

УДК 51.76:517.22:004.838:007

**Аль-Азази Амин Ахмед**

ФГБОУ ВПО «Тверской государственный технический университет»

Россия, Тверь<sup>1</sup>

Аспирант

E-Mail: [aminshic@yahoo.com](mailto:aminshic@yahoo.com)

**Масленников Борис Иванович**

ФГБОУ ВПО «Тверской государственный технический университет»

Россия, Тверь

Декан заочного отделения

Профессор, доктор технических наук

E-Mail: [Bimnew@yandex.ru](mailto:Bimnew@yandex.ru)

## **Сравнительный анализ методов имитационного моделирования**

**Аннотация:** Одним из важных приложений методов имитационного моделирования является прогнозирование распространения эпидемических заболеваний. В этой области находят применение системно-динамический и агентный подходы. Парадигма системно-динамического имитационного моделирования заключается в том, что для исследуемой системы строятся графические диаграммы связей и глобальных влияний одних параметров на другие во времени. Созданная на основе этих диаграмм модель имитируется на компьютере. Такой вид моделирования более всех других парадигм позволяет проникнуть в суть происходящего в системе и выявить причинно-следственные связи между объектами и явлениями. Целью агентного моделирования является получение представления об этих глобальных правилах, общем поведении системы, исходя из предположений об индивидуальном, частном поведении ее отдельных активных объектов и взаимодействии этих объектов в системе. Таким образом, системно-динамические и агентные модели распространения эпидемических заболеваний имеют взаимодополняющие свойства, в связи с чем, задача совместного использования этих классов моделей для прогнозирования динамики эпидемических систем является актуальной и требует всестороннего сравнения их характеристик и свойств. В качестве примера рассматривались две реализации простой SEIR модели распространения эпидемического заболевания - гриппа, в среде имитационного моделирования Anylogic версии 5.

**Ключевые слова:** Имитационное моделирование; системно-динамическое моделирование; агентное моделирование; имитационная модель; SEIR модель; грипп; эпидемия; дифференциальные уравнения; динамические свойства; AnyLogic.

Идентификационный номер статьи в журнале 84TVN114

---

<sup>1</sup> 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, 22. Тверской государственный технический университет

**Al-Azazi Amin Ahmed**  
Tver State Technical University  
Russia, Tver  
E-Mail: [aminshic@yahoo.com](mailto:aminshic@yahoo.com)

**Boris Maslennikov**  
Tver State Technical University  
Russia, Tver,  
E-Mail: [Bimnew@yandex.ru](mailto:Bimnew@yandex.ru)

## Comparative analysis of simulation techniques

**Abstract:** One of the important applications of simulation techniques is to predict the spread of epidemic diseases. In this area are used system- dynamic and agent-based approaches. Paradigm system- dynamic simulation is that for the investigated systems are based graphical charts relations and global effects of some parameters on the other in time. Created on the basis of these diagrams model simulated on a computer. This type of modeling more than any other paradigm provides insights into what is happening in the system and to identify causal relationships between objects and phenomena. The purpose of agent-based modeling is to obtain a global understanding of these rules, the general behavior of the system, based on assumptions about the individual, the private behavior of its individual active objects, and the interaction of these objects in the system. Thus, the system dynamics and agent-based models spread of epidemic diseases have complementary properties, and therefore, the problem of sharing these classes of models to predict the dynamics of the epidemic systems is urgent and requires a comprehensive comparison of their characteristics and properties. As an example, consider two simple implementation of the propagation model SEIR epidemic disease - influenza simulation environment Anylogic version 5.

**Keywords:** Simulation, system dynamics modeling, agent-based modeling, simulation model; SEIR model, flu, epidemic, differential equations, dynamical properties; AnyLogic.

Identification number of article 84TVN114

Одним из важных приложений методов имитационного моделирования является прогнозирование распространения эпидемических заболеваний. В этой области находят применение системно-динамический и агентный подходы.

