

КОМП'ЮТЕРНІ Й ІНФОРМАЦІЙНІ МЕРЕЖІ І СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА COMPUTER AND INFORMATION NETWORKS AND SYSTEMS MANUFACTURING AUTOMATION

УДК 658.012.2

З.М. Соколовська, д-р екон. наук, проф. Одес.
нац. політехн. ун-т

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ БІЗНЕС- ПРОЦЕСІВ СКЛАДНИХ ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ

З.М. Соколовська. Імітаційне моделювання бізнес-процесів складних економічних систем. Надається огляд сучасних підходів і інструментальних засобів імітаційного моделювання. Аналізуються можливості їх залучення в дослідженні бізнес-процесів складних економічних об'єктів. Демонструється використання системно-динамічного підходу в моделюванні бізнес-процесів промислових підприємств.

Ключові слова: імітаційне моделювання, бізнес-процес, складні економічні системи.

З.Н. Соколовская. Имитационное моделирование бизнес-процессов сложных экономических систем. Приводится обзор современных подходов и инструментальных средств имитационного моделирования. Анализируются возможности их привлечения в исследовании бизнес-процессов сложных экономических объектов. Демонстрируется использование системно-динамического подхода в моделировании бизнес-процессов промышленных предприятий.

Ключевые слова: имитационное моделирование, бизнес-процесс, сложные экономические системы.

Z.N. Sokolovskaya. Imitation modeling of business processes in complex economic systems. The review of modern approaches and instruments of imitation modeling is adduced. The possibilities of using them in research of business processes of the complex economic objects are analyzed. The use of system-dynamic approach in modeling business processes of industrial enterprises is demonstrated.

Keywords: imitation/simulation modeling, business process, complex economic systems.

Перехід від функціональної до процесної концепції управління економічними системами зумовлює головний об'єкт дослідження — бізнес-процеси. Архітектура сучасного підприємства не тільки об'єднує всі його підсистеми, але агрегує знання про бізнес-процеси, бізнес-правила, всі види потоків (матеріальні, людські, фінансові, інформаційні та т.і.), організаційну структуру. Всі процеси у межах ефективної архітектури повинні працювати на кінцевий результат, а процеси-дезорганізатори своєчасно виявлятися та приводитися у відповідність загальній стратегії розвитку об'єкту. Встає необхідність не тільки відокремлення та класифікації бізнес-процесів, а й прогнозування їх поведінки за різними сценаріями, оцінки загальної вартості та рівня використання ресурсів.

Згідно з цим постає проблема вибору ефективних засобів бізнес-процесного моделювання — доступних та зрозумілих як програмістами, так і менеджерами; забезпечених розвинутим сервісом та реалізуючих можливість роботи на різних рівнях агрегації. Хоча у цьому напрямі існує певна кількість вітчизняних та зарубіжних розробок [1...4], [5], створення успішних проектів з прикладною реалізацією не можна вважати розповсюдженою практикою, особливо

на вітчизняному рівні.

Серед існуючих пропозицій одним з ефективних напрямків створення бізнес-додатків є залучення апарату імітаційного моделювання (ІМ), який за останнє десятиліття перетерпів революційного розвитку. Але в цьому напрямку постає низка дискусійних питань, пов'язаних з вибором підходу, програмної платформи розробки моделі, а також проблеми планування імітаційних експериментів.

Згідно з окресленими проблемами метою статті є порівняльний аналіз існуючих підходів імітаційного моделювання та демонстрація можливостей використання системно-динамічного підходу в моделюванні бізнес-процесів промислових підприємств.

У сучасному імітаційному моделюванні сформувалися та широко використовуються три головні підходи — дискретно-подійне моделювання (ДПМ), системна динаміка (СД) та агентне моделювання (АМ).

Математично СД оперує з безперервними у часі процесами, тоді як ДПМ та АМ — в основному з дискретними. Системна динаміка замінює індивідуальні об'єкти їх агрегатами та передбачає найвищий рівень абстракції. ДПМ працює на нижчому та середньому рівні абстракції. АМ використовується на будь-якому рівні та у будь-якому масштабі.

