

перебігом часу можливо лише на короткі інтервали. Отже для процесу зневоднення та гранулювання у псевдозрідженому шарі необхідно розробити математичну модель з використанням теорії фрактальних множин з урахуванням нелінійностей системи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Korniyenko V. Y., Borzenkova S. V., Ladieva L. R. Research of three-phase mathematical model of dehydration and granulation process in the fluidized bed. *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2019. Vol. 14, No. 12. P. 2329–2332.
2. Верисокин А. Ю. Определение показателей Ляпунова на примере модели Селькова в присутствии внешней периодической силы. *Спектральный анализ и его приложения*. Москва: Мир, 1990. 584 с.
3. Корнієнко Б. Я., Ладієва Л. Р., Снігур О. В. Гранулювання у псевдозрідженому шарі. Дослідження детермінованого хаосу процесу. *Хімічна промисловість України*. 2013. № 2. С. 20–23.
4. Новиков В. В., Корниенко Б. Я., Сомлев А. А. Математическая модель процесса гранулирования в псевдооживленном слое с использованием теории фрактальных множеств. *Вісник Національного авіаційного університету*. 2008. № 3. С. 196-200.

ОДИН З ПІДХОДІВ ДО ОЦІНЮВАННЯ І ПРОГНОЗУВАННЯ ВИТОКІВ І МІГРАЦІЇ ЗАБРУДНЮВАЧІВ З ПУНКТІВ ЗАХОРОНЕННЯ ТОКСИЧНИХ ВІДХОДІВ

Котовенко О. А., Мірошніченко О. Ю.

ОДИН ИЗ ПОДХОДОВ К ОЦЕНИВАНИЮ И ПРОГНОЗИРОВАНИЮ УТЕЧЕК И МИГРАЦИИ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ ИЗ ПУНКТОВ ЗАХОРОНЕНИЯ ТОКСИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

Котовенко Е. А., Мірошніченко Е. Ю.

ONE APPROACH TO ASSESSMENT AND PREDICTION OF POLLUTANTS LEAKAGE AND MIGRATION FROM TOXIC WASTE STORAGE

Kotovenko O., Miroshnychenko O.

Київський національний університет будівництва і архітектури

Київ, Україна

kotovenko_ea@ukr.net

Сховища токсичних відходів почали розглядатися в останні десятиріччя як джерела токсико-радіаційного техногенезу у зв'язку з аварійними інцидентами на цих об'єктах. В роботі пропонується застосування системного підходу до оцінки і прогнозу горизонтальної міграції токсикантів з сховища токсичних відходів за даними моніторингу, побудові відповідних часових рядів (по кожній моніторинговій свердловині) та динамічному моделюванні процесів міграції за допомогою метода динамічного факторного аналізу

Ключові слова: сховища токсичних відходів, моніторинг, системний підхід

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗВИТКУ СКЛАДНИХ СИСТЕМ РІЗНОЇ ПРИРОДИ

Хранилища токсичных отходов начали рассматриваться в последние десятилетия как источники токсико-радиационного техногенеза в связи с аварийными инцидентами на этих объектах. В работе предлагается использование системного подхода к оценке и прогнозу горизонтальной миграции токсикантов из хранилища токсических отходов по данным мониторинга, построению соответствующих временных рядов (по каждой мониторинговой скважине) и динамическом моделировании процессов миграции с помощью метода динамического факторного анализа.

Ключевые слова: хранилища токсичных отходов, мониторинг, системный подход

In recent decades, toxic waste storage facilities have begun to be viewed as sources of toxic and radiation technogenesis in connection with emergency incidents at these facilities. A systematic approach to assessment and prediction of toxicants horizontal migration from toxic waste storage based on to monitoring data, constructing of appropriate time series (for each monitoring well) and dynamic modeling using the method of dynamic factor analysis was proposed in the paper.

Key words: toxic waste storage facilities, monitoring, systematic approach

ВСТУП

Антропогенні об'єкти в наш час стали невід'ємною частиною біосфери. Дослідження динамічних процесів, які пов'язані з неперервно діючими навантаженнями на довкілля, відіграють особливу роль у загальному антропогенезі.

