

УДК 628.5.66
JEL C02

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ ПРОГНОЗУВАННІ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ

І. Іваніцький, к. е. н.

ORCID ID: 0000-0001-8857-257X

Ю. Іваніцький, магістр

ORCID ID: 0009-0004-0789-2774

Львівський національний університет природокористування

<https://doi.org/10.31734/economics2023.30.094>

Іваніцький І., Іваніцький Ю. Використання методів моделювання при прогнозуванні стану довкілля

Зростання ролі екологічного моделювання, як одного зі способів передбачення впливу на довкілля, пов'язане зі збільшенням навантаження на нього. Враховуючи складність теоретичного обґрунтування багатьох методів моделювання та складність застосування результатів досліджень на практиці, виникає необхідність у застосуванні методів моделювання з метою порівняння результатів та з можливістю їх корекції. На сьогодні основне місце серед методів прогнозування посідають методи моделювання.

Моделювання стану довкілля є інструментом, який дає змогу перейти від якісного рівня аналізу до рівня, що використовує кількісні статистичні значення величин.

Найважливішим його різновидом є математичне моделювання, при якому дослідження об'єкта здійснюється за допомогою моделі, сформульованої з використанням тих або інших математичних методів. Будь-яка математична модель, що описує складні процеси, неминуче ґрунтується на багатьох спрощеннях. Очевидно, що для різних ієрархічних рівнів ухвалення рішень необхідні математичні моделі з різним ступенем деталізації.

Математичні моделі з достатнім ступенем достовірності допомагають визначити напрями тенденцій розвитку екологічних процесів із повільним еволюційним процесом розвитку. Однак збурення, які виникають і впливають на хід цих процесів, часто супроводжуються стрибкоподібним розвитком подій. Власне, імітаційні моделі дозволяють їх відобразити.

Використання методів математичного моделювання та комп'ютерних технологій дає змогу значно підвищити ефективність виконання різних завдань, що потребують для розв'язання складних процедур обчислення і використання потужного обчислювального ресурсу.

Методи математичного моделювання особливо важливі для цілей екологічного управління та прогнозування. Досить складно моделювати екологічні об'єкти, оскільки вони не піддаються чіткому математичному опису. Але на сьогодні завдяки потужним комп'ютерам та програмним продуктам з'явилися можливості вирішення екологічних завдань.

Ключові слова: екосистема, моделювання, математичне моделювання, прогнозування стану, імітаційне моделювання.

Ivanitskyi I., Ivanitskyi Yu. Use of modeling methods in forecasting the environmental conditions

The growing importance of ecological modeling as one of the means to make forecast of the impact on environment is associated with increased burden on it. Considering complexity of the theoretical basis of many modeling methods and the difficulty of practical application of the research findings, it is necessary to employ modeling methods to compare results and allow for their correction. Today, the main place among forecasting methods is occupied by modeling methods.

Modeling of the environmental conditions is a tool that allows moving from a qualitative level of analysis to a level that involves quantitative statistical values.

The most important type of modeling is mathematical modeling, i.e. when an object is studied by using a model developed applying various mathematical methods. Any mathematical model that describes complex processes apparently relies on simplifications. Different hierarchical decision-making levels require mathematical models with different levels of detail.

Mathematical models with a sufficient degree of reliability help to determine the trends of ecological process progress with a slow evolutionary process of development. However, disturbances that occur and affect the course of these processes are often accompanied by a jump-like development of events. In fact, simulation models are used to display them.

The use of mathematical modeling methods and computer-based technologies provide significant increase of the efficiency of solving various tasks that require complex calculation procedures and the use of a powerful computing resource.

Methods of mathematical modeling are particularly important for environmental management and forecasting. Modeling ecological objects can be challenging, as they cannot be clearly mathematically described. However, due to powerful computers and software tools, it is now possible to solve environmental issues.

Key words: ecosystem, modeling, mathematical modeling, forecasting of conditions, simulation modeling.

