

Єремєєв І.С.

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

Дичко А.О.

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

Мінаєва Ю.Ю.

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ КАТАСТРОФ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ НАСЛІДКІВ ПІДРИВУ КАХОВСЬКОЇ ГЕС ТА ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ У КРИМУ

У даній роботі представлений підхід до дослідження екологічних катастроф внаслідок руйнування Каховської ГЕС на основі елементів теорії катастроф. Метою дослідження є аналіз передумов екологічних катастроф та наукове обґрунтування методології дослідження екологічних катастроф на основі елементів теорії катастроф. Наведено попередній аналіз впливу руйнувань та затоплень, що відбулися через підриг Каховської ГЕС та військові дії у Криму, на екосистеми. Відновлення довкілля регіону вимагає розробки плану природоохоронних заходів, які будуть реалізовані після деокупації захоплених ворогом теренів та припиненням військових дій, з урахуванням природних міграцій та метаболізмів. Зазначено, що екологічні катастрофи характеризуються складними нелінійними залежностями функцій, що їх описують, від параметрів. Такі залежності можна представити у термінах теорії катастроф, що дозволяє моделювати екологічну катастрофу і передбачати можливі її наслідки та шляхи їх мінімізації. Представлено метод моделювання якісного опису динаміки процесу шляхом застосування ряду Тейлора та оцінки критичних точок функції поведінки системи. Значення типу катастрофи або його вибір з ряду альтернативних типів дозволяє підвищити достовірність оцінок інформації в умовах невизначеності, коли частка даних, яких бракує, може бути відновлена на підставі поліному, який описує катастрофу, а «сумнівні» дані підтверджуються як достовірні, якщо вони узгоджуються з описом катастрофи. При розгляданні особливостей катастроф та вирішенні проблеми ідентифікації особливості катастрофи для пояснення «хаотичних» явищ і побудови адекватних моделей запропоновано використовувати метод інваріантного занурення. Розроблений підхід дозволяє підвищити достовірність оцінок інформації в умовах неповних даних, які описують катастрофу.

Ключові слова: екологічна катастрофа, екосистеми, теорія катастроф, ідентифікація стану, метод інваріантного занурення.

Постановка проблеми. Відомо, що катастрофи відбуваються як завдяки природним явищам (природні катастрофи), так в наслідок діяльності людини, тобто носять техногенний (або антропогенний) характер (Рис. 1). Природні катастрофи обумовлені збігом несприятливих обставин, які «запускають» механізм біфуркації і переводять конкретну локальну систему у нестабільний стан.

Інакша справа з техногенними катастрофами. Їхніми причинами можуть бути наступні чинники:

- Людський фактор;
- Процеси старіння компонентів систем;
- Невдалі конструкції;
- Вплив зовнішніх чинників (природних або антропогенних);

- Невідпрацьована технологія;
- Відсутність адекватних знань;
- Військові та терористичні дії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

«Монументальною катастрофою» назвав підриг росіянами Каховської ГЕС Генеральний секретар Організації Об'єднаних Націй А. Гуттеріш, і наголосив, що це «ще один руйнівний наслідок російського вторгнення в Україну». Великі повені, підтоплення більше 80 населених пунктів, спустошення навколишнього середовища, знищення екосистем – це лише частина наслідків катастрофи. Внаслідок руйнування ГЕС у воду (за даними «Укргідроенерго») потрапило 450 т машинного мастила з трансформаторів станції. Крім того, із затопленої території до води потрапили небез-

