

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

На правах рукопису

КОЗУЛЯ МАРІЯ МИХАЙЛІВНА

УДК 504.7.064.3:614

КОМПЛЕКСНА ІНФОРМАЦІЙНО-СИСТЕМНА ОЦІНКА РІВНЯ
ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ СКЛАДНИХ ОБ'ЄКТІВ

21.06.01 – екологічна безпека

Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник
Шаронова Наталія Валеріївна
доктор технічних наук, професор

Харків – 2017

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень	4
Вступ.....	6
Розділ 1 Характеристика методологічного забезпечення системи оцінки рівня екологічної безпеки складних об'єктів	13
1.1 Огляд моделей й методів в системі підтримки прийняття екологічних рішень для об'єкта «система – навколишнє середовище»	13
1.2 Аналіз розвитку інформаційних технологій з розробки методичного забезпечення оцінки рівня екологічної безпеки	23
1.3 Дослідження підходів з розробки аналітичних систем в області аналізу стану екологічної безпеки	29
1.4 Постановка задач дослідження з оцінки рівня екологічної безпеки складних систем.....	35
Розділ 2 Обґрунтування методологічних основ системних досліджень з оцінки рівня екологічної безпеки.....	37
2.1 Характеристика методів дослідження стану екобезпеки «система – навколишнє середовище», розробка баз даних з оцінки екологічної якості.....	37
2.2 Використання теорії ентропії і синергетики для ідентифікації стану систем і знань для оцінки рівня екологічної безпеки	48
2.3 Застосування об'єктивних засобів системного аналізу складних систем у формуванні баз знань з оцінки рівня екологічної безпеки	64
Розділ 3 Формування інформаційно-системної оцінки рівня екологічної безпеки складних об'єктів	70
3.1 Обґрунтування структури моделі системного об'єкта при комплексному дослідженні та оцінці рівня екологічної безпеки.....	70
3.2 Оцінка рівня екологічної безпеки складних систем за ентропійно-інформаційним підходом	79
3.3 Розробка ентропійно-інформаційної оцінки екологічного стану систем в умовах невизначеності.....	91

Розділ 4 Застосування комплексної інформаційно-системної оцінки рівня екологічної безпеки у дослідженні складних об'єктів	118
4.1 Визначення програмного та інформаційного забезпечення оцінки рівня екологічної безпеки складних об'єктів.....	118
4.2 Структура інформаційного забезпечення ентропійно-компараторної оцінки рівня екологічної безпеки складних об'єктів.....	124
4.3 Практична реалізація комплексу інформаційно-системного оцінювання рівня екологічної безпеки природно-техногенних об'єктів	130
Висновки	144
Список використаних джерел.....	146
Додаток А Комплексне дослідження оцінки якості ґрунтів та стану здоров'я.....	165
Додаток Б Код програмної реалізації оцінки рівня безпеки стану ґрунтів, забруднених викидами важких металів, і рівня здоров'я населення.....	169
Додаток В Код програмної реалізації оцінки стану здоров'я населення	177
Додаток Г Розрахункові дані кінетики осаду	181
Додаток Д Код програмної реалізації оперативного управління безпекою.....	183
Додаток Ж Акт впровадження результатів дисертаційної роботи у науково-проектні роботи ДП «УкрНТЦ «Енергосталь»	187
Додаток З Акт впровадження результатів дисертаційної роботи у роботу науково-дослідної лабораторії Харківського національного медичного університету.....	188
Додаток К Акт впровадження результатів дисертаційної роботи до навчального процесу в НТУ «ХП»	189

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

DR	– Data Replication, тиражування даних
GPRS	– General Packet Radio Service
HTML	– Hypertext Mark-up Language
HTTP	– Hypertext Transport (or Transfer) Protocol
J2EE	– Java 2 Enterprise Edition
JSP	– Java Server Pages
SQL	– Structured Query Language
XML	– Extensible Markup Language
XSLT	– Extensible Stylesheet Language Transformation
БД	– база даних
БЗ	– база знань
ВМ	– важкі метали
ГДВ	– гранично допустимий викид
ГДС	– гранично допустимий скид
ДДНФ	– досконала диз’юнктивна форма
ДКНФ	– досконала кон’юнктивна форма
ЕС	– експертна система
ІТ ЕАППР	– інтелектуальна інформаційна технологія експертно-аналітичної підтримки прийняття рішень
ІСТ	– інформаційно-сигнатурна технологія
КЕМ	– корпоративний екологічний менеджмент
КЕС	– комплексна оцінка екологічності систем
МСУСД	– мобільна система управління станом довкілля
НПС	– навколишнє природне середовище
НС	– навколишнє середовище
ОЗ	– область запитів
ОПД	– опція просторових даних
ОПР	– особа, що приймає рішення

ПЗ	– програмне забезпечення
ПН	– потенціал небезпеки
ПР	– прийняття рішень
ПРП	– програма «розв’язувача проблем»
СГП	– систем глобального положення
СКБД	– система керування базами даних
СОКБД	– система об’єкта керування базами даних
СППР	– система підтримки прийняття рішення
СР	– сталий розвиток
ТЕС	– теплові електростанції
A_w	– оператор усереднення – перехід стохастичних функцій у детерміновані (перехід системи у новий стаціонарний стан, самоорганізація)
D_w	– детермінований оператор, який відповідає за функцію виходу
$I(\xi \eta)$	– кількість інформації в ξ відносно η
$K(y x)$	– умовна ентропія Колмогорова об’єкта y при відомому об’єкті x , що є основою для визначення поняття «кількість інформації»
$MS(\xi \eta)$	– математичне очікування умовної ентропії при змінній ξ
p_{ij}	– сумісний розподіл ймовірностей за умови $P\{\xi = x_i, \eta = y_j\} = p_{ij}$
q_w	– імовірність появи спостережуваних станів
$S(\xi \eta)$	– умовна ентропія стану об’єкта η при стані об’єкта $\xi = x$
$S(\xi)$	– ентропія стану ξ системи
S_w	– ентропія системи спостережень з урахуванням зовнішніх станів
ΔS	– зміни ентропії стану системи

ВСТУП

Актуальність теми. Техногенне навантаження на навколишнє природно-соціальне середовище в Україні в кілька разів перевищує відповідні показники в розвинутих країнах світу, що ставить завдання запровадження високоефективної системи контролю екологічної безпеки об'єктів довкілля, комплексних систем моніторингу якості природно-техногенних територій, розробки інформаційних баз для ідентифікації екологічного стану територій держави.

Нестійкий стан техногенно-навантажених об'єктів призводить до якісних перетворень, змін і перебудов, що потребує своєчасного виявлення на основі комплексного оцінювання стану «система – навколишнє середовище (НС)», аналізу відповідності прийнятному рівню безпеки екологічних наслідків функціонування систем для запобігання небезпечних ситуацій. Особливе значення у таких дослідженнях набуває інформаційна компонента, яка враховує якісні характеристики систем, кількісні оцінки їх взаємодії з навколишнім середовищем, дозволяє вирішувати проблемні завдання з оцінки рівня екологічної безпеки складних об'єктів різного рівня організації на основі розвитку систем комп'ютерно-програмного забезпечення обробки даних екологічних досліджень відповідно до теорії системного аналізу і методів надання знань у галузі сучасних еколого-соціально-економічних досліджень.

У такому разі актуальним є запровадження методології оцінки рівня екобезпеки складних об'єктів на базі інформаційно-методичного забезпечення комплексного дослідження стану системних утворень, що включає методи системного аналізу, синергетики, теорії інформації та моделювання слабоструктурованих систем із застосуванням функції інформаційної ентропії. Теоретико-прикладна основа цих екологічних досліджень заснована на науково-теоретичних роботах таких вітчизняних і зарубіжних науковців: І.Р. Пригожина [1], Є.І. Кучеренко [2], Н.В. Караєвої, Л.О. Левченко [3, 4], Г.А. Кучаковської [5], Р.К. Ahluwalia [6], А.К. Nema, S.K. Gupta [7, 8], L. Boltzmann [9], А.Б. Качинського [10] та ін.

На основі зазначеного вище можна стверджувати, що розробка методичної основи комплексної інформаційно-системної оцінки стану екобезпеки системних об'єктів є актуальною і необхідною для підвищення рівня екологічної якості довкілля в умовах економічного зростання і потреб збереження природних систем.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась на кафедрі інтелектуальних комп'ютерних систем в рамках державних замовлень на науково-технічні праці згідно наукових напрямів Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» у межах планів держбюджетної НДР МОН України: «Розробка математичних моделей та методів розв'язання задач інтелектуальної обробки інформації» (ДР № 0108U003926), сумісного проекту ДП «УкрНТЦ Енергосталь» і ХМУ «Обґрунтування концепції управління поведження відходами з оцінкою ризику здоров'ю населення в басейні міжрегіонального джерела водопостачання р. С. Донець» (ДР 0110 U001804). Практичні дослідження роботи пов'язані з виконанням господарської договірної науково-дослідної роботи з ДП УкрНТЦ «Енергосталь» за темами «Переробка зношених автомобільних шин методом термохімічної деструкції», «Розробка ТЕО з організації системи повернення води господарчо-побутових стоків з метою їх використання у виробничому водопостачанні» (лист № 1-01-11336 від 13.11.2013), розв'язанням окремих розрахункових задач за темою «Модуль очистки шламових вод» у межах наукового співробітництва на 2014–2015 рр. з ООВ «Научно-технический центр «ЭКОМАШ» (№ 444 – 2014 від 04.08.2014).

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є визначення комплексної інформаційно-системної оцінки екологічної безпеки стану складних об'єктів («система – НС») на основі розробки інформаційно-методичного забезпечення для системи екологічного управління.

Відповідно до зазначеної мети поставлено і вирішено такі теоретично-

прикладні завдання:

1) проаналізувати сучасні підходи з оцінки екологічної якості природно-техногенних об'єктів, моделей та методів визначення рівня екологічної безпеки складних систем; сформулювати основні вимоги до інформаційного забезпечення складних систем;

2) визначити основні підходи до розв'язання задач оцінки рівня екологічної безпеки на основі запровадження математичних методів моделювання, аналізу складних об'єктів відповідно до положень теорії ентропії та інформації;

3) обґрунтувати структуру комплексної системи оцінювання рівня екологічної безпеки природно-техногенних об'єктів в умовах невизначеності виду «(система – навколишнє середовище) – зміни системи – процес – стан системи» на основі використання ентропійної функції стану систем, оцінки перебігу процесів у них і взаємодії «система – НС»;

4) розробити математично-інформаційне забезпечення оцінки екобезпеки складних об'єктів з дослідження рівня екологічної якості на основі створених знання-орієнтованих інформаційних систем;

5) впровадити результати дисертаційної роботи у реальні об'єкти, організаційно-технічні системи в умовах невизначеності інформації на основі застосування розробленого інформаційно-методичного забезпечення для системи екологічного управління.

Об'єкт дослідження – методи оцінки рівня екологічної безпеки стану складної системи «об'єкт – навколишнє середовище».

Предметом дослідження є інформаційно-системна оцінка стану рівня екологічної безпеки складних об'єктів на основі розробки комплексного методичного та інформаційно-програмного забезпечення у вигляді знання-орієнтованих баз екологічних даних.

Методи дослідження засновані на комплексному використанні підходів, моделей та методів системного аналізу складних об'єктів, статистичного аналізу моніторингових даних, теорії самоорганізації систем – синергетики,

теорії ентропії, теоретико-практичних основ розробки екологічних знання-орієнтованих баз даних (програмний продукт для персонального комп'ютеру у середовищі Microsoft Visual Studio 2005 мовою C#, розробка для мобільного пристрою на операційній системі Android у середовищі Eclipse with Android Development Tools мовою Java).

Наукова новизна одержаних результатів полягає в теоретично-прикладному обґрунтуванні системи інформаційно-методичного забезпечення комплексної оцінки рівня екологічної безпеки складних об'єктів на основі розробки знання-орієнтованих інформаційних систем, що дозволило отримати такі наукові результати:

– вперше надана комплексна система методів оцінки відповідності стану і функціональних характеристик об'єктів «система – навколишнє середовище» вимогам екологічної безпеки на основі застосування положень теорії інформаційної ентропії, синергетики, інформації;

– вперше запропонована інформаційно-аналітична система оцінки рівня екологічної безпеки для комплексного дослідження «(система – навколишнє середовище) – зміни – процес – стан системи» на єдиній математичній базі обробки моніторингових даних;

– удосконалено методичні засоби моделювання різномірних природно-техногенних систем на основі використання положень теорії інформаційної ентропії, методу компараторної ідентифікації для оцінки ступеня їх відповідності вимогам екологічної безпеки;

– удосконалено інформаційно-методичне забезпечення комплексного оцінювання рівня екологічної безпеки системних об'єктів в умовах невизначеності при застосуванні положень теорії інформаційної ентропії;

– отримали подальшого розвитку засоби алгоритмічного та інформаційно-програмного забезпечення систем комплексної оцінки рівня екологічної безпеки «об'єкт – НС» в умовах невизначеності та ризику на основі розробки знання-орієнтованих баз екологічних даних.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено

інформаційно-методичне та алгоритмічне забезпечення з комплексної оцінки рівня екологічної безпеки природно-техногенних об'єктів.

Розроблено інформаційно-програмний комплекс для дослідження питань екологічної безпеки в умовах невизначеності, що дозволило надати подальший розвиток системам обробки інформації моніторингових систем для визначення екологічного стану природно-техногенних комплексів на феноменологічній основі завдяки застосуванню знання-орієнтованих баз даних для урегулювання еколого-соціально-економічних питань на рівні макро-, меза- і мікродосліджень.

За наданим інформаційно-алгоритмічним забезпеченням комплексної оцінки екобезпеки проведені екологічні дослідження складних систем за темами: «Переробка зношених автомобільних шин методом термохімічної деструкції», «Розробка ТЕО з організації системи повернення води господарчо-побутових стоків з метою їх використання у виробничому водопостачанні» (акт впровадження від 28.12.2016).

За результатами дисертаційної роботи запропоновано комплексну аналітичну систему оцінювання стану екологічної якості об'єктів на основі послідовного розв'язання невизначеності у вигляді «(система – навколишнє середовище) – зміни системи – процес – стан системи» з використанням ентропійної функції відповідності для аналізу стану і перебігу процесів; розроблено алгоритмічне забезпечення реалізації методів з комплексної оцінки якості територіальних об'єктів з ідентифікацією рівня здоров'я населення як узагальненого критерію екологічної безпеки функціонування еколого-соціально-економічних систем (акт впровадження від 25.11.2016).

Результати дисертаційної роботи щодо досліджень складних систем, математичного моделювання в умовах невизначеності та сучасних розробок інформаційно-методичного забезпечення робіт з еколого-соціально-економічного аналізу територіальних і виробничих об'єктів впроваджено на кафедрі інтелектуальних комп'ютерних систем Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» при викладанні дисциплін

«Основи програмування», «Програмування», «Основи обробки електронної інформації», «Основи інформатики та комп'ютерної техніки» (акт впровадження від 11.01.2017).

Особистий внесок здобувача: У наукових працях за темою дисертації, опублікованих у співавторстві, особистий внесок здобувача полягає у такому:

- удосконаленні розв'язання задач невизначеності за імовірнісно-ентропійним підходом [11–14];
- використанні ентропійної функції як міри рівня відповідності стану екологічної безпеки системи та процесів у ній [15–19];
- встановленні напрямів удосконалення методів оцінки рівня екобезпеки природно-техногенних систем в умовах невизначеності та ризику [20–25];
- визначенні комплексної аналітичної системи оцінки рівня безпеки складних систем і розробки математично-алгоритмічного забезпечення екологічних досліджень природно-техногенних об'єктів [26–32];
- впровадженні компараторної ідентифікації для комплексної оцінки рівня екологічної безпеки об'єктів [33–36];
- впровадженні в область аналізу рівня екобезпеки складних систем вперше запропонованої технології знання-орієнтованих баз даних [37–41];
- розробленні інформаційно-програмного продукту для комплексної інформаційно-системної оцінки рівня екобезпеки складних систем [42–46];
- застосуванні на практиці розробленого інформаційно-програмного продукту для комплексної оцінки рівня екологічної безпеки складних об'єктів на основі запропонованого методичного забезпечення [19, 43–51].

Апробація результатів досліджень. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на таких конференціях: Міжнародні науково-технічні конференції «Системный анализ и информационные технологии (SAIT)» (Київ, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016); Міжнародна науково-практична конференція «Теоретичні та прикладні аспекти побудови програмних систем» (ТАAPSD'2015) (Київ, 2015); Міжнародні науково-практичні конференції «Інформаційні технології: наука, техніка,

технологія, освіта, здоров'я» (Харків, 2012, 2015, 2016); Міжнародні науково-практичні конференції «Еколого-правові та економічні аспекти екологічної безпеки регіонів» (Харків 2012, 2013); Міжнародна наукова конференція «Економіка для екології» (Суми 2012); Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2012); Всеукраїнські науково-практичні конференції «Інтелектуальні системи та прикладна лінгвістика» (Харків 2015, 2016); Information technologies in information business conference (ІТІВ) (Харків 2015); III Всеросійська наукової конференції та школи молодих вчених «Системы обеспечения техносферной безопасности» (Таганрог 2016).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 41 наукова праця: колективна монографія, 20 статей у спеціалізованих виданнях, що входять до переліку МОН України та наукометричних баз даних, 1 стаття у виданні, що входить до баз SCOPUS, 3 статті у зарубіжних виданнях; 17 тез доповідей на міжнародних науково-практичних конференціях, з яких 1 у зарубіжних наукових виданнях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота викладена на 190 сторінках, у тому числі основний текст на 164 сторінках, ілюструється 4 таблицями, 50 рисунками, містить перелік умовних скорочень, складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 165 найменувань на 19 сторінках, 8 додатків на 25 сторінках.

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ ОЦІНКИ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ СКЛАДНИХ ОБ'ЄКТІВ

1.1 Огляд моделей й методів в системі підтримки прийняття екологічних рішень для об'єкта «система – навколишнє середовище»

Стан складних систем загалом характеризується невизначеністю ситуації, ризиком прийняття неефективних рішень. Для уникнення цих проблемних питань необхідним і доцільним є комплексний аналіз та централізоване управління екологічною безпекою. Для автоматизації процесів, пов'язаних з регулюванням безпеки соціально-еколого-економічних систем, використовують методи та моделі, які дозволяють оцінити інформацію відповідного рівня невизначеності. Такі системи певним чином оптимізують час обробки та аналізу нових й існуючих даних про систему [26, 27, 33].

Для оптимізації часу обробки та аналізу даних застосовують аналітичні системи підтримки прийняття екологічних рішень, що надають результати обробки інформації та способи подальших дій, спрямованих на розв'язання проблемних задач управління якістю об'єктів (рис. 1.1).

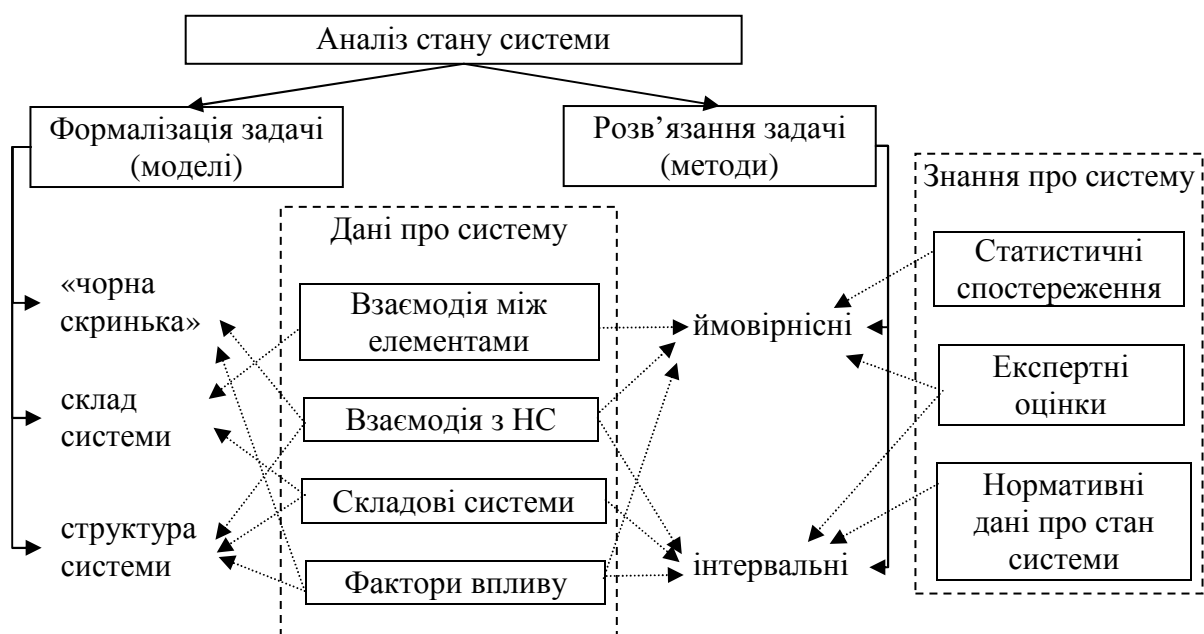


Рисунок 1.1 – Структурна схема системного аналізу складних об'єктів

Для формалізації сукупності характеристик об'єктів та відношень «система – НС», інтерпретації моніторингових даних, аналізу необхідних розрахункових параметрів необхідним є визначення моделі дослідженої системи [52, 53].

У системному аналізі моделі використовуються для опису досліджуваної системи, об'єктів або взаємодії «об'єкт – система – навколишнє середовище (НС)» та відповідного подання їх у придатному для аналізу вигляді.

Існують різні види моделей опису структури чи характеристики системи, а саме *модель «чорна скринька», модель складу та модель структури системи.*

У моделях типу «чорна скринька» досліджена система визначається без деталізації її структури, описуються тільки основні складові елементи та взаємодія між ними в системі.

Встановлення відповідності природи дослідження систем до конкретної предметної області знань відбувається на основі звернення до інтелектуальної бази даних, що дозволяє деталізувати структуру системи і встановити вагомні чинники її екологічної безпеки (рис. 1.2) [2].

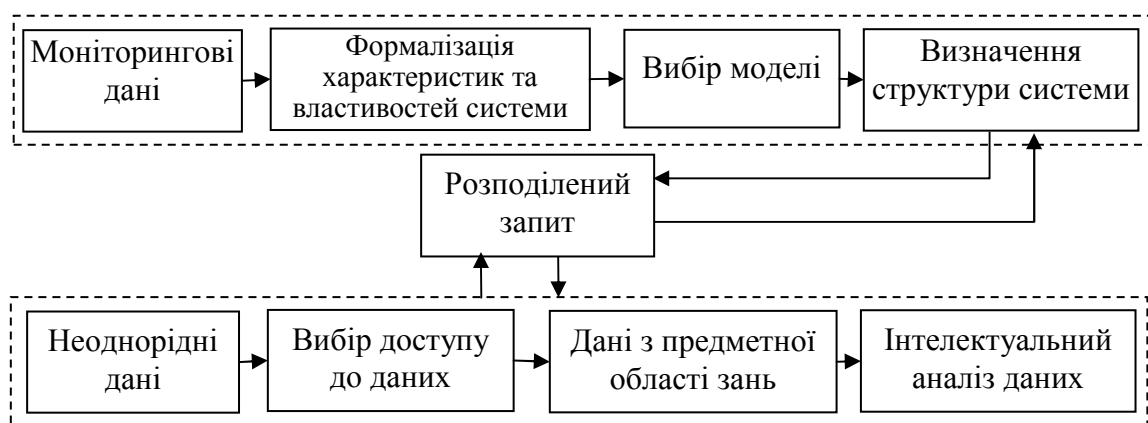
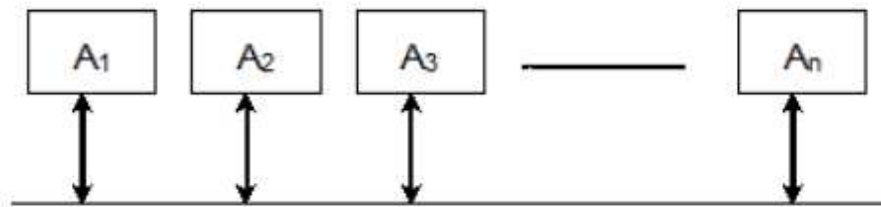


Рисунок 1.2 – Структура аналізу предметної області

За результатами аналізу виконуваних робіт з дослідження складних об'єктів формуються мультиагентні системи (рис. 1.3). Агентами позначають програму та координатора системи [54]. Недоліком такого виду формалізації дослідження системи є відсутність необхідної інформативної складової для аналізу, чи розуміння взаємодії «об'єкт – система – НС».



$A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ – незалежні агенти системи
Рисунок 1.3 – Структура мультиагентної системи

Таким чином, за характеристикою моделі «чорна скринька» визначено, що такий тип моделей надає загальну інформацію про систему без врахування внутрішніх характеристик складових об'єкта дослідження, його взаємодії з зовнішнім середовищем, особливостей поведінки об'єкта відповідно до зв'язку їх з суміжними системами/об'єктами.

Моделі складу системи базуються на детальному формуванні опису структури складових об'єкта дослідження та взаємозв'язків між ними [55].

Для формування моделі бази знань типу «склад системи» в основу покладено нечіткі бінарні відношення. Функція належності $\mu_q(X, Y)$ нечіткого бінарного відношення визначає залежність між $x \in X$ і $y \in Y$, виходячи з чого кожне вхідне управління $x_i \in X$ описується нечіткою реакцією системи (рис. 1.5) [5]. Ця модель не дозволяє визначити особливості взаємодії «система – навколишнє середовище», а тільки надає структуру відношень вхідної інформації, засоби її обробки та результат оцінки даних.

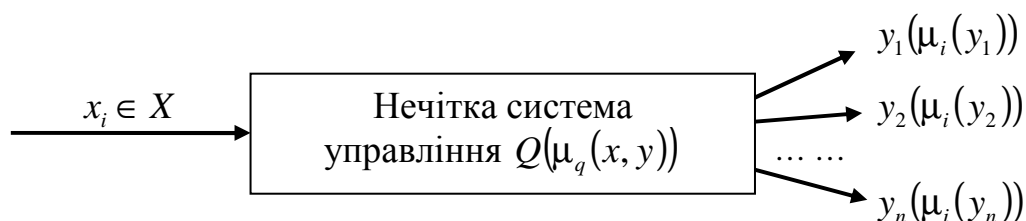


Рисунок 1.5 – Модель бази знань для нечіткого відношення

Моделі складу системи надають можливість детального визначення внутрішніх змін в системі, але недоліком їх слід вважати відсутність врахування впливу навколишнього середовища на стан системи.

За основу *моделей структур системи* взято математичний апарат опису основних компонентів і взаємозв'язків між ними в межах досліджуваного об'єкта. Для формування таких моделей в інтелектуальних системах використовують онтологічний підхід, що базується на моделі:

$$O = \langle C, R, F \rangle,$$

де C – поняття;

R – відношення між поняттями;

F – інтерпретація понять та відношень (аксіоми).

У межах цих моделей аксіоми, що використовуються для опису складних систем досліджуваних об'єктів, встановлюють семантичні обмеження для застосованої сукупності понять і відношень [56].

Дані види моделей для розв'язання задач прийняття рішень з управління ресурсами мають вигляд кортежу:

$$R = \langle A, U, \text{Пр}, U^* \rangle,$$

де A – множина варіантів управління для досягнення мети;

U – множина взаємодій, необхідних для дослідження мети;

Пр – оцінка переваг прийняття рішень;

U^* – вибраний на основі оцінки наслідків варіантів управління [57].

Моделі структури системи при такому математичному відображенні об'єктів дозволяють зменшити використання методів обробки отриманих знань завдяки адресному аналізу даних для наданого типу систем. Недоліком цих моделей є відсутність відображення та оцінки взаємодії «система – НС», «об'єкт – система». Тому для виявлення внутрішніх процесів та оцінки стану системи використовуються методи подання та представлення інформації у вигляді знань про систему [20, 52].

Для пошуку оптимальних рішень при розв'язанні складних задач стосовно взаємодії «об'єкт – навколишнє середовище» приймають до уваги ситуацію невизначеності. У такому разі при моделюванні складних систем і пошуку методів оцінки вхідної інформації розрізняють ймовірнісні (статистичні) та інтервальні типи невизначеностей [58].

В основі ймовірнісних методів розв'язання задач з невизначеністю покладені поняття об'єктивної та суб'єктивної ймовірності. Об'єктивна ймовірність використовується при аналізі великої кількості наданих спостережень, а суб'єктивна ймовірність застосовується при експертних оцінках. Значним недоліком цих методів є неможливість опису всіх видів невизначеностей, тому рекомендується перехід до статистичних інтервальних оцінок. Для узагальнення нечіткості отриманих знань про стан системи використовують положення інтервальної математики. Функція приналежності $\mu_B(x)$ задає інтервальну невизначеність системи та знання на інтервалі $[a, b]$:

$$\mu_B(x) = \begin{cases} 1, & x \in [a, b]; \\ 0, & x \notin [a, b]. \end{cases}$$

Таким чином, опис невизначеностей за допомогою нечітких множин дозволяє узагальнити в оцінці стану систем більше детальної інформації, врахувати і встановити зв'язки системи з НС в досліджених інтервалах [58].

Для діагностики стану багаторозмірних об'єктів, як регіональні системи обліку сталого розвитку в умовах невизначеності й багатокритеріальності вирішуваних завдань, використовуються методи Ларсена, Цукамото, Мамдані та Суджено засновані на теорії нечіткої логіки. Основними недоліками цих методів є складність реалізації, великий час розрахунку, низькі апроксимуючі властивості, складність інтерпретації вхідних параметрів нечіткої моделі та оцінка логічного виводу, громіздкі бази правил, необхідність розробки методу налаштування нечіткого регулятора [3].

Складні організаційно-технічні системи розглядаються та визначаються завдяки віднесенню їх до конкретної області знань [59]. В умовах регулювання

якості стану таких об'єктів постає задача формування безризикових рішень при невизначеності інформації. Для ситуації з невизначеним та нечітким характером вихідних даних необхідним є формування й ранжування граничних значень та інтегральних оцінок ефективності системи. Недоліком наданого алгоритмічного комплексу є залежність застосованих моделей та методів від граничних значень показників ефективності для розв'язання задачі [3, 59].

Для вирішення завдань параметричної оптимізації в умовах невизначеності вихідної інформації, наданої у вигляді інтервальних чисел і функцій, рекомендують використовувати методи теорії нечіткої логіки [4, 60]. Недоліком оптимізації параметрів таких даних є наявність відомих послідовних змінних, що не відповідає критерію невизначеності системи і ускладнює розв'язання завдань пошуку рішень.

Складність невизначених ситуацій обумовлена не тільки відсутністю знань про стан системи, її взаємодії з НС, а й ризиком отримання неправильного рішення, формування помилкової бази знань для управління. У процесі оцінки ризику загальноприйнятим є визначення «комбінації ймовірності, або частоти, виникнення певної небезпеки і величини конусів виникнення». Відповідно до стану об'єкта ризик ідентифікує небезпеку як «потенціал заподіяної шкоди» (рівень ризику), «властивість або того, що в певних обставинах може призвести до заподіяння шкоди» (ступінь ризику) [6].

У задачах оцінки екологічної якості природно-техногенних комплексів розглядається завдання поводження з відходами. У такому випадку ризик визначається комплексною оцінкою небезпеки для навколишнього середовища як заподіяна шкода для людини і живих систем довкілля [6].

У роботах А.К. Нема і С.К. Гупта [7, 8] запропоновано використати функцію управління ризиком для навколишнього середовища у відносному вираженні. Ризик визначено через функцію, що враховує залежність від кількості відходів, потенціалу небезпеки (ПН) відходів, ймовірності аварії, впливу на населення в разі аварії. Таке системне подання об'єкта дослідження визначається рівнянням:

$$TOR = Rt + Rs + n_R - p_R,$$

де TOR – бажаний рівень досягнення загального ризику;

Rt – ризик транспортації;

Rs – ризик місцезнаходження;

n_R – негативне відхилення від бажаного рівня загального ризику;

p_R – позитивне відхилення від бажаного рівня загального ризику.

Подібну складну систему дослідження небезпеки запропоновано визначати через загальну оцінку рейтингу для небезпечних відходів за допомогою таких змінних: екологічний ефект – займистість, реактивність, токсичність; комбінований потенційний ризик – канцерогенний ефект, токсичність, інфекційні характеристики, стійкість [6–8].

Для врахування небезпеки від кожного виду відходів пропонується застосовувати оцінку ризику у вигляді індексу, за яким відходи розділяють на категорії хронічних і гострих ризиків в залежності від рівня прояву їх характеристик: реактивності, стійкості в навколишньому середовищі, токсичності, займистості, зниження потенціалу, потенціалу мобільності надр, потенціалу бортового випуску небезпеки, потенціалу водної небезпеки, біоконцентрації, вибухонебезпечності, прямого контакту з шкірою [6].

Таким чином, ризик-моделі дозволяють врахувати деякі аспекти складних відношень «об'єкт – НС», але не надають інформації, що стосується знань про стан складних систем, взаємодіючих з НС.

Для дослідження системних об'єктів застосовується інтегральне оцінювання на основі природно-наукових і соціально-економічних баз знань, даних з метою розуміння та визначення інформації відповідно до таких трьох груп функцій, що забезпечують оцінку стану природного середовища за вимогами екологічної безпеки [15, 16, 28]:

– економічна – підтримка темпів використання природних ресурсів на певному рівні: відновних – не перевищення рівнів природного відтворення; невідновних – на рівні поступового їх заміщення відновними;

– екологічна – забезпечення (підтримка і регулювання) стійкого стану та функціонування екосистем;

– соціальна – створення умов підвищення рівня здоров'я населення і його підтримки на соціально гарантійному рівні.

Зміни у системі, взаємодіючої з НС, потребують не стільки кількісних характеристик її стану, скільки встановлення залежностей між вхідними даними за станом системи і вихідними за її наступним положенням, тому звертаються до функції, яка визначає міру невизначеності, відхилень, непорядкованості, а саме до ентропійної функції. Загалом прийнято використовувати декілька ентропійних залежностей, що надають оцінку стану систем, змін в них і перебігу процесів, які призводять до відповідних змін.

Для дослідження процесів, які відбуваються в окремих деталізованих елементах складної системи використовують термодинамічну ентропію. Зміни цієї функції стану системи в області нескінченно від'ємних значень вказує на перебіг процесів в напрямку реалізації незворотних властивостей, що наближає систему до стану рівноваги або значно віддаляє від неї. Функція термодинамічної ентропії S стану системи визначається за такими властивостями: нескінченно малою кількістю наданої системі теплоти δQ і за абсолютною температурою T (K°):

$$dS = \delta Q / T . \quad (1.1)$$

Ентропія не залежить від способу досягнення стану системи й визначається лише параметрами цього стану [9].

При розгляді множини мікростанів системи використовується статистична функція ентропії (Л.Е. Больцман, 1872) [9] з метою визначення імовірності отримання макроскопічної реалізації системи:

$$S = k \cdot \ln \Omega , \quad (1.2)$$

де k – коефіцієнт пропорційності, постійна Больцмана, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К;

Ω – число можливих мікростанів (способів), за допомогою яких можна скласти даний макроскопічний стан системи, що ототожнює число мікростанів системи за умови, що всі мікростани рівноймовірні.

За умови змін в системі при її взаємодії з оточуючим середовищем (системи об'єкта – внутрішнє середовище, НС – зовнішнє середовище) існує невизначеність з її кінцевим станом N за імовірними наслідками p_n (виходи), яка визначається як ентропія виду (Р. В. Л. Хартлі, 1928) [61]:

$$S = \log_2 N. \quad (1.3)$$

Для незалежних випадкових подій X з N вірогідними станами, описуваними ймовірностями p_n ($n = \overline{1, N}$), встановлюють середню ентропію, яка приймає такі значення:

- мінімальне для випадку, коли ймовірність одного із N станів дорівнює одиниці;
- максимальне при рівномірному розподілу імовірності реалізації станів для $n = \overline{1, N}$, $p_n = 1/N$;
- нулю для інших випадків.

Таким чином, ця середня характеристика ентропійної функції визначає рівень знання про стан системи і становить інформаційну ентропію (К.Е. Шеннон [62]):

$$S_x = -\sum_{n=1}^N p_n \cdot \log_2 p_n = -M[\log_2 p_n], \quad (1.4)$$

де M – оператор математичного очікування.

Величина ентропії відповідно до формули (1.4) за розрахунком приймає значення на інтервалі $[0, \log_2 N]$.

Для оцінки відповідності екологічним критеріям природних систем навколишнього середовища приймають мірою їх стійкості та упорядкованості

біологічну різноманітність екологічних співтовариств, яка визначається аналогічно статистичній ентропії за Шенноном (Р.Г. МакАртур, 1955) [63]:

$$S_x = -\sum_{s=1}^l \frac{N_i}{N} \cdot \ln \frac{N_i}{N}, \quad (1.5)$$

де N_i – чисельність i -ї популяції в угрупованні з l видів;

$$N = \sum_{s=1}^l N_i \text{ – сумарна чисельність досліджених особин.}$$

Відповідно до можливостей запозичення функції ентропії у системному аналізі запроваджено термодинамічний підхід за пропозицією І.Р. Пригожина до оцінки стану складних об'єктів [1]. Цей вид характеристики систем оперує до понять стійкості та дестабілізації за умови максимізації неупорядкованості, змін з досягненням точки біфуркації щодо вибору реалізації системи.

Таким чином, у плані методичного забезпечення дослідження складних об'єктів, визначення моделі «об'єкт – НС» для надання оцінки рівня екологічної безпеки розглядається можливість формування універсальної аналітичної системи з встановленням екологічної якості об'єкта будь-якої природи і складності, побудованої на ентропійно-інформаційному оцінюванні. Саме такий комплексний підхід до аналізу відповідності стану складних об'єктів вимогам екологічності/безпеки пропонується запровадити при розв'язанні задач сталого розвитку соціально-еколого-економічної системи.

Усі розглянуті моделі та методичні підходи з оцінювання якості систем є обмеженими через відсутність врахування стохастичності, випадковості, взаємодії самої системи з навколишнім середовищем. На даний час такі завдання розв'язуються в межах експертних оцінок і на основі відповідних математичних методів для отримання кінцевої інформації. Це вносить певний ризик у прийняття рішення, збільшує його суб'єктивну основу. Для зважених управлінських рішень вагомим є збільшення певного відсотку об'єктивного оцінювання досліджуваних ситуацій, використання наявних і формування

нових знань про об'єкт дослідження у результаті послідовного розв'язання задач з невизначеності.

1.2 Аналіз розвитку інформаційних технологій з розробки методичного забезпечення оцінки рівня екологічної безпеки

Розвиток інформаційних технологій визначено необхідністю швидкого збору та обробки моніторингових даних про екологічний стан системи. Відповідним чином для знання-орієнтованих систем були встановлені такі пріоритетні вимоги до аналізу вхідної інформації [64]:

- оцінка необхідного стану об'єкта;
- оцінка відхилень від необхідного стану;
- визначення причин відхилень;
- аналіз можливих рішень і дій.

Створення інформаційних систем, пов'язаних з екологічним моніторингом, є основою оцінки рівня екологічної безпеки функціонування господарських об'єктів і природних систем, що визначається відсутністю негативних змін і явищ в системах, зниження їх функціональності та здатності до відновлення при певних рівнях техногенного навантаження [10].

Стосовно людини безпека визначає стан захищеності життєво важливих інтересів об'єктів екобезпеки (суспільства та держави) від загроз природного, техногенного та соціального характеру, а також забруднень внаслідок антропогенної діяльності (аварій, катастроф, тривалої господарської та воєнно-оборонної й іншої діяльності), від природних явищ і стихійних лих [65].

Існує ряд базових моделей подання знань і їх модифікацій в області оцінки екологічної безпеки (рис. 1.6), наданих у вигляді продукційних моделей, формально-логічних моделей, семантичних мереж, фреймів. Їх аналіз і подальше використання у побудові онтології при прийнятті рішень дозволяє отримати необхідні практичні рекомендації для проектування систем екологічної безпеки [66].



Рисунок 1.6 – Модель подання знань з оцінки рівня екологічної безпеки

Отримана інформація від моніторингових систем повинна бути об'єктивною для створення умов безпеки прийняття зважених безризикових рішень. Засобом підтримки прийняття рішень, орієнтованим на парадигми експертної методології, є інтелектуальна інформаційна технологія експертно-аналітичної підтримки прийняття рішень (ІТ ЕАППР), яка має певні характеристики щодо можливостей надання об'єктивної основи для розв'язання задач комплексної оцінки якості стану складних систем (табл. 1.1) [67–70].

Таблиця 1.1 – Онтологічна компонента ІТ ЕАППР і розвиток методичної платформи експертної підтримки прийняття рішень

Мета використання	Функція реалізації мети	Суб'єктивність / Об'єктивність інформації	Розв'язання екологічних завдань, комплексної оцінки екологічної безпеки складних систем
Залучення всіх накопичених знань і думок для вирішення експертної проблеми.	Формування експертної групи з використанням онтологічної постановки проблеми, банку експертів і ретроспективи експертиз. Визначення інформаційного контексту експертизи. Формування рамкової моделі цінностей.	Суб'єктивна	Створення статистичних даних про стан складних досліджуваних систем та об'єктів.

Закінчення таблиці 1.1

Мета використання	Функція реалізації мети	Суб'єктивність / Об'єктивність інформації	Розв'язання екологічних завдань, комплексної оцінки екологічної безпеки складних систем
Здійснення експертного процесу, ефективного за критерієм «безпе́чність/якість».	Оцінка прийнятності результатів. Рішення щодо відповідності стану систем і їх подальше функціонування.	Суб'єктивна	Оцінка стану складних систем та прогнозування подальшої зміни їх стану екологічної безпеки.
Повноаспектне неупереджене індивідуальне оцінювання об'єкта.	Формування, обґрунтування компромісної моделі цінностей. Отримання і зіставлення реальних і віртуальних версій думок і рекомендацій. Реалізація зворотних зв'язків в Дельфі-процесі.	Суб'єктивна	Аналіз отриманих результатів з існуючими знаннями про об'єкт, дестабілізацій систем та знань про його «безпе́чність»
Отримання оцінки узагальнюючого уявлення.	Статистичне узагальнення експертних думок. Реалізація мультиагентних угод. Формальний висновок рекомендацій.	Суб'єктивно-об'єктивна	Отримання повного аналізу стану систем з співставленням їх з природною функціональністю.
Формування прозорого і загальноприйнятого обґрунтування оцінки	Вибір цілей і критеріїв для моделі цінностей. Компромісне об'єднання версій моделі цінностей. Визначення показників якості оцінки. Розміщення даних про виконану експертизу в банку ретроспективи експертиз.	Суб'єктивно-об'єктивна	Формування кінцевого звіту про стан системи, прогнозування та представлення варіантів подальших дій для нормалізації екологічного стану.

Таким чином, більша частина застосованих методів аналізу складних систем для оцінювання їх стану і отримання знань щодо функціонування і розвитку в економічній, екологічній та соціальній сфері загалом є суб'єктивними та суб'єктивно-об'єктивними. Підвищення об'єктивної складової у прийнятті рішень досягається зверненням до баз знань, методів

дослідження, що надають інформативні результати і дозволяють отримати додаткові знання-орієнтовані оцінки в галузі дослідження «система – НС» [16].

