

УДК 004.942

Д.В. СТЕФАНИШИН

ЕКСТРАПОЛЯЦІЙНЕ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗА ДАНИМИ РЯДІВ ДИНАМІКИ З ВИКОРИСТАННЯМ СИТУАЦІЙНИХ ТА ІНДУКТИВНИХ МОДЕЛЕЙ

***Анотація.** Запропоновано комбінований підхід до екстраполяційного прогнозування за даними рядів динаміки з використанням ситуаційних та індуктивних моделей. Згідно з цим підходом підґрунтям для побудови індуктивних моделей є результати ситуаційного моделювання в межах вибіркового рядів динаміки, які характеризуються монотонністю або квазістаціонарністю поведінки змінних моделей на відповідних часових інтервалах. Встановлюються два основні види прогнозів-екстраполяцій: оперативні прогнози і строкові прогнози. Оперативне прогнозування (в режимі реального часу) здійснюється на основі ситуаційних моделей на обмежених часових інтервалах, де відповідні моделі вважаються адекватними. Строкове прогнозування виконується на основі індуктивних моделей, за допомогою яких відслідковується еволюція ситуаційних моделей минулих періодів та встановлюються ситуаційні моделі майбутніх періодів.*

***Ключові слова:** екстраполяція, індуктивні та ситуаційні моделі, моделювання та прогнозування за даними рядів динаміки, оперативні і строкові прогнози.*

Вступ

Прогнозування, як процес наукового передбачення майбутнього, лежить в основі більшості прикладних задач прийняття рішень, які розв'язуються в різних сферах та областях життєдіяльності людини [1, 2].

Розрізняють неформальні (якісні) і формальні (кількісні) методи прогнозування. Вважається, що кількісні прогнози, що ґрунтуються на математичному моделюванні, заслуговують на більшу довіру фахівців для прийняття зважених рішень [1–4]. Тому розробці формальних методів прогнозування, з використанням математичного моделювання та кількісних оцінок, приділяють особливу увагу.

Проблемами прогнозування займаються фахівці різних галузей знань (математики, економісти, інженери, геологи, екологи, політологи, соціологи), представники різних наукових напрямків та наукових шкіл. З 70-х років минулого століття знайшла свій розвиток і окрема наукова дисципліна – прогностика [4, 5], серед фундаторів якої були Д. Белл, Г.М. Добров, Г. Кан, В.О. Лисичкін, Дж. Мартіно, М.М. Мойсеев, О. Хелмер. Значний вклад в розвиток кількісних методів прогнозування внесли також роботи вітчизняних фахівців в області математичного моделювання та системного аналізу, зокрема роботи П.І. Бідюка, С.О. Довгого, О.Г. Івахненка, М.З. Згуровського, Н.Д. Панкратової, В.С. Степашка, О.М. Трофимчука та ін. [2, 3, 6–8].

Прикладні дослідження в області кількісного прогнозування в тій чи іншій мірі передбачають використання при моделюванні емпіричних даних. Принципово нові можливості для отримання необхідних емпіричних даних з метою прогнозування дає моніторинг [9]. Сучасні комп'ютеризовані й автоматизовані системи моніторингу дозволяють збирати необхідні для моделювання кількісні дані у вигляді рядів динаміки для визначених параметрів в будь-яких об'ємах, які можуть бути цілком достатніми для побудови адекватних математичних моделей для цілей прогнозування за емпіричними даними.

1. Принципові зауваження щодо ситуаційного та індуктивного моделювання

Під ситуаційним моделюванням, зазвичай, розуміють спосіб моделювання, в основу якого покладено відтворення певних ситуацій (збігів умов і обставин функціонування системи) з метою розв'язання задач, що можуть мати місце при управлінні складними системами [10, 11]. Основна ідея ситуаційного моделювання полягає в тому, що повний опис нескінченної множини всіх можливих ситуацій функціонування реальної системи за певними правилами замінюється певною кількістю (скінченною множиною) узагальнених ситуацій, кожна з яких з певною мірою вірогідності відтворює один з можливих її станів. Особливої популярності ситуаційне моделювання набуло в економіці, медицині, військовій справі, криміналістиці, політиці та в інших подібних сферах, а також в штучному інтелекті.