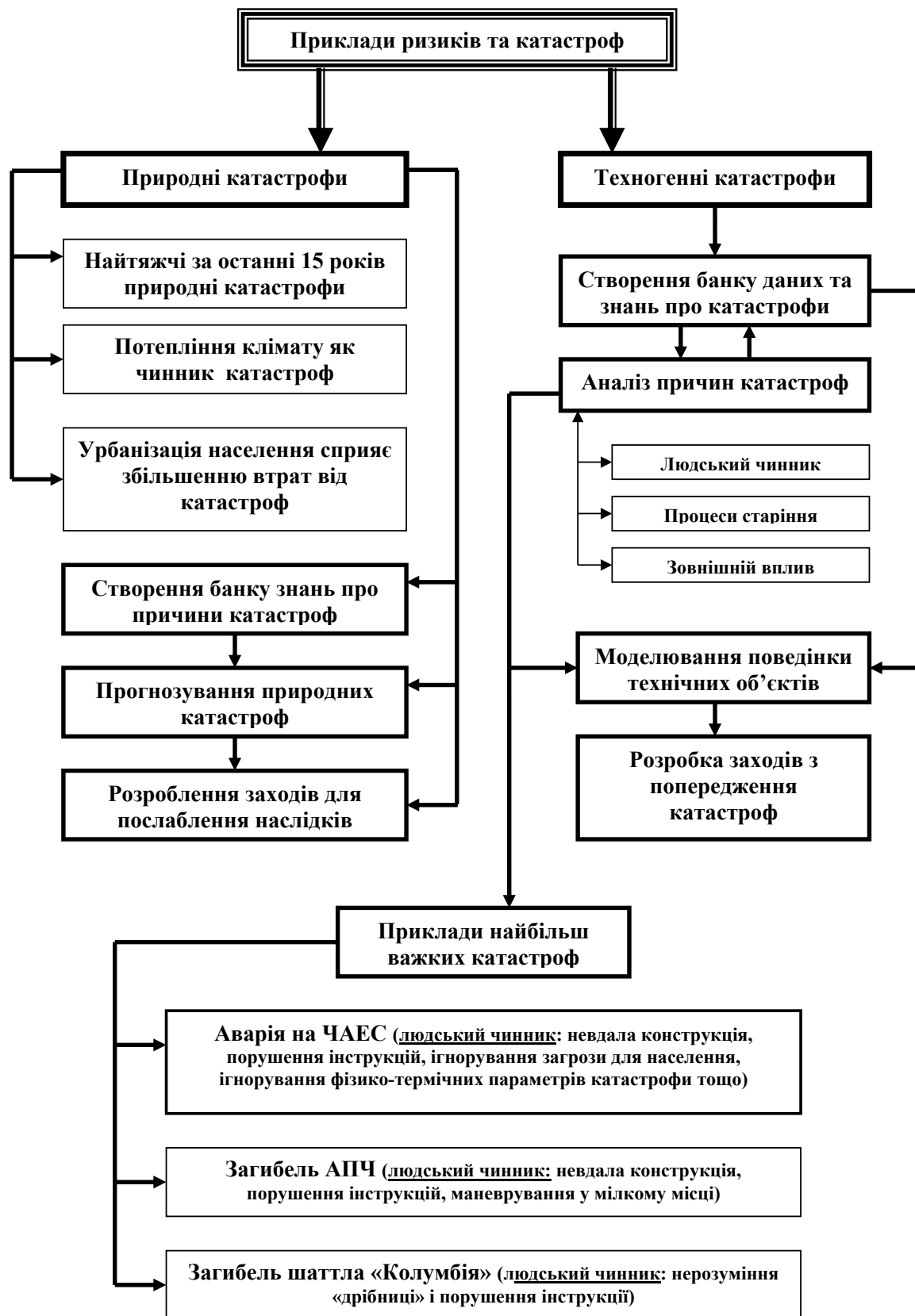


Рис. 1. Ризики, катастрофи та їх подолання

печні токсичні речовини, важкі метали, паливно-мастильні матеріали, пестициди тощо зі складів, промислових і сільськогосподарських підприємств, сміттєзвалищ, каналізації [1]. Відбувається також так зване «вторинне забруднення», що виникає внаслідок порушення шарів намулу, в яких десятиліттями відбувалось накопичення забруднюючих речовин. Затоплені значні території, що зазнали впливу військових дій. Згідно аналітичного звіту фахівців Національного університету біоресурсів і природокористування України, внаслідок цього у поверхневій воді із залишків боєприпасів чи в результаті вибухів потрапили сполуки, які мають токсичну дію для біологічних організмів: нітроцеллюлоза, нітрогліцерин, нітрогуанідин, дібутилфталат, динітротолуол, каніфоль, етилацетат, стронцій азотнокислий, порошок магнієвий, порошок алюмінієво-магнієвий, магній вуглекислий, полівінілхлорид, стронцій вуглекислий, смола, свинцевий сурик, феросиліцій, залізо, бор технічний, графіт, гримуча ртуть $\text{Hg}(\text{ONC})_2$, антимоній Sb_2S_3 (сурма трьохсірчаниста), бертолетова сіль KClO_3 (калій хлорат) [1]. Необхідне дослідження шляхів метаболізмів цих речовин, перетворення їх на небезпечні сполуки та виведення з екосистеми.

