

УДК 004.94(075.8)

Нгуен Ши Данг

## Вибір средства імітаціонного моделювання для бюджетної системи України

*Метою цієї статті є обґрунтування вибору підходу та засобів ІМ для управління державними фінансами України на основі аналізу тенденцій розвитку, переваг та недоліків різноманітних систем моделювання. Показана на прикладі доцільність використання методології системної динаміки та пакета Stella для імітаційного моделювання макроекономічних показників.*

*The article's purpose is choice of simulation approach and simulation software for modeling Ukrainian financial management system, based on analysis development tendency, advantages and lacks of different simulation systems. On the example, expediency of the using methodology system dynamics and the Stella package is shown for modeling Ukrainian macroeconomic system.*

### 1. Постановка проблеми

Переходный период экономики Украины характеризуется формированием новых связей и новых отношений между субъектами, которые вытесняют старые, постсоветские. В результате возникают новые микро- и макроэкономические тенденции, закономерности, которые не поддаются описаниям с помощью традиционных технологий, методов и средств анализа, характерных для плановой экономики Украины. Актуальной стала проблема использования компьютерного моделирования для анализа и прогнозирования экономического и социального развития Украины с учетом различных сценариев. Опираясь на возможности современных компьютерных технологий имитационное моделирование (ИМ), стало одним из эффективных, мощных средств исследования сложных систем, таких, как социально-экономические системы Украины.

В настоящее время на рынке предлагаются различные пакеты программного обеспечения имитационного моделирования, различающиеся по цене, специфике применения и доступности применения в различных областях деятельности человечества. Одни имеют мощные возможности для моделирования, охватывая все технологические этапы моделирования, другие обеспечивают только основные функции по работе с моделями. Используемые парадигмы моделирования и стратегии различны для разных пакетов, поэтому пакеты отличаются по своим характеристикам и имеют специфические сильные и слабые стороны. Это затрудняет процесс выбора пакета ИМ для решения конкретных проблем. Правильно выбранный пакет моделирования позволяет существенно экономить средства, ресурсы и время на создание моделей и на организацию экспериментов с ними.

## 2. Аналіз последніх ісследований и публікаций

Оценки и анализ доступных пакетов ИМ проводились и ранее многими исследователями для различных целей. Однако только ограниченное число работ описывают методы оценивания пакетов ИМ. Большинство таких работ выполнено зарубежными исследователями. Так, например, Hlupic в 1997 г. разработал программный инструментарий SimSelect для выбора программного обеспечения имитационного моделирования по требуемым характеристикам. В 1999 г. Nikoukaran, Hlupic и Paul создали структуру критериев оценки программного обеспечения дискретно-событийного имитационного моделирования, описанных в работе [1]. Другие исследователи, как, например, Banks и Pidd, уже предлагали подобную структуру критериев в более ранних работах.

Потребность в создании эффективных методов оценки пакетов ИМ возрастает с расширением областей применения так же, как и само количество пакетов ИМ [2]. Различные организации, использующие ИМ, выполняют собственные исследования и используют различные методологии и подходы, однако результаты их исследований по оценке программного обеспечения редко публикуются. Наиболее детальная схема оценки выбора пакета ИМ разработана и описана в работе Nikoukaran, Hlupic, и Paul (1999) [3]. Эта схема структурирована и использует множество критериев для сравниваемых пакетов ИМ. Однако в этой работе проводится только сравнение без метода определения отношения между критериями. Кроме того, рассматриваются только пакеты дискретно-событийного ИМ.

Из русскоязычных источников можно отметить обзор характеристик пакетов программного обеспечения ИМ, проведенный в работе Лычкіной Н.Н. [4] для моделирования дискретных и непрерывных систем, однако обзор носит больше информационный характер, чем четкий метод оценки и выбора пакета ИМ.

Поэтому для моделирования бюджетных процессов предлагается двухэтапная процедура оценки выбора пакета ИМ. На первом этапе существенно сокращается список пакетов, на втором – детально анализируются требования организации заказчика и возможности пакетов ИМ.