Зокрема, в штучному інтелекті розвиток логічного підходу до моделювання поведінки складних систем та процесів дав поштовх до створення ситуаційного числення – логічного формалізму, основними елементами якого є ситуації, дії та змінні [12]. Ситуаційне числення можна вважати математичною теорією ситуаційного моделювання. Найвагоміший вклад в розвиток ситуаційного числення внесли такі відомі вчені в області штучного інтелекту, як Р. Рейтер, Дж. Маккарті, Р. Міллер і М. Шенехен. Згідно з цією теорією еволюція динамічної системи моделюється в розрізі її «пересування» по серії ситуацій, котрі є результатами різних дій. При цьому ситуації (Р. Рейтер) не зображають буквально стани системи, а відображають історію певних подій як завершених послідовностей дій в певні періоди часу. Оскільки ситуації неможливо описати повністю, а можливо говорити тільки про деякі їх аспекти, то для опису еволюції системи використовується правило немонотонного виводу. При моделюванні припускається (Дж. Маккарті), що на основі минулих фактів, якими описують минулі ситуації, і загальних законів (або припущень), які задають виконання дій і виникнення подій в межах ситуацій, можливо описати (передбачити) і деякі ситуації, що з'являться в майбутньому.

Під індуктивним моделюванням наразі насамперед розуміють новий напрямок в моделюванні складних процесів і систем, який пов'язують з роботами О.Г. Івахненка та його численних учнів та послідовників, що знайшов своє теоретичне та практичне відображення в методі групового урахування аргументів (МГУА) [6, 7]. Це оригінальний метод моделювання за експериментальними даними, який відрізняється від інших методів побудови моделей за емпіричними даними активним застосуванням

принципів автоматичної генерації варіантів структур моделей, яка імітує процес біологічної селекції з попарним урахуванням послідовних ознак, нестаточних рішень і послідовної селекції за зовнішніми критеріями для побудови моделей оптимальної складності. Для порівняння і вибору кращих моделей застосовуються зовнішні критерії, засновані на поділі вибірки на дві та більше частин, причому оцінювання параметрів і перевірка якості моделей виконується на різних підвибірках. Замість традиційного дедуктивного шляху структурно-параметричної ідентифікації моделей за емпіричними даними «від загальної теорії – до конкретної моделі» пропонується новий, індуктивний підхід «від конкретних даних – до загальної моделі». Згідно з цим підходом на основі наявних емпіричних даних висувається гіпотеза про можливий клас моделей, формується процедура автоматичної генерації тисяч і десятків тисяч альтернативних моделей у цьому класі та задається критерій вибору найкращої моделі з усіх генерованих. Оскільки при цьому найбільш трудомістка, рутинна робота виконується на ЕОМ, це дозволяє обійтись без обтяжливих апріорних припущень, з'являється можливість мінімізувати вплив суб'єктивних факторів, врахувати різні види апріорної невизначеності при побудові моделі. Наразі МГУА розглядають як одну з найбільш передових інформаційних технологій отримання знань з даних спостережень або як один з найбільш ефективних методів інтелектуального аналізу емпіричних даних.

2. Мета статті, об'єкт та предмет досліджень

Наразі в більшості практичних випадків прогнозування за емпіричними даними здійснюється у формі екстраполяцій – з виявленням усталених тенденцій в розвитку системи або процесу та їх перенесенням на майбутнє методами, що ґрунтуються на аналізі часових рядів та казуальному (причинно-наслідковому, регресійному) моделюванні. Серед найбільш поширених математичних моделей, що використовуються при цьому, виділяються різного роду статистично-імовірнісні моделі-екстраполяції: тренди, регресії, функції розподілу ймовірності тощо [2, 3, 13–17]. Такий підхід до прогнозування за даними спостережень поведінки систем в умовах усталених, еволюційних, режимів розвитку та за обмежень, що не допускають різких змін в поведінці системи, біфуркацій й катастрофічних сценаріїв, може вважатися цілком виправданим [16].

