



Т. В. Козуля

Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-4892-9140> – Т. В. Козуля

✉ tatiana.kozulia@khpi.edu.ua

ПРОГНОЗУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ СИТУАЦІЇ ТЕРИТОРІЙ З ОБ'ЄКТАМИ НАКОПИЧЕННЯ ХІМІЧНИХ СТОКІВ НА БАЗІ КОГНІТИВНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Проблема. На сьогодні актуальними залишаються питання визначення екологічного стану територій, де розташовані об'єкти зберігання чи тимчасового накопичення відходів виробництва. Складність таких задач пов'язана з невизначеністю стосовно інформованості про наслідки впливу складових очищених стоків на екосистеми навколишнього середовища.

Пропонується комплексне вирішення розв'язання цього екологічного завдання на основі когнітивного моделювання системного об'єкта дослідження «стан рідинних відходів – фактори небезпеки – екосистеми довкілля», визначення умов синергетичної реалізації екологічної рівноваги «очищені стоки – безпека екосистем довкілля» за результатами модельного комп'ютерного експерименту на базі програмного додатка з контролю безпеки зберігання рідинних відходів та їх утилізації.

Це дозволить уникнути небезпечних ситуацій на природно-техногенних територіях завдяки передбаченню суттєвих негативних факторів впливу на довкілля, оперативному визначенню чинників небезпеки та своєчасному прийняттю рішень для усунення небезпеки.

Мета. Розробка комплексного розв'язку задачі контролю екологічного стану території розміщення рідинних хімічних стоків в накопичувачах на основі комп'ютерного прогнозування ситуації за когнітивною моделлю об'єкта «стан рідинних відходів – фактори небезпеки – екосистеми довкілля» для запобігання нештатним ситуаціям на прикладі роботи коксохімічного виробництва.

Методи досліджень. Для досягнення поставленої мети в роботі використано методи імітаційного моделювання із застосуванням когнітивного підходу, що дає можливість працювати з слабоструктурованими системами і в умовах невизначеності стану природно-техногенних об'єктів з впровадженням концептів, які відповідають за процеси нейтралізації небезпечних елементів рідинних відходів та за вплив на довкілля. Використані можливості інформаційно-програмного забезпечення для реалізації аналітичних і прогнозних переваг когнітивних моделей для моніторингу складних системних об'єктів.

Основні результати дослідження. Розроблено систему комплексного вивчення екологічної ситуації на об'єктах поводження з рідинними відходами, що дає змогу встановити вагомі чинники процесів стабілізації та небезпеки екологічної рівноваги в довкіллі. Для цього пропонується при моделюванні враховувати не тільки контрольовані системи, але й зміни в їх стані, вважаючи об'єктом контролю складну систему виду «відходи → процеси взаємодії надходжень зі складовими екосистем → стан екосистем». Отримані результати практичної здатності пропозицій реалізовані на прикладі моделювання та прогнозування станів рідинних відходів фенольного заводу м. Торецьк за проектом НВП Інкор і Ко.

Висновки. Запропонована комплексна система оцінки безпечності ситуації «стан рідинних відходів – екосистеми довкілля» для реалізації поточного та прогнозного контролю на об'єктах зберігання очищених стоків на основі використання когнітивних карт стану слабоструктурованих складних систем. Це дозволить на об'єктах підвищеної небезпеки завчасно реагувати на фактори небезпеки і вживати заходів для їх нейтралізації відповідно до виявлених процесів порушення екологічної рівноваги в довкіллі. Комплексна система контролю за поводженням з рідинними відходами в місцях зберігання та стану екосистем реалізована завдяки застосуванню програмного додатка комплексного спостереження за ситуацією.

Ключові слова: очищені стоки, хімічні рідинні відходи, когнітивне моделювання, графові моделі, екобезпека, синергетика безпечних процесів, інформаційно-програмне забезпечення.

THE ECOLOGICAL STATE FORECAST FOR THE TERRITORIES WITH CHEMICAL LIQUID WASTES ACCUMULATION OBJECTS BASED ON COGNITIVE MODELLING

Introduction. Today territorial ecological state evaluation is still the actual problem for objects of manufacturing waste storage and accumulation. The problem complexity is linked to information uncertainty of purified liquid waste components influence consequences in environment ecosystems.

This ecological problem complex solution is proposed and is based on cognitive modeling of research system object «liquid wastes state – danger factors – environment ecosystems», determining synergetic realization conditions of ecological equilibrium of «cleaned liquid wastes – environment ecosystems safety» according to computer modeling experiment results in liquid wastes storage and utilization safety control software.

This will allow to avoid dangerous situations at natural anthropogenic territories by foreseeing essential negative influence factors upon the environment and prompt determining danger factors for decision making.

Purpose. Complex problem-solving development for the territories with chemical liquid waste accumulation objects based on computer forecast of the situation with the cognitive model of the object «liquid waste state – danger factors – environment ecosystems» for worst-case situations prevention on the example of by-product coke plant functioning.

Methods. Cognitive imitation modeling allows to deal with weakly structured systems, natural anthropogenic objects ambiguous conditions, and implement concepts that neutralize dangerous liquid waste components and influence the environment. Information software capabilities were used to implement analytical and forecast cognitive model advantages for complex system object monitoring.

Results. A system of comprehensive research on the environmental situation at liquid waste management facilities has been developed, making it possible to identify important factors of stabilization processes and the danger of ecological balance in the environment. So it was proposed to take into account not only controlled systems but also their state changes and consider as the control object the complex system «wastes → wastes and ecosystems components interaction → ecosystem state». Acquired results of propositions' practical capabilities were implemented in example modeling and forecast of liquid waste states from phenol plant Toretsk city according to SPF Inkor and Co project.

Conclusion. The complex safety evaluation system is proposed for the situation «liquid wastes state – environment ecosystems» for current and forecast control at cleaned liquid waste storage objects based on state cognitive maps for complex weakly structured systems. It will allow in time reaction at high danger objects and neutralize danger factors according to detected ecological misbalance processes in the environment. A complex control system for handling liquid waste storage and ecological systems states was developed due to software for complex monitoring.

