
УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ

УДК 504.5:004.942:658.5

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.4-55.25>

РОЗРОБКА СИСТЕМОЛОГІЧНОЇ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА «ЗБЕРІГАННЯ РІДИННИХ ВІДХОДІВ – ДОВКІЛЛЯ» З КОНТРОЛЮ РІВНЯ БЕЗПЕКИ

Козуля Т.В., Сакун А.О.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

вул. Кирпичова, 2, 61002, м. Харків

tatiana.kozulia@khp.edu.ua, antonina.sakun@khp.edu.ua

На сьогодні проблемними залишаються питання щодо ситуації зберігання хімічних рідинних відходів стосовно їх трансформації у часі в накопичувачах, невизначеності щодо їх поведінки в середовищах довкілля. Тому важливим є контроль ситуації на територіях зберігання очищених стоків виробництва. За відсутності постійного моніторингу запропоновано запровадити систему спостереження на основі моделювання системного об'єкта дослідження «стан рідинних відходів – процеси очищення рідинних відходів – фактори небезпеки – екосистеми довкілля». Встановлення особливостей змін у екологічному стані територій, прилеглих до місць накопичення очищених стоків виробництва, відбувається безперервно завдяки комп'ютерному моделюванню ситуації у вигляді графічної когнітивної моделі. Це дозволить уникнути екологічних ризиків для природно-техногенних територій при наявності оперативної інформації прогнозування поведінки негативних факторів впливу на довкілля та встановлення чинників подолання негативних наслідків їх дії.

Метою роботи є розробка комплексного рішення екологічної задачі контролю рівня безпеки на території зберігання хімічних рідинних відходів завдяки впровадженню в моніторингову систему модельного експерименту ситуації «стан рідинних відходів – екосистеми довкілля». Для досягнення поставленої мети в роботі використано комплексне поєднання теоретичних засад системології дослідження та когнітивне моделювання. Надані модельні описи ситуації враховують не тільки контрольовані системи, але й процеси зміни в їх стані, вважаючи об'єктом контролю складну систему виду «відходи → процеси взаємодії надходжень зі складовими екосистем → стан екосистем». Використано інформаційно-програмне забезпечення для реалізації модельних процесів аналітичних і прогнозних оцінок статичної і динаміки взаємодії систем накопичення стоків та екосистем.

Отримані практичні результати реалізації пропозиції на прикладі моделювання та прогнозування станів рідинних відходів коксохімічного підприємства (КХП) фенольного заводу м. Торецьк за проектом науково-виробничого підприємства (НВП) «Інкор і Ко». *Ключові слова:* екологічна небезпека, хімічні рідинні відходи, системологія дослідження, графічні моделі, когнітивна карта, трансформація, інформаційно-програмне забезпечення.

Systemological model “liquid waste storage – environment” development for safety level control. Kozulia T., Sakun A.

Today liquid chemical waste storing still deals with problems while there are transformations in accumulator tanks and uncertain behaviour in the environment. So situation monitoring is very important at storage territories of industrial liquid wastes. Because of continuous monitoring absence we propose to implement monitoring system based on modelling of system research object «liquid waste state – liquid waste purification process – danger factors – environment ecosystems». The graphical cognitive model computationally models the situation in places close to industrial liquid waste accumulation and continuously identifies traits of territories ecological state changes. This allows to avoid ecological risks for natural-anthropogenic territories with available rapid forecasting information of negative environment influence factors behaviour and to determine forces to overcome negative consequences.

The aim is development of ecological problem complex solution for chemical liquid waste storage territory safety level control through implementing situation modelling experiment «liquid waste state–environment ecosystems» into monitoring system. The paper fully merges theoretical systemology research basis and cognitive modelling to achieve its aim. The given situation model descriptions account both controlled systems and their state change processes for controlled object of complicated system «wastes → ecosystem components and intake interaction processes → ecosystem state». Information software was used to implement model processes of analytical and forecast estimates of liquid waste and ecosystem interaction statics and dynamics.

