

УДК 519.8

## МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ОЦІНКИ СТАНУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

**А.О. Курило**, аспірантка кафедри охорони праці СНАУ,

**О.В. Кречотень**, ст. викладач кафедри іноземних мов СНАУ.

*Досліджено методологію побудови математичних та імітаційних моделей. Визначено доцільність використання імітаційного моделювання. Встановлено особливості застосування імітаційних моделей, зокрема для прогнозування оцінки стану навколишнього середовища, а також логіко-лінгвістичних моделей.*

**Ключові слова:** модель, моделювання, імітаційне моделювання, комп'ютерне моделювання екологічної проблеми.

**Постановка проблеми.** Необхідною умовою обґрунтування напрямів збереження природних систем та визначення ефективних заходів щодо зменшення їх руйнування є використання сучасних інформаційних технологій, які дають змогу розширити напрями досліджень завдяки моделюванню й прогнозуванню спричинених людською життєдіяльністю процесів у природі. Застосування з цією метою математичних та імітаційних методів моделювання й прогнозування конкретизує розуміння усього, що відбувається та може відбутися у водних системах, атмосфері, ґрунтах, рослинному середовищі внаслідок людського втручання, прагматизує оцінки і висновки, допомагає знаходити оптимальні технічні, технологічні, організаційні природоохоронні рішення.

Імітаційне моделювання – метод прикладного системного аналізу, який є потужним інструментом дослідження складних систем та процесів. Проте використання цього методу в оцінці й прогнозуванні стану навколишнього середовища залишається на сьогодні не досить поширеним, перш за все, внаслідок складності відповідного математичного апарату і необхідності обробки значних масивів даних.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Моделюванню та прогнозуванню стану навколишнього середовища присвячено ряд праць, як вітчизняних так і зарубіжних науковців. Останні дослідження в цій області пов'язані з феноменологічними описами систем, створенням теоретичних методів й математичного апарату системодинаміки.

На думку Г.О.Бачинського та М.М. Моїсеєва найбільш перспективними для застосування в екології є такі типи моделювання, як системне та імітаційне. Складні динамічні системи доцільно вивчати із застосуванням останніх досягнень сучасної науки й техніки в області обробки інформації – новітніх інформаційних технологій.

Роботи Дж. Форрестера, П. Анохіна, Р. Уїттекера та ін. внесли значний вклад в технологію прикладного комп'ютерного й математичного моделювання складних соціально-економічних систем, побудову моделей біологічних та екологічних систем [1 – 3].

Методологічною основою для розвитку імітаційного моделювання стали роботи Н.П. Бусленка, В.М. Глушкова, М.М. Моїсєєва, Т.І. Марчука, І.М. Коваленка. Процеси побудови та практичного застосування імітаційних моделей досліджували А.Н. Ілларіонов, С.Г. Лобанов, Л.П. Владіміров, В.Ф. Ситник, Н.С. Орленко, В.Ф. Беседін, Б.Я. Панасюк, І.В. Крючкова.

Як вважає український теоретик соціальної екології Г.О.Бачинський, саме імітаційне моделювання є найкращим інструментом дослідження складних систем. Воно дає можливість розглянути більшу кількість альтернативних варіантів, і, тим самим, точніше спрогнозувати наслідки прийняття тих чи інших управлінських рішень, забезпечуючи можливість уникнути небажаних результатів і підвищити позитивний ефект від рішень, що приймаються. Це робить імітаційне моделювання надзвичайно важливим при дослідженні таких складних об'єктів, як екосистеми, безпосереднє «експериментування» над якими загрожує тяжкими, а іноді й непоправними наслідками.

Метою статті є визначення основних можливостей імітаційного моделювання та прогнозування оцінки стану навколишнього середовища.

**Виклад основного матеріалу.** Однією з основних складових наукової методології дослідження навколишнього середовища є побудова та використання різних моделей (лат. *modulus* – зразок). Модель – це специфічний об'єкт, що конструюється суб'єктом дослідження в матеріальній чи ідеальній формі, заміщує об'єкт-оригінал і відображає чи відтворює його найбільш суттєві властивості; створюється з метою дослідження об'єкта-оригінала, проведення експерименту; виконує функції інструменту дослідження для отримання нових знань про об'єкт-оригінал; дає можливість удосконалити експлуатаційну характеристику об'єкта-оригінала або методи управління ним [4, с.12].

