

*С.М. Братушка, канд. фіз.-мат. наук, доц.,
ДВНЗ “Українська академія банківської справи Національного банку України”*

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДНИХ ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ

Робота присвячена систематизації досвіду побудови імітаційних моделей як інструмента дослідження складних систем і процесів в умовах невизначеності. Розглянуто основні принципи та етапи побудови імітаційних моделей, можливості їх використання для практичних досліджень. Наведені рекомендації щодо проведення імітаційного моделювання за допомогою пакета Statistica.

Ключові слова: модель, прийняття рішень, імітаційне моделювання, статистичний аналіз.

Постановка проблеми. Імітаційне моделювання – метод прикладного системного аналізу, який є потужним інструментом дослідження складних систем та процесів, у тому числі і таких, управління якими пов'язане з ухваленням рішень в умовах невизначеності. В порівнянні з іншими методами імітаційне моделювання дозволяє розглядати велике число альтернатив, покращувати якість управлінських рішень і точніше прогнозувати їх наслідки. Проте використання цього методу в практичному управлінні залишається на сьогодні не досить поширеним, перш за все, внаслідок складності відповідного математичного апарату і необхідності обробки значних масивів даних.

Аналіз останніх публікацій. Дослідженню цього питання присвячені праці багатьох вітчизняних та іноземних авторів [1-3]. Зокрема, методологічною основою для розвитку імітаційного моделювання стали роботи Н.П. Бусленка, В.М. Глушкова, Н.Н. Моїсєєва, Т.І. Марчука, І.М. Коваленка. Теоретичною основою стали роботи Д.Б. Хертца (Hertz), в яких вперше був розроблений підхід до використання імітаційного моделювання при бюджетуванні капіталовкладень і в інвестиційних розрахунках; роботи Р. Брейлі, С. Майерса (Breally, Meyers) з описом і аналізом методів кількісного аналізу; В.Н. Лівшица, С.А. Смоляка, в яких представлена методика оцінки проектів в нестабільних господарських умовах, найбільш повно і теоретично чітко проаналізовані питання врахування невизначеності і ризику при ухваленні інвестиційних рішень; Р.М. Качалова, в яких визначені підходи і методи управління господарським ризиком. У роботах російського ученого В.С. Жарова показано, що в умовах розвитку ринкової економіки основним методом моделювання розвитку різних економічних систем є імітаційне моделювання на основі виділення реальних взаємозв'язків між економічними показниками. Таким чином, створення методів оцінки і управління ризиками інвестиційних проектів з використанням математичних засобів, зокрема, імітаційного моделювання за методом Монте-Карло, представляє інтерес з точки зору розвитку теорії оцінки проектів в умовах невизначеності [3, 5, 6].

Метою статті є систематизація досвіду побудови імітаційних моделей і визначення рекомендацій щодо використання сучасного програмного забезпечення для імітаційного моделювання.

Виклад основного матеріалу. Імітаційне моделювання засноване на відтворенні за допомогою ЕОМ розгорнутого в часі процесу функціонування системи з врахуванням взаємодії із зовнішнім середовищем. Основою всякої імітаційної моделі (ІМ) є:

- розробка моделі системи на основі часткових імітаційних моделей (модулів) підсистем, об'єднаних своїми взаємодіями в єдине ціле;
- вибір інформативних (інтеграційних) характеристик об'єкта, способів їх здобуття і аналізу;
- побудова моделі впливу зовнішнього середовища на систему у вигляді сукупності імітаційних моделей зовнішніх впливаючих чинників;
- вибір способу дослідження імітаційної моделі відповідно до методів планування імітаційних експериментів (ІЕ).

Умовно імітаційну модель можна представити у вигляді програмно (або апаратно) реалізованих функціональних блоків.

На рис. 1 показана структура імітаційної моделі. Блок імітації зовнішніх дій (БІЗВ) формує реалізації випадкових або детермінованих процесів, що імітують дії зовнішнього середовища на об'єкт. Блок обробки результатів (БОР) призначений для отримання інформативних характеристик досліджуваного об'єкта. Необхідна для цього інформація надходить з блоку математичних моделей об'єкта (БМО). Блок управління моделями (БУМ) реалізує спосіб дослідження імітаційної моделі, основне його призначення – автоматизація процесу проведення ІЕ.