Постановка проблеми. Застосування математичних методів моделювання й прогнозування з метою обґрунтування напрямів збереження природних систем та визначення заходів щодо їх збереження конкретизує розуміння того, що відбувається та може відбутися в природному середовищі внаслідок людського втручання, узагальнює оцінки та висновки, допомагає у знаходженні оптимальних рішень: технологічних, технічних, природоохоронних. Методи математичного моделювання особливо важливі для цілей екологічного управління та прогнозування. Досить складно моделювати екологічні об'єкти, оскільки вони не піддаються чіткому математичному опису. Але на сьогодні з'явилися можливості вирішення екологічних завдань завдяки використанню потужних комп'ютерів та сучасних програмних продуктів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Моделюванню та прогнозуванню стану навколишнього середовища присвячено низку праць вітчизняних і зарубіжних науковців, серед яких можна виділити В.В. Вітлінського, Б.В. Гнеденко, І.М. Коваленка, А.Б. Качинського, А.В. Яцика, В.В. Богобоящого та ін.

Дослідження в цій сфері пов'язані з феноменологічними описами систем, створенням теоретичних методів й математичного апарату для дослідження екосистем. На думку Г. О. Бачинського, найперспективнішими для застосування в екології є системне й імітаційне моделювання. Він вважає, що математичне моделювання, а саме імітаційне моделювання, є найкращим інструментом дослідження складних систем. Воно дає змогу розглянути більшу кількість альтернативних варіантів, точніше спрогнозувати наслідки прийняття тих чи інших рішень, забезпечує можливість уникнути небажаних результатів і підвищити корисний ефект від прийнятих рішень. Це дає змогу уникнути важких наслідків під час дослідження складних екологічних систем. Складні динамічні системи доцільно вивчати із застосуванням новітніх інформаційних технологій у сфері обробки інформації.

Постановка завдання. При аналізі задач, які пов'язані з прогнозуванням розвитку екологічних процесів, виникає необхідність визна-

чення сучасної екологічної ситуації, потреба відновлення нормативного стану довкілля, забезпечення життєдіяльності людини та прогнозування, щоб керувати станом довкілля і вчасно запобігати його негативним змінам. Чим більше методів використовується для побудови моделі досліджуваної системи, тим більшою вважається ймовірність визначення природної закономірності. Виходячи з рівня розвитку методів прогнозування, поставлено завдання розглянути використання методів моделювання з урахуванням особливостей екологічних процесів.

Вклад основного матеріалу. Діяльність людини спричинила помітні зміни як живої, так і неживої природи, і тому дедалі більшого значення набуває гармонійна взаємодія суспільства і природного довкілля. Людина отримує від природи все необхідне для життя: енергію, продукти харчування, матеріали, і тому виникає потреба в посиленні контролю за природокористуванням та охороною природного середовища. З метою зменшення негативного впливу діяльності людини на навколишнє середовище потрібно розробити ефективні методи раціонального використання природних ресурсів, профілактики забруднення довкілля відходами промисловості, збереження природної флори і фауни. Реалізація цих завдань неможлива без моделювання і прогнозування стану довкілля.

Моделювання – одна з основних категорій теорії пізнання: на ідеї моделювання ґрунтується будь-який метод наукового дослідження – як теоретичного, так і експериментального [5]. Під моделюванням розуміють відтворення або імітацію поведінки реально існуючої системи на спеціально побудованій моделі. Це робиться для того, щоб за результатами дослідження на моделі можна було зробити висновки про реальні процеси, що дійсно відбуваються.

Моделювання ґрунтується на існуванні аналогії між двома об'єктами або явищами, які часто мають якісно різну природу. У цьому разі один з об'єктів розглядається як оригінал, а інший – як його модель, копія. Найбільш суттєвою подібністю між оригіналом і його моделлю є подібність їх поведінки за певних умов. Під час

вивчення методом аналогії безпосередньому дослідженню завжди піддається одна система, а висновок робиться для іншої. Тому система, яка безпосередньо досліджується, є відображенням або моделлю системи, що вивчається, тобто оригіналу.

Отже, модель – це той посередник, що його людина ставить між собою і досліджуваним об'єктом. Вона є представником самого об'єкта або його замітника. Через це модель повинна бути в чомусь подібна до досліджуваного об'єкта і мати щось із ним спільне.