Моделювання (фр. *simulation*) – це процес символічного відтворення реальної складної системи, з можливістю оцінити в будь-який час взаємозалежності між елементами цієї системи<sup>1</sup> [5]. Математичне моделювання — метод дослідження явищ, процесів або систем шляхом вивчення їх математичних моделей (тобто сукупності рівнянь, які описують об'єкт дослідження) [6].

Проте оцінюючи стан навколишнього середовища не завжди можливо строго математично описати реальну систему. В певних станах за певних складових навколишнього

---

<sup>1</sup> Фр. ориг.: *Simuler, cela signifie reproduire symboliquement un système réel complexe, en évaluant à tout moment les interdépendances entre les éléments de ce système.*

середовища виникають ситуації, що потребують використання складних імітаційних (лат. *imitatio* – наслідування) моделей, які об'єднують в одну складну систему на модельному рівні знання про елементи системи та типи їхньої взаємодії, або спрощені інтегровані моделі типу «вплив – відгук», які інтегрують дані великого числа спостережень над системою [7]. Тому доцільно досліджувати два основних види моделей: ті, які відтворюють системи, що існують в реальності, і ті, які самі моделюють діяльність<sup>2</sup> [5].

Вітчизняні та зарубіжні вчені висловлюють різні думки щодо сутності імітаційного моделювання. В англійській літературі здебільшого використовуються такі терміни: *computer simulation* (комп'ютерне моделювання), *systems simulation* (системне моделювання), *digital simulation* (цифрове моделювання). У вітчизняній літературі розповсюджені терміни «машинна імітація», «машинне моделювання», «імітаційне моделювання».

Так, І. Б. Бажин визначає імітаційну модель як алгоритмічну модель, що відображає поведінку досліджуваного об'єкта в часі при заданому зовнішньому впливі на об'єкт [8]. Ємельянов А. А. стверджує, що імітаційною моделлю називається спеціальний програмний комплекс, який дозволяє імітувати діяльність якогось складного об'єкта [9].

Суть імітаційного моделювання полягає в тому, що модель реальної системи будується спочатку словесно (вербально), концептуально, а потім залучаються всі існуючі методи для формалізації і математичного опису моделі, включаючи методи інформатики, системного аналізу і математичного моделювання [10]. Імітаційне моделювання – метод вивчення складних систем шляхом дослідження їх математичних моделей за допомогою комп'ютера [11, с. 360]. Це метод, що дозволяє будувати моделі, що описують процеси так, як вони проходили б у дійсності. Таку модель можна "програти" в часі як для одного випробування, так і заданої їх безлічі. При цьому результати визначатимуться випадковим характером процесів. Експериментування з моделлю називають імітацією (імітація – це збагнення суті явища, не вдаючись до експериментів на реальному об'єкті).

Питання доцільності використання імітаційного моделювання розглядалось протягом багатьох років безліччю дослідників – від Ф. Мартина до В. Келтона та ін. Проаналізувавши ряд праць, можна зробити такі висновки: 1) імітаційне моделювання дає змогу досліджувати внутрішні взаємодії у складних системах або підсистемах у межах складної системи, а також експериментувати з ними; 2) моделюючи інформаційні, організаційні впливи і впливи зовнішнього середовища, можна оцінити ефекти цих впливів на поведінку (функціонування) системи; 3) на основі знань, отриманих під час проектування імітаційної моделі, можна визначити способи вдосконалення системи, яка моделюється; 4) змінюючи вхідні дані під

---

<sup>2</sup> Фр. ориг.: On peut distinguer deux grandes familles de simulations : celles qui reproduisent des systèmes existant dans la réalité et celles qui simulent la production langagière elle-même.

час моделювання і спостерігаючи за вихідними даними, можна виявити, які змінні найбільш важливі та як вони взаємодіють; 5) імітаційне моделювання можна використовувати як метод для поліпшення рішень, отриманих під час аналітичного аналізу, а також для перевірки аналітичних рішень; 6) імітаційне моделювання можна використовувати для проведення експериментів з новими проектами або стратегіями їх упровадження, щоб заздалегідь спрогнозувати результат; 7) імітаційне моделювання можна застосовувати для визначення вимог, яким має відповідати пристрій або система; 8) імітаційні моделі можна використовувати для навчання операторів складних технологічних процесів без зайвих затрат на придбання обладнання, яке може пошкоджуватись, і запобігаючи нещасним випадкам; 9) для імітаційного моделювання можна використовувати засоби анімації, які дають змогу спостерігати за операціями, що моделюються; 10) сучасне виробництво настільки складне, що взаємозв'язки в ньому можна інтерпретувати тільки шляхом проведення імітаційного моделювання.

