

ДО ПИТАННЯ ФОРМАЛІЗАЦІЇ ЗМІСТОВНИХ МОДЕЛЕЙ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ

Черній П. Д.,

аспірант кафедри методології і методів соціологічних досліджень

факультет соціології

Київського національного університету імені Тараса Шевченка

У моделюванні соціально-економічних систем традиційним є використання різних теоретичних підходів і, відповідно, різних змістовних моделей процесів і явищ. Цю особливість необхідно врахувати у процесі створення формальних моделей (формалізації). У статті розглянуто цілі досліджень із використанням комп'ютерної реалізації формальних моделей та проаналізовано етапи досліджень із використанням формальних моделей, описано способи застосування плюралістичного підходу під час формалізації змістовних моделей.

При моделировании социально-экономических систем традиционным является использование разных теоретических подходов и, соответственно, разных содержательных моделей процессов и явлений. Эту особенность необходимо учитывать при создании формальных моделей (формализации). В статье рассмотрены цели исследований с использованием компьютерной реализации формальных моделей и проанализированы этапы исследований с использованием формальных моделей, описаны способы применения плюралистического подхода при формализации содержательных моделей.

Creating formal models of socio-economic systems (formalization) can use different theoretical approaches and different conceptual models of processes and phenomena. The article analyzes the goals of researches with use of computer models and the generalized algorithm of creating formal models, defines 2 options for using pluralistic approach.

Ключові слова: моделювання соціально-економічних систем, формалізація, плюралістичний підхід.

Постановка проблеми. Розвиток і активне застосування інформаційних технологій у повсякденному житті відкриває доступ до інформації, яка раніше була майже недосяжною для дослідників у таких масштабах. Автоматизований аналіз текстів, аудіо і відео, технічна змога відстежувати щоденні дії індивіда, пов'язані з мобільним зв'язком, фінансовими транзакціями, пошуковими запитами в мережі Інтернет та соціальними мережами якісно змінили можливості збору і аналізу даних. Ця ситуація стимулює підвищений інтерес до моделювання і моделей, які дають змогу інтерпретувати і використовувати для прийняття рішень доступні дані.

Рівень розвитку інструментів моделювання та підходів до створення моделей соціальних і соціально-економічних систем дає дослідникам багато можливостей для проведення досліджень із використанням моделювання і перевірки гіпотез із використанням емпіричних даних. Проте створення універсальних моделей, які можна використовувати для дослідження властивостей соціальних процесів, вимагає узгодження теоретичних гіпотез та перевірки обґрунтованості припущень про властивості об'єкта моделювання, а такі перевірки не завжди є можливими через властивості соціальних та соціально-економічних процесів та даних, які їх описують.

Огляд властивостей соціальних та соціально-економічних процесів, які ускладнюють перевірку гіпотез за допомогою емпіричних даних, можна знайти в роботах Дж. Епстайна [1], А.О. Давидова [2], Д.Ю. Каталевського [3], В.І. Паніотто [4] та інших. Відомі теоретичні роботи, які мали на меті систематизацію інструментів та підходів, Ю.М. Плотинського [5], А.О. Давидова, Н. Гілберта та К.Г. Тросіча [6] та інших, але суттєві відмінності у теоретичних підходах, які застосовуються у соціальних науках, роблять обґрунтування універсальності системи складним теоретичним завданням. Ґрунтовний розгляд особливостей застосування математичного моделювання в соціальних науках можна знайти у роботі М. Вартофського [7]. Проте більшість дослідників обмежується представленням певного підходу до моделювання, оглядом і аналізом моделей та рекомендаціями щодо застосування тих чи інших інструментів моделювання для вирішення конкретних задач.

Крім того, порівняння та узгодження моделей соціально-економічних процесів між собою ускладнене не лише теоретичними відмінностями підходів і особливостями об'єкта моделювання. Рівень статистичного шуму (неусувної похибки вимірювань) і ситуації невизначеності в інтерпретації даних під час перевірки моделей роблять обґрунтованим застосування плюралістичного підходу – використання кількох моделей одночасно і незалежно одна від одної з подальшим аналізом ефективності і надійності кожної з них [8].

