

Р. В. Шамрін,

к. е. н., старший викладач кафедри економічної кібернетики, Криворізький факультет ДВНЗ "Запорізький національний університет" Міністерства освіти і науки України, м. Кривий Ріг

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ: ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ТА НАПРЯМИ ЇХ ВДОСКОНАЛЕННЯ

R. Shamrin,

PhD in Economics, Senior Lecturer of Department of Economic Cybernetics, the Kryvyi Rih faculty of State Higher Educational Institution "Zaporizhzhya National University" of the Ministry of education and science of Ukraine, Kryvyi Rih

SIMULATION MODELING OF ECONOMIC SYSTEMS: SOFTWARE TOOLS AND AREAS OF IMPROVEMENT

Дослідження соціально-економічного розвитку регіонів тісно пов'язане з побудовою моделей реаль-но існуючих систем, аналізом їх поточної і прогнозуванням подальшої поведінки. Одним з найбільш затребуваних сьогодні є метод імітаційного моделювання. Він поєднує в собі особливості експериментального підходу і специфічні умови використання обчислювальної техніки. Комп'ютерне моделювання дозволяє зробити процес більш наочним і зрозумілим для пересічного дослідника.

У статті розглядаються підходи системної динаміки, дискретного і агентського моделювання. Представлені переваги методу імітаційного моделювання та етапи побудови моделей на його основі. Наведено короткий огляд та аналіз систем імітаційного моделювання ARIS, Arena, Anylogic, iThink. Результати аналізу узагальнені в підсумковій таблиці. Представлені можливі напрями вдосконалення систем імітаційного моделювання. Відзначається неможливість дослідження економічних систем без побудови моделей процесів, що протікають у них. Розвиток інформаційних технологій виводить процеси вивчення систем на новий рівень. Метод імітаційного моделювання є актуальним і затребуваним на сьогоднішній день, а отже, буде продовжуватися розвиток і вдосконалення систем імітаційного моделювання.

A study of socio-economic development of regions is closely connected with the construction of models of real systems, analysis of their current and forecasting of their future behavior. Today one of the most popular is the method of simulation modeling. It combines the features of the experimental approach and specific conditions for the use of computer technology. Computer modeling makes the process more clear and understandable for the average researcher.

The article considers the approaches of system dynamics, discrete and agent-based modeling. The advantages of simulation modeling method and stages of constructing models based on it are presented. A brief review and analysis of simulation systems ARIS, Arena, Anylogic, iThink is presented. Results of the analysis are summarized in the final table. The possible areas of improvement of simulation modeling systems are presented. In conclusion, there is noticed inability of study of economic systems without building models of processes occurring in them. The development of information technology systems brings the processes of systems study to a new level. The method of simulation modeling is relevant and popular today, and therefore development and improvement of simulation modeling systems will be continued.

Ключові слова: моделювання, імітаційне моделювання, системна динаміка, дискретно-подієве моделювання, агентне моделювання, системи імітаційного моделювання.

Key words: modeling, simulation modeling, system dynamics, discrete event modeling, agent modeling, systems of simulation modeling.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Сьогодні проводиться велика кількість наукових досліджень, пов'язаних з вивченням соціально-економічного розвитку регіонів. Вказаний напрям безпосередньо пов'язаний з дослідженням регіону як складної соціально-економічної системи. Такі системи мають одночасно структурову і поведінкову складність, об'єднують в собі безперервні, дискретні, ймовірні процеси, можуть містити навчані компоненти.

Дослідження оточуючих нас економічних систем як одного цілого, об'єднуючого компоненти різної приро-

ди, використання для цього сучасних підходів і засобів автоматизації є особливо актуальним і важливим питанням.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Різні аспекти застосування імітаційного моделювання у окремих галузях економіки досліджено у працях багатьох вітчизняних і зарубіжних учених. Серед українських науковців вагомий внесок у формування теоретико-методологічної бази імітаційного моделювання економічних систем зробили В.В. Кіт, В.Є. Бобильов,

О.В. Дорохов, Ю.В. Золотницька, М.Т. Дехтярук, Л.О. Філіпківська.