Keywords: cleaned liquid wastes, chemical liquid wastes, cognitive modeling, graph models, ecological safety, safety processes synergy, information software.

Вступ. Актуальними на сьогодні є питання екологічного захисту довкілля від впливу хімічних відходів, особливо рідинних, які мають потужні механізми розповсюдження у будь-якому середовищі та трансформаційних змін як в самій системі забруднення, так і при взаємодії зі складовими геоекосистем. Ці речовини вносять відповідні зміни в ситуаційний простір стану ґрунтів, води та повітря, завдаючи шкоди екосистемам і здоров'ю людей. Нагальна потреба в екологічно чистих рішеннях визначається необхідністю розробки контролю безпечності стану територій, де зрозміщені джерела утворення хімічних відходів, для зменшення ризиків порушення природної організації навколишнього середовища та збереження його потенціалу з відновлення.

Критичним наслідком поширення небезпечних складових відходів є ґрунт. Такі хімічні речовини проникають у ґрунт, завдають шкоди рослинам, впливаючи на сільське господарство та екосистему в цілому; під землею вони спричиняють проблеми, пов'язані з

забрудненням підземних вод, і таким чином впливають на стан здоров'я населення.

Для вирішення зазначених проблемних завдань в хімічній екології довкілля пропонуються декілька напрямків розробки інноваційних заходів контролю промислових стоків з позицій ефективності їх очищення чи утилізації як відходів для уникнення ризиків забруднення довкілля [1, 2]. Встановлено, що запобігання утворенню відходів має низку переваг порівняно з обробкою відходів, а зменшення джерел відходів і зниження їх обсягів передбачає застосування стратегій мінімізації відходів, таких як підхід 3R, управління твердими та рідинними відходами, комплексні стратегії управління відходами для розробки дієвих ініціатив із вирішення цієї проблеми [3, 4].

Остаточне розв'язання зазначених проблемних задач пов'язану з невизначеністю інформації щодо поведінки складових відходів, стоків при потраплянні їх у навколишнє середовище. Потребують додаткових досліджень і моніторингових даних питання щодо

можливостей стабілізації толерантності в екосистемах до зовнішніх надходжень завдяки процесам взаємодії «забруднювач – складові природних середовищ», які можуть сприяти безпечній трансформації забруднювачів у результаті синергетики перетворень [5]. Напрямок таких досліджень дасть змогу дізнатися як реально взаємодіють складові середовищ довкілля з речовинами відходів у будь-якому стані, встановити границі безпеки для технологій очищення стоків, викидів та знезараження відходів. Це дасть можливості комплексно уникнути ризиків забруднення довкілля з мінімальними витратами, закріпити позитивний результат дії синергетичних механізмів досягнення стану гомеостазу «природний стан екосистеми – зовнішній техногенний вплив».

Мета дослідження. Загальною метою роботи є розробка комплексного контролю екологічного стану території розміщення рідинних хімічних стоків в накопичувачах на основі комп'ютерного прогнозування ситуації за когнітивною моделлю об'єкта «стан рідинних відходів – фактори небезпеки – екосистеми довкілля» для запобігання нештатним випадкам на прикладі роботи коксохімічного виробництва.

Методи дослідження. Для проведення комплексних досліджень у розв'язанні задач пошуку шляхів отримання знань з поведінки системи «відходи → процеси взаємодії надходжень зі складовими екосередовищ → стан екосередовищ» доцільно використати імітаційне моделювання та комп'ютерний експеримент. Загалом методи інформаційного забезпечення розв'язку технічних задач і питань екологічної безпеки є доволі поширеними. Особливого значення набуває імітаційне моделювання на базі графів при дослідженні складних об'єктів і в умовах невизначеності [6–8]. При розгляді об'єкта дослідження як системного утворення «система елементів скиду (відходи) – трансформаційні процеси в екосистемах довкілля – системи навколишнього середовища (у т.ч. стан людини як біотичної системи) мають справу з слабоструктурованою системою (СС). Для рішення проблем управління, контролю якості таких об'єктів використовують когнітивний підхід до моделювання, спрямований на розробку формальних моделей і методів дослідження [9, 10].

Когнітивне моделювання в задачах аналізу та управління СС реалізується за допомогою побудови моделі СС (ситуації) на основі когнітивної карти. Когнітивна карта відображає суб'єктивні уявлення (індивідуальні або колективні) досліджуваної проблеми, ситуації, пов'язаної з функціонуванням і розвитком СС. Основними елементами когнітивної карти є

базисні фактори (або чинники) і причинно-наслідкові зв'язки між ними [9].

Базисні чинники визначають і обмежують явища і процеси, що спостерігаються в СС і навколишньому середовищі, розглядаються як вагомий для вирішення проблемних питань. Для когнітивного підходу прийнято формальне подання когнітивної карти у вигляді знакового графа, тобто орієнтованого графа, вершини якого надані відповідно до факторів, а ребра визначені як зв'язки, позначені певним знаком (+ або –). Останнім часом когнітивна карта подається у вигляді зваженого, функціонального графа, в якому концепти визначають фактори, а ребра – зв'язки за прийнятою шкалою оцінювання. Таким чином, загальним результатом для всіх робіт когнітивного аналізу є когнітивна карта у вигляді знакового або зваженого графа з множиною досліджуваних факторів [6–10].

За отриманою когнітивною моделлю поведінка (стан) системи описується на основі значень системних змінних, що робить можливим використання класичних підходів з теорії систем, зокрема, моделювання, аналіз динаміки, прийняття рішень. Аналіз когнітивної карти дає змогу виявити структуру проблеми (системи), знайти більш значущі фактори, що впливають на неї, оцінити вплив факторів (концептів) один на одного. У когнітивній карті виділяють цільові та вхідні концепти, на які можна впливати, що дозволяє вирішувати завдання з оцінки досяжності цілей, розробки сценаріїв і стратегій управління, пошуку управлінських рішень [6–10]. Таким чином з'являється можливість у розв'язку задачі дослідження розглядати комплексно статичні (стан системи) та динамічні (перебіг процесів, зміни стану) аспекти. Це в свою чергу сприяє досягненню цілі визначення взаємозв'язку між концептами стану та процесів для отримання цільового бажаного результату роботи.

