно.

Значения входных сигналов $x_i^{nc}(t)$ образуются в соответствии с заданным алгоритмом (способом) сопряжения группы объектов из \tilde{A} . Например, в простейшем случае π может принимать значение 0 или 1, а индекс при π означать номер варианта со-

пряжения (если $\pi_2^{nc}=1$, то принимается второй вариант сопряжения, если 0, то иной вариант). Вариант сопряжения задается матрицей сопряжения, которая представляет собой матрицу, состоящую из единиц и нулей, у которой строками являются множества входных сигналов \tilde{X} , а столбцами – множество выходных сигналов \tilde{Y} . Если элемент матрицы имеет значение 1, то налицо связь между соответствующим входом и выходом, если 0, то связь отсутствует. Конкретные значения матрицы сопряжения хранятся в A_L в форме определенных состояний $s_p^{nc}(\tilde{t}_\psi)$ или параметров $\alpha_p^{nc}(\tilde{t}_\psi)$. Таким образом, каждому значению характеристики входного сигнала π будет соответствовать определенное значение состояния блока A_L , т.е. определенное значение матрицы сопряжения $M_{p_{nc}}$. Значение состояния блока A_L через выходной сигнал y_i (например, через характеристику ε_2 – соответствующую состоянию $s_2^{nc}(\tilde{t}_\psi)$, т.е. матрице $M_{2_{nc}}(\tilde{t}_\psi)$ передается в соответствующую матрицу сопряжения УИМ [2, с.324]. Соединенная определенной матрицей связи упомянутая выше группа открытых систем на заданный период $\Delta\tilde{t}_\psi$ становится закрытой системой.

Функционирование этой системы осуществляется в соответствии с правилами, определенными для каждого объекта \tilde{A}_Δ на базе УИМ.

В общем случае будет иметь место множество возможных матриц сопряжения M , а для каждого интервала времени $\Delta\tilde{t}_\psi$ будет выбрана определенная матрица $M_{p_{nc}}(\Delta\tilde{t}_\psi)$.

Пример. На схеме 1 представлена группа ОС A_1, A_2, A_3, A_4 . Имеется также система управления A_L , схемой 2, пространством L , содержащем множества $\tilde{X}, \tilde{Y}, \tilde{S}, \tilde{\alpha}$ сигналов, состояний и параметров этих ОС, причем

$$\tilde{X} = (x_{11}, x_{21}, x_{31}, x_{41}); \tilde{Y} = (y_{11}, y_{21}, y_{31}, y_{41}).$$

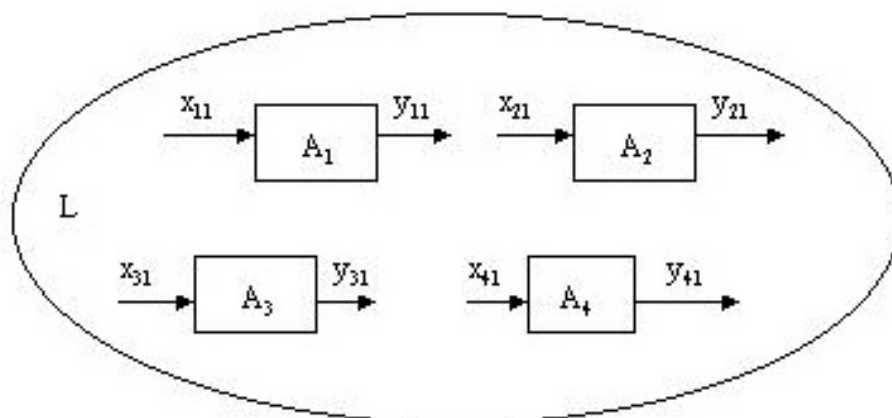


Схема 1. Группа ОС в пространстве L

Система A_L для данного примера состоит только из элементарного блока ПС. Предположим, что ПС содержит два варианта связей ОС изображенных на схеме 1.

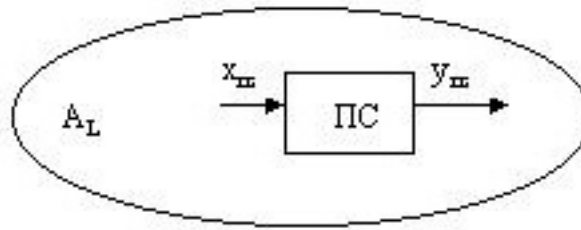


Схема 2. Пример системы управления пространством L

Входной сигнал $X_{ПС}$ поступает от генератора случайных чисел в форме

$$x_{nc} = (ПС; 2; \pi_1, \pi_2; \tilde{t}_\psi),$$

где π_1 и π_2 принимают значения 0 или 1, причем нули и единицы никогда вместе не появляются. Значение $\pi_1=1$ активизирует состояние ПС в форме $s_{nc}(\tilde{t}_\psi) = (ПС; s_1; \tilde{t}_\psi)$, а значение $\pi_1=2$ в форме $s_{nc}(\tilde{t}_\psi) = (ПС; s_2; \tilde{t}_\psi)$. Значения $s_1(\tilde{t}_\psi)$ и $s_2(\tilde{t}_\psi)$ представляют собой матрицы вида:

S ₁					S ₂				
	Y ₁₁	Y ₂₁	Y ₃₁	Y ₄₁		Y ₁₁	Y ₂₁	Y ₃₁	Y ₄₁
X ₁₁					X ₁₁				1
X ₂₁	1				X ₂₁			1	
X ₃₁		1			X ₃₁	1			
X ₄₁			1		X ₄₁		1	1	