Екологічна катастрофа полягає також у безповоротно знищеному біорізноманіттю водної екосистеми і прилягаючої території. Осушений ландшафт водосховища буде піддаватися вітровій ерозії. Цей факт потребує особливої уваги, враховуючи перенос й відкладення радіоактивних чорнобильських опадів у дніпровських водосховищах. Зміниться гідрологічний режим прибережної території, втрачено рідкісні види флори. Загинуть усі живі організми, що мешкають у товстому шарі мулу. Після спуску води чаша водосховища заростає рудеральною рослинністю, а це насамперед агресивні види типу амброзії, золотушника канадського та інших бур'янів. До Чорного моря, крім сміття, потрапила значна кількість прісної води, що разом із токсичними речовинами викличе певні зміни в екосистемі. За даними Українського Інституту Майбутнього, вище греблі Каховської ГЕС, у результаті осушення, постраждає також ціла низка природоохоронних територій, зокрема мінімум 11 об'єктів природно-заповідного фонду. Окрім того, на цій території існують природоохоронні території міжнародного значення. Наслідки теракту негативно вплинуть на території Смарагдової мережі UA0000106 Kakhovske Reservoir (218119 га) та Velykyi Luh National Nature Park (SiteCode: UA0000037) (16755,00 га), водно-

болотні угіддя міжнародного значення Архіпелаг Великі і Малі Кучугури (7740,0 га), Заплава Сім Маяків (2140,0 га) [2].

Переважна більшість всіх природних територій, що знаходяться в зоні затоплення, входять до складу природно-заповідного фонду. За розрахунками Українського Інституту Майбутнього, внаслідок підтоплення повністю або частково постраждає 48 об'єктів природно-заповідного фонду, в тому числі: 1 біосферний заповідник; 3 національні природні парки, 1 регіональний ландшафтний парк, 16 заказників, 3 заповідні урочища, 22 пам'ятки природи, 2 парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва. Слід зазначити, що територія Чорноморського біосферного заповідника охороняється з 1927 року, а сам він є частиною всесвітньої мережі біосферних резерватів ЮНЕСКО. Загальна площа підтоплених заповідних територій може перевищити 120 000 гектарів. Ще 22 території природно-заповідного фонду в зоні затоплення перебувають у процесі створення.

Надалі масштаби руйнувань будуть стрімко зростати, адже швидка течія на фарватері під високим правим берегом Дніпра підмиватиме низку природно-заповідних територій, розміщених вздовж берега. Це означатиме абразію високих берегів вже в перші дні після початку затоплення і продовження ерозії у майбутньому.

Затоплена територія повністю або частково включає 7 об'єктів Смарагдової мережі Європи, створених рішеннями Ради Європи з 2009 по 2020 рік. Втрата природних особливостей цих територій ставить під загрозу виконання Україною взятих нею зобов'язань щодо збереження цих територій для всієї Європи. Крім того, до територій важливих для збереження птахів (угіддя ІВА) віднесені Козацькі острови площею 1000 га [2].

В глобальному аспекті можливим наслідком є додаткова емісія парникових газів на затоплених ділянках внаслідок процесів гниття рослин, дерев. Крім того, відбувається зміна мезоклімату території через зміну площі поверхні водного дзеркала, зміну водного балансу території та збільшення відкритих ділянок суші.

Внаслідок окупації та військових дій у Криму Україна передусім матиме величезну екологічну проблему у вигляді засолених ґрунтів півострова, які вже зараз непридатні для ведення сільського господарства. Через відсутність водопостачання з Північнокримського каналу, її почали багато видобувати з підземних джерел. Крім того, великі військові бази та Кримський міст, збудовані оку-

пантами, також сильно вплинули на екосистеми, зокрема Азовського моря. Стихійні сміттєзвалища окупованого Криму, частина яких разом з неочищеними стічними водами потрапляє безпосередньо до Чорного моря, викликають незворотні зміни в екосистемі водойми.