Результати дослідження. Один з інноваційних напрямів сучасних технологічних рішень для розв'язку екологічних завдань у різних сферах господарської діяльності людини пов'язаний з використанням механізмів самоорганізації природно-технологічних систем відповідно до теорії синергетики. Потенціал самодовільних процесів стабілізації нерівноважних систем доцільно використовувати для організації екологічно ефективних технологій видалення небезпечних сполук із стічних вод, враховуючи вірогідність процесів взаємодії їх з елементами екосистем довкілля і уникнення таким чином його забруднення. Тому пропонується комплексна система контролю на основі системології та синергетики процесів взаємодії як «виробництво – стоки – екосистеми довкілля», що приводить до

безпечної самоорганізації довкілля. Такий контроль відрізняється від стандартної системи моніторингу техногенного об'єкта.

Для оцінки результатів поведінки з рідинними відходами розглянуті заходи підвищення екологічної безпеки процесу утилізації стоків (зменшення викидів шкідливих речовин у НПС) на підприємствах хімічної промисловості та безпосередньо на коксохімічному виробництві, застосована ідеологія досягнення рівноваги в природно-техногенних системах завдяки синергійним процесам. Забезпечення автоматизації процесів контролю якості з утилізації рідинних відходів здійснено відповідно до завдань екологічного проекту для коксохімічного підприємства [11–13].

Враховуючи скрутну еколого-економічну ситуацію в Україні, удосконалення технології утилізації відходів відбувається безпосередньо на підприємстві. У процесі утилізації рідинних відходів коксохімічного виробництва передбачене транспортування та зберігання їх на відкритому повітрі в шламонакопичувачах з подальшим витягом і нейтралізацією рідинної фази. Рідинні відходи є сумішшю кислих технологічних стічних вод коксохімічного виробництва, що містять такі речовини:

– нейтральні стоки фенольної каналізації – розчин сульфату амонію, стоки хімічної лабораторії, відпрацьований соляний розчин після уловлювання та зневоднення в нафталіновому виробництві, феноли;

– кислі відпрацьовані розчини хімічного очищення нафталіну, розчин сірчаної кислоти.

Усі хімічні речовини, які зберігаються у накопичувачі, є базисними факторами, які впливають на біологічні реципієнти – рівень здоров'я населення та стан аграрних культур. Використання фільтраційних заходів значно зменшує екологічне навантаження на ґрунт, ґрунтові та підземні води. Додатково на фенольному підприємстві завдяки застосуванню нейтралізації кислих стоків сформована технологічна схема ліквідації шламонакопичувача 1-ї черги. Нейтралізація стоків здійснюється в шламонакопичувачі 2-ї черги [11].

У процесі нейтралізації кислих вод шламонакопичувача 1-ї черги за участю шламів карбонатних складових шламонакопичувача 2-ї черги відбуваються такі реакції:

– сірчана кислота реагує з карбонатом кальцію і лугом, що міститься в шламі, з утворенням сульфату кальцію (гіпс), сульфату натрію і виділенням вуглекислого газу;

– феноли, реагуючи з лугом, утворюють феноляти натрію, тобто перебувають у зв'язаному стані;

– сульфат піридину розкладається з виділенням піридинових дериватів – піридин, піколіні і та ін.

Основна особливість процесу нейтралізації кислих стоків полягає в тому, що він здійснюється в шламонакопичувачі 2-ї черги в траншеях, викопаних на його поверхні. Для нейтралізації стоків використовується витягнутий з траншеї шлам.

При розробці інформаційно-програмної підтримки дотримання рішень з нейтралізації використані результати експериментальних дослідів:

1) перед операцією нейтралізації шлам не подрібнюється;

2) для нейтралізації 1 м³ кислих стоків використовують 735 кг або 0,432 м³ ущільненого шламу, який знаходився в траншеях (0,54 м³ в розпушеному стані).

За рекомендованою схемою кислі стоки за допомогою пересувної насосної установки подаються з шламонакопичувача 1-ї черги в існуючі котловани, а потім в траншеї, вириті екскаватором на поверхні шламонакопичувача 2-ї черги. Шлам реагує із сірчаною кислотою, що входить до складу кислих стоків, і нейтралізує останні. Не менш ніж через 3 години (час витримки) починається засипання траншеї з нейтралізованими стоками одночасно з розробкою нової траншеї. Виконується п'ять циклів розробки траншеї і нейтралізації кислих стоків в них, включаючи засипку.

Реалізація цієї технології дала можливість знешкодити та ліквідувати накопичені в шламонакопичувачі 1-ї черги кислі стоки, нейтралізувати лужну складову шламу в шламонакопичувачі 2-ї черги, не створюючи при цьому наднормативного негативного впливу на повітряне середовище в районі розташування шламонакопичувача [11–14].

Оскільки перебіг реакцій за участю сірчаної кислоти, фенолів не усуває остаточно небезпеку в районі шламонакопичувачів, то пропонується запровадити автоматизований контроль рівня безпеки на територіях розташування хімічних стоків і в навколишньому середовищі за результатами модельного прогнозування ситуації «рідинні відходи – екосистеми довкілля» завдяки розробленому програмному додатку.