Obtained practical results were proposed for implementation based on modelling and forecasting liquid waste state from by-product coke plant of phenol plant in Toretsk according to scientific production establishment «Incor and Co». *Key words:* ecological danger, chemical liquid waste, systemology research, graphical model, cognitive map, transformation, information software.

Постановка проблеми. Недотримання вимог екологічної безпеки у сфері виробництва пов'язано з застосуванням адміністративної та кримінальної відповідальності до суб'єктів господарської діяльності, які не забезпечують знешкодження відходів, що утворюються в результаті його діяльності. Науково-виробниче об'єднання ТОВ «Інкор та Ко» КХП «Фенольний

завод» – підприємство хімічної галузі, яке переробляло побічні продукти коксування кам'яного вугілля. Завод займався фенольною та нафталіновою сировиною, входив до «Метінвесту» і продавав 60% продукції на експорт. Остання юридична назва цього підприємства – ТОВ «НВО «Інкор та Ко» за даними Єдиного державного реєстру юридичних осіб, ФОП та громад-

ських формувань, з 1 грудня 2020 року ліквідована в результаті реорганізації; її правонаступник – ПрАТ «Авдіївський коксохімічний завод». Зараз у прифронтовому Торецьку промислові відстійники з мільйоном тонн відходів перебувають за декілька кілометрів від лінії розмежування [1, 2]. Шламовідстійники фенольного заводу 4-го класу небезпеки із 400 тисячами тонн карбонатної пульпи побудовані за технологією захисту ізолюючими матеріалами, щоб токсичні відходи не просочувалися в ґрунт. Упродовж 2014–2017 років тут були активні бойові дії, сюди прилітали снаряди та міни. Зафіксовано попадання у греблі цих відстійників. Дамби екстрено ремонтували. З того часу ніхто не перевіряв герметичність ізоляційного шару на дні та укосах шламовідстійників, моніторинг територій відсутній [2].

Актуальність дослідження. Для утилізації рідинних токсичних відходів за допомогою переробки, потрібно комплексне дослідження балансу всіх компонентів, що наповнюють конкретний шламовідстійник. Системного та всебічного вивчення стану довкілля на прифронтових територіях немає. У такому разі набувають актуальності системні підходи прийняття рішень, пов'язаних з теорією моделювання, інформації і методами прогнозування. Пропонується при вирішенні завдань екобезпеки у ситуації невизначеності, відсутності постійної інформованості щодо стану небезпечних об'єктів застосувати теоретичні засади системології досліджень і когнітивного підходу вивчення складноструктурованих об'єктів. Таким чином, визначення ризик-факторів відбувається відповідно до системного уявлення виду «об'єкт (система) – навколишнє природне середовище (НПС)» [3–5].

У межах системології ураховується комплексний характер дослідження завдяки взаємній узгодженості структури та субстанції системи при її взаємодії із середовищем. Будову моделі об'єкта «система – навколишнє середовище» визначають як кооперацію систем станів і процесів на основі системного аналізу й синтезу або навпаки – системний аналіз і синтез на основі моделювання шляхом конструювання складних об'єктів, що пов'язано з детермінованим конкретним цільовим призначенням об'єкта дослідження або цільовим завданням із очікуваними результатами. Отже, інтерпретована в термінах конкретної науки системологія дозволяє розгляд об'єкта дослідження при моделюванні з різних позицій без втрати його цілісної й сутнісної змістовності як в статичній, так і динамічній щодо процесів. При відсутності моніторингової інформації це дозволить отримати зв'язок фіксованих явищ з цілісним уявленням про ситуацію.

Для комплексного вирішення питань поведінки з рідинними відходами пропонується використати графічне моделювання когнітивного підходу, що дозволяє навіть за невизначеністю вхідних даних мати відповіді щодо стану системи, її розвиток і прогноз стосовно факторів змін системи [6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналітичний огляд стану поведінки з хімічними рідинними відходами на даний час показав, що переважачим напрямом досліджень, прийнятих рішень є безпосереднє звернення до системи самих відходів і можливості зниження їх токсичності без порушення питань поведінки їх в екосистемах при надходженні в певні середовища, дії на певні складові довкілля за часом [7–10].