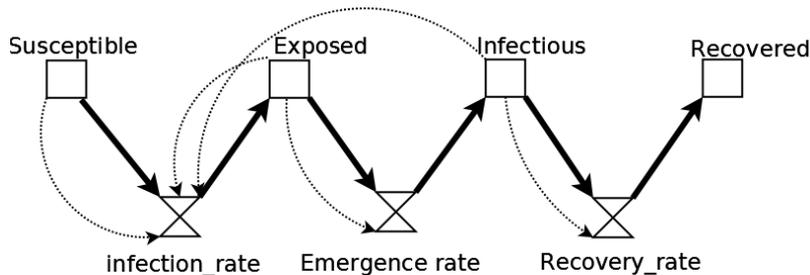
Парадигма системно-динамического (СД) имитационного моделирования, предложенная Дж. Форрестером в 1950-е [1-4] заключается в том, что для исследуемой системы строятся графические диаграммы связей и глобальных влияний одних параметров на другие во времени. Созданная на основе этих диаграмм модель имитируется на компьютере. Такой вид моделирования более всех других парадигм позволяет проникнуть в суть происходящего в системе и выявить причинно-следственные связи между объектами и явлениями. Однако параметрическая идентификация детализированных СД-моделей распространения эпидемических заболеваний представляет трудность [6-10].

Агентное моделирование — относительно новое (1990-е-2000-е гг.) направление в имитационном моделировании, которое используется для исследования децентрализованных систем, динамика функционирования которых определяется не глобальными правилами и законами (как в других парадигмах моделирования), а наоборот, глобальные правила и законы являются результатом индивидуальной активности членов группы. Целью агентного моделирования является получение представления об этих глобальных правилах, общем поведении системы, исходя из предположений об индивидуальном, частном поведении ее отдельных активных объектов и взаимодействии этих объектов в системе [3,4,10].

Таким образом, системно-динамические и агентные модели распространения эпидемических заболеваний имеют взаимодополняющие свойства, в связи с чем, задача совместного использования этих классов моделей для прогнозирования динамики эпидемических систем является актуальной и требует всестороннего сравнения их характеристик и свойств.

В качестве примера рассматривались две реализации простой SEIR модели (Susceptible–Exposed–Infected–Removed model) распространения эпидемического заболевания - гриппа, в среде имитационного моделирования Anylogic версии 5.

На рис.1 представлена структура системно-динамической SEIR модель распространения гриппа [3].



**Рис. 1.** Структура системно-динамической модели распространения эпидемии

Используемые обозначения в модели представлены в табл.1.

**Таблица 1**

**Обозначения модели распространения эпидемии**

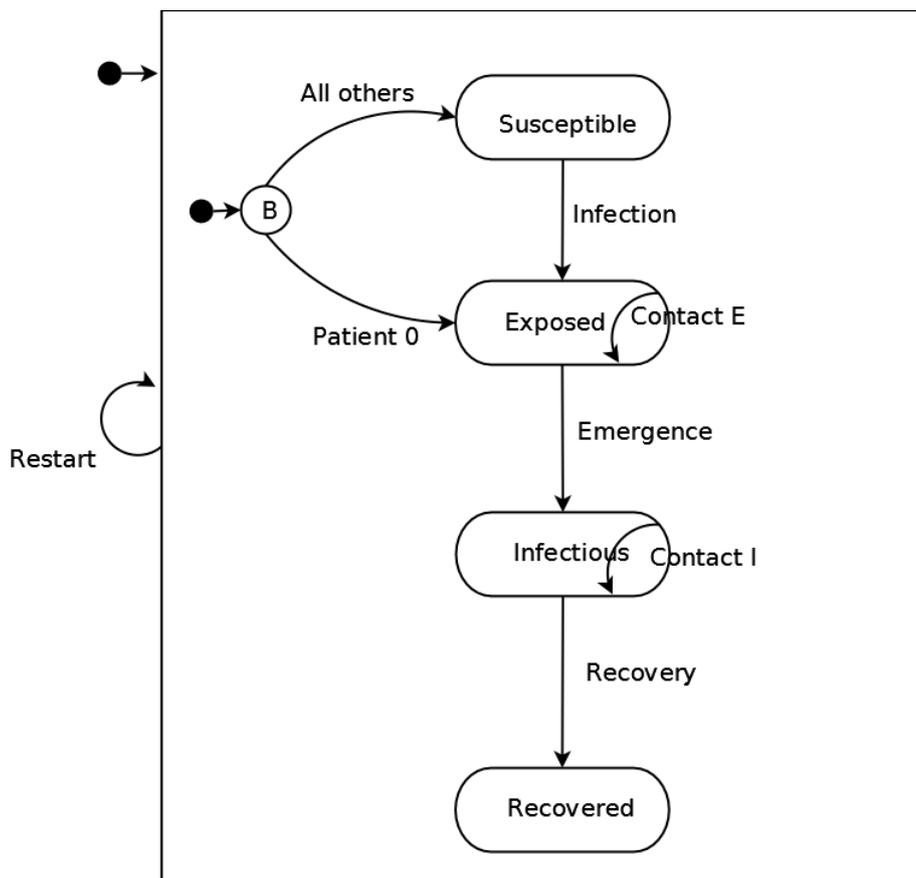
<b>Символ</b>	<b>Описание</b>
Susceptible (S)	здоровые люди, восприимчивые к гриппу
Exposed (E)	люди, заболевание у которых находится в инкубационном периоде
Infectious (I)	инфекционные больные
Recovered (R)	переболевшие гриппом люди, более к нему не восприимчивые
infection_rate ( $\beta$ )	доля заразных больных в единицу времени среди инфицированных людей
Emergence rate ( $\mu$ )	доля инфицированных в единицу времени среди восприимчивых людей
Recovery_rate ( $\alpha$ )	доля выздоравливающих в единицу времени среди всех людей, заболевших
N	общее число людей
c	коэффициент контакта людей
e	коэффициент контакта с инфицированным человеком
i	коэффициент контакта с заразным человеком
v	вероятность инфекции в E-периоде
φ	вероятность инфекции в I-периоде
$\tau$	среднее Время Инкубации
T	Средняя продолжительность болезни