## 3. Методологія вибора пакетов ИМ

Выбор необходимого пакета ИМ для заказчика обычно проводится с участием следующих субъектов:

- производителей программного обеспечения ИМ;
- разработчиков моделей;
- заказчика моделей (пользователя);
- аналитиков, использующих программное обеспечение.

Сам процесс выбора пакета ИМ требует многоэтапного обсуждения принимаемых решений, как показано на рис. 1.

На первом этапе формулируются желательные и обязательные требования к пакетам ИМ и выбираются пакеты, которые соответствуют обязательным требованиям с учетом самых важных показателей. На втором этапе выполняется детальная оценка и анализ для пакетов, отобранных на первом этапе. В течение двух этапов происходят многократные взаимодействия между разработчиками моделей, заказчиками, производителями и аналитиками, использующими программное обеспечение. Аналитики выполняют научные

исследования и создают рекомендации для выбора пакета ИМ. Производители обычно оговаривают с заказчиками стоимость программного обеспечения. Разработчики моделей получают демо-версии пакетов и взаимодействуют с аналитиками, которые изучают возможности программного обеспечения.

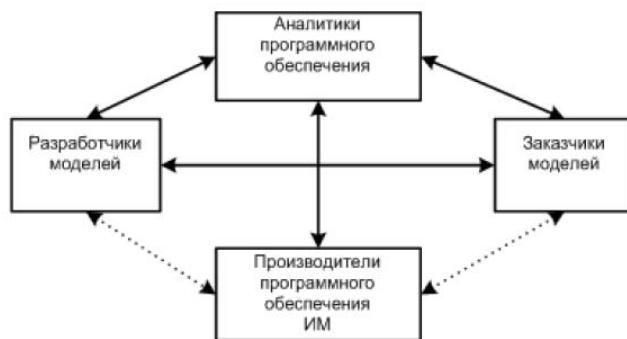


Рис. 1. Процесс выбора пакетов ИМ

Рассмотрим процесс выбора с позиций разработчиков моделей и заказчика на примере Министерства финансов Украины. С точки зрения аналитиков, важно выбрать программное обеспечение для построения моделей бюджетных процессов и анализа макроэкономических показателей.

На первом этапе выбора пакетов ИМ аналитики определяют требуемые свойства программного обеспечения путем опроса разработчиков, которые должны ответить на следующие вопросы:

- какими особенностями должно обладать программное обеспечение, чтобы решить поставленные проблемы?
- какие функциональные возможности часто используются во время моделирования?
- какие главные задачи проекта имитационного моделирования?
- как используются пакеты программного обеспечения для решения этих задач?

В свою очередь, разработчики должны собрать информацию о всевозможных пакетах программ ИМ на рынке, основываясь на материалах конференций, научных работах, сайтах производителей и используя опыт специалистов по моделированию. После составления списка пакетов программ необходимо определить их особенности, возможности и характеристики. Существуют различные способы для этого. Один из них – проведение консультаций с производителями, затем проведение экспериментов с демо-версиями программ. Во время консультаций выясняют ряд вопросов.

Общие вопросы касаются подходов к моделированию, классов программ имитационного моделирования, типов моделирования, области применения пакетов. По данным обзоров информации в Интернете о производителях систем имитационного моделирования, в настоящее время на рынке распространяется более 60 программных продуктов, ориентированных на имитационное моделирование. Большинство программных продуктов построено на общих, хорошо обоснованных подходах, а различия заключаются только в возможностях конструирования моделей и пользовательских интерфейсах. Пакеты моделирования используют четыре основных подхода к моделированию.

1. Дискретно-событийное моделирование. Основано на описании процессов и сетевых парадигм сетей Петри. Среди зарубежных пакетов можно выделить Extend, Arena, ProModel, Witness, Gpss/H-Proof и др. а среди отечественных: ISS200, ДИАСИМ (Украина), Netstar (Россия).

2. Непрерывное моделирование. Основано на методах системной динамики: Vensim, iThink, Stella, Powersim, AnyLogic и др.

3. Моделирование динамических систем управления. Здесь можно выделить пакет Simulink, интегрированный с пакетом MATLAB.