Розглядаючи процес створення та налаштування формальних моделей як дослідження гіпотез про об'єкт моделювання, ми можемо виявляти «білі плями» в теоретичному знанні, порівнювати результати застосування різних моделей на основі одних і тих самих емпіричних даних та, у певних випадках, робити висновки про властивості об'єкта моделювання, які є важливими для відтворення певного явища.

Мета статті – розглянути процес формалізації змістовної моделі як дослідження з використанням різних гіпотез про об'єкт моделювання та проаналізувати можливості застосування плюралістичного підходу у комп'ютерних моделях.

Виклад основного матеріалу.

Моделювання як інструмент досліджень

Одна з особливостей терміна «модель» – його багатозначність, яка робить неоднозначним термін «моделювання» – процес створення моделі. Більшість вчених погодяться з тим, що модель – це аналог об'єкта дослідження, вивчаючи властивості якого, можна зробити висновки щодо властивостей самого об'єкта. Відповідно, моделювання – це процес створення такого аналога за допомогою певних інструментів. Такими інструментами є, наприклад, агентне моделювання, стохастичне моделювання, математичне моделювання та ін.

Проте, коли йдеться не тільки про створення аналога, але і про дослідження реальних процесів за допомогою моделі, порівняння різних підходів і пошуку найбільш оптимального методу вирішення конкретного завдання, виникає інший погляд на поняття «модель». Порівнюючи різні методи моделювання, ми розглядаємо модель як «сукупність наукових гіпотез про будову [об'єкта], які дозволяють не лише правильно описати те, що вже відомо з приводу цього предмета, але і виявити нові, ще не відкриті наукою факти» [9, с. 165]. У такому разі створення моделі включає роботу з гіпотезами: вибір, узгодження гіпотез, перевірку та ін.

Автор цього визначення В.М. Глушков називав таке моделювання інформаційним, підкреслюючи, що йдеться і про інформацію щодо об'єкта дослідження, і про правила перетворення цієї інформації задля отримання нових знань.

Наш сучасник Дж. Епстайн, говорячи про цілі створення моделей, зауважує, що за кожним питанням і твердженням стоїть певний набір припущень і гіпотез, які також можна назвати моделями. Як наслідок, він виділяє явні і приховані моделі: «Я можу описати мою модель так, що її можна буде перевірити і налаштувати за допомогою даних <...> в явних моделях припущення описані в деталях і ми можемо розглядати саме те, що є наслідком цих припущень <...> так Ви дозволяєте іншим відтворювати ваші результати» [1].

Таким чином, розглядаючи модель не тільки як аналог об'єкта дослідження, але й як набір гіпотез про властивості об'єкта, ми розширюємо можливості застосування наших моделей: уможливуємо створення аналога за допомогою різних інструментів і порівняння ефективності цих інструментів між собою, даємо змогу фахівцям з інших сфер використовувати, розвивати і доповнювати наші моделі тощо. Цю властивість моделей – бути універсальним інструментом спілкування для фахівців із різних сфер – виділяла в роботах більшість фахівців в області моделювання, зокрема Р. Шенон [10], В.І. Паніотто, Д. Хелбінг, А.П. Михайлов [11] та інші. Створення моделі як інструменту для взаємодії фахівців різних сфер є однією з цілей моделювання.

У рамках цієї статті погляд на моделі як на набір гіпотез про будову об'єкта є суттєвим. Порівнювати моделі, використовуючи плюралістичний підхід, можна з метою оцінки надійності та зручності інструментів моделювання (наприклад, порівнюючи агентне та стохастичне моделювання), а також із метою порівняння властивостей наборів гіпотез про об'єкт моделювання. Такий поділ є досить умовним, бо кожен інструмент моделювання також використовує певні припущення про об'єкт моделювання. Але дослідження властивостей наборів гіпотез про об'єкт та наслідків вибору певного набору для результатів моделювання може бути корисним не лише з практичної, а і з теоретичної точки зору. Таким чином, застосування плюралістичного підходу дає змогу не лише порівнювати інструменти моделювання, але й аналізувати взаємодію різних теоретичних поглядів на об'єкт дослідження. Обидва ці способи застосування плюралістичного підходу є важливими і, як буде показано далі, можуть застосовуватись незалежно один від одного.

