

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СТАРЕНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Н. В. Романенко¹

В статье рассматривается имитационная модель прогнозирования изменения состояния технических систем с целью эффективного планирования работ по техническому обслуживанию и ремонту.

***Ключевые слова:** имитационное моделирование, агентная модель, старение технических систем*

В процессе комплексного решения задачи повышения эффективности функционирования технических систем особое значение приобретает управление старением системы – принятие решений о сроках и объемах ремонта, предугадывание потенциальных проблем, и их решение до того, как эти проблемы станут критическими, и хорошая координация работы проекта в целом.

Качественный прогноз изменения фактического состояния технической системы достижим только на основе адекватных математических моделей. Учитывая последние достижения в области математического и имитационного моделирования [1], формирование моделей сложных систем становится в настоящее время вполне реализуемой задачей.

Процесс моделирования включает в себя:

- отображение проблемы из реального мира в мир моделей (процесс абстракции);
- анализ и оптимизацию модели;
- нахождение решения;
- отображение решения обратно в реальный мир.

В литературе различается аналитическое и имитационное моделирование [2]. В аналитической модели выход функционально зависит от входа (набора параметров), и в этом смысле она – статическая; такую модель можно реализовать в виде электронных таблиц. Однако, к сожалению, аналитические решения не всегда существуют, а существующие не всегда просто найти.

В этом случае используется имитационное моделирование (ИМ, simulation modeling), которое в некоторых источниках называется динамическим. Имитационную модель можно рассматривать как множество правил (дифференциальных уравнений, карт состояний, автоматов, сетей и т.п.), которые определяют в какое состояние система перейдет в будущем из заданного текущего состояния. Имитация здесь – это процесс “выполнения” модели, проводящий её через (дискретные или непрерывные) изменения состояния во времени. В общем случае, для сложных проблем, где время и динамика важны, имитационное моделирование представляет собой более мощное средство анализа.

Успехи в развитии подходов и сред разработки имитационных моделей делают их практически безальтернативным путем поддержки принятия решений, касающихся сложных систем. Последним достижением в области компьютерного имитационного моделирования является агентное моделирование. Существует множество определений понятия агента и агентного подхода к моделированию. Общим во всех этих определениях является то, что агент – это некоторая сущность, которая обладает активностью, автономным поведением, может принимать решения в соответствии с некоторым набором правил, может взаимодействовать с окружением и другими агентами. Агентные модели

¹ © Романенко Н.В., аспирант Одесского национального морского университета

используются для исследования децентрализованных систем, динамика функционирования которых определяется не глобальными правилами и законами, а наоборот, эти глобальные правила и законы являются интегральным результатом индивидуальной активности множества агентов.

Агентный подход к имитационному моделированию уже с успехом опробован во многих областях знаний – например, в технике, социологии, экономике, экологии. Отражением результативности этого подхода является выделение в последние годы в составе различных общественных научных дисциплин самостоятельных направлений типа «вычислительная экономика» (computational economics), «вычислительная социология» (computational sociology) и т.п. [3].

В работе [4] с успехом предпринята попытка использования агентной модели для моделирования процесса распространения инфекционных заболеваний.

Целью настоящей статьи является разработка имитационной модели прогнозирования динамики изменения состояния технических систем с целью эффективного планирования затрат на обслуживание и ремонт.

Учитывая универсальность предложенного метода для широкого круга систем, рассмотрим агентную модель изменения состояния здоровья населения, что является полным аналогом процесса старения технических механизмов.

В предлагаемой модели, как и в большинстве других моделей такого типа вся популяция на моделируемой территории делится на группы. Обычно выделяют шесть состояний здоровья, в одном из которых находится каждый агент системы (рис. 1):

- 1 – практически здоров;
- 2 – трудоспособен;
- 3 – временно нетрудоспособен;
- 4 – хроническая болезнь;
- 5 – критическое состояние;
- 6 – выход (смерть, эмиграция и т.п.).