Безпека довкілля гарантована завдяки позитивним змінам стосовно перебігу процесів нейтралізації і отримання речовин, здатних підтримувати самоорганізацію систем навколишнього середовища, – сульфати багатьох важких металів, присутніх в ґрунтах, утворюють нерозчинні осади, що зменшує ризики для подальшого впливу на складові екосистем [5]. У такому разі є вірогідність реалізації ситуації для об'єкта «рідинні відходи – екосистеми довкілля» як

рівноважної безпечної. Для фіксації такого стану пропонується реалізувати інформаційно-аналітичне забезпечення контролю якості нейтралізації рідини в шламонакопичувачах завдяки комп'ютерному прогнозуванню розвитку ситуації для об'єкта спостереження «система рідинних відходів – екосистема довкілля» на основі його когнітивної моделі. Позитивний екологічний результат для територій розташування таких шламонакопичувачів фіксується як стійкість графічної моделі при позитивному ефекті змін чи стабілізації стану елементів довкілля.

Для встановлення та аналізу оцінки впливу рідинних коксохімічних відходів на природне середовище пропонується проведення комп'ютерного експерименту з визначення особливостей динамічного стану складної системи «стан рідинних відходів – фактори небезпеки – екосистема довкілля» на основі її когнітивної моделі, що реалізується завдяки запропонованому програмному забезпеченню екологічного контролю виробництва (рис. 1).

Поточна ситуація на дослідних територіях аналізується за моделлю, що надається у вигляді знакового орграфу, відповідно до визначення стійкості системи [6–10]. Прогнозний аналіз стану об'єкта дослідження фіксується за результатами змін, які відбуваються з концептами моделі залежно від їх відгуків на прийняті збудження:

$$x(k) = x(0) + p(0)(E + A + A^2 + \dots + A^{k-1}), \quad (1)$$

де $x(0)$ – вектор значень концептів орграфу початкового імпульсу;

$p(0)$ – вектор величин початкових змін значень концептів, початковий імпульс;

$x(k)$ – вектор значень концептів після змін в системі;

A – матриця суміжності з вагових коефіцієнтів орграфу [6–10].

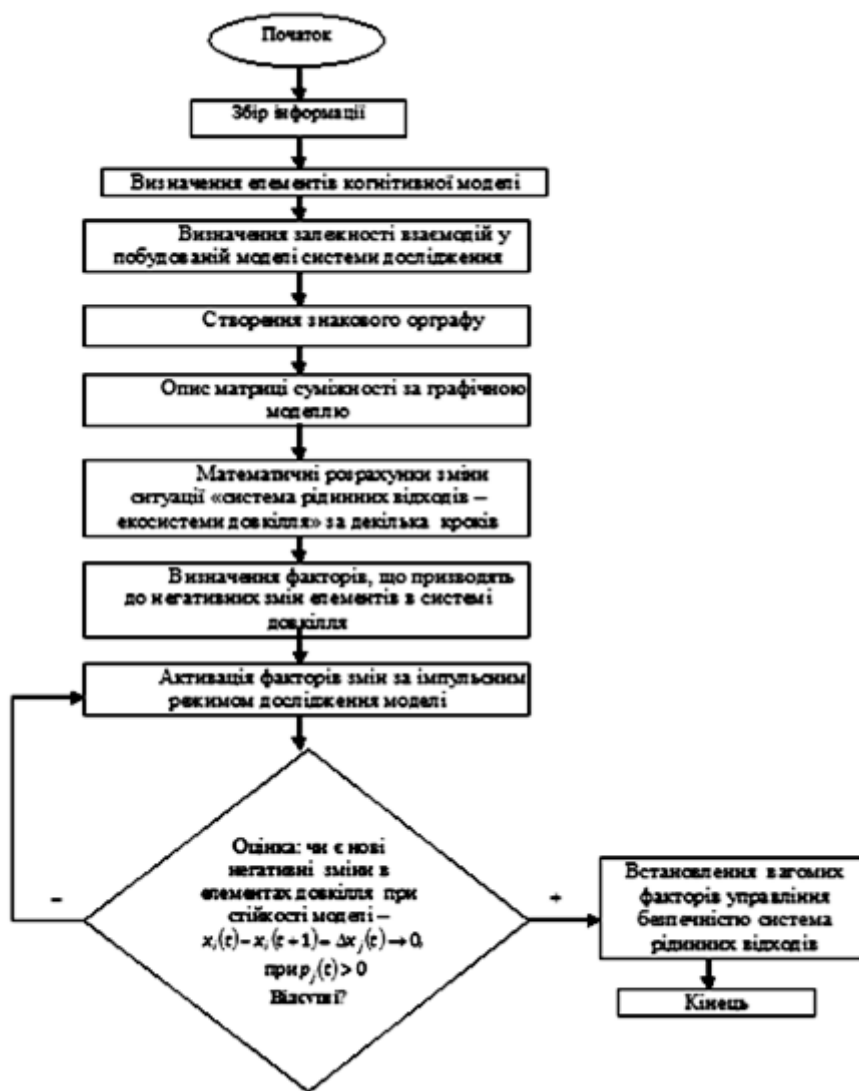


Рисунок 1 – Схема алгоритму з пошуку вагомих факторів небезпечності ситуації

Якщо система містить N вершин, то $x(k) \in R^N, p(0) \in R^N, A$ – матриця розміру $N \times N$. Вектор $x(0)$ вважають тривіальним, оскільки стан системи оцінюється за набором показників, що становить значення частини концептів системи. Для кожного початкового імпульсу $p(0) = (\lambda_1, \dots, \lambda_N)$ отримують вектор реакції системи $a_p = (a_{p_1}, \dots, a_{p_n}), a_{p_j} = \lim_{k \rightarrow \infty} x_j(k)$.

Імпульсний режим дослідження змін в об'єкті «рідинні відходи – об'єкти довкілля» відповідає зміні значення вершини i за крок $(t, t+1)$:

$$x_i(t+1) = x_i(t) + \sum_{j \in I_j} a_{ij} (x_j(t) - x_j(t-1)), i = 1, \dots, N$$

$$x_i(t+1) = \sum_{j=1}^n a_{ji} p_j(t), i = 1, \dots, n, \quad (2)$$

де $x_i(t+1)$ і $x_i(t)$ – значення i -го фактора в моменти часу $t+1$ і момент t відповідно; $x_i(t) - x_i(t+1) = \Delta x_j(t)$ – прирощення фактора x_i в момент часу t ; a_{ij} – вага впливу фактора x_j на фактор x_i ; $p_j(t)$ – діючий імпульс (зміни відповідного концепту).