Зроблено висновок, що завдяки математичній теорії систем долається фрагментарність знань про об'єкт дослідження, а його поведінка контролюється зовнішніми та внутрішніми процесами та сприяє пошуку нових шляхів вирішення наукових і практичних завдань. Системологічний підхід визначається застосуванням знань міждисциплінарного змісту, що сприяє розв'язанню складних екологічних задач на рівні «стан – процес» [11–14].

Комплексне рішення завдань при дослідженні системних об'єктів виду «система дослідна – навколишнє середовище» загалом визначається при імітаційному моделюванні з застосуванням графічних моделей. Присутність невизначеності в інформаційному забезпеченні долається за рахунок використання когнітивного підходу [15–19].

Метою роботи є удосконалення контролю та управління безпекою процесів утилізації і зберігання рідинних відходів на прикладі виробництва коксохімічної продукції на основі комплексного поєднання системологічного моделювання складних об'єктів і когнітивного підходу розв'язку задач в умовах складноструктурованої ситуації. У роботі досліджені такі задачі:

1) аналіз існуючого проєктного рішення з утилізації рідинних відходів коксохімічного виробництва, оцінка відповідності поведінки з очищеними стоками вимогам екологічної безпеки;

2) впровадження модельного експерименту ситуації «стан рідинних відходів – екосистема довкілля» на основі комплексного поєднання теоретичних засад системології дослідження та когнітивного моделювання, що дозволяє працювати з слабкоструктурованими системами і в умовах невизначеності стану природно-техногенних об'єктів;

3) застосування інформаційно-програмного забезпечення для реалізації системи контролю рівня екологічної безпеки процесу утилізації рідинних небезпечних хімічних відходів, у тому числі коксохімічних виробництв.

Новизна. Вирішення проблемних завдань екологічної безпеки в умовах недостатньої моніторингової інформованості завдяки поєднанню засобів моделювання об'єкта дослідження як складноструктурованої системи та когнітивного підходу з визначення та прогнозування стану таких систем.

Результати дослідження та обговорення. Для очищення стічних вод на підприємствах передбачені такі організаційно-технічні рішення:

– очищення стічних вод на заводських очисних спорудах;

– подвійне очищення стічних вод – на заводських, а потім на міських очисних спорудах з подальшим скидом у водойми;

– безперервне очищення промислових вод і розчинів на локальних очисних спорудах протягом певного часу з передачею на регенерацію для повернення в оборот; за умови її неможливості – усереднення та зберігання утилізованих певним чином рідинних відходів в шламонакопичувачах [20, 21].

Одним з хімічних засобів обробки рідинних відходів є нейтралізація стоків коксохімічних, гальванічних та інших виробництв, де застосовуються кислоти та луги. Нейтралізація здійснюється шляхом змішування кислих стічних вод з лугами, додаванням до стічних вод реагентів (вапно, карбонати кальцію та магнію, аміак тощо) або фільтруванням через нейтралізуючі матеріали (вапно, доломіт, магнезит, крейда, вапняк та ін.).

Так, на підприємстві фенольний завод ТОВ «НВО «Інкор та Ко» завдяки застосуванню нейтралізації кислих стоків були створені умови ліквідації

шламонакопичувача 1-ї черги. Нейтралізація стоків здійснюється в шламонакопичувачі 2-ї черги [22]. Шлам реагує із сірчаною кислотою, що входить до складу кислих стоків і нейтралізує останні. Після 3 годин витримки починається операція засипки траншеї з нейтралізованими стоками одночасно з розробкою нової траншеї. У кінці чергового циклу за допомогою бульдозера згідно з планом вирівнюють поверхню шламонакопичувача 2-ї черги, а потім виконується наступний цикл.

Перебіг реакцій за участю сірчаної кислоти, фенолів не є остаточним і досконалим засобом запобігання екологічних ризиків, тому необхідною є автоматизація контролю безпеки та запровадження інформаційних технологій оперативного пошуку ефективних технологічних рішень.