Основою ДП підходу є концепція замовлень (транзактив, entities), ресурсів та поточкових діаграм (flowcharts), які визначають потоки замовлень і використання ресурсів. Найбільш розповсюджені програмні платформи підтримки підходу — GPSS/PC, GPSS/H, GPSS World, Object GPSS, Arena, SimProcess, Enterprise, Dynamics, Auto-Mod. Трудомісткість опису моделей у термінах бізнес-процесів частково компенсується за рахунок використання таких продуктів, як Object GPSS або ISS 2000.

СД підхід використовується тоді, коли динаміка об'єкту моделювання визначається у вигляді еволюційних змін, без відтворення окремих елементарних подій. Моделі реальних об'єктів при цьому представлені у вигляді взаємодії потоків різноманітної природи. Поточковий підхід реалізується на базі методу системної динаміки, який був запропонований Дж. Форрестером на початку 60-х років минулого століття. Фундаментальними поняттями методу є поняття фонду (накопичувач, резервуар) та потоків. Об'єкт моделювання в межах прийнятої концепції представлено як динамічну систему, що складається з фондів, пов'язаних між собою потоками. Вміст фондів вимірюється їх рівнем, а інтенсивність потоків визначається темпами або швидкістю переміщення вмісту фондів. Наведені поняття є дуже універсальними і легко інтерпретуються у термінах конкретної економічної системи. Наприклад, у вигляді фондів (накопичувачів) можуть виступати рахунок підприємства у банку, склад готової продукції, резервні фонди страхової компанії, величина отриманого прибутку, обсяги відвантаженої продукції, бюджет рекламної компанії фірми тощо. Рівні фондів визначаються величинами безперервними за діапазоном своїх значень та дискретними у часі. Вони фактично є змінними стану системи, значення яких формуються за рахунок накопичення різниць між вхідними та вихідними потоками.

Потоки можуть відображати різні процеси — матеріальні, фінансові, інформаційні, людських ресурсів тощо. Їх темп визначається управлінськими рішеннями, які формуються на основі інформації про стан рівнів. Рівняння темпів — це формалізовані правила, що визначають, яким чином інформація про рівні призводить до вибору поточних значень темпів потоків.

В моделях поточкового типу передбачувані елементи затримки у часі, тому що реальним системам притаманна тривалість конкретних процесів. Моделі системної динаміки — це моделі зі зворотними зв'язками, у яких процеси протікають у часі. Останнє досягається за рахунок наявності специфічної дискретної змінної — “часу”. Користувач має змогу встановити як термін імітації — загальний час моделювання, так і крок імітації — часовий крок моделювання (елементарну одиницю часу).

На математичному рівні моделі системної динаміки є системою кінцево-різницевого рівняння, які вирішуються на основі чисельного алгоритму інтегрування (за схемою Ейлера або Рунге-Кутта) з постійним кроком та заданими начальними значеннями. Формування моделі за методом системної динаміки здійснюється за допомогою діаграм причинно-наслідкових

зв'язків. Діаграми визначають, в яких відношеннях знаходяться між собою змінні і являють собою розмічені графи.

Програмні платформи СД — DYNAMO, Stella, Vensim, PowerSim, Ithink, ModelMaker та ін.

Агентне (мультиагентне) моделювання (agent-based modeling) — це новий підхід в імітаційному моделюванні. Агентна модель визначає досліджуваний об'єкт у вигляді окремих специфікованих активних підсистем (агентів).