4. Агентное моделирование. Базируется на разделении модели на множество агентов, которые функционируют децентрализовано и взаимодействуют через общую внешнюю среду. Этот новый подход успешно применяется в системе AnyLogic. Он одновременно является частной реализацией перспективного подхода к параллельному распределенному моделированию.

В табл. 1 приведен список пакетов программ, классифицированных по подходам к моделированию.

**Таблица 1**  
**Классификация ИМ-пакетов по используемым подходам**

Подходы	Основные элементы	Пакеты
Дискретно-событийное моделирование	- заявки (активные объекты); - потоковые диаграммы и (или) сети; - ресурсы (пассивные объекты).	GPSS, Simula, Arena, AutoMod, AnyLogic, Extend, ProModel, QUEST, SIMFACTORY II.5, SIMPLE22, eM-Plant, Taylor ED, WITNESS, Netstar, POSES 22
Непрерывное моделирование (системная динамика)	- накопители (агрегаты); - потоки; - правила (обратные причинно-следственные связи).	Vensim, iThink, Stella, Powersim, AnyLogic
Динамические системы	- переменные состояний; - блок-схемы; - алгебро-дифференциальные уравнения.	Simulink
Агентное моделирование	- активные объекты; - индивидуальные правила поведения; - прямое и непрямое взаимодействие; - динамика среды.	AnyLogic

Рассматриваемая экономическая система представляет собой сложную динамическую систему, для которой характерны движение материальных и денежных потоков и много причинно-следственных взаимосвязей между элементами. Поэтому при выборе подхода к ИМ предпочтение следует отдать пакетам, ориентированным на системную динамику.

И так на первом этапе выбора количество пакетов сократилось до четырех: Vensim,

iThink- Stella , Powersim, AnyLogic.

На втором этапе для оценки выбранных пакетов построим систему основных групп показателей, как показано на рис. 2.



Рис. 2. Иерархическая структура основных групп показателей

Важными элементами в иерархической структуре являются программное обеспечение, производитель и пользователь, которые образуют элементы наивысшего уровня иерархии. Программное обеспечение охватывает широкий круг проблем моделирования, и для этой группы показателей определим следующие подгруппы показателей, связанные с построением моделей, их выполнением, анимацией, возможностями по тестированию и отладке, эффективностью работы модели и выводом результатов (рис. 2). Для каждой из этих подгрупп по уровням важности для разработчика присвоим каждому показателю свой вес (максимальный балл). Веса показателей определяются по пятибалльной шкале от 1 до 5. Для каждой программы присвоим каждому показателю свои оценки. Список показателей распределим по категориям, используя систему взглядов, предложенную в работе Nikoukaran, Hlupic, Paul [1]. Важные показатели выделим полужирным шрифтом.

**Таблица 2**  
**Сравнительные характеристики пакетов непрерывного ИМ**

Критерии	Вес	Vensim	iThink-Stella	Powersim	AnyLogic
<b>Построение моделей</b>					
<b>Графическое построение моделей</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>5</b>
Объединение моделей	<b>4</b>	-	<b>2</b>	-	<b>2</b>
<b>Возможности статистического анализа</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Поддержка непрерывного моделирования</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>4</b>
<b>Организация очередей</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
Многократное использование настроенных модулей	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
Стандартные математические функции	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
Связь с другими языками	<b>3</b>				
Инструменты и утилиты кодирования	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>