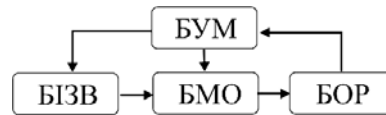


Рис. 1. Загальна структура імітаційної моделі

Метою імітаційного моделювання є створення імітаційної моделі об'єкта і проведення імітаційного експерименту над нею для вивчення закону функціонування і поведінки з врахуванням заданих обмежень і цільових функцій в умовах імітації і взаємодії із зовнішнім середовищем.

До переваг методу імітаційного моделювання можуть бути віднесені:

- проведення ІЕ над ММ системи, для якої натурний експеримент неможливо здійснити з етичних міркувань або у випадках, коли експеримент пов'язаний з небезпекою для життя, або має значну вартість, або внаслідок того, що експеримент не можна провести з минулим;
- вирішення завдань, аналітичні методи для яких непридатні, наприклад, в разі безперервно-дискретних чинників, випадкових дій, нелінійних характеристик елементів системи тощо;
- є можливість аналізу загальносистемних ситуацій і ухвалення рішення за допомогою ЕОМ, у тому числі для таких складних систем, вибір критерію порівняння стратегій поведінки яких на рівні проектування не можна здійснити;
- скорочення термінів і пошук проектних рішень, які є оптимальними за деякими критеріями оцінки ефективності;
- проведення аналізу варіантів структури великих систем, різних алгоритмів управління, вивчення впливу змін параметрів системи на її характеристики і так далі.

Процес функціонування складної системи можна розглядати як зміну її станів, що описуються її фазовими змінними $Z_1(t)$, $Z_2(t)$, ..., $Z_n(t)$ в n -мірному просторі.

Завданням імітаційного моделювання є визначення траєкторії руху даної системи в n -мірному просторі (Z_1, Z_2, \dots, Z_n) , а також обчислення деяких показників, що залежать від вихідних сигналів системи і характеризують її властивості. В даному випадку під "рухом" системи розуміється в загальному сенсі будь-яка зміна, що відбувається в ній. Відомо два принципи побудови моделі процесу функціонування систем:

1. *Принцип Δt* . Передбачимо, що початковий стан системи відповідає значенням $Z_1(t_0)$, $Z_2(t_0)$, ..., $Z_n(t_0)$. Принцип Δt передбачає перетворення моделі системи до такого вигляду, щоб значення Z_1, Z_2, \dots, Z_n у момент часу $t_1 = t_0 + \Delta t$ можна було обчислити знаючи початкові значення, а у момент $t_2 = t_1 + \Delta t$ знаючи значення на попередньому кроці і так для кожного i -го кроку ($\Delta t = const, i = 1 \dots N$).

Принцип Δt є універсальним, він застосовується для широкого класу систем, однак його недоліком є неекономічність з точки зору витрат машинного часу.

2. *Принцип особливих станів* (принцип δz). При розгляді деяких видів систем можна виділити два види станів:

- звичайний, в якому система знаходиться протягом більшого часу, при цьому $Z_i(t)$, ($i = 1 \dots n$) змінюються плавно.
- особливий, характерний для системи в деякі моменти часу, причому стан системи змінюється в ці моменти стрибкоподібно.

Принцип особливих станів відрізняється від принципу t тим, що час зміни станів системи в цьому випадку непостійний, є величиною випадковою і обчислюється відповідно до

інформації про попередній особливий стан. Прикладами систем, що мають особливі стани, є системи масового обслуговування. Особливі стани з'являються в моменти надходження заявок, в моменти звільнення каналів і так далі. Для таких систем використання принципу Δt є нераціональним, оскільки при цьому можливі пропуски особливих станів і необхідні методи їх виявлення. У практиці використання імітаційного моделювання описані вище принципи при необхідності комбінують.

Основні методи імітаційного моделювання

Основними методами імітаційного моделювання є: аналітичний метод, метод статичного моделювання і комбінований метод (аналітико-статистичний) метод.

Аналітичний метод в більшості випадків використовується для імітації процесів для малих і простих систем, коли відсутній чинник випадковості. Наприклад, коли процес їх функціонування описаний диференційними або інтегродиференційними рівняннями. Метод названий умовно, оскільки він об'єднує можливості імітації процесу, модель якого отримана у вигляді аналітично замкнутого рішення, або рішення, отриманого методами обчислювальної математики.