Види моделей та підходи до їх створення

Коли йдеться про різні моделі, найбільш очевидним є поділ моделей на змістовні і формальні. Змістовна модель є описом системи і деяких її властивостей (елементи системи і зв'язку між ними,

взаємодії з середовищем, причинно-наслідкові зв'язки та ін.), вона може бути сформульована у вигляді схем або описів. Зокрема, концептуальні моделі – це змістовні моделі, сформульовані в термінах певної предметної галузі.

Формальна модель – це повний і однозначний опис всіх елементів системи, видів зв'язку і правил взаємодії між ними, а також припущень про властивості елементів і їх взаємодій. Такий опис може бути реалізовано за допомогою схем і математичних рівнянь і представлено у вигляді комп'ютерної програми або за допомогою звичайного опису. Обов'язковими для формальних моделей є повнота, коректність і однозначність формулювань. Процес побудови формальної моделі на основі змістовної називають *формалізацією змістовної моделі*.

Незважаючи на те, що змістовна і формальна моделі тісно пов'язані між собою, на практиці моделювання соціально-економічних систем часто зустрічається невідповідність між ними. Однією з причин такої ситуації є невідповідність цілей створення змістовної і формальної моделей. Так, метою створення змістовної моделі є опис і пояснення явища, а формальні моделі часто створюються з метою прогнозування та аналізу даних, тому під час їх створення можливі доповнення або спрощення змістовної моделі, які враховують особливості наявних емпіричних даних.

Крім того, аналіз емпіричних даних у процесі створення формальних моделей соціально-економічних систем є досить складним завданням. Дж. Епстайн [1] зазначив про створення моделей в соціальних науках: «Зібрати багато даних, а потім виявляти залежності між ними може бути продуктивно, але цей підхід не завжди є правилом в науці, де теорія передує збору даних». Часто трапляються ситуації відсутності аналогічного набору даних для порівняння результатів моделювання, неповнота даних та складність доступу до них через етичні питання тощо. Ці особливості роблять вибір однозначного формального опису системи складним завданням. Тому для багатьох соціальних та соціально-економічних процесів незалежно одна від одної використовуються різні формальні моделі.

Описуючи різні підходи до моделювання складних систем, Д. Хелбінг порівнює моделі з картами місцевості і розглядає їх як змогу зорієнтуватися в деякому контексті: «Ми не хочемо бачити кожну деталь (наприклад, кожне дерево) на карті, швидше ми чекаємо, що карта покаже ті факти, в яких ми зацікавлені. І в залежності від мети є абсолютно різні карти» [8, с. 6].

Є різні класифікації моделей: відповідно до процесів, які моделюються, за інструментами створення моделей, завданнями, які вирішують із використанням цих моделей тощо. Зокрема, для порівняння властивостей наборів гіпотез про об'єкт дослідження корисною є класифікація підходів до створення моделей, наведена Д. Хелбінгом [8, с. 8]. Автор описав 4 підходи, які також можна розглядати як класифікацію моделей соціально-економічних процесів:

- *фізикалістичний* підхід, який також називають «моделі з нульовим інтелектом», – це використання спрощеної моделі індивіда, який діє в контексті, де його свідомість і пізнавальні здібності не мають суттєвого впливу на поведінку. Відповідно, дії індивіда прості і однозначно визначені контекстом у момент взаємодії з середовищем;

- *економічний* підхід базується на припущенні, що індивід – «ідеальний егоїст», який вибирає з усіх можливих варіантів своєї поведінки оптимальний за певним формальним критерієм. Прикладами таких критеріїв є мінімізація витрат часу або грошей, максимізація корисності тощо;