В той же час, як відомо, традиційні методи побудови моделей-екстраполяцій за емпіричними даними не завжди відповідають граничним обмеженням, які накладаються на модель. Практика показує, що зі збільшенням кількості накопичених емпіричних даних проблеми, пов'язані з рішенням оптимізаційної задачі можуть виникати навіть у випадках використання відносно простих моделей-екстраполяцій. При цьому ускладнення структури моделі за рахунок врахування додаткових факторів та параметрів, нелінійних ефектів тощо можуть покращувати її якість як інтерпретаційної моделі в межах спостережених даних, але погіршувати її якість як прогностичної моделі в області екстраполяції.

Метою статті, що пропонується, є презентація підходу до екстраполяційного прогнозування за даними рядів динаміки, що ґрунтується на ідеї комбінованого ситуаційно-індуктивного моделювання. Об'єктом

досліджень у статті є прогнозування за даними рядів динаміки, предметом досліджень – ситуаційно-індуктивне моделювання за даними рядів динаміки з метою прогнозування.

3. Ситуаційно-індуктивний підхід до моделювання за даними рядів динаміки

Під ситуаційною моделлю надалі будемо розуміти модель, яка адаптована до певної ситуації (відповідні обставини адаптації назвемо прогнозним фоном) і яка може вважатися адекватною лише в цій ситуації, що розгортається протягом обмеженого періоду часу. Прогнозний фон характеризуватимемо як сукупність зовнішніх і/або внутрішніх умов, істотних для вибору структури відповідної ситуаційної моделі, яка розробляється за даними рядів динаміки з метою прогнозування.

Ситуаційні моделі будуються на основі вибірових рядів динаміки даних спостережень для залежних і незалежних змінних моделей, де вибірові ряди динаміки (кластери) відповідають деяким встановленим критеріям однорідності, які формулюються з врахуванням поведінки значень рядів динаміки змінних на відповідних часових інтервалах:

- монотонність зі зростанням; окремо можуть виділятися інтервали відносно повільного, помірного і відносно швидкого монотонного зростання;
- знакозмінне зростання;
- монотонність з убаванням; окремо можуть також виділятися інтервали відносно повільного, помірного і відносно швидкого монотонного убавання;
- знакозмінне убавання;
- випадкові стаціонарні коливання значень ряду.

Приймається, що побудовані на відповідних вибірових рядах динаміки ситуаційні моделі можуть відображати окремі фазові стани динамічної системи на різних інтервалах часу. При цьому перехід від однієї ситуаційної моделі до іншої, які визначають сусідні фазові стани системи, може відбуватися немонотонно (рис. 1, 2).

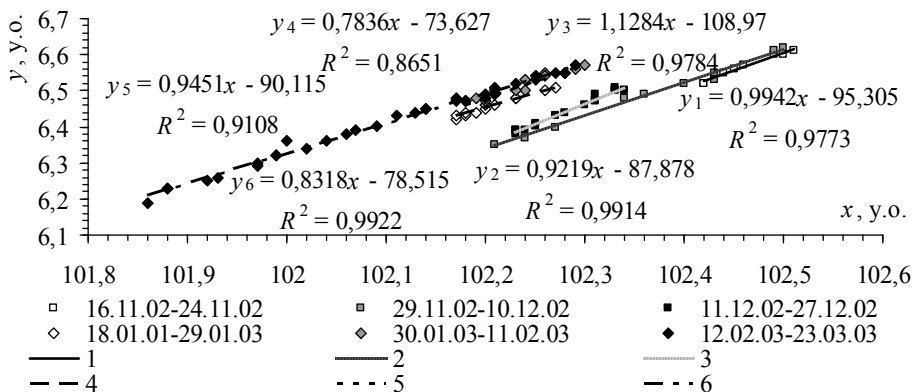


Рисунок 1 – Приклад побудови ситуаційних моделей у вигляді простих лінійних регресій (за даними [17])

