

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПОНЕНТОВ МЕТОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОБУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ СРЕДСТВ ИКТ

Е.Н. Надеждин

Успех модернизации системы высшего профессионального образования в условиях информационного общества в значительной степени определяется уровнем освоения и внедрения в образовательный процесс средств информационных и коммуникационных технологий (ИКТ). Вместе с тем, по-прежнему открытыми остаются вопросы исследования эффективности включения элементов ИКТ в состав компонентов методических систем обучения (МСО).

Целью настоящей статьи является анализ и обобщение накопленного опыта применения методов имитационного моделирования технологических процессов в задачах количественной оценки и прогнозирования показателей эффективности новых педагогических технологий, функционирующих на основе средств ИКТ.

Проблемы использования формализованного подхода в управлении образовательным процессом образовательных учреждений нашли отражение в современной педагогической литературе. Выделим два направления таких исследований. Одно направление связано с построением информационных моделей процесса обучения с позиции теории управления и получило развитие в работах С.И. Архангельского, А.И. Берга, В.М. Глушкова, Н.Ф.Талызиной, И.Д. Рудинского. Отметим также работы П.Я. Гальперина, В.П. Зинченко, В.М. Казакевича, Н.А. Менчинской, В.Д. Шадрикова, А. Дреера, П. Линдсея, Т.В. Ежовой, в которых внимание концентрируется на сущности реализуемых в образовательных системах информационных процессов. Математическое моделирование (модели предметных областей, модели изучения материала, модели обучения, модели обучаемого) позволяет реализовать комплексный

подход к решению проблемы оптимального управления процессом обучения на базе кибернетических и педагогических принципов.

Другое направление исследований связано с разработкой и применением методов формализации и моделирования для описания компонентов МСО, дающих возможность диагностирования и идентификации ее отдельных компонентов (В.П. Беспалько, Г.А. Сатаров, В.П. Симонов, А.Н. Казаков, Б.Л. Агранович), оптимизации понятийной и логической структуры учебного процесса (А.А. Овчинников, И.Б. Моргунов, А.В. Никитин, А.В. Нетушил, В.П. Власов, В.И. Карпов, Е.А. Леонова, И.И. Логвинов, Т.А. Кувалдина, А.Г. Шмелев, Н.И. Пак, Е.К. Хеннер), а также с созданием и применением методик и программного обеспечения для обработки данных мониторинга состояния результатов обучения (М.И. Грабарь, К.А. Краснянская, А.В. Левин, Л.М. Фридман, Д.М. Полев, А.А. Рузаков, С.Ю. Ведяева, И.Д. Рудинский и др.).

Указанная градация направлений исследования целостного образовательного процесса в техническом вузе носит в известной степени условный характер. Выбор методов формализации и моделирования зависит от многих объективных и субъективных факторов и, в первую очередь, определяется спецификой объекта исследования и моделью решаемой задачи.

Рассмотрим формулировку задачи комплексной оценки эффективности дидактической системы обучения с позиции кибернетического подхода.

Предположим, что модель дидактической системы представляет собой динамическую систему (ДС) с заданной структурой и переменными параметрами. Стабильность и устойчивость структуры ДС обусловлены используемой технологией обучения. Переменные параметры количественно отражают существенные свойства компонентов дидактической системы, прямых и обратных связей между ними. В общем случае параметры являются случайными величинами с известными законами распределения.

Как известно, качество функционирования любой сложной системы можно оценить с помощью нескольких показателей. Применительно к дидактическим системам расчет показателей качества не всегда является однозначным. Поэтому более предпочтительным является определение

количественного обобщенного показателя, характеризующего затраты (потери) ресурсов в дидактической системе в процессе обеспечения заданного уровня качества обучения. В этом случае показатель эффективности может иметь ясный физический смысл, например, эквивалентные потери времени, суммарные материальные затраты на обучение, суммарный расход информационных или интеллектуальных ресурсов.

