

## РАСШИРЕНИЕ ПАРАДИГМЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИСКРЕТНЫХ ПРОЦЕССОВ

**Введение.** В настоящее время усилия многих ученых направлены на наращивание возможностей имитационного моделирования [1, 3, 4]. Симуляция динамики в предметных областях претерпевает серьезные изменения в направлении познания неизвестных свойств систем, явлений или сложных процессов, как известными методами, так и заранее неизвестными, запланировано или внезапно появляющимися уже в процессе конкретного познания (англ. *intelligency*).

Существуют различные системы для моделирования дискретных и дискретно-непрерывных процессов. Независимо от особенностей их реализации и предоставляемых возможностей в основе управления моделями в виртуальном времени лежат принципы, использующие транзакты, события и их взаимосвязи<sup>1</sup>. Соответственно, эти принципы являются определяющими в используемой общецелевой парадигме моделирования. Однако парадигма нуждается в расширении при моделировании в двух сферах деятельности, где модели имеют дело с финансовой динамикой:

- в управлении развитием комплексных объектов микро- и макроэкономики;
- в управлении процессами, связанными с предупреждением ЧС, их предотвращением, возникновением, развитием и ликвидацией последствий.

Дело в том, что вышеуказанные, очень разные по сути сферы, имеют общие черты: наличие инвестиционных процессов. В первом случае инвестиции нужны для экономического развития, во втором – для инвестирования безопасности. Причём при реализации сложных инвестиционных проектов понятие инвестор не может толковаться в деловых кругах как вкладчик, а инвестирование – это не только внесение вклада (инвестиционных сумм), но и ряд иных действий инвестора.

**Системное обоснование дополнительных требований.** Сущность инвестиционного процесса заключается в том, что *инвестор* (субъект инвестиций) и *объект инвестиций* находятся в тесной системной взаимосвязи (рис. 1). Инвестор не просто выдаёт денежные суммы или спонсирует "наудачу", рискуя ничего не получить.



Рис. 1. Инвестиционный процесс

Дело в том, что инвестор принимает активное участие в этом процессе, в том числе, и в борьбе с рисковыми явлениями, а свойства инвестора подвержены системным изменениям на протяжении этого процесса: они адаптируются к *инвестиционной системной среде*. Более подходящими к обсуждаемой тематике являются определения [6]:

*Инвестор* – субъект, ориентированный на изменение свойств объекта инвестиций, позволяющее при минимальных вложениях в этот объект восполнить дефицит необходимых для собственного развития ресурсов и изменить свои свойства в нужном для себя направлении.

*Инвестиционный процесс* – специфичный для определенной инвестиционной среды процесс приобщения инвестора к объекту инвестиций,

<sup>1</sup> Эти термины характерны для GPSS. В других системах терминология может отличаться (прим. авт.).

осуществляемый с целью получения управляемого инвестиционного дохода посредством инвестирования.

*Инвестиционная системная среда* – единичная или множественная сфера деятельности (внешняя среда), преимущественно определяющая специфику и предметное содержание инвестиционного процесса.

**Дополнительные требования к парадигме моделирования.** Рассмотрим минимум дополнительных возможностей симуляции.

**Требование 1.** Нужен формальный аппарат симуляции финансово-денежной динамики. Выполнение денежных проводок нельзя аппроксимировать как непрерывным процессом, который хотелось бы назвать "денежным потоком", так и потоком транзактов, по следующим причинам:

1. Проводка в момент времени  $t_0$  представляется дельта-функцией:

$$\delta(t-t_0) = \begin{cases} +\infty, & t = t_0, \\ 0, & t \neq t_0. \end{cases}$$

Первообразная дельта-функции является функция Хевисайда – т.е. "ступенькой":

$$\theta(t) = \int \delta(t-t_0) dt = \begin{cases} 0, & t < t_0, \\ 1/2, & t = t_0, \\ 0, & t > t_0. \end{cases}$$

А это свойство приводит к тому, что нельзя найти непрерывный аналог (например, типа функции, описывающей поток воды), с помощью которого можно было бы симулировать "денежный поток", который, на самом деле, потоком и не является.

2. Допустим, инвестор имеет средства для использования в инвестиционном проекте, которые с течением времени (например, по дням) описываются гипотетической функцией  $A(t)$ . Если, к примеру, он решил вложить деньги в момент  $t_0$ , то на счёт объекта инвестиций будет перечислена сумма

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t-t_0) \cdot A(t) dt = A(t_0).$$