Бази знань є частковою апріорною інформацією про досліджуваний об'єкт при синтезі апаратно-програмного комплексу, що розробляється на основі впровадження інформаційно-сигнатурних технологій (ІСТ) – прийомів, способів і методів автоматизованого збору, обробки, накопичення, зберігання та передачі інформації про об'єкт (подію, явище) на основі виділення та аналізу його сигнатури (множини частинних сигнатур). Сигнатура об'єкта – сукупність характерних системних ознак (показників, параметрів, властивостей, характеристик), притаманних безпосередньо саме досліджуваному об'єкту [71].

Інформаційна система, що реалізує ІСТ, включає в себе датчики, що можуть бути побудовані на різних фізичних принципах, чи інші джерела інформації, засоби (апаратні та програмні) первинної обробки інформації, засоби (як правило, програмні) вторинної обробки інформації, базу даних сигнатур об'єктів, засоби прийняття рішення (рис. 1.7) [71].

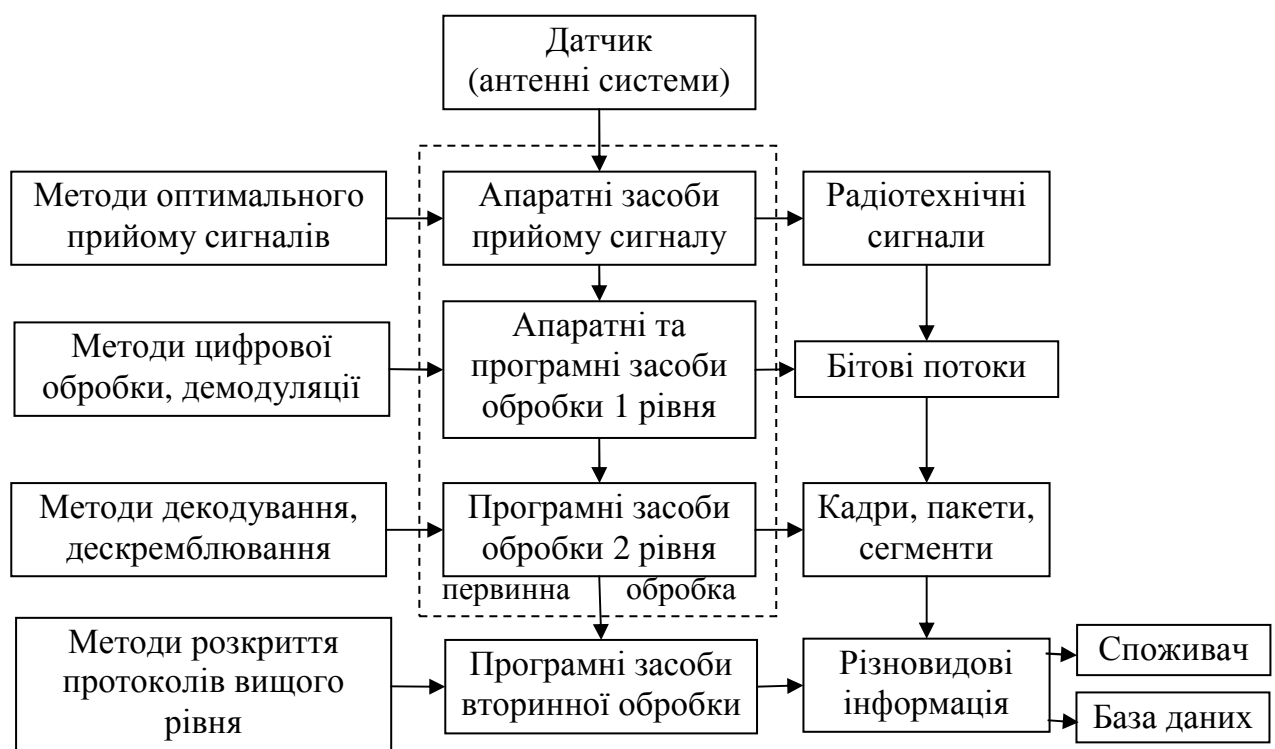


Рисунок 1.7 – Структура апаратно-програмного комплексу отримання інформації про стан об'єкта

Особливістю природної системи є невизначеність, наявність пропусків у векторі даних, що характеризує її стан в кожен конкретний момент часу. Тому має сенс побудови агрегованої моделі, що являє собою систему математичних моделей, кожна з яких має на меті виділення закономірностей природних процесів за даними дискретних спостережень за весь доступний період і є складовою існуючої бази знань про систему (рис. 1.8) [72].

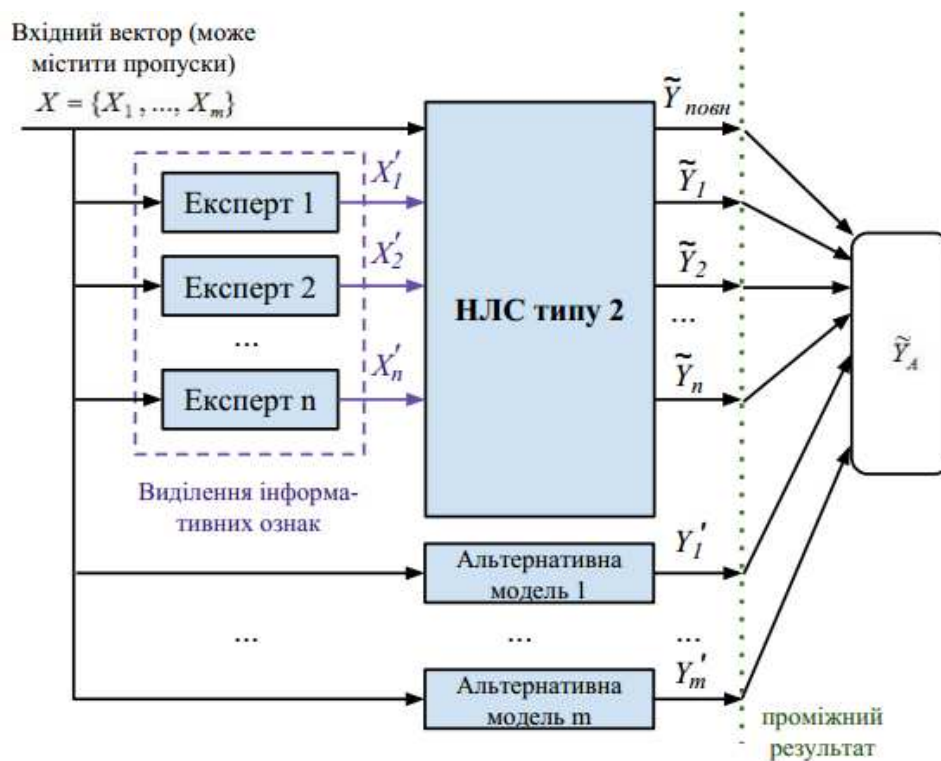


Рисунок 1.8 – Агрегована модель аналізу та збору даних до бази знань

На практиці часто виникає необхідність дослідження системних задач розпізнавання і запобігання позаштатних, критичних і катастрофічних ситуацій у складних системах різного призначення. У процесі функціонування таких систем ситуація може змінюватись, цей перехід займає певний час, він неконтрольований і залежить від факторів ризику та тривалості їх впливу. Для контролю процесу змін в системах використовують безперервні моніторингові дані, що вносяться як вихідна інформація до бази знань. Аналіз та оцінка стану динамічних систем відбувається за експертними процедурами при участі осіб, що приймають рішення (ОПР). Основною метою даних задач є визначення належності до певної ситуації ОПР з нечітко заданими даними [73].

Для вирішення завдань, пов'язаних з неповною і нечіткою інформацією про соціально-еколого-економічну систему, передбачені такі процедури:

- класифікація множин з нечітко заданою інформацією;
- задання нечіткого відношення для дослідження ситуації;
- композиція нечітких відношень та аналіз системи [74].

Для підтримки ідентичності вихідної інформації необхідно проводити моніторинг відповідно до зафіксованих станів систем і їх переходів при взаємодії з НС. Таким чином є можливість накопичувати зміни даних у вигляді транзакцій в одному вузлі та періодично копіювати ці зміни у інші вузли інформаційної мережі. Такий процес має назву тиражування даних (Data Replication – DR) – це асинхронний процес переносу змін об'єктів вихідної бази даних (source database) до бази даних (БД), які належать різним вузлам розподіленої системи. Функції DR виконує спеціальний модуль СКБД – система керування базами даних, що носить назву реплікатора (replicator). Його завдання – підтримання ідентичності даних у приймаючих базах даних (target databases) до даних у вихідній БД [75].

У роботах Н.О. Миронової [76, 77] розглянуті інформаційні технології синтезу методів прийняття групових рішень для групових систем підтримки прийняття рішень, що є актуальним при розв'язанні завдань оцінки рівня екологічної безпеки «система – НС». Для розробки технології синтезу методів прийняття групових рішень, як основи для формування знання-орієнтованої інформаційної системи, виділено такі основні блоки [76]:

- формування варіантів методів прийняття групових рішень;
- методи прийняття групових рішень;
- структури шаблонів методів прийняття групових рішень;
- групові методи аналізу ієрархій;
- вимоги до нового методу прийняття групових рішень;
- виявлення і усунення місць несумісних в новому методі;
- формування звітів про результати виявлення місць несумісності в новому методі і пропозиції з усунення виявлених несумісностей;

– розробка методів-адаптерів.

Надані інформаційні технології є багатокроковими з прийняття групових рішень при використанні експертів, що пов'язано зі значними витратами часових та людських ресурсів для визначення оцінки стану системи.

Таким чином, актуальною задачею з оцінки екологічної безпеки складних об'єктів є запровадження інформаційних технологій на основі формування знань про взаємодію «об'єкт – НС», збільшення об'єктивної складової при визначенні екологічної якості складних систем.

1.3 Дослідження підходів з розробки аналітичних систем в області аналізу стану екологічної безпеки

Прийняття рішень в умовах невизначеності стану «об'єкт – НС», існування границь допустимого впливу на природні системи НС, що обумовлює обмеження розвитку соціально-економічних систем, визначається застосуванням таких засобів дослідження:

1) впровадження вимірювальних систем для встановлення причинно-наслідкових закономірностей;

2) розробка методів прогнозування поведінки систем в умовах їх взаємодії з навколишнім середовищем у вигляді продукційних систем та інформаційно-методичної підтримки прийняття рішень;

3) розвиток і застосування інформаційних систем для задач соціально-еколого-економічного аналізу [78].

Природне середовище розглядається як ресурсна база для створення умов проживання і життєдіяльності людини, підтримки розвитку індустріалізації та урбанізації. Демографічний вибух, прогресивне збільшення потреб людства у ресурсах НС для еволюційних винаходів у технологічній сфері, енергетичному секторі економіки, зростання обсягів у міжнародній торгівлі визначило виникнення нових науково-практичних проблем екологічного змісту. Системи спостереження, моніторинг довкілля стає інформаційною базою з розробки засобів безпеки для потреб охорони навколишнього середовища на основі розвитку можливостей інформаційних технологій щодо забезпечення прийняття рішення будь-якої екологічної складності (рис. 1.9) [79].

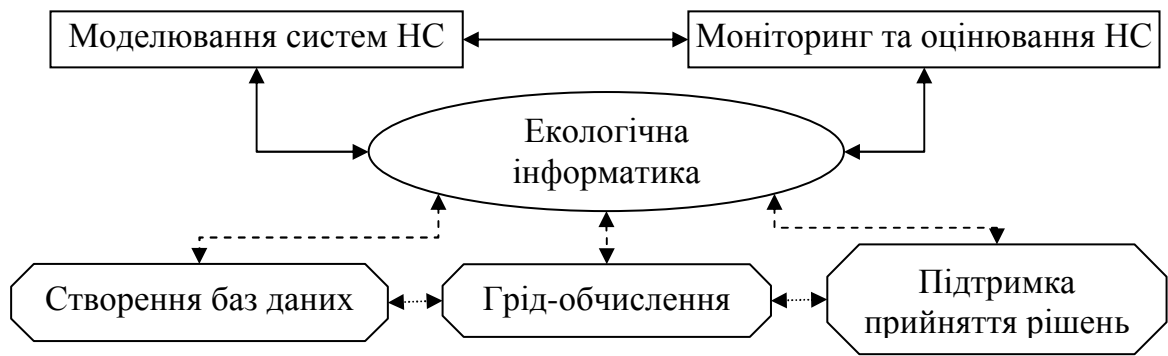


Рисунок 1.9 – Компоненти екологічної інформатики та їх взаємодія

Високопродуктивні обчислення з оцінки масштабних екологічних змін і наслідків надзвичайних ситуацій природного і техногенного походження застосовують для отримання результатів прогностичного та ретроспективного сенсу. Поширеними інформаційними засобами забезпечення аналітично-розрахункових процедур є Грід-обчислення (сіткові мережі), пов'язані з комп'ютерною кластеризацією для визначення більш перспективних систем прийняття рішень. Грід-обчислення дозволяють визначати ефективний розподіл ресурсів з охопленням значної кількості організацій, оптимальним використанням машинної архітектури і програмного забезпечення, що сприяє співпраці та доступу до інформації для всіх, хто пов'язаний з мережею. Доцільним для побудови такої системи є створення віртуальних динамічних організацій завдяки системам захищеного скоординованого спільного використання ресурсів серед приватних осіб, установ і створення баз даних за отриманими результатами [79].

Початкова інформація за моніторинговими системами (дані спостережень) регулює розмірність бази знань, враховуючи обов'язковість відображення трьох основних аспектів (комплексних критеріїв якості) безпеки і функціональності об'єктів – соціального, екологічного і економічного змісту. Існуюча невизначеність у такому разі «об'єкт – НС» долається завдяки побудові нечіткої продукційної моделі, що використовує результати вимірювань і апріорні дані, заснована на застосуванні ентропійної оцінки як функції стану для складних організаційних ієрархічних систем (COIC) [80].

Вихідна інформація на базі моніторинг-вимірювальних даних розглядає продукційні системи «початковий стан об'єкта (системи як складові) – процес (система процесів, оператор змін стану або його підтримки) – i -стан об'єкта (системи)» з метою дослідження сталого розвитку складного об'єкта соціально-еколого-економічного змісту. При цьому застосовують продукційні правила різного ступеню невизначеності (нечіткості) початкової інформації з регулюванням розмірності бази знань для задачі цільової оцінки рівня екологічної безпеки стану об'єкта/системи. Ці правила надаються у вигляді такого кортежу:

$$\langle i, Q, P, A \rightarrow B, N \rangle \quad (1.6)$$

де i – мета – об'єкт стаціонарного сталого екологічного (природного) розвитку як результат ефективного використання природних механізмів чи оптимальних регулюючих дій;

Q – параметр відповідності;

P – умови досягнення мети як можливість прийняття рішення виду $A \rightarrow B$ – відповідність цілі систем (B) меті: «якщо A то B »;

N – дії і процеси, які виконуються після досягнення B [80, 81].

За встановленими умовами відповідності у продукційній системі $i = 0$ та $i \neq 0$ вирішуються завдання розв'язання невизначеності, встановлення оптимального рішення для досягнення мети: стабілізація об'єкта і систем відповідно до властивостей початкового (природного) гомеостазу; управління змінами до реалізації нового стану згідно з метою – збільшення ефективності чи функціональності; поява нових складових і перепрофілювання змістовності, підходів до встановлення рівня екологічної безпеки та ін.

Для стабілізації стану об'єкта розглядається задача синергетичного змісту, а саме визначення умов посилення стабілізуючих механізмів самоорганізації природного порядку в об'єкті. Знаходження нових екологічно безпечних станів системи пов'язано зі встановленням трансформаційних процесів в ній, що призводять до цілеспрямованих наслідків, умов виникнення

вагомих факторів упорядкування її структури відповідно до прийнятних рівнів природної якості та безпечності.

Загалом розв'язання більшості задач з оцінки екологічної якості стану природно-техногенного об'єкта соціально-еколого-економічної змістовності базуються на експериментальних даних (навчальна вибірка). У такому разі використовують положення типового алгоритму формування бази нечітких правил заданої структури відповідно до ситуації оцінки екобезпеки [81].

Для формування систем діагностики стану складних систем щодо відповідності прийнятому рівню сталого розвитку (СР) застосовують такі структурні компоненти інформаційного забезпечення (рис. 1.10):

- 1) тематичні багатовимірні бази даних (БД) та бази знань (БЗ);
- 2) концепції діагностики стану регіональних систем за рівнем СР;
- 3) геоінформаційна обробка даних з використанням ГІС-технологій;
- 4) програмне забезпечення [6].



Рисунок 1.10 – Структура системи діагностики рівня екологічної безпеки складних об'єктів

Для отримання остаточної екологічної оцінки стану об'єкта загальний потік екологічно-адаптивних даних, сформованих з різних інформаційних джерел, проходить етапи інтеграції та інформування рішень в он-лайн або офф-лайн режимі (рис. 1.11).



Рисунок 1.11 – Структурна схема формування екологічних знань для надання інформації користувачу

Три джерела інформації екологічних даних: евристичні, випадкові і екологічні дані (див. рис. 1.11), як правило, інтегровані в процесі аналізу і синтезу вхідної інформації. Перед аналізом і синтезом екологічних даних, визначають процедуру їх збору (наприклад, Foody, 2007; Chang, 2010) і методів обробки (наприклад, Jones і Гріс, 2010). Візуалізація даних проводиться за допомогою графіків, карт і анімації, що є важливими для надання екологічної

інформації особам, які приймають рішення, та організаціям. Інформація, інтегрована шляхом аналізу даних і синтезу, підтримує он-лайн або офф-лайн рішення. Он-лайн рішення використовують інформацію он-лайн моніторингу, який проводиться за допомогою датчиків або дистанційного зондування. Офф-лайн рішення підтверджуються оцінкою даних за сценарним аналізом чутливості при обчисленнях, моделюванні й прогнозуванні (рис. 1.12) [82].

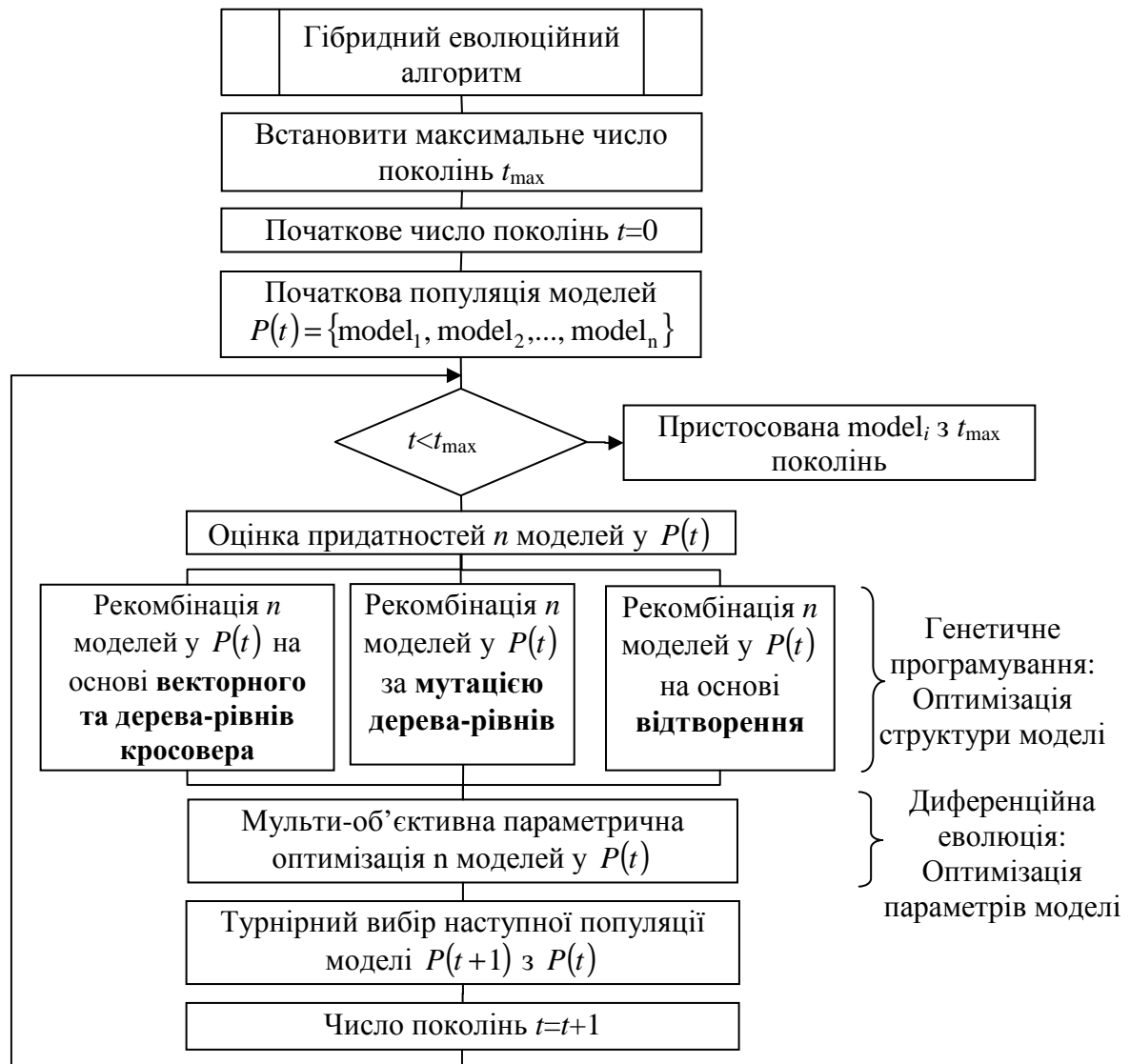


Рисунок 1.12 – Концептуальна діаграма структури алгоритму офф-лайн рішень

Таким чином, отримання методологічної та інформаційної основи з визначення рівня екологічної безпеки стану і функціональних можливостей складних систем потребує комплексного використання підходів і методів дослідження «об'єкт – НС» з отримання вихідної інформації, встановлення знань щодо «стан (система – НС) – процес – стан системи і стан довкілля» [21].

1.4 Постановка задач дослідження з оцінки рівня екологічної безпеки складних систем

Сучасна теорія складних систем передбачає дослідження і вивчення соціально-економічних, соціально-екологічних, еколоого-економічних та природно-техногенних систем, які за концепцією сталого розвитку об'єднують у соціально-еколого-економічні об'єкти. Особливим для таких систем є інформаційна компонента, яка враховує якісні характеристики як окремих елементів, так і їх відношень. Нестійкий стан системних об'єктів призводить до якісних перетворень у них, що визначають на основі комплексної оцінки «стан (об'єкт – НС) – зміни – процес – стан об'єкта» за результатами використання методів системного аналізу і теорії інформації.

Мета дисертаційної роботи спрямована на вирішення науково-практичної задачі з визначення комплексу методів оцінки рівня екологічної безпеки системних об'єктів на основі розробки інформаційно-методичного забезпечення обробки даних і подання результатів для прийняття рішень, отримання екологічних знань. Це зумовило розв'язання таких науково-теоретичних і практичних завдань:

1) проведення системологічного аналізу з структуризацією моделей та методичного забезпечення оцінки стану складних систем для створення ефективної інформаційної підтримки дослідження рівня екологічної безпеки та ідентифікації ситуації у відповідності до вимог якості складних об'єктів;

2) визначення умов застосування наукових знання-орієнтованих підходів і методів об'єктивного аналізу складних систем з оцінки рівня екологічної безпеки та реалізації їх функціональних можливостей;

3) удосконалення основ об'єктивного аналізу стану, процесів і ситуації за умови їх відповідності вимогам екологічної безпеки на основі інформаційного забезпечення розв'язання задач сталого розвитку складних систем;

4) розробка методичних і алгоритмічних основ реалізації об'єктивних підходів з кількісної оцінки рівня екологічної безпеки складних об'єктів на базі знання-орієнтованих систем для обробки інформаційних даних;

5) розробка інформаційно-програмного комплексу розв'язання задач інформаційно-системної оцінки екологічної безпеки моніторингових систем в умовах багатопараметричного потоку інформації при неконтрольованих ситуаціях в організаційно-технічних системах, природно-техногенних об'єктах.

Об'єкт дослідження – моделі та методи інформаційно-методичного забезпечення дослідження складних систем з метою формування комплексної оцінки рівня їх екобезпеки і можливостей сталого екологічного розвитку.

Предметом дослідження є засоби комплексної інформаційно-системної оцінки екологічного стану складних систем і природно-техногенних об'єктів із встановлення пріоритетних і вагомих факторів регулювання безпеки на рівні дослідження «система + система = об'єкт – навколишнє середовище», «система – процес – система», «система – процес – навколишнє середовище».

Висновки до розділу 1

1. Розглянуто загальні моделі та методичні підходи з оцінювання якості складних систем, визначені обмеження їх можливостей щодо аналізу взаємодії «система – НС», недоліки методичного забезпечення для реалізації системного аналізу при встановленні рівня екобезпеки системних об'єктів.

2. Визначені особливості застосування інформаційних технологій в аналізі екологічної безпеки складних систем, позначені напрями їх удосконалення у разі комплексного підходу з формування інформаційно-методичного забезпечення оцінки екологічної якості складних об'єктів.

3. Встановлені науково-практичні засади отримання методологічної, інформаційної підтримки з екологічної оцінки стану та функціональних можливостей складних систем, визначення рівня екобезпеки досліджуваних об'єктів на основі використання знання-орієнтованих інформаційних систем та отримання знань за результатами дослідження об'єкта на рівні «початковий стан (система – НС) – зміни – процес – кінцевий стан систем».

4. Визначено мету, основні задачі, об'єкт та предмет дослідження дисертаційної роботи.

Одержані результати надано в публікаціях автора: 15, 16, 20, 21, 26–28, 33.

РОЗДІЛ 2

ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДОЛОГІЧНИХ ОСНОВ СИСТЕМНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ З ОЦІНКИ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

2.1 Характеристика методів дослідження стану екобезпеки «система – навколишнє середовище», розробка баз даних з оцінки екологічної якості

На даний час у науковій літературі аналіз та оцінка рівня екологічної безпеки складних систем визначається здебільше віртуальними підходами до всебічного врахування взаємодії об'єкта дослідження з системами навколишнього середовища щодо процесів, які становлять основу формування сталих зв'язків і гомеостатичного стану. Визначення комплексної оцінки рівня екологічної безпеки «система – НС» пов'язано зі структуризацією системного природно-техногенного об'єкта, що враховувало б параметри екологічного стану природних систем і динаміки їх змін у разі техногенного навантаження. Застосовані методи системного аналізу для вирішення таких завдань потребують удосконалення методичного забезпечення відповідно до вимог комплексного об'єктивного оцінювання екологічного стану системи на основі аналізу характеристик процесів взаємодії «об'єкт – НС».

Аналіз існуючих методичних підходів оцінювання стану безпеки складних систем встановив, що пріоритетним при таких дослідженнях є методи *екологічного, еколого-економічного аналізу*. У роботі запропоновано вважати їх базовими при виконанні суто екологічних завдань комплексного оцінювання рівня екологічної безпеки при запровадженні відповідних змін і удосконалень для встановлення причин дестабілізації рівноважного стану «система – НС». Кінцевим результатом таких теоретико-практичних розробок є отримання необхідних знань для формування інформаційно-методичної бази досліджень системних процесів і наслідків їх стосовно підтримки рівня екобезпеки.

2.1.1 Екологічний підхід оцінки якості природно-техногенних систем

Для вирішення завдань ідентифікації екологічного стану природно-техногенних систем запропоновано два методи – модель CalTOX і модель

ситуаційного ризику, які детально розглянуті у роботах Т.О. Моклячук та ін. з позицій оцінки екологічного ризику як рівня небезпеки [83–89].

За CalTOX моделлю екологічні невідповідності визначають у вигляді інтегративної величини відхилень, що і становить ризик-оцінку стану систем:

$$H(ED) = C_s(0) \times \sum_{\left(\begin{smallmatrix} j \text{ шляхи} \\ \text{розпов-} \\ \text{сюдження} \end{smallmatrix} \right)} \sum_{\left(\begin{smallmatrix} k \text{ середо-} \\ \text{вище} \end{smallmatrix} \right)} \sum_{\left(\begin{smallmatrix} i \text{ шлях} \\ \text{впливу} \end{smallmatrix} \right)} \left[Q_j(ADD_{ijk}) \cdot \left(\frac{ADD_{ijk}}{ED \cdot C_k} \right) \times \right. \\ \left. \times \int_0^E D\Phi[C_s(0) \rightarrow C_k, t] dx \right],$$

де $D\Phi[C_s(0) \rightarrow C_k, t]$ – функція-дисперсія концентрацій у разі перетворення початкового забруднювача $C_s(0)$ на C_k , що є концентрацією забруднювача на час t у k -му середовищі;

$\left(\frac{ADD_{ijk}}{C_k} \right)$ – середня денна потенційна доза від контакту у k -му середовищі шляхом i -го впливу та j -го розповсюдження при середній концентрації за весь час тривалості дії ED забруднюючої речовини C_k ;

$Q_j(ADD_{ijk})$ – функція, яка співвідносить потенційну дозу ADD_{ijk} , отриману шляхом j -го розповсюдження за тривалістю життя [83, 84, 89].

За умови нерівномірного розподілу негативної дії на систему рівень екологічної безпеки пропонується визначати як ситуаційний ризик. Наприклад, у випадку нерівномірного надходження і розподілення забруднювачів у ґрунті він розраховується за формулою

$$R = \frac{1}{2Isc} \sum_{\left(\begin{smallmatrix} i \text{ діюча} \\ \text{речовина} \end{smallmatrix} \right)} [A_i + B_i + D_i],$$

де Isc – індекс самоочищення ґрунтів, що залежить від місцевості;

A_i – навантаження i -го забруднювача за впливом на людину;

B_i – навантаження i -го забруднювача відповідно до встановлених гранично допустимих значень впливу (ГДК) у плані реалізації ризику;

D_i – навантаження i -го забруднювача за оцінкою епідконтактності населення з продукцією цієї місцевості [83, 87, 89].

Визначення несприятливих змін від впливу техногенних джерел на природні системи на основі ризик-оцінки за моделями CalTOX і ситуаційного ризику, які залежать від суб'єктивних чинників, пов'язано з отриманням відносних значень оцінок стану екологічної безпеки при відсутності інформації про небезпечні фактори її дестабілізації [90–92].

Для встановлення причин порушень екологічної стабільності звернено увагу на метод оцінки вірогідності ризику за індикатором ризику X , що визначається в діапазоні вихідних значень, за межами якого передбачаються небажані зміни екосистем. Імовірність того, що значення індикатора ризику X будуть знаходитись в межах діапазону допустимих змін, визначається як

$$q_x(\Delta t) = p(X_{\min} < X_i < X_{\max}) = \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} f(X_i) dx_i,$$

де $q_x(\Delta t)$ – імовірність знаходження екологічного індикатора X в межах заданої норми протягом часового інтервалу t ;

X_{\max} та X_{\min} – відповідно верхнє і нижнє значення індикатора ризику X , що обмежують діапазон його екологічно допустимих значень;

$f(x)$ – щільність розподілу X [93].

Таким чином, за двома методами встановлюється загальний рівень порушень стану екологічної безпеки в дослідженій системі, але при цьому не розглядаються питання її взаємодії з системами навколишнього середовища і змінами небезпечних чинників екоризику, що стає можливим при застосуванні в ризик-аналізі ентропійної функції відповідності [21].

2.1.2 Еколого-економічний підхід у визначенні рівня екологічної безпеки

Ступінь безпеки природного середовища стосовно наслідків техногенного впливу на довкілля визначається як нанесення збитків і розглядається як

економічна оцінка стану еколого-економічних систем у вигляді ризик-оцінки антропогенної діяльності [94–96].

Результати аналізу екологічних ризиків унаслідок постійного техногенного навантаження соціально-екологічних систем як нанесення збитків економічній та екологічній сфері відповідно до розробок Д.Л. Пляцука, В.В. Бойко [97] та ін. становлять такі визначення:

- 1) збиток в природних екосистемах;
- 2) економічні втрати у вигляді прискореного зносу агрегатів, споруд, установок;
- 3) соціально-економічний збиток здоров'ю населення, спричиненого підвищеним забрудненням довкілля;
- 4) додаткові витрати на ліквідацію наслідків аварій і катастроф.

Для визначення рівня небезпек за аналізом вихідних еколого-економічних параметрів застосовується модель оцінки екологічного ризику, яка оснований на механізмі економічного розрахунку збитку від забруднення довкілля:

$$EcoRisk = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^q P_{ij}(R) \cdot E_{ijk},$$

де $EcoRisk$ – екологічний ризик техногенного впливу, грн/рік;

n – кількість потенційних техногенних факторів;

m – кількість зон екологічного ризику;

q – ступінь порушення екосистем або ступінь погіршення показників здоров'я населення;

$P(R)$ – потенційний ризик виникнення екологічної небезпеки внаслідок техногенного впливу для реципієнта R ;

E – еколого-економічний збиток, грн.

Даний підхід не враховує взаємодії екологічної складової об'єкта дослідження з НС, еколого-економічного співвідношення стосовно умов підтримки стану екологічної безпеки «об'єкт – НС», що призводить до неконструктивної оцінки рівня екологічного ризику досліджених систем.

У випадку розв'язання завдань екологічного дослідження окремих техногенних об'єктів та їх впливу на НПС застосовується підхід з оцінки перманентної екологічної небезпеки промислових об'єктів за економічною ризик-оцінкою роботи стаціонарних джерел [98, 99]:

$$E_l = \sum_{j=1}^l M_j \cdot A_j \cdot f_j \cdot \sigma_j; E_{n+m}^{\text{пит}} = \frac{E_{n+m}}{S},$$

де E_l – екологічне навантаження на атмосферу від стаціонарного джерела, т у.р. (тонна умовної речовини);

l – кількість скинутих інгредієнтів з окремого джерела;

M_j – маса викиду j -ї шкідливої речовини, т у.р./рік;

A_j – коефіцієнт приведення;

f_j – множник, що враховує характер розсіювання j -го забруднення в атмосфері;

σ_j – відносна екологічна значущість зони активного j -го забруднення;

$E_{n+m}^{\text{пит}}$ – питома вага навантаження на одиницю території забруднення, т у.р./м²;

S – площа забрудненої території, м².

Надана методика оцінювання еколого-економічних ризиків доповнена узагальненою оцінкою збитку від дії негативних факторів на навколишнє природне середовище при техногенній аварії [100–102]. Це дозволяє при ідентифікації певних ризик-факторів визначитися з пропозиціями щодо заходів уникнення чи зменшення їх наслідків дії відповідно до «Тимчасової типової методики визначення економічної ефективності природоохоронних заходів і оцінки економічного збитку, заподіяваного народному господарству забрудненням навколишнього середовища».

Збиток від техногенного впливу на НПС $Y_{\text{НПС}}$ визначається як:

$$Y_{\text{НПС}} = Y_{\text{НПС}}^{\text{а}} + Y_{\text{НПС}}^{\text{в}},$$

де $Y_{\text{НПС}}^a$ – величина екологічного збитку від забруднення атмосфери;

$Y_{\text{НПС}}^b$ – величина екологічного збитку від забруднення водних ресурсів.

Таким чином, екологічний та еколого-економічний підходи з оцінювання якості природно-техногенних систем дозволяють узагальнено надати оцінку рівня екологічної безпеки стану об'єкта дослідження без врахування взаємодії його з суміжними системами НС і встановлення ризик-факторів рівноваги «система – НС» та змін від наслідків дії факторів небезпеки. При детальному і всебічному екологічному аналізі небезпек у складному об'єкті дослідження потребують доповнень і удосконалень оцінки ризиків за рахунок методів комплексного визначення порушень безпеки та посилення об'єктивної складової оцінювання стану екологічної безпеки систем на основі інформаційно-системного підходу [21, 22]

2.1.3 Оцінка рівня екологічної безпеки складних систем на основі інформаційно-системного аналізу

Для опису поведінки складних систем використані положення теорії ентропії та термодинамічного підходу з системного аналізу складних об'єктів соціально-еколого-економічного змісту [103–107]. При дослідженні живих і неживих об'єктів, процесів розглядається термодинамічна природа усіх систем. Мірою невизначеності стану та функціональності цих динамічних систем прийнято функцію *ентропії*. Взаємодія системи з навколишнім середовищем характеризується стохастичністю і випадковістю, що виключає можливість надати чітку інформацію про стан об'єкта «система – НС». У такому разі використовують імовірнісні параметри та визначення термодинамічної та інформаційної ентропії [22].

Результатом дослідження складного об'єкта є отримання деякої інформаційної складової, що становить знання про стан системи, процеси в ній і зовнішній взаємовплив «система – НС». Функція *інформаційної ентропії* встановлює міру невизначеності інформації, тобто відсутність відомостей про стан системи, її динаміку [103, 107].

При відстеженні процесів розглянуто зв'язок між ентропією та інформацією, наявність зв'язаної ентропії, що становить значення негентропії як тотожної міри можливої енергії для отримання певного перебігу процесів. Тоді визначена ентропія для системи означає міру множини тих станів системи, про перебування в яких система повинна забути, а встановлена про неї *інформація* – це міра множини тих станів, про перебування в яких система повинна пам'ятати.

При детальному дослідженні системних об'єктів з урахуванням їх ієрархічної структури отриману функцію ентропії приймають як невизначеність поведінки не цілком упорядкованої системи будь-якої розмірності до макроскопічних множин.

Для досліджень природно-територіальних комплексів застосовані термодинамічна, фізична, інформаційна ентропії з відповідним встановленням рівня екологічної безпеки за мірою загальної неупорядкованості (безладдя, хаос) складових систем (макрорівень). Енергетична неупорядкованість об'єкта з позицій імовірності перебігу процесів та реалізації змін стану системи, її структури являє собою функцію від числа можливих його станів і характеризується фізичною ентропією [22, 103].

Отже, прийнята функція стану досліджених системних об'єктів у вигляді ентропії визначає рівень відхилення складових об'єкта і його в цілому від стану рівноваги, гомеостазу «система – НС», що становить інформацію про небезпеку за будь-якими ознаками.

Визначення можливостей і механізмів переходу від хаотичного до більш упорядкованого стану систем пов'язано з аналізом імовірності утворення дисипативних структур. Такі системні переходи є результатом необоротних нерівноважних процесів [104, 105]. Для складових біологічних систем приймається до уваги, що стан повного хаосу (теплової рівноваги) і повного упорядкування не може бути реалізований. Стан повного хаосу функціонування цих систем зовсім неприйнятний, оскільки неможливо їх існування. Тоді при розв'язанні задач екологічної безпеки передбачено запровадження норми

хаотичності, яка для біологічних систем встановлюється емпірично за критерієм « S -теореми» [106]. При цьому розглядаються результати порівняння відносного ступеню упорядкування при співставленні станів відкритих систем у процесі розвитку за умови однакових значень середньої ефективної енергії.

У якості характеристики ступеню хаотичності на виході динамічних систем запропоновано використати K -ентропію (ентропія Колмогорова-Сіная або ентропія Крилова-Колмогорова), яка визначається як

$$S(K) = \lim_{\substack{d(0) \rightarrow 0 \\ t \rightarrow \infty}} \frac{\ln[d(t)/d(0)]}{t}, \quad (2.1)$$

де $d(t)$ – відстань між траєкторіями $x_1(t), x_2(t)$, яка проходить через точки $x_1(0), x_2(0)$, $d(t) = |x_1(t) - x_2(t)|$;

$d(0)$ – відстань у фазовому просторі між точками $x_1(0), x_2(0)$ в $t = 0$;

t – час [46, 106].

Для оцінки ступеню недосягнення системою рівноваги за ентропійною мірою встановлюється імовірність невідповідності стану системи взаємоузгодженим зв'язкам з НС, що є умовою сталого розвитку «об'єкт – НС». Ентропійна функція за статистичними спостереженнями цих зв'язків визначається за ентропією Гіббса у вигляді

$$S = k \int f(p, q) \ln f(p, q) dp dq, \quad (2.2)$$

де k – розмірний множник;

$f(p, q)$ – щільність розподілу ймовірностей узагальнених координат q та імпульсів p у фазовому просторі системи [22, 107, 108].

Зміни в екосистемі як матеріальній фізико-хімічній системі визначаються імовірністю переходу від випадковості до необоротності згідно з положеннями статистичної фізики. На рівні розподілу ймовірності встановлюється необоротне

наближення до рівноважного стану за біноміальним розподілом при врахуванні флуктуацій $\frac{N!}{k(N-k)!} \rightarrow \max$, де N – випадкова подія, $k = N/2$ [42, 105, 106, 109].

Енергетичний стан системи відповідно до змін встановлюється як повна енергія, яка дорівнює сумі кінетичної (рух) і потенційної енергії (взаємодія). На даний час енергетичний стан за умови розгляду координат q та імпульсів p надається у вигляді *гамільтоніану*, функції Гамільтона H , що є const у часі – збереження енергії, перший закон термодинаміки.

З позицій виникнення мікроканонічних сукупностей (ансамблів), для яких властиво самоорганізаційний перерозподіл енергії E , розглядається утворення системних об'єктів і, таким чином, визначається зниження ймовірності змін до нуля на поверхні, зростає упорядкованість системи і виконується $H(p, q) = E$.

Відповідність ансамблів стану рівноваги згідно з положеннями рівноважної термодинаміки встановлюється за розподілом P безрозмірного значення виду $\exp(-H/kT)$, де k – const Больцмана [108]. Встановлення рівноваги розглядається як поступовий процес стабілізації за рахунок внутрішніх механізмів, у тому числі такого перебігу змін, що приводить до нівелювання негативних ефектів. У той же час це перехід системи через точку біфуркацій, де відбувається реалізація стійкого стану за рахунок внутрішньої диференціації між частинами самої системи і навколишнього середовища у разі прояву детермінованих і випадкових процесів. Такий хід змін пов'язується з формуванням дисипативних структур і різким зростанням ентропійної функції. Наближення до стану рівноваги виявляється через встановлення динамічних кореляцій у взаємодії «стабільний стан системи – вплив НС».

Поява в системі утворень, ансамблів, визначається встановленням певних імпульсних значень $p(x)$ і траєкторій для певного їх набору: $p_n(x) = \delta(x - x_n)$, де δ – функція Дирака, яка дорівнює нулю, крім однієї точки $\delta(x)$. Такі зміни пояснюються дією оператора Перрена–Фробеніуса:

$$p_{n+1}(x) = U p_n(x), \quad (2.3)$$

де $p_n(x)$ – координати появи у системі утворень;

U – транзитивна матриця позитивних послідовностей.