- *психологічний* підхід враховує різні ірраціональні і локально діючі фактори, які впливають на прийняття рішень. Цей підхід спирається на результати досліджень соціальних психологів, напрацювання когнітивної психології, нейронаук, поведінкової економіки та ін.;

- *соціологічний* підхід використовує гіпотези про поведінку людей, які враховують вплив соціальних зв'язків на прийняття рішень, і, на противагу економічному підходу, припускає можливу мінливість поведінки, вимагаючи лише часткової оптимізації у виборі одного варіанту серед можливих.

Залежно від задач у процесі створення моделей соціальних та соціально-економічних систем можливе застосування різних підходів. Прийнято вважати, що фізикалістичний підхід краще підходить для вивчення критичних станів системи, а решта – для дослідження простору варіантів між ними. Проте іноді допустиме застосування кількох змістовних моделей одночасно – для аналізу різних аспектів процесу.

Дослідження з використанням імітаційного моделювання

Здебільшого моделі соціальних та соціально-економічних процесів є багатопараметричними, тому для дослідження використовують *комп'ютерні моделі* – аналог об'єкта дослідження, створений за допомогою комп'ютерних програм або у відповідному програмному середовищі.

Для коректного вживання термінів важливо розуміти, що комп'ютерна модель є лише способом реалізації формальної моделі – повного та однозначного опису об'єкта дослідження з формальним визначенням всіх взаємозв'язків між значеннями параметрів моделі. Відповідно, комп'ютерна модель не є ані об'єктом дослідження, ані інструментом – це лише спосіб втілення формальної моделі з метою проведення експериментів над нею.

Комп'ютерні моделі соціально-економічних процесів традиційно використовуються для експериментів із метою перевірки гіпотез про властивості процесу. Найбільш поширене застосування комп'ютерних моделей у прогнозуванні та управлінні – допомога особам, які приймають рішення. За допомогою спеціально створених програмних комплексів автоматизується аналіз даних, оцінка ризиків та пропонуються найбільш оптимальні способи налаштування параметрів для керування перебігом процесу.

Застосування комп'ютерних моделей у дослідницьких цілях є менш поширеним, ніж автоматизований аналіз даних, але є так само важливим. Використання комп'ютерного моделювання дає змогу визначити, за яких умов обраний набір гіпотез відтворює поведінку об'єкта дослідження, з достатньою точністю. У випадку моделювання соціально-економічних процесів такими умовами є властивості емпіричних даних, на основі яких здійснюється моделювання, та властивості самого об'єкта дослідження, які вважаються значущими, а тому не підлягають спрощенню.

У випадках, коли необхідно відтворити взаємодію кількісних та якісних властивостей об'єкта у режимі реального часу, застосовують *імітаційне моделювання* – послідовну зміну станів комп'ютерної моделі об'єкта за допомогою певних правил (множину правил, що визначають майбутній стан системи на підставі поточного, називають імітаційною моделлю [12, с. 34]).

Дослідження властивостей процесів або явищ за допомогою формальних моделей здійснюється переважно з використанням теоретичного аналізу, обчислювального експерименту та поєднанням цих підходів.

Практичними завданнями у процесі створення формальних моделей соціально-економічних систем можуть бути:

- створення аналогу об'єкта дослідження для проведення експериментів із використанням різних емпіричних даних (наприклад, із метою прогнозування поведінки системи чи аналізу ризиків);
- аналіз діапазонів можливих значень параметрів системи;
- дослідження взаємозв'язків між параметрами системи.

Теоретичною задачею може бути:

- дослідження властивостей набору гіпотез, які описують об'єкт моделювання;
- виявлення нових раніше не досліджених властивостей об'єкта моделювання;
- перевірка сумісності гіпотез тощо.