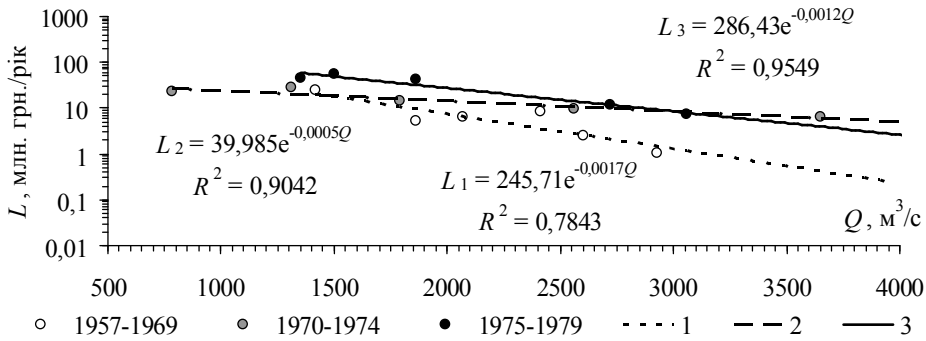


Рисунок 2 – Ситуаційні моделі ймовірних втрат L від максимальних витрат Q повеней в басейні р. Тиса (Закарпатська область) на інтервалі 1957–1979 рр. (за даними [18])

При такій постановці задачі ситуаційного моделювання за даними рядів динаміки в якості рівнянь зв'язку можуть використовуватися відносно прості залежності, що легко адаптуються до змін в рядах динаміки, пов'язаних в тому числі і із змінами прогнозного фону, які можуть викликатися факторами, що з тих чи інших причин не враховуються в ситуаційній моделі безпосередньо. З метою побудови адекватних ситуаційних моделей, при необхідності, можуть враховуватися також транспортні лаги між змінними моделей.

Під індуктивною моделлю будемо розуміти модель, отриману з узагальнення (ансамблю) кількох моделей (ситуаційних або індуктивних). По суті, в нашому випадку, індуктивні моделі являють собою моделі «рівнів», які визначають поведінку залежних змінних при деяких фіксованих значеннях незалежних змінних. Індуктивні моделі будуються на основі рядів модельних даних, що являють собою результати статистичної обробки актуальних даних і/або результати ситуаційного моделювання. При цьому індуктивна модель, яка вибудовується на основі узагальнення сімейства ситуаційних моделей й охоплює кілька кластерів актуальних даних, може відображати еволюцію відповідних ситуаційних моделей як еволюцію фазових станів динамічної системи в часі (рис. 3).

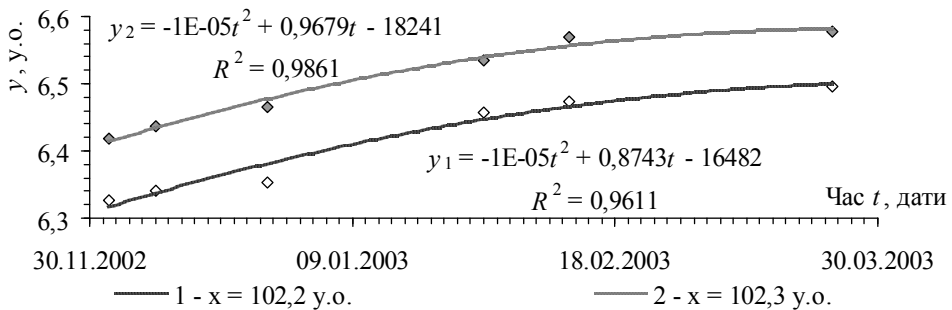


Рисунок 3 – Приклад побудови індуктивних моделей у вигляді трендів (за даними рис. 1)

Індуктивні моделі можуть будуватися за результатами ситуаційного моделювання за весь період спостережень або за результатами ситуаційного моделювання на вибіркових кластерах одного виду, наприклад сезонних кластерах, або кластерах з подібною поведінкою значень рядів динаміки змінних на відповідних часових інтервалах (зростання, убавання значень ряду тощо).

Структура індуктивних моделей визначається властивостями рядів динаміки відповідних модельних даних – результатів ситуаційного моделювання, які в загальному випадку можуть являти собою нестационарні ряди динаміки [16]. При врахуванні лише кластерів, що характеризуються випадковими стаціонарними коливаннями значень рядів динаміки змінних, якими описуються ситуаційні моделі, результати ситуаційного моделювання зазвичай являють собою стаціонарні (квазістаціонарні) ряди динаміки. При цьому відповідні індуктивні моделі можуть виконуватися у вигляді регресій (рис. 4).