Громадське об'єднання «КримSOS» та експерти-екологи у своєму дослідженні «Довкілля Криму: зміни і втрати за час окупації» відмічають техногенну катастрофу, яку охрестили «кримським Чорнобилем», що сталася восени 2018 року в Армянську, через потужний викид кристалічного сірчистого ангідриду [3]. Токсичний газ розповсюдився за допомогою вітру. Найвіддаленіша точка, де вдалося зафіксувати викид, – Херсонська область, на відстані 120 км. Високі концентрації сірчаної кислоти в повітрі викликають у людини задишку, можуть призвести до непритомності. На рослини вона розповсюдилася, коли вранці випала роса. Людей евакуювали лише через тиждень, але потім упродовж декількох днів повернули назад. Мешканці найближчих селищ не могли дихати, всі залізні елементи вмить заржавіли, асфальт зруйнувався, всі дерева, рослини та огороди висохли.

Постановка завдання. Метою статті є аналіз передумов екологічних катастроф та наукове обґрунтування методології дослідження екологічних катастроф на основі елементів теорії катастроф.

Виклад основного матеріалу. Вивчення наслідків екологічних катастроф на основі елементів теорії катастроф. Екологічні катастрофи характеризуються складними нелінійними залежностями функцій, що їх описують, від параметрів [4-5]. Ці залежності, натомість, досить легко можна представити у термінах теорії катастроф, що дозволяє моделювати будь-яку екологічну катастрофу і передбачати можливі її наслідки та шляхи, спрямовані на їхню мінімізацію. Проте якщо природні катастрофи мають справи лише із проблемою усунення або мінімізації наслідків (у тому числі шляхом використання спеціальних проєктів, конструкцій та інших заходів з ухилення від дії природних катаклізмів), то катастрофи, обумовлені військовими діями (або тероризмом), мають ще одну складову – перешкоджання діям рятувальних служб. Проте і ця проблема може бути вирішена у термінах теорії катастроф.

Предметом теорії катастроф є вивчення залежності якісної природи рішень рівнянь від значень параметрів, які присутні у цих рівняннях. Таке вивчення пов'язано з рядом труднощів, і для

їхнього подолання звичайно необхідно зробити ряд послідовних припущень. Перш за все припускають, що система рівнянь, які описують стан об'єкту (процесу), не містить інтегралів і по суті являє собою множину рівнянь у частинних похідних. Потім приймається, що ця система рівнянь не містить просторових похідних будь-якого порядку і взагалі не залежить від просторових координат. Далі приймається, що спрощена на попередніх кроках система не містить похідних за часом вище, ніж першого порядку. При подальшому спрощенні вважається, що така система не тільки не залежить від часу, але й представляє собою певну градієнтну систему, яку можна чітко охарактеризувати з точки зору її станів рівноваги і залежності цих станів від керуючих параметрів. При цьому теорія катастроф зводиться до вивчення того, яким чином стани рівноваги потенційної функції змінюються під час зміни керуючих параметрів.

Якісний опис поведінки складної функції поблизу певної точки простору змінних стану може бути реалізований шляхом вивчення перших декількох членів її розкладання у ряд Тейлора у цій точці:

$$f(x) = f(0) + x_1 f^1(0) + \left(\prod_{i=1}^2 x_i \right) f^2(0) + \dots, \quad (1)$$

де

$$f^1(0) = \frac{\delta[f(x)]}{\delta x_1} \Big|_{x=0}; \quad (2)$$

$$f^2(0) = 0,5 \frac{\delta^2[f(x)]}{\delta x_1 \delta x_2} \Big|_{x=0}; \quad (3)$$

$$f^{(h)}(0) = \frac{1}{n} \frac{\delta^h[f(x)]}{\delta x_1 \delta x_2 \dots \delta x_n} \Big|_{x=0}, \quad (4)$$

де f – функція моделювання поведінки процесу, x – змінні (параметри процесу), δ – значення матриці Гесе для змінної, n – кількість членів розкладання ряду.