На сьогодні не існує єдиного визначення поняття “агент”. Йде дискусія, якими якостями повинен володіти об'єкт, щоб стати “агентом”: ініціативністю, реактивністю, орієнтацією у просторі, спроможністю навчатися, спілкуватися, бути інтелектуальним тощо. Одним з достатньо вичерпних є визначення, наведене у [5], у якому стверджується, що агент — це деяка сутність, яка володіє активністю, автономною поведінкою, може приймати рішення у відповідності з деяким набором правил, може взаємодіяти з оточенням та іншими агентами, а також може змінюватися (еволюціювати). Мета агентних моделей — отримати уявлення про ці глобальні правила, загальну поведінку системи, виходячи з припущень щодо індивідуальної, приватної поведінки її окремих активних об'єктів та взаємодії цих об'єктів в системі.

Агенти моделі використовуються для дослідження децентралізованих систем, динаміка функціонування яких визначається не глобальними правилами та законами, а навпаки, ці глобальні правила та закони є результатом індивідуальної активності членів групи. Всі агентні моделі поєднують децентралізований характер їх організації і функціонування.

Агентне моделювання називають ще моделюванням “знизу — наверх”, тому що, перш за все, визначається поведінка на індивідуальному рівні, а глобальна поведінка виникає як результат діяльності багатьох (десятьків, сотень, тисяч, мільйонів) агентів, кожен з яких слідує власним правилам, живе у загальному середовищі, взаємодіє з цим середовищем та з іншими агентами.

В галузі економіки не зовсім адекватні моделі сталих рівноважних режимів. Більш адекватним є аналіз моделей, які дозволяють виповнити аналіз формування правил та тенденцій глобальної поведінки як інтегральних характеристик поведінки багатьох активних гравців.

Фахівці визначають три стадії побудови агентної моделі:

1. Визначення меж моделі: яке явище/подія моделюються, які їх рамки.
2. Визначення поведінки/взаємодії агентів: розробка моделі поведінки/прийняття рішень агентом і його взаємодія з іншими агентами.
3. Розробка і апробація моделі, проведення аналізу чутливості.

Найбільш поширені програмні платформи підтримки підходу — SWARM, RePast, AScape, AnyLogic.

Аналіз наведених підходів доводить, що залучення конкретного підходу залежить від особливостей поставлених завдань. Так, бізнес-процесне моделювання може бути здійснене практично за всіма підходами залежно від особливостей об'єктів та необхідного ступеня агрегації.

Пропонується комплекс імітаційних моделей основних бізнес-процесів виробничо-збутової сфери діяльності промислових підприємств, побудований на програмній платформі Ithink з використанням методу системної динаміки (СД).

Розроблено типові моделі виробничо-збутових систем, в яких легко може відтворюватися галузева специфіка. В моделях відображені різні структури бізнес-процесів збуту. Однією з головних задач дослідження було вивчення впливу вказаних структур на кінцеві показники функціонування виробничо-збутових систем — підприємств — та їх мережі розподілу продукції. Окрім цього, в процесі моделювання досліджувався ринковий попит на продукцію підприємства.

Метою створення модельного комплексу була розробка тренажеру для відпрацювання управлінських рішень стратегічного характеру. Достатньо високий рівень агрегації та необхідність дослідження, перш за все, загальної динаміки бізнес-процесів, зумовили вибір системно-динамічного підходу та програмної платформи його реалізації — Ithink.

Загальна структура модельного комплексу наведена на рис. 1.

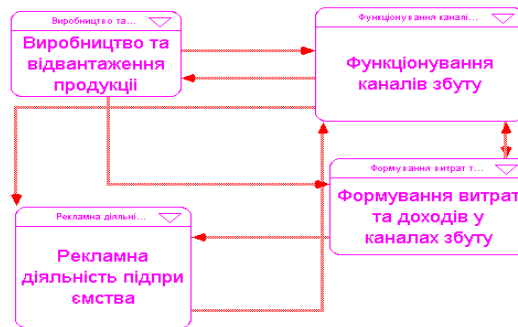


Рис. 1. Структура модельного комплексу функціонування виробничо-збутової системи

Комплекс містить чотири сектори:

