

**КОМПЛЕКС МУЛЬТИАГЕНТНЫХ МОДЕЛЕЙ  
АНАЛИЗА И УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ ВИРТУАЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ****Э.Б. Песиков, А.В. Дорогин (Санкт-Петербург)****Введение**

В связи с развитием информационно-сетевых технологий большой интерес представляет такая организационная структура, как виртуальное предприятие. Актуальной является проблема разработки и последующей программной реализации методов анализа и управления рисками виртуального предприятия. Рассматривается один из возможных подходов к управлению рисками, основанный на имитационном моделировании финансовых потоков виртуального предприятия с помощью метода Монте-Карло. Модель строится на основе агентного подхода с использованием программной среды Anylogic.

Функционирование виртуальных предприятий рассматривается на примере виртуального издательско-полиграфического предприятия. В работе рассмотрены следующие вопросы:

- построения, организации и управления виртуальным предприятием;
- построения имитационной мультиагентной модели виртуального предприятия;
- применения полученной модели для анализа и управления рисками стратегий виртуального предприятия на основе метода Монте-Карло.

Под управлением в работе понимается проведение антирисковых мероприятий, направленных на уменьшение потерь от возможных риск-факторов.

**Построение виртуального предприятия.** Виртуальное предприятие – предприятие, состоящее из сообщества географически разделенных экономических субъектов, которые взаимодействуют в процессе производства, используя преимущественно электронные средства коммуникаций [1].

Виртуальное предприятие формируется как распределенная сеть агентов, один из которых выполняет функции ядра сети (управляющего звена).

- В качестве агентов предприятия могут привлекаться такие компании, как:
  - студия по Web-дизайну (для создания сайта виртуального предприятия);
  - консалтинговая компания (для проведения маркетинговых исследований рынков печатной продукции);
  - рекламное агентство (для формирования и стимулирования спроса на издания);
  - компания по допечатной подготовке издания (дизайн и верстка, подготовка к печати);
  - типография (для печати тиража и реализации послепечатной стадии подготовки изданий);
  - логистическая компания (для доведения печатной продукции до потребителей) и различные частные лица (редакторы, авторы и пр.)

К наиболее важным задачам при проектировании виртуального предприятия можно отнести задачу оптимального подбора агентов, заключающуюся в выборе по заданному набору критериев из множества возможных кандидатов на роль агента одного, наиболее предпочтительного. Для оптимизации выбора кандидата на роль агента предлагается использовать метод анализа иерархий (МАИ), разработанный известным специалистом по исследованию операций Т. Саати. Результатом применения МАИ является проранжированный список возможных альтернатив (в данном случае кандидатов на роль агента) в порядке их предпочтительности [2].

**Оценка и управление риском виртуального предприятия.** Под рисками понимаются нежелательные события, которые могут существенно ухудшить те или иные сто-

роны проекта или даже привести к его срыву [3]. Для решения задачи количественного анализа рисков предлагается применять такой наиболее точный метод, как статистическое моделирование, учитывающее вероятностный характер риск-факторов и позволяющее не только оценивать, но и управлять рисками стратегий. Построение математической модели системы (набора выражений, связывающих выходные показатели функционирования системы с входными переменными через параметры системы) включает в себя:

- определение включаемых в модель входных и выходных переменных,
- выбор видов закона распределения, которому подчиняются случайные входные переменные,
- оценка числовых характеристик (параметров) выбранных законов распределения вероятностей,
- определение функциональной или вероятностной зависимости между переменными.

Как показано в работе [4], процесс создания виртуального предприятия можно рассматривать как инвестиционный проект, поэтому для анализа экономической эффективности стратегий предприятия предлагается использовать известные показатели эффективности инвестиций. Используя подход, рассмотренный в работе [4], на основе формулы расчета показателя чистого приведенного дохода строится математическая модель движения финансовых потоков предприятия:

$$NPV = \sum_{a=1}^N \sum_{t=0}^T \left\{ \frac{CF_{ta}}{(1+r)^t} + f_{RC_{ta}} * \frac{RC_{ta}}{(1+r)^t} \right\}, \quad (1)$$

где №PV – чистый приведенный доход,

$CF_{ta}$  – финансовый поток в момент времени ‘t’, связанный с агентом ‘a’,

$RC_{ta}$  – потери при реализации риск-фактора, связанного с агентом ‘a’ в момент времени ‘t’ (случайная величина, распределенная по нормальному закону с заданными параметрами распределения),

a – номер агента,

№ – количество агентов,

T – длительность проекта,

t – номер временного интервала,

$f_{RC_{ta}}$  – логическая переменная, соответствующая реализации риск-фактора, связанного с агентом ‘a’ в момент времени ‘t’ (принимает значение 1, если риск-фактор будет реализован с вероятностью  $p_{RC_{ta}}$ , и 0 – в противном случае),

r – ставка дисконтирования.