Ідентифікація змін за часом надалі визначається як детерміністичний рух за передбаченими переходами x_n і x_{n+1} за зсувом Бернуллі $x_{n+1} = 2x_n^{(\text{mod}1)}$ з відповідним збільшенням відстані між траєкторіями за експоненціальною розбіжністю $\exp(n \ln 2)$, де $\ln 2 = \lambda$ – показник Ляпунова [109]. Таким чином, динамічні процеси породжуються випадковістю і має місце детерміністичний хаос. Зміни в системі стають необоротними, їх визначають для інтегрованих систем на рівні гамільтоніана тільки імпульсом $p^2 / 2m$, де m – маса тіла, і оператором Ліувілля L [109]:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = Lp; p(t) = \exp(-itL)p(0); L = \frac{ip}{m} \frac{\partial}{\partial x}. \quad (2.4)$$

Необоротність змін у системі (x, y) відповідно до встановлених траєкторій змін за виразом (2.2) розглядається як послідовність $u_{-2}, u_{-1}, u_0, u_1, u_2$ (2.3), що має вигляд $u'_n = u_{n-1}$. Отже, інформація про систему у початкових умовах пов'язується з попередніми даними щодо її стану і наявними результатами:

$$\begin{aligned} p_{n+1}(x+y) &= U p_n(x, y); \\ \delta(x - x_{n+1}) \cdot \delta(y - y_{n+1}) &= U \delta(x - x_n) \cdot \delta(y - y_n). \end{aligned} \quad (2.5)$$

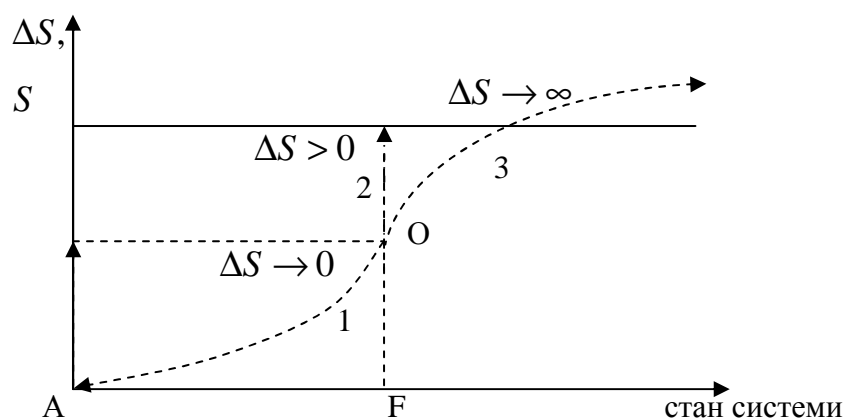
Зміни в системі близькі до точки рівноваги, включаючи прийнятний початковий стан, визначають фазовий простір її стану і за теоремою Пуанкаре виявляються за встановленими властивостями гамільтоніану, а саме

$$H = H_0(p) + \lambda V(q). \quad (2.6)$$

Резонансні зміни відповідно до поведінки великих систем Пуанкаре (ВСП) за відношенням (2.6) визначаються як необоротні. Динамічні переходи у системі обумовлені змінами кінетичної енергії. Потенційна взаємодія

перетворює систему із інтегрованої у неінтегровану, як наслідок резонансу між ступенем свободи елементів системи. Процеси і явища розглядають з позицій прагнення системи до стабільності, тобто рівноважного стану, а незворотність, як і хаос, пов'язується зі статистичним формулюванням законів динаміки за теорією Колмогорова-Арнольда-Мозера (КАМ): зв'язок резонансів з траєкторією у фазовому просторі визначається зростанням ентропії і розширенням цього простору [109].

Частота змін у системі w може породжувати резонансні явища у фазовому просторі, що встановлюється за значеннями динамічних змінних q і p . Неоднорідність сформованого таким чином простору системи чи середовища породжує такі наслідки, що загалом сприяють посиленню самоорганізаційних механізмів системи для встановлення динамічної рівноваги (гомеостазу) у її взаємодії з навколишнім середовищем. При недосягненні дослідженою системою бажаної стійкості динамічні зміни супроводжуються проявом імовірнісних, стохастичних, випадкових процесів, які відрізняються рівнем невизначеності узагальнених вимог: $\Delta S \rightarrow \infty, S_3 \rightarrow \infty$ (рис. 2.1, 3).



A – початковий стан системи; F – кінцевий стан системи; 1, 2, 3 – напрямки змін; $\Delta S, S$ – зміна і значення ентропії; O – точка бифуркації

Рисунок 2.1 – Оцінка змін стану «система – навколишнє середовище»

Кінцевий стан об'єкта екологічного дослідження встановлюється за структурною ентропією, за якою визначається прагнення системи до рівноваги за об'єктивними вимогами другого закону термодинаміки [103]. Усунення нестабільності як наслідок дії на об'єкт і системи зовнішнього навколишнього

середовища покладається частково на можливості процесів адаптації, що встановлюється за виникненням локальних складових інформаційної ентропії (ІЕ). Сукупність локальних ІЕ визначає інтегральну складову ІЕ, яка відповідає за ступінь незавершеності стабілізації «об'єкт (система) – НС».

Узгодженість об'єкта і навколишнього середовища, тобто встановлення динамічної рівноваги між ними, адаптованості один до одного ідентифікується через зростання рівня структурної ентропії за межі порогових значень, що обумовлює інформаційну ентропію при зростанні її інтегральної складової. Збільшення ентропії до максимуму в точці протиріччя обумовлює перехід до імовірнісного стану, перетворення структурної ентропії в інформаційну з доведенням до нуля її локальної складової і наближенням до максимуму інтегральної ентропії, що дозволяє отримати відповідні знання про систему.

2.2 Використання теорії ентропії і синергетики для ідентифікації стану систем і знань для оцінки рівня екологічної безпеки

Рівень ієрархічної організації системного об'єкта дослідження щодо його безпечності при наявності протиріч у взаємодії «об'єкт – НС» визначається за встановленим базисом. Протиріччя в базисі окреслюються цілісністю системи і дозволені згідно з вимогами стійкого розвитку. Відповідно до першого закону термодинаміки розвиток будь-якої системи відбувається шляхом подолання протиріччя між сутністю і явищем, змістом і формою, внутрішнім і зовнішнім середовищем, системою і НС. Система змінюється якісно шляхом розв'язку протиріч на кожному ієрархічному рівні її організації, базис підвищується якісно, інформативність системи зростає.

Якісні зміни «система – НС» визначаються, таким чином, за зростанням ентропійного потенціалу, інформативності систем дослідження та стабілізацією їх розвитку. Процес розвитку розглядається з позицій другого закону термодинаміки і визначається такими періодично змінними етапами:

- 1) якісного перетворення інформації – революційний етап;
- 2) кількісного накопичення інформації – еволюційний період.

Якісний стрибок на рівні організації системи (рівні системності) ідентифікують за наявністю достатнього для цього кількісного потенціалу певних ресурсів. При встановленні цих змін використовується універсальний параметр «інформаційний еквівалент», що є сутністю всіх видів ресурсів.

Вивчення стану складної системи, таким чином, об'єктивно визначається необхідністю дослідження змін за інформативністю самої системи, умов середовища, що дає імпульс новому напрямку розвитку «система – НС» при порушенні рівноваги в цьому об'єкті та прояву певних явищ і процесів [110].

Розвиток з накопиченням і відбором інформації про досліджені системи розглядається як задача на умовний екстремум:

$$\begin{cases} f_0(x_1, x_2, \dots) \rightarrow \text{extr}; \\ f_i(x_1, x_2, \dots) \leq L^i, i = \overline{1, k}, \end{cases} \quad (2.7)$$

де x_1, x_2, \dots – деякі фазові змінні, що описують стан досліджуваного об'єкта;

$f_0(\bar{x})$ – деяка цільова функція (або функціонал в загальному випадку);

$f_i(\bar{x})$ – функція стану;

L^i – відомі характеристики об'єкта, $i = \overline{1, k}$.

Оцінка рівня екологічної безпеки системних об'єктів встановлюється за результатами послідовного вивчення мікростанів систем та отримання інформації про «середні значення» цих характеристик, ґрунтуючись на положеннях принципу «The Maximum Entropy Formalism» [111], які визначаються на основі таких рівнянь:

$$\sum_i p_i g_r(x_i) = \langle g_r \rangle, \quad r = 1, 2, \dots,$$

де x_i – значення ознаки X , властиве для i -го стану;

$g_r(X)$ – функція від X ;

$\langle g_r \rangle$ – відоме середнє значення.

Максимізація ентропії $S = -\sum_i p_i \ln p_i$ при наближенні системами точки рівноваги з урахуванням середніх параметрів їх стану знаходиться в «реалізованій дійсності» для дослідженого об'єкта через p_i , $\sum_i p_i = 1$ [111].

Використання в якості цільової функції характеристики стану об'єкта ентропії дозволило отримати та використати необхідні термодинамічні співвідношення для дослідження різнорідних систем і процесів в них, що відбуваються в межах нерівноважних фазових переходів [112, 113].

При вирішенні проблем вилучення біоресурсів для господарської діяльності важливим стає не тільки питання рівноваги в «система – НПС», а і збереження популяційного різноманіття (тобто інформативності) екосистем, а тим самим їх стійкості. Популяція розглядається як відкрита термодинамічна система в стані безперервного обміну з навколишнім її середовищем, яка самовідтворюється і саморегулюється, прагне зберегти свою структуру, що характеризується незмінною в часі функцією ентропії [114].

При статистичних спостереженнях за станом популяції в природних складових системного об'єкта дослідження та вивченні зміни її структури використовується ентропійна функція у вигляді

$$S = -\sum_i p_i \ln p_i, \quad (2.8)$$

де $p_i = \frac{N_i}{N}$, $N = \sum_{i=1}^n N_i$, $\sum_i p_i = 1$ – ймовірність p_i зустріти особу віком i років

серед N осіб популяції відповідно;

N – чисельність популяції;

N_i – число осіб віком i років;

n – граничний вік особин популяції, внесок кожної вікової групи в загальну чисельність.

Для визначення умов стаціонарного стану досліджених екосистем у межах об'єкта функція ентропії згідно з (2.8) загалом набуває вигляду

$$S = -\sum_{i=1}^n \frac{N_i}{N} \ln \frac{N_i}{N} = \text{const}, \quad \sum_{i=1}^n N_i = N = \text{const}, \quad M = \sum_{i=1}^n m_i N_i = \text{const},$$

де M – маса популяції;

m_i – маса однієї особи i -го віку.

Встановлення цих умов вирішується завдяки розв'язанню поставленої задачі на основі методу невизначених множників Лагранжа:

$$\begin{cases} \delta N = 0, \delta M = 0; \\ \delta S = -\sum_{i=1}^n \frac{\delta N_i}{N} \ln \frac{N_i}{N} = 0. \end{cases}$$

Таким чином, різноманітність на популяційному рівні визначається зв'язком між віковою чисельністю i -ї групи N_i , масою m_i організму i -го віку та загальною чисельністю популяції N :

$$N_i = \frac{N e^{-\frac{m_i N}{\theta}}}{\sum_{i=1}^n e^{-\frac{m_i N}{\theta}}}, \quad (2.9)$$

де θ – модуль статистичного розподілу різних особин за віком, який визначається експериментально за фізичними міркуваннями.

Для практичного застосування формули (2.9) змінено вид параметра θ : $\theta = N \cdot m_1$, використовується для представників популяцій з тривалим віком життя. Оптимальність поповнення популяції, тобто чисельності N в умовах інтенсивного вилучення біоресурсів, визначається максимальним їх відтворенням відповідно до вимог досягнення і збереження стаціонарного стану при взаємодії «система – НС»:

$$N_i = \frac{N e^{-\frac{m_i}{m_1}}}{\sum_{i=1}^n e^{-\frac{m_i}{m_1}}}.$$

Середня тривалість T збереження популяційної рівноваги визначається з урахуванням показника віку i -ї групи популяції у вигляді:

$$T = \frac{1}{N} \sum_i t_i N_i, \quad N_i = \frac{N e^{-\frac{t_i N}{\theta}}}{\sum_{i=1}^n e^{-\frac{t_i N}{\theta}}} \quad (2.10)$$

Максимальне вилучення ресурсу відповідно до стратегії екологічної безпеки стану екосистем в межах об'єкта дослідження розраховують за умови необхідності збереження екологічної рівноваги та стаціонарного стану екосистем завдяки щорічному приросту біомаси популяції:

$$\Delta M = \sum_{i=1}^n \Delta m_i N_i .$$

де ΔM – приріст біомаси популяції;

Δm_i – зміни вилученої маси біоресурсів i -ї групи;

N_i – чисельність особин i -ї групи загальної маси популяції ((2.9)–(2.10)).

Стійкість екосистем, як будь-якої фізико-хімічної системи, підтримується завдяки її гетерогенності, що становить основу змін в напрямку збільшення популяційної різноманітності. Для математичного відображення цього процесу використовується поняття питомої різноманітності біомаси, яке знаходиться в тісному зв'язку з фізичними параметрами екосистеми [115]:

$$w = - \int_0^{\infty} p(m) \cdot \log_2 p(m) dm ,$$

де w – питома різноманітність біомаси;

$p(m)$ – щільність ймовірності розподілу біомаси.

Завдання полягає у пошуку функції щільності розподілу біомаси в умовах максимуму різноманітності w при обмеженні на загальну біомасу M , яку підтримує система:

$$M = N \int_0^{\infty} p(m) \cdot m \, dm = N \bar{m}, \quad (2.11)$$

де N – кількість особин даної системи;

\bar{m} – середня біомаса особини.

Для вирішення завдання збереження стійкості екосистем розв'язується задача варіаційного виду з урахуванням умов максимізації інформативності систем (a), обмеження в термінах середньої біомаси (b), правил нормування розподілу $p(m)$ (c):

$$\left\{ \begin{array}{l} - \int_0^{\infty} p(m) \ln p(m) \, dm \rightarrow \max, \quad (a) \\ \bar{m} = \int_0^{\infty} p(m) m \, dm, \quad (b) \\ 1 = \int_0^{\infty} p(m) \, dm. \quad (c) \end{array} \right. \quad (2.12)$$

Досягнення стійких станів ценозів організмів відповідно до умов збереження рівноваги в екосистемах визначається за результатами аналізу варіаційних моделей в екології, що дозволяє встановити умови стабільності систем через незмінність їх складу і різноманітність виконуваних ними функцій.

Таким чином, динамічність об'єкта дослідження при взаємодії «система – НС» дозволяє зберегти стаціонарність систем за умови стабільності їх структури, в іншому випадку порушується рівновага з реалізацією екстремальної структури систем при наявності достатніх обсягів ресурсів. Оцінка можливості цього переходу здійснюється завдяки застосуванню функціонала узагальненої ентропії $S(\bar{n})$, що визначається на основі категорно-факторного методу порівняння математичних структур [116].

Збереження стаціонарної взаємодії «система – НС» і умов екологічної безпеки забезпечується перетворенням системою заподіяного впливу від навколишнього середовища в корисну роботу. Стан системи інтерпретується

відповідно до екстремального принципу максимуму ексергії Ex , величина якої пов'язана зі значенням ентропії системи в стані термодинамічної рівноваги S_{eq} відношенням виду $Ex = T(S_{eq} - S)$ [117].

У контексті екологічного моделювання визначають впливи, заподіяні досліджуваній системі. Їх пов'язують зі змінами в структурі системи, що не зменшують величину ексергії, яка з точністю до множника збігається з «узагальненою ентропією» з відповідним екстремумом [116, 118]. У такому разі екстремум ентропії приймається у вигляді модифікованого принципу максимальної ексергії, доповненого нетермодинамічним розрахунком ентропії.

Вирішення питань рівноважного розвитку природно-техногенних систем пов'язується з необхідністю врахування умов споживання ресурсів нижче певного запасу і наявним лімітом мінімального ресурсу, коли ентропія системи (складність, різноманітність та ін.) вище заданого порогу, тобто вимога максимальності ентропії рівносильна процедурі мінімізації енергії.

Пристосованість систем до навколишнього середовища визначається можливостями збільшення обсягу інформації в її інформаційних носіях. Так, при дослідженні системного об'єкта величина інформації встановлюється відповідно до особливостей взаємодії з іншими системами, безпосередньо з навколишнім середовищем і має таке значення:

- більше нуля – виживання системи і збільшення її чисельності;
- дорівнює нулю – доживання без розвитку, поступова загибель системи;
- менше нуля – досягнення певної точки розвитку, стаціонарність стану.

Таким чином, фундаментальний висновок про розвиток дослідженої системи визначається процесом генерації та накопичення інформації [17, 47].

Накопичення інформації відбувається на різних рівнях ієрархії системи, що включає такі складові системного аналізу об'єкта дослідження: окремі системи; взаємозв'язок між системами і елементами в системі, що забезпечує передачу максимальної кількості інформації про їх стійкість і виживання; мета системи – збереження і розвиток за рахунок самоорганізації і самовідтворення.

Природні складові об'єкта з оцінки рівня екологічної безпеки становлять екосистеми, що як термодинамічні системи є відкритими, взаємодіючими з суміжними системами та з навколишнім середовищем. Навколишнє середовище активізує в конкретній системі її пристосованість до певних його умов завдяки інформаційним зв'язкам.

Універсальний інформаційний варіаційний принцип на рівні окремих екосистем розглядає процес розвитку як генерування, накопичення і передачу в системі максимально досяжної інформації про виживання. Для системного об'єкта максимізація потоку інформації визначається у разі розгляду біологічних систем обсягом генетичної інформації, соціально-економічних – накопиченням досвіду, тобто технологічної та соціальної інформації. Частка соціально-технологічної інформації зростає у процесі еволюції технології, економіки і соціуму. Передача інформації між елементами системи в реальних умовах діяльності «система – НС» визначається процесами хаотичності або невизначеності цієї неконтрольованої ситуації. У сучасних підходах досліджень складних систем динаміка таких процесів і їх жорстка тимчасова залежність залишаються поза увагою.

У запропонованому інформаційно-ентропійному підході оцінювання стану екологічної безпеки системного об'єкта будь-якого рівня складності в умовах невизначеності інформації і знань запроваджується побудова нечіткої системи дослідження на феноменологічній базі – досвід, знання, використання знання-орієнтованих систем. Останні визначаються як інтелектуальні системи для відображення нечіткого опису процесу та стану систем об'єкта на основі бази нечітких правил з генерації рішень щодо забезпечення досягнення поставленої мети з оцінки екологічної безпеки відповідно до наявного досвіду і знань в певній царині наукових досліджень [118–121].

Формування бази знань для розв'язання задач оцінки рівня екологічної безпеки природно-техногенних об'єктів відповідного рівня дослідження пов'язано з наданням системи продукційних правил для різного ступеня невизначеності, тобто використовується модель знань продукційного типу.

Знання екологічно безпечного розвитку складного об'єкта пов'язують зі стійким процесом забезпечення максимуму для ентропії виду (1.2). Застосована для аналізу таких процесів функція Ляпунова визначається ентропією $S(K)$ і її виробництвом $S'(K)$ у формі, коли їх аргумент інваріант K і є змінною. Тоді ентропія виду (1.2) при K змінній розглядається як міра інформації і у вигляді інформаційної ентропії:

$$S(K) = \chi \cdot \ln K. \quad (2.13)$$

У такому випадку стійкі процеси визначаються умовою $dS(K)/_j = 0$, де j відповідає умовам екстремуму. Згідно з критеріями стійкості Ляпунова [122, 123] стан системи стає стійким динамічно, якщо виробництво ентропії має максимум, що властиво для реалізованих у природі процесів і об'єктів:

$$d^2 S(K)/_j > 0; d^2 S'(K)/_j < 0. \quad (2.14)$$

Статистично стан мінімуму ентропії нестійкий, оскільки є вірогідність флуктаційної появи самодовільних процесів, що призводить до зростання ентропії. Зростання ентропії у динамічних процесах як функції від K в силу критеріїв Ляпунова – стан мінімуму ентропії, вважається динамічно стійким. При дослідженні умов забезпечення стану безпеки системного об'єкта організація стійкого термодинамічного потоку (передача речовини, енергії, інформації) між системами у природі та на рівні технічних, природно-технічних систем [107, 124] визначається послідовністю стаціонарних станів, що локально відповідає принципу мінімуму виробництва ентропії Пригожина [104, 105] за умови досягнення стійкості об'єкта при максимуму ентропії за рахунок реалізації процесів самоорганізації (рис. 2.2) [123].

Необхідним для підтримки самоорганізаційних механізмів збереження стаціонарного безпечного стану системи стає пошук умовного екстремуму, що обумовлений наявністю сідлової точки (див. рис. 2.2) – максимум виробництва ентропії для однієї групи умов (ξ) сумісний з її мінімумом для іншої (η):

$$S(\xi | \eta = y_j) = -\sum_i p_{ij} \log_2 p_{ij}, \quad (2.15)$$

$$MS(\xi | \eta) = -\sum_j P(\eta = y_j) \sum_i p_{ij} \log_2 p_{ij}, \quad (2.16)$$

де $S(\xi | \eta)$ – умовна ентропія η при $\xi = x$;

$MS(\xi | \eta)$ – математичне очікування умовної ентропії при змінній ξ [122].

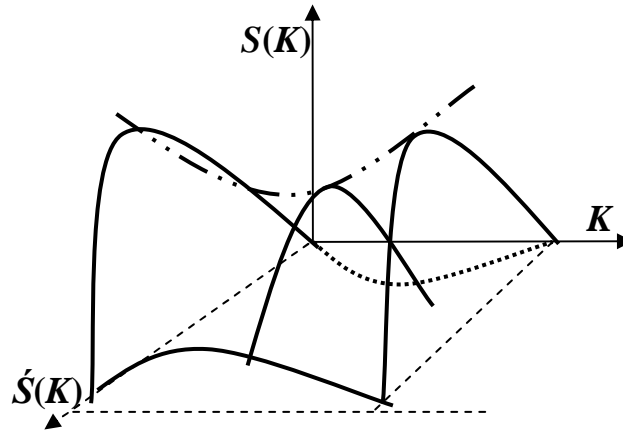


Рисунок 2.2 – Точка досягнення стійкості системи за відповідністю принципу максимуму ентропії

Таким чином, безпечний розвиток дослідженого об'єкта (B_i) відповідає різним кінцевим станам систем, обумовлених певним сполученням їх цілей (A_i) за відповідними процесами (N): економічне зростання, максимум соціального добробуту з задоволення потреб суспільства, збереження природного середовища і поліпшення здоров'я населення. Дані властивості визначені «виходом» ($y = B_i$) з системного утворення для пріоритетних цілей гомеостазу в межах об'єкта – екологічність ($x_1 = A_{i1}$), безпечність ($x_2 = A_{i2}$).

При аналізі процесів метою B_i є організація такого стану об'єкта/систем за N -перетворень, які дозволяють досягти стаціонарного упорядкування, визначеного максимальним значенням ентропії при дестабілізації початкового стану об'єкта $\Delta S \rightarrow \max$ з переходом його в i -й стан, що відповідає мінімуму ентропії для відновлення функціональності систем за вимогами екологічності ($x_1 = A_{i1}$), безпечності ($x_2 = A_{i2}$).

Отже, для системного об'єкта дослідження «початковий стан об'єкта (системи як складові) – процес (система процесів, оператор змін стану або його підтримки) – i -й стан об'єкта (системи)» при наявних системах економічного, соціального і екологічного моніторингу, що визначають дані вхідного інформаційного потоку (x_1, x_2) і їх зв'язок з вихідною змінною (y) , постановка задачі для формування бази нечітких правил типового алгоритму має вигляд: $x_1 = A_{i1} \wedge x_2 = A_{i2}$ для $y = B_i, i = \overline{1, N}$ [37, 120].

За моніторинговою інформацією формуються вибірки початкових даних, враховуючи наявність відомого і достатнього обсягу значень $\eta = y_j$ для встановлення точного значення ξ (2.15), що покладені в основу навчальної вибірки такого виду [35]:

$$\left(x_1^{(\eta, \xi)}, x_2^{(\eta, \xi)}, y^{(\eta, \xi)} \right) (\eta, \xi = \overline{1, K}), \quad (2.17)$$

де $x_1^{(\eta, \xi)}, x_2^{(\eta, \xi)}, y^{(\eta, \xi)}$ – відповідні значення вхідних і вихідних змінних за характеристиками об'єктів дослідження $\eta = y_j$ і ξ ;

K – загальна кількість експериментальних даних у навчальній вибірці.

База правил формується за прийнятою процедурою з урахуванням складності об'єкта і отриманих за входами/розрахунками двох показників (змінні x_1, x_2). Для множини моніторингових характеристик об'єктів встановлюють їх мінімальні та максимальні значення, які за даних умов відображають можливості досягнення бажаних цілей. Подібним чином аналізують вихідні дані – стан систем у незадовільному стані (y^{\min}) і відповідному до вимог за прийнятним природним/допустимим рівнем (y^{\max}):

$$x_1 \in [x_1^{\min}, x_1^{\max}], x_2 \in [x_2^{\min}, x_2^{\max}], y \in [y^{\min}, y^{\max}].$$

Відповідно до прийняття рішень (ПР) в умовах невизначеності [125] і надання еколого-економічної оцінки стану об'єкта при неточності вхідної

інформації відображають певним чином розподіл простору змінних [124]. Він формується за точковою оцінкою функції належності, враховуючи особливості наданого об'єкта системного аналізу у вигляді «стан⁰ – процес – стан⁰ (стан¹)», встановлення екологічності при значенні ξ (x_1/ξ) за умови існування (наслідками) безпечності при значенні η (x_2/η), що дозволяє оцінити x_1/ξ за знанням x_2/η . Області визначення змінних певним чином розбиваються на відрізки і загалом підбираються індивідуально, для еколого-економічного оцінювання за прийнятою специфікою об'єкта дослідження формується аналітична система визначення екологічності та безпечності (оцінка якості).

1. Екологічність (x_1) – комплекс властивостей (категорія, що визначає відношення однієї системи до іншої, з якої вона має відношення), при яких взаємодія з навколишнім середовищем уникає ризику (не викликає та не породжує негативних наслідків).

2. Безпечність (x_2) – стан складної системи, коли дія зовнішніх і внутрішніх факторів не призводить до негативних наслідків, умов блокування її функціонування і розвитку. Це недопустимість (відсутність) ризику, пов'язаного з можливістю нанесення збитків.

Таким чином, зазначені змінні є комплексними показниками властивостей аналізованих об'єктів, систем. Їх визначення природно пов'язано з комплексом різнорідних знань, що зазвичай викликано відсутністю інформації за окремими аспектами, неточністю, неможливістю проведення експериментів, технічною недосконалістю моніторингових та інформаційних систем, тобто наявна ситуація невизначеності.

Враховуючи теоретичні викладки розділу 1 і надані визначення змінних з оцінки якості системи, встановлюють нечіткі множини: L – *зовнішні фактори* (властивості, параметри, характеристики та ін.), M – *внутрішні фактори*, H – *стан*, характеристика. Функції належності перетинаються на рівні 0,5, маючи вигляд точкової оцінки з врахуванням виду функції ентропії [38]. Для встановлених змінних зазначаються такі відношення: x_1 – це нечіткі множини

$\{L_1, M_1, H_1\}$, x_2 – множина врахування «процесів», як динамічна оцінка більшої за обсягом інформації, узагальнюючої змістовності і бази знань: LM – взаємодія факторів при їх «зустрічі» в системі, HM – вплив внутрішніх факторів на властивості системи, зважаючи на зміни у складі і структурі, що реалізують деструктивні явища відновного і невідновного характеру – $\{L_2, LM_2, M_2, HM_2, H_2\}$, y – вихідна змінна сформована відповідним чином у вигляді $\{L_y, LM_y, HM_y, H_y\}$ (рис. 2.3).

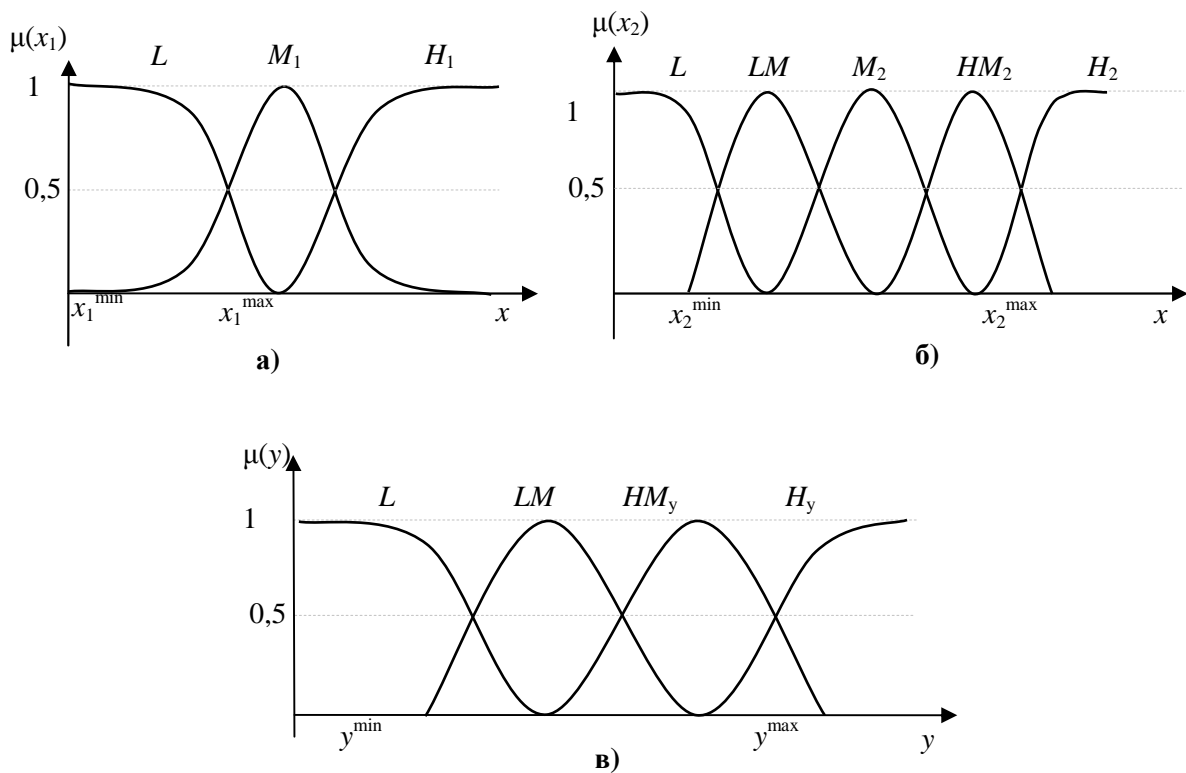


Рисунок 2.3 – Розподіл простору змінних при оцінці якості об’єкта

Розподіл простору змінних поділяється у відповідності з зазначеними множинами на таку кількість відрізків (див. рис. 2.3) [39]:

$$[x_1^{\min}, x_1^{\max}] = 3, [x_2^{\min}, x_2^{\max}] = 5, [y^{\min}, y^{\max}] = 4.$$

Звідси розглядається дві паралельні задачі:

1) оцінка «стан⁰ – процес – стан⁰ (стан¹)» для дослідженої системи ξ за умови невизначеності, неточності знань про неї відповідно до вивчених властивостей взаємодіючої з нею системою;

2) надання загальної оцінки стану об'єкта природно-техногенного, соціально-екологічного походження щодо відповідності екологічності та безпечності (x_1, x_2) .

Для розв'язання їх використовують два підходи з формування початкової бази правил. Встановлення властивостей «неточної» системи відбувається за вибірковими даними з досліду за більш дослідженою системою, тому для кожної вибірки формується правило відповідно до $(x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, y^{(k)}) (k = \overline{1, K})$, для кожного з яких визначаються ступені належності заданих значень до відповідних нечітких множин. Виділеним даним певним чином ставляться у відповідність ті нечіткі множини, в яких значення змінних за ступенем належності є максимальними [38].

Генерація правил для другої задачі, коли досліджуються тільки дві узагальнені змінні і вихідна змінна, відбувається відповідно до встановлених передумов і висновків до них за таким відношенням: $l = l_1 \cdot l_2 \cdot l_y$, де l_1, l_2, l_y – число функцій належності для завдання вхідних/вихідних змінних.

За умови множини моніторингових даних, у великій кількості та незначних за змістом, при наявності вагомих змінних з характеристики системи чи процесу здійснюється зменшення кількості правил за рейтингом:

$$r_i = \text{Agg}(r_i^k), i = \overline{1, n},$$

$$r_i^{(k)} = T(\mu_{A_{i1}}(x_1^{(k)}), \dots, \mu_{A_{im}}(x_m^{(k)}), \mu_{B_i}(y^{(k)})), (k = \overline{1, K}), \quad (2.18)$$

де Agg – оператор агрегування;

T – оператор нормування [38].

Суперечливі правила переглядаються і скорочуються однакові передумови та різні висновки, тобто різні функції належності змінної виводу, з групи подібних правил залишається те, що має більший рейтинг. Для досліджень конкретних реальних об'єктів в умовах невизначеності база правил

є сформованою, якщо здійснено адаптацію: забезпечення максимального ступеню відповідності правил за всіма прикладами вибірки.

Надалі при встановленні відповідності стану об'єкта певному рівню екологічної безпеки розглядається ентропійна функція належності. Згідно з аналітичною системою «стан⁰ – процес – стан⁰ (стан¹)» для кожної її складової визначається виробництво ентропії $\Delta S \rightarrow 0, S_1 \rightarrow \min$, приймаючи до уваги функціональні залежності з ентропійного аналізу (1.2)–(1.5), (2.1)–(2.6), що дозволяє надати висновки стосовно відповідності вимогам ентропійного максимуму, який і визначатиме рівноважний, тобто безпечний стан об'єкта.

Для аналізу стану безпеки дослідженої системи за інформацією відносно наявних даних і прийнятті $N = (X_2 - X_1) / d$ для відношення (1.3) у вигляді $I = \ln N$ інтервал невизначеності знаходиться через умовну ентропію ($S(\xi|\eta)$, $S(y/a)$, $K(y/x)$). При дослідженні природно-техногенного об'єкта умовна ентропія пов'язана зі значенням N , що є числом градацій вимірної величини за ентропійним інтервалом невизначеності моніторингової інформації (вимірювання) d відповідно до зазначеного закону розподілу, і визначається згідно з формулою (2.8) як

$$S(\xi(x)/\eta(x)) = - \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \ln f(x) dx. \quad (2.19)$$

Для нормального розподілу змінних відповідно до умови досягнення ентропією $S(\xi(x))$ максимуму можливо у випадку нормального процесу ξ . У випадку довільних сукупностей випадкових величин $\xi = \xi(a), \eta = \eta(b)$ досягнення рівноваги, стаціонарності відповідає розподілу Гаусса і встановлюється за складовими рівняння (2.18) у вигляді:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left\{-x^2 / (2\sigma^2)\right\}, \ln f(x) = -\ln\sqrt{2\pi\sigma} - x^2 / (2\sigma^2).$$

Таким чином, умовна ентропія невідповідності розраховується за узагальненою формулою виду

$$S(\xi(x)/\eta(x)) = - \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \ln f(x) dx = \ln \sqrt{2\pi\sigma^2} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx + \frac{1}{2\sigma^2} \int_{-\infty}^{\infty} f(x)x^2 dx = \\ = \ln \sigma\sqrt{2\pi} + \ln \sqrt{e} = \ln \sigma\sqrt{2\pi e},$$

де $\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1$, $\int_{-\infty}^{\infty} f(x)x^2 dx = D = \sigma^2$.

Для інформаційно-ентропійної оцінки стану системи використовується функціонал такого виду:

$$I(x) = \log_2 n + \sum_{i=1}^n p(x_i) \cdot \log_2 p(x_i). \quad (2.20)$$

Отже, багатоаспектність, системність у сенсі різноплановості розв'язуваних задач в межах однієї цілі для дослідженого системного об'єкта за умови невизначеності потребує досягнення комплексного об'єктивного результату. За існуючою схемою усунення невизначеності на будь-якому етапі оцінювання стану складної системи здійснюється за експертною оцінкою, що пов'язано з суб'єктивною основою у прийнятті рішення. Такий стан питання при необхідності отримання достовірного висновку з оцінки відповідності ситуації наявній дійсності з безпеки є незадовільним з двох причин:

1) експертна оцінка здебільшого враховує досвід і попередній розвиток систем, результат прив'язується загалом до прогнозування, а не встановлення за даних умов стану систем; не беруться до уваги нечіткість знань, прояв нових невідомих явищ, обмежуючі засоби у моделюванні, звужування питання, недолік сполучення різних рівнів дослідження – замість аналізу і узгодження суперечливих інформаційних даних надаються суб'єктивні висновки експертів, що віддаляє отриману оцінку від дійсності [125, 126–128];

2) об'єктивно-суб'єктивна оцінка потребує підтвердження на точність, що ускладнює отримання результативного рішення і контроль його якості.

Таким чином, об'єктивно обґрунтованим є:

– аналіз вхідних даних на основі прийняття єдиної природи усіх досліджених аспектів системного об'єкта;

– комплексна оцінка на єдиній математичній базі складових цілей з отриманням єдиного узгодженого результату досягнення мети, що можливо при комплексному сполученні мікро- і макрорівнів дослідження.

Саме розгляд узагальненої, єдиної термодинамічної природи будь-якої системи в межах дослідженого об'єкта, можливостей ентропійного методу послідовного розв'язання невизначеностей дозволяє запропонувати комплексне методичне забезпечення системної ентропійно-компараторної оцінки відповідності стану складних об'єктів рівню екологічної безпеки на основі удосконалення застосованих методів для досягнення мети дослідження. Сформована таким чином система методів дозволяє надавати оцінку стану складних систем і використовувати запропоновані методи не тільки окремо при складних задачах у суперечливих за природою об'єктах дослідження, а й при послідовному застосуванні для розв'язання етапних завдань цільової задачі.

Ентропійні відповідності у вигляді ΔS є вхідною інформацією для компаратора; компараторна ідентифікація за моніторинговою інформацією дозволяє отримати вихідні дані для факторного аналізу ситуації з визначенням ентропійної функції оцінювання стану системи та оцінки вірогідності процесів у ній, що дозволяє сформуванню об'єктивну загальну основу для прийняття рішення з регулювання рівня екологічної безпеки при наявних елементах невизначеності взаємодії «система – НС».

2.3 Застосування об'єктивних засобів системного аналізу складних систем у формуванні баз знань з оцінки рівня екологічної безпеки

Запропонована система методичного забезпечення на ентропійно-інформаційній основі оцінювання стану складних об'єктів передбачає використання знання-орієнтованої експертної інформаційної системи. Загалом експертна система складається з бази знань (БЗ), бази даних предметної області (БД), програми «розв'язувача проблем» (ПП), області запитів (ОЗ) та з ядра обслуговуючих програм. На практиці запроваджені два типи комплектування «баз знань»: БЗ як пакет знань, що становить собою електронну бібліотеку; БЗ

як інтегрована система прийняття рішень на основі існуючих даних. Таким чином, поняття БЗ тісно перетинається з поняттям експертної системи (ЕС), але не може приймати будь-які рішення, а тільки є однією з складових ЕС [129]. Для створення знання-орієнтованих баз з вирішення завдань екологічної безпеки пропонується використати такі види знань:

- 1) алгоритмічні (або процедурні) знання – алгоритми (програми, процедури, ПРП), розрахункові функції, що вирішують конкретні задачі;
- 2) неалгоритмічні знання – сукупність об'єктів думок, якими є поняття, певні ім'я, зв'язки між поняттями або твердження про їх властивість;
- 3) математичні знання – сукупність математичних понять, зв'язків між ними та твердження про них; складають значну частину будь-якої БЗ [129].

Формування бази знань потребує правил та підходів для аналізу вихідної інформації і різного плану змістовності даних. У відповідних інформаційних джерелах [5, 130–134] надані підходи для обробки вхідних даних. Так, формування БЗ на основі композиційних правил мають два види подання:

- 1) правила «якщо – то»:

L1: якщо $\langle A_1 \rangle$, то $\langle B_1 \rangle$,

L2: якщо $\langle A_2 \rangle$, то $\langle B_2 \rangle$,

L3: якщо $\langle A_3 \rangle$, то $\langle B_3 \rangle$,

.....

Lk: якщо $\langle A_k \rangle$, то $\langle B_k \rangle$,

де A_1, A_2, \dots, A_k – нечіткі висловлення або нечіткі лінгвістичні висловлення – характеристичні функції;

B_1, B_2, \dots, B_k – аргумент характеристичної функції [2];

- 2) правила перетин-об'єднання даних:

$$\bigcup_{p=1, z_j} \left[\bigcap_{i=1, n} (x_i = T_i^{jp}) \right] \rightarrow y = d_j, j = \overline{1, m},$$

де T_i^{jp} – терм, який оцінює змінну x_i в рядку з номером jp , $j = \overline{1, m}$, $p = \overline{1, z_j}$;

d_j – терм, який оцінює змінну y ;

z_j – кількість правил у класі d_j ;

m – кількість термів вихідної змінної.

Контроль якості зібраних матеріалів і дотримання прийнятих на організаційному етапі правил і принципів, пропонується здійснювати відповідно до запропонованого алгоритму (рис. 2.4) [131]. Етапність формування нечіткої бази знань на основі нечітких даних здійснюється за сформованою базою правил згідно з експериментальними даними [133].

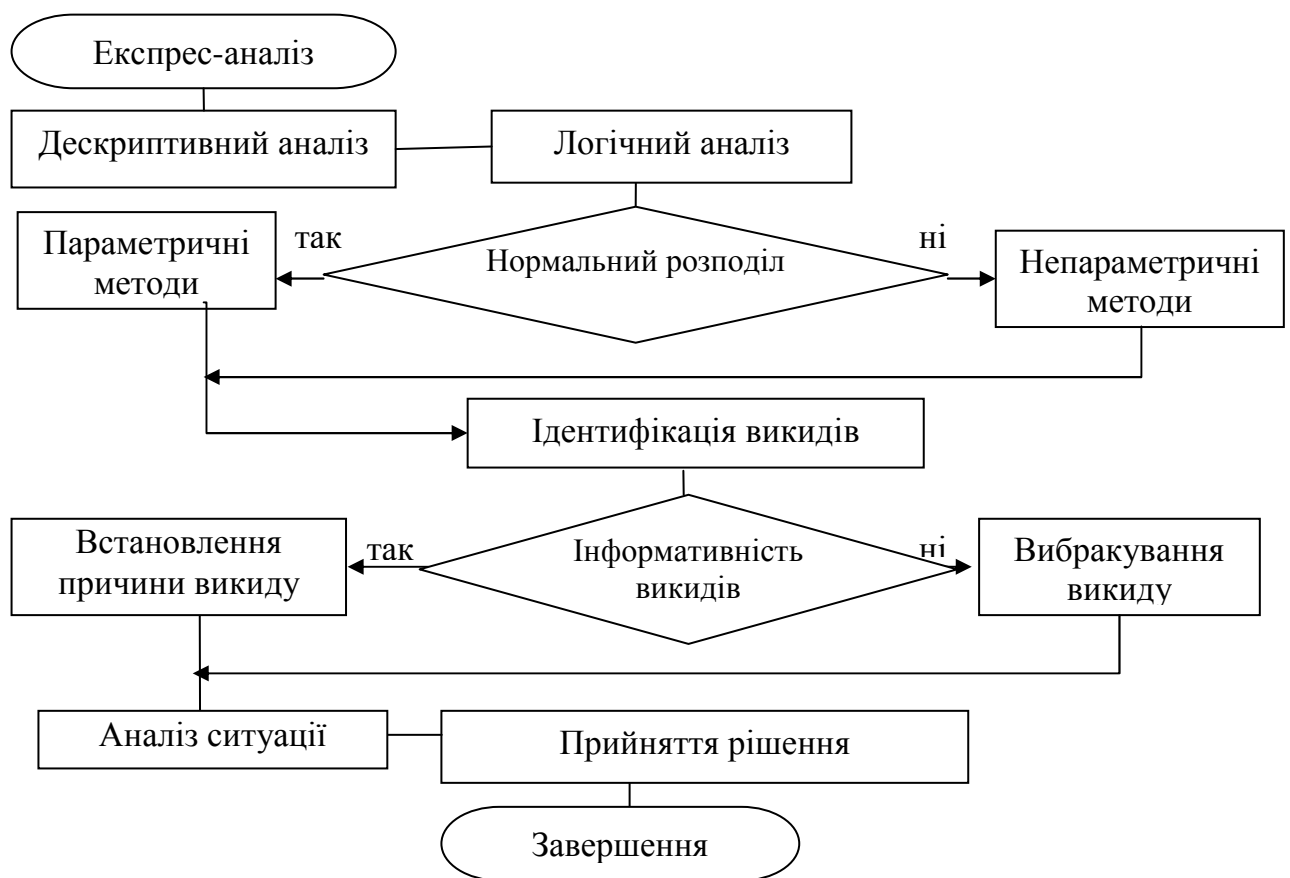


Рисунок 2.4 – Блок-схема алгоритму первинного аналізу даних

Етап 1. Розділення просторів вхідних та вихідних змінних (див. рис. 2.3).

$$x_1 \in [x_1^{\min}, x_1^{\max}],$$

$$x_2 \in [x_2^{\min}, x_2^{\max}],$$

$$y \in [y^{\min}, y^{\max}].$$

Етап 2. Формування початкової бази правил у відповідності з якими максимальна кількість правил визначається таким співвідношенням:

$$l = l_1 \cdot l_2 \cdot \dots \cdot l_m \cdot l_y,$$

де l_1, l_2, l_m, l_y – число функцій належності для завдання вхідних/вихідних змінних.