1. “Виробництво та відвантаження продукції” — імітація функціонування виробничо-збутової мережі типового промислового підприємства з точки зору формування потоку замовлень на випуск продукції, реалізації виробничих можливостей, а також формування потоків просування готової продукції у мережі збуту.
2. “Функціонування каналів збуту” — імітація потоків просування продукції у каналах збуту (зважаючи на структуру конкретного каналу).
3. “Формування витрат та доходів у каналах збуту” — імітація потоків формування витрат та показників прибутковості у виробничій ланці та в окремих ланках ланцюга збуту.
4. “Рекламна діяльність підприємства” — моделювання рекламного бюджету, поточних витрат на рекламу та реакції ринку на рекламні зусилля, що безпосередньо впливають на формування ринкового попиту. На базі даного сектора реалізується зворотній зв'язок між рекламною та виробничо-збутовою діяльністю підприємства.

Імітаційні експерименти на моделях дозволяють менеджерам підприємства оцінити “вузькі місця” як у виробництві, так і у каналах збуту, а також визначитися з маркетинговою стратегією на перспективу. Наприклад, на рис. 2 наведені деякі скриншоти імітаційних експериментів на базі сектора “Рекламна діяльність підприємства”.

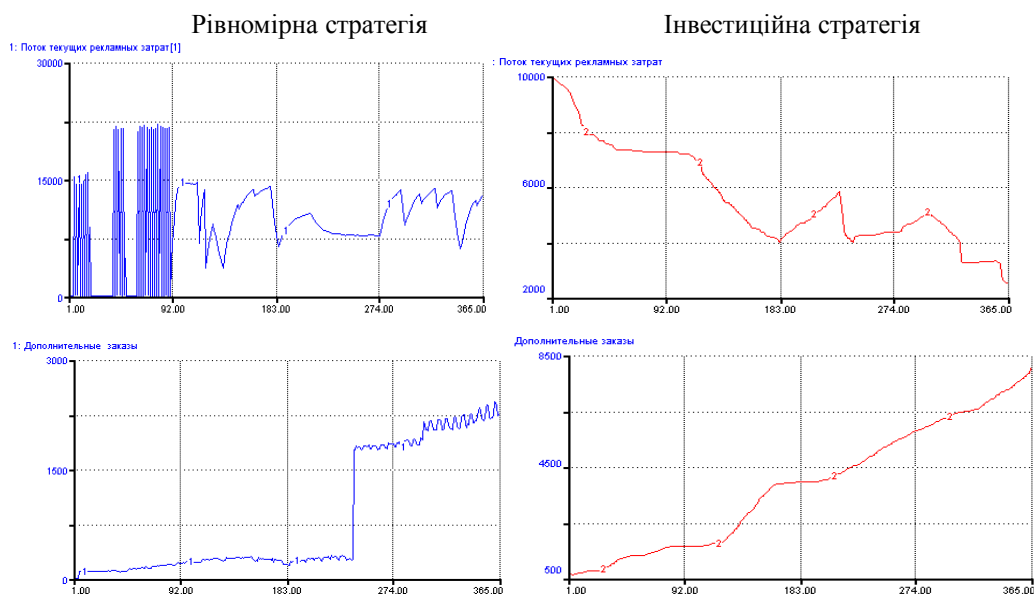


Рис. 2. Скриншоти сектору “Рекламна діяльність підприємства”