Для управления риском предлагается использовать модификацию модели (1) вида:

$$NPV = \sum_{a=1}^N \sum_{t=0}^T \left\{ \frac{CF_{ta}}{(1+r)^t} + (1 - m_a) f_{RC_{ta}} \frac{RC_{ta}}{(1+r)^t} + m_a \left[ \frac{MC_{ta}}{(1+r)^t} + f_{RC_{ta}} * \frac{mRC_{ta}}{(1+r)^t} \right] \right\}, \quad (2)$$

где  $m_a$  – логическая переменная, связанная с принятием решения об управлении риском (может принимать значение, равное 1, в случае принятия решения о проведении антирисковых мероприятий и значение, равное 0, – в противном случае),

$MC_{ta}$  – затраты на проведение антирисковых мероприятий,

$mRC_{ta}$  – потери при наступлении риск-фактора, связанного с агентом ‘a’ в момент времени ‘t’, при условии принятия решения об управлении риском (случайная величина, распределенная по нормальному закону).

Управление рисками заключается в идентификации и анализе рисков и выработке плановых мер по минимизации негативных последствий наступления рисков событий. Для каждого конкретного случая могут рассматриваться свои способы управления, на-

---

правленные как на минимизацию потерь в случае наступления риск-фактора, так и на минимизацию вероятности наступления риск-фактора [3].

**Обоснование выбора агентного моделирования для построения математического описания процесса функционирования виртуального предприятия.** В современном имитационном моделировании сформировались и наиболее широко применяются три основных подхода: модели системной динамики, дискретно-событийное моделирование и агентное моделирование.

В работе предлагается использовать парадигму агентного моделирования. Перспективы использования агентного подхода для задач анализа экономической эффективности и управления риском виртуального предприятия обусловлены преимуществами, которые он предоставляет для распределенных интеллектуальных бизнес-приложений: автономность агентов, индивидуальное поведение (от простых условий до логического вывода решений), возможность обучения и адаптации, координация их действий, децентрализованность системы и др. [5]. Для создания мультиагентной модели применялась система моделирования AnyLogic, созданная компанией XJTechnologies.

**Построение мультиагентной системы виртуального предприятия.** При формировании мультиагентного представления имитационной модели виртуального предприятия следует исходить из выделения элементов с индивидуальным поведением. Каждого из агентов-подрядчиков предлагается представлять соответствующим агентом (сущностью) с персональными характеристиками, определяющими его индивидуальное поведение и взаимодействие с агентом-ядром. Важно выделить характеристики, соответствующие случайным событиям: вероятность возникновения рискованного события, величина потерь при наступлении рискованного события.

В процессе функционирования модели агент-ядро, находясь в состоянии найма, формирует заявки на выполнение тех или иных работ. Каждый из агентов-подрядчиков характеризуется определенным набором параметров: список выполняемых работ, время их исполнения и характеристика качества их исполнения, а также параметры, связанные с рискованными событиями. Набор параметров формирует суммарную характеристику агента-подрядчика. По заявке, отправленной агентом-ядром, на основе суммарных характеристик формируется проранжированный список агентов. Верхний в полученном списке агентов нанимается ядром (фиксируется в состоянии нанят агентом-ядром), а агент-ядро переходит в состояние выполнения работы. За время выполнения работы может произойти рискованное событие, вероятность которого задана в характеристиках агента-подрядчика. В этом случае агент-ядро переходит в состояние принятия решения и рассчитываются возможные для данного рискованного события потери. Одним из вариантов развития рискованного события является прекращение дальнейших работ по проекту. В случае если этого не произошло, процесс формирования заявок на новые работы продолжается и модель проходит новый цикл найма агента-подрядчика.

Существует два варианта исполнения модели: без управления риском и с управлением. Агент-ядро имеет логический параметр управления, связанный с каждым агентом-подрядчиком. При включении этого параметра изменяются соответствующие управляемому риску параметры агентов-подрядчиков на величину соответствующую типу управления и параметр стоимости управления агента-ядра.

В процессе исполнения модели каждый нанятый агент-подрядчик формирует определенный денежный поток, учитываемый за отчетный период. В ядре формируется суммарный денежный поток, который можно использовать для расчета параметров эффективности исследуемого проекта, в том числе и используемого в математической модели задачи чистого приведенного потока.