Отже, розвиток системи в часі істотно залежить від впливовості концепту, який активується імпульсною дією. Це надає можливість за результатами комп'ютерного експерименту з когнітивною моделлю встановити вагомості небезпечні фактори впливу на складові зазначеного навколишнього середовища. За оцінкою ступеня їх вагомості щодо створення умов небезпеки для елементів екосистем довкілля визначають рекомендації керування ситуацією для отримання позитивних результатів.

Обговорення результатів досліджень. Для автоматизації процесів розробки моделі та прогнозних експериментів з оцінки прийнятих технологічних удосконалень пропонується програмне забезпечення розв'язання задачі підвищення еколого-економічної ефективності

утилізації рідинних відходів фенольного заводу м. Торецьк за проектом НВП Інкор і Ко.

На додатковий комп'ютер оператора встановлюється програмний додаток для вирішення задачі підвищення ефективності технології утилізації рідинних відходів. Для розробки програмного забезпечення обрано мову програмування С#. Програми С# зазвичай компілюються в спеціальний байт-код, тому вони працюють на будь-якій віртуальній машині незалежно від комп'ютерної архітектури [15].

Наданий інформаційно-програмний продукт забезпечує розв'язання таких екологічних задач щодо контролю якості поводження зі стоками:

- встановлення масиву початкових даних;
- розробка когнітивної моделі;
- моделювання і передбачення екологічної ситуації відповідно до прийнятих рішень;
- оцінка отриманих результатів;
- визначення ефективної технології утилізації рідинних відходів.

Для практичної реалізації пропозицій з контролю безпеки щодо поводження з рідинними хімічними відходами використані дані фенольного підприємства НВО Інкор і Ко.

Практична екологічна задача полягала в оцінці ситуації, що складається на території розташування шламонакопичувачів рідинних хімічних відходів відповідно до інформації стосовно складу рідинних відходів, рівня їх токсичності [16]. У запропонованій програмі передбачено введення даних для побудови когнітивної моделі «система рідинних відходів – екосистема довкілля», визначення матриці суміжності, проведення імпульсного режиму з урахуванням залишкових небезпечних компонентів стоків, які зберігаються для подальшої переробки, та складових довкілля, що піддаються негативному впливу стоків шламонакопичувачів на місцевості (рис. 2).

```

public class Vertex
{
    public int Id { get; set; }
    public string Name { get; set; }
}
public class Edge
{
    public int StartId { get; set; }
    public int EndId { get; set; }
    public int Value { get; set; }
}
public class ResultData
{
    public string title { get; set; }
    public double value { get; set; }
}
List<Vertex> vertList = new List<Vertex>();
List<Edge> edgList = new List<Edge>();
void test()
{
    vertList = new List<Vertex>()
    {
        new Vertex() { Id=1,Name="Повітря"},
        new Vertex() { Id=2,Name="Населення"},
        new Vertex() { Id=3,Name="Агрокультура"},
        new Vertex() { Id=4,Name="Ґрунт"},
        new Vertex() { Id=5,Name="Ґрунтової води"},
        new Vertex() { Id=6,Name="Підземні води"},
        new Vertex() { Id=7,Name="Рівень токсичності"},
        new Vertex() { Id=8,Name="Розчин сірчаної к-ти"},
        new Vertex() { Id=9,Name="Розчин сульфату амонію"},
        new Vertex() { Id=10,Name="Розчин солей"},
        new Vertex() { Id=11,Name="Пірідин"},
        new Vertex() { Id=12,Name="Феноляти натрію"},
        new Vertex() { Id=13,Name="Сульфат кальцію"},
        new Vertex() { Id=14,Name="Сульфат натрію"},
        new Vertex() { Id=15,Name="Вуглекислий газ"},
    };
}
}
const string DimensionExceptionMessage = "Invalid matrix dimention";
public static Matrix GetE(int n)
{
    var result = new Matrix(n, n);
    for (int i = 0; i < n; i++)
    {
        result[i, i] = 1.0;
    }
    return result;
}
}
[MethodImpl(MethodImplOptions.AggressiveInlining)]
private static double MultiplyR(double[,] a, double[,] b, int i, int j)
{
    double result = 0;
    for (int k = 0; k < a.GetLength(1); k++)
        result += a[i, k] * b[k, j];
    return result;
}
public int GetLength(int dim)
{
    return _value.GetLength(dim);
}
public Matrix Pow(int power)
{
    int dim = GetDimIfSquare();
    var result = GetE(dim);
    var tmp = this;
    while (power != 0)
    {
        if (power % 2 != 0)
        {
            result *= tmp;
            power -= 1;
        }
        tmp *= tmp;
        power /= 2;
    }
    return result;
}
public List<ResultData> rezData = new List<ResultData>()
{
    new ResultData() { title="Повітря"},
    new ResultData() { title="Населення"},
    new ResultData() { title="Агрокультура"},
}
}
rez.ShowDialog();
public void DGV_Load(DataGridView dgv, NumericUpDown numUD, TextBox tb1, Int32 dgvrc)
{
    double[] array = new double[15];
    dataGridView1.AutoSizeColumnsMode = DataGridViewAutoSizeColumnsMode.AllCells;
    int b = Convert.ToInt32(numUD.Value) - 1;
    double c = Convert.ToDouble(tb1.Text);
    for (int i = 0; i < dgv.RowCount; i++)
    {
        array[i] = Convert.ToInt32(dgv.Rows[b].Cells[i].Value) * c;
    }
    for (int i = 0; i < 15; i++)
    {
        dataGridView1.Rows.Add();
        dataGridView1.Rows[i].Cells[0].Value = matr.rezData[i].title;
        if (array[i] > 0)
        {
            dataGridView1.Rows[i].Cells[1].Value = "+" + array[i] * 100 + "%";
        }
        else
        {
            dataGridView1.Rows[i].Cells[1].Value = array[i] * 100 + "%";
        }
    }
}
}
}