Динамика модели, структура которой представлена на рис.1, описывается следующей системой алгебро-дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned}
 \frac{d(S)}{dt} &= -\beta \quad ; \\
 \frac{d(E)}{dt} &= \beta - \mu \quad ; \\
 \frac{d(I)}{dt} &= \mu - \alpha \quad ; \\
 \frac{d(R)}{dt} &= \alpha \quad ; \\
 \beta &= \frac{S}{N * c * (E * e * v + I * i)} \quad ; \\
 \mu &= \frac{E}{\tau} \quad ; \\
 \alpha &= \frac{I}{T} \quad .
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

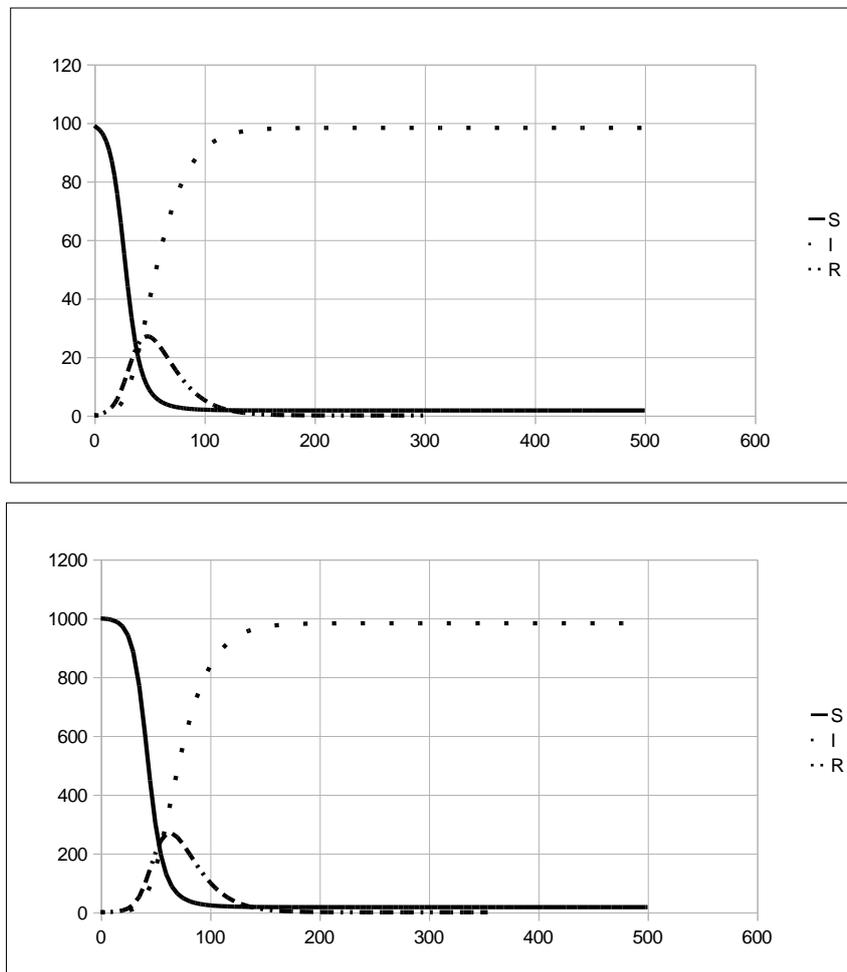
Начальные значения параметров эксперимента [5]:  $N = 1000$  ;  $S = N - 1$  ;  $E = 1$  ;  $c = 5$  ;  $e = 0.8$  ;  $i = 0.25$  ;  $v = 0.05$  ;  $\phi = 0.06$  ;  $\tau = 15$  ;  $T = 15$ . В начале эксперимента один человек является инфицированным. Если восприимчивый (S) человек столкнулся с инфицированным (E), то он с вероятностью  $\phi$  становится инфицированным. Из состояния инфицированный (E) в состояние инфекционный (I) человек переходит через время  $\tau$ , а через время  $T$  переходит в состояние здорового (R).