Етап 3. Визначення рейтингів правил (2.18).

Етап 4. Зменшення кількості правил. З бази виключаються правила з найменшими рейтингами після їх підрахунку.

Етап 5. Адаптація параметрів правил, які залишились у базі – параметрична оптимізація кінцевого набору застосованих правил після знаходження оптимальних значень параметрів.

Отримана таким чином інформаційна основа повинна забезпечити надання системного аналізу складного об'єкта за декількома аспектами. По-перше, це екологічні системи, що становлять сукупність популяцій організмів, взаємодіючими між собою і своїм оточенням – НС, для яких питання безпеки визначені підтримкою природних зв'язків і допустимим зовнішнім регулюванням. По-друге, існування зв'язків (обмін і відносини) і взаємозв'язків (природа відношень) з природними системами суспільства, що становить соціально-економічний аспект дослідження екологічної безпеки. Вагомим у забезпеченні екобезпечного простору для цього системного об'єкта є комплексне узгодження питань збереження цінностей природного середовища, екологічно допустиме забезпечення потреб суспільства і людини.

При узагальненій оцінці рівня екологічної безпеки системного об'єкта дослідження необхідним є комплексне врахування вимог збереження функціональності систем навколишнього середовища і сталого екологічного розвитку соціально-економічної складової, що становить таке:

1) *регулювання* – підтримка здатності природних і штучних екосистем забезпечувати перебіг важливих біогеохімічних процесів, що відповідають за

екологічну функціональність систем, відтворення складових НС – повітря, вода, ґрунт, біологічне різноманіття;

2) *середовище-формування* – відтворення середовища екосистем для збереження біологічного і генетичного різноманіття та забезпечення розвитку еволюційних процесів;

3) *виробництво* – забезпечення процесів автотрофної діяльності з створення матеріальних, енергетичних структур для підтримки еволюційних явищ в екосистемах;

4) *інформаційність* – надання необхідної інформації з поступової еволюції екосистем і її складових, високого за темпами інтелектуального розвитку і рівня потреб людини.

Відповідність зазначеним вище вимогам стану, функціональності і адаптованості системних об'єктів до умов НС потребує кількісного врахування функцій природи, компонентів економічних факторів екологічного управління та потреб соціальних груп, що і становить основу комплексної знання-орієнтованої інформаційної системи з оцінки рівня екологічної безпеки за розробленою мірою ентропійно-інформаційної відповідності «система – НС».

Висновки до розділу 2

1. Надана характеристика методів дослідження стану «система – НС» відповідно до методичних підходів стосовно *екологічного, еколого-економічного аналізу* з оцінки екологічного стану унаслідок техногенного навантаження, збитків в економічній та екологічній сфері діяльності. Визначена необхідність удосконалення цих методів і зміни їх змістовності з метою отримання знань щодо поведінки та функціональності складних систем з позицій забезпечення їх якості, створення умов екобезпеки в еколого-соціальному просторі.

2. Запропоновано застосування ентропійно-інформаційної оцінки відповідності досліджених систем стану рівноваги як міри рівня стабілізації взаємодії «система – НС» і отримання необхідних знань для інформаційних баз даних щодо забезпечення оцінювання якості природно-техногенних систем.

3. Встановлено, що організаційно-технічні системи пов'язані з нечіткою системою умов їх функціонування, що потребує при їх дослідженні використання відповідної феноменологічної бази – досвід, знання, яка є основою знання-орієнтованих інформаційних систем. Інформаційне забезпечення комплексної оцінки екобезпеки складних об'єктів ґрунтується на методології єдиної термодинамічної природи будь-яких систем, процесів, використанні функції ентропії для послідовного зменшення і розв'язання невизначеностей за ентропійно-компараторною оцінкою відповідності якості системних об'єктів стану екологічної безпеки.

4. Проаналізовано об'єктивні засоби системного аналізу складних систем у формуванні бази знань з оцінки рівня їх екологічної безпеки забезпечення єдиної міри відповідності при дослідженні об'єктів з комплексного оцінювання «стан (система – НС) – зміни – процес – стан системи».

Одержані результати надано в публікаціях автора: 17, 21, 22, 35, 37, 38, 39, 42, 47, 46.

РОЗДІЛ 3

ФОРМУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-СИСТЕМНОЇ ОЦІНКИ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ СКЛАДНИХ ОБ'ЄКТІВ

3.1 Обґрунтування структури моделі системного об'єкта при комплексному дослідженні та оцінці рівня екологічної безпеки

Концепція інформаційного простору, оболонки системного аналізу пов'язана з визначенням концептуальної моделі об'єкта дослідження за сценарно-цільовим підходом з метою формування знання-орієнтованих систем з оцінки рівня екобезпеки його стану та сталого розвитку (рис. 3.1) [38, 135, 136].



--> – інформаційна підтримка подолання невизначеності

Рисунок 3.1 – Сценарно-цільовий підхід розробки знання-орієнтованих систем

Відповідно до задач загальної оцінки екологічної безпеки передбачається комплексний системний аналіз: об'єкт надається у системній структурі; аналізуються не тільки складові, а і зв'язки, явища і процеси як окремі системи; кожна система має свої цілі, що відповідають стратегії виконання мети досягнення рівня екологічної безпеки в цілому для об'єкта. При розв'язанні задач екобезпеки об'єктів, що розвиваються, враховується різноманітна природа його складових систем відповідно до наявних галузевих знань. Інформаційна організація об'єкта системного аналізу виходить за межі класифікаційного поняття складності (великі системи тощо), стає доцільним відобразити його як комплексне утворення і визначити як корпоративну систему з кооперативними зв'язками, які становлять основу її самоорганізації для досягнення стабільності і рівноважного розвитку (синергетика) [26, 124, 137].

У такому складному об'єкті дослідження виділяють цільовий комплекс «(система $\xleftrightarrow{\text{процес}}$ зовнішнє середовище) $\xrightarrow{\text{стан}}$ система $\xrightarrow{\text{процес}}$ зміни системи – процес – ((стан системи)' – зовнішнє середовище)», в якому як елементи розглядають системи, їх зовнішнє середовище, що утворює внутрішній простір об'єкта, де самоорганізуються зв'язки і таким чином формується структура об'єкта, взаємодіючого з навколишнім середовищем [35, 40, 111]. Кооперативна дія внутрішніх і зовнішніх процесів стабілізує складну систему, що і відповідає уявленням синергетики про явища [138–140].

Інформаційне навантаження за таким системним аналізом передбачає базу знань з 2-х аспектів – конкретні галузеві знання економічних, соціальних і екологічних наук; теоретико-практичні знання процесів і динаміки розвитку систем. Кожна система знань надає інформаційне забезпечення про обсяги даних в певній галузі, що є основою розв'язання саме її задач і в той же час є складовою у вирішенні проблемних задач екологічної безпеки системних утворень, що розвиваються. Отже, база знань також повинна мати системну структуру за кооперативними зв'язками.

Основою систем-системного дослідження об'єкта визначена послідовність методів системного аналізу для вирішення проблеми науково прикладних завдань з екологічної безпеки на кібернетичній основі.

У закордонній літературі термін «системний аналіз» містить такі математичні розділи, як постановка завдань прийняття рішення, визначення альтернатив, дослідження багатокритеріальних завдань, методи розв'язання задач оптимізації, експертне оцінювання, робота з макромоделями систем [126]. Саме ці елементи використані у методології комплексного дослідження цільових системних об'єктів як етапи розв'язання проблемних задач еколого-соціально-економічного розвитку.

Відповідно до теоретичних основ методології системного аналізу в концепції системного утворення застосовані поняття елемент, система, структура систем, корпоративність, кооперативний зв'язок і управління.

Елемент – об'єкт (матеріальний, енергетичний, інформаційний), що має ряд важливих властивостей, а внутрішня будова (зміст) його відповідають меті функціонування системного утворення.

Зв'язок визначає певну цілісність об'єкта дослідження, обмін речовиною, енергією, інформацією між його складовими.

Система як об'єкт дослідження – сукупність систем, самоорганізованих через зв'язки, які дозволяють за допомогою переходів від елемента до елемента з'єднати їх з метою гармонізації розвитку цілісності.

Велика система включає значну кількість однотипних елементів і зв'язків. Так, наприклад, атмосферне повітря, що складається з великої кількості різних газів, утворюючих цілісну газову сферу завдяки міжмолекулярній взаємодії. *Складна система* складається з елементів різних типів і має різноманітні зв'язки між ними. Саме для складно організованої структури при вирішенні комплексних проблем таким елементом є система, що створює певну структуру об'єкта дослідження.

Структура об'єкта – розділення на складові об'єкта або систем на групи елементів з визначенням зв'язків між ними, незмінне на весь термін розгляду й надання уявлення про систему в цілому. Виділяють у структурі об'єкта матеріальну, функціональну, алгоритмічну або інші складові. Зв'язки між елементами системи відносять до таких типів: послідовне, паралельне

з'єднання й зворотний зв'язок. Це дозволяє у дослідженнях на різних рівнях здійснювати *декомпозицію* – розподілення системи на прості частини з метою проведення зручних операцій з цією системою.

Ієрархія – це структура з наявністю підпорядкованості, тобто нерівноправних зв'язків між елементами при встановленні збільшеного впливу в одному з напрямів дії на елемент, чим в іншому. Даний термін у запропонованій моделі системного об'єкта застосовується у разі розгляду різноманітних видів ієрархічних структур, серед яких на практиці використовуються деревоподібна й ромбоподібна структури. Деревоподібна структура більш проста для аналізу й реалізації завдяки визначенню ієрархічних рівнів – групи елементів, які знаходяться на однаковому віддаленні від верхнього елемента. Деревоподібна структура використовується на етапі розрахунку ризику, наприклад для ґрунту як об'єкта дослідження надана біотична система у вигляді складових – мікроорганізми, тваринний і рослинний світ; абіотична складова – ґрунтове повітря, водне середовище і мінеральні речовини, визначених певними матеріально-ресурсними зв'язками [125, 127].

Принципи системного підходу – це положення загального характеру, що є узагальненням досвіду роботи людини зі складними системами, складає ядро методології. Відомо біля двох десятків таких принципів, ряд з яких застосовано при формуванні систем-системного підходу з дослідження питань екологічної безпеки складних об'єктів: *принцип кінцевої мети* – абсолютний пріоритет загальної мети; *принцип єдності* – спільний розгляд системи як цілого і як сукупності елементів; *принцип зв'язаності* – розгляд будь-якої частини з урахуванням оточення і зв'язків з ним; *принцип модульної побудови* – виділення модулів у системі й розгляд її як сукупності модулів; *принцип ієрархії* – введення ієрархії елементів і їх ранжування; *принцип функціональності* – розгляд структури й функції з пріоритетом функції над структурою; *принцип розвитку* – врахування змінюваності системи, її здатності до розвитку, розширення, заміні частин, нагромадження інформації; *принцип децентралізації* – сполучення в прийнятті рішень різного виду досліджень для певних цілей і

управління централізацією й децентралізацією; *принцип невизначеності* – врахування неповноти, неточності, відсутності даних, стохастичності й випадковості.

Операцією називається система дій, об'єднаних однією ціллю і спрямованих на досягнення мети. Ціль дослідження операцій – попереднє кількісне обґрунтування оптимального рішення, кращого за наданих ознак.

Показник ефективності прийнятого цільового рішення за методологією комплексного оцінювання системного об'єкта дослідження є кількісна міра, що дозволяє порівнювати різні рішення за кількісним визначенням зваженого ефекту від певної дії чи впливу. Кожне завдання для певного напрямку досліджень (екологічного, економічного чи соціального) відбиває структуру знань ОПР про множину допустимих рішень відповідно до прийнятого рівня екобезпеки та зростання еколого-економічної ефективності [125, 127, 128, 141].

На сьогодні систем-системні дослідження в деякій мірі надані в системі *корпоративного екологічного менеджменту* (КЕМ), орієнтованої на вирішення проблем охорони навколишнього середовища на мікрорівні. Це система управління діяльністю підприємства у тих її формах, напрямках, сторонах, які прямо чи опосередковано визначають зв'язок між діяльністю підприємства з охороною природного середовища [142, 143]. Досвід функціонування такої системи управління якості довкілля закладено в інформаційно-системну оцінку рівня екологічної безпеки складних об'єктів, елементи якого також характеризуються кооперативними зв'язками, а сама структура об'єкта визначається як корпоративне утворення.

Взагалі, згідно з визначенням енциклопедичного словника корпорація (лат. corporation) – об'єднання для досягнення мети. Поширене це поняття в економічній (соціально-економічній) системі, яке визначає цілісне утворення (юридична особа), об'єднаних елементів (фізичних осіб), незалежних, тобто самокерованих. Елементи корпорації визначаються об'єднуючими зв'язками, які за концепцією О.А. Красавчикова мають організаційну основу, підсилену внутрішнім системним матеріально-енергетичним аспектом при реалізації вищої форми об'єднання. Ці зв'язки особливі, оскільки контролюються

«корпоративним правом», заснованим на компромісі задля головної мети при реалізації «особистих інтересів» [144].

Іншим поширеним видом створення складних систем є інтеграція, стан зв'язаності, процес, що забезпечує цілісність об'єкта. Інтеграційне об'єднання екологічної, економічної і соціальної складових в межах об'єкта дослідження – більш жорсткий підхід, який надає переваги загальному перед приватними чи одиничними пріоритетами, що далеко від гармонії, є характерним для сучасної системи управління якістю НС, моделей оцінки рівня екобезпеки НС [144–146].

Для комплексного дослідження складних об'єктів, пов'язаних з розвитком суспільства, пріоритетними є питання екологічної безпеки, які спрямовані на визначення умов гармонійної взаємодії екологічної, соціальної, економічної систем за принципом екологізації життєвого простору. Впровадження в управління безпекою як об'єкта дослідження моделі систем-системного утворення пов'язано з необхідністю підвищення функціональності природно-техногенних об'єктів за умови відповідності їх вимогам сталого розвитку з урахуванням екологічних переваг щодо прийняття рішення.

Інформаційне забезпечення для розв'язання зазначених задач екобезпеки повинно мати корпоративну структуру. Корпоративність полягає у створенні єдиного інформаційного простору – об'єднання інформаційного поля галузевих знань у наукоємний напрямок для досягнення мети і цілей міждисциплінарних досліджень у прийнятті рішень з питань екобезпеки складних об'єктів.

Таким чином, будується методологія корпоративних досліджень, яка, маючи за основу названі вище принципи системного аналізу, доповнюються принципами, що визначають системну структуру об'єкта дослідження [147].

Принцип *об'єднання інформаційного поля знань*. Функцію розв'язку конкретної сукупності задач сталого розвитку складних систем визначають як загальне інформаційне поле динамічно-змінних потоків знань окремих галузей наук, що становить теоретичну основу опису об'єктів мікрорівня дослідження.

Принцип *системності досліджень*. Системність визначається внутрішньосистемним дослідженням взаємопов'язаного функціонування

систем об'єкта, з одного боку, і взаємодії «система-середовище» з навколишнім середовищем об'єкта – з іншого, встановлюючи загальні та специфічні закономірності впливу оточення на стан об'єкта і відповідність його природній функціональності як триєдність, по-перше, матеріального, енергетичного та інформаційного гомеостазу, по-друге, економічного, екологічного і соціального статусів з включенням додаткових знань в інформаційне поле.

Принцип *гомеостазу на різних рівнях організації об'єкта*. Гармонійне сполучення і природний еволюційний розвиток системного об'єкта підтримується динамічною рівновагою «система-середовище» в умовах зміни навколишнього середовища і функціонального потенціалу розвитку систем.

Принцип *оптимальності «система-середовище»*. Необхідність дотримання функціональної здатності об'єкта в економічному, екологічному і соціальному аспектах за рахунок матеріальної, енергетичної та інформаційної узгодженості в системах і міжсистемному просторі взаємодії (внутрішній простір об'єкта). Це досягається через індивідуальну адаптацію і реалізацію у взаємодії «об'єкт – процес – НС» адекватної оптимальності [148, 149].

Для системного об'єкта комплексного дослідження адекватність є оптимальним критерієм самоорганізації систем за рахунок встановлення відповідності стану і функціональності кожної складової об'єкта прийнятному рівню екологічної безпеки за умови стабільної взаємодії з навколишнім середовищем при реалізації певних процесів еволюції і онтогенезу.

Врахування процесів, що спрямовані на встановлення рівноважного стану об'єктів «система-середовище», «об'єкт – НС», передбачає визначення адаптаційних можливостей у такій взаємодії, перетворенні середовища до потреб систем через самовільні процеси, встановлення регулюючих дій, пов'язаних з підвищенням якості НС. Таким чином, адекватна оптимальність взаємодії «система-середовище» означає виконання принципу гомеостазу.

Принцип *еволюційної компенсації*. Становлення гармонійних відношень, відповідності контролюється еволюційно-адекватним регулюванням взаємодії «об'єкт – навколишнє середовище».

Принцип *гуманізації*. Сполучення економічного, екологічного і соціального статусів з метою створення екологічного середовища (підтримка життєдіяльності біотичних систем і людини), враховуючи природні вимоги до його організації і функціональності в матеріальному, енергетичному та інформаційному аспектах. Таким чином самоорганізується інформаційний простір підтримки взаємодії «систем-середовище».

Принцип *інтелектуалізації інформаційного простору*. Для ефективного розв'язання задач екологічної безпеки «об'єкт – навколишнє середовище» і прийняття оптимального управляючого рішення необхідним є створення *корпоративних систем знань* за новітніми інформаційними технологіями, включаючи системні методи, алгоритми, математичні, інформаційні та вербальні моделі, апаратно-програмні засоби. Дієздатність такого продукту визначається *потужністю інформаційної інтелектуалізації* – здатність отримання нових знань, генерація і узагальнення знань у межах і за рамками поставленої задачі, логічного, асоціативного та алгоритмічного мислення.

Формування інформаційного простору пов'язано з розробкою базових інтелектуальних інформаційно-технологічних модулів:

- створення і обробка баз знань;
- програмно-апаратні засоби обробки і прийняття рішень;
- розпізнавання і обробка образу (креслення, тексти тощо),

тобто створення *корпоративної інформаційної системи* підтримки рішень. Така система є інформаційним полем знань, предметно-орієнтованих на різні галузі наук. У базі знань предметних областей мають місце відомості, дані про розробки різноманітних моделей, аналіз і синтез яких виконується у відповідності до розв'язання конкретних задач екологічної безпеки.

Так, для прикладу надано *корпоративну інформаційну систему* баз даних галузей наук, пов'язаних з задачами підтримки еколого-економічних рішень (рис. 3.2) [124, 150, 151]. Надана знання-орієнтована система визначається трьома блоками, для яких загальна мета пов'язана з підтримкою прийняття

екологічно безпечних управлінських рішень з підвищення екологічної якості соціально-економічної системи (рис 3.2).

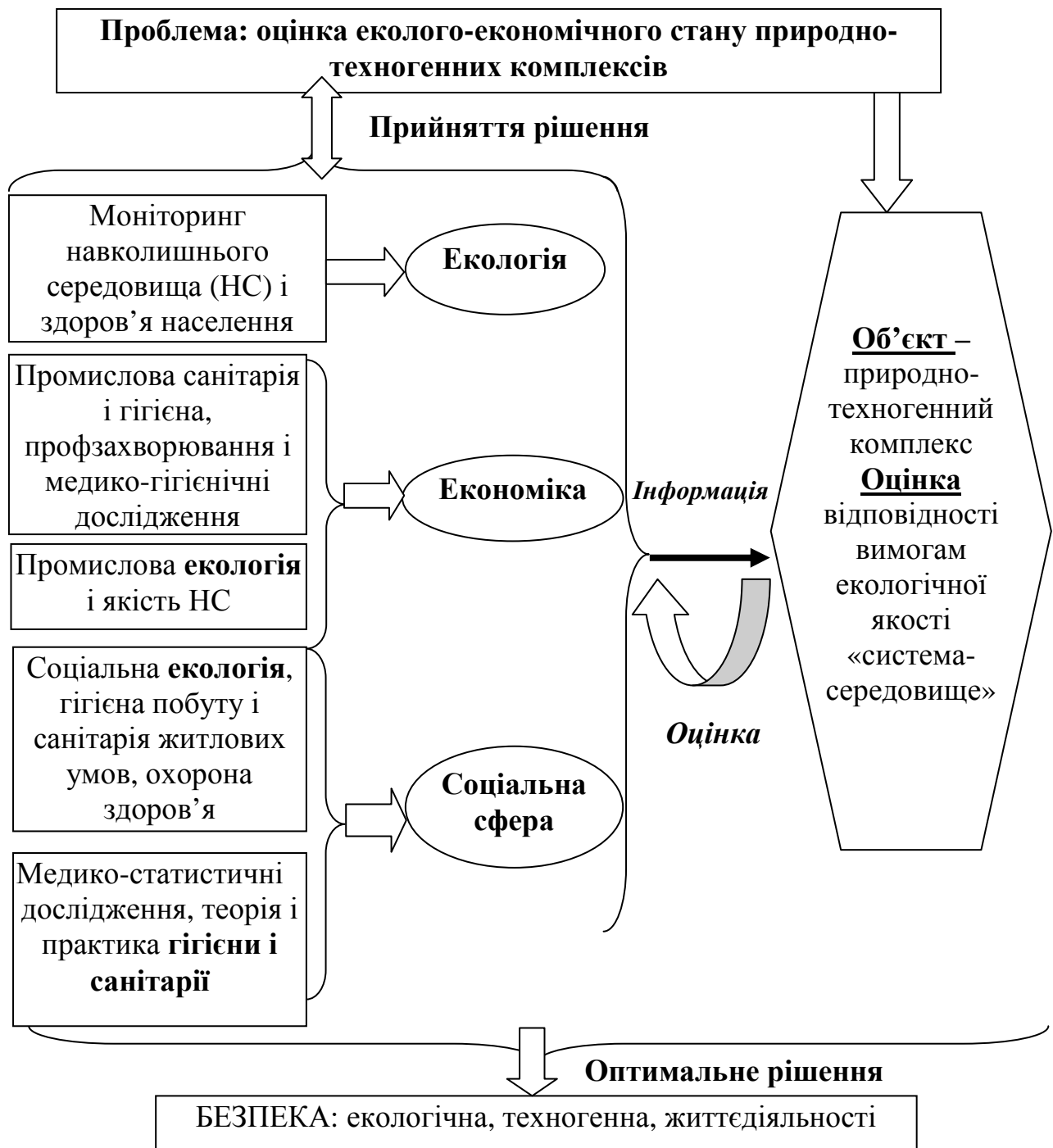


Рисунок 3.2 – Схема бази знань для розв'язання задач оцінки рівня екологічної безпеки складних систем

З метою забезпечення відповідності функціонування складових системного об'єкта вимогам екологічної безпеки запроваджується відповідне корпоративне управління – пошук балансу між інтересами систем і загальною

змістовністю (екологічною) об'єкта дослідження на основі визначеного взаємозв'язку між станом і процесами внутрішньої самоорганізації, зовнішнього зв'язку з навколишнім середовищем відповідно до правил системного гомеостазу [124, 152].

Зовнішня дія на систему при управлінні має регулюючу змістовність, пов'язану з оптимальним рішенням щодо підтримки систем у стаціонарному стані екологічної безпеки чи підвищенні позитивних факторів самовільних процесів стабілізації систем за умови негативного впливу середовища (див. рис. 3.2). Створений для підтримки екологічно регулюючих дій на об'єкт знання-орієнтований інформаційний комплекс визначається об'єднанням теоретичної бази знань галузевих наук і прикладних науково-технічних знань з інформаційною складовою.

Такий системний підхід до створення моделей об'єкта дослідження та інформаційного забезпечення розв'язання задач екологічної безпеки передбачає комплексне усвідомлення знання-інформаційних даних (моніторингова система як джерело вихідної експериментально-дослідної інформації) на рівні системних утворень з різнорідних систем, удосконалення підходів, методів і засобів обробки, аналізу і оцінки еколого-соціально-економічної інформації, розробку методології корпоративної системи управління, в основі якої розглядають задачу якості системних об'єктів за концепцією сталого розвитку на базі інтелектуальних інформаційно-технологічних рішень.

3.2 Оцінка рівня екологічної безпеки складних систем за ентропійно-інформаційним підходом

Відповідно до корпоративного підходу структуризації об'єкта дослідження в системний аналіз з оцінки рівня екологічної безпеки «система – НС» і методичне забезпечення запроваджується послідовна низка методів ідентифікації стану складових об'єкта дослідження, явищ і процесів у внутрішньому просторі об'єкта та його взаємодії з НС. Загалом стан системи і її сполучення з НС характеризується матеріальними, енергетичними та

інформаційними зв'язками. Така взаємодія описується об'єктивними законами термодинаміки, які становлять змістовність будь-якого об'єкта і дозволяють надати універсальну оцінку стану систем і особливостей перебігу процесів на основі запровадження ентропійної функції [122].

Отримання комплексної оцінки стану складного об'єкта вимагає наявності певного обсягу інформації, формування вхідного потоку даних, їх обробки, аналізу та збереження результатів. За умови роботи з різномірними системними утвореннями, включенням в об'єкт дослідження різнопланових систем необхідним стає запровадження універсальної міри для кількісних характеристик стану і процесів в об'єкті. За попереднім аналізом підходів з розв'язання задач якості «об'єкт – НС» встановлено, що узагальненою характеристикою стану і процесів є функція ентропії/інформації, яка за виразом (1.4) становить міру невизначеності (неточності знань), кількості інформації, необхідної для надання оцінки стану будь-яких систем, і застосовується в методичному забезпеченні вирішення завдань екобезпеки.

Загальне визначення інформації за Шенноном (див. вираз (1.4), (1.5)) становить статистичну й імовірнісну інтерпретацію кількості інформації для випадкового об'єкта. Вихідні дані про стан такого об'єкта ξ визначаються розподілом ймовірностей $P\{\xi \equiv x_i\} \equiv p_i$. При наявності такого розподілу з можливих значень x_1, x_2, \dots, x_k , які дорівнюють дійсно встановленим властивостям ξ , залишається остаточно невизначеним стан об'єкта за відсутності повного обсягу інформації. Усунення відсутності необхідного обсягу інформації пропонується через додатковий розподіл для випадкового об'єкта η з розглядом при цьому сумісного розподілу ймовірностей $P\{\xi = x_i, \eta = y_j\} = p_{ij}$.

За умови дослідження складних об'єктів більш вірогідною є наявність достовірних даних (інформації з природного стану об'єкта) $\eta = y_j$ і встановлення умовного розподілу ξ : $P\{\xi = x_i | \eta = y_j\} = p_{i|j}$. Зазвичай при дослідженні природно-техногенних комплексів використовуються моніторингова інформація і база знань (феноменологічний підхід) для

системного аналізу і формування в його межах моделей і рішень з управління якістю «об'єкт – навколишнє соціально-природне середовище».

Кількість інформації для встановлення точного опису ξ при наявності відомого і достатнього обсягу значень $\eta = y_j$ визначається за функцією

$$S(\xi|\eta = y_j) = -\sum_i p_{i|j} \log_2 p_{i|j}, \quad (3.1)$$

що в середньому становить

$$MS(\xi|\eta) = -\sum_j P(\eta = y_j) \sum_i p_{i|j} \log_2 p_{i|j}, \quad (3.2)$$

де $S(\xi|\eta)$ – умовна ентропія η при $\xi = x$;

$MS(\xi|\eta)$ – математичне очікування умовної ентропії при змінній ξ [83].

Для оцінки рівня екологічної безпеки «система – НС» пропонується алгоритм (рис. 3.3) реалізації імовірнісно-ентропійного підходу з визначення стану за кількістю інформації ξ , що міститься в отриманих результатах попереднього етапу розв'язку задачі чи встановлюється відносно характеристик системи η . Загальний стан об'єкта дослідження визначається такими залежностями інформаційної функції [11, 39, 46]:

$$I(\xi|\eta) = S(\xi) - MS(\xi|\eta);$$

$$I(\eta|\xi) = -\sum_i p_{ij} \log_2 \frac{p_{ij}}{P\{\xi = x_i\}P\{\eta = y_j\}}, \quad (3.3)$$

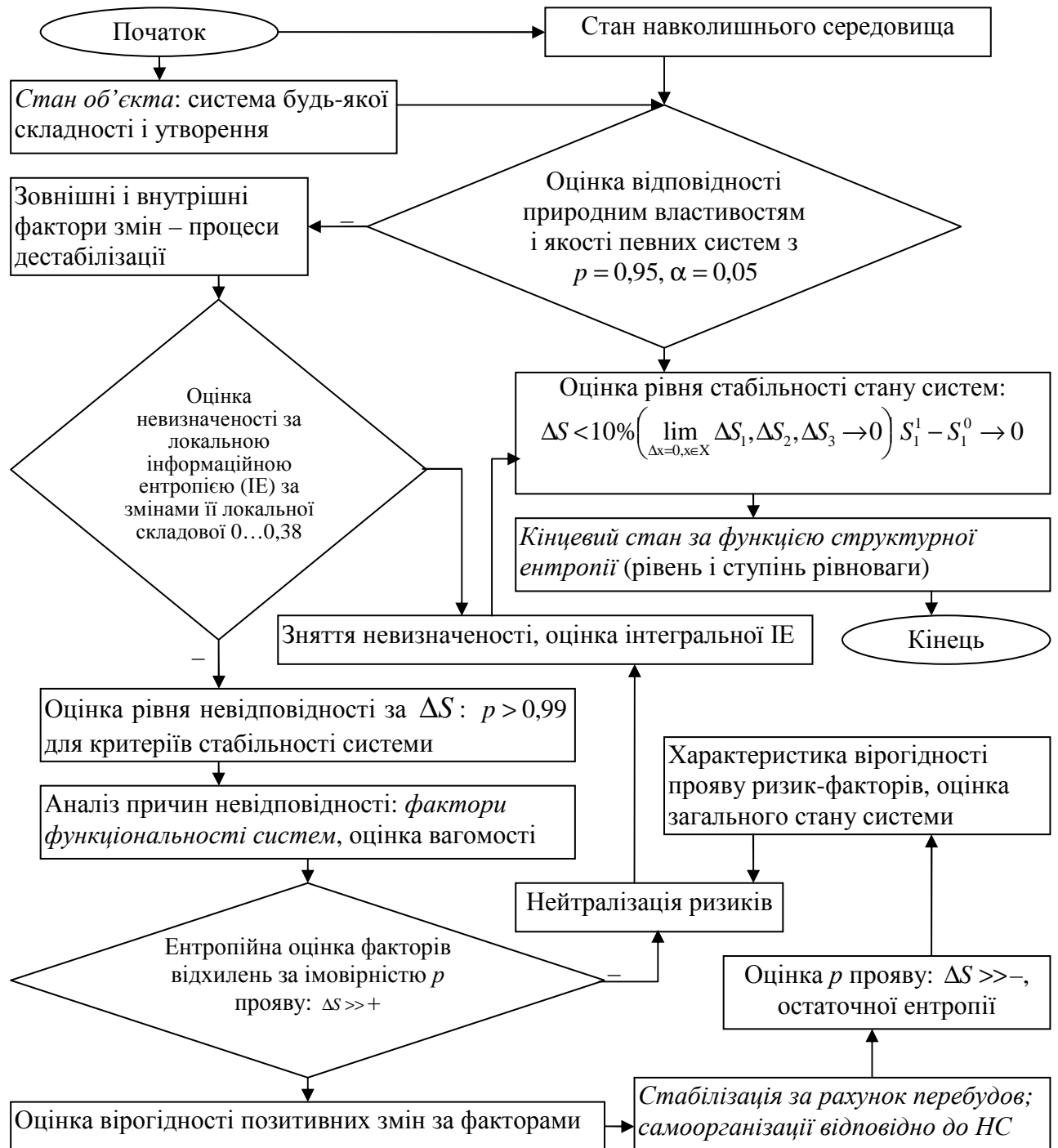
де $I(\xi|\eta)$ – кількість інформації в ξ відносно η ,

$I(\eta|\xi)$ – кількість інформації в η відносно ξ ;

$S(\xi)$ – ентропія стану ξ ;

$MS(\xi|\eta)$ – математичне очікування умовної ентропії при змінній ξ ;

p_{ij} – сумісний розподіл ймовірностей.



p – ймовірність відповідності природним властивостям; α – похибка оцінки;
 $\Delta S, \Delta S_1, \Delta S_2, \Delta S_3$ – оцінка загальних змін, імовірнісних, стохастичних,
 випадкових процесів відповідно (див. рис. 2.1)

Рисунок 3.3 – Імовірнісно-ентропійна оцінка стану системи і ризик-факторів

Оскільки ξ і η визначають однакові співвідношення: кількість інформації в η відносно ξ і кількість інформації в ξ відносно η , то $I(\eta|\xi) = S(\xi)$. Враховуючи прийняту аналітичну систему «стан системи – процес – стан системи», повернення у початковий гомеостатичний стан системи при

взаємодії з навколишнім середовищем є вірогідним при достатній її буферності ($\eta = 0$) чи наявності саморегулюючих механізмів (здатність їх C максимальна $C=1$ при відсутності в системі відхилень від звичайного стану ($\Delta = 0$) і значних порушень від впливу, взаємодії з навколишнім середовищем ($\Delta = 1$)), достатніх для нової самоорганізації системи ($\eta = 1$). Максимальна урегульованість системи у разі отримання на вході значень $\eta = 0$ і $\eta = 1$ становить таке:

$$\begin{aligned} P(\eta' = 0) &= 1 - \Delta, P(\eta' = 1) = \Delta \text{ при } \eta = 0; \\ P(\eta' = 0) &= \Delta, P(\eta' = 1) = 1 - \Delta \text{ при } \eta = 1; \\ C = \sup I(\eta, \eta') &= 1 + [\Delta \log \Delta + (1 - \Delta) \log(1 - \Delta)]; \\ P\{\eta = 0\} &= P\{\eta = 1\} = 1/2. \end{aligned} \quad (3.4)$$

Відповідно до (3.4) система функціонує без відхилень з імовірністю одиниця за умови $\eta' = \eta$, у той же час при $\eta' \neq \eta$ відновлюється з тією ж імовірністю при дії механізмів регулювання за умови $\Delta = 1$, в інших випадках $0 < C < 1$. Отже, у часі спостерігається відхилення від стаціонарності у стані системи, її функціональних можливостей, виникнення процесів стабілізації стану при саморегуляції чи перебігу процесів, що є чинниками самоорганізації, досягнення стаціонарності при допустимій варіації. Ця послідовність визначає аналітичну систему N «об'єкт – НС», що складає множину X зі змінними x . Стан елемента системи визначається ентропійною функцією (див. вираз (1.3)), яка характеризує загалом інформацію про певну ситуацію: $I = \log_2 N$.

Таким чином, прийняття рішення за даними системного аналізу і використання знання-орієнтованих систем надається відповідно до теорії інформації, яка задає математичний апарат інтерпретації кількісного визначення інформації за трьома підходами.

Комбінаторний підхід надає кількісно інформацію про об'єкт через його системну організацію: C систем в задачах сталого розвитку при параметричній ідентифікації зазначено як $C=3$ (соціальний, екологічний і економічний аспект),

аналогічно для задач безпеки при структурній ідентифікації $C > 3$ оскільки розглядаються системи взаємодій, процесів тощо з s -компонентів (наприклад, системи організму для дослідженої системи C – соціальна система є ідентифікатором рівня екологічності НПС), які містять m_i -елементів, $i = \overline{1, s}$, що становить основу інформації про n -мірну систему:

$$C(m_1, \dots, m_s) = \frac{n!}{m_1! \dots m_s!}, m_1 + m_2 + \dots + m_s = n;$$

$$S = \log_2 C(m_1, \dots, m_s). \quad (3.5)$$

За умови $n \rightarrow \infty$ кількість інформації (3.5) визначається через ентропійну функцію за асимптотичною формулою аналогічно виразу (1.4):

$$S_x \sim n \sum_{i=1}^s \frac{m_i}{n} \cdot \log_2 \frac{m_i}{n}. \quad (3.6)$$

У комбінаторній концепції кількість інформації про об'єкт X надається відповідно до заданої точності з дотриманням логічної незалежності від імовірнісних допущень. Даний підхід дозволяє визначити кількість інформації як ε -ентропія $S_\varepsilon(K)$ з метою виділення індивідуальної функції із наданого класу функцій для заданих умов аналізованої системи. Таким же чином використовується кількість інформації як ε -ємність $C_\varepsilon(K)$ для відокремлення надійно розрізнених елементів K , відстань від яких не менше ε [122].

У межах аналізу системного об'єкта це означає, що і для стаціонарних, і для динамічних умов їх стан описується певною функцією, зміни якої вказують на наближення до певної точки гомеостатичних відносин з НС ($S_\varepsilon(K)$), встановивши вагомі фактори дестабілізації ситуації в системі «об'єкт – НПС» і «система об'єкта – внутрішнє об'єктне середовище» ($C_\varepsilon(K)$). Взаємодія між системами ξ (множина X) і η (множина Y) відносно вимог до простору їх існування $X \times Y$ реалізується на множині можливих пар U при $a \in X$ для тих y з Y_a за умови $(a, y) \in U$, і умовна ентропія при цьому визначається рівнянням

$$S(y|a) = \log_2 N(Y_a), \quad (3.7)$$

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

Інформація про стан системи ξ (відносно x) стосовно наявних відомостей про η (відносно y) встановлюється за формулою

$$I(x : y) = S(y) - S(y|x). \quad (3.8)$$

Імовірнісний підхід змінює відношення до характеристики змінних x і y , визначаючи їх як «випадкові змінні», які мають певний сумісний розподіл ймовірностей, залишаючи менш вагомими без розгляду для визначення інформації (див. вирази (3.7), (3.8)). При наявності інформації про системний об'єкт від різних моніторингових джерел, яка складається з не зв'язаних чи слабо зв'язаних відомостей (показників, факторів, параметрів вимірювання тощо), підпорядкованих певним імовірнісним закономірностям, імовірнісний підхід є практичним. У його межах дозволені при значних за часом і обсягом спостережень змішування ймовірностей і частот; утворення математичного очікування для ентропії $MS_w(y|x)$ та інформації $MI_w(y : x)$, величина якої може приймати відмінне значення (при комбінаторному підході вона завжди додатна величина, що повинно бути при уявленні про кількість інформації).

Відповідно до ствердження А.Н. Колмогорова [122] істинна міра кількості інформації є осереднене значення $I_w(x, y)$, яка характеризує щільність зв'язку між системами ξ і η , параметрами стану x, y симетричним чином: $S_w(x|x) = 0$, $I_w(x : x) = S_w(x)$, $I_w(x, y) = MI_w(x : y) = MI_w(y : x)$ при тому, що $S_w(x|y)$ і $I_w(x : y)$ є функціями від x . Для системного аналізу за функцією ентропії запроваджені величини відповідно до визначень (див. вирази (1.4), (3.1)–(3.3), (3.8)):

$$\begin{aligned} S_w(x) &= -\sum_x p(x) \cdot \log_2 p(x); \\ S_w(y|x) &= -\sum_i p(y|x) \cdot \log_2 p(y|x); \\ I_w(x : y) &= S_w(y) - S_w(y|x). \end{aligned} \quad (3.9)$$

Процес відновлення гомеостатичного стану систем і зв'язків між ним в об'єкті за імовірнісною концепцією визначається таким чином:

1) розглядається сукупність можливих станів/зв'язків з наявним розподілом імовірності на цій сукупності;

2) звертаються до характеристичних властивостей як слабо зв'язаних між собою випадкових змінних.

Здебільше змінність систем, адаптація до зовнішнього середовища, розвиток систем/зв'язків з прийняттям оптимального виду і узгодженням характеристичних ознак дослідженого об'єкта обґрунтовується на основі другого варіанту імовірнісної концепції.

Алгоритмічний підхід доцільно використати за таких умов: необмежена складність реальних об'єктів; достатність інформації про зв'язки між системами на рівні простого схематичного опису; вичерпаність кількості інформації в індивідуальному об'єкті x відносно індивідуального об'єкта y при достатньо великому обсягу інформації. На відміну від класичної теорії передачі інформації в системному аналізі складних об'єктів природно-техногенної природи ентропія та інформація стають важливими як кількісні характеристики відповідності стану і відхилень від встановлених мір якості в наслідок деструктивної внутрішньої і зовнішньої дії різномірних факторів [33, 122].

