

А. В. Затылкин, В. Б. Алмаметов, И. И. Кочегаров

## МЕТОД СВЯЗАННЫХ СИСТЕМ В МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА ОБУЧЕНИЯ\*

*Аннотация.* Проведен анализ основных подходов и методов построения моделей программных систем. Предложен новый метод связанных систем на основе теории цветных сетей Петри, отличающийся наглядностью, меньшими размерами моделей для обширных систем. Показан пример проектирования связанных систем на основе предложенного метода.

*Ключевые слова:* сети Петри, моделирование систем, метод связанных систем, коммуникация, обучение.

*Abstract.* In given article is organized analysis main approach and methods of the building of the models of the programme systems. The new method of the bounded systems is Offered on base of the theories of the colour Petri net, differring clarity, smaller size of the models for extensive systems. It Is Shown example of the designing the bounded systems on base of the offered method.

*Keywords:* Petri nets, modeling of the systems, the method of the bounded systems, communication, education.

### Введение

В настоящее время использование средств E-learning при подготовке специалистов высокого класса стало нормой. Актуальность E-learning выражается не только в организации курсов дистанционного обучения (ДО), но и при подготовке таких ответственных специалистов, как операторы АЭС, пилоты гражданской и военной авиации, космонавты и т.д.

Развитие современных информационных и коммуникационных технологий привело к тому, что E-learning стали большими, сложными системами (по структуре, управлению, потокам информации). Например, комплексная интеллектуальная компьютерная обучающая система (ИКОС) «МОСКиТ» [1] объединяет в себе мультимедиасредства, системы инженерных расчетов и моделирования и аппаратные средства.

При проектировании сложных систем необходимо уделить внимание таким понятиям, как синтаксис и семантика, возможность симуляции работы системы, возможность верификации корректности построенной модели и т.д. Для этого следует определиться с методом построения моделей программных систем.

### 1. Анализ основных методов построения моделей программных систем

В практике построения моделей программных систем применяются графические и формальные методы.

К графическим методам относятся DFD, IDEF-SADT, EPC, UML и т.д. Для представления модели программной системы они используют диаграм-

---

\* Статья подготовлена в рамках реализации проекта «Разработка интеллектуальной системы управления сложным программно-аппаратным комплексом на основе теории межсистемного взаимодействия» (НК-682П/23) ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России (2009–2013 гг.)».

мы. Большинство данных методов стандартизовано, имеет большую историю развития и применения [2]. Более подробно графические методы, их сравнение друг с другом и разработанное на их основе программное обеспечение рассматриваются в работе [3].

Достоинствами графических методов являются простота и наглядность моделей для пользователя, стандартизация методов, их связь с моделированием бизнес-процессов. Недостатками графического подхода можно назвать слабую формализацию методов (EPC, UML), смешение последовательности связей (DFD, IDEF-SADT). Поэтому наибольший интерес для моделирования процесса обучения представляют методы формального подхода, которые строго определены, имеют четкий синтаксис и семантику. Это позволяет проводить доказательства различных свойств системы на основе математических свойств используемых абстракций.

Основанная на языке диаграмм английской логика Джона Венна **теория множеств** содержит в себе мощный математический аппарат, включающий понятия сравнения множеств, подмножества и надмножества, операции над множествами (объединение, пересечение, разность, симметрическая разность, дополнение, декартово произведение). Кроме этого, введены понятия мощности множества и отношения множеств.

*Достоинства:* простая для понимания и наглядная математическая абстракция, четкий синтаксис и семантика. *Недостатки:* сложность представления взаимосвязей, необходимость использования теории множеств в совокупности с другими методами для моделирования структуры системы.

**Теория графов.** Хотя основные понятия теории графов получили свое развитие задолго до появления теории множеств как самостоятельной научной дисциплины, формальное определение графа удобно представить в теоретико-множественных терминах. Графом называется совокупность двух множеств: множества точек (вершин) и множества соединяющих их линий (ребер).

В теории графов разработаны методы анализа отдельных классов графов. Одним из методов, который может быть применен для построения структуры системы, является алгоритм решения задачи о кратчайшем пути, которая сводится к нахождению минимальных путей во взвешенном графе от одной вершины до всех остальных. Известны различные реализации алгоритма решения этой задачи: волновой алгоритм, алгоритм Дейкстры, алгоритм Беллмана – Форда, алгоритм Флойда и др. Существуют работы по синтезу структур программных и аппаратных систем на основе алгоритма решения задачи о кратчайших путях [4]. С помощью этого алгоритма производится построение оптимальной структуры системы на основе данных о характеристиках ее составных частей.