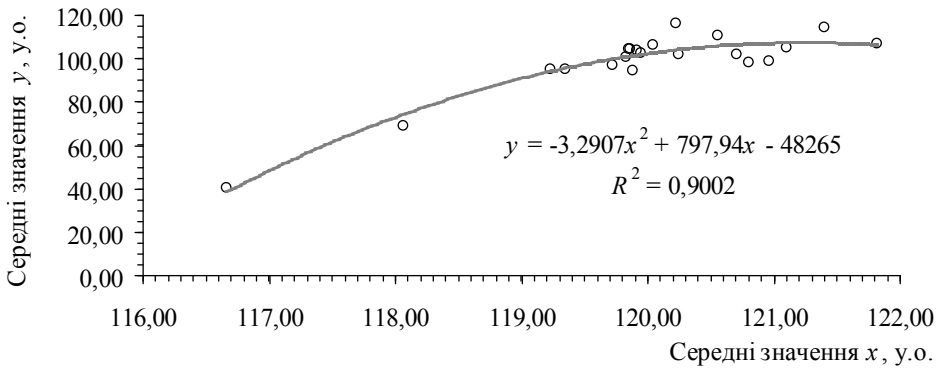


Рисунок 4 – Приклад побудови індуктивної моделі за даними ситуаційного моделювання у вигляді регресії

Задача побудови індуктивних моделей за результатами ситуаційного моделювання, що являють собою нестационарні ряди динаміки, найбільш просто вирішується у випадку високих коефіцієнтів детермінації трендів. Такі індуктивні моделі можуть виконуватися у вигляді трендів (рис. 3, 5).

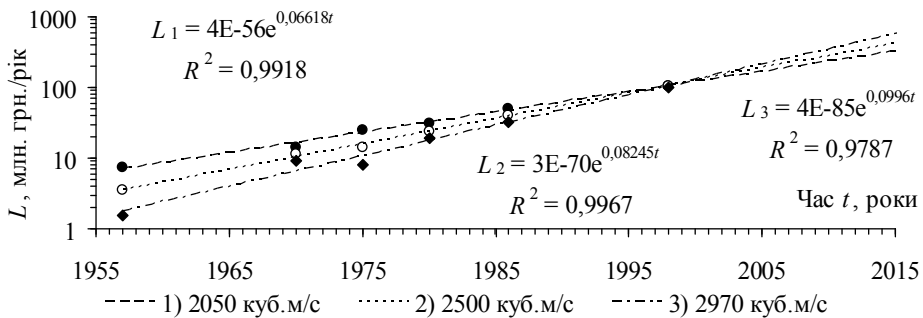


Рисунок 5 – Індуктивні моделі ймовірних втрат L від повеней в басейні р. Тиса (Закарпатська область) при різних витратах води за даними [18]

У більш складних випадках нестационарних рядів даних, якими описуються результати ситуаційного моделювання, індуктивні моделі, наприклад, можуть представлятися у вигляді композицій трендів і регресій «залишків» вилучення трендів [17].

4. Екстраполяційне прогнозування на основі ситуаційних та індуктивних моделей за даними рядів динаміки

Встановлюються два основні види прогнозів-екстраполяцій на основі результатів ситуативно-індуктивного моделювання за даними рядів динаміки: оперативні прогнози і строкові прогнози.

Оперативні (в режимі реального часу) прогнози-екстраполяції виконуються на основі нових даних, які зумовлюють необхідність суттєвого корегування попередніх ситуаційних моделей (моделей минулого періоду) (рис. 6). За потребою може виконуватися серія оперативних прогнозів по мірі надходження нових даних.

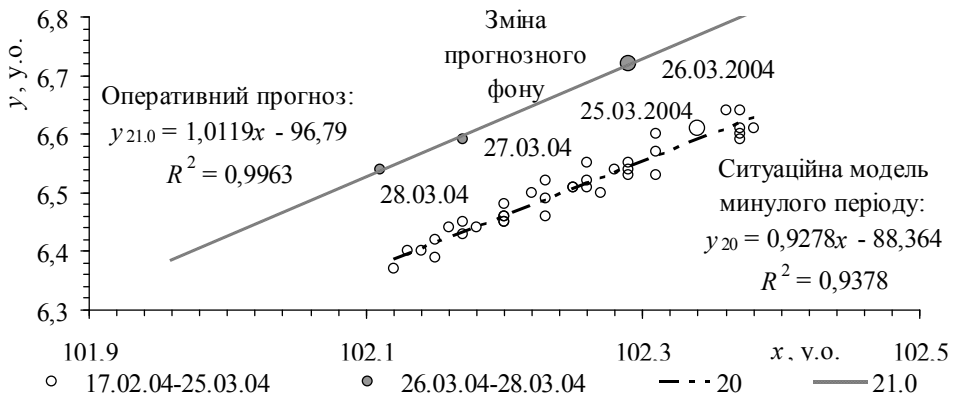


Рисунок 6 – Приклад побудови оперативного прогнозу з використанням ситуаційної моделі