Аналогічно до положень теорії інформації для оцінки відповідності стану різноманітних складових системних об'єктів і характеристик різних факторів запроваджуються елементи компараторної ідентифікації з утворенням «нумерованої» області об'єктів $X = \{x\}$, де кожному елементу множини ставиться у відповідність нуль або одиниця за такою послідовністю [124, 153]:

1) внутрішній стан системного об'єкта відображається залежностями:

$$Y_1 = f_1(x_1; x'_1); Y_2 = f_2(x_2; x'_2);$$

де x_1, x_2 – рівень екологічності та безпечності відповідних станів системи;

$f(x_1; x'_1)$ – функція стану системи;

x'_1, x'_2 – новий стан системи;

2) пріоритетність рішення пов'язується з стабілізацією природних параметрів й регулюючого управління, що надається предикатом

$$P(x_1, x'_2) = D(f(x_1), f(x'_2));$$

$$D(Y_1, Y'_1) = \begin{cases} 1, & \text{при } x_1 \neq x'_1; \\ 0, & \text{при } x_1 = x'_1; \end{cases} \quad (3.10)$$

3) компаратор реалізує предикат виду

$$K(Y_1, Y_2) = t,$$

який відповідає відношенню « K -предикат компаратора» [153]:

$$EK(Y_1, Y_2) = \begin{cases} 1 - \text{визначені порушення у системі}; \\ 0 - \text{система функціонує без порушень}. \end{cases} \quad (3.11)$$

Отже, складний об'єкт у при взаємодії з заданим x (чи зв'язок між системами в об'єкті) визначається певним гомеостатичним процесом, відхилення якого від заданої програми дій повинно бути мінімальним. Функція відображення цього стану $\varphi(p, x) = y$ є частково рекурсивною, оскільки має місце деяка невизначеність встановлення такої взаємодії: $I_A(x: y)$. Для цієї функції за логікою цілі досягнення природної (початкової встановленої, бажаної цілеспрямованої) стійкості для об'єкта відповідає умовам [34, 48]

$$K(y|x) = \begin{cases} 0 - \min_{\varphi(p, x) = y} l(p) \rightarrow 0; \\ 1 - \varphi(p, x) \neq y, (p) \rightarrow \infty. \end{cases} \quad (3.12)$$

Варіант стаціонарності (стійкості «об'єкт – НС») (3.12) досягається за умови використання регулюючої/управляючої дії до існуючого стану $\varphi(u) = y$,

яка є асимптоматично оптимальною, якщо для будь-яких x і y складність $K_A(y|x)$ є кінцевою. Врахування невизначеності та регулюючої дії для об'єкта «система – НС» при виконанні відповідності його стану вимогам рівноваги визначається кількість інформації в x відносно y за такими відношеннями:

$$\begin{aligned} K_A(y|x) &\leq K_\phi(y|x) + C_\phi; \\ K_A(y|1) &= K_A(y); \\ I_A(y:x) &= K_A(y) - K_A(y|x) \gtrsim 0, \end{aligned} \quad (3.13)$$

де C_ϕ – константа яка не залежить від x і y ;

$K(y|x)$ – умовна ентропія Колмогорова об'єкта y при відомому об'єкті x , що є основою для визначення поняття «кількість інформації».

Отже, алгоритмічний підхід слід вважати узагальнюючим з погляду на об'єкт як цілісність, що має свою мікроструктуру, до якої запропоновано відносити не тільки компоненти і елементи системного об'єкта, а і процеси його функціонування (див. рис. 3.3).

Для реальних об'єктів, таким чином, запроваджується загальне однозначне відображення неперервних змінних через функцію інформації, що у більшості випадків визначається за імовірнісною концепцією (див. вираз (3.3)):

$$I_w(x, y) = \iint P_{xy}(dxdy) \log_2 \frac{P_{xy}(dxdy)}{P_x(dx)P_y(dy)}. \quad (3.14)$$

Така оцінка з врахуванням індивідуальної кількості інформації змістовна при значному обсязі даних про стан об'єкта.

З технічного розгляду оціночної системи екобезпеки досліджених об'єктів застосовується інформаційна міра Р. Хартлі. Отримання її рівноцінно одиничному вибору з N -можливостей [154], тобто для визначення стану системи включення певної характеристики знизить ймовірність очікуваної невизначеності. У такому випадку на відміну від інформаційної ентропії

(див. вираз (1.3) і (1.4)) кількість інформації пропорційно числу n -вибору, а коефіцієнт пропорційності передбачує відповідність рівній чисельності можливих послідовностей рівній кількості інформації за n -вибором [33, 35]:

$$I = Kn, \quad (3.15)$$

де K – константа, яка залежить від числа даних при кожному виборі.

Для системного об'єкта при досягненні узгодженості внутрішнього простору для систем встановлюють відповідність значення інформації стосовно вибору і констант, наприклад для двохскладового утворення N має значення N_1, N_2 з коефіцієнтами пропорційності K_1, K_2 , тоді послідовність їх у функціональності за інформаційною оцінкою однакова [35]:

$$N_1^{n_1} = N_2^{n_2},$$

$$I = K_1 n_1 = K_2 n_2, \quad \frac{K_1}{\log N_1} = \frac{K_2}{\log N_2}. \quad (3.16)$$

Таким чином отримують аналітичні вирази з послідовним використанням для поетапного розв'язання складних суміжних задач в аналітичній системі «стан – процес – стан» за ентропійною функцією оцінювання. Різноманітність задач і різноманітність складових систем аналізу поєднується на одній методологічній платформі завдяки комплексному поєднанню досліджень Р. Хартлі [61], К. Шеннона [62] і У.Р. Ешбі [155]. Це дозволяє у будь-якому моменті аналізу визначати інформацію як відображення різноманіття за вибором процесів, які важливі в регулюванні стану систем/об'єкта, та отримувати узагальнену оцінку за умови врахування синергетичних наслідків для стану об'єкта в цілому.

Саме сполучення різних видів інформації є основою для реалізації системного аналізу при комплексному дослідженні об'єктів різної природи (складні, глобальні, макроструктури, мікросруктури, природно-техногенні

комплекси, територіальні угруповання). У таких аналітичних системах інформація стосується не тільки елемента, компонента, тобто окремої структури, а їх взаємодії, результат якої впливає на стан системи через зв'язок інформаційних потоків наявних і отриманих даних. Відображення різноманіття станів за вхідними даними через переломлення інформації відповідно до ідентифікованих процесів дозволяє визначити можливості системи до самоорганізації (синергетика), отримати відображення перетвореного стану у вигляді цілісного функціонуючого комплексу – від шеннонівської інформації до ентропійної функції і синергетичної інформації.

Беручи до уваги теоретичні викладки (див. вирази (3.1)–(3.9)), визначимо практичну модель розв'язання задачі оцінки якості за моніторинговими даними на прикладі двохсистемного дискретного об'єкта D зі складовими A, B [154].

За гносеологічними поняттями процес отримання інформації є фіксування взаємодії вхідних потоків від'ємних ознак P_A, P_B у вигляді I_{AB} . По-перше, складна система D розглядається у площині $\Omega(P_A)$, її елементи $d \in D$ за ознакою P_A виділяються у множину A . По-друге, аналогічно відокремлюється множина B при зазначеному просторі $\Omega(P_B)$ і ознакою P_B . Таким чином потрапляє у стан невизначеності відносно існування безпосереднього зв'язку між множиною A і B . Розгляд виділених множин у поєднаній площині $\Omega(P_A, P_B)$ як перетин $K = A \cap B, K \neq \emptyset$ дозволяє ліквідувати невизначеність стосовно безпосереднього взаємозв'язку множин A та B і отримати інформацію I_{AB} , яку ці множини відображають один про одного (співвідношення: кількість інформації в η відносно ξ і кількість інформації в ξ відносно η (див. вирази (3.1)–(3.3))). У випадку $K = \emptyset$ констатують зниження невизначеності за висновком, що між множинами A та B існує тільки непрямий зв'язок, оскільки відбувається доповнення інформації і формується загальний погляд на характеристики η і ξ .

Отримані логічні відношення корелюють за двома формулами щодо визначення інформаційної функції, для яких вираз (1.3) аналогічний виразу

(3.1), вирази (3.3) і (3.7) подібні. Це дозволяє надати характеристику множини A при наявності взаємодії її з іншими множинами й з урахуванням складу даних усіх множин (уявлення про об'єкт і його елементи) за інформаційною функцією такого виду

$$I_A = \log_2 M_A \text{ і } I_{AB} = \frac{M_K^2}{M_A M_B} \log_2 M_K, \quad (3.17)$$

де M_A, M_B, M_K – кількість елементів у складі множин A, B, K [33, 154].

Кількість інформації знаходиться у прямій залежності від числа елементів у просторі перетину множин $A \cap B = K$, у зворотній залежності від числа елементів у додаткових множинах $A \setminus K, B \setminus K$ і визначається інформаційною мірою. Встановлення інформаційних оцінок відповідно до виразу (3.17) відрізняються від комбінаторного та імовірнісного підходів за роботами Р. Хартлі [61], К. Шеннона [62]. Це явно виявлено при більш сильному взаємозв'язку множин $A = B$, коли за формулою (3.17) інформація множин один про одного приймає максимальне значення, а за традиційним підходом дорівнює нулю: при $A = B$ множини за ознаками P_A, P_B складаються з одних і тих же елементів, які в площині цих ознак не відрізняються один від одного, відсутність різноманіття та вибору означає відсутність інформації. Емпіричним шляхом отримана формула (3.17) доповнює традиційні міри інформації і дозволяє одностайно дати оцінку щодо стану конкретної системи, що знаходиться в певному просторі інформаційного зв'язку з НС.

3.3 Розробка ентропійно-інформаційної оцінки екологічного стану систем в умовах невизначеності

Моделювання поведінки системного об'єкта базуються на положеннях синергетики і теорії нелінійних процесів функціонування складних систем. Будь-яка самоорганізуюча система соціально-еколого-економічного змісту є відкритою, відводить ентропію, що зростає при деструктивних явищах у результаті взаємодії з навколишнім середовищем. Взаємодія об'єкта з

зовнішніми системами характеризується нестійкою динамічною рівновагою при об'єктивному зменшенні упорядкованості внаслідок варіацій обміну інформацією, речовиною, енергією. Необоротні процеси у часі і невизначеність майбутнього ідентифікується у вигляді динаміки ентропії, кількісні характеристики якої за змістом відповідності певному рівню визначеності дозволяє функцію належності прийняти як зміну ентропії ΔS (див. рис. 2.3).

Таким чином, даного рівня невизначеність розв'язується завдяки послідовному зменшенню невпорядкованості в системі і встановленню через ентропійну функцію напряду і границь імовірних процесів. Приймаючи до уваги положення теорії ПР за умови невизначеності [107, 125] і запроваджень ентропійних характеристик стану систем (див. вирази (1.1)–(1.5), (2.1), (2.2), (2.13)–(2.16)), запропонована ентропійно-інформаційна ідентифікація оцінки відповідності стану складних об'єктів прийнятному рівню екологічної безпеки.

3.3.1 Застосування ентропійної функції для послідовного розв'язання невизначеності

Нерівновага в системі визначається проявом ефекту виникнення відгуку системи на некомпенсовану частину впливу $\Delta P dx$, що відповідає закону збереження енергії. Процеси компенсації не можна визначити в межах рівноважних взаємодій, тому додатково звертають увагу на принцип зростання ентропії. Для фізико-хімічних процесів ентропійна характеристика змін є засобом безпосереднього відображення реакції системи на відповідний зовнішній вплив. Стан системи у такому випадку визначається термічною координатою, яка стає складовою сукупності його параметрів, і за її змінами виявляється відгук системи на зовнішній вплив.

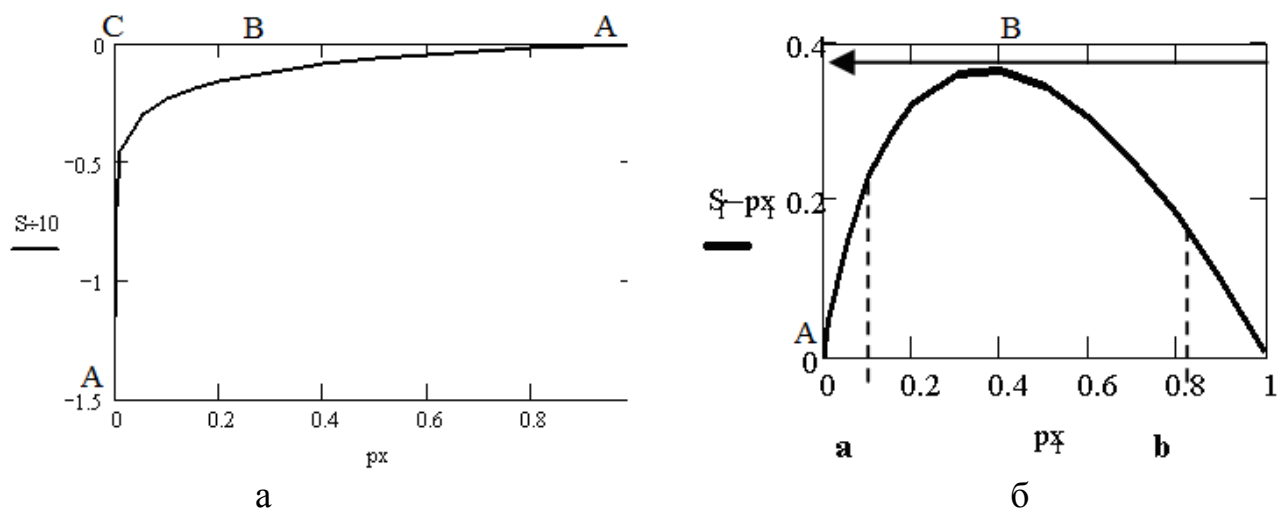
Таким чином, постулюється існування ентропії відповідно до логічно обумовленого природного розвитку подій. Надалі системний аналіз виходить за межі термодинаміки і розглядає ентропію як міру імовірнісного стану системи, ентропію як міру невизначеності ситуації.

Відхилення стану системи від точки стаціонарності, як середньої зафіксованої стабільності (у фізичних поняттях – середня енергетична

гомогенність), пов'язується зі збільшенням неупорядкованості відповідно до принципу максимуму ентропії (див. вираз (1.4)). Величина невідповідності зафіксованих характеристик прийнятному для них рівню стаціонарності характеризується дисперсією σ^2 , яка згодом приймає фіксоване значення, оскільки її зростання може призвести до порушення системи. У такому випадку необхідно стабілізувати значення σ^2 і повернутися до природної стабільності чи наблизитися до стохастичного стаціонарного стану, де ентропія розподілу наближається до теоретичної границі (рис. 3.4).

Динаміка необхідних змін визначається такими поступовими переходами. У початковий момент часу (стан А) усі системи об'єкта мають однаковий стабільний характер функціональності, невизначеність відсутня, ентропія дорівнює нулю. Після дії внутрішніх дестабілізуючих факторів чи порушення гомеостазу при взаємодії з навколишнім середовищем (вплив зовнішніх факторів – випадковість, стохастичність невідповідності взаємодії «об'єкт – НС») (перехід А–В) поступово включаються механізми самоорганізації і повільно системи та об'єкт загалом входять у стохастичний стаціонарний стан (С, перехід В–С, ентропія S досягає максимуму) (рис. 3.4 а).

Еволюційний розвиток системи у проміжному стані (В) характеризується наближенням до нормального розподілу (рис. 3.4 б) [38].



$$a - S = \ln(px); \quad б - S = -px \cdot \ln(px)$$

Рисунок 3.4 – Характеристика змін за траєкторією максимальної ентропії

Однозначна змістовна характеристика логічного ланцюгу уникнення невизначеності, присутність експериментальної інформації і моніторингової, яка надається у вигляді імовірнісного оцінювання даних про об'єкт дослідження, дозволяє стверджувати доцільність характеристики елементів зазначеної вище аналітичної системи через ентропійну функцію, яка має значення стосовно встановлення стану ($\ln p$) та інформації про зміни ($p \cdot \ln p$). В силу зазначеного і необхідності уникнення невизначеності в аналітичній системі «стан⁰ – процес – стан⁰ (стан¹)» пропонується ентропійне розв'язання задачі оцінки стану об'єкта щодо відповідності прийнятному рівню екологічної безпеки (див. рис. 2.3) за викладками п. 2.2 вважати функцією належності ентропійну характеристику ($S'(K)$, $S(\xi|\eta)$, ΔS) [33, 35, 156, 157].

Між границями функції розподілу випадкових подій (ефектів, відгуків) системи, що визначена інтервалом $[a, b]$, знаходиться зона невизначеності, яка ідентифікується за впровадженою в системний аналіз ентропійною функцією. Згідно з рисунком 3.4 б, враховуючи інтервальну оцінку відповідності у невизначених умовах, надають характеристику поведінки об'єкта в умовах хаотичних змін (повній невизначеності) за зазначенням $\mu \cong S$ чи ΔS :

$$S(x) = \begin{cases} \text{sign}[x - a] \text{ чи } a \rightarrow -\infty; \\ \text{sign}[x - b] \text{ чи } b \rightarrow \infty. \end{cases} \quad (3.18)$$

Детерміновану величину a визначають як випадкову величину X , ентропійна функція якої має одиночний стрибок у точці a (3.18). Зміни ентропії зазначені відгуком системи на трансформацію вхідної дії збоку зовнішнього середовища на границі системи (L), взаємодії отриманої інформації з внутрішніми чинниками системи (LM), що приводить до факторів M_2 стабілізуючого чи деструктивного характеру з подальшою зміною стану H відповідно $M_2 H \rightarrow H'$ чи H_2 . Інформативність такої системи, враховуючи початковий стан і його варіацію за рахунок вивільнення зв'язаної енергії

(негентропії) (див. вираз (2.6)) перебігу певних процесів, відображають відповідно до поведінки складових (множина X змінних $x - X = \{x\}$) з поділом їх на відбиту і невідбиту частини, які дорівнюють адитивній негентропії I_Σ і ентропії відбиття S :

$$I_A = I_\Sigma + S. \quad (3.19)$$

Відповідно до виразу (1.4) і (1.5) визначають такі інформаційно-ентропійні показники:

$$\begin{aligned} I_A &= \log_2 N_A; \\ I_\Sigma &= \sum_{i=1}^N \frac{N_i}{N_A} \log_2 N_i; \\ S &= -\sum_{i=1}^N \frac{N_i}{N_A} \log_2 \frac{N_i}{N_A}, \end{aligned} \quad (3.20)$$

де N_A – загальна кількість елементів у складі системи A ;

N_i – кількість елементів у складі i -тих частин системи.

Розв'язання невизначеності в інтервалі $[a, b]$ завдяки ентропії стає можливим, якщо за зазначеною вище логікою формування структурного упорядкування враховувати саме синергетичну теорію інформації, виходячи з вивчення перетворень при взаємодії об'єкта з НС та систем у внутрішньому просторі об'єкта. Відповідно до виразу (3.19) структура системи щодо її упорядкованості та хаотичності розглядається за законом збереження суми хаосу і порядку. Зміна станів при цьому за результатами процесів взаємодії будь-яких факторів, дії регулюючих і управляючих механізмів визначається законом збереження інформації на міжвидовому інформаційному рівні.

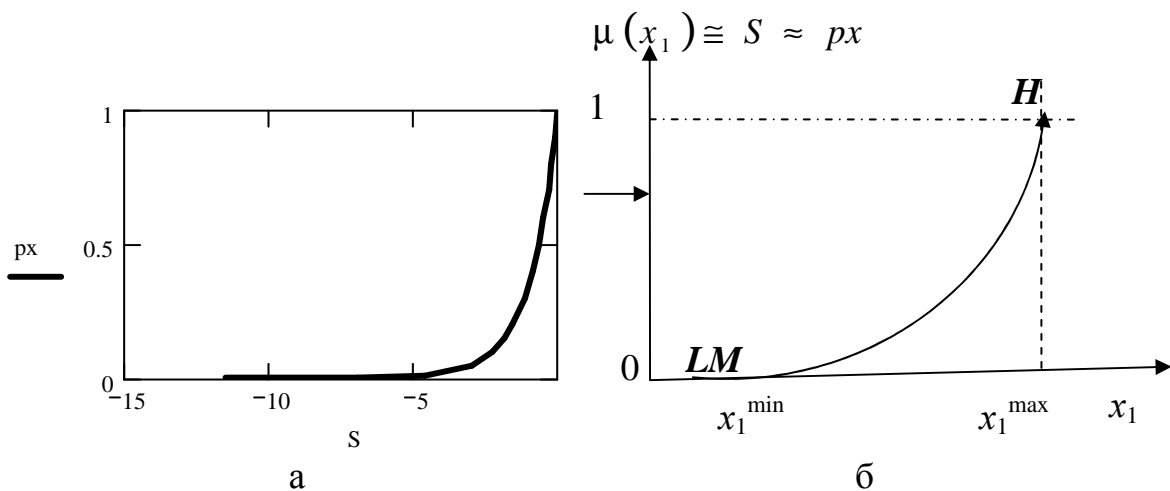
Отже, звернення до ентропійних характеристик стану і процесів, статички і змін завдяки змістовності виразу (3.19) щодо визначення «кількість інформації»

обґрунтовано поєднанням і нерозривністю взаємозв'язку комбінаторного, імовірнісного і синергетичного підходів.

Перехід у системі «стан⁰ – процес – стан⁰ (стан¹)» з наявними елементами невизначеності (див. рис. 2.3) відповідно до ентропійного підходу (див. рис. 3.4) інтерпретують певним чином (рис. 3.5–3.7).

Для уникнення невизначеності при характеристиці стану системи (див. рис. 3.4 а) використано ентропію Больцмана (див. вираз (1.2)), тобто маємо $S = \ln px$ (рис. 3.5 а), що надалі визначає функцію належності для фіксації змін прояву хаосу при зростанні ентропії.

В інтервалі фіксованих властивостей x_1^{\min} і x_1^{\max} (рис. 3.5 б) ідентифіковані точки прояву змін визначені ефектами взаємодії чинників зовнішнього впливу (L) і внутрішніх характеристик системи (M), що становить відгук (LM), який надалі посилюється до стабілізації стану (H), де ентропійна функція має умовний максимум (рис. 3.5 б).

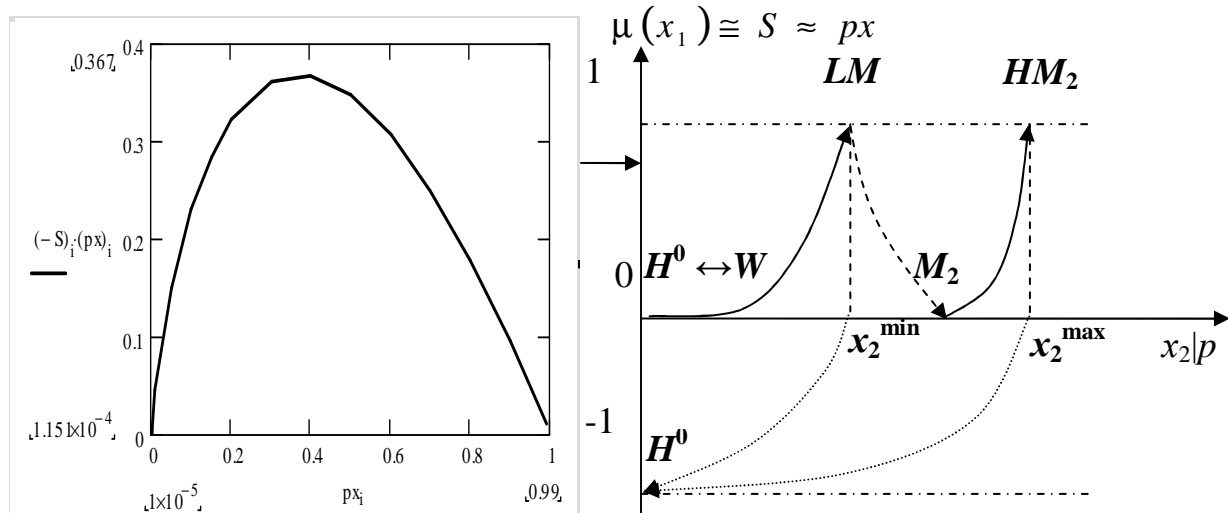


H – стан стабілізації; LM – взаємодія факторів при їх «зустрічі» в системі

Рисунок 3.5 – Розв'язання невизначеності стану системи за траєкторією максимальної ентропії

Реалізація взаємодії систем з синергетичним ефектом самоорганізаційної дії приводить до стабілізації стаціонарного стану «система (H^0) – НС (W)» виду «стан⁰ – процес (зовнішній фактор – внутрішній фактор, внутрішній фактор –

внутрішній фактор) – стан⁰» (рис. 3.6) при врахуванні наявної невизначеності ситуації (див. рис. 3.4 б). Стабілізація системи при взаємодії з НС в умовах хаотичного впливу залежить від імовірності довільних процесів при зменшенні за від’ємними значеннями ентропії взаємодії факторів (LM , HM_2), що визначається на феноменологічній основі (рис. 3.6).

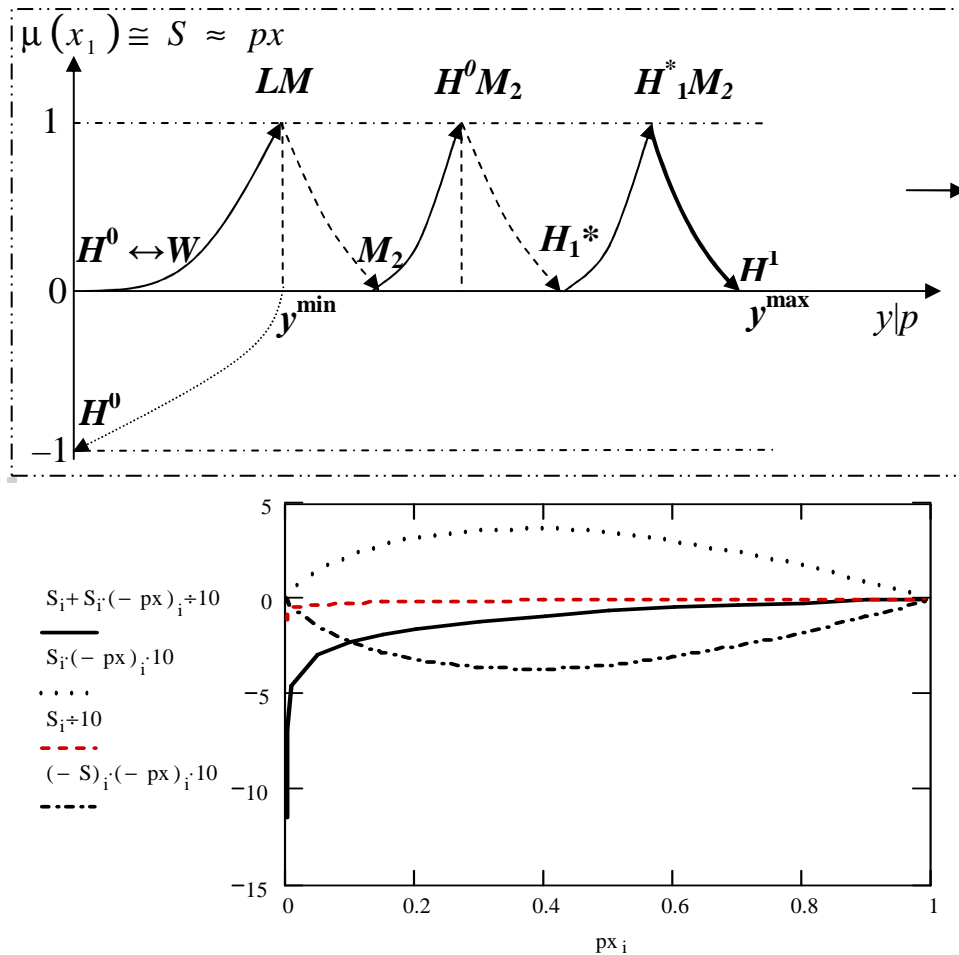


L – зовнішні фактори; M – внутрішні фактори; H – стан; LM – взаємодія факторів при їх «зустрічі» в системі; HM – вплив внутрішніх факторів на властивості системи; x_2 – безпека; $H^0 \leftrightarrow W$ – «система – НС»

Рисунок 3.6 – Розв’язання невизначеності стану системи за траєкторією ентропії процесів самовідновлення стану (синергетичний підхід)

Таким чином, в області невизначеності в інтервалі $[a, b]$ між значеннями $[x_2^{\min}, x_2^{\max}]$ за ентропійною оцінкою встановлюється неідентифікована подія і фактор регулювання рівня екологічної безпеки.

Більш складна ситуація у разі дослідження «система (H^0) – НС (W)» у межах «система (H^0) – НС (W) виду «стан⁰ – процес (зовнішній фактор – внутрішній фактор, внутрішній фактор – внутрішній фактор) – стан¹» розв’язується на основі аналітичного опису невизначеності ситуації з реалізацією проміжних станів нестабільних за наявністю негентропійних центрів і активних факторів дестабілізації (рис. 3.7).



M_2 – зміни внутрішнього системного простору; H_1^* – стан на рівні стаціонарності зв'язків з НС; LM – взаємодія факторів при їх «зустрічі» в системі; $H_1^*M_2$ – вивільнення енергії; $H^0 \leftrightarrow W$ – «система – НС»

Рисунок 3.7 – Розв'язання невизначеності в задачі оцінки стану «об'єкт – НС» за синергетикою відновлення гомеостазу

Ідентифікація переходу від хаотичності до встановлення детермінованого стану цільовою системи/об'єкта досягається на основі послідовного подолання невизначеності завдяки ентропійно-інформаційним функціям Шеннона (див. вирази (1.4), (1.5)), характеристики фазового простору (див. вираз (2.6)) ентропійною функцією стану за Колмогоровим та ентропійних і негентропійних визначень інформативності системи (див. вираз (3.20)). Таким чином здійснюється оцінка відповідності станів і процесів прийнятним рівням екологічної безпеки за однією функціональною характеристикою згідно з статистикою і динамікою даних щодо рівня гомеостазу «об'єкт – НС».

Відповідно до логіки ентропійної ідентифікації екологічного стану системних утворень визначають рівень хаотичного впливу навколишнього

середовища на об'єкт. Підґрунтям розпливчатості знань про параметри стану систем і змін у них під дією факторів навколишнього природного середовища є особливості соціальної і екологічної систем та їх соціально-екологічного утворення. Уникаючи експертних процедур, звертаються до об'єктивної інформації про початковий природний стан «об'єкт – НС» H^0 , який змінюється при дії факторів зовнішнього і внутрішнього характеру. За характерними змінами ентропійної функції (див. вирази (1.2)–(1.5), (2.1), (2.2), (2.13)–(2.16)) визначається повернення до відновлення природних зв'язків між системами $H^0 \leftrightarrow W \rightarrow LM \rightarrow H^0$ чи за проявом самоорганізаційних синергетичних ефектів неупорядкованість уникається і встановлюється рівноважний стан за умови $S'(K), S(\xi|\eta), \Delta S \rightarrow 0$. Зміни внутрішнього системного простору об'єкта у вигляді M_2 дещо стабілізує його стан на рівні стаціонарності зв'язків з навколишнім середовищем H_1^* , який характеризується наявністю негентропійної напруги, що спонукає до вивільнення енергії $H_1^* M_2$ і адаптації об'єкта до нових умов взаємодії з системами H^1 (див. рис. 3.7).

Таким чином, за принципом максимуму ентропії визначається не тільки фінальне стохастично-рівноважне становище системи, а й динаміка перехідних процесів. При сприйнятті об'єктом/системою дії стохастичного, непередбаченого/невизначеного характеру формується відповідна траєкторія максимальної ентропії від початкового до кінцевого стаціонарного стану. Враховуючи постановку завдань з оцінки екологічного стану складних систем за обраним алгоритмом (див. рис. 3.3), відповідно до наявної інформації відносно ξ , що міститься в отриманих результатах чи визначається характеристикою для системи η , пропонується обґрунтувати загальну шкалу кількісних характеристик ентропійної функції ідентифікації «стан системи – процес – стан системи» з використанням логічної мережі як засобу опису будь-яких відношень. Подання вхідної і вихідної інформації визначається відповідно до знань про наявності проміжних змінних стосовно переходів у системах у вигляді лінійних логічних перетворень.

Взаємодія з навколишнім середовищем призводить до появи стохастичних параметрів (відповідно до математичного поняття випадкової величини), які в певній області визначаються деяким розподілом ймовірностей, що оцінюються через частоти спостережуваних властивостей в однакових умовах. Неповнота інформації визначається тим, що невідомо яке значення прийме параметр у даній ситуації при відомій функції розподілу. Рівень інформації вважається низьким, якщо розглядається значна кількість типів розподілу [158]. Граничним випадком є відсутність обмежень стосовно типу розподілу, що потребує тоді передбачення змін параметрів на межі. Невизначеність прийняття рішення за таких умов обумовлена наявністю багатьох значень для досліджених величин, властивостей та ін.

Невизначеність недостовірності знання долається при прийнятті рішення для параметру належного до інтервалу $[a, b]$ (див. рис. 3.4) чи $[x^{\min}, x^{\max}]$ (див. рис. 3.5 і 3.6) і апріорно встановленні розподілу. У випадку повної невизначеності пропонується використовувати рівномірний розподіл на інтервал $[a, b]$ на основі гіпотез та оцінок [40, 158].

Відповідно до ствердження теорії імовірності закону великих чисел частота прояву кожного з зовнішніх станів стабілізується з ростом спостережень при відповідній імовірності за умовами реалізацій $RZ \rightarrow \infty$ та при повторі спостережуваних станів RZ_w , коли має місце відношення $RZ_w/RZ \rightarrow q_w$ і отримують оцінку e_t , яка визначає прояв ефекту поступово зі збільшенням інформації і її доступності для прийняття рішення:

$$e_t(RZ) \rightarrow e_t = \sum_w e(y_z, x_w) \cdot q_w,$$

де x_w – незалежні змінні стану спостереженої системи;

y_z – характеристики стану оточення як варіант рішення;

q_w – імовірність появи спостережуваних станів.

Вагомість (значимість) параметру x_w визначається його інформативністю для отримання розв'язку поставленої задачі (див. вираз (1.6)) за відповідною величиною ентропії S_w :

$$B_w = R_w \cdot S_w,$$

де B_w – стаціонарний природний стан об'єкта;

R_w – спостережувані стани;

S_w – ентропійна характеристика стану.

Відповідно до встановленої значимості кожного параметру згідно з вимогами завдання визначають межу B_v , нижче якої невизначеністю x_w нехтують. За умови $B_w < B_v$ для x_w розглядають параметри з єдиним середнім значенням \tilde{x}_w . Прийнято встановити межу B_a , вище якої приймається функція розподілу цього параметру без перевірки гіпотези.

За умови прояву різних значень x_w до x_{n_w} , кожне з яких має відповідну імовірність появи $q_{wj}, j=1, \dots, n_w$ мірою його невизначеності буде ентропія, розрахована як

$$S_w = -\sum_{j=1}^{n_w} q_{wj} \cdot \ln q_{wj}. \quad (3.21)$$

Згідно з формулою (3.21) для всіх $j=1, \dots, n_w$ правильно $0 \leq q_{wj} \leq 1$ і ентропія S_w завжди є невід'ємною величиною, приймаючи нульове значення при імовірності появи $q_{wj}=1$, тобто параметр приймає одне значення і невизначеність відсутня.

Ентропія буде мати максимальну величину, коли всі n_w значень параметра x_w рівноймовірні: $q_{wj} = 1/n_w, j = \overline{1, n_w}$. У такому випадку можливі значення параметру не мають пріоритетів один перед іншими, тобто мова йде про повну невизначеність. Однак, для нескінченно великої кількості можливих значень параметру ентропія спрямовується у безкінечність, оскільки при цьому

необмежено зростає невизначеність. Це спостерігається при дескретизації будь-якої безперервної функції щільності розподілу імовірностей, коли безперервний розподіл замінюють приблизним дискретним, для якого за формулою (3.21) розраховується ентропія. Послідовне зменшення інтервалу дискретності потребує постійного уточнення величини ентропії.

Для нормального розподілу в області $(-\infty, +\infty)$ і за експоненціальним законом в границях $[0, \infty]$ проводиться обмеження перед дескретизацією шляхом відсічення на кінцях значень з надзвичайно малими ймовірностями реалізації (див. рис. 3.4 і 3.6). Так для параметра x_w в області змін значень $\left[\min_j x_{wj}, \max_j x_{wj} \right]$ ця область розбивається на n_w інтервалів довжиною Δ_w , кожному з яких встановлюється імовірність реалізації q_{wj} параметра відповідно до змін щільності імовірностей і розраховується

$$n_w \Delta_w = \max_j x_{wj} - \min_j x_{wj},$$

а з урахуванням (3.21) визначається ентропія:

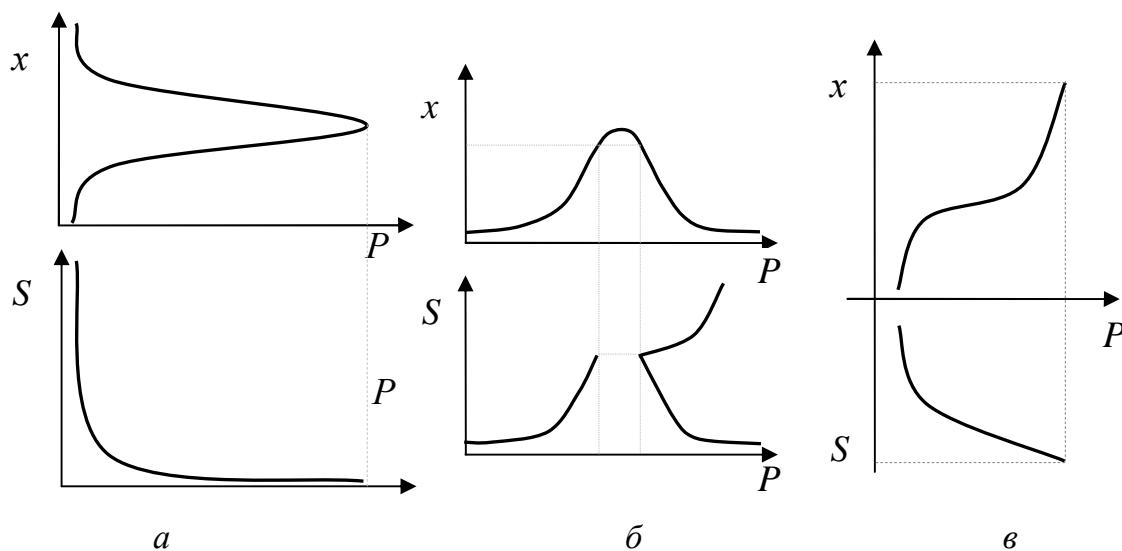
$$S_w(\Delta_w) = - \sum_{j=1}^{n_w} q_{wj} \cdot \ln q_{wj}.$$

Надалі аналіз стану невизначеності пов'язується з негентропійним принципом Л. Бриллюєна [159], що стосується від'ємного внеску інформації в ентропію, яка трактується як міра невизначеності, хаотичності, дезорганізації. Тоді негентропія в інформаційному змісті зменшує невизначеність і чисельно дорівнює різниці апіорної і апостеріорної ентропій. З цих позицій інформація інтерпретується як знята невизначеність відображення, тому і I_{AB} (див. вираз (3.17)) визначається назвою негентропія відображення [26, 33].

Для аналізованих процесів негентропія набуває значення зв'язаної енергії, вивільнення якої і надає самоорганізаційним процесам вигляд

довільних реакцій протидії неупорядкованості, що приводить до рівноваги в системах, гомеостазу загалом [26, 103].

Методика комплексної оцінки екологічності систем (КЕС) запроваджує імовірно-ентропійні характеристики стану систем і процесів: імовірність P , ентропія S і параметр стану x , для надання оцінки переходу від результатів аналізу статистичних спостережень до розгляду термодинамічних процесів щодо досягнення системою стану рівноваги ($\Delta S \rightarrow 0$) (рис. 3.8 а), чи зменшення негативного впливу між системами за рахунок трансформаційних перетворень ($S \rightarrow \max$) (рис. 3.8 б), чи порушення рівноваги з переходом в неупорядкований стан ($\Delta S \rightarrow \max$) (рис. 3.8 в) [12, 13, 26, 40, 49, 107].



а – стан рівноваги $\Delta S \rightarrow 0$; б – стабілізація, позитивні процеси $S \rightarrow \max$; в – деструктивні зміни, порушення рівноваги $\Delta S \rightarrow \max$

Рисунок 3.8 – Оцінка змін стану системи в умовах випадковості процесів

Відповідно до інформації «стан→процес→стан», наявної у базі даних щодо гомеостазу «система – зовнішнє середовище», за імовірно-ентропійним аналізом на мікро- і макрорівні загальний стан об'єкта надається ентропійним функціоналом:

$$S_{\text{КЕС}} = \{U_T, F(t, u), E(t, u), X_{qE}, S_w, A_w, D_w\}, \quad (3.22)$$

де $U_T = T \otimes U$ – зовнішнє регулювання стану (управління U , час T);

$F(t, u)$ – функціонал зовнішньої дії на систему;

$E(t, u)$ – енергетичний потенціал зовнішнього впливу;

X_{qE} – внутрішній стан системи;

S_w – стохастичний оператор, який відповідає за перетворення не випадкових функцій (функцій стану і функціонування визначеної статистично рівноважної системи) у випадкові (функції трансформації при стохастичній дії фактора);

A_w – оператор усереднення – перехід стохастичних функцій у детерміновані (перехід системи у новий стаціонарний стан, самоорганізація);

D_w – детермінований оператор, який відповідає за функцію виходу.

Оскільки випадковий функціонал не може бути критерієм якості системи, то використаємо його статистичні характеристики з урахуванням вагомості (w_i)

$\bar{J} = \sum_{i=1}^k w_i J_i$. Відповідність умовам екологічної якості об'єкта J при незначному

впливу на нього з боку зовнішнього середовища на макрорівні $F(t, u)$ (управління на складові системи $V_d(t, u)$) згідно з «термодинамічним досвідом» розв'язання техніко-економічних задач [157, 160] має вигляд:

$$J = J[D_w, Q(t, u)] \quad Q(t, u) = M\{S_w, F(t, u)\},$$

$$Q(t, u) = M\{S_w, V_d(t, u)\},$$

де M – оператор математичного очікування.

Відносно змінних w_i ($i \in \overline{1, k}$) функціонал є лінійним. Для визначення імовірного макростану інтегрувальної системи використовують ентропію $S = C \ln P$, яка при великих значеннях N складових елементів системи має вигляд: $S = -\sum_{i=1}^m N_i \ln N_i + C_0$, де C і C_0 є константи, що становлять умови реалізації макростану системи.

Прийняття управлінського рішення зі стабілізації екологічної безпеки еколого-соціально-економічного об'єкта при детермінованому управлінні

визначається функцією $V_d(t, u)$, при якій J досягає екстремуму. За умови виділення в моделі об'єкта трьох складових аспектів надають випадковий набір детермінованих функцій Q_1, Q_2, Q_3 і критерій якості визначають за індексом виду $J_i = J[D_w, Q_i(t, u)]$ при максимізації величини ентропії рівноважного стану і прийнятих за вимогами обмежень:

$$1) \text{ постійне число елементів складових систем } - \sum_{i=1}^m N_i = N;$$

$$2) \text{ стабільний енергетичний стан складових систем } - \sum_{i=1}^m \epsilon_i N_i = E, \text{ де } \epsilon_i -$$

енергія одного із елементів системи, що витрачається для забезпечення прийняттого екологічного стану об'єкта за такою схемою [29, 107, 153]:

$$\begin{aligned} S_0 \xrightarrow{S_w} < S_1 \xrightarrow{q(x,t)} S_1^1 \xrightarrow{A_w} < S_2 \xrightarrow{D_w \rightarrow H'_w} S_{\max} (\Delta S \rightarrow 0), \\ S_0 \xrightarrow{D} \Delta S \rightarrow S_1 \rightarrow P \rightarrow Risk, \end{aligned} \quad (3.23)$$

де S_0 – початковий гомеостатичний стан системи;

D_w – детермінований оператор, який відповідає за функцію виходу (визначено властивостями зв'язку між системами в межах інтегровального об'єкта і управляючою зовнішньою дією);

A_w – оператор усереднення – перехід стохастичних функцій у детерміновані (перехід системи у новий стаціонарний стан у результаті самоорганізації при зовнішньому потоці $q(x, t)$);

ΔS – зміни у системі;

S_1 – реалізація нового стану системи з імовірністю P ;

$Risk \rightarrow 0, \Delta S \rightarrow 0$ – вимоги щодо встановлення безпечного стану системи.