Серед зарубіжних вчених окремі аспекти застосування імітаційного моделювання в економіці досліджували П.В. Скородумов, А.В. Улибін, А.А. Арзамасцев, В.В. Додонов, Т.В. Сарапулова, А.Г. Пімонов, А.А. Захаров, О.О. Стеряков, А.С. Бондаревський, А.В. Лебедев.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

На сучасному етапі розвитку складні економічні системи вимушені працювати в умовах високої невизначеності, що суттєво ускладнює управління ними. В процесі прийняття управлінських рішень виникає проблема прогнозування поведінки системи та зовнішнього середовища. Результати прогнозів необхідно постійно корегувати по ходу розвитку подій, що дозволяє пристосовуватися до змін оточення та гнучко реагувати на негативні впливи. Імітаційне моделювання дозволяє здійснити множини прогнозів за різними сценаріями залежно від динамічного формування різноманітних ситуацій практично необмеженої складності. Необхідними умовами створення мінімалістичних моделей, адекватних реальним системам та поставленим завданням прогнозування й аналізу, є вдале обрання методології моделювання, програмних засобів реалізації та планів проведення імітаційних експериментів, що досі складає значні проблеми і є об'єктами дискусій.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Одним з найбільш ефективних методів дослідження складних систем, у тому числі економічних, є імітаційне моделювання [6].

"Імітація" означає відтворення певним чином явищ, подій, дій, об'єктів і т. п. [6]. Цей термін є синонімом поняття "модель" — абстрактний опис системи (об'єкта, процесу, проблеми, поняття) в деякій формі, відмінній від форми її реального існування [4].

Моделювання в загальному вигляді являє собою один з основних методів пізнання, є формою відображення дійсності і полягає у з'ясуванні або відтворенні тих чи інших властивостей реальних об'єктів, процесів, явищ за допомогою абстрактного опису у вигляді зображення, плану, карти, сукупності рівнянь, алгоритмів і програм [4].

Імітаційне моделювання — експериментальний метод дослідження реальної системи за її імітаційною моделлю, який поєднує особливості експериментального підходу і специфічні умови використання обчислювальної техніки [4].

Серед переваг імітаційного моделювання відзначають [9]:

1. Відображення динамічних процесів і поведінкових аспектів зовнішнього середовища.
2. Можливість виявлення закономірностей, динамічних тенденцій розвитку і функціонування складної системи в умовах неповної та неточної інформації.
3. Опис взаємодії та поведінки безлічі активних агентів в соціальних системах.
4. Реалізацію принципів об'єктно-орієнтованого проектування і застосування високотехнологічних рішень при побудові комп'ютерних моделей та ін.

Головною проблемою при побудові будь імітаційної моделі є необхідність побудови комплексних математичних моделей і розробки програмного коду імітаційної моделі. У сучасних системах імітаційного моделювання робляться спроби вирішити цю проблему за допомогою автоматизації побудови коду імітаційної моделі на підставі різних графічних схем (візуальних моделей) і з використанням методів об'єктно-орієнтованого проектування. Такий підхід значно полегшує завдання створення імітаційної моделі і робить саму модель більш зрозумілою для користувачів [11].

У імітаційному моделюванні виділяють такі основні підходи: системна динаміка, дискретне моделювання, агентське моделювання [7]. У роботах різних авторів серед підходів імітаційного моделювання відзначаються також динамічне моделювання [3], об'єднаний підхід [7], мережеві парадигми, мережі кусочно-лінійних агрегатів [10] та ін. У даній роботі зупинимося на трьох основних підходах, які отримали найбільше поширення.

Як методологія системна динаміка була запропонована в 1961 році Дж. Форрестером в якості інструменту дослідження інформаційних зворотних зв'язків у виробничо-господарській діяльності. Процеси, що відбуваються в реальному світі, в системній динаміці представляються в термінах накопичувачів і потоків між ними. Системно-динамічна модель описує поведінку системи та її структуру як безліч взаємодіючих зворотних зв'язків і затримок. Математично така модель виглядає як система диференціальних рівнянь [12]. Результатом моделювання в системній динаміці є виявлення глобальних залежностей і причинно-наслідкових зв'язків у досліджуваній системі. До цього типу належать системи VenSim, PowerSim, iThink та ін.