Серед джерел особливо небезпечної дії токсикантів на навколишнє середовище значне місце посідають як захоронення токсичних відходів (серед них і пункти захоронення радіоактивних відходів), так і звичайні полігони твердих побутових відходів (як приклад – міграція токсичних речовин з фільтрату у ґрунті і підземні води) [1].

Розтікання токсичних речовин відбувається внаслідок інфільтрації по визначеному водоносному горизонту (в залежності від знаходження конкретного полігону).

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Для дослідження процесів міграційного витоку та горизонтальної міграції токсикантів з пункту захоронення токсичних речовин застосовуються дані моніторингових свердловин розташованих навколо захоронення токсичних відходів. Розташування свердловин залежить від гідрогеологічної специфіки ділянки на якій знаходиться захоронення токсичних відходів, що розглядається. Постійні спостереження (в часі) за кількістю токсикантів в пробах з кожної з свердловин формують масив первинних даних (в часі).

На основі первинних даних формують часові ряди відносно кожної свердловини. Необхідно оцінити та зробити прогноз процесу розповсюдження токсикантів з даного пункту захоронення токсичних відходів.

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ

Запропонований підхід базується на методі, який був застосований для оцінки розвитку економічних систем і позбавлений більшості окремих недоліків інших методів [2].

В основу цього метода покладено спільне використання концепцій регресійного та факторного аналізу – метод динамічного факторного аналізу (ДФА).

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗВИТКУ СКЛАДНИХ СИСТЕМ РІЗНОЇ ПРИРОДИ

На відміну від інших статистичних методів обробки часових рядів пропонується розглядати всі набори часових рядів для всіх свердловин як єдину систему [3].

У класичному факторному аналізі основними припущеннями є незалежність спостережень у рядах i , як наслідок, інваріантність факторних ваг відносно перестановки розміщення емпіричних даних.

У ДФА ідеї факторного аналізу модифікуються таким чином, щоб окрім статистичних закономірностей розвитку систем, справедливих у середньому (статистично) протягом визначеного періоду, можливо було визначити динамічні закономірності досліджуваного процесу. Звідси виникає необхідність виявлення таких динамічних тенденцій, які можна вважати постійно діючими протягом певного часу («динамічна інваріантність»). Для цього застосовується таке перетворення часових рядів у результаті якого створюється нові «структурні змінні», які неначе зосереджують у собі суттєві елементи статичної та динамічної структури часових рядів. Водночас вони «добре пояснюють» вихідні дані в математико-статистичному розумінні, причому ці структурні змінні відповідатимуть динамічним факторам.

Емпірична система часових рядів задається векторами

$$Y(t) = \{Y_1(t), Y_2(t), \dots, Y_n(t)\}$$

зафіксованими на деякому інтервалі $[T_1, T_2]$, тоді визначення динамічних факторів полягає в розрахунку значень параметрів трьох різних одночасних груп рівнянь.

Перша група рівнянь – рівняння факторів

$$F_m(t) \quad (m = 1 \div M)$$

де M – кількість факторів, що враховуються.

Фактори визначаються як лінійна комбінація деяких (можливо всіх) часових рядів, які незалежним чином обираються з їх сукупності. Перший фактор обчислюється із вихідних рядів

$$F(t) = \sum_{i=1}^n A_i \cdot Y_i(t), \quad t = T_1, T_1 + 1, \dots, T_2$$

де не всі коефіцієнти A_i дорівнюють 0.

Другу групу становлять динамічні рівняння факторів.

Кожне з цих рівнянь є оцінкою фактора за авторегресійною схемою і моделює динамічну інваріантність векторної системи.

Третя група – лінійні рівняння регресії, які виражають вихідні часові ряди через динамічні фактори.

Згідно з моделлю метода ДФА визначаються вектори коефіцієнтів цих рівнянь таким чином, щоб динамічні рівняння давали «добру» оцінку (і прогноз) окремих факторів i , водночас, рівняння регресії, які виражають вихідні змінні через фактори, відповідно «добре» оцінювали і прогнозували саме вихідні змінні.

За критерій для визначення векторів коефіцієнтів приймається дисперсія відхилень змінних i факторів від її оцінок.