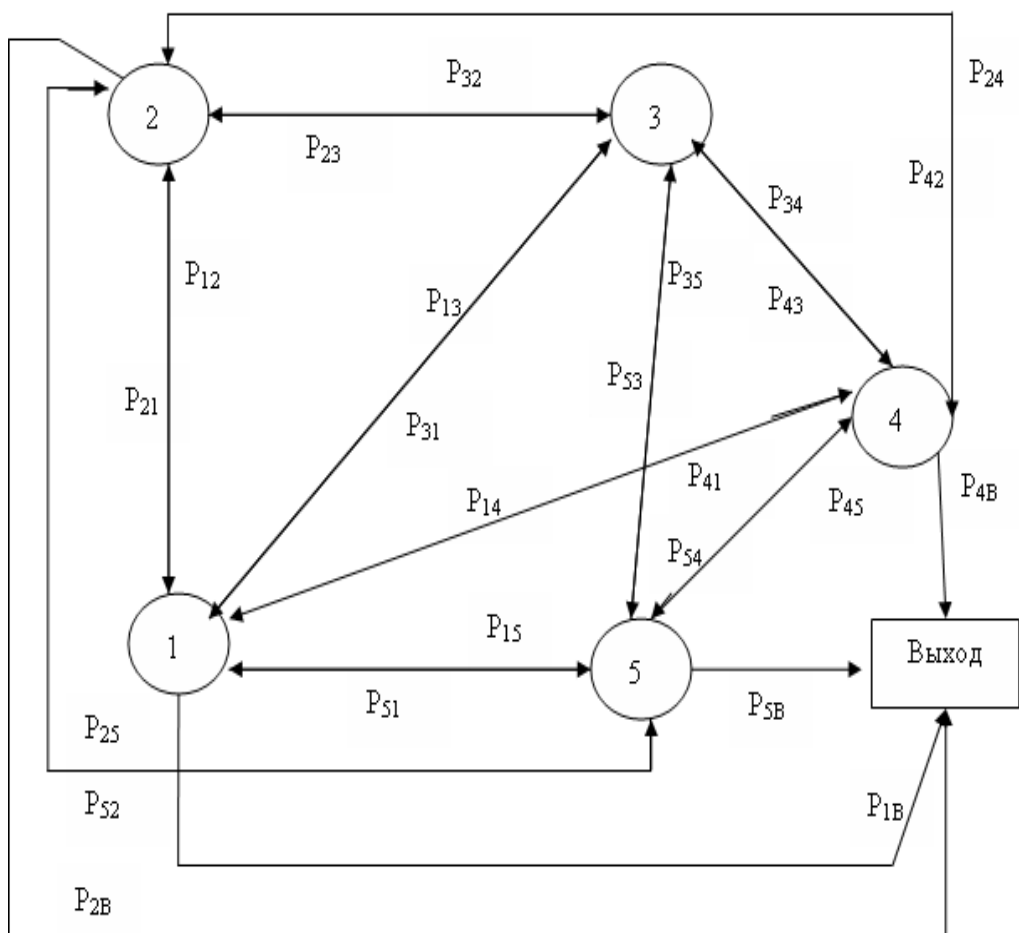


Рис. 1. Агентная модель системы здравоохранения

В текущий момент времени t каждый агент находится в одном из шести состояний с вероятностью PS , которая зависит от ряда факторов:

$$P_S = f(S_0; T; W_T; Z_T),$$

где S_0 – состояние здоровья агента на момент рождения (наличие наследственных патологий);

T – возраст индивиду на момент времени t ;

W_T – особенности внешней среды обитания индивида на протяжении жизни (экологическая обстановка, качество воды и продуктов питания, условия труда);

Z_T – затраты, вложенные в лечение либо профилактику заболеваний в течение жизни.

Число агентов каждого состояния в модели определяется статистическими данными по моделируемой территории.