Рівномірна стратегія

Інвестиційна стратегія

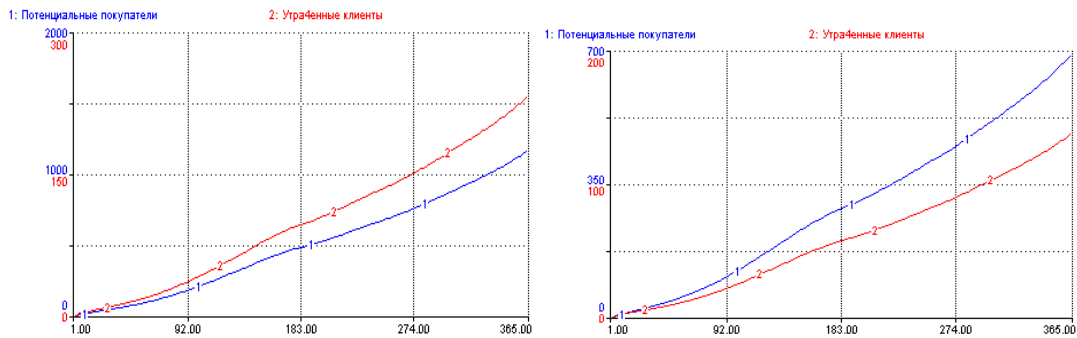


Рис. 2. Скриншоти сектору “Рекламна діяльність підприємства” (Продовження)

Період імітації (ось —X) — рік, крок імітації — день. Динаміки поточних рекламних витрат та додаткових замовлень — у вартісному вимірі (грн.), динаміки потенційних покупців та втрачених клієнтів — у натуральному вимірі (кількість осіб).

Представлено динаміки відрахувань у рекламний бюджет згідно двох різних стратегій — “рівномірної стратегії” (відрахування невеликого відсотка від обсягу реалізації без значних первинних фінансових вкладень на різних етапах життєвого циклу виробу) та “інвестиційної стратегії” (впроваджується інвестиційний проект по інтенсифікації маркетингової діяльності на товарному ринку регіону).

Згідно “рівномірній стратегії” ринок адекватно реагує на рекламні зусилля. При цьому динаміки відображають сезонний характер досліджуваного виробництва. Спочатку (перше півріччя) реакція ринку є мінімальною, що відповідає затриманню відгуку цільової аудиторії на рекламні витрати. Для другого півріччя характерним є сплеск попиту, потім поступово динаміка попиту стабілізується. Експеримент показав, що абсолютні значення показників попиту незначно перевищують витрати на рекламу у відповідних періодах. Однак слід пам’ятати про довготермінову «роботу» рекламних витрат. За статистикою приблизно 40% цільової аудиторії, яка відреагувала на рекламу (потенційних покупців), втрачається і тільки 60% переходить до розряду постійних покупців. Стратегія доводить оптимістичний результат — збільшення обсягів ринкового попиту. Інвестиційна стратегія демонструє найбільш інтенсивний потік інвестицій на начальному етапі. Відклик ринку — також позитивний, про що свідчить збільшення обсягу попиту покупців. До того ж діаграма демонструє сталу тенденцію збільшення попиту. Динаміка потоків потенційних і втрачених клієнтів дозволяє також відстежити вплив змін рекламної стратегії.

Таким чином, завдяки моделі-тренажеру менеджер може оцінити вплив стратегії формування рекламного бюджету на зрушення у цільовій аудиторії та зміни ринкового попиту.

На рис. 3 та 4 наведені скриншоти імітаційних експериментів на базі секторів “Формування витрат та доходів у каналах збуту” та “Функціонування каналів збуту” (період імітації — рік, крок імітації — день). Розглянуто канали збуту підприємства у двох регіонах. Аналізується, яка структура каналу (двох- або трьохланкова) більш ефективна для конкретного регіону.