Результатом моделювання може бути виявлення «білих плям» і аналогій у системі знань, постановка нових [наукових] питань, перевірка наявних теорій у питаннях сумісності і відповідності емпіричним даним тощо. Крім того, коректна формалізація змістовної моделі та проведення обчислювального експерименту з подальшим аналізом даних може призвести до виявлення параметрів процесу, які раніше не були виявлені за допомогою інших методів. Виявлення таких параметрів та уточнення «карти станів» системи також є важливим завданням.

Як приклад розглянемо одне з основних призначень моделювання – прогнозування. Узагальнено прогноз – це «визначення наслідків того, що у системи, при певних умовах, є очікувана поведінка» [8, с. 6]. Тобто «прогноз» – це результат аналізу емпіричних даних і наявної «карти» можливих станів системи. Тому достовірність прогнозу значно залежить від відповідності уявлень експертів про можливу поведінку реальної системи реальній поведінці системи в даних умовах, а також від якості наявних даних.

Окрім інформаційно-описової функції для фахівців із різних предметних областей, аналізу ситуації та прогнозування, моделі процесів і явищ використовуються для поліпшення якості вимірювань – вони можуть направляти збір даних, застосовуватися для відновлення неіснуючих даних і «прив'язки» результатів вимірювань до правдоподібних діапазонів.

Процес створення комп'ютерної реалізації формальних моделей

Залежно від мети створення моделі і об'єкта моделювання може бути обраний як один із 4 підходів до створення моделей, так і їх спільне використання. Розглянемо процес створення комп'ютерної моделі соціально-економічної системи як дослідження з використанням різних гіпотез про об'єкт моделювання. В таблиці 1 представлено послідовність етапів та описаний результат кожного етапу дослідження. Ця таблиця є результатом узагальнення рекомендацій [3–6; 10–13] та уточнення змісту етапів у консультаціях із практиками математичного моделювання та створення комп'ютерних моделей¹.

Як зазначалось вище, якість формальної моделі залежить від теоретичних уявлень про об'єкт дослідження, властивостей наявних емпіричних даних та обраного формального опису всіх елементів системи та правил їх взаємодії. Узгодження цих елементів може відбуватись послідовно або як ітераційний процес – із поверненням на попередні етапи, якщо результат не задовольняє дослідника.

¹ Автор висловлює подяку колективу відділу фізичного та математичного моделювання Інституту телекомунікацій та глобального інформаційного простору Національної академії наук України за консультації та допомогу в підготовці матеріалу.

Етапи дослідження з використанням комп'ютерної моделі соціально-економічної системи