```

Рисунок 2 – Фрагменти програмного додатку з побудови когнітивної моделі та реалізації аналізу впливу інгредієнтів стоків на довкілля

Програмний додаток встановлюється на операторський комп'ютер. За наявності такої підтримки оператор має змогу побудувати модель поточної ситуації дослідної території за такими отриманими даними (рис. 3):

- система рідинних відходів: L – піридин; F – феноляти натрію; X – сульфат кальцію (гіпс); Y – сульфат натрію; Z – вуглекислий газ; G –

токсичність рідинних відходів; I – розчин сірчаної кислоти; K – розчин сульфату амонію; T – розчин інших солей;

- екосистеми довкілля: P – рівень забруднення повітря; M – рівень здоров'я населення; C – стан аграрних культур; S – рівень забруднення ґрунту; D – рівень забруднення ґрунтових вод; B – рівень забруднення підземних вод.

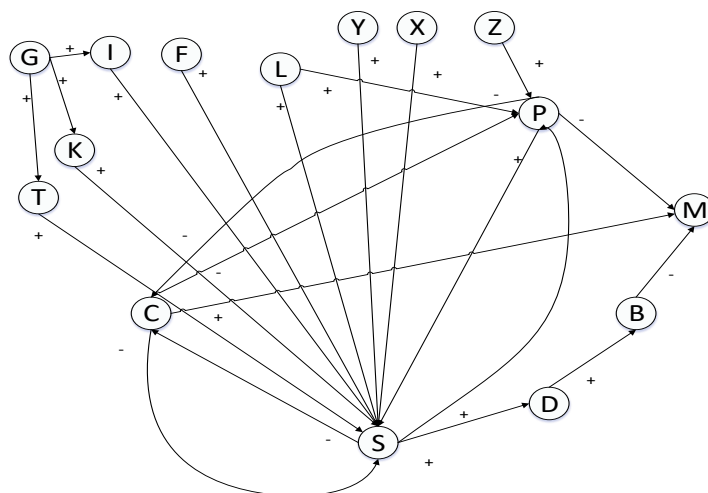


Рисунок 3 – Результуюча когнітивна карта для визначення екологічної ситуації «стан рідинних відходів – фактори небезпеки – екосистеми довкілля»

Матриця суміжності орграфу як модельного подання «система рідинних відходів – екосистеми довкілля» визначена послідовністю (P, M, C, S, D,

B, G, I, K, T, L, F, X, Y, Z), за якою реалізується імпульсний режим когнітивного аналізу (формули (1), (2) і [6–10]) (рис. 4).

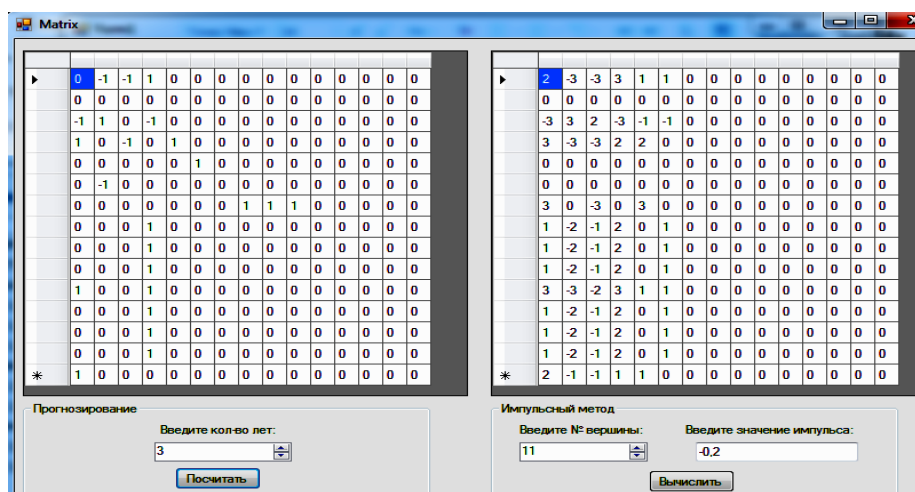


Рисунок 4 – Побудова матриці суміжності та запуск імпульсного режиму

Експериментально за програмою були визначені зміни в дослідному об'єкті за 3 періоди вперед (на рис.4 оператором введено 3 роки) відповідно до матриці $(E + A + A^2 + A^3)$, де E – одинична матриця. За умови можливостей зменшення на 20 % піридину – активізація 11 вершини відповідним імпульсом $P_0(11) = (0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, -0.2, 0, 0, 0, 0)$ (див. рис. 4)

встановлені такі зміни в екологічній ситуації: отримані позитивні результати щодо частини дослідного об'єкта «екосистеми довкілля» на третій період функціонування системи дослідження – зменшення негативного впливу на рівень забруднення повітря та ґрунту на 60 %, на рівень забруднення ґрунтових та підземних вод на 20%; покращення здоров'я людини та стану рослинності на 60 % і 40 %, відповідно (рис. 5).

$$E + A + A^2 + A^3 = \begin{pmatrix} 5 & -5 & -5 & 5 & 2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -5 & 5 & 5 & -5 & -2 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 5 & -5 & -5 & 5 & 3 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & -3 & 3 & 3 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & -2 & -2 & 3 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & -2 & -2 & 3 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & -2 & -2 & 3 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 5 & -4 & -4 & 5 & 2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & -2 & -2 & 3 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & -2 & -2 & 3 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 2 & -2 & -2 & 3 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 3 & -2 & -2 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Title	Value
Повітря	-60%
Населення	+60%
Агрокультура	+40%
Ґрунт	-60%
Ґрунтові води	-20%
Підземні води	-20%
Рівень токсичності	0%
Розчин сірчаної к-ти	0%
Розчин сульфату амонію	0%
Розчин солей	0%
Піридин	0%
Феноляти натрію	0%
Сульфат кальцію	0%