Дискретне моделювання з'явилося на початку 1960-х років, коли Дж. Гордон спроектував і реалізував систему GPSS. Основний об'єкт в цій системі — пасивний транзакт, який може певним чином представляти собою працівників, деталі, сировину, документи, сигнали і т. п. Переміщаючись по моделі, транзакти стають в черги до одноканальних і багатоканальних пристроїв, захоплюють і звільняють їх, розщеплюються, знищуються і т. д. [12]. Відмінною особливістю даного підходу є час просування по моделі: або від події до події, або через дискретні проміжки часу. Дискретне моделювання застосовується, якщо можливо припустити, що змінні в системі змінюються миттєво в певні проміжки часу. Даний підхід імітаційного моделювання є одним з найпоширеніших і застосовується для дослідження соціально-економічних, технічних, логістичних та інших процесів. Крім системи GPSS, до цього підходу відносяться системи Arena, Extend, SimProcess та ін. Слід зазначити, що на основі дискретного підходу реалізовано найбільше число систем імітаційного моделювання.

Агентське моделювання з'явилося в 90-х роках і використовується для дослідження децентралізованих систем, динаміка функціонування яких визначається не глобальними правилами і законами (як в інших парадигмах моделювання), а коли ці глобальні правила і закони є результатом індивідуальної активності членів групи. Мета агентських моделей — отримати уявлення про ці глобальні правила, загальну поведінку системи, виходячи з припущень про індивідуальну, приватну поведінку її окремих активних об'єктів і взаємодію цих об'єктів в системі [7].

У разі моделювання економічних систем, що містять великі кількості активних об'єктів (людей, машин, підприємств чи навіть проектів, активів, товарів і т. п.), які об'єднує наявність елементів індивідуальної поведінки, агентське моделювання є підходом більш універсальним і потужним, оскільки дозволяє врахувати будь-які складні структури та їх поведінку [7].

Найбільш потужним з інструментів, що підтримують агентське моделювання, є російський інструментарій AnyLogic компанії XJ Technologies, що довів останнім часом свою міць і зручність за рахунок застосування об'єктно-орієнтованого підходу, візуального проектування, дружнього графічного інтерфейсу, платформо-незалежності мови Java. Крім того, він реалізує об'єднаний підхід за рахунок надання можливості створення гібридних моделей на основі різних підходів імітаційного моделювання [7].

Розробка імітаційної моделі включає наступні етапи [3]:

1. Формулювання мети дослідження.

2. Збір інформації і даних.
3. Розробка концептуальної моделі.
4. Перевірка концептуальної моделі на адекватність поставленій задачі і виконання структурного критичного аналізу.
5. Переведення концептуальної моделі в машинне подання за допомогою програмних засобів.
6. Верифікація отриманої моделі.
7. Повернення до пунктів 1 — 3 (залежно від виявленої помилки) у разі неадекватності отриманої моделі.
8. Розробка, виконання й аналіз експериментів.
9. Документування і подання отриманих результатів.

Для забезпечення найбільшої адекватності моделі слід залучати до її розробки експертів предметної області. При цьому використовуються два основні підходи виконання верифікації та валідації: запрошення повністю залученого в групу розробників користувача і незалежна верифікація та валідація (виконується сторонньою групою).

У процесі валідації застосовуються різні методи: анімація, порівняння з іншими моделями, тести на екстремальні умови та ін. [3].

Практично всі існуючі програмні засоби імітаційного моделювання розроблені для підтримки якогось певного підходу. Серед найбільш поширених систем імітаційного моделювання, що мають розвинені графічні засоби, можна назвати ARIS, Arena, Anylogic, iThink (найбільш популярні програмні продукти серед різних підходів імітаційного моделювання). Розглянемо їх більш докладно.

Система IM ARIS являє собою комплекс засобів аналізу і моделювання діяльності підприємства. Її методичну основу складає сукупність різних методів моделювання, що відображають різні погляди на досліджувану систему. Одна і та ж модель може розроблятися з використанням декількох методів, що дозволяє використовувати ARIS фахівцям з різними теоретичними знаннями і налаштовувати його на роботу з системами, що мають свою специфіку [1].

Методика моделювання ARIS ґрунтується на теорії побудови інтегрованих інформаційних систем, яка визначає принципи візуального відображення всіх аспектів функціонування аналізованих компаній. ARIS підтримує чотири типи моделей, що відображають різні аспекти досліджуваної системи: організаційні, функціональні, інформаційні, а також моделі управління. Для їх побудови використовуються як власні методи моделювання ARIS, так і різні відомі методи і мови моделювання, зокрема, UML.

У процесі моделювання кожен аспект діяльності підприємства спочатку розглядається окремо, а після детального опрацювання всіх аспектів будується інтегрована модель, що відображає всі зв'язки між різними аспектами.