*Достоинства:* наглядное представление элементов системы и связей между ними, четкий синтаксис и семантика. *Недостатки:* отсутствие возможности отображения динамики системы, акцентирование внимания на понятии состояний.

**Конечный автомат** представляет собой математическую абстракцию, позволяющую описывать пути изменения состояния объекта в зависимости от его текущего состояния и входных данных при условии, что общее возможное количество состояний конечно.

Конечные автоматы, как и теория графов, основаны на понятии состояний, поэтому они также являются менее наглядным способом представления

системы, чем формализмы, использующие функциональный подход и основанные на понятии процесса.

*Достоинства:* наглядное представление элементов системы и связей между ними, четкий синтаксис и семантика. *Недостатки:* ограниченные возможности отображения динамики системы, акцентирование внимания на понятии состояний.

Отдельное направление в теории графов получило самостоятельное развитие в форме семантических сетей. Одним из методов, относящихся к классу семантических сетей, являются сети Петри [5].

**Сети Петри (СП)** – это математическая дисциплина, основанная на классической теории графов и являющаяся расширением теории конечных автоматов. В теории СП строго определены такие понятия, как состояния, условия, переходы и т.п. Она включает также графическую нотацию (систему графических обозначений, с помощью которых можно изображать соответствующие графы). Эта область хорошо исследована математиками: установлены многие свойства СП, доказаны важные теоремы. На основе одного из вариантов СП (High-level Petri Nets) в настоящее время создается международный стандарт BS ISO/IEC 15909-1:2004.

Практическое использование теории СП в основном было связано с описанием поведения сложных систем, например элементов интегральных схем. Существует немало работ, которые используют СП для описания и исследования алгоритмов работы программных систем (например, [4, 5]), и, на наш взгляд, данный подход предлагает удобную формализацию системы с целью ее последующего моделирования.

*Достоинства:* предоставляют возможность математически строгого описания системы с разделением состояний и процессов (переходов). *Недостатки:* большой объем модели в случае моделирования сложных систем, сложность графической нотации.

Таким образом, можно подвести следующие итоги по формальному подходу. Достоинствами подхода являются четко определенный синтаксис и семантика, возможность симуляции работы системы, возможность верификации корректности построенной модели. Недостатками данных методов можно назвать сложность и слабую степень наглядности моделей, большой размер моделей для обширных систем и трудности с масштабируемостью таких моделей.

## 2. Метод связанных систем

Метод связанных систем (МСС) является расширением теории цветных сетей Петри (ЦСП). Под связанными системами будем понимать набор из нескольких самостоятельных систем, оперирующих различными данными и взаимодействующих друг с другом посредством какого-либо процесса. Примером может служить процесс обучения, в котором участвуют обучаемый и ИКОС.

Рассмотрим процесс обучения с точки зрения теории коммуникации [6, 7]. Коммуникация, под которой в широком плане понимаются способы общения, позволяющие передавать и принимать разнообразную информацию, является объектом изучения многих наук – не только гуманитарных, но и точных. Каждая наука вычленяет из коммуникации как объекта исследования свой предмет изучения.

Технические дисциплины изучают возможности и способы передачи, обработки и хранения информации, создание специальных кодов – систем определенных символов и правил, при помощи которых можно представить необходимую информацию [8, 9].

Рассмотрим процесс обучения как процесс коммуникации между обучаемым и системой обучения (рис. 1). Обучаемый здесь – объект обучения, ИКОС – субъект обучения, а взаимодействие между ними осуществляется через коммуникативную среду (КС), которую составляют учебная информация (УИ) и средства обучения (МУ) и средства обучения (мультимедийный интерфейс пользователя, органы управления тренажера и т.д.).