Для визначення локальних властивостей функції $f(x)$ немає необхідності розглядати постійний член цього розкладання. Головними критеріями тут є градієнт ∇f та визначник det_{ij} , де $1 \leq i, j \leq h$. Якщо $\nabla f \neq 0$, то якісна поведінка функції повністю визначається лінійними членами розкладання і решту членів ряду можна відкинути без втрати важливої інформації. Якщо $\nabla f = 0$, але $det_{ij} \neq 0$, то якісна поведінка функції цілком визначається квадратичними членами розкладання, а усі наступні члени ряду можна не враховувати. Нарешті, якщо $\nabla f = 0$ і $det_{ij} = 0$, важливе значення отримують

члени розкладання більш високого порядку, причому звичайно при малих значеннях x_i членами $\prod_{i=1}^{n+1} x_i$ порівняно з членом $\prod_{i=1}^n x_i$ нехтують і обмежуються розглядом лише n членів розкладання.

Однак, появлення збурення або «дефекту» може призвести до того, що ті чинники, які раніше не враховувалися, оскільки за «нормальних» обставин їхній вплив не виявлявся, обумовляють різку зміну в поведінці об'єкту (процесу) у певній області простору керуючих (збурюючі) впливів. Ці зміни і отримали назву катастроф, а особливості – критичних точок (КТ). Останні можуть бути двох типів: точки, в яких градієнт потенційної функції, яка описує стан системи (об'єкту), дорівнює нулю ($\nabla f = 0$), зветься незольованими, виродженими або неморсовськими КТ; точки, в яких $\nabla f \neq 0$, зветься ізольованими, не виродженими або морсовськими КТ. Якщо розмірність керованого простору, який включає одну «погану» змінну та m параметрів, невелика ($k = 1+m \leq 5$) і не має особливих або симетричних обмежень на сімейство потенційних функцій, які описують стан системи (об'єкту), то можлива гладка заміна змінних, у якій потенційна функція V може бути представлена у розщепленому на неморсовську та морсовську складові вигляді:

$$V = cat(l, m) + \sum_{j=1}^n \lambda_j(c) y_j^2. \quad (5)$$

Тут $cat(l, m) = CG(l) + pert(l, m)$ – функція катастрофи, причому $CG(l)$ являє собою «паросток катастрофи» – неморсовську функцію l «поганої» змінної стану, де l – число вироджених власних значень, що характеризує члени ряду Тейлора, які залишилися і саме й визначають особливість; $pert(l, M)$ – збурення катастрофи; n – загальна кількість змінних стану системи y ; c – керуючі параметри; $\lambda_j(c)$ – власні значення матриці сталості V_{ij} , обчислені для стану рівноваги.

Методологія застосування підходу, який використовує результати теорії катастроф для підбирання кривої, яка описує (за даними фактичних вимірювань) стан системи (об'єкта) поблизу розривних функцій, полягає у наступному. На підставі експериментально отриманих даних визначаються параметри того гладкого перетворення координат, яке переводить залежність, що фактично спостерігається поблизу точки розриву $f(x_1, \dots, x_n)$, у стандартну («елементарну») катастрофу $f'(x'_1, \dots, x'_n)$. Ці параметри можуть бути обчислені, наприклад, для випадку двопараметричної задачі шляхом мінімізації функціоналу Φ :

$$\min_{a,b} = \sum_{i=1}^n \frac{\Phi(x_i, y_i, a, b)}{\delta\Phi / \delta y(x, y_i, a, b)}, \quad (6)$$

де $\Phi(x_i, y_i, a, b) = \Phi_0(x', y')$,

$$x' = a_0 + a_1 x + a_2 y + a_3 x^2 + a_4 xy + a_5 y^2 + \dots, \quad (7)$$

$$y' = b_0 + b_1 x + b_2 y + b_3 x^2 + b_4 xy + b_5 y^2 + \dots$$

Слід додати, що для опису з тією ж точністю експериментально спостереженої залежності за допомогою кусочно-гладких та неявних моделей необхідна більша кількість параметрів. Так, для квадратичної апроксимації гладкої функції необхідно три параметри, а для кусочно-квадратичної – сім (положення точки розриву і по три параметри для характеристики кривої ліворуч та праворуч від точки розриву), що свідчить про певні переваги методів теорії катастроф.