Встановлення, таким чином, вичерпної інформації про стан екобезпеки систем обумовлено використанням комплексного підходу в отриманні знання про об'єкт, організацією знання про оточуюче середовище, що становить основу інтелектуальних знання-орієнтованих систем (рис. 3.9). Останні у практичному аспекті вирішення завдань прийняття рішень приймаються як:

– системи, що працюють зі знаннями;

- засіб розв’язання інтелектуальних задач;
- системи, які імітують діяльність людини і мають відношення до роботи з неформалізованою і розпливчатою інформацією;
- концепція у сфері інформаційних технологій.



Рисунок 3.9 – Схема комплексної оцінки стану екобезпеки системного об’єкта

При аналізі складних об'єктів використані знання враховують, що кожна аналізована система об'єкта є високоорганізованою, тобто має розвинену й складну структуру, менш організованою з простою структурою, зовсім хаотичною, коли її елементи розподілені випадково й, у середньому, однорідним чином. Для аналізу необоротних процесів використовують фундаментальні положення теорії утворення структур і звертаються до фрактальної геометрії для отримання зв'язку базових понять *хаос* і *структура*, *різні ентропії з кількісної оцінки систем різної природи* (див. рис. 3.9).

Аналіз можливостей самоорганізації в межах внутрішнього середовища систем і їх взаємодії з НС, підтримки зв'язків, що гомогенізують системний простір, не дозволяючи створювати точки напруги – ентропійного вибуху, реалізації хаосу пов'язують з процесами розвитку та еволюції (послідовність нових структур) системного об'єкта, який за умови підтримки стабільності зберігає цілісність. Головне завдання при синергетичному аналізі складних систем полягає у виявленні головних факторів на кожному етапі послідовного і незворотного переходу від одного стану систем до іншого з реалізацією певного рівня внутрішньої організації і ступеню зв'язаності структурних елементів при перевазі певного типу зв'язку між ними. Для ідентифікації передкризових станів запроваджується комплексний сигнальний підхід на основі сучасних методів синергетики, мультифрактального та вейвлет аналізу, ентропійних методів, графологічних моделей тощо.

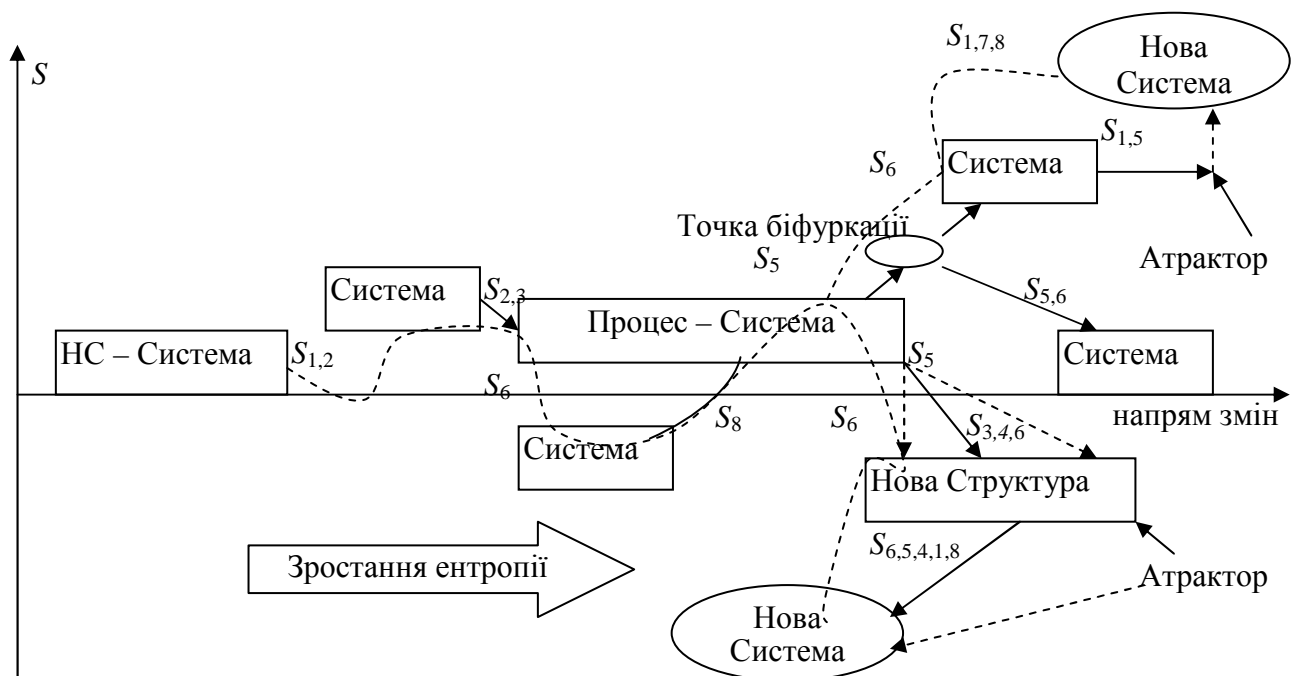
Зміну ентропійної функції системи, що визначає її стан, пов'язують з проявом двох процесів: $d_e S$ – взаємодії з зовнішнім середовищем (ендогенна компонента); $d_i S$ – внутрішніх змін системи (екзогенна компонента):

$$dS = d_e S + d_i S. \quad (3.24)$$

За умови $d_i S = 0$ встановлені зміни є зворотними, для незворотних процесів ідентифікують потік ентропії $d_i S > 0$. Отже, зростання ентропії вказує на незворотність процесів. Зважаючи на необхідність охоплення всього об'єму

системного середовища об'єкта дослідження, вагомими стають для аналізу кооперативні процеси в дисипативному просторі. У разі незворотних змін з порушенням визначеного зв'язку між елементами аналізованої системи з розвитком внутрішніх неврівноважених динамічних процесів і відповідним нарощенням флуктуацій встановлюють точки біфуркації.

Для оцінки стану екологічної безпеки таких системних утворень як соціально-еколого-економічні системи застосовують методи фрактальної математики, положення теорій біфуркацій, ланцюгових реакцій, Марківських процесів, нерівноважної термодинаміки, самоорганізації І. Пригожина, синергетики Г. Хакена тощо. Прояв синергетичних ефектів в соціально-еколого-економічних системах визначається кооперативною дією зв'язків між їх складовими, що призводить до зміни якості, траєкторії розвитку об'єкта дослідження. Значне тривале відхилення від стану рівноваги призводить до закріплення у просторово-часовому середовищі існування об'єкта (системи) накопичення дисипативних утворень, інтенсифікації дисипації з різкою зміною його систем у напрямку притягнення їх аттрактором (рис. 3.10).



..... – інформаційний потік даних, інформація змін; —> – фізичний потік даних, фізичні зміни; $S_{1,2,3,4,5,6,7,8}$ – ентропія інформаційна, термодинамічна, Больцмана, Гіббса, Шеннона, Колмагорова, Реньї – Тсаллеса, вейвлет ентропія

Рисунок 3.10 – Схема змін стану системи за ентропійно-інформаційними оцінками пошуку рівноваги

Досягнення гомеостатичного стану об'єктом за умови виконання ним природних (визначених з початку) макрофункцій визначається необхідною повноцінною гранично мінімальною кількістю важливих функцій для інформаційної підтримки стійкості його систем. Це потребує дотримання умов високої активності компонентів, елементів систем, структурної цілісності та значної функціональної гнучкості. Синергетика такого гомеостазу системного об'єкта визначається інформаційним балансом ентропії стану його внутрішнього і зовнішнього середовища, запасом гнучкості та стійкості складових елементів, що забезпечує структурну цілісність і надалі підтримує первинність її макровластивостей.

Флуктуації являють собою результат дії НС на систему, взаємодії «система – НС» розглядаються як процеси, які призводять до змін у разі перенесення матеріальних, енергетичних та інформаційних потоків. Останній є вхідним сигналом у систему з зовнішнього середовища і становить характеристику сталого (гармонійного) співіснування системи з зовнішнім середовищем, що являє умови для забезпечення стаціонарного стану системи і виконання нею функціональних властивостей.

3.3.2 Характеристика методу компараторної ідентифікації системних об'єктів: функція відповідності

Необхідність узгодження структури і характеристик процесів при управлінні гармонійним розвитком системних об'єктів потребує звернення до методів інтелектуального аналізу даних. Такий аналіз важливий при реєстрації послідовності ефектів чи подій і процесу, який спричиняє їх ненормалізований прояв. Звідси постає задача оцінки стану екологічної безпеки складного об'єкта за результатами аналізу перебігу процесів в системі/об'єкті, виходячи з наявної локальної інформації про зміни в них, на основі використання знання-орієнтованих баз даних. Якщо аналіз стану систем при наявній сукупності у потоці даних не становить труднощів, то з урахуванням перебігу процесів у напряму реалізації гомеостазу у дослідженому об'єкті розглядається задача неявного вибору структури процесів і напряму їх здійснення для досягнення

цільової точки стаціонарності стану об'єкта. Явні залежності «стан – процес/ефект, зміна – стан» відображають безпосередньо причинно-наслідкові зв'язки між подіями. Вагомість умовностей для бажаного процесу визначається непрямими зв'язками між станами і змінами.

Параметрично стан і процес, подія причинно-наслідкового характеру розглядається як відхилення від норми і визначається через ентропійну функцію. Таким чином, отримують формальні алгебро-логічні моделі конструкції неявного вибору за аналізом вагомих особливостей послідовності подій з неявним вибором процесу.

Для опису відношень при наявній входній і вихідній інформації у вигляді знань про стан і процес, даних про проміжні змінні, що визначають перетворення у системі, використовують логічні мережі [161]. Інформація за зазначеною аналітичною системою надається як логічний простір з множини векторів над полем скалярів, для яких прийнятні закони ідемпотентності, комутативності, асоціативності, нуля та одиниці, а зв'язок між скалярами та векторами описують за відповідною оцінкою диз'юнкції/кон'юнкції скалярів і диз'юнкції/кон'юнкції векторів та законів нуля та одиниці.

Враховуючи необхідність переходу до функції відношень між просторами стану – початковим у фіксований моменту часу і змінним у деякий час (за проявом відхилень від звичайного), при наявних елементах невизначеності розглядаються лінійні логічні перетворення для встановлення причино-наслідкової компоненти на об'єктивній основі. Відповідно до умов виконання лінійності функції співвідношення між наявною інформацією для ξ і результатами, отриманими чи визначеними, з характеристики системи η виду $F : P_{\xi} \rightarrow P_{\eta}$, при $S(\xi | \eta) \rightarrow 0$ приймають до роботи таке перетворення:

$$[F(P)](y) = \bigvee_{x \in \xi} (K(x, y)P(x)), \quad (3.25)$$

де $K(x, y)$ – предикат з $P_{\xi \times \eta}$ для будь-якого $y \in \eta$.

Відповідно до загального підходу з розв'язання різноманітних проблем завдяки логіки предикатів здійснюється перехід від теорії категорій до практики. Уникнення складностей при невизначеності в дослідженій ситуації завдяки логіки функціональної відповідності при встановленій структурі відношень розглядають низку довільних лінійних логічних перетворень предикатів. При цьому враховується, що кінцевий результат, тобто вихідний стан системи залежить і від початкового стану, і від напряму процесів та умов їх перебігу і результатів. Саме точки перетину цих критеріїв дають об'єктивний кінцевий висновок у досягненні рішення за відповідною постановкою задачі.

Ядро логічного перетворення задається графом відношень між складовими критеріїв стану для ξ і η (рис. 3.11) [38, 161].

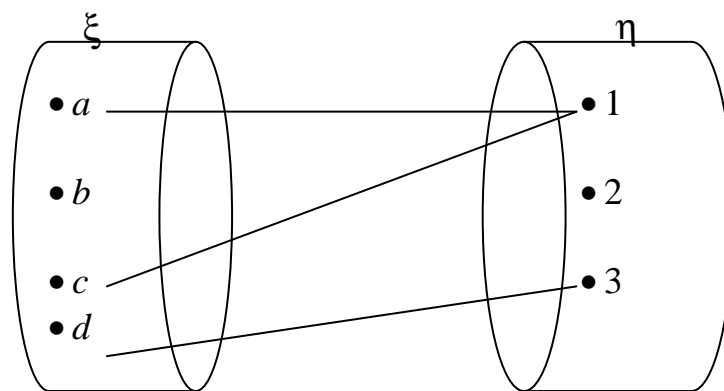


Рисунок 3.11 – Графічна схема ядра лінійного логічного перетворення $K(x, y)$

При наданні еколого-економічного аналізу системний об'єкт ξ в силу своєї складності і множинних зв'язків з НС попадає в ситуацію невизначеності за критеріями оцінювання: рівень економічного розвитку (a – економічна система), індекс соціально-економічного благополуччя суспільства (b – соціально-економічна система), рівень екологічності (c – екологічна система), оцінка здоров'я населення (d – соціальна система). Наявні інформаційні неточності, відсутності пропонується доповнювати завдяки функції відношень, наприклад існуючою загальною інформацією щодо економічних (1), соціальних (2) та екологічних (3) показників якості (див. рис. 3.11). Для отримання даних стосовно ξ запроваджуємо ядро перетворення лінійно логічного виду при

наданні загальної оцінки якості для ξ , що враховує усі критерії оцінювання, тобто маємо з'єднання і кінцевий результат з урахуванням інформації за η :

$$K(x, y) = (x^a \vee x^c)y^1 \vee x^d y^3;$$

$$Q(y) = \exists x \in \{a, b, c, d\} \left((x^a \vee x^c)y^1 \vee x^d y^3 \right) \wedge P(x) =$$

$$= \exists x \in \{a, b, c, d\} \left((x^a \vee x^c)y^1 \vee x^d y^3 \right) \wedge (x^a \vee x^b \vee x^c \vee x^d) = y^1 \vee y^3.$$

Оскільки $K_1(x, y)$, $K_2(y, z)$, $K(x, z)$ є прямокутні матриці, то з'єднання предикатів розглядається як добуток матриць:

$$K(x, z) = K_1(x, y) \cdot K_2(y, z) = \bigvee_{y \in N} (K_1(x, y) \wedge K_2(y, z)).$$

З урахуванням наявних процесів в системах здебільше кінцевий результат являє собою перетин усіх проміжних «продуктів» перетворень при взаємодії «система – система», «система – внутрішнє середовище», «система – зовнішнє середовище»/«об'єкт – зовнішнє середовище» і має вигляд n -го ступеню лінійних перетворень [14]:

$$Q^{(n)}(y) = \bigwedge_{i=1}^n K_i Q(y), \text{ де } K_i = K = K(x, y)K(y, z);$$

$$P^{(n)}(y) = \bigwedge_{i=1}^n K'_i P(x), \text{ де } K'_i = K' = K(x, y)K(y, z). \quad (3.26)$$

Шуканий результат отримують при співпадінні вихідних даних на n -му та $(n-1)$ -му і наступних $(n+1)$ -му, $(n+2)$ -му і т.д. кроках.

Отже, стан системного об'єкта при наявності знань з імовірністю їх неточності і недостатності встановлюється завдяки ентропійній функції і аналізу невизначеностей. Кінцева комплексна оцінка стану об'єкта визначається за результатами аналізу впливу навколишнього середовища і досліджень перебігу процесів як наслідок ідентифікованих змін в системах.

Регулювання стану екобезпеки еколого-економіко-соціального об'єкта в ситуації невизначеності проводиться, таким чином, на основі комплексного аналізу за інформаційно-методичним забезпеченням, що становить сукупність методів системного аналізу, інформаційно-ентропійного оцінювання стану і процесів, логіко-математичних перетворень. Проблемні ситуації розв'язуються на основі оцінки особливостей структурного і характеристичного порядку при моделюванні системних утворень і запровадження до них наявних даних знання-орієнтованих систем.

Для проведення наукових досліджень в галузі екологічної безпеки складних об'єктів забезпечується достатня функціональність розроблених баз знань з урахуванням впливу різноманітних чинників на структуру і характеристики стану досліджених об'єктів «система – НС» на основі інтелектуального аналізу даних, зареєстрованих подій, їх послідовності, а також процесів, що не можливо формалізувати. Невідповідності отриманих результатів з оцінки реальної ситуації цільовим точкам гомеостазу систем об'єкта визначається з використанням тільки локальної інформації і обмежених наявних знань про систему.

Уникнення похибок аналізу складних об'єктів досягається завдяки виявленню причино-наслідкових зв'язків явних і неявних залежностей, які характеризують реальні процеси «система – НС». Формалізація неявних залежностей пов'язується з визначенням непрямих причинно-наслідкових зв'язків на основі побудови формальних алгебро-логічних моделей конструкцій неявного вибору [29, 162]. Явні й неявні залежності між складовими процесів трансформаційних змін (операції, етапи) чи підтримки стабільності в системі встановлюються завдяки застосуванню алгебри кінцевих предикатів.

Перебіг будь-якого процесу, в тому числі й фізико-хімічної природи, забезпечується певними умовами, які в залежності від напряму процесу, його специфіки характеризуються змінними за отриманими результатами аналізу даних. Для встановлення особливостей проходження змін в системі розбивають їх на вірогідні процеси P_1, P_2, \dots, P_n , імовірність перебігу яких обумовлена

змінними x_1, x_2, \dots, x_n , що визначаються скінченною множиною значень стану процесу як неможливий – a , виконаний – b , здійснений – c . Отже, змінні мають вигляд $x \in \{a, b, c\}$ і значення $\{0, 1\}$ (0 – подія не виконана), а зв'язки між процесами надають через предикати x_1, x_2, \dots, x_n , L_1, L_2, \dots, L_n виду $l_1(x_1, x_2)$ наприклад для процесів P_1 і P_2 .

Неявна ситуація щодо процесів у системі характеризується існуванням декількох альтернатив і необхідністю синхронізації обраних подій в межах зафіксованих виконаних змін. Неявний вибір, таким чином, визначається суміщенням конструкцій синхронізації і вибору [35, 40, 93]. Так, процеси P_1 і P_2 приводять до змін з функціонування процесів P_4 і P_5 , що в кінцевому результаті стабілізують систему (рис. 3.12), враховуючи проміжні події t , які сприяють самодовільному перебігу процесів за ентропійною оцінкою $-S \rightarrow \max, \Delta S_{proz} \rightarrow -\max, \Delta S_{syst} \rightarrow \min$.

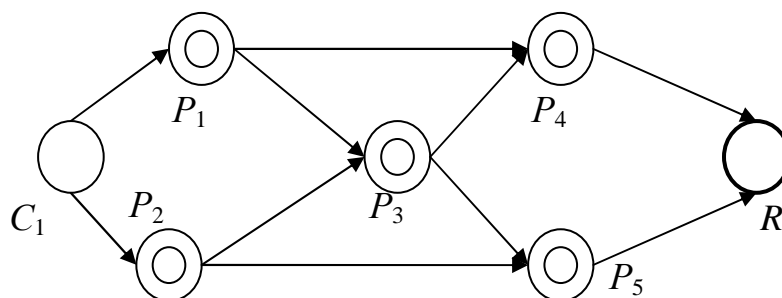


Рисунок 3.12 – Ситуація неявного вибору процесів змін в системі між P_4 і P_5 при реалізації початкової ситуації C_1 в результат R

Таким чином, ентропія більш імовірного довільного процесу повинна відповідати максимальним від'ємним значенням ентропій учасників процесу, тобто зміні ентропії ΔS_{proz} при перебігу процесу до максимально від'ємного значення, що відповідає стабілізації стану систем в об'єкті, забезпечуючи відсутність змін $\Delta S_{syst} \rightarrow 0$ і появу нових властивостей x_4, x_5 (рис. 3.13).

Початкові параметри (змінні) властивостей системи дещо змінюються в неявній формі через процеси самовдосконалення P_1 і P_2 з подальшою взаємодією P_3 для підтримки системи в стабільному стані, який збалансований

за логічною мережею завдяки прояву характеристик x_4, x_5 функціональності системи P_4 і P_5 відповідно до запровадженої системи предикатів з урахуванням змінної $t \in \{0, 1, 2, 3\}$ щодо виконання подій P_1, P_2, P_1 і P_3, P_2, P_3 та отриманням $R \approx C_1$ (рис. 3.13):

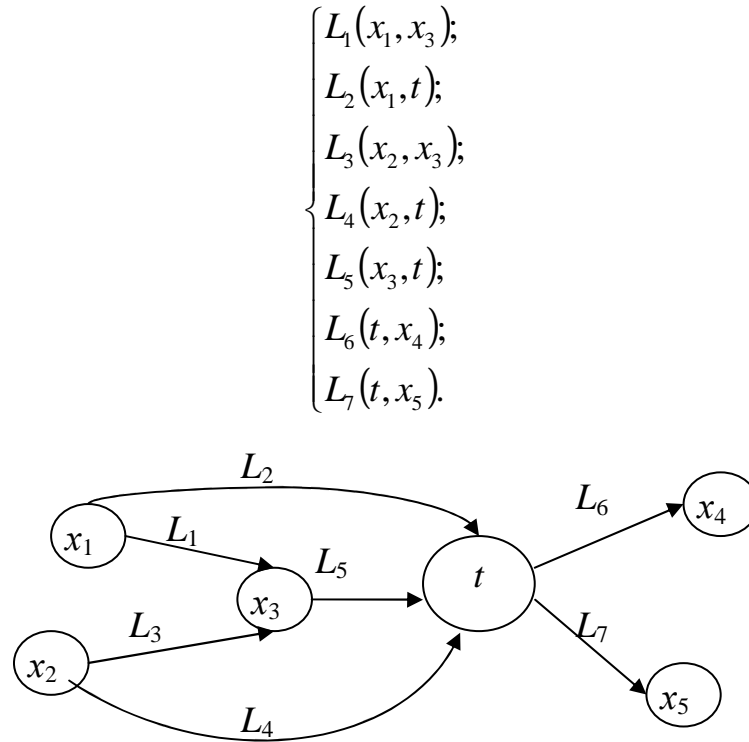


Рисунок 3.13 – Логічна мережа ситуації неявного вибору процесів змін

Більш складною є ситуація, коли за процесом P_3 продовжується процес встановлення гомеостатичного стану системи в об'єкті з досягненням загальної рівноваги/стабільності, тобто очікується адаптація системи і реалізація її у новому стані $R \approx C_2$ [35, 40, 162]. У цьому випадку неявний вибір здійснюється між процесами P_3 і P_5, P_4 і P_5 (рис. 3.14) за відповідною логічною мережею типової ситуації неявного вибору (рис 3.15).

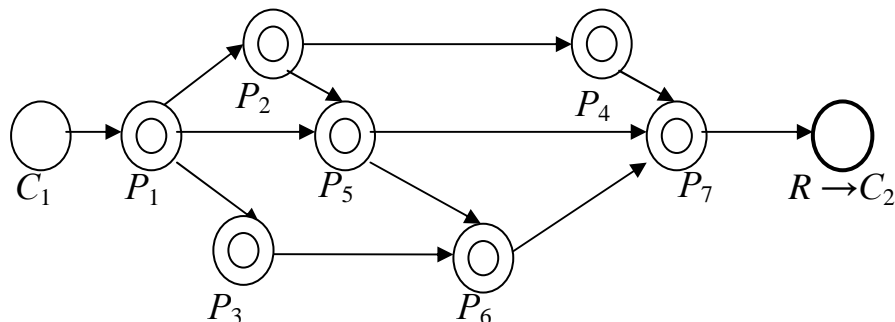


Рисунок 3.14 – Ситуація неявного вибору процесів змін в системі

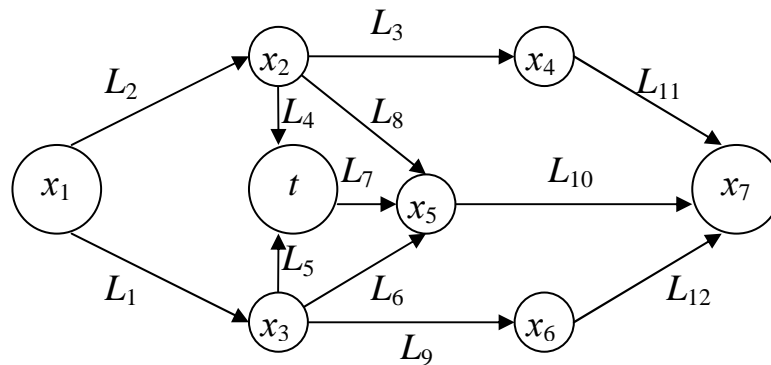


Рисунок 3.15 – Логічна мережа ситуації неявного вибору процесів змін до кінцевих умов C_2

Змінна t приймає значення відповідно до реалізованої ситуації послідовності перебігу процесів (див. рис. 3.13, 3.15). Модель змін у вигляді логічної мережі генерує множину процесів для необхідних трансформацій з підтримки внутрішнього і зовнішнього гомеостазу для об'єкта, стабілізації його стану після стохастичних впливів. Виконання процесу вносить корективи у стані логічної мережі та, відповідно, зміни щодо множини процесів, необхідних для стабілізації ситуації щодо стану «система – НС».

Таким чином, пропонується уникнути невизначеності на шляху прийняття рішення щодо оцінки стану системного об'єкта соціально-еколого-економічного змісту з використанням конструктивних моделей математичної логіки, поєднуючи аналіз стану і процесів в системах і за їх межами, тобто з навколишнім середовищем.

З метою отримання знань в умовах невизначеності і підтримки прийняття зважених рішень використовують математичні структури у вигляді множин, графів, гіперграфів, фреймів, алгоритмів, що відображають реальні зв'язки і відношення між будь-якими об'єктами у природі. Якість таких структур визначається їх ефективністю стосовно пошуку нестандартного рішення при певному когнітивному навантаженні.

За послідовністю реалізації адаптивної стратегії отримання знань про об'єкт на основі еволюційного моделювання використовують мікро-, макро і мегарівень дослідження й аналізу даних з визначенням загальної інформації на

базі фізичних, предметних, синтаксичних, семантичних, декларативних, процедурних знань з виходом на метазнання – узагальненні знання з урахуванням синергетики [29, 163].

Висновки до розділу 3

1. Запропоновано комплексна оцінка інформаційних даних для системних утворень різнорідних систем, удосконалення підходів, методів і засобів обробки, аналізу і оцінки еколого-соціально-економічної інформації; методологія корпоративної моделі складного об'єкта на рівні дослідження «система – НС», в основі якої визначені за пріоритетні задачі оцінки якості системних об'єктів на базі ентропійно-інформаційних підходів з усвідомленням моніторингових даних.

2. Розроблено узагальнюючий алгоритмічний підхід з комплексного аналізу стану екологічної безпеки об'єкта як цілісності, що має свою мікроструктуру, до якої запропоновано відносити не тільки компоненти і елементи системного об'єкта, а і процеси його функціонування. Запроваджено в системний аналіз однозначне відображення неперервних змінних реальних об'єктів, для яких ентропія нескінченна, через функцію інформації.

3. Запропоновано уникнути невизначеності на шляху прийняття рішення щодо комплексної оцінки стану системних об'єктів соціально-еколого-економічного змісту з використанням конструктивних моделей математичної логіки, поєднуючи аналіз стану і процесів в системах, взаємодіючих з навколишнім середовищем: ентропійна оцінка стану і процесів, компараторна ідентифікація рівня якості (безпечності, екологічності).

Одержані результати представлено в публікаціях автора: 11–14, 26, 29, 33–35, 38–40, 46, 48, 49.

РОЗДІЛ 4

ЗАСТОСУВАННЯ КОМПЛЕКСНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-СИСТЕМНОЇ ОЦІНКИ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ У ДОСЛІДЖЕННІ СКЛАДНИХ ОБ'ЄКТІВ

4.1 Визначення програмного та інформаційного забезпечення оцінки рівня екологічної безпеки складних об'єктів

4.1.1 Аналіз архітектур систем і середовищ розробки програмного забезпечення

Мобільна система управління станом довкілля (МСУСД) – прототип типової корпоративної інформаційної системи трирівневої архітектури, у складі клієнтського шару, сервера шару додатків, шару бази даних [164, 165].

Ця архітектура фокусується на розвитку послуг для універсальних, розсувних (J2EE) сервер додатків, що відрізняє її від ГІС-технологій, використаних для великої монолітної програми. Зв'язки між клієнтським шаром і базою даних ведуться через шар-сервер додатка. Для такого типу архітектури навантаження з обробки даних є збалансованим, а кожен ярус системи знаходиться на окремому комп'ютері (рис. 4.1) [164].

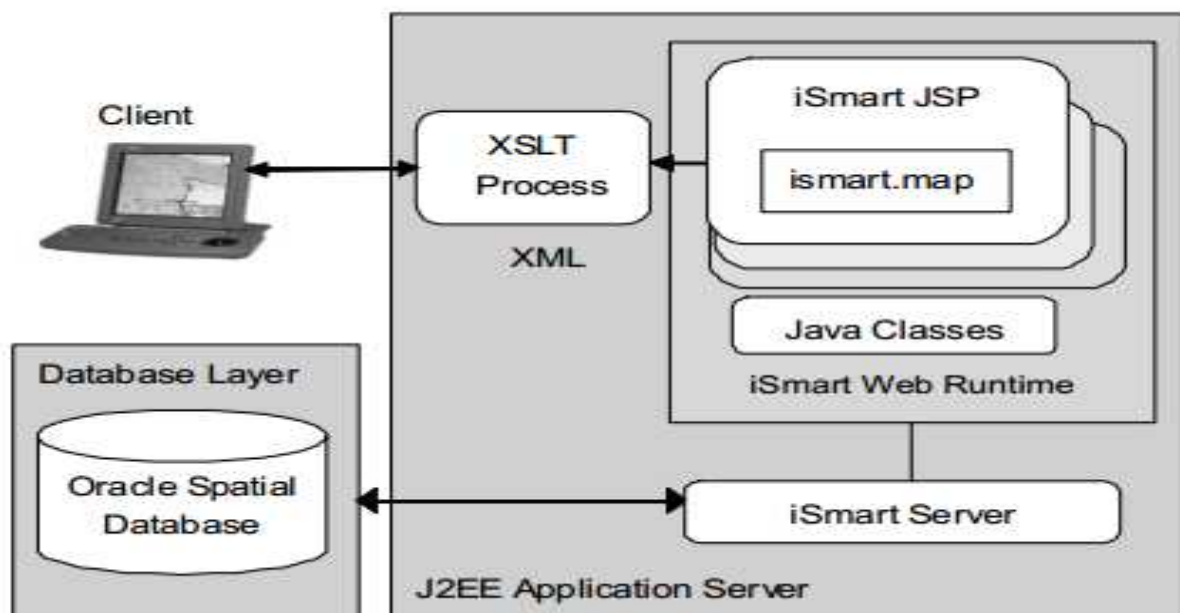


Рисунок 4.1 – Трирівнева архітектура

МСУСД прототип був розроблений з використанням eSpatial's *iSmart Suit* середовища розробки додатків (eSpatial Solutions, 2004). Це програмне забезпечення визначено набором інструментів, який дозволяє розробникам створювати і розгорнути додатки, використовуючи просторові набори стандартних процедур. Він пропонує користувачам середовище розробки на високому рівні, у кілька разів швидше, ніж розробки програми від базової Java. Це зменшує потребу в основних передумовах розробки програмного забезпечення, які розробники, як правило, мають зрозуміти і розгорнути для повної просторової програми. Для реалізації і розгортання частин системи був використаний *iSmart Eclipse* поряд з *iSmart Application Sever*.

iSmart технологія приймає стратегію фокусування послуги на сервері додатків шару системи. Ця архітектура дозволяє розвиток компонентів системи окремо, тим самим зберігаючи незалежність компонентів. Наприклад, ця архітектура ідеально підходить для розробки Extensible Markup Language (XML) як основи додатків, оскільки вся обробка XML/XSLT здійснюється на середньому рівні системи, не зачіпаючи клієнт і/або рівня бази даних маніпуляцій (рис. 4.2) [164, 165].

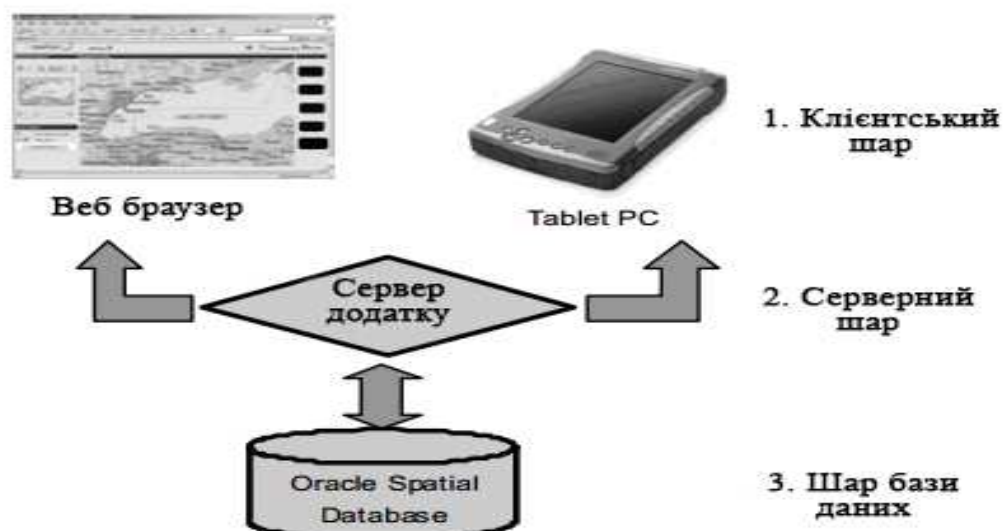


Рисунок 4.2 – Архітектури МСУСД

Клієнт шар системи складається з веб-інтерфейсу (тобто стандартний веб-браузер), який дозволяє спростити введення даних і їх аналіз, з метою

забезпечення можливості введення, редагування і анотування даних через Інтернет. При використанні в системі меню «положення та орієнтація» користувач отримує відображення даних з географічною прив'язкою на карті. Ця інформація використовується при завантаженні даних в базу даних і контекстуальних запитів до бази даних в режимі реального часу. Апаратний клієнт складається з планшетного ПК або персонального цифрового помічника, який має Систему Глобального Положення (GPS) для визначення місця розташування пристрою. Пристрій має General Packet Radio Service (GPRS) з мережею для запиту і передачі даних на/з сервера додатків через бездротову мережу зв'язку. Всі мобільні аспекти системи вимагають обтічний дизайн, як поточна швидкість і пропускна здатність портативних пристроїв, на відміну від настільних ПК.

Таким чином, для ефективної доставки контенту на пристрої він масштабується вниз, використовуючи підхід адаптації змісту конкретного пристрою [164]. Загалом для комплексного дослідження складних об'єктів дане середовище є прийнятним, але необхідно мати зв'язок з удосконаленою БД.

Сервер додатків (див. рис. 4.2) діє як головний центр між клієнтом і базою даних шарів системи МСУСД і складається з Сервера додатків J2EE, який містить два основні компоненти – *iSmartWeb Runtime* та *iSmart Server*. Ці два компоненти використовуються для запуску додатків, які були розроблені з використанням веб-дизайнера *iSmart*.

iSmartWeb Runtime – компонент інтегрований з сервером *iSmart*, який виконує веб-додаток. Коли веб-сторінка запитується, цей компонент виконує відповідні JSP сторінки і повертає сторінку HTML назад клієнтові. У рамках цього компоненту є сервлет, який називається *iSMARTWebServlet*. Цей сервлет діє як перехоплювач для всіх вхідних запитів HTTP, використовуючи логіку управління, визначену розробником, для вирішення умов виконання певних дій, наприклад, натискання кнопки на веб-додаток сторінки [164].

Сервер *iSmart* містить усі функції і елементи управління в шарі сервера додатків і обробляє всі запити до сервера додатків автоматично за допомогою

XML-файла під назвою `isw_application.xml`. Цей файл створюється під час розгортання і використовується для обробки запитів до додатка. Цей шар системи відповідає за визначення можливостей конкретного пристрою. Використовуючи XML і XSLT, сервер *iSmart* адаптує весь повернутий контент залежно від типу пристрою відповідно до первісного запиту. Дана процедура досягається шляхом створення XML-файл на основі запиту на клієнтський пристрій. Існуючі таблиці стилів XSLT застосовуються до XML файлів, щоб створити пристрою коректний вихід (рис. 4.3).

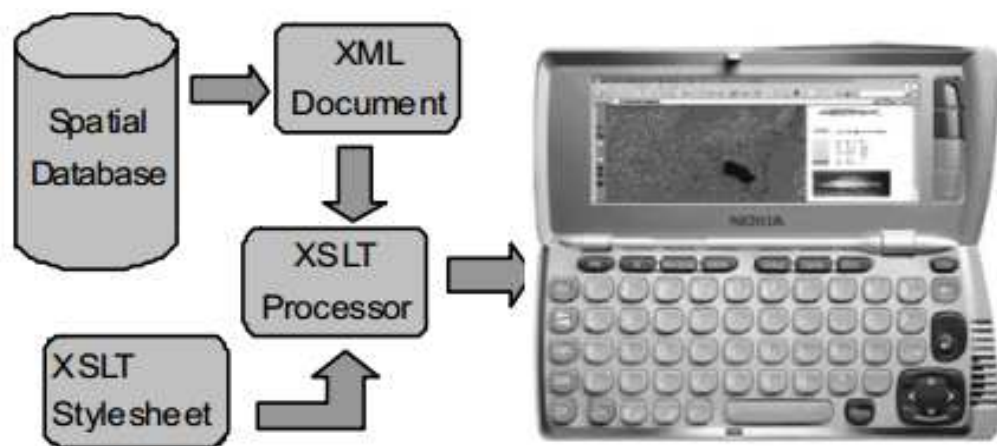


Рисунок 4.3 – Адаптація робочого пристрою за допомогою XML / XSLT

Просторовий шар бази даних МСУСД відповідає за обробку всіх просторових і транзакційних запитів в систему. Oracle Spatial використовується в якості платформи бази даних і включає в себе Опцію Просторових Даних (ОПД), просторове розширення SQL, надаючи нові можливості обробки просторових даних, наприклад, геокодування і топологічні запити.

Oracle Spatial надає платформу, яка підтримує широкий спектр додатків стосовно автоматизованого відображення/експлуатації будівель і споруд в межах географічних інформаційних систем (ГІС), надання бездротових послуг з визначенням місць розташування об'єктів. Oracle Spatial вбудована в відкриту систему об'єкта керування базами даних (СОКБД), який дозволяє отримати доступ до повної функціональності і безпеки, що є основою СУБД. Сервер додатків є компонентом Oracle, встановлюється автоматично [164, 165].

Таким чином, дана система для вирішення комплексних задач екологічної безпеки дослідження складних об'єктів «система – НС» є обмеженою з отримання знань про окремі елементи дослідженого об'єкту і процесів у ньому, оскільки загалом працює з ГІС-технологіями без оновлення даних.

4.1.2 Характеристика структури інформаційно-програмного забезпечення комплексної оцінки рівня екобезпеки складних об'єктів

На відміну від аналізованої системи МСУСД при формуванні інформаційної складової для оцінки стану складного системного утворення враховано за необхідне застосування знання-орієнтованого підходу. В основу такого інформаційно-методичного забезпечення покладена розробка бази знань на основі існуючих даних про систему, додаткову інформацію, отриману в результаті усунення невизначеності при низькому рівні дослідження стану складної системи. Нові дані одержують як остаточний результат послідовного зниження невизначеності детального вивчення системи за схемою «стан₁ – процес – стан₂», застосовуючи стан до системного утворення «об'єкт – навколишнє середовище», виходячи з поетапної реалізації комплексу методичного та інформаційного забезпечення оцінки рівня якості (екологічної безпеки) складних систем [36].

Знання-орієнтована інформаційна система складається з трьох компонент: інтерфейс користувача, знання-орієнтована система та база знань (рис. 4.4).



Рисунок 4.4 – Загальна схема знання-орієнтованої інформаційної системи

Для використання даної системи користувач через зрозумілий інтерфейс вводить дані, які передаються в систему розрахунків (рис. 4.5). Вхідна інформація проходить обробку й зберігається в базі знань, в якій відбувається навчання системи й збереження знань відповідно до отриманих даних (рис. 4.4 а) і передача їх (рис. 4.4 б). Далі відбувається формування отриманих результатів обробки у звіт і візуалізація його користувачеві.

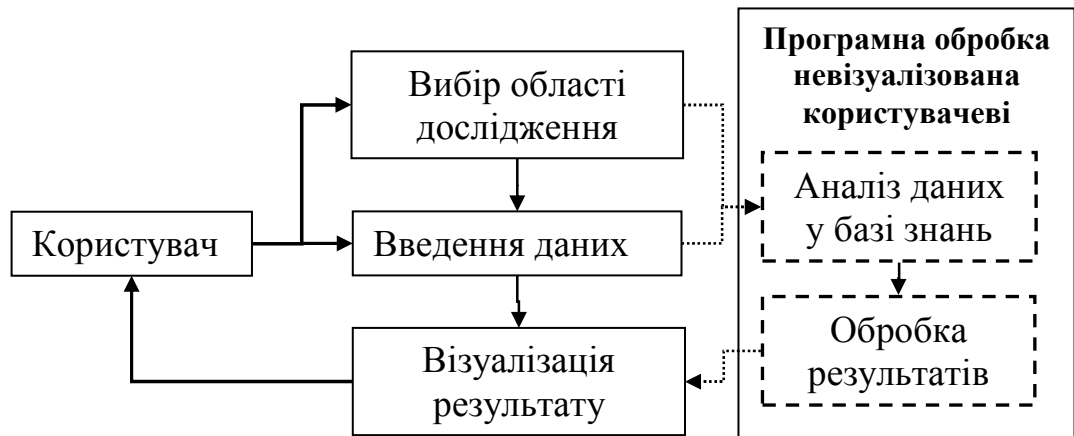


Рисунок 4.5 – Функціональна модель інтерфейсу користувача

У блоці «база знань» (див. рис. 4.4) чи «аналіз даних у базі знань» (див. рис. 4.5) відбувається перевірка отриманих даних, якщо система має нечіткі вхідні дані, то для розрахунків дестабілізації системи відбувається співставлення з уже існуючими даними про стан системи (рис. 4.6).