Зміст етапу дослідження	Результат етапу
1. Визначення мети дослідження: формулювання проблеми, виявлення об'єкта і предмета дослідження (з урахуванням мети моделювання)	Сформульовані мета дослідження і попередній список завдань
2. Попередній системний аналіз об'єкта дослідження: 2.1 визначення меж системи, відділення від зовнішнього середовища; 2.2 складання списку елементів системи (підсистем, факторів, змінних і т.д.); 2.3 розкриття суті і цілісності системи; 2.4 аналіз взаємозв'язків елементів системи; 2.5 побудова структури системи; 2.6 встановлення функцій системи і її підсистем; 2.7 узгодження цілей системи і її підсистем; 2.8 уточнення меж системи і кожної підсистеми; 2.9 аналіз явищ емерджентності (системних ефектів).	Побудова змістовних моделей системи, опис структури системи і підсистем
3. Теоретичний аналіз змістовної моделі системи: ● визначення постулатів, аксіом і припущень; ● уточнення й інтерпретація основних понять; ● аналіз можливостей спрощення змістовної моделі з урахуванням мети моделювання; ● аналіз можливостей збору емпіричних даних для верифікації моделі.	Побудова логічно пов'язаного набору робочих гіпотез для досліджуваного процесу
4. Аналіз емпіричних даних для створення математичної моделі: 4.1 вибір емпіричних даних для створення формальної моделі; 4.2 аналіз всіх параметрів процесу, аналіз розмірностей та зведення до безрозмірного вигляду (з використанням теорії розмірностей), виділення домінуючих факторів.	Уточнений набір масштабних характеристик, домінуючих факторів і робочих гіпотез дослідження з урахуванням властивостей емпіричних даних
5. Математична формалізація системи, процесу або явища: 5.1 вибір базових моделей для елементів: ● математичні аксіоми; ● математичні постулати; ● математичні припущення; 5.2 схематизація і постановка математичної задачі (диференціальні рівняння, графи, інтегральні рівняння, теорія ймовірностей та ін.); 5.3 спрощення побудованої математичної моделі з урахуванням мети моделювання, використанням властивості емпіричних даних, можливих спрощень змістовної моделі і постулатів.	Постановка математичної задачі (одна або кілька формальних математичних моделей)
6. Аналіз математичної задачі: визначення методів розв'язання, дослідження можливого впливу значень параметрів на поведінку системи (sensitivity analysis [6, с. 19]) та ін.	Математичний опис і алгоритмізація методу розв'язання задачі
7. Побудова комп'ютерної реалізації математичної моделі ● програмування алгоритмів обчислень із метою обробки даних і моделювання поведінки системи ● створення інтерфейсу (для діалогу з користувачем і візуалізації даних).	Комп'ютерна реалізація моделі
8. Тестування моделі на адекватність і коректність (verification [6, с. 19]) 8.1 налаштування параметрів; 8.2 перевірка коректності цифрових даних; 8.3 верифікація (validation [6, с. 19]) моделі (проведення обчислювальних експериментів на моделі і зіставлення результатів із результатами реальних емпіричних досліджень).	Налаштована на конкретні дані комп'ютерна реалізація моделі, інформація про її властивості
9. Розробка плану проведення комп'ютерного моделювання	Набір вихідних даних для певного обчислювального експерименту
10. Проведення системного обчислювального експерименту	Набір результуючих даних обчислювального експерименту
11. Аналіз результатів моделювання, інтерпретація отриманих даних	Адаптоване (графічне, табличне та ін.) відображення результуючих даних
12. Інтерпретація результатів дослідження та формулювання висновків	Результат порівняльного аналізу модельних і реальних даних

У разі задовільних результатів, отриманих за допомогою математичного моделювання, створена модель рекомендується для подальшого використання в дослідженні аналогічних процесів, явищ або систем. Цей алгоритм може також застосовуватися задля створення спрощених математичних моделей, обмежуючись етапами 1–6.

Використання плюралістичного підходу передбачає вибір кількох моделей, які будуть застосовуватись незалежно одна від одної. В цьому разі модель – це набір гіпотез про об'єкт моделювання, які можуть застосовуватись у рамках спільного програмного середовища (комп'ютерної моделі). Проаналізуємо етапи, описані в таблиці 1, з метою визначення можливостей застосування плюралістичного підходу.

Етап 1 є обов'язковим для початку будь-якого дослідження, але він не стосується вибору гіпотез про об'єкт моделювання. Етапи 2 і 3 стосуються опису й аналізу змістовної моделі об'єкта моделювання і, очевидно, при виборі постулатів можливе формулювання незалежних наборів гіпотез про об'єкт моделювання. Причиною застосування кількох наборів гіпотез може бути застосування різних підходів до моделювання, застосування різних спрощень системи тощо.

Під час коректної процедури формалізації етап 4 є однозначним і сприяє врахуванню властивостей наявних емпіричних даних в усіх наборах гіпотез про об'єкт моделювання. Етапи 5 та 6 є роботою з математичною формалізацією змістовних моделей. У рамках цих етапів можливий вибір кількох варіантів формалізації елементів системи і, відповідно, застосування плюралістичного підходу на рівні формального опису. Етапи 7–12 стосуються створення та налаштування комп'ютерної моделі, а також здійснення дослідження з її застосуванням. Вони використовують наявні гіпотези про об'єкт і не доповнюють їх.