Серед науковців немає єдиної думки щодо виділення етапів процесу імітаційного моделювання. Так, Річард Томас визначає п'ять етапів розробки і перевірки імітаційних моделей [12]. Ми пропонуємо використовувати таку послідовність складання імітаційної моделі: визначення задачі та її аналіз; визначення вимог до інформації; збирання інформації; висування гіпотез і прийняття припущень; встановлення основного змісту моделі; визначення параметрів, змінних і критеріїв ефективності; опис концептуальної моделі й перевірка її вірогідності; побудова логічної структурної схеми.

Техніка моделювання в оцінці стану навколишнього середовища почалась від моделювання балансу енергії та матерії в екологічних системах. Але завдяки Міжнародній Біологічній Програмі (МБП) започатковано екосистемні дослідження земної біосфери, запропоновано уяві дослідників існування багатосистемних екологічних зв'язків у екосистемі. Нагромадження даних МБП було великим заохоченням до швидкого розвитку комп'ютерного моделювання.

Комп'ютерна модель (англ. *computer model*) – це комп'ютерна програма, що працює на окремому комп'ютері, або сукупності взаємодіючих комп'ютерів (обчислювальних вузлів), що реалізує абстрактну модель деякої системи. Комп'ютерні моделі використовуються для одержання нових знань про модельований об'єкт або для наближеної оцінки поведінки систем, занадто складних для аналітичного дослідження.

Загальне значення комп'ютерного моделювання для вирішення екологічної проблеми полягає у прискореному пошуку найбільш вдалого її вирішення [11]. Людство отримало можливість «прискорити» свою адаптацію до природи. Реалізацію комп'ютерних моделей уможливорює бурхливий розвиток сучасних інформаційних систем і технологій, які

розширюють людські можливості. Комп'ютерне моделювання не замінює попередніх способів моделювання, а доповнює їх за тими параметрами, за якими інформаційна технологія переважає людину: за можливістю швидко і логічно, бездоганно порахувати велику кількість варіантів розвитку системи, розглядати різні сценарії розвитку і відпрацьовувати на моделі оптимальні стратегії управління, що неможливо зробити на реальній системі внаслідок її унікальності та обмеженості в часі.

Програмна реалізація імітаційної моделі може бути створена за допомогою алгоритмічних мов загального призначення; спеціалізованих мов моделювання; пакетів прикладних програм для моделювання; засобів автоматизації програмування імітаційних моделей; діалогових і візуальних систем моделювання; інтелектуальних систем моделювання.

Зрозуміло, що ці моменти повинні бути описані спеціальною мовою для подальшої трансляції. Для цього використовують ручний і автоматизований способи опису. Ручний спосіб полягає в описі програми вручну. Для цього можна використовувати універсальні мови програмування високого рівня (наприклад: DELPHI, C++, GPSS, Visual Basic, й інші об'єктно-орієнтовані мови) або використовувати спеціальні мови моделювання (наприклад, STELLA [13], MADONNA) для полегшення самого процесу моделювання. Автоматизований спосіб полягає в описі за допомогою графічного конструктора, який перед тим використовується для створення графічного зображення моделюючого процесу. Популярними системами імітаційного моделювання є: MathWorks. MATLAB and Simulink for Technical Computing - <http://www.mathworks.com>, IMITAK - <http://imitak.ru>, Triad.Net, AnyLogic - <http://www.anylogic.com>, Business Studio (імітаційне моделювання бізнес-процесів) - <http://www.businessstudio.ru>, eM-Plant, NS-2 - <http://isi.edu/nsnam/ns/>, Tecnomatix Plant Simulation, simuLab - <http://www.simulab.ru>, Simplex3 - <http://www.simplex3.net>, Simul8 - <http://www.simul8.com> тощо. Серед сучасних систем імітаційного моделювання можна виділити наступні поширені програмні пакети [13]: «Process Charter – 1.0.2» (США), «Powersim» (<http://www.powersim.com>, Норвегія), «Pilgrim» (Росія) та ін.