У ході досліджень за початковими даними вхідних параметрів відповідно до структурованого інформаційно-методичного забезпечення (ІМЗ) аналізу з оцінки системних об'єктів з метою управління їх якістю для оперативної підтримки прийняття рішень (ППР) запропоновано алгоритм реалізації ІМЗ. У структурі дослідження передбачено викори-

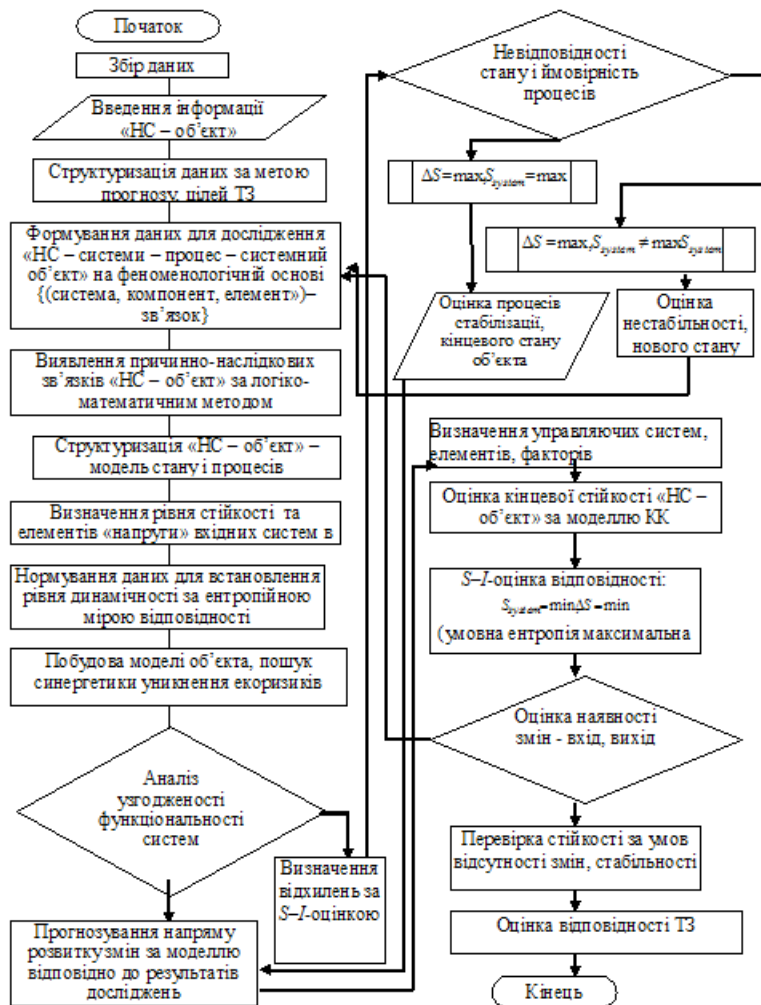


Рис. 1. Схема алгоритму з комплексного аналізу стану системного об'єкта

стання моделі складової «система – процес – об’єкт», встановлення її стану відповідно до побудованої графічної моделі – когнітивної карти (КК), встановлення неконтрольованих процесів через ентропійне навантаження на систему як імовірність змін на вході і виході параметрів стану ($S_{system}, \Delta S$) (рис. 1).

Складові аналітично-обчислювальні операції ІМЗ проводяться для оцінки відповідності для будь-якої системи. У межах аналізу системного об’єкта і для стаціонарних, і для динамічних умов стан описується певною функцією, зміни якої вказують на наближення до певної точки гомеостатичних відносин з НС, встановивши фактори вагомості у дестабілізації ситуації в системі «об’єкт – НПС» і «система об’єкта – внутрішнє об’єктне середовище». Взаємодія між системами як множина X і множина Y у відносно вимог до простору їх існування $X \times Y$ реалізується на множині можливих пар U при $a \in X$ для тих $y \in Y_a$ за умови $(a, y) \in U$, умовна ентропія визначається рівнянням

$$S(y|a) = \log_2 N(Y_a), \quad (1)$$

де $N(Y_a)$ – число елементів множини Y_a .