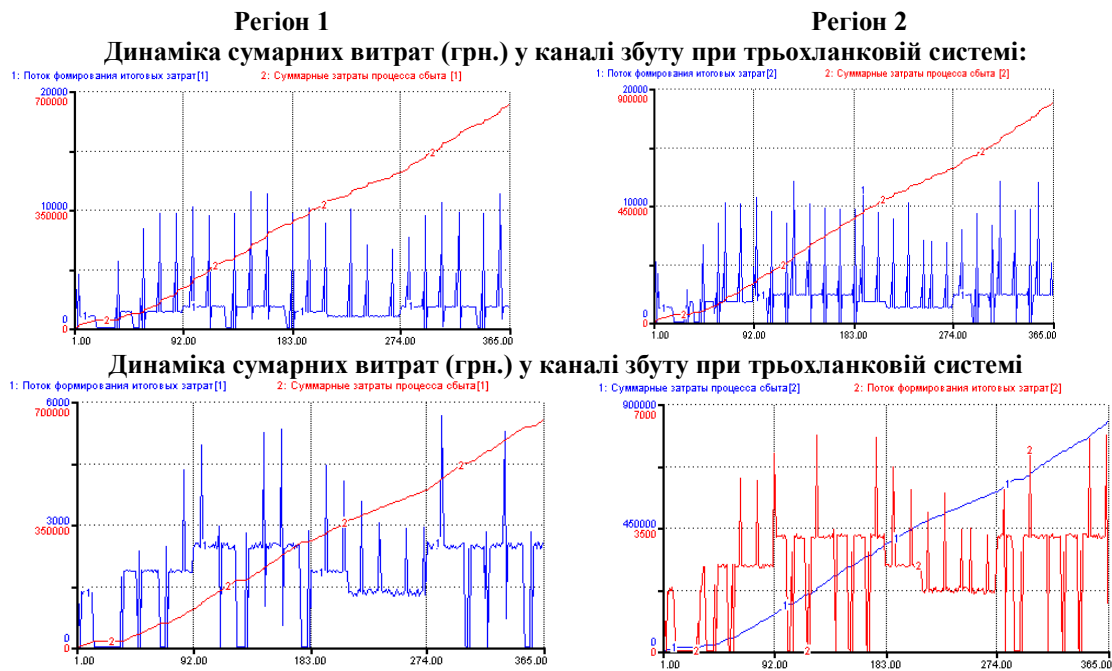


Рис.3. Скриншоти сектору “Формування витрат та доходів у каналах збуту”

**Динаміка процесів реалізації (нат. од. — кг.) у роздрібній мережі
(1 — перший регіон), 2— другий регіон)**

Трьохланкова структура каналу збуту

Двохланкова структура каналу збуту

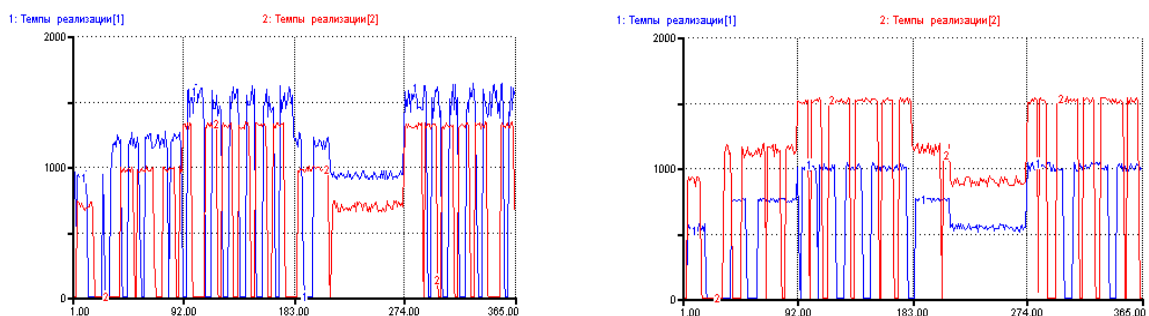


Рис.4. Скриншоти сектору “Функціонування каналів збуту”

З наведених даних видно, що по регіону 2 підсумкові витрати у каналі збуту більші, ніж по регіону 1. Рівень поточних витрат по регіону 1 вищий при трьохланковій, ніж при двохланковій системі каналу збуту. В той же час динаміка та рівень накопичувальних витрат на кінець року відрізняються незначно. У регіоні 1 трьохланковий канал працює краще, ніж двохланкова система — обсяги реалізації значно більші. В той же час у регіоні 2 спостерігається зворотна картина. Двохланкова система сприяє підвищенню ритмічності реалізації та загальному збільшенню обсягів збуту. Більш детальне ознайомлення з ситуацією у різних регіонах довело більшу ефективність субдистрибуторів регіону 1 та недостатньо гнучку політику і пасивність менеджерів аналогічної ланки регіону 2. Модельні експерименти довели, що у регіоні 1 більш виправдовує себе трьохланкова структура каналу розподілу, а у регіоні 2 — двохланкова.