Критерии	Вес	Vensim	iThink-Stella	Powersim	AnyLogic
Ввод данных из текстовых файлов	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
Ввод данных из базы данных	<b>4</b>	-	<b>2</b>	-	<b>2</b>
<b>Ввод из электронных таблиц</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Генераторы случайных чисел	<b>4</b>	2	2	2	2
Автоматическая генерация программы	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
<b>Производитель</b>					
<b>Документация</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Поддержка</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Демоверсия	<b>3</b>	2	2	2	2
Известность производителя	<b>2</b>	2	2	2	-
<b>Выполнение</b>					
Многоразовый запуск	<b>4</b>	2	2	2	2
Автоматическое выполнение	<b>4</b>	2			
Изменение параметров моделей без ее трансляции	<b>4</b>	2	2	2	2
Интерактивный режим с пользователем	<b>2</b>	2	2	2	2
<b>Определение скорости работы моделей</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Автономный запуск моделей	<b>3</b>	2	2	2	2
<b>Анимация</b>					
Интеграция с анимацией	<b>3</b>	2	2	2	2
Библиотека икон	<b>3</b>	2	2	2	2
Вывод на экран	<b>3</b>	2	2	2	2
Параллельный анимационный режим	<b>3</b>	2	2	2	2
<b>Подключение или отключение анимации</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	4	<b>3</b>	<b>5</b>
Трехмерная анимация	<b>1</b>	-	-	-	1
Расширение возможностей взаимодействия с анимацией	<b>3</b>	2	2	2	2
<b>Эффективность работы моделей и возможности по тестированию и отладке</b>					
Проверка ошибок	<b>4</b>	2	2	2	2
<b>Интерактивный отладчик</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Многозадачный режим	<b>2</b>	2	2	2	2
Сообщения об ошибках	<b>3</b>	2	2	2	2
Трассировка	<b>3</b>	2	2	2	2
Контрольные точки	<b>4</b>	2	2	2	2
Возможность учета результатов моделирования при повторном запуске	<b>1</b>	1	1	1	1
<b>Вывод результатов</b>					
Генерация стандартных отчетов	<b>4</b>	2	2	2	2

Критерии	Вес	Vensim	iThink-Stella	Powersim	AnyLogic
<b>Создание выборочных отчетов</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>3</b>
Интеграция со статистическими пакетами	3	2	2	2	2
Интеграция с другими пакетами ИМ	3	2	2	2	2
Возможность экспорта данных из таблиц	5	2	2	2	2
Возможность экспорта данных в текстовые файлы	2	2	2	2	2
Оптимизация	3	2	2	2	2
Средства анализа выходных данных	4	2	2	2	2
Бизнес-графики	4	2	2	2	2
<b>Пользователь</b>					
Стоимость	2	2	2	2	2
Соединение с Internet	2	2	2	2	2
Совместимость пакета с другими пакетами	2	2	2	2	2
Связь с другими анимационными пакетами	2	2	2	2	2
Открытый источник кода	1	1	1	1	1
<b>Область применения</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Потоково-ориентированный подход к моделированию	4	2	2	2	2
Иерархическое представление структуры моделей	2	2	2	2	2
Итого		117	132	115	127

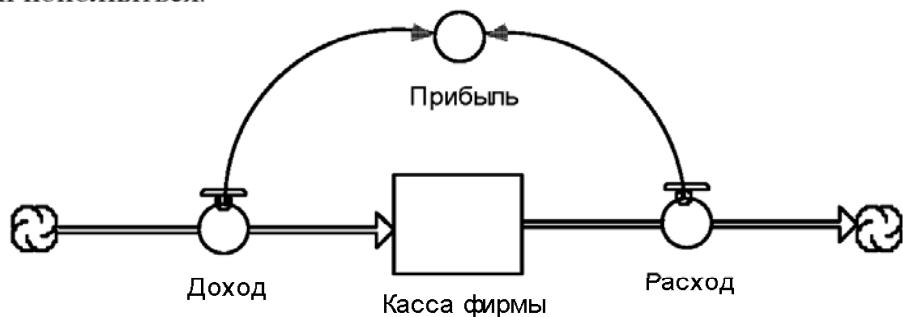
По результатам сравнения этих пакетов Ithink и Stella получили наибольшую суммарную оценку. Эти пакеты обладают рядом преимуществ по сравнению с другими:

- обеспечивают создание непрерывных и дискретных моделей;
- имеют простой графический интерфейс, рассчитанный на профессионалов;
- имеют множество встроенных функций и возможностей, облегчающих создание модели;
- встроенные блоки облегчают создание различных видов моделей;
- поддерживают авторское моделирование для неподготовленного пользователя путем использования библиотеки моделей;
- имеют подробную обучающую программу и документацию;
- позволяют использовать средства анализа чувствительности, обеспечивающие автоматическое многократное исполнение модели с различными входными данными;
- поддерживают множество форматов входных данных;
- позволяют интегрировать модели с другими приложениями через механизм DDE (dynamic data exchange – динамический обмен данными).