Тому всяка модель, яка використовується в наукових дослідженнях, повинна відповідати таким вимогам: однозначно представляти відповідний об'єкт дослідження, створений природою або людиною; бути допоміжним природним або штучним об'єктом, який замінює оригінал у процесі дослідження і дає про нього відповідну інформацію на певному етапі дослідження; мати ті властивості оригіналу, які притаманні даному дослідженню.

Моделювання використовується як спосіб дослідження, вивчення складних систем і явищ. Для більш глибокого дослідження і вивчення складних систем використовують математичне моделювання, під яким необхідно розуміти опис чи представлення найважливіших причинних і функціональних взаємозв'язків і залежностей, які існують у реальній дійсності, у математичній формі.

Математична модель має іншу порівняно з реальним об'єктом природу і являє собою рівняння або систему рівнянь і нерівностей, яка описує взаємозв'язки, що відбуваються в оригіналі. Математична модель є абстракцією певної реальної дійсності і виражає найважливіші її властивості.

Інакше кажучи, математичне моделювання – це моделювання, коли модель і оригінал мають різну фізичну природу, а явища або процеси, які характеризують їх, описуються рівняннями однакової форми і між змінними цих рівнянь існують однозначні співвідношення. Між математичною моделлю і оригіналом немає зовнішньої подібності, але модель відображає внутрішні закономірності того явища, яке моделюється.

Моделювання та прогнозування стану довкілля – це система понять і методів, які спрямовані на аналіз та прогноз розвитку різноманітних природних екологічних систем. Ці методи сприяють розробці стратегій покращання якості навколишнього середовища, мінімізуючи при цьому екологічні ризики та підвищуючи екологічну безпеку. Використання моделювання дає змогу оцінювати потенційні наслідки застосування різних стратегій управління, впливу на екосистему [6].

Методи моделювання та прогнозування стану довкілля передбачають постановку задачі згідно з обраною метою, ідентифікацію досліджуваних структур, вибір оптимального методу моделювання, побудову моделі і доведення її адекватності досліджуваному процесу, варіантну реалізацію моделювання, прогноз розвитку подій та контроль за здобутими результатами. Ефективне управління екологічними ризиками та загрозами неможливе без застосування відповідної моделі досліджуваного процесу, що потребує глибоких знань та сучасних підходів до процесу моделювання стану довкілля, а також володіння основними методами моделювання в екології. На сьогодні основне місце серед методів прогнозування посідають методи моделювання. Умовно їх поділяють на дві великі групи: матеріальне й ідеальне моделювання [2].

Прогноз і оцінка змін у навколишньому середовищі дають змогу не лише визначити та здійснити природоохоронні заходи, спрямовані на зменшення вже існуючого негативного впливу на екосистеми, а й розробити профілактичні заходи, які б дозволили попередити негативні ефекти, які ще не проявилися. Усі прогнози мають ймовірнісний характер і ґрунтуються на даних про стан навколишнього природного середовища на певний момент часу і в минулому.

У системі моніторингу стану довкілля виділяють такий метод прогнозування, як експертне оцінювання [1]. Його сутність полягає в отриманні і спеціалізованому обробленні прогнозних оцінок об'єкта через опитування фахівців-експертів у певній сфері науки, техніки, виробництва. Оцінки експертів суттєво підвищують надійність прогнозів, отриманих за допомогою інших методів прогнозування – екстраполяції та інтерполяції. Ці методи ефективні при короткостроковому прогнозуванні стосовно об'єкта, який тривалий час розвивався рівномірно без значних відхилень. Метод полягає в побудові моделей, які розглядають з урахуванням імовірної або бажаної зміни прогнозованого явища на певний період, користуючись прямими або опосередкованими даними про масштаби та напрями змін.

На сьогодні більшість математичних моделей, що широко застосовуються в різних галузях природних і суспільних наук, розподіляють на такі два великі класи: математичні та імітаційні моделі. При цьому вважається, що в математичних моделях застосовуються, в основному, аналітичні методи, зокрема апарат сучасного математичного аналізу та інших розділів математики [3].