ARIS не накладає обмежень на послідовність побудови моделей. Моделі в ARIS являють собою діаграми, елементами яких є різноманітні об'єкти — "функції", "події", "документи" і т. п. Між об'єктами встановлюються різні за типами зв'язки.

Кожному об'єкту відповідає певний набір атрибутів, які дозволяють ввести додаткову інформацію про конкретний об'єкт. Значення атрибутів можуть використовуватися при імітаційному моделюванні або для проведення вартісного аналізу. В результаті виникає набір взаємопов'язаних моделей, що представляють собою вихідний матеріал для подальшого аналізу.

Основною бізнес-моделлю ARIS є eEPC (extended Eventdriven Process Chain — розширена модель ланцюжка процесів, керованих подіями).

Модель eEPC розширює можливості нотацій IDEF0, IDEF3 і DFD, володіючи усіма їхніми перевагами і недоліками. Застосування великої кількості різних об'єктів, пов'язаних різними типами зв'язків, значно збільшує

розмір моделі і робить її такою, що погано читається.

Бізнес-процес у нотації eEPC являє собою потік послідовно виконуваних робіт, розташованих в порядку їх виконання. Реальна тривалість виконання процедур в eEPC візуально не відображається, для цього рекомендується використовувати інші інструменти опису (наприклад, діаграми Ганта в системах управління проектами).

Пакет Ithink використовує підхід системної динаміки. Для його реалізації слугують конструкції чотирьох типів: станції, потоки, конвертери та з'єднувачі [8]. Щоб створювати дискретні моделі, Ithink використовує три спеціальні станції: черги, сховища і транспортери, які передають елементи між станціями.

Моделі, побудовані за допомогою Ithink, складаються з рівнів і ієрархій. Користувач буде опис моделі на високому рівні за допомогою середовищ моделювання процесів, кожна з яких дозволяє створити модель однієї підсистеми. Завершивши опис, розробник переходить на наступний щабель деталізації і вводить в кожну підмодель необхідні конструкції. Між підмоделями встановлюються зв'язки, які вказують на взаємодію підсистем. Побудувавши модель, забезпечену необхідним числом ієрархічних рівнів, розробник переходить в режим моделювання, щоб визначити математичні зв'язки між станціями, потоками та іншими конструкціями.

Пакет Ithink пропонує розробнику перелік допустимих змінних для визначення математичних зв'язків, забезпечує проведення аналізу чутливості моделі шляхом її багаторазового запуску з різними вхідними параметрами. Вихідними даними є основні види розподілів, застосовувані для статистичного аналізу або діаграми. При запуску моделі Ithink використовуються засоби анімації, що переміщують розташовані на різних рівнях станції відповідно до логіки моделі.

Результати моделювання виводяться у вигляді тимчасових діаграм або діаграм розкиду. Таблиці і діаграми можна переглядати в спеціальних вікнах пакету або у вікні моделі.

Пакет AnyLogic — призначений для розробки і дослідження імітаційних моделей. Побудований на базі нових ідей у галузі інформаційних технологій, теорії паралельних взаємодіючих процесів і теорії гібридних систем. Завдяки цим ідеям надзвичайно спрощується побудова складних імітаційних моделей, є можливість використання одного інструменту при вивченні різних стилів моделювання [5].

Графічна середа моделювання підтримує проектування, розробку, документування моделі, виконання комп'ютерних експериментів, оптимізацію параметрів щодо деякого критерію. При розробці моделі можна використовувати елементи візуальної графіки (діаграми станів, сигнали, події, порти і т. д), синхронне і асинхронне планування подій, бібліотеки активних об'єктів.

При розробці моделі в AnyLogic можна використовувати концепції і засоби з класичних областей імітаційного моделювання: динамічних систем, дискретного моделювання, системної динаміки, агентського моделювання. Крім того, AnyLogic дозволяє інтегрувати різноманітні підходи з метою отримати більш повну картину взаємодії складних процесів різної природи.

Пакет IM Arena дозволяє створювати рухомі комп'ютерні моделі, використовуючи які можна адекватно представити багатоманітні реальні системи. Arena забезпечена зручним об'єктно-орієнтованим інтерфейсом і має можливості з адаптації до всіляких предметних областей [2].

Основа технологій Arena — мова моделювання SIMAN і система Cinema Animation. Процес моделювання організований таким чином. Спочатку користувач крок за кроком будує в візуальному редакторі системи Arena модель. Потім система генерує по ній відповідний код на SIMAN, після чого автоматично запускається Cinema animation.