Основное назначение критерия оптимальности – численно оценивать качества системы и успешность выполнения ею поставленной задачи управления. Выбор критерия оптимальности ДС зависит от характера решаемой задачи, статистических сведений о входных сигналах и изменяемых параметрах и представляет собой неформальную процедуру. Среди известных требований к критерию оптимальности выделим: а) четкую физическую интерпретацию и соответствие поставленной задаче управления; б) относительную простоту формализации; в) представительность на заданном множестве вариантов решения задачи.

В качестве общего критерия оптимальности ДС можно принять минимум математического ожидания некоторой функции потерь (функции стоимости) $\theta(Y, Y_h)$. Смысл этого понятия заключается в том, что качество системы оценивается величиной некоторых потерь (стоимости) при выполнении поставленной конечной задачи управления. Чем меньше величина этих потерь $\theta(Y, Y_h)$, тем выше качество ДС.

Функция потерь $\theta(Y, Y_h)$ при конкретных значениях выходных сигналов (координат) Y и Y_h имеет конкретное значение и служит непосредственной мерой качества функционирования системы. Когда требуемый сигнал (показатель) Y_h имеет конкретное фиксированное значение y_h , а реальный выходной сигнал (показатель) – Y представляет собой случайный процесс, функция потерь $\theta(Y, Y_h)$ является случайной. Качество ДС в этом случае оценивается в среднем по всем возможным реализациям сигнала Y , соответствующим данной реализации требуемого сигнала $Y_h = y_h$, т.е.

оценивается условным математическим ожиданием функции потерь $\theta(y_h, Y)$ при $Y_h = y_h$:

$$r(y_h, A) = M[\theta/y_h] = \int_{\Omega(y)} \theta(y_h, y) \cdot f(y/y_h) \cdot dy$$

где A – оператор системы; $\Omega(y)$ – область возможных значений сигнала Y ; $f(y/y_h)$ – условная плотность вероятности сигнала Y относительно сигнала Y_h . Величину $r(y_h, A)$ называют условным риском, который зависит от данной реализации сигнала Y_h и оператора A системы (через сигнал Y).

В общем случае, когда сигналы Y_h и Y – случайные процессы, качество системы оценивается в среднем по всем возможным реализациям этих сигналов, т.е. безусловным математическим ожиданием функции потерь

$$R(A) = M[\theta(Y_h, Y)] = \int_{\Omega(y_h, y)} \theta(y_h, y) \cdot f(y_h) \cdot f(y/y_h) \cdot d\Omega$$

где $\Omega(y_h, y)$ – область всех возможных значений сигналов Y_h и Y ; $d\Omega$ – ее бесконечно малый элемент.

Следуя рекомендациям теории статистических решений, величину $R(A)$ назовем средним риском системы, а оператор A системы или, в общем случае, ее алгоритм – стратегией системы. Критерий минимума математического ожидания функции потерь является критерием минимума среднего риска.

Сформулируем задачу оптимизации параметров системы, имеющей фиксированную структуру. Пусть зависимость выбранного критерия оптимальности Q от параметров системы a_1, \dots, a_n определена в виде: $Q = Q(a_1, \dots, a_n)$. Предположим, что параметры системы представляют собой случайные величины с известными законами распределения. В этом случае критерий Q является функцией случайных аргументов. Тогда для оценки качества системы пользуются усредненным значением критерия Q по множеству возможных значений случайных параметров системы:

$$M[Q] = \bar{Q} = \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} Q(a_1, \dots, a_n) \cdot f(a_1, \dots, a_n) \cdot da_1, \dots, da_n$$

где $f(a_1, \dots, a_n)$ – совместная плотность вероятности случайных параметров A_1, \dots, A_n системы.

При статистически независимых параметрах системы в последней формуле совместная плотность вероятности выражается произведением $Q = f(a_1, \dots, a_n) = f_1(a_1) \cdot \dots \cdot f_n(a_n)$, где $f_v(a_v)$ – плотность вероятности случайного параметра A_v , $v = 1, \dots, n$.