Метод статистичного моделювання спочатку розвивався як метод статистичних випробувань (Монте-Карло). Це – чисельний метод, що полягає в здобутті оцінок імовірнісних характеристик, які співпадають з аналітичних завдань (наприклад, з вирішенням і обчисленням визначеного інтеграла). Надалі цей метод став застосовуватися для імітації процесів, що відбуваються в системах, усередині яких є джерело випадковості або які здатні до випадкових дій. Метод отримав назву методу статистичного моделювання.

Комбінований метод (аналітико-статистичний) дозволяє об'єднати переваги аналітичного і статистичного методів моделювання. Він застосовується в разі розробки моделі, що складається з різних модулів, які представляють набір статистичних та аналітичних моделей, і взаємодіють як єдине ціле.

Метою імітаційного моделювання на ЕОМ є відтворення різних сигналів, математичні моделі яких описуються випадковими процесами. Слід мати на увазі, що відтворення на ЕОМ процесів з безперервним часом неможливе, зважаючи на дискретну природу ЕОМ. Завдання моделювання випадкових процесів надалі розуміється як завдання відшукування алгоритму, що дозволяє формувати на ЕОМ реалізації таких процесів.

У загальному випадку проведення імітаційного експерименту можна розбити на наступні етапи.

1. Встановлення взаємозв'язку між вихідними і вхідними показниками у вигляді математичного рівняння або нерівності.
2. Визначення законів розподілу значень для ключових параметрів моделі.
3. Проведення комп'ютерної імітації значень ключових параметрів моделі.
4. Розрахунок основних характеристик розподілів вихідних і вихідних показників.
5. Проведення аналізу отриманих результатів і прийняття рішення.

Результати імітаційного експерименту можуть бути доповнені статистичним аналізом, а також використовуватися для побудови прогнозних моделей і сценаріїв.

Технологія імітаційного моделювання в пакеті Statistica

Найбільш часто проведення імітаційних експериментів виконується в середовищі MS Excel або за допомогою вбудованих функцій, або шляхом використання інструмента "Генератор випадкових чисел" доповнення "Аналіз даних" (Analysis ToolPack). Проте певна складність при проведенні розрахунків і громіздкість представлення результатів можуть викликати деякі труднощі при виконанні розрахунків. На нашу думку, більш оптимально і швидко можна провести імітаційне моделювання за допомогою програмного продукту фірми StatSoft Statistica [7].

Тому більш детально зупинимося на особливостях технології проведення імітаційних експериментів і подальшого аналізу результатів з використанням даного пакета.

Визначення закону розподілу випадкової величини

Зазвичай для спрощення розрахунків приймають, що закон розподілу і параметри змінних моделі відомі (як правило, приймається рівномірний розподіл значень вхідних змінних), а відкритим залишається лише питання про закон розподілу цільової функції, який заздалегідь визначити не можна. Проте більш чіткий підхід вимагає більш ретельного уточнення параметрів розподілу як вхідних, так і результуючих змінних.

Одне з можливих вирішень цієї проблеми – спробувати апроксимувати невідомий розподіл яким-небудь відомим. З цією метою найчастіше проводять частотний аналіз даних і за формою гістограм (або відповідних статистичних критеріїв) визначають закон розподілу випадкової величини і його параметри. Проведення таких розрахунків в пакеті Statistica не викликає труднощів. Більш того, пакет дозволяє виконати дане завдання двома способами – шляхом побудови гістограми, або за допомогою модуля “Підгонка розподілу” (рис. 2).

Для подальших розрахунків і проведення експерименту використовують генератор випадкових чисел. Цей інструмент призначений для автоматичної генерації множини даних (генеральної сукупності) заданого об’єму, елементи якого характеризуються певним розподілом вірогідності. І якщо в MS Excel при цьому можуть бути використані лише 7 типів розподілів: рівномірне, нормальне, Бернуллі, Пуассона, біноміальне, модельне і дискретне, то в пакеті Statistica користувач може задати понад 40 таких розподілів і функцій (рис. 3).