Таблиця 1. Порівняльний аналіз систем імітаційного моделювання

Характеристика	ARIS	iThink	AnyLogic	Arena
Розробник	IDS Scheer	Isee systems	XJ Technologies	Rockwell Software
Парадигми імітаційного моделювання	Мережеве моделювання	Системна динаміка	Можливе побудування моделей на основі різних підходів	Дискретне моделювання
Побудування моделі	Графічне	Графічне	Графічне, програмне	Графічне, програмне
Налагодження	+	+	+	+
Анімація	+	+	+	+
Експорт та імпорт даних	+	+	+	+
Web-інтерфейс	+	-	-	-
Інтерфейс користувача моделі	-	-	+	-
Наочність моделей	+	+	+	+
Розширені можливості проведення експерименту	+	+	+	+
Ієрархія	+	+	+	+
Спеціалізована мова	UML	-	Java	SIMAN
Побудування діаграм	+	+	+	+
Складання звітів	+	+	+	+

Інтерфейс Arena включає в себе всілякі засоби для роботи з даними, у тому числі електронні таблиці, бази даних.

Імітаційне моделювання дозволяє перевіряти гіпотези про причини виникнення тих чи інших спостережуваних феноменів. SIMAN дозволяє розглядати процеси в різних масштабах часу, виділити змінні, найбільш важливі для успішного функціонування моделюваної системи, і проаналізувати наявні між ними зв'язки. Мова дозволяє виявляти "вузькі місця" в матеріальних, інформаційних та інших потоках. Моделювання дає можливість вивчати об'єкти, про поведінку яких є недостатньо інформації.

У постачання Arena входять готові шаблони рішень. Кожен такий шаблон являє собою набір спеціалізованих модулів, що перетворюють Arena в проблемно-орієнтоване середовище моделювання. Створюючи такі шаблони або змінюючи існуючі, можна пристосувати Arena для вирішення конкретних завдань і перейти від абстрактних понять методології моделювання до прийнятих в аналізованій предметній області термінів.

Для порівняльного аналізу розглянутих систем імітаційного моделювання були обрані 13 характеристик, які відображають можливості представлених продуктів з проведення досліджень, побудови моделей та взаємодії з користувачем (таблиця). Краща з систем визначалася по наявності найбільш широкого функціоналу (чому відповідає максимальне число реалізованих в програмному продукті характеристик). Слід зазначити, що перелік критеріїв оцінки не є єдиним можливим, перелік може змінюватися як у бік зменшення, так і у бік розширення кількості використовуваних характеристик. Різні дослідники при проведенні аналізу систем імітаційного моделювання використовують різні критерії оцінки.

Слід зазначити, що в будь-якій системі імітаційного моделювання можна знайти якісь недоліки з погляду застосовності її в конкретній ситуації. Крім того, сфера інформаційних технологій бурхливо розвивається, з'являються нові підходи і методи вирішення актуальних завдань, змінюються механізми взаємодії користувачів з інформаційними системами. Все це призводить до необхідності постійного вдосконалення систем ІМ і вживаних в них рішень.

Серед можливих напрямів вдосконалення систем моделювання можна відзначити [4]:

1. Створення проблемно-орієнтованих систем моделювання в різних областях досліджень.
2. Наявність зручного і легко інтерпретованого графічного інтерфейсу.

3. Використання розвинутою анімації в реальному часі.

4. Удосконалення інструментів для проведення розрахунків.

5. Застосування інтерактивного розподіленого моделювання, розробки в галузі взаємодії ІМ з інтернет та ін.

Побудова проблемно-орієнтованих систем імітаційного моделювання залишається актуальним напрямком на сьогоднішній день. Існують системи моделювання виробничих систем різного призначення, медичного обслуговування, в галузі телекомунікацій та ін. Такі системи включають абстрактні елементи, мовні конструкції та набори понять, взяті безпосередньо з предметної області досліджень. Це впливає на доступність і привабливість імітаційного моделювання, дозволяє реалізувати різні моделі дослідникам, які не мають досвіду роботи з програмними засобами імітаційного моделювання (всі використовувані для побудови компоненти і механізми їх функціонування вже відомі користувачам і відповідають реально існуючим).

Наявність в сучасних системах моделювання зручного, легко інтерпретованого графічного інтерфейсу, системних поточкових діаграм, блок-схем, реалізованих на ідеографічному рівні, підвищують наочність побудованих з їх допомогою моделей. Графічний підхід до побудови моделей є одним з найбільш популярних і зручних на сьогоднішній день.