Інформація про стан системи в x відносно даних про y має вигляд

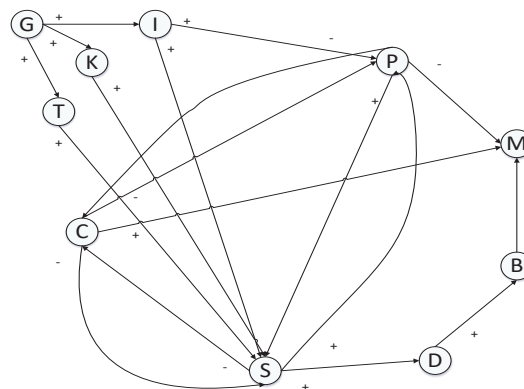
$$I(x:y) = S(y) - S(y|x). \quad (2)$$

Математична формалізація вхідної інформації для аналізу та досліджень динамічних і статичних систем і процесів, що відбуваються в них, реалізовані відповідно до алгоритмічної схеми ІМЗ (див. рис. 1) [23].

Для моделювання та аналізу характеру хімічного забруднення екосистем довкілля при недостатній герметичності шламонакопичувачів рідинних коксохімічних відходів розроблена когнітивна карта G1 (рис. 2). Це дозволить надати опис загального стану «система рідинних відходів – міграція хімічних речовин між компонентами НПС – вплив відходів на елементи екосистем» на основі зміни значень вершин за імпульсним режимом:

$$x(k) = x(0) + p(0)(E + A + A^2 + \dots + A^{k-1}), \quad (3)$$

де $x(0)$ – вектор значень вершин орграфу до додання системі початкового імпульсу; $p(0)$ – вектор величин початкових змін значень вершин (початковий імпульс); $x(k)$ – вектор значень вершин після k кроків застосування імпульсу відповідного значення і напрямку дії; A – матриця суміжності вершин, складена з вагових коефіцієнтів орграфу, для системи з N вершин при $x(k) \in R^N, p(0) \in R^N, A$ – матриця розміру $N \times N$.



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

Рис. 2. Когнітивна карта G1 «Вплив рідинних відходів на об’єкти довкілля»

Для визначення стану в системі «рідинні відходи – об’єкти НПС» розглядається матриця суміжності орграфу (P, M, C, S, D, B, G, I, K, T) знакової когнітивної карти, до якої застосовують імпульсний режим [15–19]:

$$= \begin{pmatrix} 0 & -1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (4)$$

Тенденцію змін в системі розглянуто відповідно до відгуків в елементах навколишньої середовища за результатами прогнозування на 3 роки. Імпульсний режим проводять за умови, що всі імпульси, які активізують вершини, дорівнюють одиницям. Розрахунки проведені в MathCad13 (рис. 3):

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

Рис. 3. Розрахунки матриць A^2, A^3

амонію та кальцію, вуглекислого газу навантаження на навколишнє середовище знижується в середньому на 15% за оцінкою роботи з когнітивною моделлю.

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані позитивні результати застосування технології комп'ютерного моделювання

ситуації «система рідинних відходів – вплив відходів на елементи екосистем» та надання до нього програмного додатка для автоматизації контролю за результатами нейтралізації реакційно-активних складових рідинних відходів на шламонакопичувачах у місті Торецьк можуть бути поширені у виробничій практиці коксохімічних підприємств.