У тих випадках, коли важко отримати вірогідні дані або бракує кількісних показників, необхідних для побудови моделі, одним з можливих виходів є застосування логіко-лінгвістичних моделей [14, 15]. З точки зору математичної лінгвістики [16] шляхом побудови синтезувальних (породжувальних, дедуктивних) й аналітичних (індуктивних) математичних моделей виявляють і вивчають властивості відношення одиниць досліджуваної знакової системи. Прикладна лінгвістика намагається будувати моделі, що відображають конкретні лінгвістичні об'єкти, їх системи, а також процеси мовленнєво-мислетворчої діяльності людини [там само]. У прикладній лінгвістиці модель об'єкта – це опис об'єкта, який показує

його якості, це спрощений варіант реального або вигаданого об'єкту, тобто модель – це засіб представлення знань [17].

Системність і структурність мови дозволяють стверджувати, що у мовній системі можливе моделювання [17]. Природний світ відображається у мові і моделюється тільки тоді, коли він представлений у вигляді текстів [там само]. Текст є первиною даністю усього гуманітарно-філософського мислення і є тією безпосередньою дійсністю, з якої тільки-но і можна виходити [18]. Він може розглядатися як певна модель складного закінченого цілого і як конкретна реалізація даної моделі залежно від задачі дослідження [там само].

Моделювання окремих типів тексту може зняти проблему його структурного аналізу та наблизити до вирішення таких завдань прикладної лінгвістики як розпізнавання та автоматична обробка тексту. Наприклад, іспанські науковці Галісія-Аро С., Гельбух А.Ф., Большаков І.А., займаючись імітаційним моделюванням в лінгвістиці, розробили імітатор тексту для оцінки та налагодження алгоритму побудови словника моделей управління по корпусу текстів і одночасного вирішення синтаксичної неоднозначності в цьому корпусі.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Підводячи підсумок, зазначимо, що розв'язання важливих проблем оцінки стану навколишнього середовища неможливе без знання основних положень і методів екологічної науки, які створюються і розвиваються на основі сучасної методології, зокрема основних положень системного аналізу, методів математичного й імітаційного моделювання. Адже природні та техногенні катаклізми, які мають місце в Україні, виводять на перший план проблему оцінювання і прогнозування міграції забруднюючих речовин в екосистемах [19]. У зв'язку з цим існує нагальна потреба у системі випереджувального оцінювання стану екологічної безпеки та прогнозування тенденцій показників стану екосистеми. Це дозволить приймати оперативні рішення щодо безпеки навколишнього середовища і рекомендувати ефективні оперативні заходи із захисту екосистем та населення, яке використовує ці екосистеми для виробництва, проживання та рекреації.

Математичні моделі з досить високим ступенем достовірності дають змогу визначити спрямованість тенденцій розвитку тих екологічних процесів, для яких характерним є досить повільний еволюційний процес розвитку. Однак реальний перебіг цих процесів нерідко супроводжується стрибкоподібним розвитком подій. Саме такий перебіг подій можна відобразити в імітаційних моделях. В порівнянні з іншими методами імітаційне моделювання дозволяє розглядати велике число альтернатив, покращувати якість управлінських рішень і точніше прогнозувати їх наслідки. Це закономірно вимагає подальшого удосконалення методологічних основ моделювання та прогнозування на екологічних засадах, що й стане

перспективою наших подальших досліджень та практичних розробок в області оцінки стану навколишнього середовища.