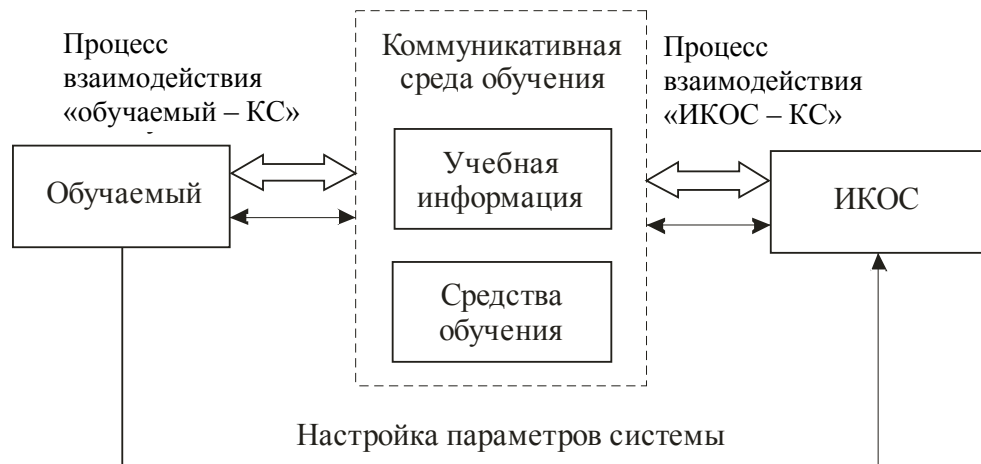


Рис. 1. Процесс обучения с точки зрения теории коммуникации

Таким образом, процесс обучения состоит из двух процессов:

1) процесс взаимодействия систем «ИКОС – КС», направленный на адаптацию коммуникативной среды (выбор актуальной учебной информации и соответствующего средства обучения), позволяющий обучаемому получить необходимые знания;

2) процесс взаимодействия систем «обучаемый – КС» – получение обучаемым новых знаний, умений, навыков.

Важно отметить то, что эти процессы работают в противофазе, т.е. в то время, когда обучаемый осуществляет какую-либо деятельность (например, ищет ответ на поставленный вопрос), ИКОС находится в режиме ожидания. И наоборот: в то время, когда ответ получен, ИКОС анализирует его, синтезирует новое управляющее воздействие, обучаемый ждет.

Кроме того, процессы «ИКОС – КС» и «обучаемый – КС», хотя и существуют параллельно, тем не менее их нельзя назвать параллельными в обычном понимании параллельных процессов, поскольку при рассмотрении проблемы организации параллельных вычислений различают следующие возможные режимы [10]:

– *многозадачный режим (режим разделения времени)*, при котором для выполнения процессов используется единственный процессор. Данный режим является псевдопараллельным, когда активным (исполняемым) может быть один единственный процесс, а все остальные процессы находятся в состоянии ожидания своей очереди на использование процессора;

– *параллельное выполнение*, когда в один и тот же момент времени может выполняться несколько команд обработки данных; данный режим вычислений может быть обеспечен не только при наличии нескольких процессоров;

– *распределенные вычисления*. Данный термин обычно используют для указания параллельной обработки данных, при которой используется несколько обрабатывающих устройств, достаточно удаленных друг от друга, и в которых передача данных по линиям связи приводит к существенным временным задержкам.

Эти режимы подразумевают организацию параллельной работы над *одними и теми же данными* разными способами. В рассматриваемой задаче при моделировании процесса взаимодействия систем «ИКОС – КС» в роли фишки выступает модель обучаемого, отражающая накопленные *статистические данные* об обучаемом. А при моделировании процесса взаимодействия систем «обучаемый – КС» в роли фишки используется тоже модель обучаемого, но она способна принимать те или иные решения, т.е. эти две фишки качественно отличны друг от друга.

Из сказанного следует вывод о том, что моделирование процесса обучения с помощью ИКОС следует проводить с помощью метода связанных систем [11].

Данный метод обладает всеми достоинствами методов формального подхода, поскольку основан на использовании СП, но выгодно отличается от них более высокой степенью наглядности моделей, меньшими размерами моделей для обширных систем, что в конечном итоге дает возможность более глубокого анализа каждой системы и связывающих их процессов.

### 3. Реализация метода связанных систем на основе ЦСП

Построим программную модель взаимодействия связанных систем, имитирующую учебный процесс, с помощью предложенного метода (рис. 2). Для этого выделим три уровня моделирования – по одному на каждую модель: уровень обучаемого, уровень экранных форм (ЭФ) и уровень управления обучением. Каждая модель реализована в виде ЦСП.

Формирование состояний модели КС на уровне экранных форм осуществляется на основе управления обучением ИКОС, формирование переходов в зависимости от действий обучаемого.