Критерий оптимальности с учетом указанного дополнения будем называть усредненным или полным критерием оптимальности.

Задача определения оптимальных параметров системы по полному критерию оптимальности означает определение таких значений статистических параметров (характеристик) законов распределения случайных параметров системы, при которых этот критерий имеет экстремальное значение.

Методика решения задачи заключается в следующем. Принимая, что входные случайные сигналы и случайные параметры системы статистически независимы, находят зависимость выбранного первичного критерия Q от искомых параметров при условии, что случайные параметры имеют заданные, фиксированные значения (например, номинальные расчетные значения). Зная закон распределения случайных параметров системы (например, распределение случайных отклонений от расчетных значений), определяют зависимость полного критерия оптимальности от статистических параметров α_μ , $\mu = 1, \dots, m$, этих законов распределения $\bar{Q} = \bar{Q}(\alpha_1, \dots, \alpha_\mu)$. Далее решается классическая задача на экстремум функции путем приравнивания нулю частных производных функции по статистическим параметрам α_μ :

$$\frac{\partial \bar{Q}}{\partial \alpha_\mu} = 0, \quad \mu = 1, \dots, m$$

В результате решения системы уравнений определяются искомые значения оптимальных статистических параметров законов распределения случайных параметров системы, обеспечивающей экстремум полного критерия оптимальности.

Таким образом, оценка качества дидактической системы может быть сведена к формулировке и решению задачи статистического анализа ДС с вычислением интегрального функционала потерь. Учитывая, что число параметров, характеризующих свойства компонентов и связей в дидактической системе $m \gg 1$, можно утверждать, что оцениваемый показатель будет представлять собой кратный интеграл специального вида. Для расчета интегрального функционала необходимо использовать численные методы интегрирования.

Постановка задачи кратного численного интегрирования имеет следующий вид: пусть нужно вычислить интеграл вида $\int_D f(x) \cdot dx$, где D – область в n -мерном евклидовом пространстве, $x = (x_1, \dots, x_n)$ – точка этого пространства, dx – элементарный объем.

Задача приближенного вычисления кратного интеграла и оценки показателя эффективности дидактической системы решается на основе численных методов кратного интегрирования.

Ключевым вопросом в рассмотренном алгоритме исследования дидактической системы является вопрос идентификации аналитической модели $Q = Q(a_1, \dots, a_n)$. В силу известных особенностей процесса обучения как объекта исследования получение его математического описания в замкнутой форме, как правило, затруднительно.

В результате сравнительного анализа известных математических схем, на основе которых можно построить математически корректную имитационную модель процесса обучения, нами выделены три базовые схемы, реализующие: а) непрерывно-стохастический подход (многофазные системы массового обслуживания), б) дискретно-стохастический подход (стохастические автоматы), в) гибридный сетевой подход (модифицированные временные сети /стохастические сети/ Петри с элементами нечеткой логики).

В качестве основной формальной модели исследуемого объекта – будем рассматривать аппарат модифицированных временных сетей (МВС) Петри. Отличительной особенностью МВС Петри является проблемная ориентация на

задачи моделирования и оценки операционных характеристик дискретных потоковых систем с гибкой логикой функционирования. Следуя новой парадигме образования профессиональную подготовку можно представить как процесс активного приобретения знаний и формирования профессиональных компетенций у обучаемых, который по своей сущности близок к дискретным потоковым процессам. Это обстоятельство дает основание применить аппарат МВС Петри к задачам имитационного моделирования дидактических систем в условиях технического вуза.

Определим модифицированную временную сеть Петри как набор вида:

$$N = \langle P, T, F, M_0, E, Q, R \rangle. \quad (1)$$

Здесь $\langle P, T, F, M_0 \rangle$ базовая сеть Петри, где P – непустое множество элементов сети – позиций; T – непустое множество элементов сети – переходов; F – матрица инциденций; $P \times T \cup T \times P$ – отношение инцидентности; $M_0: P \rightarrow \{0, 1, 2, \dots\}$ – начальная разметка сети; $E: F \rightarrow \{0, 1\}$ – функция, задающая вес дуг сети, причем вес дуги определяет ее тип; Q – множество описаний позиций сети; $R: T \rightarrow \{0, 1, 2, \dots\}$ – функция, задающая приоритеты переходов сети.