Но, если инвестор перечисляет деньги несколькими траншами, например, в моменты времени  $t_0, t_1, \dots, t_n$ , и, если у него для этого достаточно средств, а источники траншей независимы  $A_0(t), A_2(t), \dots, A_n(t)$ , то в течение реализации инвестиционного проекта на счёт объекта инвестиций будет перечислена сумма

$$\sum_{i=0}^n A_i(t_i).$$

Перечисление средств со счёта на счёт (проводка) – это сложный дискретный процесс, логика которого не вписывается в общецелевую парадигму. Фактически, проводка – это ещё один динамический объект, сущность и логика которого сильно отличают его от транзакта. Моделирование перечисления денежной суммы или какой-то стоимости с одного счёта на другой требует конкретного действия в модели: ввода транзакта в какой-то блок или выполнения конкретного события в момент  $\tau_1$  виртуального времени. Однако это действие необязательно вызовет проводку этой суммы хотя бы по одной из двух причин:

– потому, что остаток средств на счете меньше требуемой суммы (в данном случае теоретически существует возможность придумать довольно сложный аппарат синхронизации);

– или, что ещё хуже, отрицательное сальдо существенно больше положительного (а в этом случае ситуация становится неразрешимой). Реально проводка может быть выполнена в момент  $\tau_2 \geq \tau_1$ . Причём в случае неравенства аппарат управления текущими, будущими и отложенными событиями не поможет определить  $\tau_2$ .

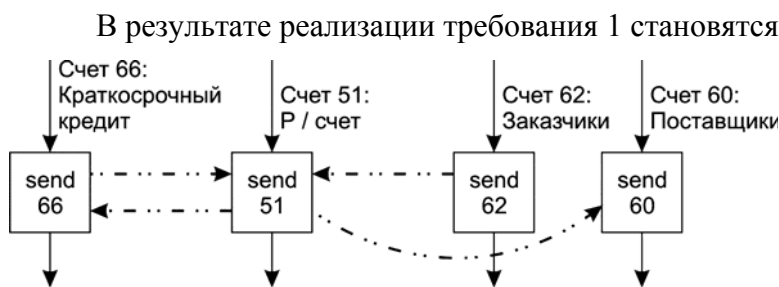


Рис. 2. Схема модели с двумя типами дуг

Условия прохождения транзактов определяются известным событийным аппаратом, а условия выполнения проводок –

формальным аппаратом симуляции бухучёта в моделирующей системе [7], причём модельер может не обладать специальными знаниями в этой области.

**Требование 2.** Необходима возможность трансформации состава и структуры модели. Экономические процессы в динамике не только меняют свои параметры, но и структуру, вплоть до изменения организационной структуры (разделение, объединение, создание холдинга и др.), потоков управления и механизмов привлечения и распределения ресурсов. Это явление называется реинжинирингом. Соответственно, модель должна иметь возможность в процессе моделирования изменять свою структуру, функции и количество блоков. В таких случаях структурный анализ модели должен существенным образом отличаться от классических графов с неизменной структурой, например, от блок-схемы GPSS-модели. Состав и структуру модели можно изменять, если в качестве главной динамической единицы будет выступать актор [8]. Для многих пользователей отличие актора от транзакта заключается только в названии. Однако внутренняя сущность у них различная:

- транзакт является структурой данных, переключаемой адресами-указателями от одного блока модели к другому;
- актор является агентной программой, "путешествующей" по блок-схеме модели, которая имеет возможность трансформировать как структуру модели, так и самоё себя. Разработка моделей-трансформеров связана с определенными сложностями. Существует несколько актуальных направлений применения таких моделей в экономике.

1. Главное направление: реинжиниринг, который может проводиться по разным причинам, в том числе в связи с необходимостью:

- повышения конкурентоспособности и выполнения конкурентных действий;
- управление рисками – планирование действий для предотвращения нежелательных (или опасных) событий и снижения вероятного ущерба.

Эффект таких мероприятий и действий оценивается с помощью моделей.

2. В деятельности сложных экономических структур возможно возникновение ситуаций, приводящих к нарушениям корректного функционирования этих структур (в том числе, к правонарушениям). Их проявление может быть настолько скрытым, что нарушение может обнаружиться через несколько лет или остаться незамеченным. Модели-трансформеры могут "проиграть" возможные ситуации, выявить те из них, в результате которых возникают нарушения, выполнить анализ эффективности защиты и возможных последствий.

3. Технически осуществимо создание моделей процессов трансформации территориально-государственных образований с целью обоснования целесообразности принятия политических решений или проведения межгосударственных мероприятий.

**Требование 3.** Модели должны предугадывать риски<sup>2</sup>. Риск, в соответствии с математической интерпретацией общего определения, – это нежелательное событие, имеющее два взаимно независимых параметра:

- вероятность его появления на заданном интервале времени;

<sup>2</sup> Классическое определение категории риска: «Возможность потерь в расчете на счастливый случай» [9].

– наносимый ущерб (в случае свершения этого события).

В настоящее время в экономике в рамках классической теории рисков [9] создаются методы управления рисками (как вероятностью, так и ущербом) [4, 5], эффективность которых проверяется на имитационных моделях. Развивается неоклассическая математическая теория рисков [2].