Повний опис модельного комплексу, планів та результатів проведення імітаційних експериментів на реальних промислових об'єктах наведено у [6].

Наведений матеріал доводить, що імітаційні технології спрямовані на відтворення динаміки розвитку об'єкту, а також різноманітних стохастичних змін його внутрішнього та зовнішнього середовища. Це забезпечує можливість моделювання нетривіальної поведінки складних систем управління з позицій бізнес-процесної ідеології. Запропонований модельний комплекс є модульним та відкритим, що дозволяє користувачам вносити будь-які зміни стосовно складу та елементів задіяних бізнес-процесів. Використання CASE-технологій пакету Ithink значно спрощує технологію проведення імітаційних експериментів, що робить її більш прийнятною для експлуатації в повсякденній діяльності.

Література

1. Лычкина Н.Н. Имитационные модели в процедурах и системах поддержки принятия стратегических решений на предприятиях. — Бизнес—информатика. — №1. — 2009. — с.35—41
2. Серова Е. Современные методологические и инструментальные подходы моделирования бизнес задач// The paper is selected from XIVth International Conference "Knowledge — Dialogue — Solution" KDS 2008, Varna, Bulgaria, June—July 2008. — с. 455—467
3. Цисарь И.Ф. Моделирование экономики в Ithink_Stella. Кризисы, налоги, информация, банки. —М.: «Изд-во ДИАЛОГ_МИФИ», 2009. — 224 с.
4. Swain J.J. Power Tools for Visualization and Decision—Making, OR/MS Today, February 2008. — Simulation SoftWare Survey. — 660 p.
5. Боршев А.В. Практическое агентное моделирование и его место в арсенале аналитика //Exponenta Pro, N 3-4, 2004. (<http://www.gpss.ru/index—h.html>).
6. Соколовська З.М., Клепікова О.А. Комп'ютерне моделювання складних економічних систем: Монографія. — Одеса:Астропринт, 2011. — 502 с.

References

1. Lychkina N.N. Imitatsionnye modeli v protsedurakh i sistemakh podderzhki prinyatiya strategicheskikh resheniy na predpriyatiyakh [Simulation Models in the Strategic Decision Support Procedures and Systems at Enterprises]. — Biznes-informatika [Business Informatics]. — #1. — 2009. — pp.35-41
2. Serova E. Sovremennyye metodologicheskie i instrumental'nye podkhody modelirovaniya biznes zadach [Modern Methodological and Instrumental Approaches to Business Problems Modeling] // The paper is selected from XIVth International Conference "Knowledge-Dialogue-Solution" KDS 2008, Varna, Bulgaria, June-July 2008. — pp. 455-467.
3. Tsisar' I.F. Modelirovanie ekonomiki v Ithink_Stella. Krizisy, nalogi, informatsiya, banki [Modeling of the Economy in Ithink_Stella. Crises, Taxes, Information, Banks]. — Moscow, 2009. — 224 pp.
4. Swain J.J. Power Tools for Visualization and Decision-Making, OR/MS Today, February 2008. — Simulation SoftWare Survey. — 660 pp.
5. Borshchev A.V. Prakticheskoe agentnoe modelirovanie i ego mesto v arsenale analitika [Agent-Based Modeling Practice and its Place in the Arsenal of an Analyst] // Exponenta Pro, # 3-4, 2004. (Available at: <http://www.gpss.ru/index-h.html>).
6. Sokolovska Z.M., Klepikova O.A. Kompiuterne modeliuвання skladnykh ekonomichnykh system: Monohrafiia. [Computer Modeling of Complex Economic Systems: Monograph]. — Odesa, 2011. — 502 pp.

Рецензент д-р екон. наук, проф. Одес. нац. політехн. ун-та Альохін О.Б.

Надійшла до редакції 19 вересня 2011р.