Граф переходов для агентной SEIR модели распространения гриппа представлен на рис. 2.



**Рис. 2.** Граф переходов для агентной SEIR модели распространения гриппа

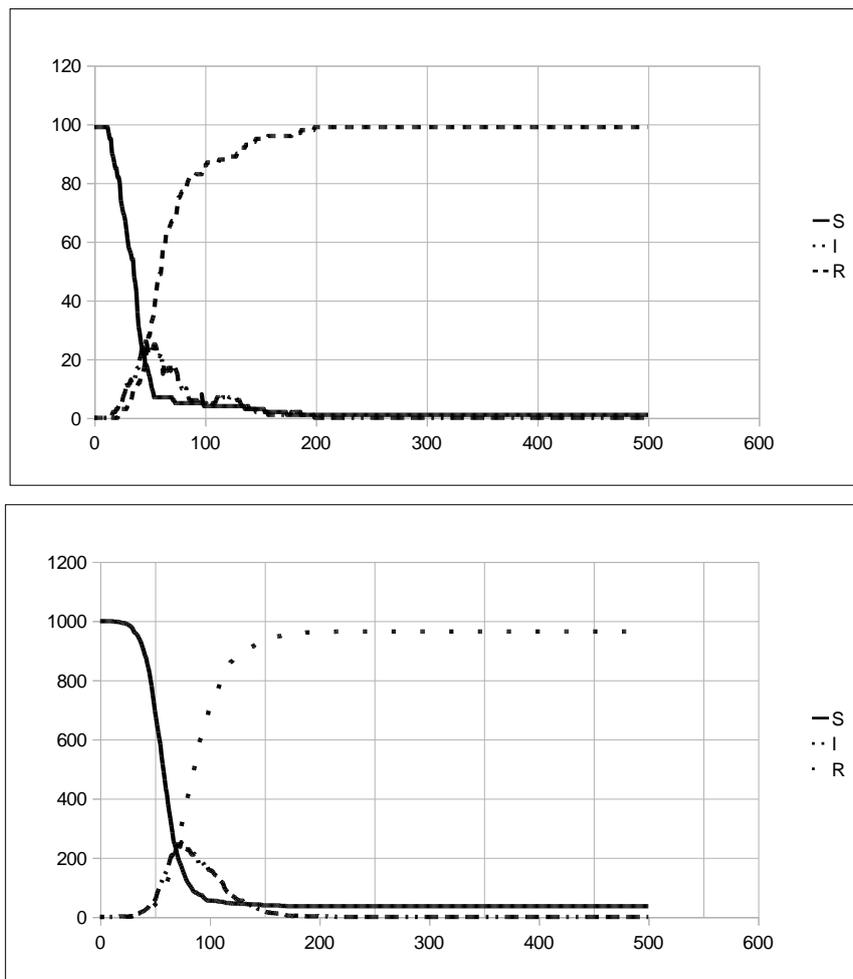
На рис.3 представлены результаты эксперимента с СД-моделью.



**Рис. 3.** Результаты эксперимента с СД-моделью

Число восприимчивых ( $S$ ) стремится к нулю и достигает равновесия в  $t = 100$  при  $N = 100$  и в  $t = 150$  при  $N = 1000$ .

На рис.4 представлены результаты эксперимента с агентной моделью.



*Рис. 4. Результаты эксперимента с агентной моделью*

Данные, представленные на рис.4 свидетельствуют о том, что число восприимчивых (S) достигает равновесия в  $t = 200$  при  $N = 100$  и в  $t = 150$  при  $N = 1000$ , а не стремится к нулю. Это объясняется тем, что не все восприимчивые заболевают в течении эпидемического процесса, что в большей степени соответствует статистическим данным [5].