Ще одним напрямом вдосконалення систем імітаційного моделювання в області застосування графіки є використання розвинених засобів анімації, найчастіше досить складних, з використанням стандартів в області віртуальної реальності.

Сучасні методології наукового дослідження в комп'ютерному моделюванні вимагають серйозної математичної та інформаційної підтримки, особливо в частині обчислювальних процедур, пов'язаних з плануванням експерименту, оптимізацією, а також організації роботи з великим обсягом даних в процедурах прийняття рішень. Перспективні застосування імітаційного моделювання у поєднанні з іншими методами прийняття рішень, інтелектуальними технологіями, експертними процедурами та реалізація імітаційно-оптимізаційних обчислювальних процедур на основі компенсаційних підходів.

Актуальним є питання інтеграції систем імітаційного моделювання з іншими програмними пакетами (дозволяє здійснювати доступ до процедурних мов, пов'язаних з кодом імітаційної моделі) для реалізації спеціальних обчислень.

Застосування режиму багатьма користувачами, інтерактивного розподіленого моделювання, розробки в

галузі взаємодії імітаційного моделювання з інтернет розширюють можливості та сферу застосування імітаційного моделювання, дозволяючи відпрацьовувати спільні або конкуруючі стратегії різних компаніям.

ВИСНОВКИ З ПРОВЕДЕНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Для побудови імітаційних моделей систем в залежності від необхідного рівня абстракції застосовують різні парадигми ІМ. Незалежно від вибору підходу для побудови моделей особливу увагу слід приділяти формулюванню цілей моделювання, збору вихідної інформації та первинних даних, визначенню досліджуваної області системи і необхідного рівня її деталізації, документуванню всього процесу моделювання, визначенню формату надаваних результатів.

У цілому, якщо аналізувати таблицю, можна говорити про те, що розглянуті пакети імітаційного моделювання надають користувачам широкі можливості з побудови моделей різного рівня складності, формуванню необхідних звітів в необхідній формі, а також володіють можливостями налаштування і розширення наявних стандартних бібліотек.

На тлі інших пакетів виділяється система AnyLogic, що дозволяє використовувати різні парадигми імітаційного моделювання в одному програмному продукті, що розширює можливості по проведенню досліджень у різних галузях. Підтвердженням популярності даного продукту є численні комерційні та наукові дослідження, велика кількість публікацій і виступів на різних конференціях по ІМ, в основі яких лежить рішення від компанії XJ Technologies.

З представлених в огляді систем необхідно відзначити також пакет ARIS, єдиний має веб-орієнтовану версію. Крім того, розробники надають власний хмарний сервіс для використання системи.

Хмарні обчислення і веб-орієнтовані додатки є особливо популярними і актуальними останнім часом і не обгрунтовано ігнорують більшістю розробників систем ІМ. Вважаю, що саме в цьому напрямі надалі розвиватиметься більшість програмних продуктів, у тому числі пов'язаних з ІМ.

Сучасні дослідження економічних систем, у тому числі систем соціально-економічного розвитку регіонів, неможливо уявити без побудови моделей протікаючих у них процесів. Розвиток інформаційних технологій і техніки вивело процеси вивчення цих систем на новий якісний рівень. У значній частині проведених досліджень застосовуються підходи та програмні пакети імітаційного моделювання. Це дозволяє говорити про те, що даний підхід є актуальним і затребуваним, а значить, вдосконалення систем імітаційного моделювання буде продовжуватися.

Література:

1. Вендров А.М. Методы и средства моделирования бизнес-процессов (обзор) [Текст] / А.М. Вендров // Информационный бюллетень. — 2004. — № 10 (137). — С. 1—32.
2. Габрин К.Э. Основы имитационного моделирования в экономике и управлении [Текст] / К.Э. Габрин, Е.А. Козлова. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ 2004. — 108 с.
3. Журавлев С.С. Краткий обзор методов и средств имитационного моделирования производственных систем [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://goo.gl/D75coh>
4. Ильин А.А. Имитационное моделирование экономических процессов [Текст] / А.А. Ильин. — Тула, 2007. — 121 с.
5. Киселева М.В. Имитационное моделирование систем в среде AnyLogic [Текст] / М.В. Киселева. — Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. — 88 с.
6. Кобелев Н.Б. Основы имитационного моделирования сложных экономических систем [Текст] / Н.Б. Кобелев. — М.: Дело, 2003. — 336 с.