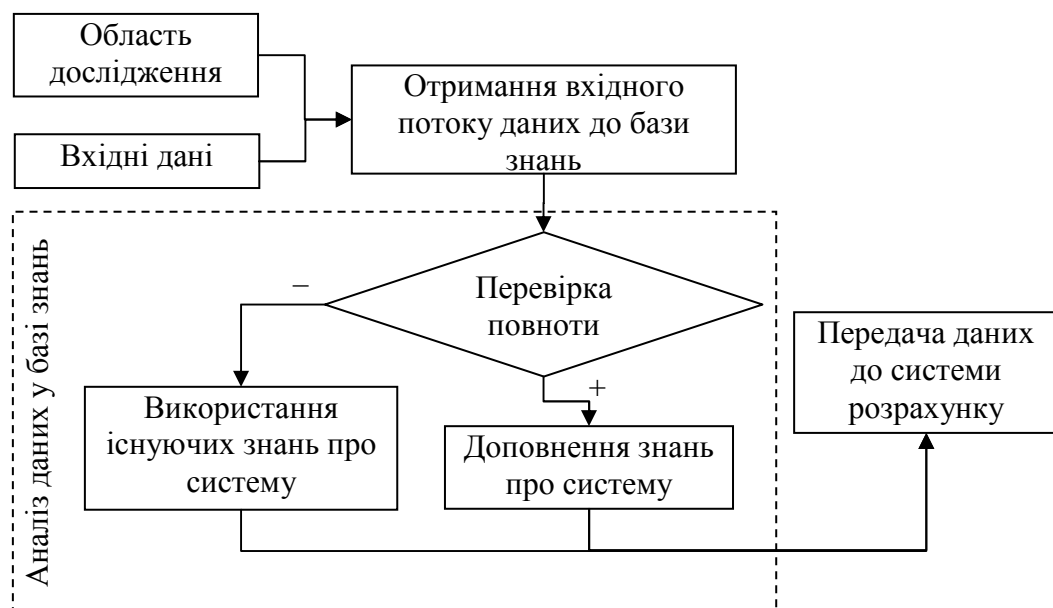


Рисунок 4.6 – Аналіз вхідного потоку даних у базі знань

Для встановлення об'єктивної комплексної оцінки екологічності систем (КЕС) пропонується запровадити структурну і параметричну ідентифікацію рівноваги систем і необоротних процесів, визначених самоорганізацією об'єкта.

4.2 Структура інформаційного забезпечення ентропійно-компараторної оцінки рівня екологічної безпеки складних об'єктів

На основі імовірісно-ентропійних характеристик стану систем і процесів (P , S і параметр стану x) пропонується перейти від результатів аналізу статистичних спостережень до характеристики термодинамічних потоків (процесів), які дозволяють утримати систему в стані рівноваги ($\Delta S \rightarrow 0$) чи зменшити негативні впливи між системами за рахунок трансформаційних перетворень ($S \rightarrow \max$), або фіксувати дестабілізацію в об'єкті ($\Delta S \rightarrow \max$).

Загальний підхід у визначенні екологічності чи рівня екологічної безпеки системного об'єкта дослідження передбачає таку послідовність розв'язку задачі екологічної якості (див. рис. 3.7):

$$S_0 \xrightarrow{H^0 \leftrightarrow W \rightarrow S_w \rightarrow LM} < S_1 \xrightarrow{LM \rightarrow q(x,t) \rightarrow H^0 H_2} S_1^1 \xrightarrow{A_w \rightarrow H_1^*} < < S_2 \xrightarrow{D_w \rightarrow H_1^* M_2 \rightarrow H'} S_{\max} (\Delta S \rightarrow 0), \quad (4.1)$$

де S_w – стохастичний оператор при дії природних впливів W , зовнішнього регулювання в межах природоохоронних заходів $H^0 \rightarrow W$;

$q(x,t)$ – зв'язок між системами у речовинно-енергетичному потоці на рівні LM стану (див. рис. 3.5–3.7);

A_w – оператор переходу стохастичних функцій у детерміновані, який визначає перехід системи у новий стаціонарний стан у результаті самоорганізації H_1^* ;

D_w – детермінований оператор, який відповідає за функцію виходу, приводить об'єкт у стан екорівноваги за умови стабілізації зовнішнього і внутрішнього гомеостазу – оператор H_w схеми «вхід – вихід» для реалізації

H_1^* , що для системного утворення визначається досягненням максимального ентропійного стану S_{\max} і відсутністю дестабілізуючих явищ ($\Delta S \rightarrow 0$) [30, 32].

Для комплексної оцінки екологічності територіально-об'єктових систем компараторна ідентифікація більш об'єктивна і достовірна ніж експертне оцінювання в балах: вона надає кількісне значення у двох параметрах – 0 і 1, що дозволяє поєднати за параметром ΔS зміни у стані систем і об'єкта та імовірності P порушення зв'язків у середовищі [30, 45].

За теорією компараторної ідентифікації: компаратор – вимірювач відповідності структури, функціональних процесів систем внутрішньому гомеостазу інтегровального об'єкта, яка подається кортежем X^s і X^t вхідного впливу X у вигляді:

$$F(A, X^{(s)}) \xrightarrow{R} F(A, X^{(t)}), \quad s, t = \overline{1, k}, s \neq t. \quad (4.2)$$

Зазначені кортежі є складовими термодинамічного потоку, визначеного як деякий зв'язок – відношення R між складовими системи і об'єкта відповідно до параметра A моделі і оператора F (структура) (4.2), що реалізує внутрішній гомеостаз складових систем [14].

На основі аналізу окремих характеристик систем за певних умов стану дослідженого інтегровального об'єкта визначають імовірнісну оцінку реалізованої структури і її відповідність вимогам екологічної безпеки, наданих у вигляді $P: X \rightarrow V$, де P – оператор моделі оцінювання, а $V = P(X)$ – модель багатофакторних оцінок альтернатив рішення ($v_i = P(x_i)$, $i = \overline{1, n}$).

Ідея такого підходу до оцінки екологічності систем і рівня безпеки передбачає застосування вимірювальної процедури екологічної відповідності, яка у разі виконання відповідності реалізує предикат виду:

$$D_1(v_q, v_n) = \begin{cases} 1 & \text{при } v_q = v_n; \\ 0 & \text{при } v_q \neq v_n; \end{cases}$$

$$E_1(x_q, x_n) = D_1[P(x_q), P(x_n)], \forall x_q, x_n \in X, \quad (4.3)$$

де v_q і v_n – оцінка безпечності дослідженого і природного стану, як $v_q = P(x_q)$, $v_n = P(x_n)$ з врахуванням витрат на підтримку екологічності систем.

Аналіз потоків між системами та оцінка імовірності виникнення негативного фактору впливу, тобто $v_q, v_r \in V$, дозволяє виявити зміни у результаті трансформаційних процесів, що порушують склад потоку, появу ефектів у навколишньому середовищі, які приводять до збільшення ентропії і ΔS внутрішнього простору об'єкта. Результати такого аналізу подані за компаратором і предикатом у вигляді (позитивні результати – 1):

$$D_2(v_q, v_r) = \begin{cases} 1 \text{ при } v_q \geq v_r; \\ 0 \text{ при } v_q < v_r; \end{cases}$$

$$E_2(x_q, x_r) = D_2[P(x_q), P(x_r)], \forall x_q, x_r \in X, q \neq r. \quad (4.4)$$

Відповідність рівню екобезпеки даного стану системи визначається незмінністю ентропійної функції $\Delta S \rightarrow 0$, негативною оцінкою є збільшення імовірності перебігу процесів з дестабілізації систем $S_q > S_r, \Delta S > 0$ і появою ініціюючого впливу на них у внутрішньому середовищі об'єкта $P(x_q) > P(x_r)$.

Розв'язання задач вибору розвитку систем за компараторною оцінкою розглядається у двох аспектах відповідно до повноти вихідної інформації і одержаних результатів, реалізуючи предикат виду:

– впевнений вибір і однозначне рішення на основі аналізу (4.3)–(4.4):

$$D_3(v_q, v_r) = \begin{cases} 1 \text{ при } v_q > v_r; \\ 0 \text{ при } v_q < v_r. \end{cases} \quad (4.5)$$

– неповністю впевнене рішення за відсутністю інформації про стан об'єкту, внутрішні й зовнішні зв'язки – нечіткі вихідні дані про властивості систем, природу та імовірність перебігу процесів та ін.:

$$D_4(v_q, v_r) = \begin{cases} 1 & \text{при } v_q \geq v_r; \\ 0 & \text{при } v_q < v_r; \end{cases}$$

$$E_4(x_q, x_r) = D_4[P(x_q), P(x_r)], \forall x_q, x_r \in X, q \neq r. \quad (4.6)$$

Для моделі за виразом (4.1) стан системного утворення визначається досягненням максимального значення ентропійної функції S_{\max} і відсутністю дестабілізуючих явищ $\Delta S \rightarrow 0$. У такому разі надають оператор з деталізацією, зважаючи на пріоритетність збереження стійкості природних екосистем (x_1):

$$P(x_s) > (\geq) P(x_1), x_s, x_i \in X, s = \overline{2, n}, s \neq 1,$$

$$P(x_2) < (\leq) P(x_1), P(x_3) < (\leq) P(x_1). \quad (4.7)$$

За узгодженням імовірнісно-ентропійних показників екологічності та результатами компараторної ідентифікації (див. вирази (4.2)–(4.7)) надана загальна модель (M) оцінювання:

$$V_M(x_i) = P_M(A_M, K(x_i)), i = \overline{1, n}, \quad (4.8)$$

де $V_M(x_i)$ – узагальнена оцінка корисності альтернатив з оцінки екологічної якості систем, вибору їх структури, прийнятого рішення;

P_M – оператор моделі оцінювання – структурна ідентифікація як реалізація певних економічних, соціальних і екологічних складових і їх зв'язку;

$K(x_i)$ – m -мірна кількісно-вимірjana вхідна дія (характеристика стану, структур, альтернатив);

A_M – r -мірний вектор кількісних характеристик моделі об'єкта – параметрична ідентифікація (стан систем еколога-соціально-економічного об'єкта; потоків між соціально-економічною системою та екосистеми та ін.) (див. вирази (A.1)–(A.6) (рис. 4.7) [19, 23, 49, 107, 124, 153].

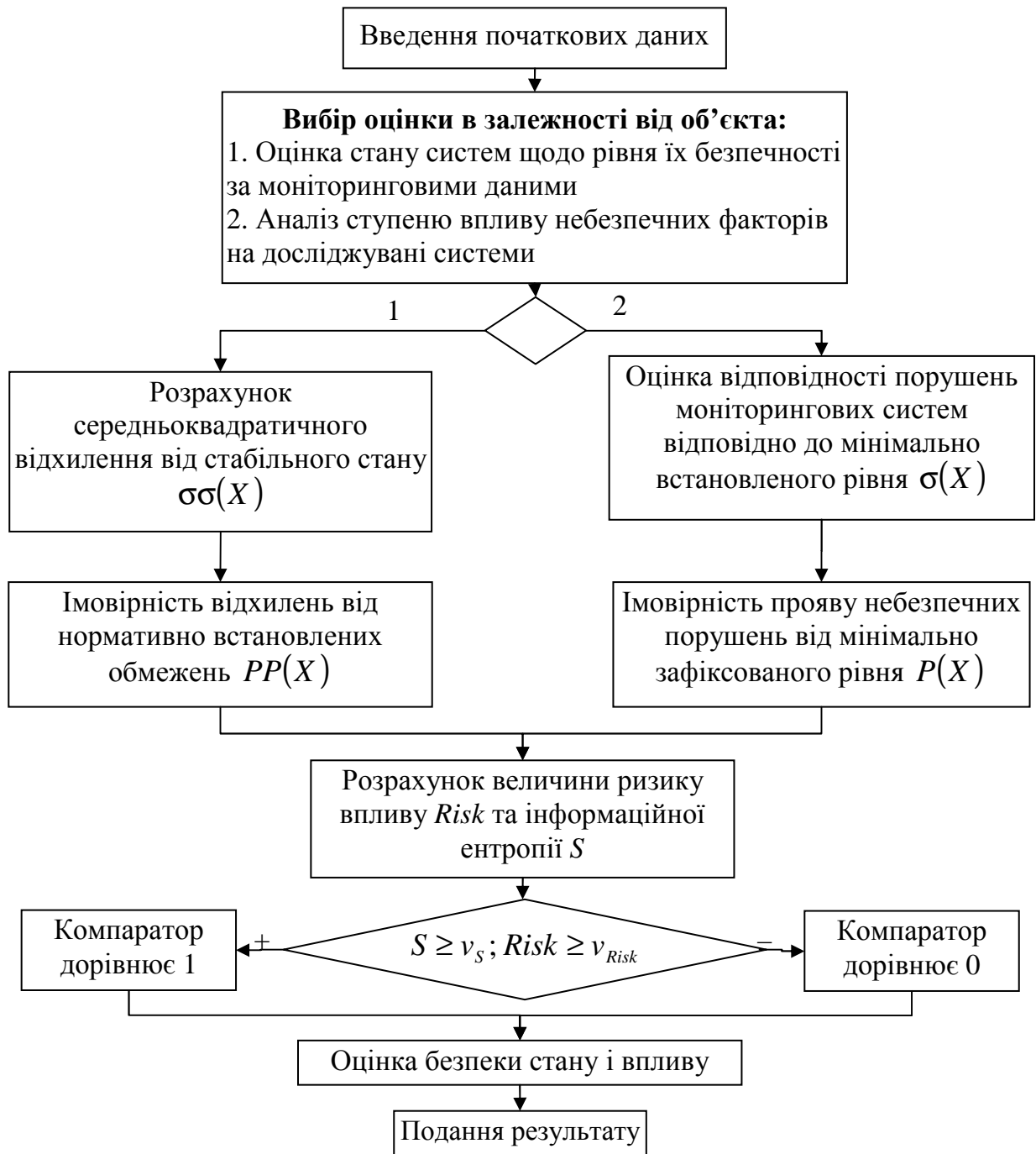


Рисунок 4.7 – Алгоритмічне забезпечення інформаційно-системної оцінки рівня екологічної безпеки за комплексним методичним забезпеченням

На етапі узагальнення оцінки екологічної безпеки передбачена однорідність визначення факторів завдяки характеристикам складових об'єкта дослідження у вигляді S , ΔS , P , $Risk$ (див. рис. 4.7) [33].

Відповідно до загальних положень методичного забезпечення встановлення оцінки відповідності стану і функціональності досліджених об'єктів за наявними відхиленнями від допустимої динаміки змін визначається

можливість управління якістю природно-техногенними утвореннями. За динамічністю процесів відбувається отримання нових знань про системні об'єкти. Для реалізації названих завдань на практиці пропонується така послідовність автоматизованої обробки інформації (рис. 4.8) [41].

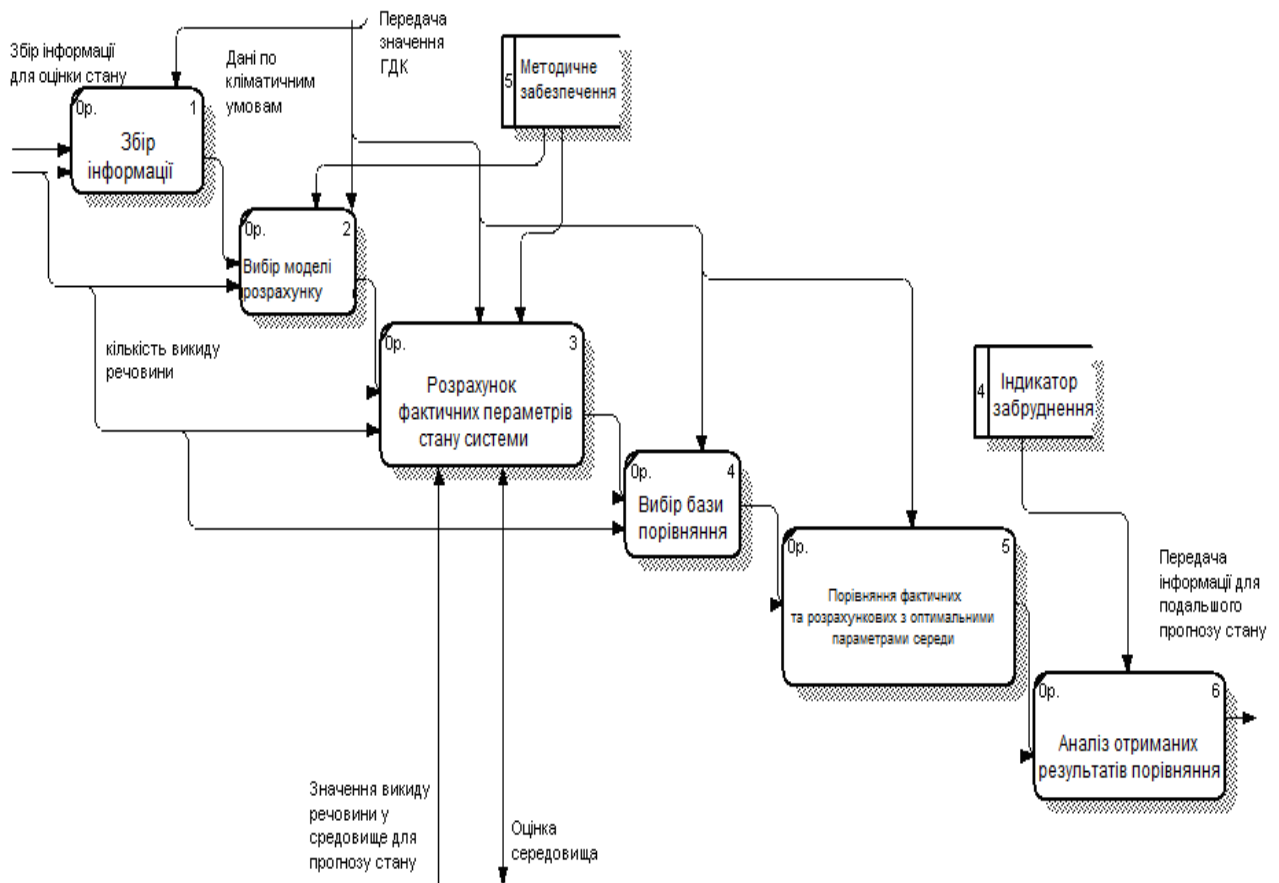
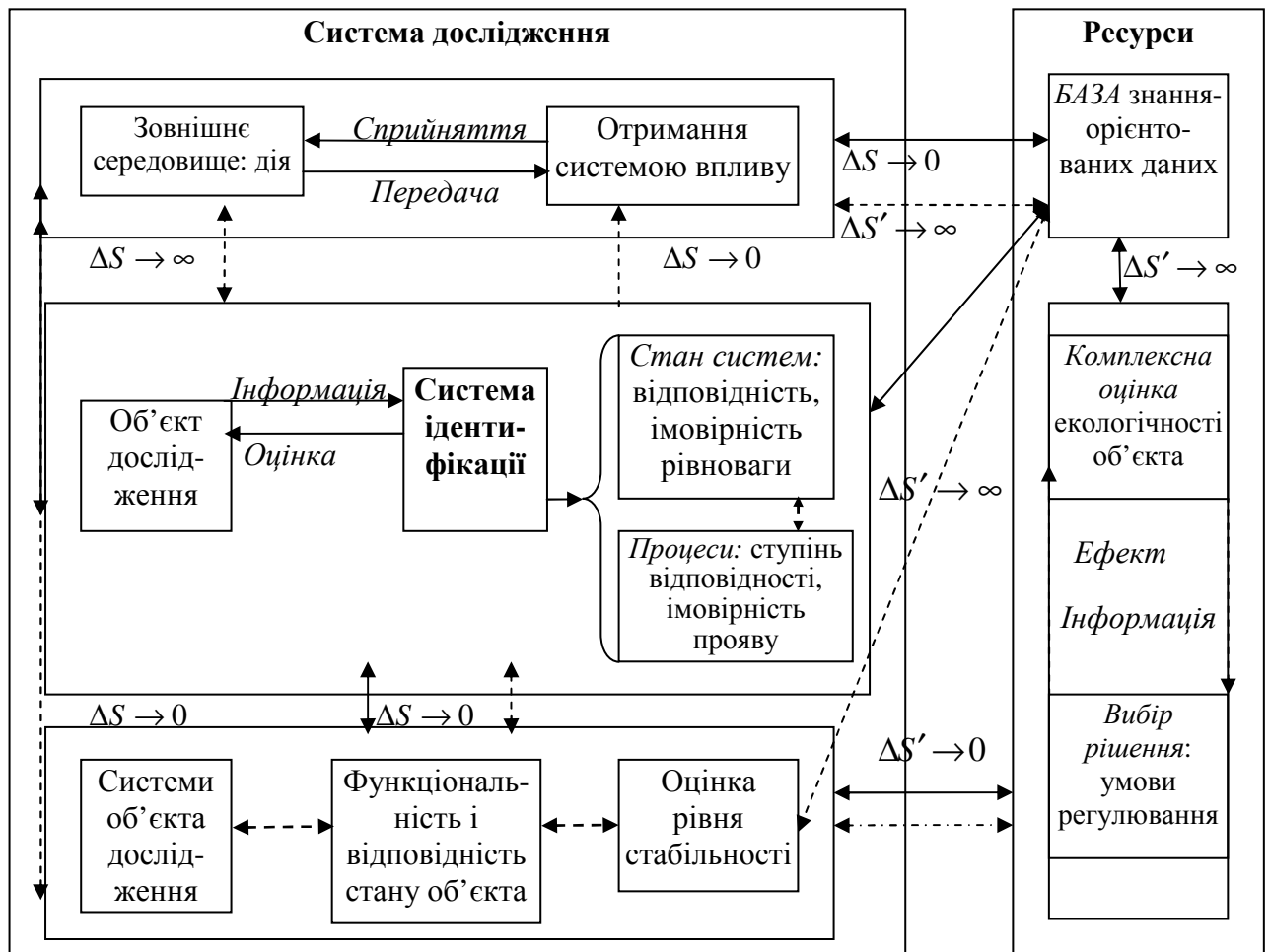


Рисунок 4.8 – Діаграма потоків даних

Для практичної реалізації визначення оцінки рівня безпеки та надання прогнозу стану системи пропонується збір та обробка моніторингової інформації, передача даних для формування звіту з аналізу отриманих результатів (рис. 4.9). При необхідності регулювання/управління обґрунтовуються заходи підтримки стабілізуючих процесів, підсилення факторів позитивних змін/впливу на систему на базі визначення ентропійної відповідності природному гомеостатичному стану, остаточна оцінка якості об'єкта встановлюється на основі бази знання-орієнтованих систем (рис. 4.9) [42].



ΔS і $\Delta S' \rightarrow 0$ – стан рівноваги при відповідності цільовій взаємодії «система–НС» за умови різниці між результатом впливу і стабілізаційним станом об'єкта (ΔS) і вимогами відповідності ($\Delta S'$); ΔS і $\Delta S' \rightarrow \infty$ – стан стаціонарності безкінечного розвитку системи за умови відповідності цільовій рівновазі

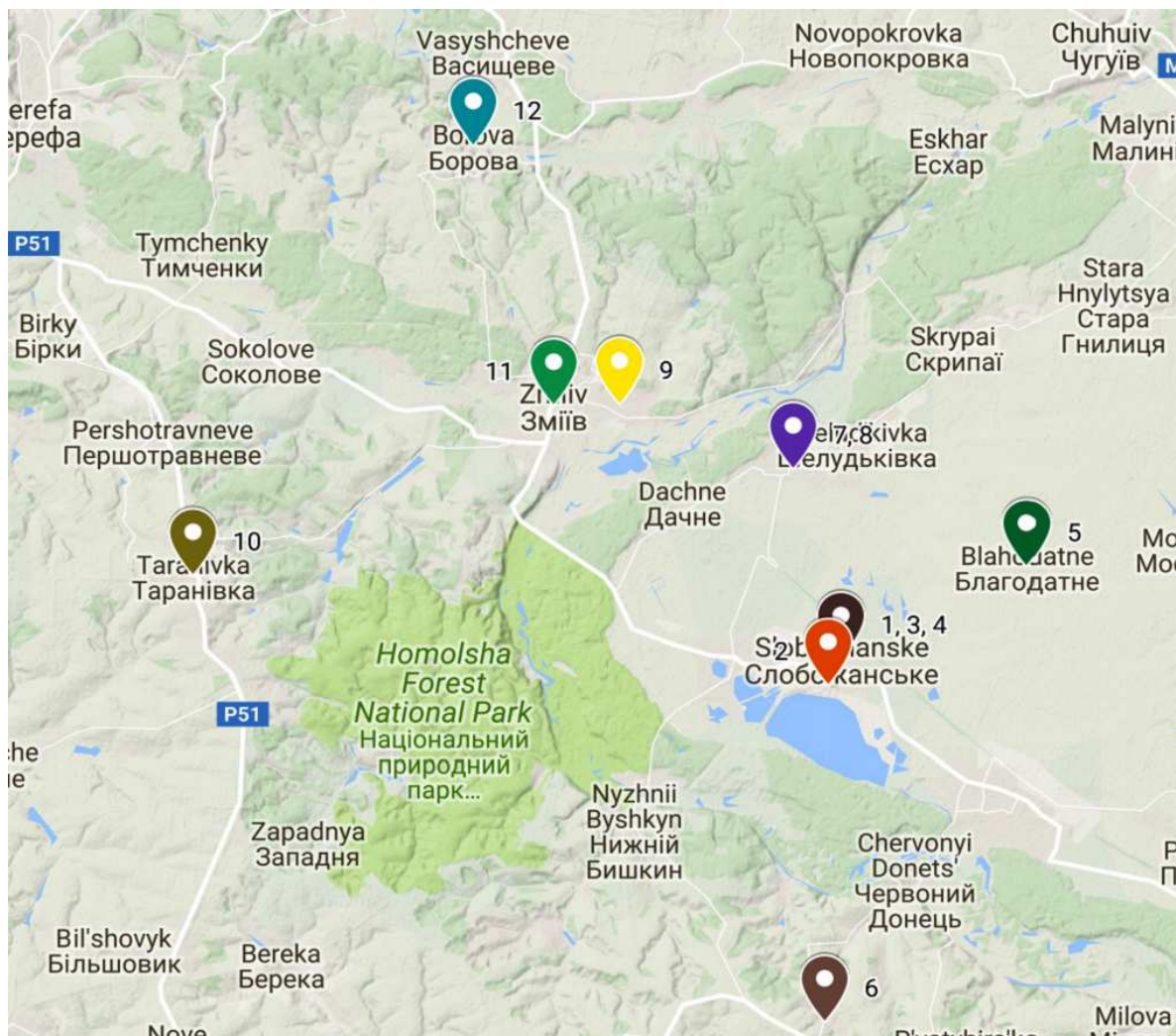
Рисунок 4.9 – Інформаційно-ентропійний підхід і знання-орієнтовані системи для оцінювання відповідності системних об'єктів

Таким чином, завдяки створеній інформаційно-аналітичній системі обробки даних і аналізу отриманих результатів на основі ентропійно-інформаційної функції відповідності та компараторної ідентифікації порушень визначена базова основа інформаційно-програмного забезпечення комплексної оцінки рівня безпеки складних об'єктів.

4.3 Практична реалізація комплексу інформаційно-системного оцінювання рівня екологічної безпеки природно-техногенних об'єктів

Надана система комплексного оцінювання рівня екологічної безпеки складних об'єктів реалізована на практиці при аналізі безпечності природно-

техногенного комплексу на прикладі полігону моніторингових досліджень Зміївського району, територія якого знаходиться під впливом промислово-енергетичних підприємств, відрізняється значним накопиченням важких металів (ВМ) у ґрунтах (рис. 4.10, рис. А.1) [24, 153]. Комплексна оцінка рівня екологічної безпеки цієї території визначена результатами оцінювання екологічної якості стану ґрунтів, ідентифікації ступеню екологічного благополуччя за встановленими рівнями здоров'я населення (Зміївський район).



- 1 – Збірний зразок м. Комсомольське; 2 – 300-500 м від ТЕС; 3 – Огороди біля м. Комсомольське; 4 – Поле ст. Овочева; 5 – Поля с. Благодатне; 6 – Поля госп. Шебелинка; 7 – Дім відпочинку (>8 км), фації: високої заплави, приуслової заплави; вершинної частини кучугури; 8 – с. Гинєєвка (>11 км), фації: зниженої ділянки заплави; вирівняної ділянки заплави; заболоченого сторичного зниження; 9 – с. Зідьки (> 13 км); 10 – с. Таранівка, 70 м від ж/д; 11 – м. Зміїв (> 15 км); 12 – с. Борова (> 25 км)

Рисунок 4.10 – Точки відбору зразків ґрунтів для ідентифікації небезпеки

4.3.1. Інформаційно-системне комплексне дослідження рівня безпеки території на основі оцінки якості ґрунтів та стану здоров'я населення

Об'єкт дослідження: техногенно-навантажені ландшафтно-геохімічні комплекси території Зміївського району, стан здоров'я населення, що є індикатором відображення рівня екологічної безпеки території (рис. А.1).

Основні питання аналізу з оцінки якості. Визначити екологічний стан ґрунтів, які знаходяться під впливом викидів ВМ; встановити фактори дестабілізації екологічної якості дослідженої території; надати оцінку рівня екобезпеки дослідженої території (табл. А.1–А.2). Визначити стан здоров'я населення як індикатора екологічного благополуччя даної території (табл. А.3).

Розв'язання завдання дослідження. За наданим алгоритмічним забезпеченням ентропійно-інформаційного визначення рівня екобезпеки у вигляді ризик аналізу (див. рис. 3.3, 4.7, вирази (А.1)–(А.3)), першочерговим є формування вхідної інформації (табл. А.1–А.2) [44]. На виході отримуємо результуючі дані ентропійної оцінки відповідності екологічного стану ґрунтів за рівнем порушення вмісту важких металів в них (рис. 4.11).

P[Zn]= 0,547	Risk[Zn]= 0,235	S[Zn]= -2,265
P[Co]= 0,583	Risk[Co]= 0,321	S[Co]= -1,619
P[Ni]= 0,481	Risk[Ni]= 0,321	S[Ni]= -1,616
P[Pb]= 0,332	Risk[Pb]= 0,265	S[Pb]= -2,042
P[Sr]= 0,717	Risk[Sr]= 0,312	S[Sr]= -1,687
P[Cu]= 0,309	Risk[Cu]= 0,292	S[Cu]= -1,844
P[Mo]= 0,332	Risk[Mo]= 0,339	S[Mo]= -1,462
P[Cr]= 0,445	Risk[Cr]= 0,189	S[Cr]= -2,639
P[V]= 0,282	Risk[V]= 0,213	S[V]= -2,434

Рисунок 4.11 – Фрагмент програмного розрахунку ентропійної оцінки

Відповідно до наданих викладок компараторної ідентифікації рівня порушення невідповідності стану екологічної безпеки ґрунтів за прийнятим рівнем змін вмісту ВМ в них (4.1)–(4.8) визначаємо геохімічний підпростір системи ґрунт A_1, A_2, \dots, A_m (m – розмірність), для якого (x_1, x_2, \dots, x_m) складові становлять фактори впливу у вигляді $x_1 \in A_1, x_2 \in A_2$, що є предметним простором з катіонних і аніонних форм ВМ $A_1 = A_2 = \dots = A_m = U$:

$$U = \left\{ \underbrace{\text{Zn, Co, Ni, Pb, Sr, Cu}}_{x_1}, \underbrace{\text{Mo, Cr, V}}_{x_2} \right\}.$$

Для опису трансформації у міграційному потоці стан ВМ надають у вигляді двочасткового графа. Для аналізу рівня дестабілізуючого впливу забруднюючих речовин на суміжні середовища (у т.ч. і людину) враховують зниження рухливості ВМ відповідно до перебігу самовільних процесів утворення ними нерозчинних сполук, а як результат нагромадження ВМ у ґрунті й відсутність їх у біоматеріалі, що є основою множини можливих варіантів станів ВМ у ґрунті [14, 25, 31, 34].

Для оцінки безпеки надходження ВМ в об'єкти НПС надається характеристика у вигляді відношень: $\{x_1, x_2\}$ $m = 2$, $A_1 = \{\text{Zn, Co, Ni, Pb, Sr, Cu}\}$, $A_2 = \{\text{Mo, Cr, V}\}$, тоді $S = A_1 \times A_2$ є множина пар виду (x_1, x_2) , для яких відношення формуються за значенням ентропійного стану, тобто аналізу процесів змін і самоорганізаційних здатностей системи ґрунт загалом. Відношення, що є частинами одного й того простору, однотипні, реалізовані операціями: об'єднання – диз'юнкції $\vee \cup$ «або»; переріз – кон'юнкція $\wedge \cap$ «і». Для аналізу стану важких металів у ґрунті прийнято для значень екологічної безпеки імовірність відхилення їх кількості у ґрунті від нормативно встановленого обмеження малого ризику – 20%, що становить систему оцінювання екологічного благополуччя у вигляді [18, 31, 51]

$$P(x_1 - x_n) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } x \leq 0,2; \\ 0, & \text{якщо } x > 0,2. \end{cases} \quad (4.9)$$

Для ідентифікації самовільних процесів зв'язування важких металів у ґрунті приймають до уваги, що ентропійна оцінка встановлених зв'язків між визначеними формами ВМ у ґрунті повинна збільшуватися у від'ємних значеннях. Відповідно до цього надається оцінка екобезпечності стану ґрунтів –

збруднюючі елементи знаходяться у зв'язаному стані, що зменшує їх міграційні здатності у суміжні середовища (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Компараторна ідентифікація стану важких металів за ентропійною оцінкою порушень вимог безпеки

Елемент	Ентропійний стан	Компаратор	Cr	V
Zn	-2,265	1	1	1
Co	-1,619	0	1	1
Ni	-1,616	0	1	1
Pb	-2,042	1	1	1
Sr	-1,687	1	1	1
Cu	-1,844	1	1	1
Mo	-1,462	0	1	1
Cr	-2,639	1	1	1
V	-2,434	1	1	1

Відображення «перевищення» природного рівня вмісту ВМ за рахунок техногенного їх «надходження», «взаємодії» у ґрунті з його складовими (сорбція) і між собою у міграційному потоці з урахуванням об'єднання цих процесів для кожного елемента (кон'юнкція $P' \cap Q$) визначають на основі оцінки безпечності у вигляді $P' = x^0 y^0 \vee x^0 y^1 \vee x^0 y^2 \vee x^0 y^3 \vee x^0 y^4$ (де x^0, y^0 – Zn, y^1 – Ni, y^2 – Pb, y^3 – Sr, y^4 – Cu) згідно зі сформованою базою ідентифікованого їх стану (табл. 4.2) [14].

Таблиця 4.2 – Компараторна ідентифікація стану елементів за результатами об'єднання процесів

	Zn	Ni	Pb	Sr	Cu
Zn	1	1	1	1	1
Ni	0	0	0	0	0
Pb	1	1	1	1	1
Sr	1	1	1	1	1
Cu	0	0	0	0	0

Відповідно до отриманої досконалої диз'юнктивної нормальної форми (ДДНФ) виду $P' = x^0 y^0 \vee x^0 y^1 \vee x^0 y^2 \vee x^0 y^3 \vee x^0 y^4$ (де x^0, y^0 – Zn, y^1 – Pb, y^2 – Sr, y^3 – Cr, y^4 – V) надають дані стану ВМ у ґрунті (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – Результати оцінки стану важких металів у ґрунті

	Zn	Pb	Sr	Cr	V
Zn	0	0	0	1	1
Pb	0	0	0	1	1
Sr	0	0	0	1	1
Cr	1	1	1	0	0
V	1	1	1	0	0

Урахування перерізу станів Zn відповідно до стану присутніх інших важких металів визначено ДКНФ виду

$$x^0 y^3 \wedge x^0 y^4 \wedge x^1 y^3 \wedge x^1 y^4 \wedge x^2 y^3 \wedge x^2 y^4 \wedge x^3 y^0 \wedge x^3 y^1 \wedge x^3 y^2 \wedge x^4 y^0 \wedge x^4 y^1 \wedge x^4 y^2. \quad (4.10)$$

Зафіксовані процеси самовільних процесів накопичення ВМ можливі при малій P відхилення від мінімального їх вмісту, стабільність забезпечення «позитивного стану» визначена значним відхиленням від допустимого обмеження присутності елемента у ґрунті та перебігу при цьому зазначених процесів: $x^i \leq -2,3$, якщо $P = 0,1$ і $y^j \leq -2,99$, якщо $\alpha = 0,05$, $P = 0,95$. З урахуванням даних таблиці 4.1 і виразу (4.10) маємо таку оцінку стану елементів за компараторною ідентифікацією [14]:

Zn	$x^0 = -2,78$	$1 \cdot 1 \wedge 1 \cdot 1$	1
Pb	$x^1 = -2,04$	$0 \cdot 1 \wedge 0 \cdot 1$	0
Sr	$x^2 = -2,02$	$0 \cdot 1 \wedge 0 \cdot 1$	0
Cr	$x^3 = -2,7$	$1 \cdot 1 \wedge 1 \cdot 1 \wedge 1 \cdot 1$	1
V	$x^4 = -2,46$	$1 \cdot 1 \wedge 1 \cdot 1 \wedge 1 \cdot 1$	1

Таким чином, феноменологічні знання про поведінку ВМ в об'єктах НПС обґрунтовуються ентропійною оцінкою їх стану та компараторною ідентифікацією з урахуванням «стан – процес» завдяки застосуванню ДДНФ і ДКНФ. Це дозволяє встановити фактор небезпеки, імовірність нівелювання його негативного впливу за рахунок процесів трансформації у міграційних потоках у присутності інших негативних складових впливу (див. рис. 4.7 і 4.9).

Для реалізації на практиці контролю безпеки природно-техногенних територіальних утворень за наданим комплексом методів оцінки якості

складних систем було сформовано програмне забезпечення. Впроваджені додатки розроблені мовою C# у Microsoft Visual Studio 2005 (Додаток Б) [46]. Кожен з додатків має набір функцій для розрахунку показників і функції для побудови графіків аналізу результатів оцінки безпеки забруднених систем і стану здоров'я населення. Програмне забезпечення реалізовано для визначення рівня екологічної якості системи ґрунт відповідно до рівня техногенного навантаження на НС, загальної оцінки рівня екобезпеки дослідженої території, встановлення відповідно до отриманих результатів оцінювання безпечності аналізованих систем значень екологічного ризику, надання відповідної ризик-оцінки стану здоров'я населення (див. вираз А.4–А.6, рис. 4.12, 4.13) [38, 43].

А - злякисні новутворення;		
В - хронічний пієлонефрит;		
С - гіпертонічна хвороба;		
D - захворювання на атеросклероз;		
E - захворювання на камені нирок;		
F - органи травлення;		
G - хвороби органів дихання;		
P[A]= 0,061	Risk[A]= 0,17	S[A]= -2,052
P[B]= 0,282	Risk[B]= 0,357	S[B]= -1,762
P[C]= 0,356	Risk[C]= 0,368	S[C]= -1,805
P[D]= 0,359	Risk[D]= 0,368	S[D]= -1,92
P[E]= 0,316	Risk[E]= 0,364	S[E]= -1,797
P[F]= 0,165	Risk[F]= 0,298	S[F]= -1,737
P[G]= 0,078	Risk[G]= 0,199	S[G]= -2,112

Рисунок 4.12 – Фрагмент програмного розрахунку ризик-оцінки здоров'я

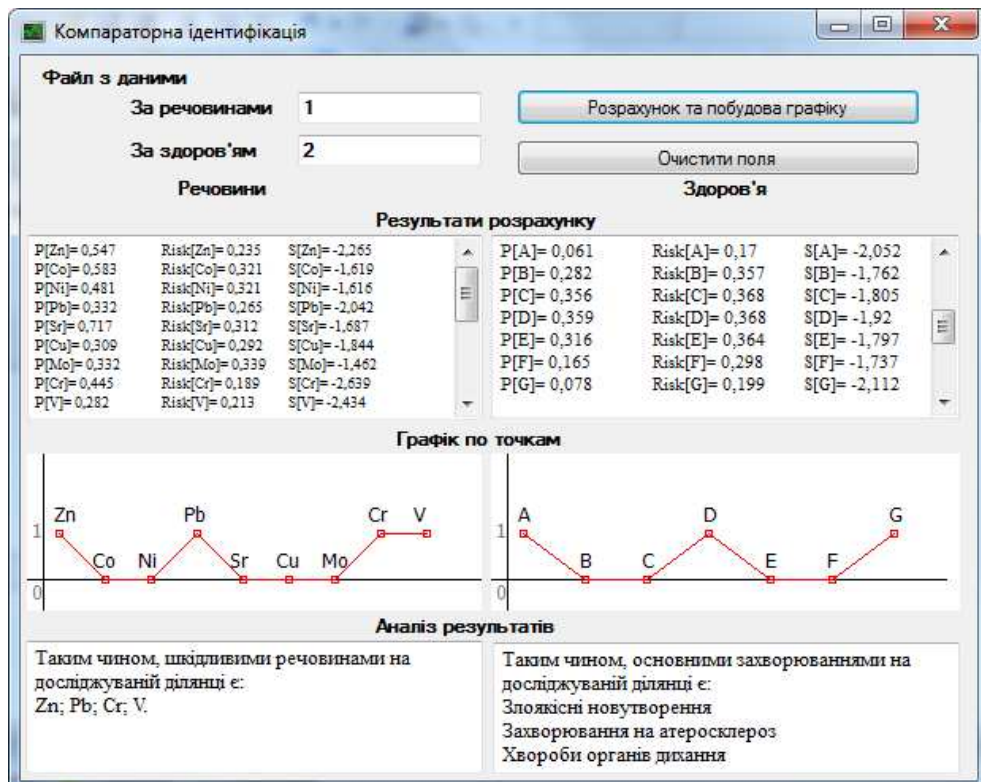


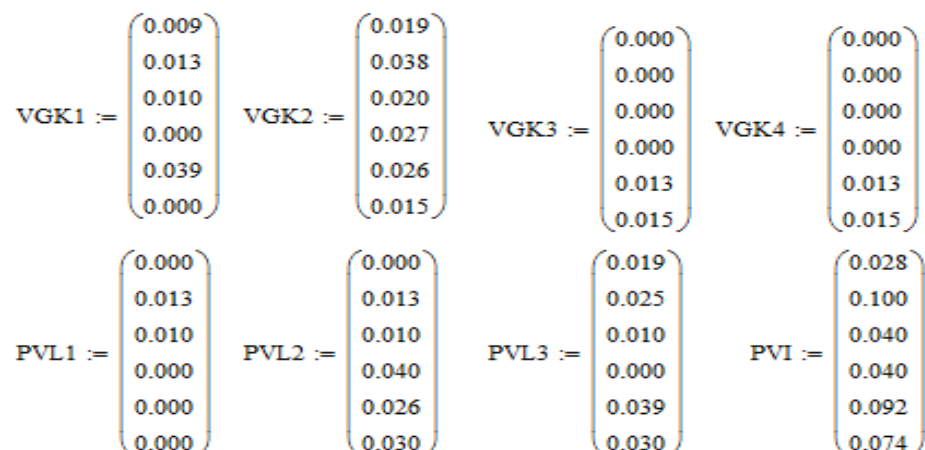
Рисунок 4.13 – Оцінка рівня екобезпеки стану ґрунтів і здоров'я населення

4.3.2 Оцінка стану дестабілізації систем організму і встановлення факторів відновлення його функціональності

Надана методика інформаційно-ентропійного стану складних систем апробована для оцінки стану мікросистем для визначення факторів, що приводять до позитивних змін у досліджуваній системі – факторів стабілізації.

Об’єкт дослідження. Контрольна група чисельністю 68 дітей хворих на церебральний параліч (ДЦП) різного рівня ускладнення на стан організму, в яку ввійшли 19 дітей без неврологічного дефіциту. Вік дітей від 2-х до 6-ти років, з них 55 хлопчиків і 32 дівчинки.