Література

1. Три бомби в одну точку: ВС РФ ударили ФАБ-500 по фенольному заводу в Нью-Йорку. URL : <https://focus.ua/voennye-novosti/657072-tri-bomby-v-odnu-tochku-vs-rf-udarili-fab-500-po-fenolnomu-zavodu-v-nyu-yorke-video>
2. ООО НПО ИНКОР И КО. Прісна вода Донеччини – під загрозою отруєння відходами з відстійників. URL: <https://freeradio.com.ua/ru/presnaia-voda-donetchyny-pod-uhrozoi-otravleniya-otkhodami-uz-otstoinykov-kak-ee-zashchyschait/>
3. Fuenmayor R., López-Garay H. The Scene for Interpretive Systemology. *Systems Practice*. Vol. 4. № 5, 1991. P. 1–17. URL : http://conocimientolibre.cenditel.gob.ve/files/2014/09/fuenmayor_garay_scene.pdf
4. Kozulia T., Kozulia M., Didmanidze I. Comprehensive study of the systemic formation «object–environment» safety state. *Technogenic and Ecological Safety*. 7(1/2020), P. 3–12.
5. Kozulia Tatiana, Kozulia Mariia. Methodical bases of information support for complex analysis of system objects difficult / weakly structured. *Modern Problems Of Computer Science And IT-Education : collective monograph* / [editorial board K. Melnyk, O. Shmatko]. Vienna : Premier Publishing s.r.o., 2020. P 43–64.
6. Gorelova G.V. Cognitive modelling as the instrument in the course of knowledge of large system. *International Journal "Information Theories and Applications"*, 2011. Vol. 18. № 2. 3. 172–182. URL : <http://www.ithea.org/fis/IJITA%202.pdf>
7. Галкіна О.П., Дегтяр М.В. Технології очищення фенольних стічних вод. *Екологічні науки* № 1(24). Т. 2. С. 32–36.
8. ReDrop™ Wastewater Solutions. A liquid waste partnership that offers you solid advantages. URL: <https://www.reworldwaste.com/what-we-do/wastewater-treatment>
9. Czekala W., Drozdowski J., Łabiak P. Modern Technologies for Waste Management: A Review. *Applied Sciences*. 2023. 13(15). 8847. 14 p. URL : <https://doi.org/10.3390/app13158847>.
10. Хавікова К.Є., Іванченко А. В. Впровадження технології геотекстильних контейнерів geotube на коксохімічних підприємствах. *Вісник ХНТУ. Інженерні науки*. 2023. № 2(85). С. 99–105. URL : <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.2.13>
11. Nikiforova A. A. The systems approach. *Encyclopedia of Knowledge Organization (IEKO)*. 2022. 25 p. URL : https://www.researchgate.net/publication/359209423_The_systems_approach.
12. Jenyns D. SYSTEMology: Create time, reduce errors and scale your profits with proven business systems. Kindle Edition. 2020. 219 p. URL : <https://www.amazon.com/SYSTEMology-Create-profits-business-systems-ebook/dp/B08CDY993G>
13. Ramakrishna Y., Srivastava B. Strategies for Environmentally Responsible Supply Chain and Production Management. IGI Global USA, 2024. 309 p. DOI: 10.4018/979-8-3693-0669-7
14. 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. URL: <https://vant.kipt.kharkov.ua/TABFRAME.html>
15. Gorelova G. V. Cognitive Modeling of Complex Systems: State and Prospects. *System Analysis in Engineering and Control*. SAEC 2021. Lecture Notes in Networks and Systems. Vol 442. pp 212–224. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-98832-6_19
16. 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: <https://doi.org/10.3390/math11204369>
17. Gorelova G. 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>
18. 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>
19. 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>
20. Chemical Waste, Sustainable Practices, Waste Disposal. May 30, 2023. URL: <https://thirdview.info/2023/05/30/5-strategies-for-reducing-the-release-of-chemical-wastes-from-your-business/>
21. 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: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824320-6.00001-0>, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128243206000010?via%3Dihub>
22. Оцінка впливу на довкілля (ОВНС) місць видалення відходів ТОВ НВО «Інкор та Ко». – К. : Міністерство екології України, 2003. – 300 с.
23. Козуля Т.В., Козуля М. М. Інформаційно-методичні основи підтримки прийняття рішень для комплексного дослідження системних об'єктів : монографія. Харків : НТУ «ХПІ», 2024. – 231 с. URL : <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/79823>