Строкові прогнози-екстраполяції виконуються на основі індуктивних моделей. Прогнозування зводиться до встановлення ситуаційних моделей, що можуть відповідати очікуваним ситуаціям в майбутньому (на майбутніх періодах) (рис. 7). Точність побудови строкових прогнозів суттєво підвищується, якщо індуктивні моделі будуються на основі ситуаційних моделей минулих періодів, дані яких належать спорідненим кластерам даних (з врахуванням характеру поведінки вибіркового ряду динаміки тощо) [17].

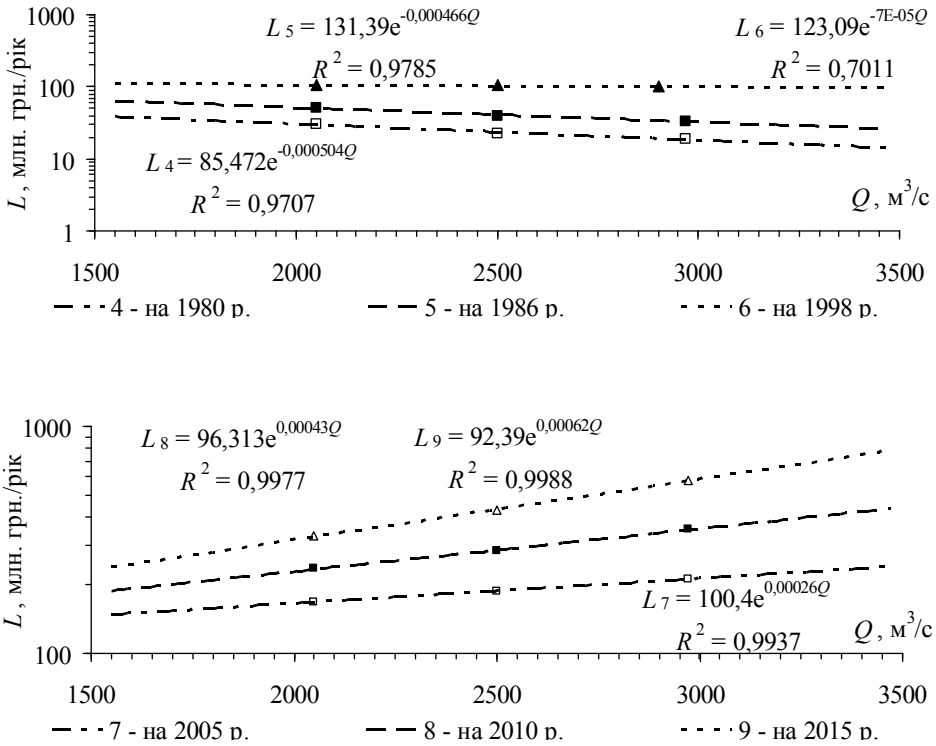


Рисунок 7 – Строкові прогнози у вигляді ситуаційних моделей ймовірних втрат L від максимальних витрат Q повеней в басейні р. Тиса (Закарпатська область), виконані за результатами індуктивного моделювання (див. рис. 5)

Розглянуті приклади вказують на принципову можливість екстраполяційного прогнозування за даними рядів динаміки на основі ситуаційних та індуктивних моделей, в тому числі з постійним їх корегуванням по мірі надходження нових даних.