7. Коровин А.М. Анализ подходов и программного обеспечения для имитационного моделирования социальных и экономических систем [Текст] / А.М. Коровин // Вестник ЮУрГУ. — 2012. — № 35. — С. 98—100.

8. Кузнецов Ю.А. Применение пакетов имитационного моделирования для анализа математических моделей экономических систем [Текст] / Ю.А. Кузнецов, В.И. Перова. — Н. Новгород: ННГУ 2007. — 99 с.

9. Лычкина Н.Н. Динамическое имитационное моделирование развития социально-экономических систем и его применение в информационно-аналитических решениях для стратегического управления [Электронный ресурс] / Н.Н. Лычкина. — Режим доступа: <http://goo.gl/7KQcWi>

10. Лычкина Н.Н. Современные технологии имитационного моделирования и их применение в информационных бизнес-системах [Электронный ресурс] / Н.Н. Лычкина. — Режим доступа: <http://goo.gl/Z7SVGD>

11. Рванцов Ю.А. Сравнительный анализ систем имитационного моделирования деловых процессов по критерию функциональной полноты [Текст] / Ю.А. Рванцов // Вестник ДГТУ — 2011. — Т. 11. — № 1 (52). — С. 69—73.

12. Чернышова Н.Н. Имитационное моделирование бизнес-процессов [Текст]: учеб.-метод. пособие / Н.Н. Чернышова. — Н. Новгород: НГУ им. Лобачевского, 2010. — 28 с.

References:

1. Vendrov, A. M. (2004), "Methods and Tools for Modeling Business Processes (an Overview)", *Informatsionnyi byulleten'*, vol. 10 (137), pp.1—32.
2. Gabrin, K. E. and Kozlova, E. A. (2004), *Osnovy imitatsionnogo modelirovaniya v ekonomike i upravlenii* [Fundamentals of Simulation Modeling in Economics and Management], YuUrGU, Chelyabinsk, Russia.
3. Zhuravlev, S. S. (2014), "Brief Overview of Methods and Tools for Simulation Modeling of Production Systems", available at: <http://goo.gl/D75coh>
4. Ilyin, A. A. (2007), *Imitatsionnoe modelirovanie ekonomicheskikh protsessov* [Simulation Modeling of Economic Processes], Tula, Russia.
5. Kiseleva, M. V. (2009), *Imitatsionnoe modelirovanie sistem v srede AnyLogic* [Simulation Modelling of Systems in Any-Logic], UGTU-UPI, Yekaterinburg, Russia.
6. Kobelev, N. B. (2003), *Osnovy imitatsionnogo modelirovaniya slozhnykh ekonomicheskikh sistem* [Fundamentals of Simulation Modeling of Complex Economic Systems], Delo, Moscow, Russia.
7. Korovin, A. M. (2012), "Analysis of Approaches to and Software for Simulation Modelling of Social and Economic Systems", *Vestnik YuUrGU*, vol. 35, pp. 98—100.
8. Kuznetsov, Yu. A. and Perova, V. I. (2007), *Primenenie paketov imitatsionnogo modelirovaniya dlya analiza matematicheskikh modelei ekonomicheskikh sistem* [The Use of Simulation Modelling Packages for the Analysis of Mathematical Models of Economic Systems], NNGU, Nizhny Novgorod, Russia.
9. Lychkina, N. N. (2013), "Dynamic Simulation Modeling of Development of Socio-Economic Systems and its Application in Information-Analytical Solutions for Strategic Management", available at: <http://goo.gl/7KQcWi>
10. Lychkina, N. N. (2011), "Modern Simulation Modeling Technologies and Their Application in Informational Business-Systems", available at: <http://goo.gl/Z7SVGD>
11. Rvantsov, Yu. A. (2011), "Comparative Analysis of Systems for Simulation Modeling of Business Processes according to the Criterion of Functional Completeness", *Vestnik DGTU*, vol. 11, no. 1 (52), pp. 69—73.
12. Chernyshova, N. N. (2010), *Imitatsionnoe modelirovanie biznes-protsessov: ucheb.-metod. posobie* [Simulation Modeling of Business Processes: Study Guide], NGU im. Lobachevskogo, Nizhny Novgorod, Russia.

Стаття надійшла до редакції 28.12.2015 р.