Значення конкретного типу катастрофи або його вибір з ряду альтернативних типів за принципом найбільшої правдоподібності (або за якимось іншими критеріями) дозволяє підвищити достовірність оцінок інформації в умовах неповних даних, коли частка даних, яких бракує, може бути відновлена на підставі поліному, який описує катастрофу, а «сумнівні» дані можуть бути або підтверджені як достовірні, якщо вони узгоджуються з описом катастрофи, або відхилені у протилежному випадку [6-8].

При розгляданні особливостей катастроф, а точніше, під час вирішення проблеми ідентифікації особливості (катастрофи) і використання результатів цієї ідентифікації для пояснення «хаотичних» явищ і побудови адекватних моделей приходиться врешті-решт зустрічатися з рішенням нелінійних задач з граничними умовами, які задаються у двох різних точках (поблизу катастрофи, де з одного боку межі функція описується за допомогою обраної моделі, а з іншого боку – за допомогою функції катастрофи). Такі задачі можна у деяких випадках вирішувати за допомогою методу *інваріантного занурення*, який являє собою методику перетворення цих двохточкових крайових задач, обчислювальні алгоритми для яких часто виявляються нестійкими, у задачі Коші, для яких існують стійкі числові методи, за допомогою відповідного набору змінних і методу функціональних рівнянь. Сутність методу зводиться до того, що з метою вивчення конкретного процесу останній занурюється у підходящий клас процесів більш загального характеру, для якого відомі методи рішення. Наприклад, конкретна функція f занурюється у сімейство F , яке являє собою деформацію функції f . Потім визначаються

відношення між властивостями елементів цього класу, які аналітично описують процеси, що розглядаються. Як напівгрупові змінні, тобто змінні, кожній упорядкованій парі яких на множині може бути поставлений у відповідність певний визначений елемент з тієї ж множини, причому бінарний закон, за яким здійснюється це відображення, має, якнайменше, властивість асоціативності, можна використати замість класичної змінної часу такі змінні як відстань (довжина) або енергія, що зручно при оцінюванні стану довкілля і прогнозування його розвитку. Слід, однак, зауважити, що для методу інваріантного занурення суттєвою є вимога лінійності рівнянь, які описують стан об'єкта (системи). У разі нелінійних рівнянь (а на практиці саме з ними приходиться мати справу) більш плідним може бути інший підхід. Якщо, наприклад, розглядати певний фізичний процес, відносно якого відомо, що змінна, яка нас цікавить, задовольняє рівнянню типу

$$u_{xx} + u_{yy} + g(u, a) = 0, \quad (8)$$

де a – невідомий параметр або вектор параметрів $a = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ і є можливість спостерігати цей процес і замірювати u у різних точках, то на підставі даних цих вимірювань можна визначити параметр a таким чином, щоб рішення наведеного вище рівняння (8) узгоджувалися з даними спостережень. Це класична задача ідентифікації. Її можна вирішувати, використовуючи критерій найменших квадратів. Знаючи значення u на межі області, що нас цікавить, і спостерігаючи процес u у точках x, y , можна скласти рівняння, яке характеризує міру розходження між спостереженнями

і рішенням (8) для даного вектору a :

$$S = \sum_{i=1}^L [u(x_i, y_i) - u_i]^2. \quad (9)$$

При цьому задача ідентифікації зводиться до задачі мінімізації S за усіма можливими виборами вектору a .

Висновки. З метою подолання наслідків підриву греблі Каховського водосховища необхідна розробка заходів щодо зниження ризиків подальших катастроф у цьому регіоні, відновлення (де можливо) хоча б часткової структури водообігу, а також довгострокових заходів, пов'язаних з реалізацією програм відновлення (чи заміщення) греблі на Каховській ГЕС. А це вимагає розробки плану природоохоронних заходів, які ми матимемо реалізувати після деокупації захоплених ворогом теренів та припиненням військових дій, з урахуванням трендів процесів як природних міграцій та метаболізмів, так і заходів щодо прискорення цих процесів. Тут важливо обрати чи створити умови штучного зв'язування компонентів забруднень у конгломерати, які легко піддаються видаленню з використанням фізичних, хімічних або біологічних процесів. При цьому необхідно пам'ятати, що відновлення (навіть часткове) екосистеми – важкий затратомісткий неоднозначний процес, який може стати примітним не одразу і не за усіма показниками, більш того, цей процес може мати свої локальні катастрофи (у математичному сенсі цього поняття), які треба своєчасно виявляти, щоб забезпечити поступовість, послідовність та адекватність кроків з відновлення екосистеми.