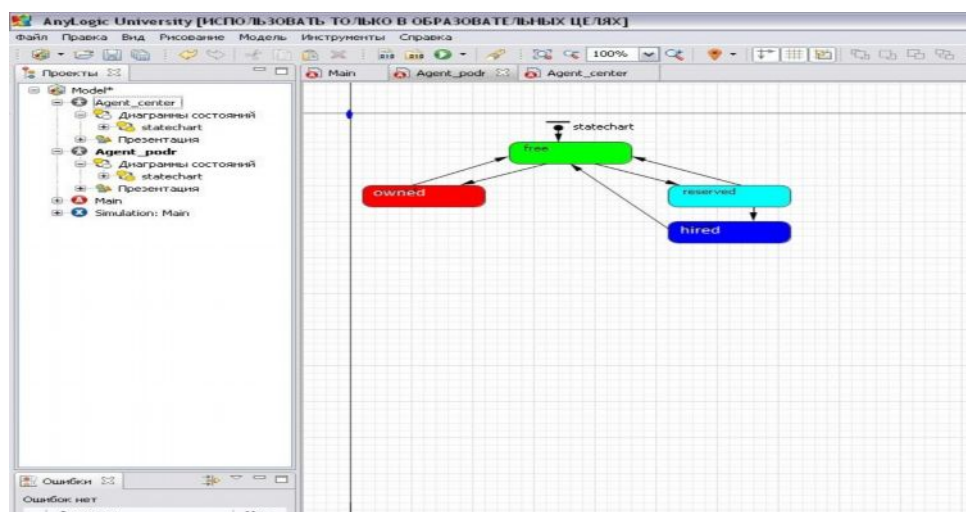


Рис. 1. Диаграмма состояний агента-подрядчика

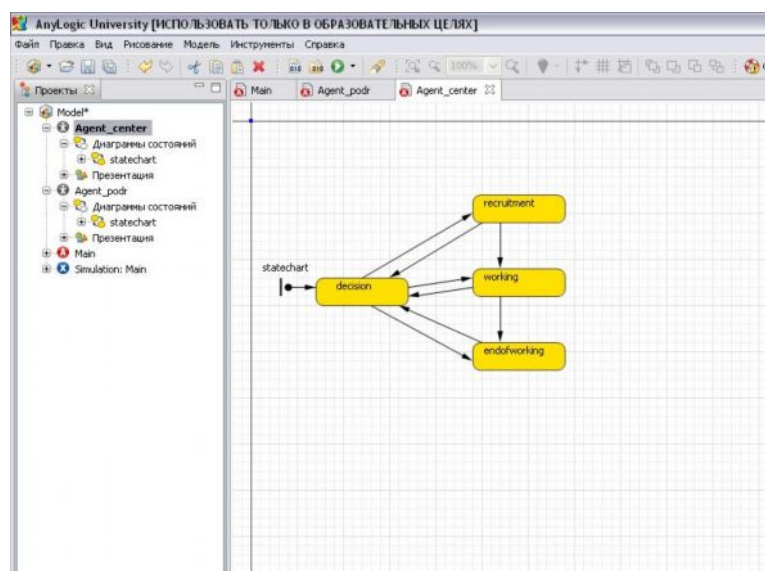


Рис. 2. Диаграмма состояний агента-ядра

Представляется возможным проводить на комплексе моделей различные эксперименты, учитывающие стохастический характер параметров исследуемого объекта (метод Монте-Карло). Полученные в результате проведения эксперимента значения параметров (математическое ожидание и среднее квадратичное отклонение) можно использовать для принятия решения о необходимости минимизации возможных рисков исследуемого виртуального предприятия.

**Анализ результатов вычислительных экспериментов.** Для проверки адекватности модели была поставлена и решена задача по оценке риска отказа агента-подрядчика от сотрудничества. Для выполнения проекта по изданию настольной игры виртуальному издательско-полиграфическому предприятию необходимо выполнить следующие работы:

- подготовка оригинального текста правил,
- оформление художественных материалов,
- дизайн и верстка оригинал-макета,

создание рекламно-информационного сайта,  
печать тиража,  
распространение продукции.

В модели используется 60 агентов-сущностей различного типа, выполняющих перечисленные работы. Агенты, выполняющие работы по художественному оформлению, характеризуются отличной от нуля вероятностью отказа от сотрудничества. При отсутствии управления, агент-ядро переходит в состояние «завершение работ» и не получает прибыли по проекту. При наличии управления агент-ядро переходит в состояние найма нового агента-подрядчика для выполнения той же работы. Были проведены эксперименты для обоих случаев. Анализ результатов показал предпочтительность для предприятия стратегии с управлением риском.

### **Заключение.**

В работе предложен комплекс имитационных моделей движения финансовых потоков виртуального предприятия, основанных на применении парадигмы агентного моделирования и метода Монте-Карло и позволяющих проводить оценку и управление рисками стратегии предприятия. Анализ результатов вычислительных экспериментов по реализации на ПК статистических моделей по оценке и управлению рисками решений виртуального предприятия подтверждает корректность предлагаемого в работе подхода.

Для повышения точности и адекватности предлагаемых моделей целесообразно:

- 1) решить задачу определения оптимального количества агентов-сущностей модели), являющихся альтернативами для выбора агента-подрядчика;
- 2) рассмотреть возможность совместного использования различных парадигм имитационного моделирования.

### **Литература**

1. **Вютрих Х.А., Филипп А.Ф.** Виртуализация как возможный путь развития управления // Проблемы теории и практики управления. – 1999. – № 5.
2. **Саати Т.** Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993.
3. Риск-анализ инвестиционного проекта / Под ред. М.В. Грачевой. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001.
4. **Песиков Э.Б.** Аналитический инструментарий оценки и управления рисками стратегии виртуального предприятия на основе статистического моделирования // 5-я всероссийская науч.-практ. конф. по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика», ИММОД-2011, тр. конференции, том 1. – СПб.: ЦТСС. 2011. – С. 239–243.
5. **Борщев А.** Практическое агентное моделирование и его место в арсенале аналитика // Exponenta PRO. – 2004. – № 3–4 (7–8). – С. 38–47.