Цель моделирования поведения обучаемого заключается в определении возможности прохождения им всех тем предметной области. Для этого используется такое хорошо известное свойство СП, как *покрываемость*. При этом, если в качестве фишки использовать модели обучаемого, отражающие уровень его начальной подготовки, то можно проводить оптимизацию прохождения траектории обучения, меняя положение точки входа.

Важно отметить, что при проведении процесса обучения УИ должна выдаваться по известному принципу *от простого к сложному*. На уровне моделирования поведения обучаемого (рис. 2) это хорошо видно.

Моделирование на уровне экранных форм позволяет оценить временные возможности прохождения обучения. Идеально, если количество шагов от точки входа до точки выхода у обучаемого со средними способностями будет совпадать с количеством шагов обучаемого с высокими способностями.

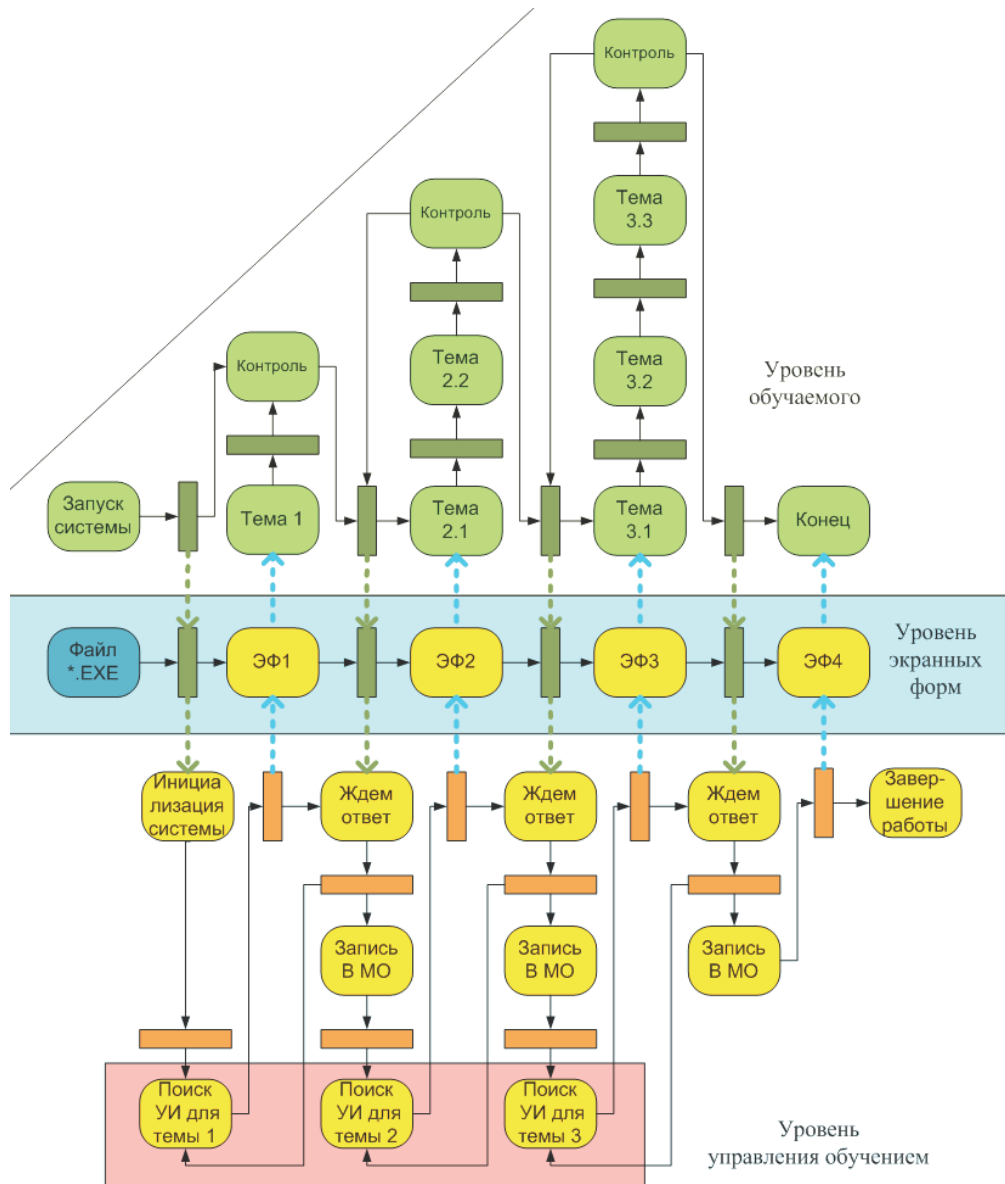


Рис. 2. Пример фрагмента ЦСП, выполненный по МСС

При моделировании поведения ИКОС важно сконцентрировать внимание на управляющих воздействиях, направленных на оптимальное выполнение перевода модели обучаемого из одного заданного состояния в другое, т.е. решение задачи кратчайшего пути перевода модели обучаемого из состояния «не знает» в состояний «знает».

### Заключение

Моделирование поведения систем на основе предложенного метода выгодно отличается более высокой степенью наглядности моделей (за счет выделения самостоятельных уровней моделирования), меньшими размерами

моделей для обширных систем (за счет выделения нескольких самостоятельных моделей), что в конечном итоге дает возможность более глубокого анализа каждой системы и связывающих их процессов.

### **Список литературы**

1. **Затылкин, А. В.** Методология формирования профессиональных навыков в ИКОС с внешним объектом изучения / В. Б. Алмаметов, А. В. Затылкин, С. В. Щербакова // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2009. – № 1 (9). – С. 48–54.
2. **Леоненков, А. В.** Самоучитель по UML / А. В. Леоненков. – СПб. : БХВ-Петербург, 2004. – 432 с.
3. **Буч, Г.** Язык UML. Руководство пользователя / Г. Буч, Дж. Рамбо, А. Якобсон. – М. : ДМК, 2001. – 432 с.