Список використаної літератури:

1. Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы / Р. Уиттекер – М.: Прогресс, 1980. – 328 с.
2. Анохин П.К. Узловые вопросы теории функциональной системы / П.К. Анохин– М.: Наука, 1980. – 197 с.
3. Форрестер Д. Мировая динамика: Пер. с англ. / Д. Форрестер. – М.: АСТ; С.-Пб.: Terra Fantastica, 2003. –379 с.
4. Кузубов М.В. Моделювання економічних і еколого-економічних процесів / М.В. Кузубов, О.М. Єдинак, Н.Л. Овандер – К.: КСУ, 2010. – 170 с.
5. Mangenot F. (1998). L'apprenant, l'enseignant et l'ordinateur: un nouveau triangle didactique? // Actes du congrès "Linguaggi della formazione: l'informatica", organisé par l'IRRSAE (institut régional de recherche, d'expérimentation et de formation continue) du Val d'Aoste (Saint-Vincent, 5-6 sept. 1996). – 11p.
6. Ляшенко І.М. Основи математичного моделювання економічних, екологічних та соціальних процесів: навч. пос. / І.М. Ляшенко, М.В. Коробова, А.М. Столяр – Тернопіль: Навчальна книга- Богдан, 2006. – 304 с.
7. Петрик М. Основи математичного моделювання та застосування математичних методів у наукових дослідженнях / М. Петрик, М. Баб'юк. – Тернопіль, 1998. – 113 с.
8. Бажин И.И. Информационные системы менеджмента / И.И. Бажин – М.: ГУ-ВШЭ, 2000. – 688 с.
9. Емельянов А. А. Имитационное моделирование экономических процессов: учебное пособие / А. А. Емельянов, Е. А. Власова, Р. В. Дума [под ред. А. А. Емельянова]. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 368 с.
10. Лаврик В.І. Методи математичного моделювання в екології: навч. посібник для еколог. і біолог. спец. вищих навч. закладів / В.І. Лаврик. - К. : Києво-Могилянська академія, 2002. - 203 с..
11. Лаврик В.І. Моделювання і прогнозування стану довкілля: підручник для вузів / ред. В.І. Лаврик. - К. : Академія [Вид. центр], 2010. - 397 с.
12. Томас Р. Количественный анализ хозяйственных операций и управленческих решений: учебник / Р. Томас [пер. с англ.: науч. ред. к. э. н. В.М. Матвеева] – М.: Дело и Сервис, 2003. – 432 с.
13. Hannon B., Ruth M. Modeling Dynamic Biological Systems. New York, 2001.

14. Вавіленкова А. І. Методи та алгоритми автоматизованого формування логіко-лінгвістичних моделей текстової інформації: автореф. дис. канд. філол. наук: спец. 05.13.06 “Інформаційні технології” / А. І. Вавіленкова. – К., 2010. – 19 с.

15. Вавіленкова А.І. Побудова логіко-лінгвістичної моделі управління на основі результатів експертного опитування / А.І. Вавіленкова // Математичні машини та системи. – 2012. – № 3. – С. 157–163.

16. Перебийніс В. С. Математична лінгвістика / В. С. Перебийніс // Українська мова: Енциклопедія. – К.: Українська енциклопедія ім. М. П. Бажана, 2000. – С. 302–303.

17. Філіппова Н. М. Вступ до прикладної лінгвістики: Моделювання у мові: Навчальний посібник / Н. М. Філіппова. – Миколаїв: НУК, 2004. – 36 с.

18. Біскуб І. П. Англomовний дискурс програмного забезпечення як модель мовленнєвої взаємодії людини й комп'ютера : монографія / І.П. Біскуб. – Луцьк : Волин, нац. ун-т Ім. Лесі Українки, 2009. – 388 с.

19. Ляшенко І.М. Основи математичного моделювання економічних, екологічних та соціальних процесів: навч. пос. / І.М. Ляшенко, М.В. Коробова, А.М. Столяр – Тернопіль: Навчальна книга - Богдан, 2006. – 304 с.

**Курило А.А., Крекотень Е.В. Моделирование и прогнозирование оценки состояния окружающей среды.**

*Исследована методология построения математических и имитационных моделей. Определена целесообразность использования имитационного моделирования. Выделены особенности применения имитационных моделей, в частности для прогнозирования оценки состояния окружающей среды, а также логико-лингвистических моделей.*

**Ключевые слова:** модель, моделирование, имитационное моделирование, компьютерное моделирование экологической проблемы.

**Kurylo A.A., Krekoten O.V. Modeling and Scientific Prognostication in the Evaluation of the Environment.**

*The methodology of mathematical and simulation modeling have been studied. The suitability of using simulation modeling has been determined. Some peculiarities of the application of simulations and logical-linguistic models have been marked, particularly, to prognosticate the evaluation of the environment.*

**Keywords:** model, modeling, simulation, computer simulation of environmental problems.