Если, в соответствии с общей схемой функционирования УИМ, схема 3, например, в момент \tilde{t}_ψ приходит сигнал $x_{nc}(\tilde{t}_\psi) = (ПС; \pi_1 = 1, \pi_2 = 0; \tilde{t}_\psi)$, активизирующий состояние $s_1(\tilde{t}_\psi)$, то выходной сигнал вида

$$y_{nc}(\tilde{t}_\psi) = (ПС; \varepsilon_1, \tilde{t}_\psi)$$

передает матрицу s_1 через диспетчер УИМ в матрицу сопряжения, которая принимает значение s_1 . Если в момент $\tilde{t}_{\psi+1}$ имеет место входной сигнал $x_{nc}(\tilde{t}_{\psi+1}) = (ПС; \pi_1 = 0, \pi_2 = 1; \tilde{t}_{\psi+1})$, то по аналогии от выходного сигнала $y_{nc}(\tilde{t}_{\psi+1}) = (ПС; \varepsilon_2, \tilde{t}_{\psi+1})$ меняется значение матрицы сопряжения на $s_2(\tilde{t}_{\psi+1})$.

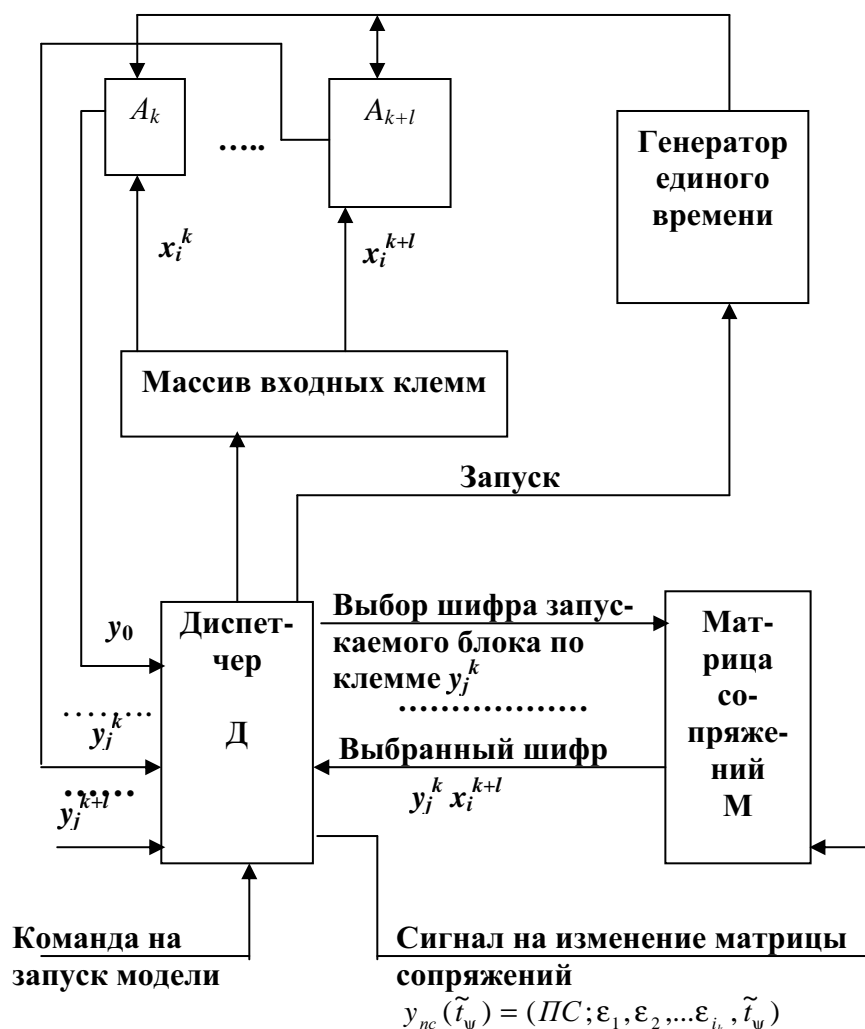


Схема 3. Общая схема функционирования УИМ

На схеме 3 показана общая схема функционирования УИМ [2, стр.324], обеспечивающая имитационное моделирование закрытых и открытых систем. Предлагаемый подход позволяет в рамках УИМ осуществлять моделирование ЗС и ОС, причем в рамках моделирования ЗС можно вводить в последние элементы открытости внутри самой ЗС, тем самым допуская вольности, непозволительные для обычных имитационных и аналитических моделей.

Следует заметить, что данный подход к имитационному моделированию ОС предполагает использовать универсальную имитационную модель (УИМ), однако это не исключает реализацию данного подхода в рамках частных имитационных моделей.

Дальнейшим развитием предложенного способа имитационного моделирования ОС и ЗС является введение передаточных функций элементарных блоков и в целом передаточной функции имитационной модели. Естественно, что речь идет не о традиционных формах передаточных функций систем автоматического регулирования. Это позволило бы решать задачи построения имитационных моделей с автоматическим воспроизведением структуры моделируемого объекта, а также создания имитационных моделей, обладающих функцией самосовершенствования.

Литература

1. **Кобелев Н. Б.** Универсальная имитационная модель для сложных систем//Первая Всероссийская научно-практическая конференция ИММОД-2003. Сб. статей. – СПб., 2003.
2. **Кобелев Н. Б.** Основы имитационного моделирования сложных экономических систем. –М.: Дело, 2003.
3. **Кобелев Н. Б.** К вопросу создания универсальной имитационной модели//Моделирование финансово-экономических процессов. Сб. научных статей. –М.: РИО, ВЗФИ, 2005.