Загальний вигляд задачі може бути поданий таким чином – необхідно мінімізувати вираз

$$W_0 \langle F - \hat{F} \rangle L + \sum_{i=1}^n W_i \langle Y_i - \hat{Y}_i, Y - \hat{Y}_i \rangle \rightarrow \min$$

за умови

$$\langle F, \hat{F} \rangle \geq V$$

де $W_i (i = 0, 1, \dots, n)$ – задані ваги; $\langle *, * \rangle$ – формальна коваріація часових рядів за період $[T_1, T_2]$; $\langle *, * \rangle L$ – формальна коваріація, яку обчислено з укорочених рядів, що не містять перших L елементів; V – нормалізуюча константа.

У процедурі моделювання фактори обчислюються послідовно (ітеративно). Перший фактор обчислюється з вихідних динамічних (часових) рядів. Далі з кожного ряду мають бути відкинуті значення, які знайдені з відповідного рівняння регресії, що виражає цей ряд через даний фактор.

Обчислені резидуальні змінні,

$$\{Y_i(t) - \hat{Y}_i(t)\},$$

тобто нові часові ряди, приймаються як вихідні для обчислення другого фактору, після чого будуються рівняння регресії з урахуванням двох факторів і обчислюються наступні резидуальні ряди.

$$F_m(t) = \sum_{i=1}^n A_{i(m-1)} \cdot Y_{i(m-1)}(t), \quad 1 \leq m \leq M \leq n, \quad t = T_1, T_1 + 1, \dots, T_2$$

де

$$Y_{i(m-1)}(t) = Y_i(t) - \hat{Y}_{i(m-1)}(t).$$

Процес триває до визначення всіх факторів. Після обчислення M -го динамічного фактора рівняння регресії вихідних змінних може бути побудований прогноз розвитку динамічних систем за кожним рядом.

Принципова побудова моделі може бути охарактеризована таким чином.

Перший динамічний фактор моделює динаміку сукупного руху всієї системи часових рядів і визначає середній ступінь загальної закономірності її розвитку, виконуючи таким чином значну функцію в динаміці факторних моделей.

Оскільки наступні фактори будуються на основі резидуальних змінних, то їх врахування надає можливість визначати наскільки кожний із показників відхиляється у своєму розвитку від загальної тенденції, яка властива системі в цілому.

ВИСНОВКИ

Відмінність запропонованої (використованої) моделі динаміки процесу згідно з методом ДФА від класичних регресійних методів полягає у тому, що завдяки моделюванню, як виявляється, достатньо невеликої кількості спостережень.

Важливим також є те, що оскільки в моделі змінні не поділяються на залежні і незалежні, а вивчається динаміка всієї системи, яку виражено в обраних показниках, то задача прогнозування і знаходження значень незалежних змінних не виникає.

Окрім того особливість такого підходу полягає в можливості настроювання моделі на якісну апроксимацію і прогноз значень будь-якої змінної. Оскільки в тому випадку, коли всі показники мають однакові пріоритети, що виражається спеціальними параметрами моделі, всі вони апроксимуються приблизно однаково.

У випадку необхідності збільшення точності апроксимації та прогнозування одного з показників (наприклад, прогнозування всієї системи відносно даних однієї з свердловин), можна підвищити його пріоритетність за рахунок незначного погіршення прогнозу за іншими ознаками, суттєво покращити якість прогнозування найважливішого для конкретного дослідження показника.

Запропонований підхід був реалізований у вигляді програмного модуля і опробований для оцінки витоків і міграції тритію з пункту захоронення твердих тритійвміщуючих відходів на пункті захоронення радіоактивних відходів Київського державного міжобласного спецкомбіната (ДСП «КДМСК»).

ЛІТЕРАТУРА

1. Заграй Я. М., Котовенко О. А., Мірошніченко О. Ю. Пункти захоронення радіоактивних відходів (ПЗРВ) як джерело забруднення довкілля тритієм: *Зб. Сучасні інформаційні та енергозберігаючі технології життєзабезпечення людини*. Київ, 2001. Вип. 9. С. 25–29
2. Корецький С. Л., Лерман Л. Б., Роскач О. С. Використання динамічного факторного аналізу в прогнозуванні розвитку стохастичних та детермінованих динамічних систем: міжвідомчий науковий збірник *Машинна обробка інформації*. Київ, 1997. С. 119–131
3. Заграй Я. М., Котовенко О. А., Мірошніченко О. Ю. Вплив фізичних і хімічних забруднювачів на еко- і біосистеми: монографія. Київ, 2009. 256 с.