Список літератури:

1. Стародубцев В., Гайченко В., Ладика М. Руйнування Каховської ГЕС – техногенна, екологічна і соціальна катастрофа. <https://nubip.edu.ua/node/129547>
2. 7 головних питань і відповідей після підриву Каховської ГЕС. <http://uifuture.org/publications/7-golovnyh-pytan-i-vidpovidej-pislya-pidryvu-kahovskoyi-ges%E1%84%B5/>
3. Довкілля Криму: зміни і втрати за час окупації. Частина II. Забруднення довкілля та виснаження природних ресурсів. – Київ: ГО «КРИМСОС», 2021. 49 с.
4. Теорія систем в екології: підручник / Ю. Г. Масікевич, О. В. Шестопапов, А. А. Негадайло та ін. – Суми : Сумський державний університет, 2015. – 330 с.
5. Лавров В. В. Системний підхід як методологічна основа для оцінки і зменшення загроз біорізноманіттю (лісові екосистеми). Оцінка і напрямки зменшення загроз біорізноманіттю України / за заг. ред. О. В. Дудкіна. – Київ : Хімджест, 2003. – С. 156–273.
6. Dychko, A., Remez, N., Kyselov, V., Kraychuk, S., Ostapchuk, N., & Kniazevych, A. Monitoring and biochemical treatment of wastewater. *Journal of Ecological Engineering*. 2020. 21. P. 4.
7. Dychko A., Yeremeev I. Risks analysis and management of water ecosystems. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2018. №. 4. С. 115–121.
8. Yeremeyev, I., Dychko, A., Remez, N., Kraychuk, S., & Ostapchuk, N. Problems of sustainable development of ecosystems. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 628. № 1. P. 012014.

Yermeev I.S., Dychko A.O., Minaeva Yu.Yu. APPLICATION OF THE THEORY OF DISASTERS IN RESEARCH OF CONSEQUENCES OF EXPLOSION OF THE KAKHOVKA HYDROELECTRIC POWER PLANT AND MILITARY ACTIONS IN THE CRIMEA

The paper presents an approach to the study of environmental disasters due to the destruction of the Kakhovka HPP based on the elements of catastrophe theory. The aim of the study is analysis of prerequisites of environmental disasters and scientific reasoning of the methodology of study of environmental disasters based on the elements of the theory of disasters. The preliminary analysis of the impact of destruction and flooding caused by the explosion of the Kakhovka HPP and military operations in Crimea on ecosystems is presented. The restoration of the region's environment requires the development of a plan of environmental protection measures, which will be implemented after de-occupation of enemy-occupied territories and the cessation of hostilities, taking into account natural migrations and metabolisms. It is noted that environmental disasters are characterized by complex nonlinear dependences of functions. Such dependencies can be presented in terms of the theory of catastrophes, which allows modeling an ecological catastrophe and predicting its possible consequences and ways of their minimizing. A method of modeling a qualitative description of the dynamics of process by applying the Taylor series and evaluating the critical points of the system behavior function is presented. The value of the disaster type or its selection from a number of alternative types allows to increase the reliability of information estimates under conditions of uncertainty, when some missing data can be reconstructed on the basis of the polynomial that describes the disaster, and "doubtful" data are confirmed as reliable if they are consistent with description of the disaster. When considering the characteristics of disasters and solving the problem of identifying the characteristics of a disaster, it is suggested to use the invariant immersion method to explain "chaotic" phenomena and build adequate models. The developed approach makes it possible to increase the reliability of information assessments under conditions of incomplete data describing the catastrophe.

Key words: ecological catastrophe, ecosystems, catastrophe theory, state identification, invariant immersion method.