На практиці одним з найважливіших етапів аналізу результатів імітаційного експерименту є дослідження залежностей між ключовими параметрами. Оцінки міри залежності, а також технологія її автоматизації в MS Excel досягаються шляхом використання спеціальних інструментів. На нашу думку, набагато зручнішим і ефективнішим способом вирішення таких завдань є використання спеціального інструмента аналізу “Парні і часткові кореляції” в пакеті Statistica (рис. 4).

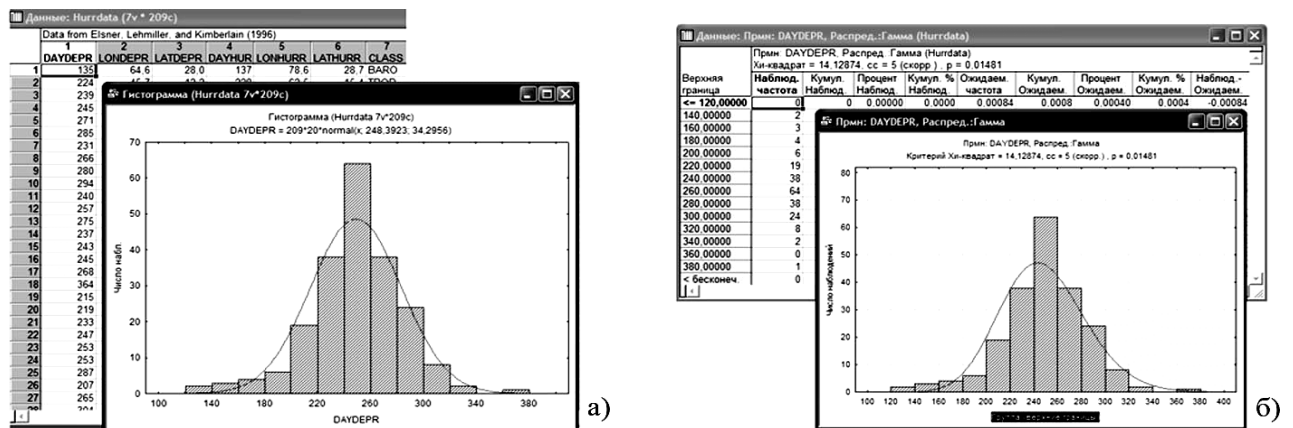


Рис. 2. Визначення закону розподілу по гістограмі (а) і за допомогою підгонки розподілу (б) в пакеті Statistica

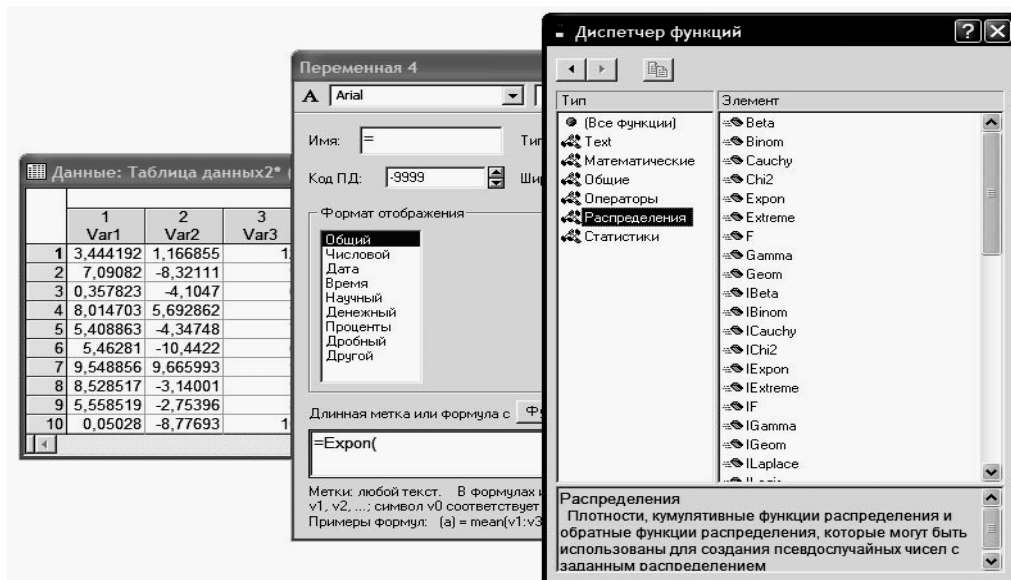


Рис. 3. Налаштування генератора випадкових чисел для проведення імітаційного експерименту