Побудова математичних моделей відбувається тільки за допомогою певних кількісно чітко визначених величин, які в процесі дослідження можуть змінюватись або залишитись незмінними. Тому, перш ніж будувати математичну модель або застосовувати вже відомі математичні методи і моделі, необхідно розчленувати об'єкт дослідження на ті елементи, які характеризують найбільш істотні властивості певного об'єкта. Потім кожному елементу утвореної таким чином системи ставиться у відповідність певна кількісна величина. Внаслідок цього одержимо деяку абстрактну систему взаємопов'язаних елементів, що представляє ту реальну систему або об'єкт, які ми досліджуємо. Процес побудови такої абстрактної спрощеної системи називається математичною формалізацією реального об'єкта, явища або системи. Тому побудована абстрактна система і є певною моделлю реальної системи. Необхідно ще встановити зв'язки між окремими елементами системи та між елементами системи і середовищем, в якому функціонує ця система.

Математичне або імітаційне моделювання є однією з найбільш корисних і ефективних форм моделювання, яке виражає найістотніші риси реальних об'єктів, процесів, явищ і систем, що вивчаються різними науками.

Створити математичну модель того чи іншого реального процесу або явища в повному розумінні цього поняття важко, оскільки не завжди вдається чітко математично описати реальний об'єкт, процес, явище або, як кажуть, реальну систему. Вихід з такого становища надає імітаційне моделювання [4]. Суть його полягає в тому, що модель реальної системи будується спочатку словесно, концептуально, а потім залучаються всі існуючі методи для формалізації й математичного опису моделі, включаючи методи інформатики, системного аналізу і математичного моделювання. Основною умовою побудови імітаційної моделі є використання сучасних комп'ютерів. Отже, поступаючись в точності математичного опису окремих елементів реальної системи, імітаційна модель, як правило, повинна мати перевагу відносно її інформативності та практичного використання. З останнього зауваження випливає, що всяка математична модель, яка успішно використовується для розв'язання складних практичних задач і проблем, з повним правом може називатися імітаційною моделлю або імітаційним моделюванням.

Отже, існує різноманітність способів і прийомів математичного моделювання, причому в назві математичної моделі часто відображається назва того чи іншого математичного методу, що застосовується в побудові моделей.

Незважаючи на велике розмаїття видів моделей і способів їх побудови та постановки на них експериментів, усі види моделювання мають низку загальних рис:

- створення проміжної абстрактної моделі – об'єкта;
- наявність деякої відповідності між моделлю та об'єктом, що моделюється, яка виражається у вигляді їх структурно-функціональної спільності;
- наявність деякої спільності в певному відношенні між моделлю та об'єктом, що моделюється.

Висновки. Розв'язання важливих проблем оцінки стану навколишнього середовища неможливе без знання основних положень і методів екології. Вони створені і розвиваються на основі основних положень системного аналізу, методів математичного й імітаційного моделювання. Використання моделей стану безпеки екосистеми дасть змогу ухвалювати оперативні рішення щодо безпеки навколишнього середовища та захисту екосистем і населення. Математичні моделі з високим ступенем достовірності дають змогу визначити тенденції розвитку екологічних процесів із повільним процесом розвитку. Будь-які збурення в системі можна відобразити в імітаційних моделях. Порівняно з іншими методами імітаційне моделювання дозволяє розглядати велике число альтернатив, покращувати якість управлінських рішень і точніше прогнозувати їх наслідки.

Бібліографічний список

1. Клименко М. О., Прищеп А. М., Вознюк Н. М. Моніторинг довкілля. Київ: Академія, 2006. 360 с.
2. Кучеров К. І. Сучасні наукові методи дослідження оцінки та прогнозування впливу техногенного забруднення на безпечне функціонування навколишнього природного середовища. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2008. № 1–2. С. 104–112.
3. Лаврик В. І. Методи математичного моделювання в екології. Київ: Фітосоціоцентр, 1998. 131 с.
4. Лаврик В. І. Моделювання і прогнозування стану довкілля: підруч. для вузів. Київ: Академія, 2010. 397 с.
5. Ляшенко І. М., Коробова М. В., Горіцина І. А. Моделювання економічних, екологічних і соціальних процесів: навч. посіб. Київ: ВПЦ «Київський університет», 2010. 320 с.
6. Принципи моделювання та прогнозування в екології: підручник / В. В. Богобожий, К. Р. Чурбанов, П. Б. Палій, В. М. Шмандій. Київ: Центр навч. літ., 2004. 216 с.

Стаття надійшла 15.06.2023