4. **Артамонов, Е. И.** Синтез структур специализированных средств машинной графики / Е. И. Артамонов, В. М. Хачумов. – М. : ИПУ РАН, 1991. – 248 с.
5. **Котов, В. Е.** Сети Петри / В. Е. Котов. – М. : Наука, 1984. – 160 с.
6. **Почепцов, Г. Г.** Теория коммуникации / Г. Г. Почепцов. – М. : Ваклер, 2003. – 656 с.
7. **Кашкин, В. Б.** Введение в теорию коммуникации / В. Б. Кашкин. – Воронеж. : ВГТУ, 2000. – 175 с.
8. **Шеннон, К. Э.** Работы по теории информации и кибернетики / К. Э. Шеннон. – М. : ИИЛ 1963. – 210 с.
9. **Винер, Н.** Информация, язык и общество / Н. Винер // Кибернетика. – М. : Наука, 1983. – С. 236–248.
10. **Гергель, В. П.** Многопроцессорные системы и параллельное программирование [Электронный ресурс] : учебная рабочая программа. – URL: <http://www.itlab.unn.ru/archive/lectures/parallel/program.html>.
11. **Юрков, Н. К.** Машинный интеллект и обучение человека : моногр. / Н. К. Юрков. – Пенза : Инф.-изд. центр ПензГУ, 2008. – 226 с.

---

**Затылкин Александр Валентинович**

инженер, кафедра конструирования и производства радиоаппаратуры, Пензенский государственный университет

E-mail: OldAleZ@yandex.ru

**Zatylnik Alexander Valentinovich**

Engineer, sub-department of radio equipment design and production, Penza State University

**Алмаметов Валерий Борисович**

кандидат технических наук, доцент, кафедра конструирования и производства радиоаппаратуры, Пензенский государственный университет

E-mail: AlVal@yandex.ru

**Almametov Valery Borisovich**

Candidate of engineering sciences, associate professor, sub-department of radio equipment design and production, Penza State University

**Кочегаров Игорь Иванович**

кандидат технических наук, доцент,  
кафедра конструирования  
и производства радиоаппаратуры,  
Пензенский государственный  
университет

E-mail: kipra@mail.ru

**Kochegarov Igor Ivanovich**

Candidate of engineering sciences,  
associate professor, sub-department  
of radio equipment design and production,  
Penza State University

---

УДК 368.3.068

**Затылкин, А. В.**

**Метод связанных систем в моделировании процесса обучения /**  
А. В. Затылкин, В. Б. Алмаметов, И. И. Кочегаров // Известия высших учеб-  
ных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2010. – № 4 (16). –  
С. 55–62.