Каждой позиции $p_i \in P$, $i \in I$ соответствует элемент $q_i \in Q$ представляющий собой набор вида: $q_i = \langle c_i, \varphi_i, \psi_i \rangle$, где c_i – константа, определяющая цвет позиции p_i ; φ_i – описатель времени блокировки (задержки) маркеров в позиции p_i ; ψ_i – описатель исходов блокировки маркеров в позиции p_i .

Описатель φ_i представляется в одном из двух вариантов: в виде функции распределения или в виде константы, задающих требуемую длительность блокировки маркеров в позиции p_i . Описатель ψ_i представляется в одном из трех вариантов: в виде некоторой константы, задающей исход блокировки маркеров в позиции p_i , в виде функции распределения возможных значений этого исхода или явно не задан. При этом под исходом блокировки маркера в той или иной позиции понимается один из переходов сети, для которого (и только для него) может быть доступен данный маркер. Будем также считать,

если описатель ψ_i в описании позиции p_i не задан, то исход блокировки любого маркера в данной позиции имеет «неопределенное» значение.

Каждый маркер МВС Петри будем характеризовать набором служебных параметров $\pi = \langle \pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5 \rangle$ где π_1 момент генерации маркера в сети; π_2 момент поступления маркера в позицию, в которой он находится в текущий момент времени; π_3 требуемая длительность блокировки маркера в позиции, в которой он находится в текущий момент времени; π_4 параметр, используемый для фиксации интервала времени, оставшегося до окончания требуемой длительности блокировки маркера в позиции, в которой он находится, в случае прерывания этой блокировки; π_5 параметр, значение которого определяет исход блокировки маркера в позиции, в которой он находится в текущий момент времени.

Для иллюстрации предложенного подхода рассмотрена задача формализации процесса выполнения студентами факультета технической кибернетики Тульского государственного университета курсовых проектов по дисциплине «Проектирование информационных систем». Показано, что имитационная модель, использующая аппарат МВС Петри, обладает наибольшей наглядностью и гибкостью в вопросах отражения творческой составляющей процесса проектирования и описания механизма взаимодействия обучаемого с научным руководителем. При этом обеспечивается высокая разрешающая способность модели относительно определения оценок показателей эффективности проектирования. Имитационные модели процесса курсового проектирования, синтезированные на основе аппарата управляемых марковских цепей, стохастических автоматов и систем массового обслуживания, обладают рядом существенных недостатков, которые затрудняют их практическое применение в педагогических исследованиях.

Таким образом, в результате исследования установлено, что современная теория управления, системный анализ и теория моделирования сложных систем создают теоретическую основу для формального представления отдельных компонентов образовательного процесса вуза. Однако получение моделей целостного процесса обучения в замкнутой форме в настоящее время

затруднительно ввиду сложности объекта исследования и высокого уровня неопределенности педагогических ситуаций. Особую актуальность приобретают задачи адекватного описания системы «Учитель – средство ИКТ – ученик». Остаются плохо изученными нелинейные механизмы формирования профессиональных умений и навыков на основе новых педагогических технологий, функционирующих на базе средств ИКТ.

Можно констатировать, что существующие математические схемы в полной мере не отвечают задачам статистической оценки и прогнозирования эффективности компонентов МСО специальным дисциплинам технического вуза. Представляется перспективным комплексный подход к имитационному моделированию, который рационально сочетает сетевое представление образовательного процесса и формальное описание педагогических ситуаций с помощью аппарата нечеткой логики. Создание пакета прикладных программ, реализующего формализм модифицированных временных сетей Петри, позволит расширить круг прикладных задач, связанных с построением имитационных моделей и статистической оценкой эффективности внедрения в образовательный процесс технического вуза новых педагогических технологий.