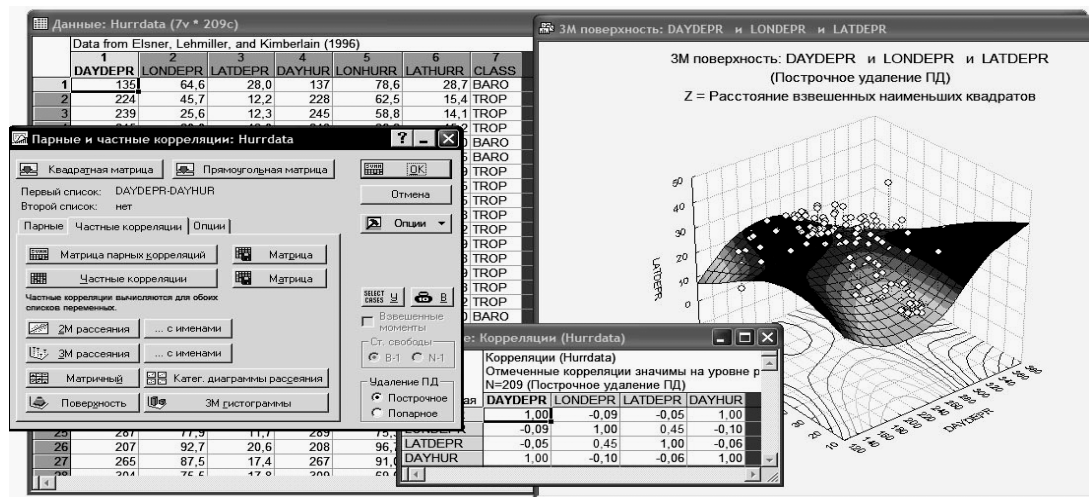


Рис. 4. Дослідження залежності між змінними

Як вже наголошувалося, в аналізі стохастичних процесів важливе значення мають не лише статистичні взаємозв'язки між випадковими величинами, але і статистичні характеристики самих величин. Доцільність проведення подальшого статистичного аналізу результатів імітаційного експерименту полягає також в тому, що у багатьох випадках він дозволяє виявити некоректності у вихідних даних, або навіть помилки в постановці завдання. Чим більше характеристик розподілу випадкової величини відомо, тим точніше можна говорити про досліджувані процеси. Інструмент "Описові статистики" дозволяє обчислити найбільш важливі для практичного аналізу характеристики розподілів. При цьому значення можуть бути визначені відразу для декількох досліджуваних змінних (рис. 5).