Таким образом, пакеты Ithink и Stella выбраны для ИМ макроэкономических показателей Украины.

#### 4. Использование Stella для моделирования экономических показателей Украины

Системы визуального имитационного моделирования, такие как Stella и Ithink [5], разработаны специально для развития умений формирования понимания и способности высказывания. Они позволяют быстро и просто создавать гипотезы и моделировать последствия их воплощения. Концептуально построить мыслимую модель можно посредством причинно-следственных диаграмм с обратными связками и схем вида "фонд – поток" (рис. 3). При моделировании процесс формирования первичных представлений предметной области можно свести к процессу "рисования" простых идеограмм. Такие пакеты рекламируются сегодня как инструменты визуального мышления, что обусловило использование их для решения задач прогнозирования по разным вариантам развития ситуаций и экономическим сценариям. Для этого используются поточные модели ресурсного типа, в которых ресурсы (трудовые, финансовые, природные и др.) могут исчерпываться и пополняться.



**Рис. 3.** Идеограммы поточных имитационных моделей

Если рассматривать макроэкономические показатели развития Украины, то необходимо учитывать такие переменные, как: количество населения разных категорий, производственные фонды, ресурсы, которые расходуются (природные, финансовые и др.). Внешние действия и управленческие решения определяют динамику моделируемой системы, которая отображает скорость пополнения и исчерпания ресурсов. Экономические модели государства или регионов содержат подмодели бюджетной системы, населения, предприятий, жилищных фондов и др. Функционирование модели в целом представляется как совокупность потоков (денежных, продукции, трудовых ресурсов, природных и др.). Условием нормального развития экономической системы является поддержка экономического равновесия (баланса ресурсов в системе).

Рассмотрим пример модели региона, представленную на рис. 4. В целом модель состоит из трех основных секторов: бюджетный сектор, сектор экономической системы и сектор населения (табл. 3 и рис. 4).

**Таблица 3**

<b>Структура модели</b>		
Сектор	Поступление	Расходование
Бюджет	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Налог на прибыль предприятий</li> <li>• Налог на добавленную стоимость (НДС)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Государственные расходы</li> <li>• Затраты на</li> </ul>

Сектор	Поступление	Расходование
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Подоходный налог с населения</li> <li>Другие доходы</li> </ul>	социальное обеспечение населения
Население	<ul style="list-style-type: none"> <li>Иммиграция населения</li> <li>Рождаемость населения</li> <li>Доход населения от фондов заработной платы</li> <li>Доход населения от социального обеспечения</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Эмиграция населения</li> <li>Смертность населения</li> <li>Потребительские расходы населения</li> </ul>
Экономическая система	<ul style="list-style-type: none"> <li>Доход предприятий от населения</li> <li>Доход предприятий от государственных расходов</li> <li>Капиталовложения</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Затрата предприятий на фонды заработной платы</li> </ul>

Основные управляемые переменные и соотношение между ними представлены в табл. 4.

Таблица 4

**Значения управляемых переменных**

Управляемые переменные	Значение
Налоговая ставка на НДС	20%
Налоговая ставка на прибыль предприятий	30%
Налоговая ставка подоходного налога	5%
Процент расходов государственного бюджета на социальные программы	5%
Процент государственных расходов от общих расходов бюджета	7%

**Бюджет.** При разных сценариях изменений управляемых переменных проведено прогнозирование доходной и расходной частей бюджета и получена оценка интервала времени, нужного для установления баланса (рис. 5).

На рис. 5 график 1 – доходы в бюджет; 2 – расходы из бюджета; 3 – дефицит бюджета;

Из графика видно, что через 2 года установится баланс в системе.

**Население.** При изменении расходов государственного бюджета на социальные программы с 7% на 10% определены изменения основных социальных показателей, таких как: 1 – средняя заработка платы; 2 – общая государственная затрата на социальные программы; 3 – расходы населения; 4 – доходы населения; 5 – государственные затраты на социальные программы (рис. 6).