Рисунок 5 – Прогнозні результати змін ситуації на території зберігання рідинних відходів

За наданою моделлю отримані результати щодо відгуку системи на погіршення можливостей нейтралізації рідинних стоків коксохімічного виробництва: при зменшенні щороку на 90 % концентрації водних розчинів сірчаної кислоти у шламонакопичувачі встановлено збільшення на 5 %, 10 %, 5 %, 5 %, 2 % концентрації піридину, фенолятів натрію, сульфату кальцію, сульфату натрію, вуглекислого газу, відповідно, за 3-річний період. Очікувану ситуацію для дослідного об'єкта «рідинні відходи – екосистеми довкілля» визначають як $X(3) = (-1.09, 1.16, 1.16, -1.81, 0.3, 0.25, 0, -0.9, 0, 0, 0.05, 0.1, 0.05, 0.05, 0.02)$. Це означає зменшення негативного впливу на рівень забруднення повітря на 109 % і забрудненість ґрунту та 181% при зростанні забруднення ґрунтових та підземних вод на 30 % та 25 % відповідно. Мобільність складових хімічних стоків (потрапляння у водні потоки) призводить до погіршення здоров'я людини та стану рослинності на 116 %.

Таким чином, завдяки запропонованій системі оперативного прогнозування стану об'єкта «система рідинних відходів – екосистеми довкілля» за результатами оцінювання наслідків змін поведінки елементів графічної моделі забезпечується отримання інформації стосовно екологічної ситуації в дослідному об'єкті та встановлюються чинники небезпеки.

Висновки. Відповідно до інформації щодо стану утилізації токсичних відходів у вигляді переробки на 2023 рік, ситуація поблизу м. Торецьк є екологічно небезпечною. Потрібно комплексне дослідження балансу всіх компонентів, які наповнюють конкретний шламовідстійник [12]. За результатами виконаної роботи запропоновано в умовах обмеженого моніторингу запровадити оперативне спостереження на основі моделювання ситуації на базі комп'ютерного експерименту.

Основні висновки роботи становлять такі наукові і практичні результати:

1. Пропонується на основі застосування інформаційних технологій встановити автоматизоване прогнозування стану в об'єкті «система рідинних відходів – екосистеми довкілля» відповідно до розробленої імітаційної графічної моделі ситуації з урахуванням синергетичного ефекту від впливу елементів стоків на складові екосистем.

2. Запропонована система безперервного контролю безпечності стану очищених стоків для навколишнього середовища завдяки оперативному простеженню ситуації за результатами реалізації когнітивного підходу: побудова графічної моделі, імпульсний режим, відношення результатів до певного періоду прогнозування. Це дає змогу отримати дані про загальну ситуацію на об'єкті та встановлювати фактори та причини негативних змін.

Практичне значення нашої роботи полягає в розробленні програмного додатка для автоматизації контролю екологічної ситуації в довкіллі на небезпечних об'єктах в умовах недостатнього інформаційного забезпечення за відсутності підтримки функціональності моніторингової системи. Проведення комп'ютерного експерименту на основі когнітивного підходу дозволяє отримати результати динаміки взаємозв'язків в системному утворенні «система рідинних відходів – екосистеми довкілля», що є підставою для визначення закономірностей дії небезпечних складових рідинних відходів на довкілля, особливостей поведінки складових оброблених стоків в системах навколишнього середовища. Це в свою чергу є підставою для подальших наукових натурних експериментів для визначення рішень щодо заходів зниження небезпечності рідинних хімічних відходів.

Список літератури:

1. Chemical Waste, Sustainable Practices, Waste Disposal. 2023. URL : thirdview.info/2023/05/30/5-strategies-for-reducing-the-release-of-chemical-wastes-from-your-business/
2. Chemical Waste Disposal: From Source to Solution. 2023. URL : <https://shapiroe.com/blog/chemical-waste-disposal/>
3. Hussain Ch. M., Paulraj M. S., Nuzhat S. Source reduction and waste minimization—concept, context, and its benefits. *Source Reduction and Waste Minimization*, 2022. P. 1–22. URL : doi.org/10.1016/B978-0-12-824320-6.00001-0, [sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128243206000010?via%3Dihub](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128243206000010?via%3Dihub)
4. Common wastewater challenges and how to solve them. 2024. URL : <https://www.wastedive.com/spons/common-wastewater-challenges-and-how-to-solve-them/713472/>
5. Kozulia, T.V., Kozulia, M.M. Using the systemological basis and information entropy function in the study at uncertainty conditions of system-structured objects. *Voprosy Atomnoj Nauki i Tekhniki*. 2022. №3-139. P. 118–127. <https://vant.kipt.kharkov.ua/TABFRAME.html>
6. Gorelova G. V. Cognitive Modeling of Complex Systems: State and Prospects. *System Analysis in Engineering and Control*. 2022. P. 212–224. URL: doi.org/10.1007/978-3-030-98832-6_19
7. Firsova A., Gorelova G., Makarova E. L., Makarova E. A., Chernyshova G. Simulation Cognitive Modeling Approach to the Regional Sustainable Complex System Development for Improving Quality of Life. *Mathematics*. 2023. № 11, 4369. 22 p. URL : doi.org/10.3390/math11204369
8. Gorelova G., Saak A. Scenario cognitive modeling of development trends of the complexity system “youth, labor market, quality of life”. *System research and information technologies*. 2021. № 1. P. 103–120 DOI: <https://doi.org/10.20535/SRIT.2308-8893.2021.1.09>
9. Sampson James P. and et al. An Introduction to Cognitive Information Processing Theory, Research, and Practice. Technical Report. 2020. № 62. 35 p. URL : <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED616571.pdf>
10. Zolotukhina E. B., Krasnikovaa S. A., Medvedkovaa Irina V., Trudaevab T. A. , Bushinaa K. S. Cognitive approach in the implementation of local geodynamic monitoring. *Procedia Computer Science*. 2021. Vol. 190. P. 863–868. URL : <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.06.100>
11. Оцінка впливу на довкілля (ОВНС) місць видалення відходів ТОВ НВО «Інкор та Ко». К. : Міністерство екології України, 2003. 300 с.
12. Прісна вода Донеччини – під загрозою отруєння відходами з відстійників. 2021–2024. URL: <https://freeradio.com.ua/prisna-voda-donechchyny-pid-zahrozoiu-otrueniennia-vidkhodamy-z-vidstiinykiv-iak-ii-zakhyshchait/>
13. Дослідження хвостосховищ Донбасу. ООО НПО «ИНКОР и КО». Транскордонна співпраця щодо запобігання аварійного забруднення вод хвостосховищ басейні річки Дністер. Таджикистан, м. Душанбе. 2023. 31с. URL: https://unece.org/sites/default/files/2023-05/3_4_Iryna%20Nikolaeva%20RUS_.pdf
14. Основні способи утилізації та рекуперації відходів хімічної промисловості. Утилізація рідких відходів. 2024 - www.novaecologia.org. URL: <http://www.novaecologia.org/voecos-1010-1.html>
15. C Sharp. 2024. URL : https://uk.wikipedia.org/wiki/C_Sharp
16. Про затвердження Порядку класифікації відходів та Національного переліку відходів. Постанова КМУ від 20 жовтня 2023 р. № 1102. Київ, 2023. URL : <https://ips.ligazakon.net/document/KP231102?an=1>