С течением времени индивид остается в прежнем состоянии либо переходит из данного состояния в другое с вероятностью P_{ij} , где i – состояние, в котором находился агент, j – состояние, в которое агент переходит. Безусловно, сумма условных вероятностей перехода из i -го состояния всегда равна единице:

$$\sum_{j=1}^6 P_{ij} = 1,0 \quad \forall i = 1, \dots, 6 .$$

Условные вероятности переходов из одного состояния в другое определяются по аналогии с P_S :

$$P_{ij} = f(S_i; T; W_k; Z_k) P_{ij} = f(S_i; T; W_k; Z_k),$$

где k – номер агента;

S_i – состояние в котором находится k -ый агент в момент времени t ;

W_k, Z_k – особенности внешней среды обитания и затраты на лечение k -го агента.

Если принять, что существует оптимальная величина годовых затрат на оказание медицинских услуг каждому агенту Z_{kopt} , то годовой бюджет системы здравоохранения в стране:

$$Z_{kopt} = \sum_{k=1}^K Z_k^{opt} .$$

На основании разработанной модели и статистических данных определен годовой бюджет системы здравоохранения для Украины (табл. 1).

Таблица 1

Ориентировочный годовой бюджет системы здравоохранения

№№ п/п	Статья расходов	Структура расходов, (%)	Сумма расходов, млрд.грн
1	Затраты на амбулаторно-поликлиническое лечение	34,7	20,7
2	Расходы на поддержание системы здравоохранения (ремонт зданий и сооружений, приобретение и обслуживание оборудования)	16,5	10,0
3	Обеспечение лекарственными средствами граждан	38,8	23,3
4	Содержание органов управления	0,2	0,1
5	Международные культурные, научные и информационные связи	0,6	0,4
6	Подготовка, переподготовка и повышение квалификации кадров	1,5	0,9
7	Проекты по информатизации здравоохранения	3,7	2,2
8	Расходы на выполнение НИОКР (научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы)	2,5	1,5
9	Неучтенные расходы	1,5	0,9
РАСХОДЫ ВСЕГО:		100	60,0

В случае эффективной организации лечебно-профилактической работы в стране, большинство агентов находятся в первом или во втором состоянии и сумма средств на их лечение относительно невелика. При этом именно эти агенты трудоспособны и формируют бюджет системы здравоохранения. По мере перехода к другим состояниям увеличивается сумма затрат, необходимая для оказания действенной медицинской помощи и, одновременно, снижается платежеспособность пациентов. В связи с такой диспропорцией внедрение платной медицины без использования системы медицинского страхования не представляется возможным.

Источником финансирования, по опыту большинства развитых стран, должна стать комплексная система обязательного и добровольного медицинского страхования. При потребностях бюджета в 60 млрд.грн. и численности населения – 46 млн. жителей, страховой тариф в случае обязательного страхования составит

$$60 \cdot 109 / 46 \cdot 106 = 1300 \text{ грн / год.}$$

Выводы

1. Разработанная модель может стать теоретической основой метода прогнозирования работ по техническому обслуживанию и ремонту сложных технических систем на основе проектно-ориентированного подхода.
2. Модель использует один из факторов учета состояния здоровья населения в совокупности с техническими показателями обслуживания и ремонта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 400 с.
2. Бородулин А.И., Десятков Б.М., Шабанов А.Н., Ярыгин А.А. Статистическая модель эпидемического процесса // Сибирский журнал индустриальной математики. – 2007. – Т. 10. – № 2. – С. 23-30.
3. Patel R., Longini I.M., Halloran M.E. Finding optimal vaccination strategies for pandemic influenza using genetic algorithms // Journal of Theoretical Biology. – 2005. – V. 234. – № 3. – P. 201-212.
4. Паринов С.И. Новые возможности имитационного моделирования социально-экономических систем // Искусственные сообщества. – 2007. – Т. 2. – № 3-4. – С. 26-61.

Рукопись поступила в редакцию 25.05.2012 г