Таким образом, сравнительный анализ статических и динамических характеристик двух реализаций SEIR модели распространения эпидемического заболевания – гриппа, показал то, что с увеличением числа агентов поведение агентной модели приближается к аналогичной системно-динамической. Однако при этом возрастают требования к вычислительным мощностям, обслуживающим эксперименты с моделью, что делает актуальными разработки в области высокопроизводительных реализаций агентных имитационных моделей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Jay W. Forrestter. Industrial dynamics. Productivity press. Portland Oregon, 1961.
2. Скворцов А.В., Масленников Б.И. Математическое обеспечение медицинской информационной системы Программные продукты и системы, Международное научно-практическое приложение к международному журналу «Проблемы теории и практики управления» № 4 2008 г. с158-160.
3. Д. Ю. Каталевский. Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении, 2011.
4. Карпов Ю. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. - СПб.: БХВ-Петербург, 2006. - 400 с.
5. Регионы России. Основные характеристики субъектов РФ. Статистический сборник. Рос-стат. Москва, 2004.
6. Аль-Азази А. А., Скворцов А. В., Масленников Б. И. Средства any logic для построения моделей системной динамики//Интернет-журнал «Наукovedение». 2013 №3 (16) [Электронный ресурс].-М. 2013. – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/50tvn313.pdf>, свободный – Загл. с экрана.
7. А.В. Скворцов, Б.И. Масленников, А.В. Хованов. Компьютерное имитационное моделирование в управлении эпидемической ситуацией по туберкулёзу в регионе России [Текст] // Математика. Компьютер. Образование. Под ред. Ризниченко Г.Ю. Сборник научных тезисов. Выпуск 16, ч.1, М., Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2009. с. 192.
8. Лоу А. М, Кельтон В.Д. Имитационное моделирование. 3-е издание СПб.: Питер, Киев: BHV, 2004. - 847 с.
9. Рыжиков Ю. И. Имитационное моделирование. Теория и технология // СПб.: КОРОНА принт, 2004. - 384 с.
10. А.А. Аль-Азази, А.В. Скворцов, Б.И. Масленников. Исследование свойств агентных и стемно-динамических имитационных моделей распространения эпидемических заболеваний //Сб. Трудов НТК. Конференции:«Интеграция науки и образования-производству, экономике», 12 декабря 2012. Том 2. С7. Тверь.

**Рецензент:** Дмитриев Г. А., зав. Кафедрой Автоматизации технологических процессов, Тверского государственного технического университета, д.т.н., профессор.

## REFERENCES

1. Jay W. Forrester. Industrial dynamics. Productivity press. Portland Oregon, 1961 .
2. AV Skvortsov, Maslennikov BI Mathematical provision of medical information system software products and systems, International scientific and practical application of the international journal " Problems of the theory and practice of management » № April 2008 с158- 160.
3. DY Katalovsky. Fundamentals of system simulation and analysis in management, 2011 .
4. Karpov Yu Simulation modeling systems. Introduction to modeling with AnyLogic 5. - St. Petersburg. : BHV- Petersburg, 2006. - 400 .
5. Regions of Russia. Main characteristics of the RF subjects. Statistical compilation. Rosstat. Moscow, 2004 .
6. Al- Azazi AA Skvortsov, AV, BI Tools Maslennikov any logic for modeling system dynamics // Internet magazine " Science of Science ." 2013 № 3 (16) [ The electron source]. -M. 2013. - Mode of access : <http://naukovedenie.ru/PDF/50tvn313.pdf>, freely - Caps. from the screen.
7. AV Skvortsov, BI Maslennikov, AV Hovanov. Computer simulation modeling of epidemic situation in the management of tuberculosis in the Russian region [Text] // Math. Computer. Education. Ed. Riznichenko GY Collection of scientific abstracts. Issue 16, Part 1, Moscow-Izhevsk : NITs "Regular and Chaotic Dynamics ", 2009. s. 192 .
8. A. Lowe M, Kelton VD Simulation. 3rd edition, St. Petersburg. : Peter, Kiev : BHV, 2004. - 847 p.
9. Rizhikov YI Simulation. Theory and technology // St. Petersburg. : CORONA print, 2004. - 384 .
10. AA Al- Azazi, AV Skvortsov, BI Maslennikov. Investigation of the properties of agent and stemno - dynamic simulation models of the spread of epidemic diseases // Proc. STC works. Conference : " The integration of science and education, production, economics," December 12, 2012. Tom 2. C7. Tver.