Таким чином, плюралістичний підхід може застосовуватися як на етапі вибору і опису змістовної моделі (етапи 2–3), так і на етапі постановки математичної задачі (етап 5). Очевидно, що під час використання різних змістовних моделей, відповідні формальні моделі будуть різними. Важливо також розуміти, що у процесі формалізації однієї змістовної моделі можливі різні варіанти спрощень, що може бути причиною використання різних формалізацій однієї змістовної моделі.

Висновки. Розглядаючи створення спрощеної математичної моделі або комп'ютерної моделі як дослідження гіпотез про об'єкт моделювання, ми можемо перевіряти сумісність теорій та виявляти «білі плями» в теоретичному знанні. Дослідження властивостей соціально-економічних систем за допомогою формального моделювання дає змогу виявляти, які властивості елементів системи та зв'язків між ними є важливими для відтворення певного явища.

Ефективність застосування формальної моделі суттєво залежить від емпіричних даних, які використовуються для її налаштування і перевірки гіпотез, а також від кваліфікації фахівця з формального моделювання. Тому доцільність застосування плюралістичного підходу (кількох моделей незалежно одна від одної) може бути обґрунтованою як у рамках конкретного дослідження, так і з теоретичної точки зору.

У загальному випадку у процесі створення формальної моделі виявлено 2 варіанти застосування плюралістичного підходу: використання кількох змістовних моделей і використання різних формалізацій однієї змістовної моделі. Ці варіанти можуть використовуватись незалежно один від одного в рамках однієї комп'ютерної реалізації формальної (математичної) моделі.

Метою застосування плюралістичного підходу може бути:

- комплексний аналіз явища, який враховує різні фактори впливу або різні властивості об'єкта моделювання (різні підходи);
- порівняння надійності та ефективності моделей між собою;
- спрощення аналізу та обчислень завдяки використанню кількох моделей;
- виявлення значимих для відтворення певного процесу або явища властивостей формального опису тощо.

Література:

1. Epstein J.M. Why model? *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. 2008. № 12. URL: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/11/4/12.html>
2. Давыдов А.А. Системная соціологія : монографія. 2-е изд. Москва : ЛКИ, 2008. 192 с.
3. Каталевський Д.Ю Основи імітаційного моделювання і системного аналізу в управлінні : навчальний посібник. Москва : Вид-во Московського університету, 2011. 304 с.
4. Досвід моделювання соціальних процесів (питання методології та методики побудови моделей) : монографія / за ред. В.І. Паніотто. Київ : Наукова думка, 1989. 200 с.
5. Плотинский Ю.М. Модели социальных процессов : учебное пособие для высших учебных заведений. 2-е изд. Москва : Логос, 2001. 296 с.

6. Nigel Gilbert, Klaus G. Troitzsch Simulation for the social scientist. Open University Press, 2005. 308 p.
7. Вартофский М. Модели. Репрезентация и научное понимание / пер. с англ. общ. ред. и послесл. И.Б. Новика и В.Н. Садовского. Москва : Прогресс, 1988. 507 с.
8. Helbing D. Pluralistic modeling of complex systems. *Cornell University Library (physics.soc-ph)*. 2010. 16 Jul. URL: <http://arxiv.org/abs/1007.2818>.
9. Глушков В.М. Гносеологічна природа інформаційного моделювання. *Кібернетика, обчислювальна техніка, інформатика. Вибрані праці*. Київ : Наукова Думка, 1990. Т. 3. С. 165–170.
10. Shannon R.E. Introduction to the Art and Science of Simulation. Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference, 1998. P. 7–14.
11. Михайлов А.П., Петров А.П. Поведенческие гипотезы и математическое моделирование в гуманитарных науках. *Математическое моделирование*. 2011. Т. 23 (№ 6). С. 18–32.
12. Горбулін В.П., Додонов О.Г., Ланде Д.В. Інформаційні операції та безпека суспільства: монографія. Київ : Інтертехнологія, 2009. 164 с.
13. Довгий С.О., Бідюк П.І., Трофимчук О.М., Савенков О.І. Методи прогнозування в системах підтримки прийняття рішень. Київ : Азимут-Україна, 2011. 606 с.