**Экономическая система.** При изменении налоговой ставки на прибыль предприятий с 30% на 25% получены изменения основных экономических показателей, таких как: 1 – доход предприятий; 2 – капиталовложение; 3 – государственные затраты (рис. 7). В общем случае при рассмотрении государственного бюджета это может быть ВВП.

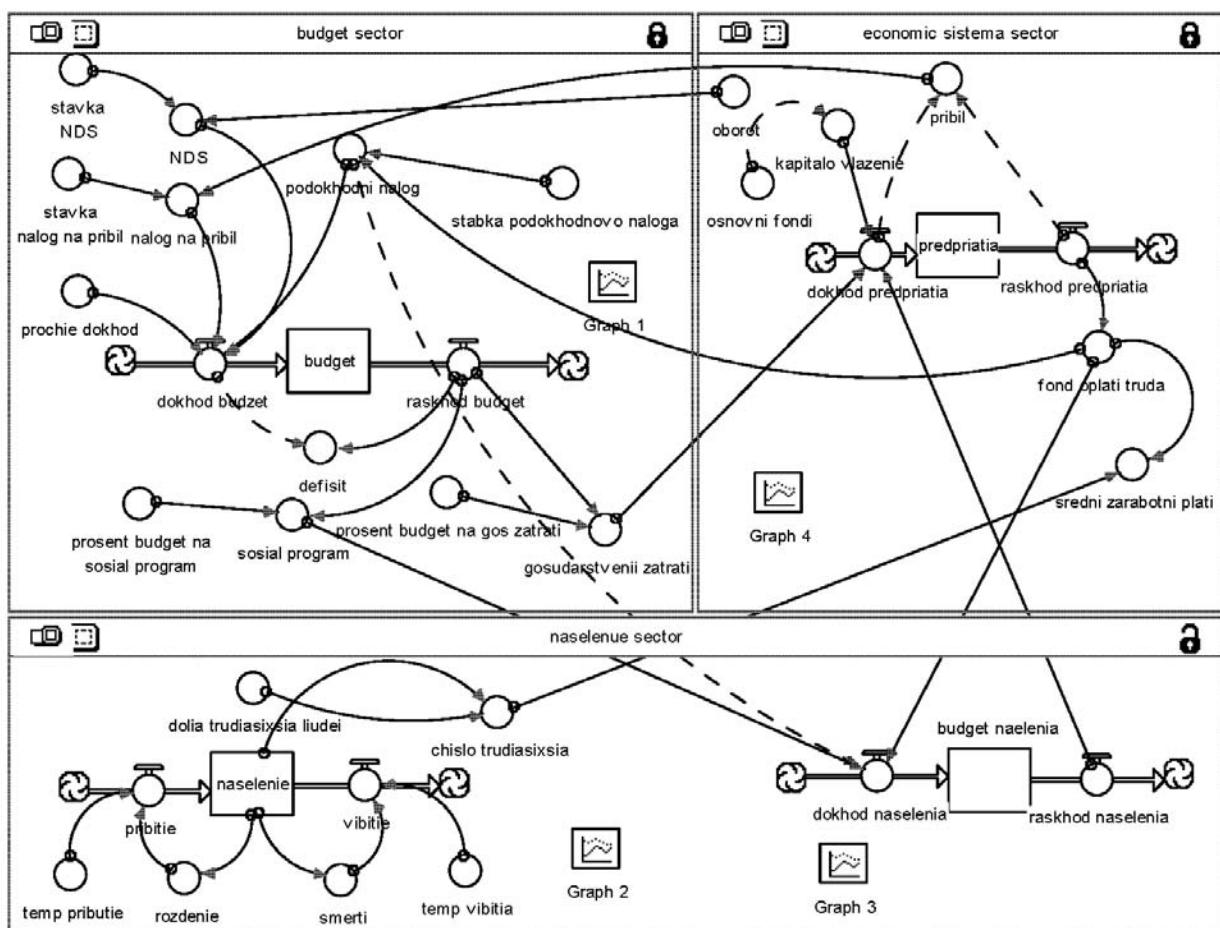
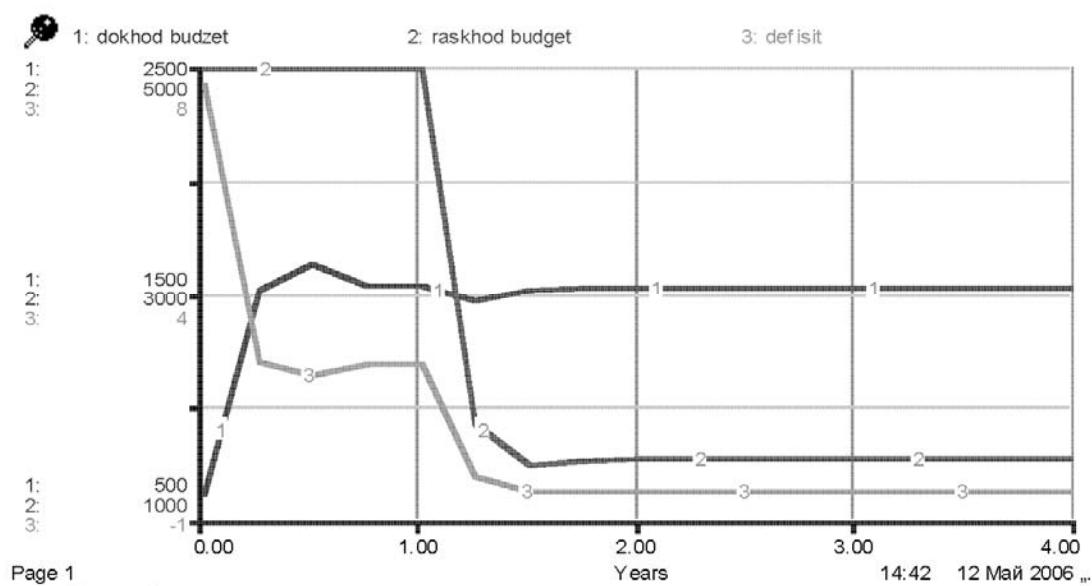
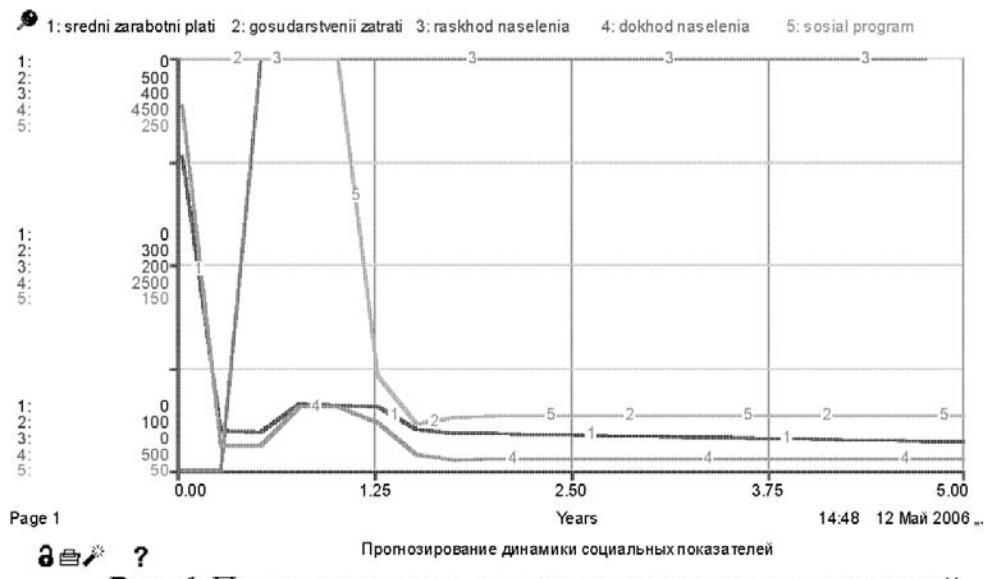