References:

1. Chemical Waste, Sustainable Practices, Waste Disposal. (2023). Retrieved from <https://thirdview.info/2023/05/30/5-strategies-for-reducing-the-release-of-chemical-wastes-from-your-business/>
2. Chemical Waste Disposal: From Source to Solution. (2023). Retrieved from <https://shapiroe.com/blog/chemical-waste-disposal/>
3. Hussain Ch. M., Paulraj M. S., Nuzhat S. (2022). Source reduction and waste minimization—concept, context, and its benefits. *Source Reduction and Waste Minimization*. 2022. P. 1–22. doi.org/10.1016/B978-0-12-824320-6.00001-0, www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128243206000010?via%3Dihub
4. Common wastewater challenges and how to solve them. (2024). Retrieved from [wastedive.com/spons/common-wastewater-challenges-and-how-to-solve-them/713472/](https://www.wastedive.com/spons/common-wastewater-challenges-and-how-to-solve-them/713472/)
5. Kozulia, T.V., Kozulia, M.M. (2022). Using the systemological basis and information entropy function in the study at uncertainty conditions of system-structured objects. *Voprosy Atomnoj Nauki i Tekhniki*. 2022. №3–139. P. 118–127. URL: <https://vant.kipt.kharkov.ua/TABFRAME.html> [in Ukrainian].
6. Gorelova G. V. (2022). Cognitive Modeling of Complex Systems: State and Prospects. *System Analysis in Engineering and Control*. 2022 P. 212–224. Retrieved from https://doi.org/10.1007/978-3-030-98832-6_19

7. Firsova A., Gorelova G., Makarova E. L., Makarova E. A., Chernyshova G. (2023). Simulation Cognitive Modeling Approach to the Regional Sustainable Complex System Development for Improving Quality of Life. *Mathematics*. 2023. № 11, 4369. 22 p. Retrieved from doi.org/10.3390/math11204369
8. Gorelova G., Saak A. (2021). Scenario cognitive modeling of development trends of the complexity system “youth, labor market, quality of life”. *System research and information technologies*. 2021. № 1. P. 103–120. doi.org/10.20535/SRIT.2308-8893.2021.1.09 [in Ukrainian].
9. Sampson James P. and et al. (2020). An Introduction to Cognitive Information Processing Theory, Research, and Practice. Technical Report. 2020. №. 62. 35 p. Retrieved from <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED616571.pdf>
10. Zolotukhina E. B., Krasnikova S. A., Medvedkovaa Irina V., Trudaevab T. A. , Bushinaa K. S. (2021) Cognitive approach in the implementation of local geodynamic monitoring. *Procedia Computer Science*. 2021. Vol. 190. P. 863–868. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.06.100>
11. Ocinka vplyvu na dovkillja (OVNS) misc' vydalennja vidhodiv TOV NVO «Inkor ta Ko». K. : Ministerstvo ekologii' Ukrai'ny, 2003. 300 s. (20003) [in Ukrainian].
12. Prisna voda Donechchyny – pid zagrozoju otrujennja vidhodamy z vidstijnykiv. (2024). Retrieved from <https://freeradio.com.ua/prisna-voda-donechchyny-pid-zahrozoju-otruiennia-vidkhodamy-z-vidstiinykiv-iak-ii-zakhyshchajut/> [in Ukrainian].
13. Doslidzhennja hvostoshovyshh Donbasu. OOO NPO «YNKOR y KO». Transkordonna spivpracija shhodo zapobigannja avariynogo zabrudnennja vod hvostoshovyshh basenji richky Dnister. Tadzhykystan, m. Dushanbe. 2023. 31s. (2023) Retrieved from unecce.org/sites/default/files/202305/3_4_Iryna%20Nikolaeva%20RUS_.pdf [in Ukrainian].
14. Osnovni sposoby utylizacii' ta rekuperacii' vidhodiv himichnoi' promyslovosti. Utylizacija ridkyh vidhodiv. 2024 - www.novaecologia.org. (2024) Retrieved from <http://www.novaecologia.org/voecos-1010-1>. [in Ukrainian].
15. C Sharp. URL. (2024). Retrieved from URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/C_Sharp
16. Pro zatverdzhennja Porjadku klasyfikacii' vidhodiv ta Nacional'nogo pereliku vidhodiv. Postanova KМУ vid 20 zhovtnja 2023 r. № 1102. Kyi'v, 2023. (2023) Retrieved from <https://ips.ligazakon.net/document/KP231102?an=1> [in Ukrainian].

© Т. В. Козуля, 2024.

Науково-методична стаття.

Надійшла до редакції 06.09.2024.

Прийнято до публікації 18.12.2024.