Висновки

Запропоновано підхід до екстраполяційного прогнозування за емпіричними даними, що ґрунтується на ідеї ситуаційно-індуктивного моделювання, згідно з яким результати ситуаційного моделювання в межах вибіркового ряду динаміки, які характеризуються монотонністю або квазістаціонарністю поведінки змінних моделей на відповідних часових інтервалах, формують підґрунтя для наступної побудови індуктивних моделей. Індуктивні моделі можуть виконуватися за результатами ситуаційного моделювання як моделі «рівнів». Показано, що на основі ситуаційних моделей в межах інтервалів часу, де ситуаційні моделі вважаються адекватними, може здійснюватися оперативне прогнозування, а на основі індуктивних моделей, за допомогою яких в межах спостережених даних відслідковується еволюція ситуаційних моделей, може здійснюватися строкове прогнозування зі встановленням ситуаційних моделей майбутніх періодів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бернстайн П. Против богов: Укрощение риска / П. Бернстайн // Пер. с англ. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2000. – 400 с.
2. Довгий С.О. Методи прогнозування в системах підтримки прийняття рішень / С.О. Довгий, П.І. Бідюк, О.М. Трофимчук, О.І. Савенков. – К.: Азимут-Україна, 2011. – 608 с.
3. Довгий С.О. Системи підтримки прийняття рішень на основі статистично-ймовірнісних методів / С.О. Довгий, П.І. Бідюк, О.М. Трофимчук. – К.: Логос, 2014. – 419 с.
4. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа / Н.Н. Моисеев. – М.: Наука, 1981. – 487 с.
5. Горбатенко В.П. Еволюція прогностики як системи наукових знань про майбутнє / В.П. Горбатенко // Стратегічні пріоритети, № 1(2), 2007. – С. 11–17.
6. Ивахненко А.Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем / А.Г. Ивахненко. – Киев: «Наукова думка», 1982. – 296 с.
7. Ивахненко А.Г. Помехоустойчивость моделирования / А.Г. Ивахненко, В.С. Степашко. – К.: Наукова думка, 1985. – 216 с.
8. Згуровский М.З. Системный анализ / М.З. Згуровский, Н.Д. Панкратова. – К.: Наукова думка, 2011. – 900 с.
9. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды / Израэль Ю.А. – Л.: Гидрометеоздат, 1979. – 376 с.
10. Клыкков Ю.И. Ситуационное управление большими системами / Ю.И. Клыкков. – М.: Энергия, 1974. – 134 с.
11. Поспелов Д.А. Ситуационное управление. Теория и практика / Д.А. Поспелов. – М.: Наука, 1986. – 284 с.
12. Рассел С. Искусственный интеллект: современный подход / С. Рассел, П. Норвиг. 2-е изд.: Пер. с англ. – М.: Изд. Дом «Вильямс», 2006. – 1410 с.
13. Стефанишин Д.В. Вибрані задачі оцінки ризику та прийняття рішень за умов стохастичної невизначеності / Д.В. Стефанишин. – К.: Азимут-Україна, 2009. – 104 с.
14. Kuhn M. Applied Predictive Modeling / M. Kuhn, K. Johnson. – New York: Springer Science+Business Media, 2013. – 600 p.
15. Стефанишина-Гаврилюк Ю.Д. Використання нечіткої міри для подолання невизначеності довгострокових прогнозів на основі екстраполяцій / Ю.Д. Стефанишина-Гаврилюк, Д.В. Стефанишин // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2013. – № 4. – С. 99–110.
16. Stefanyshyn D.V. A Method of Forecasting of Indexes of Dynamic System that evolves slowly, based on Time Series Analysis / D.V. Stefanyshyn // ICIM 2013. Proc. of 4th Int. Conf. on Inductive Modelling. Kyiv, Ukraine, September 16-20, 2013. – P.P. 221–224.
17. Стефанишин Д.В. Прогнозування рівня води в п'єзометрі в тілі земляної греблі біля дренажу за даними регулярних п'єзометричних спостережень / Д.В. Стефанишин, А.В. Дем'янюк // Вісник НУВГП. Вип. 4 (68). Технічні науки. Рівне: 2014. – С. 90–99.
18. Стефанишина-Гаврилюк Ю.Д. Індуктивне моделювання ризиків збитків від руйнівних повеней в басейні р. Тиса за емпіричними даними з використанням моделей регресійного типу / Ю.Д. Стефанишина-Гаврилюк, Д.В. Стефанишин, О.М. Трофимчук // Математичне моделювання в економіці. – 2014. – №1. – С. 72–79.

Стаття надійшла до редакції 12.05.16.