**Требование 4.** Необходим аппарат пространственной динамики. Задачи макроэкономики, некоторые микроэкономические, а также демографические и региональные задачи решаются с учетом взаимного географического расположения моделируемых процессов – с привязкой к географическим координатам (и картам), а иногда и с учетом того, что Земля круглая. Причём у модельера должны быть две возможности:

– генерация векторных карт в полуавтоматическом режиме с применением общедоступных средств Google Maps;

– выбор карты–основы, с которой желают работать пользователи (например, администрация региона), и на её базе формирование векторной карты–основы.



Рис. 3. Фрагмент растровой карты

основная погрешность содержится в карте–основе, изготовленной на предприятиях агентства по геодезии и картографии. Собственная внутренняя погрешность



Рис. 4. Фрагмент векторной карты

до 1 миллиметра.

**Некоторые результаты.** Предложенные выше 4 новые требования полностью реализованы в системе имитационного моделирования Actor Pilgrim 2012. Дело в том, что идеология системы Pilgrim практически полностью соответствует общецелевой парадигме GPSS. Это было главным условием при создании системы, поскольку накопленный за 50 лет научно-методический "багаж" по разработке GPSS-моделей в прямом смысле бесценен. Поэтому в интересах дела была обеспечена связь между системами по переводу GPSS-моделей в Pilgrim-модели. Ниже следует перечень практических разработок,

На рис. 4 показан очень небольшой фрагмент оцифрованной растровой карты масштаба 1:400 000 с координатной сеткой. Фрагмент соответствующей сгенерированной векторной карты, полностью привязанной к растровой, показан на рис. 5. Следует заметить, что точность привязки объектов по координатам не хуже 12 метров на реальной поверхности. Видно, что манипулирования с координатами и измерения расстояний в имитационных моделях не превышает 1 метр. В качестве основной географической проекции выбрана коническая развёртка поверхности Земли. В расчётных программах модели автоматически используется сферическая геометрия Красовского. Учитывается, что Земля – это не шар, а геоид, а также то, что у Земли два 2 радиуса, известные с точностью

выполненных с использованием акторного имитационного моделирования.

1. Модель управления клиринговыми процессами в кредитных организациях.
2. Модель управления портфелями ипотечных кредитов в условиях внезапных изменений кредитной политики.
3. Управление размещением предприятий сферы услуг на основе моделирования региональных факторов.
4. Модель управление процессами рефинансирования нефтяной подотрасли.
5. Модель оперативного управления временными экономическими образованиями (на примере временных образований, создаваемых при возникновении ЧС).
6. Моделирование процессов наступательных конкурентных действий.

В действительности, за последние десять лет таких разработок выполнено значительно больше.

#### **Выводы.**

1. Развитие методологии имитационного в направлении *intelligency* создает дополнительные области применения методов имитационного моделирования в социально-экономических и гуманитарных областях, где часто бывает трудно формализовать логику протекающих процессов или возникающих явлений.

2. Общецелевая парадигма имитационного моделирования получает дополнительные особенности в связи с появлением новых задач.

3. В настоящее время «Имитационное моделирование экономических процессов» является дисциплиной некоторых магистерских профессиональных образовательных программ направлений «Прикладная информатика» и «Бизнес-информатика». Однако вузы преподают эту дисциплину как электив. На большее у них нет возможностей.

#### **Литература**

1. **Национальное общество имитационного моделирования:** беседа с президентом Р.М. Юсуповым // Прикладная информатика, 2011, № 4 (34), с. 4-9.
2. **Галиц Л.** Финансовая инженерия: инструменты и способы управления финансовым риском. – М.: ТВП, 1998. – 576 с.
3. **Девятков В.В.** Мир имитационного моделирования: взгляд из России // Прикладная информатика, 2011, № 4 (34), с. 9-29.
4. **Емельянов А.А.** Имитационное моделирование в управлении рисками. – СПб.: Инжэкон, 2000. – 376 с.
5. **Емельянов А.А.** Лаг-генераторы для моделирования рискованных ситуаций в системе Astor Pilgrim // Прикладная информатика, 2011, № 5 (35), с. 98-117.
6. **Емельянов А.А., Власова Е.А., Емельянова Н.З., Прокимнов Н.Н.** Имитационное моделирование инвестиционных процессов // Прикладная информатика, 2012, № 2 (38), с. 5-11.
7. **Емельянов А.А., Власова Е.А., Дума Р.В.** Имитационное моделирование экономических процессов / Второе издание, под ред. А.А. Емельянова. – М.: Финансы и статистика, 2009. – 416 с.
8. **Емельянов А.А., Власова Е.А., Дума Р.В., Емельянова Н.З.** Компьютерная имитация экономических процессов / Под ред. А.А. Емельянова. – М.: Маркет ДС, 2009. – 464 с.
9. **Encyclopaedia Britannica.** – UK: London, 1974, 15 issue, 30 volumes (Британская энциклопедия, 15-е издание в 30 томах).