Рис. 4. Структура моделі



Прогнозирование дохода, расхода, дефицита бюджета

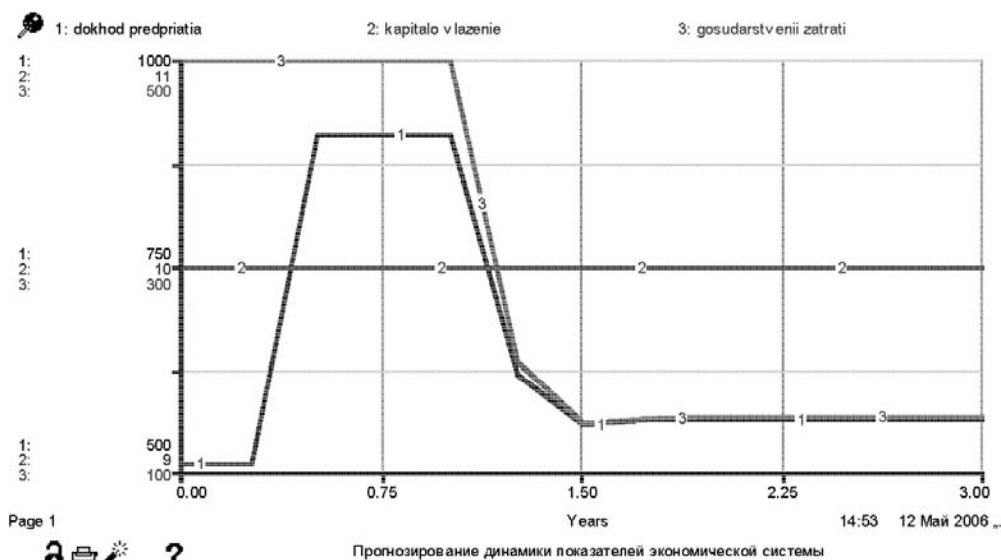
Рис. 5. Прогнозирование динамики показателей бюджета



**Рис. 6.** Прогнозирование динамики социальных показателей

Из графика 7: подтверждено экономическое явление – снижение налоговой ставки позитивно действует на развитие экономики только в определенный интервал времени. Оно утратит свое значение после перехода через балансовое состояние.

Таким образом, создаваемые модели позволяют изучать динамику развития системы, проводить анализ процессов роста с учетом общего жизненного цикла регионов (государства), их частей, а также с учетом адаптивной эволюции.



**Рис. 7.** Прогнозирование динамики показателей

## 5. Выводы и перспективы

В данной статье сделан обзор зарубежных и отечественных инструментов и подходов имитационного моделирования. Автором предлагается применение новой методики

выбора средства имитационного моделирования по системе критериев оценки различных пакетов ИМ. Эта методика может применяться для выбора различного программного обеспечения при изменении весов показателей.

На примере использования пакета Stella 8 для моделирования макроэкономических показателей развития региона наглядно демонстрируются возможности применения ИМ как эффективного инструмента поддержки принятия управлеченческих решений при розыгрыше различных сценариев развития экономики. Однако описываемая модель учитывает только основные связи в экономике. В перспективе для более полного рассмотрения экономической системы требуется расширение и дополнение модели другими показателями, такими как, экспорт, импорт, объем производства промышленности и др.

## **Литература**

1. Jalal Nikoukaran, Vlata Hplic, Ray J. Paul. Criteria for simulation software evaluation. Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference.
2. James Swain. Simulation Software Survey. – OR/MS Today. September 2005.
3. Nikoukaran, J., Hlupic, V., Paul, R.J. 1999. A hierarchical framework for evaluating simulation software, Department of Information Systems and Computing, Brunel University, Uxbridge, Middlesex UB8 3PH, U.K.
4. Лыгкина Н.Н. Современные тенденции в имитационном моделировании. – Вестник университета. – Серия: Информационные системы управления. – №2 – М., ГУУ, 2000г.
5. Томашевський В.М. Моделювання систем. – К.: Видавнича група ВНВ, 2005. – 348 с.