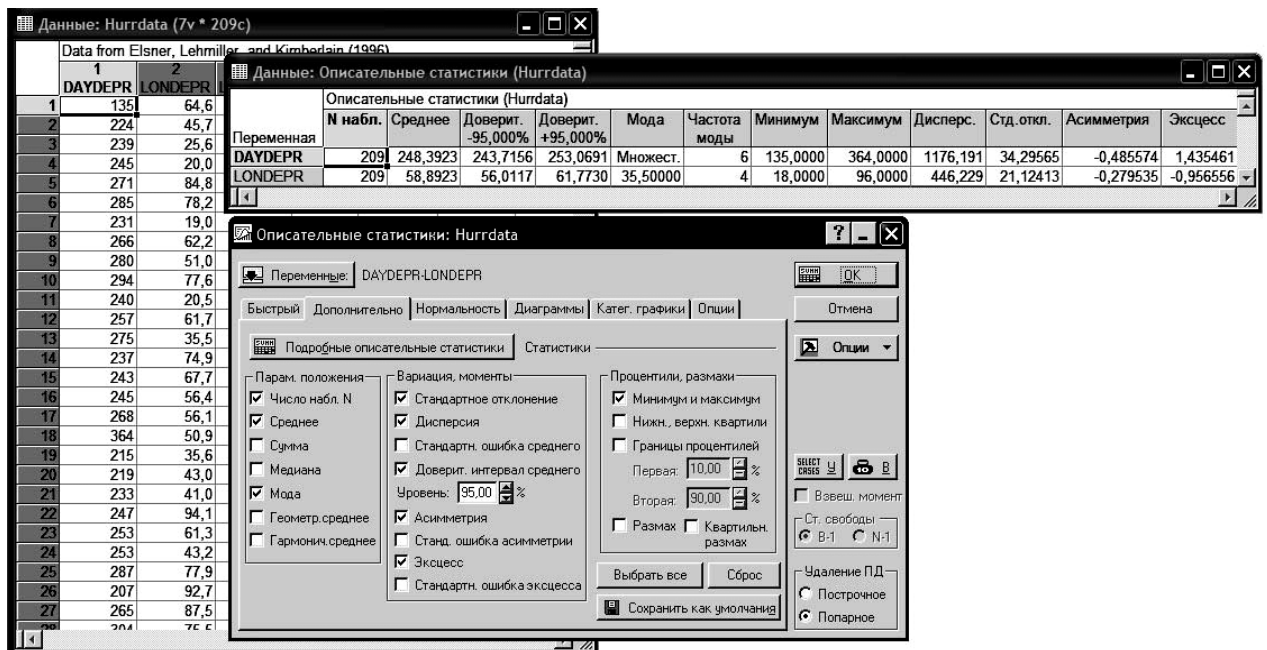


Рис. 5. Вікно і результати визначення статистичних характеристик змінних

У подальшому результати імітації можуть бути доповнені імовірнісним і статистичним аналізом і в цілому забезпечують менеджера якнайповнішою інформацією про міру впливу ключових чинників на очікувані результати і можливі сценарії розвитку подій. Слід зазначити, що пакет Statistica містить цілий ряд інших корисних інструментів, що дозволяють швидко та ефективно здійснити необхідний тип обробки даних. Проте розгляд цих методів не є метою даної роботи, оскільки більшість з них вимагає осмисленого застосування і відповідної підготовки користувача в області математичної статистики. Зацікавленому читачеві рекомендується ознайомитися з роботами [3, 5, 7].

Висновки. Таким чином, імітаційне моделювання дозволяє врахувати максимально можливе число чинників при ухваленні управлінських рішень і є найбільш потужним засобом аналізу складних систем і процесів. Необхідність його використання у вітчизняній фінансовій практиці обумовлена особливостями української економіки, яка характеризується суб'єктивізмом, залежністю від позаекономічних чинників і високою мірою невизначеності. Імітаційне моделювання є основою для створення нових технологій управління і ухвалення рішень у сфері бізнесу, а використання сучасного програмного забезпечення не лише робить цей метод усе більш доступним для фахівців-практиків, але і дозволяє використовувати його в навчальному процесі при підготовці кваліфікованих фахівців.

Список літератури

1. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем: искусство и наука / Р. Шеннон. – М. : Мир, 1978. – 424 с.
2. Плотинский М. Ю. Математическое моделирование в динамике социальных процессов / М. Ю. Плотинский. – М. : Изд-во МГУ, 1992. – 133 с.
3. Коробова М. В. Основи математичного моделювання економічних, екологічних та соціальних процесів / М. В. Коробова, І. М. Ляшенко, А. М. Столяр. – Тернопіль : “Навчальна книга – Богдан”, 2006. – 304 с.
4. Жаров В. С. Моделирование и прогнозирование финансовой сбалансированности предприятий и отраслей региональной экономики / В. С. Жаров. – Петрозаводск : “ПетрГУ”, 2000. – 49 с.
5. Вітлінський В. В. Аналіз, моделювання та управління економічним ризиком / В. В. Вітлінський, П. І. Верченко. – К. : КНЕУ, 2000. – 292 с.
6. Костина Н. И. Многоцелевые имитационные системы / Н. И. Костина // Кибернетика и системный анализ. – К. : Знання, 1995. – № 1. – С. 129–145.
7. Боровиков В. П. STATISTICA – Статистический анализ и обработка данных в среде Windows / В. П. Боровиков, И. П. Боровиков. – М., 1998. – 592 с.

Summary

The article explores systematization experience of simulation models of construction as an instrument of the complex systems processes research and in the conditions of vagueness. Basic principles and stages of simulation models construction and possibilities of their appliance are researched. The recommendations on simulation modeling through Statistica package are given.

Отримано 30.09.2009

Братушка, С.М. Імітаційне моделювання як інструмент дослідження складних економічних систем [Текст] / С.М. Братушка // Вісник Української академії банківської справи. – 2009. – № 2 (27). – С. 113–118.