У групі з ДЦП відзначалися такі форми церебрального паралічу: спастична форма у 14 дітей, геміплегічна форма у 14 пацієнтів, спастична діплегія у 39, астатична форма у 1 дитини. Ходьбу без обмежень (I рівень) освоїли 22 дитини з геміплегічною, астатичною формами й спастичною діплегією. Ходьбу з допоміжними обладнаннями (II рівень) освоїли 30 пацієнтів зі спастичною діплегією. У цих двох групах дітей, що пересуваються, кількість дівчинок і хлопчиків розподілилася таким чином: 11 і 15 пацієнтів відповідно. Не освоїли ходьбу (III, IV рівень) 16 хворих з подвійною геміплегією і спастичною діплегією, з них 2 дівчинки й 14 хлопчиків, четверо дітей мали епілептичні приступи (рис. 4.14) [33, 50, 51].



PVI – перівентрикулярна ішемія; VGK1, VGK2, VGK3, VGK4 – внутрішньо шлункові крововиливи (I, II, III, IV ступені); PVL1, PVL2, PVL3 – перівентрикулярна лейкомалація (I, II, III ступені)

Рисунок 4.14 – Початкові дані за показниками «ходьба з допоміжним обладнанням»

Основні питання оцінки стабілізації стану аналізованих систем.

Хвороба визначена дестабілізацією квазістаціонарного стану організму як біохімічної системи, що є основою для ідентифікації причин її невідповідності вимогам стійкого стану (здоровий організм), факторів подолання хвороби. Для надання оцінки ризику здоров'ю стану дітей вражених ДЦП за якісними даними спостережень використана ентропійна функція відповідності з ідентифікації ступеню захворюваності.

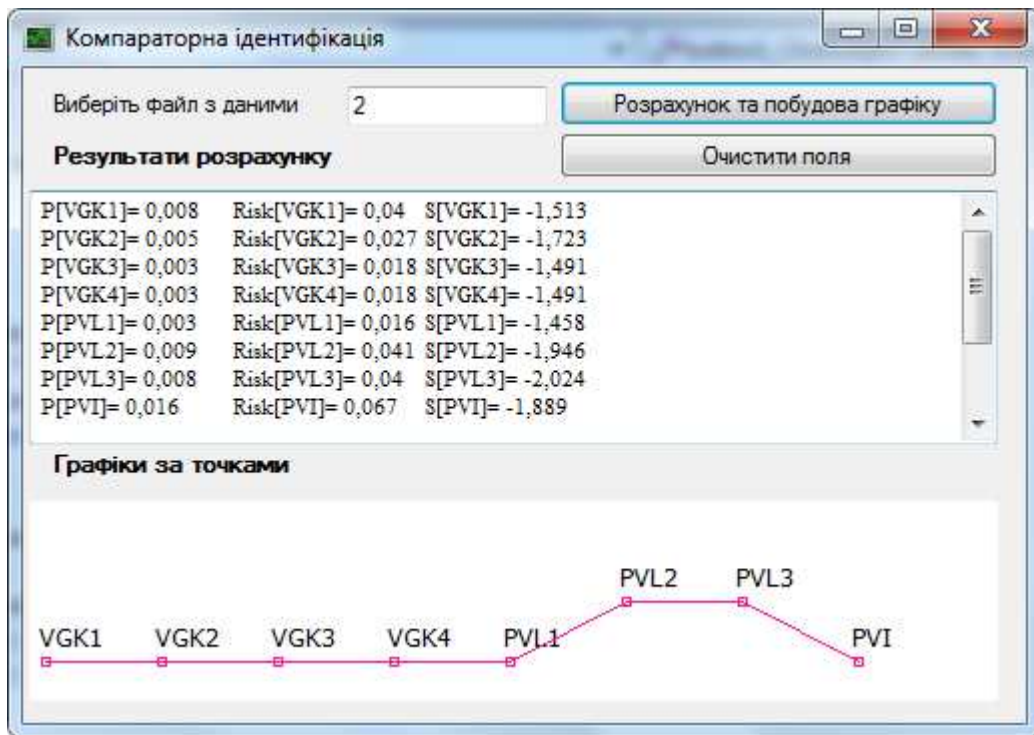
Розв'язання завдання дослідження. Гіпотеза про виникнення вірогідних процесів порушення здоров'я внаслідок зовнішніх і внутрішніх впливів на організм людини прийнято за основу для встановлення імовірності перебігу процесів в організмі при виникненні певних відхилень у його стані чи функціонуванні органів і систем (див. вираз (А.3)–(А.6), рис. 4.15) [43, 50].

$\sigma(\text{VGK1}) = 0.019$	$\sigma(\text{VGK2}) = 0.013$	$\sigma(\text{VGK3}) = 8.877 \times 10^{-3}$	$\sigma(\text{VGK4}) = 8.877 \times 10^{-3}$
$P(\text{VGK1}) = 0.22$	$P(\text{VGK2}) = 0.179$	$P(\text{VGK3}) = 0.225$	$P(\text{VGK4}) = 0.225$
$\sigma\sigma(\text{VGK1}) = 0.019$	$\sigma\sigma(\text{VGK2}) = 0.028$	$\sigma\sigma(\text{VGK3}) = 8.877 \times 10^{-3}$	$\sigma\sigma(\text{VGK4}) = 8.877 \times 10^{-3}$
$PP(\text{VGK1}) = 0.424$	$PP(\text{VGK2}) = 0.185$	$PP(\text{VGK3}) = 0.403$	$PP(\text{VGK4}) = 0.403$
$SS(\text{VGK1}) = 0.364$	$SS(\text{VGK2}) = 0.312$	$SS(\text{VGK3}) = 0.366$	$SS(\text{VGK4}) = 0.366$
$S1(\text{VGK1}) = 0.333$	$S1(\text{VGK2}) = 0.308$	$S1(\text{VGK3}) = 0.336$	$S1(\text{VGK4}) = 0.336$
$\sigma(\text{PVL1}) = 7.335 \times 10^{-3}$	$\sigma(\text{PVL2}) = 0.026$	$\sigma(\text{PVL3}) = 0.026$	$\sigma(\text{PVI}) = 0.048$
$P(\text{PVL1}) = 0.233$	$P(\text{PVL2}) = 0.143$	$P(\text{PVL3}) = 0.132$	$P(\text{PVI}) = 0.151$
$\sigma\sigma(\text{PVL1}) = 7.335 \times 10^{-3}$	$\sigma\sigma(\text{PVL2}) = 0.026$	$\sigma\sigma(\text{PVL3}) = 0.026$	$\sigma\sigma(\text{PVI}) = 0.075$
$PP(\text{PVL1}) = 0.409$	$PP(\text{PVL2}) = 0.387$	$PP(\text{PVL3}) = 0.381$	$PP(\text{PVI}) = 0.234$
$SS(\text{PVL1}) = 0.366$	$SS(\text{PVL2}) = 0.367$	$SS(\text{PVL3}) = 0.368$	$SS(\text{PVI}) = 0.34$
$S1(\text{PVL1}) = 0.339$	$S1(\text{PVL2}) = 0.278$	$S1(\text{PVL3}) = 0.267$	$S1(\text{PVI}) = 0.286$

Рисунок 4.15– Аналіз отриманих даних на вході

Імовірність відхилення від фонового стану більше ніж 0,2 прийнята вагомою, за цих умов виявляють фактори дестабілізації організму і формують групи здоров'я дітей вражених ДЦП (див. вираз (4.9)).

Обчислення показників стану здоров'я дітей досліджених груп проведено за програмою, розробленою в Microsoft Visual Studio 2005 (Додаток В). Початкові дані подаються в текстовому файлі. Підсумкові дані виводяться у вигляді звіту (рис. 4.16).



PVI – перівентрикулярна ішемія; VGK1, VGK2, VGK3, VGK4 – внутрішньо шлункові крововиливи (I, II, III, IV ступені); PVL1, PVL2, PVL3 – перівентрикулярна лейкомалація (I, II, III ступені)

Рисунок 4.16 – Програмна оцінка фактору стабілізації стану хворих на ДЦП

Відповідно до наданих результатів встановлено, що для стабілізації стану дітей хворих на ДЦП вагомими є такі показники при формуванні позитивних наслідків лікування: ПВЛ (II, III ступенів), що визначає позитивні ефекти у стані організму дітей, є фактором формування умов видужання або закріплення «негативного» стану.

4.3.3 Розв'язання задач екологічної безпеки у сфері оперативного управління техногенними об'єктами

Об'єкт дослідження. Модуль очищення забруднених відходів у вигляді шламових вод діючої збагачувальної фабрики ЦОФ «Кураховская» і установки з перезбагачення шламів зі шламонакопичувача.

Основні питання аналізу з оцінки якості. Виробнича діяльність з видобутку, збагачення природної сировини (руди, вугілля та ін.) і її подальшої переробки (одержання коксу, чавуну, сталі, кольорових металів та ін.) супроводжуються утворенням значних кількостей техногенних відходів, у тому числі в рідкому виді в шламонакопичувачах. Нагромадження відходів

призводить до екологічних і соціальних проблем – забруднення території, зупинка виробництва. Надати розрахунки кінетики осадження завислих речовин у досліджених зразках шламових вод за умови змін технологічних процесів – осадження при седиментації, використання мішалки (табл. Г.1–Г.2).

Розв’язання завдання дослідження. Для визначення оптимального часу осадження завислих речовин у досліджених зразках необхідно встановити міру невідповідності початкових даних вимірювань цільовим результатам за ентропійною функцією виду:

$$S = - \frac{L}{\sum_{i=1}^n L_i} \log_2 \frac{L}{\sum_{i=1}^n L_i}, \quad (4.11)$$

де L – значення характеристики розрахунку;

n – загальна кількість характеристик.

Отримані результати для кожної ентропійної характеристики аналізують відповідно до оцінки їх входження у встановлені відрізки, де система досягає свого максимуму та мінімуму:

$$[\min; \min + \Delta S \cdot 0,38]; [\max - \Delta S \cdot 0,38; \max], \quad (4.12)$$

де $\Delta S = S_{\max} - S_{\min}$ – довжина відрізка аналізованого розподілу значень ентропії.

Якщо отримане значення ентропії S (див. вираз (4.11)) потрапляє до зазначеного інтервалу (4.12), то отримують оптимальний результат за встановленим правилом:

$$K = \begin{cases} 1, & S \in [a, b]; \\ 0, & S \notin [a, b], \end{cases}$$

де $[a, b]$ – інтервал для max/min ентропії (див. вираз (4.12)).

Так як у системі необхідно провести градування за декількома параметрами, то доцільно ввести кон’юнкцію для виконання всіх обмежень:

$$t^{\min} \wedge H_0^{\max} \wedge H_3^{\min} = 1,$$

де t – час кінетики осаду, хв.;

H_0 – висота освітленого розчину, мм;

H_3 – висота згущеного осаду розчину, мм.

Для автоматизації розрахунків за даними експериментальних досліджень запроваджено програмне забезпечення настільного користування, розробленого у Microsoft Visual Studio 2005 (рис. 4.17, рис. Г.1, додаток Д.1), та для мобільного додатку орієнтованого на операційну систему Android (додаток Д.2) [32].

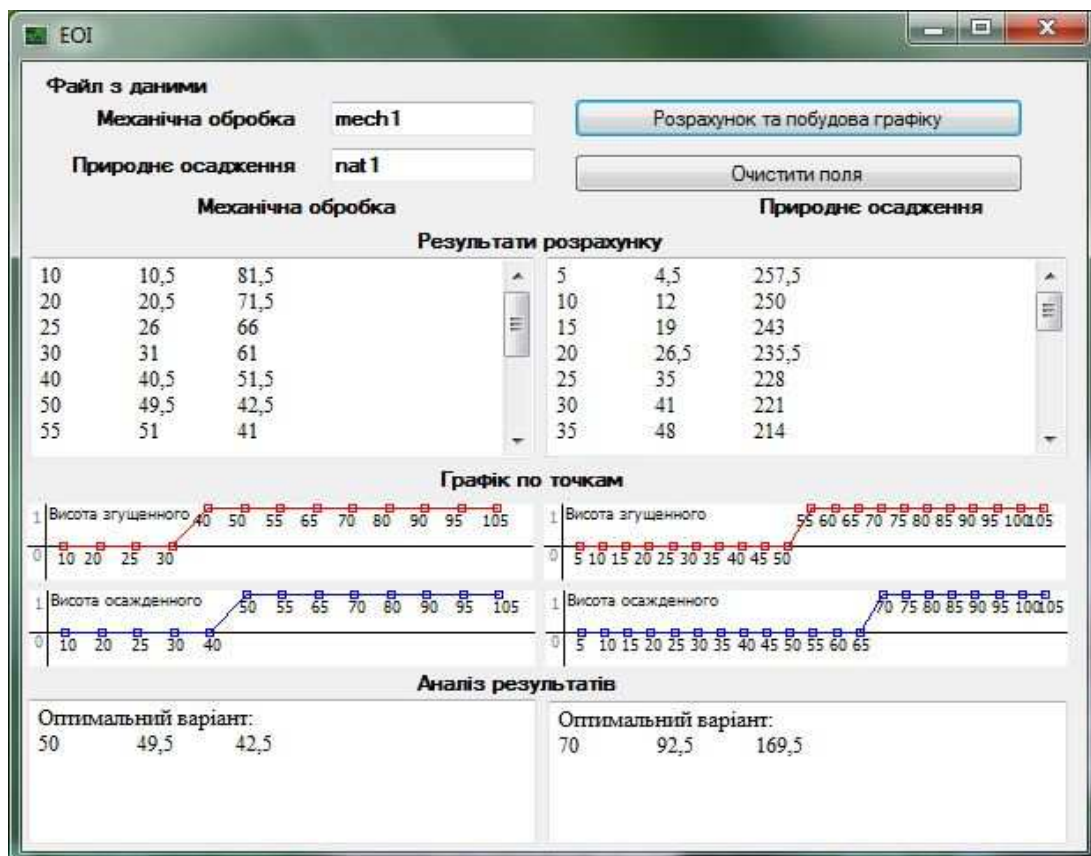


Рисунок 4.17 – Програмна оцінка оптимальних точок процесу осадження

Програмний продукт (див. рис. 4.17) використовується на стільниковому комп'ютері в офф-лайн режимі. На вхід програми подаються два файли (розширення .txt) з початковими даними вимірювань часу осадження та результатів експерименту, за якими відбуваються розрахунки стану очищення досліджених зразків шламових вод.

Для безперервного контролю безпеки виробничих процесів та оперативного реагування на небезпечні ситуації на промислових об'єктах при взаємодії «система – навколишнє середовище» запропоновано програмне забезпечення у вигляді мобільного додатку.

Програмний продукт орієнтовано на користувачів гаджетів з операційною системою Android. Вибір такої операційної системи зумовлено великою розповсюдженістю електронних пристроїв з операційною системою Android й можливістю оперативного визначення оцінки стану складних природно-техногенних утворень. Перевагою такої розробки є можливість користувача вводити нові дані, що передаються до серверу та зберігаються у базі даних. Надалі ці дані можна накопичувати, видалити або відредагувати. Після отримання всіх даних проводяться розрахунки відповідно до технічного завдання. Робота з наданим програмним продуктом можлива з будь-якого пристрою з операційною системою Android та можливістю доступу до мережі Інтернет (рис. 4.18).

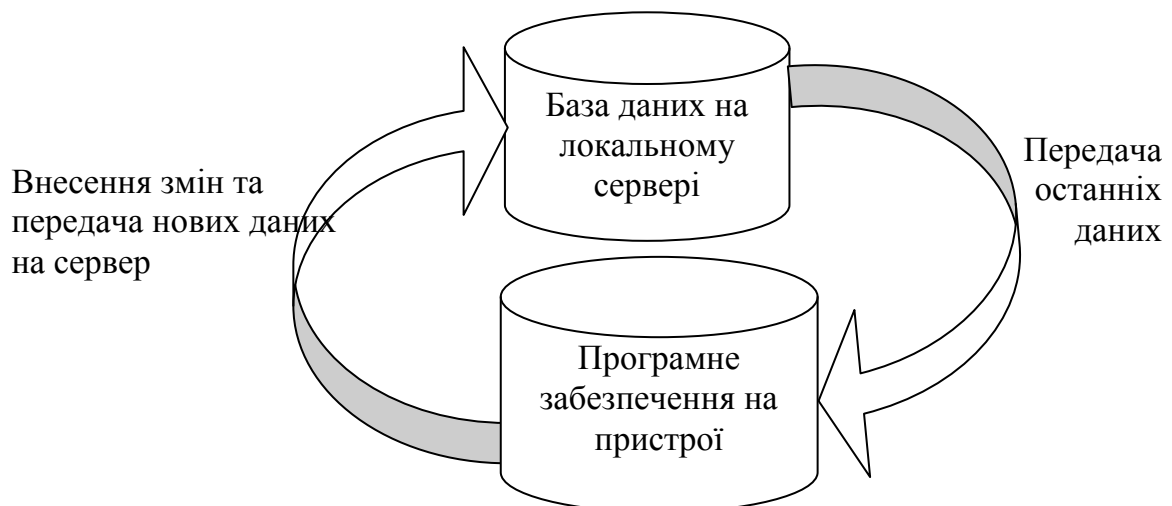


Рисунок 4.18 – Принцип роботи програмного продукту оперативного контролю екологічної безпеки

Розробка програмного продукту за операційною системою Android дозволяє отримати кількісні розрахунки відповідності виробничих процесів цільовій функціональності; оцінки стану територіальних об'єктів відповідно до прийнятного рівня екологічної безпеки (рис. 4.19, додаток Д.2).

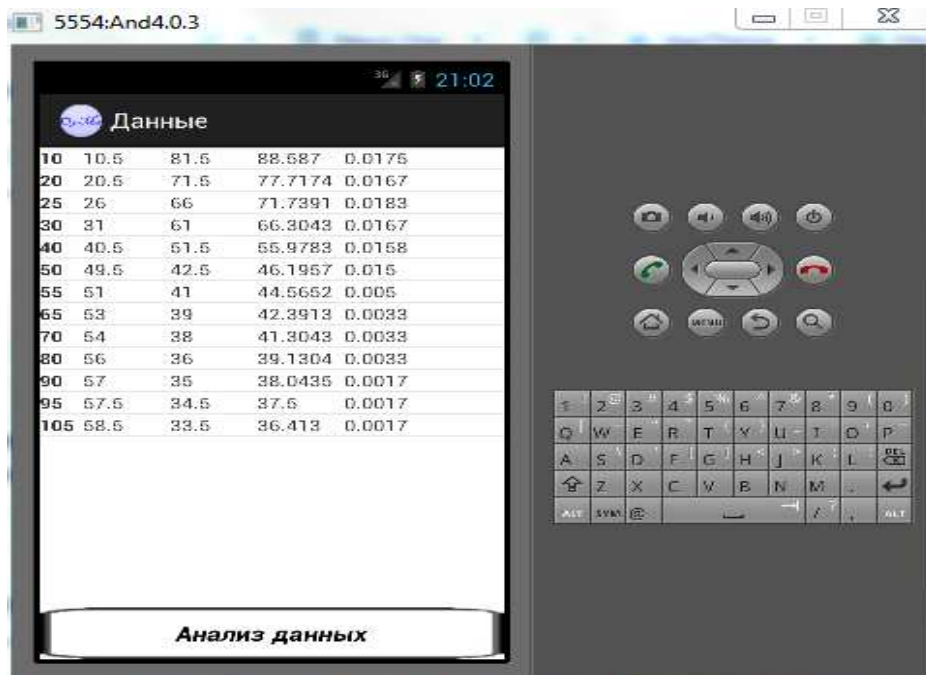


Рисунок 4.19 – Визначення стану процесу осадження за даними експерименту

Таким чином, на основі запропонованої інформаційно-програмної підтримки вимірювально-розрахункових операцій за наданим методичним забезпеченням створена об'єктивна контрольна система оцінки рівня екологічної безпеки складних об'єктів «система – навколишнє середовище».

Висновки до розділу 4

1. Визначено програмно-інформаційне забезпечення реалізації ентропійно-інформаційного підходу та методу компараторної ідентифікації ступеню якості для оцінки рівня екологічної безпеки складних об'єктів в умовах «система – НС» (див. рис. 4.4–4.6).

2. Запропоновано алгоритмічне забезпечення реалізації інформаційно-методичного забезпечення оцінки якості екобезпеки складних систем на рівні дослідження «стан (система – НС) – зміни – процес – стан системи» (див. рис. 4.7).

3. Розроблено програмне забезпечення для оперативного управління екобезпеки і реагування на небезпечні ситуації для безперервного контролю якості виробничих процесів та промислових об'єктів у вигляді «система – НС».

Одержані результати надано в публікаціях автора: 14, 18, 19, 23, 24, 25, 30–34, 36, 38, 41–46, 49–51.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена науково-прикладна задача комплексної інформаційно-системної оцінки рівня екологічної безпеки складних об'єктів на основі методів системного аналізу і математико-логічних методів ідентифікації стану та процесів у дослідженні «система – НС».

Основні науково-практичні результати дисертаційної роботи становлять:

1. Надано аналіз сучасних підходів і методів з дослідження задач екологічної безпеки, інформаційного та методичного забезпечення вирішення комплексних завдань оцінки екологічного стану різномірних об'єктів із встановлення відповідності їх прийнятному рівню екологічної безпеки, що дозволило визначити напрями розвитку комплексного інформаційно-системного оцінювання рівня екобезпеки складних об'єктів.

2. Вперше запропоновано інформаційно-методичне забезпечення розв'язання задач оцінки рівня екологічної безпеки складних об'єктів «система – НС» на основі комплексного застосування методів теорії ентропії та інформації, синергетики, компараторної ідентифікації.

3. Вперше запропоновано комплекс методів оцінювання відповідності стану складних об'єктів прийнятним рівням екологічної безпеки при послідовному розв'язанні невизначеності відповідно до аналізу «(система – зовнішнє середовище) – зміни системи – процес – стан системи» з використанням ентропійної функції відповідності для оцінки стану об'єктів і результатів перебігу процесів у них при взаємодії «система – НС».

4. Надано математичне забезпечення з формування системи методів розв'язання задач оцінки рівня екологічної безпеки «об'єкт – НС» в умовах невизначеності на основі математично-інформаційних моделей оцінки стану систем, внутрішніх процесів в них при взаємодії з зовнішнім НС, що дозволило удосконалити методичне забезпечення управління якістю НС на основі врахування самоорганізаційних процесів, факторів самовільної стабілізації стану «система – НС», забезпечити виключення економічно-витратних заходів регулювання рівня екобезпеки еколого-соціально-економічних об'єктів.

5. Розроблено алгоритмічне забезпечення щодо удосконалення методів з комплексної оцінки рівня екологічної безпеки складних об'єктів «система – НС» на основі запровадження інформаційної системи знання-орієнтованих баз даних, що дозволило вирішувати завдання в умовах невизначеності відповідно до дії факторів соціально-екологічної природи при дослідженні природно-техногенних територіальних утворень, еколого-соціально-економічних систем.

6. Розроблено інформаційно-програмний комплекс розв'язання задач оцінки рівня екологічної безпеки в умовах невизначеності «об'єкт – НС», отримали подальшого розвитку системи обробки інформації моніторингових систем щодо визначення стану природно-техногенних комплексів, соціально-екологічних систем на феноменологічній основі при застосуванні знання-орієнтованих баз даних з метою вирішення еколого-соціально-економічних питань на рівні макро-, меза- і мікросистем.

Надано практичні результати комплексної оцінки рівня екологічної безпеки стану природно-техногенних об'єктів (полігон досліджень Зміївського району), еколого-соціальних систем (природний комплекс Зміївського району – система здоров'я населення; оцінка стабільності стану хворого організму) і розв'язання завдань визначення ступеню екологічної безпеки техногенних об'єктів з використанням розробленого програмного продукту для персонального комп'ютеру та проведення оперативного контролю якості виробництва на основі розробленого програмного додатку для мобільного пристрою на операційній системі Android. Запровадження наданих інформаційно-методичних розробок в практику науково-дослідних робіт для вирішення завдань екобезпеки здійснено в межах господарсько-договірних тем на суму 100 тис. грн, що підтверджено актами впровадження результатів дисертаційної роботи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пригожин И.Р. Конец неопределенности / И.Р. Пригожин. – Ижевск. : НИЦ, 2000. – 208 с.
2. Кучеренко Е. И. Знание-ориентированные интеллектуальные методы принятия решений в условиях неопределенности / Е.И. Кучеренко, М.В. Ходак // Радиоэлектроника, информатика, управління. – 2015. – № 4. – С. 45–51.
3. Караєва Н.В. діагностика стану регіональних систем за рівнем сталого розвитку в умовах невизначеності / Н.В. Караєва, Л.О. Левченко, А.С. Панасюк, Т.О. Дерипаско // Управління розвитком складних систем. – 2013. – № 14 (31). – С. 158–163.
4. Караєва Н.В. Методологія розробки системи моніторингу рівня сталого розвитку та економічної безпеки України / Н.В. Караєва, Л.О. Левченко, Я.М. Трохименко // Збірник наук. праць «Управління розвитком складних систем». – 2011. – Вип. 5. – С. 111–116.
5. Кучаковська Г.А. Моделі створення бази знань експертної системи з вибору спеціальності для абітурієнтів вищого навчального закладу / Г.А. Кучаковська // Освітньо-логічний дискус. – 2014. – № 1 (5). – С. 129–138.
6. Ahluwalia P.K. A Goal Programming Based Multi-Time Step Optimal Material Flow Analysis Model for Integrated Computer Waste Management / P. K. Ahluwalia, A. K. Nema. // Journal of Environmental Informatics. – 2010. – № 10 (2). – P. 28–44.
7. Nema A.K. Optimization of regional hazardous waste management systems: an improved formulation / A.K. Nema, S.K. Gupta // Waste Manage. – 1999. – № 19. – P. 441–451.
8. Nema A.K. Multiobjective risk analysis and optimization of regional hazardous waste management system / A.K. Nema, S.K. Gupta // Pract. Periodical Hazard., Toxic, Radioact. Waste Manage. – 2003. – № 7 (2). – P. 69–77.
9. Boltzmann L. Weitere Studien über das Wärmegleichgewicht unter Gasmolekülen / L. Boltzmann // Sitzber. Acad. Wiss. Wien. – 1872. – Bd. 66. – P. 275–376.

10. Качинський А.Б. Безпека, загрози та ризик. / А.Б. Качинський. – К. : ПНБ РНБО, 2004. – 472 с.
11. Козуля М.М. Інформаційно-програмне забезпечення реалізації системних методів визначення стану складних систем / М.М. Козуля // Матеріали V Всеукраїнської науково-практичної конференції «Інтелектуальні системи та прикладна лінгвістика». – Харків : НТУ «ХПИ», 2016. – С. 46–47.
12. Шаронова Н.В. Задача ідентифікації при створенні інформаційної системи для моніторингових досліджень / Н.В. Шаронова, М.М. Козуля, Я.В. Святкин // Проблеми інформаційних технологій. – Херсон : ХНТУ, 2014. – № 01 (15). – С. 57–63.
13. Шаронова Н.В. Реалізація методології комплексної оцінки екологічності територіальних і об'єктових систем / Н.В. Шаронова, М.М. Козуля // Системний аналіз і інформаційні технології: матеріали 14-ї Міжнародної науково-технічної конференції SAIT 2012. – К. : УНК «ІПСА» НТУУ «КПІ», 2012. – С. 147–149.
14. Шаронова Н.В. Інформаційне забезпечення комплексної оцінки екологічного якості систем оточуючої середовища / Н.В. Шаронова, М.М. Козуля, Я.В. Святкин // Проблеми інформаційних технологій. – Херсон : ХНТУ, 2013. – № 02 (14). – С. 109–113.
15. Козуля М.М. Методичні підходи обробки та аналізу даних у системах з екологічною складовою / М. М. Козуля // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXIII міжнародної науково-практичної конференції. – Харків : НТУ «ХПИ», 2015. – Ч.IV. – С. 325.
16. Козуля М.М. Інформаційні підходи обробки та аналізу даних для моніторингу складних систем / М. М. Козуля // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXIV міжнародної науково-практичної конференції. – Харків : НТУ «ХПИ», 2016. – С. 297.
17. Сталинский Д.В. Оценка воздействия технологии термохимической деструкции (ТХД) изношенных автомобильных шин (ИАШ) на объекты окружающей среды / Д.В. Сталинский, А.Л. Скоромный, Д.И. Емельянова, М.М. Козуля // Экология и промышленность. – Харків, 2012. – № 3. – С. 112–119.

18. Козуля М.М. Програмне забезпечення інтелектуальної обробки моніторингових даних стану соціально-екологічних систем / М.М. Козуля // Теоретичні та прикладні аспекти побудови програмних систем: матеріали міжнародної наукової конференції. – К. : ПП «Центр оперативної поліграфії «Авангард». – 2015. – С. 104–108.

19. Касимов А.М. Методическое обеспечение оценки воздействия техногенных объектов на окружающую среду / А.М. Касимов, Т.В. Козуля, Д.И. Емельянова, М.М. Козуля // Экологический Вестник Северного Кавказа. – Краснодар, 2016. – Т 12. – № 1. – С. 48–55.

20. Иванчихин Ю.В. Рациональная организация ликвидации аварий в городской системе водопровода / Ю.В. Иванчихин, Д.А. Данилов, М.М. Козуля // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXII міжнародної науково-практичної конференції. – Харків: НТУ «ХП», 2012. – Ч.ІV. – С. 290.

21. Козуля Т.В. Комплексна екологічна оцінка природно-техногенних комплексів на основі MIPS- і ризик-аналізу / Т.В. Козуля, Д.І. Емельянова, М.М. Козуля // Восточноевропейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 3/10 (69). – С. 8–13.

22. Шаронова Н.В. Інформаційні та об'єктивні загальносистемні особливості функціонування природно-техногенних систем / М.М. Козуля, Н.В. Шаронова // Системный анализ и информационные технологии: материалы 17-й Международной научно-технической конференции SAIT 2015. – К. : УНК «ИПСА» НТУУ «КПИ», 2015. – С. 117–119.

23. Козуля Т.В. Інформаційно-методичне забезпечення комплексної оцінки екологічності системних об'єктів / Т.В. Козуля, Н.В. Шаронова, Д.І. Емельянова, М.М. Козуля // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2014. – № 3. – С. 25–34.

24. Козуля Т.В. Методологічне і алгоритмічне забезпечення комплексної оцінки екологічності природно-техногенних систем / Т.В. Козуля, Д.І. Емельянова, М.М. Козуля // Матеріали VI Міжнародної науково-

практичної конференції «Эколого-правовые и экономические аспекты техногенной безопасности регионов». – Харків: ХНАДУ, 2012. – С. 60–63.

25. Козуля М.М. Методично-інформаційне забезпечення комплексної оцінки природно-техногенних об'єктів / М. М. Козуля, Т. В. Козуля, Д. І. Ємельянова // Еколого-правові та економічні аспекти екологічної безпеки регіонів. Матеріали VIII міжнародної науково-практичної конференції за участю молодих науковців. – Харків : ХНАДУ, 2013. – С. 112–117.

26. Козуля Т.В. Теоретико-практичні основи методології комплексної оцінки екологічності територіальних і об'єктових систем / Т.В. Козуля, Д.І. Ємельянова, Н.В. Шаронова, М.М. Козуля // Проблеми інформаційних технологій. – 2012. – № 01 (011). – С. 29–36.

27. Kozulia T.V. Methodological Aspects of Complex ecological estimation of man-caused territory state and Mathematical Modelling of Processes in a Environment System / T.V. Kozulia, N.V. Sharonova, D.I. Emelianova, M.M. Kozulia // Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2012). – Kharkov, 2012. – P. 514–518.

28. Козуля М.М. Интеллектуальная обработка данных о состоянии природно-техногенных объектов / М. М. Козуля // Матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції «Інтелектуальні системи та прикладна лінгвістика». – Харьков : НТУ «ХПИ», 2015. – С. 57–59.

29. Шаронова Н.В. Моделирование природно-техногенных систем та комплексна екологічна оцінка якості довкілля / Н.В. Шаронова, М.М. Козуля // Вісник НТУ «ХПИ» секція «Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів» – Харків : НТУ «ХПИ», 2014. – № 16 (1059) – С. 76 –81.

30. Козуля Т.В. Застосування методу компараторної ідентифікації для комплексної оцінки рівня безпеки об'єктів еколого-соціально-економічних систем / Т.В. Козуля, М.І. Білова, М.М. Козуля // Інноваційна модель сталого розвитку України: колективна монографія / за заг. ред. д.е.н., проф. О.І. Маслак. – Кременчук : Видавництво ПП Щербатих О.В., 2015. – С. 62–83.

31. Касимов А.М. Методическое и информационное обеспечение комплексной оценки природно-техногенных объектов / А.М. Касимов,

Т.В. Козуля, Д.И. Емельянова, М.М. Козуля // Экологический вестник северного Кавказа. – Краснодар, 2014. – Т. 10. – № 1. – С. 58–64.

32. Касимов А.М. Применение методики термодинамической оценки воздействия известняковой технологии мокрой сероочистки газов на объекты окружающей среды / А.М. Касимов, Т.В. Козуля, Д.И. Емельянова, М.М. Козуля // Экология и промышленность. – Харьков, 2016. – № 1 (46). – С. 100–105.

33. Козуля Т.В. Комплексна еколого-гігієнічна оцінка стану антропогенно-навантажених територій за концепцією корпоративної еколого-гігієнічної системи / Т.В. Козуля, В.В. Мясоєдов, М.Г. Щербань, М.М. Козуля // Радіоелектроніка та інформатика. – 2012. – № 2 (57). – С. 75–82.

34. Козуля Т.В. Впровадження компараторної ідентифікації для комплексної оцінки рівня безпеки об'єктів / Т.В. Козуля, Н.В. Шаронова, М.О. Білова, М.М. Козуля // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2015. – № 4. – С. 63–73.

35. Шаронова Н.В. Комплексна оцінка екологічної безпеки з елементами компараторної ідентифікації рівня якості НС / Н.В. Шаронова, М.М. Козуля // Бионика Интеллекта. – 2013. – № 2 (81). – С. 37–42.

36. Козуля Т.В. Розробка екологічності техногенних об'єктів на основі методу компараторної ідентифікації / Т.В. Козуля, М.О. Білова, М.М. Козуля // Восточноевропейский журнал передовых технологий. – Харьков, 2015. – № 5/10 (77). – С. 27–33.

37. Шаронова Н.В. Знання-орієнтоване інформаційне забезпечення досліджень складних систем / Н.В. Шаронова, М.М. Козуля // Системный анализ и информационные технологии: материалы 18-й Международной научно-технической конференции SAIT 2016. – К. : УНК «ИПСА» НТУУ «КПИ», 2016. – С. 178–179.

38. Козуля Т.В. Формування знань-орієнтованих баз даних для визначення комплексної методики ідентифікації якості складних систем / Т.В. Козуля, Н.В. Шаронова, М.М. Козуля, Я.В. Святкин // Восточноевропейский журнал передовых технологий. – 2016. – № 1/2 (79). – С. 13–21.

39. Козуля М.М. Знання-орієнтована комплексна методика оцінки стану складних систем / М.М. Козуля // Вісник НТУ «ХПІ» Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Харків, НТУ «ХПІ», 2016. – № 19 (1191). – С. 39–44.

40. Козуля Т.В. Ентропійно-ризикова оцінка стану техногенно-природних комплексів промислових територій / Т.В. Козуля, Д.І. Ємельянова, В.В. Гагарін, М.М. Козуля // Проблеми інформаційних технологій. – 2011. – № 02 (010). – С. 171–178.

41. Козуля М.М. Знание-ориентированные системы и энтропийно-информационные модели в определении качества сложных систем / М.М. Козуля // Материалы III Всероссийской конференции и школы для молодых ученых «Системы обеспечения техносферной безопасности». – Таганрог : ЮФУ, 2016. – С. 146–147.

42. Козуля Т.В. Інформаційні особливості визначення оцінки відповідності стану екологічності системних об'єктів / Т.В. Козуля, Н.В. Шаронова, М.О. Білова, М.М. Козуля // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2016. – № 2. – С. 45–58.

43. Касімов О.М. Концепція комплексної оцінки системних об'єктів природно-техногенних і ландшафтно-геохімічних комплексів / О.М. Касімов, Т.В. Козуля, Д.І. Ємельянова, М.М. Козуля, В.В. Гагарін // Восточноевропейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 4/4 (58). – С. 62–68.

44. Касімов О.М. Методи і модель системи комплексного оцінювання екологічного стану природно-техногенних територій / О.М. Касімов, Т.В. Козуля, В.В. Гагарін, Д.І. Ємельянова, М.М. Козуля // Экология и промышленность. – 2013. – № 1. – С. 21–27.

45. Козуля Т.В. Інформаційні технології при розв'язання задач в системі екологічного управління / Т.В. Козуля, Д.І. Ємельянова, М.М. Козуля // Radioelectronics & Informatics. – 2013. – № 1. – С. 86–88.

46. Козуля Т.В. Информационно программное обеспечение оценки качества и безопасности объектов исследования мониторинговых систем

/ Т.В. Козуля, Н.В. Шаронова, М.М. Козуля, Я.В. Святкин // International Periodical Scientific Journal "Intellecti". – Tbilisi, 2015. – № 3(53) – P. 67–72.

47. Emelianova D.I. Complex ecological estimation of man-caused pollution state of population aggregate territory state / М.М. Kozulia, D.I. Emelianova // Економіка для екології: матеріали XVIII Міжнародної наукової конференції. – Суми: Сумський державний університет, 2012. – С. 73–74.

48. Шаронова Н.В. Інформаційне забезпечення комплексної екологічної оцінки довкілля / Н.В. Шаронова, М.М. Козуля // Системный анализ и информационные технологии: материалы 16-й Международной научно-технической конференции SAIT 2014. – К. : УНК «ИПСА» НТУУ «КПИ», 2014. – С. 176–177.

49. Козуля Т.В. Основи методики комплексної оцінки екологічності систем навколишнього середовища / Т.В. Козуля, Н.В. Шаронова, Д.І. Ємельянова, М.М. Козуля // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2013. – № 4. – С.17–27.

50. Шаронова Н.В. Ентропійна оцінка факторів визначення ступеню хвороби и груп захворювання / Н.В. Шаронова, М.М. Козуля // Системный анализ и информационные технологии: материалы 15-й Международной научно-технической конференции SAIT 2013. – К. : УНК «ИПСА» НТУУ «КПИ», 2013. – С. 218–220.

51. Козуля М.М. Розробка програмного забезпечення розрахунку соціально-екологічних показників якості / М.М. Козуля // Information technologies in information business conference (ITIB). – Kharkiv, 2015. – P. 10–11.

52. Большой энциклопедический словарь. – М. : «Большая Российская энциклопедия»; СПб. : «Норинт», 2000. – 1456 с.

53. Математическая инцклопедия / Гл.ред. И.М. Виноградов. – Т. 3 – М. : «Советская инциклопедия», 1982. – 1184 с.

54. Прокопенко Ю.В. Застосування бази знань при управлінні комплексом вакуум-апаратів періодичної дії / Ю.В. Прокопенко, А.П. Ладанюк // Технологический аудит и резервы производства. – 2015. – № 3/2(23). – С.16–20.

55. Ракітянська Г.Б. Нейро-мережевий підхід до генерування сполучених нечітких баз знань на правилах і відношеннях / Г.Б. Ракітянська // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2014. – № 1. – С. 72–82.

56. Литвин В.В. моделювання інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень з використанням онтологічного / В.В. Литвин // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – 2011. – № 2. – С. 93–101.

57. Лосев Ю.И. Модель принятия решений при управлении ресурсами сети в условиях неопределенности / Ю.И. Лосев, К.М. Руккас, С.И. Шматков, Мохамед Саламе Абрахим Арабиат // Системы обработки информации. – 2012. – № 9 (107). – С. 191–194.

58. Луцаевский А.С. Современные методы принятия решений в условиях неопределенности / А.С. Луцаевский, Т.С. Чайникова // Системы обработки информации. – 2007. – Вып. 7 (65). – С. 103–106.

59. Морозов О.О. Багатокритеріальна оптимізація складних організаційно-технічних систем за умови невизначеності інформації / О.О. Морозов // Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України. – 2013. – Вип. 1 (21). – С. 36–40.

60. Полтораченко Н.І. Декомпозиція задачі параметричної оптимізації в умовах невизначеності інформації / Н.І. Полтораченко // Управління розвитком складних систем. – 2010. – № 2 (12). – С. 45–48.

61. Хартли Р.В.Л. Теория информации и ее приложения / Р.В.Л. Хартли. – М.: Физматгиз, 1969. – 535 с.

62. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике / К. Шеннон. – М. : Изд-во иностр. лит., 1963. – 829 с.

63. MacArthur R.H. Educations of animal populations and measure of community stability / R. H. MacArthur // Ecology. – 1955. – Vol. 36. – N 7. – P. 533–536.

64. Капустина А.М. Информационные технологии управления / А.М. Капустина, И.И. Волосевич // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 11-й Международной научно-технической конференции. – Минск : БНТУ, 2013. – Т. 1. – С. 258–259.

65. Качинський А.Б. Екологічна безпека України: системні принципи та методи її формалізації / А.Б. Качинський, Ю.В. Єгоров // Національна безпека: Український вимір. – 2009. – № 4 (23). – С. 71–79.

66. Невмержицький О.В. Аналіз сучасних моделей, орієнтованих на знання, та методів прийняття рішень / О.В. Невмержицький // Управління розвитком складних систем. – 2013. – № 13. – С. 119–125.

67. Ильина Е.П. Интеллектуальная информационная технология экспертно-аналитической поддержки организационных решений / Е.П. Ильина, И.П. Сеницын, О.А. Слабоспицкая, Т.Л. Яблокова // Проблемы програмування. – 2013. – № 1. – С. 68–77.

68. Ильина Е.П. Оценка и использование показателей качества экспертного решения проблемы / Е.П. Ильина // Проблемы програмування. – 2006. – № 1. – С. 38–45.

69. Ильина Е.П. Представление и использование модели «Дерево ценности» в онтологиях партисипативного принятия решений / Е.П. Ильина // Сб. тр. СНУЯЭиП. – 2008. – № 1 (25). – С. 110–121.

70. Ильина Е.П. Методы автоматизированного управления экспертизами при концептуальной неоднородности экспертных взглядов / Е.П. Ильина // Проблемы програмування. – 2007. – № 4. – С. 35–46.

71. Сащук І.М. Застосування системного підходу для синтезу структури апаратно-програмних комплексів технічного аналізу сигналів на основі інформаційно-сигнатурних технологій / І.М. Сащук, О.М. Романов // Системный анализ и информационные технологии: материалы 18-й Международной научно-технической конференции SAIT 2016. – К. : УНК «ИПСА» НТУУ «КПИ», 2016. – С. 153–154.

72. Кондратенко Н.Р. Використання інтервальних нечітких множин типу 2 в умовах недовизначеності вхідних даних / Н.Р. Кондратенко, О.О. Снігур // Системный анализ и информационные технологии: материалы 18-й Международной научно-технической конференции SAIT 2016. – К. : УНК «ИПСА» НТУУ «КПИ», 2016. – С. 224–225.

73. Панкратова Н.Д. Класифікація і розпізнавання рівня небезпеки критичних ситуацій в задачах інформаційного аналізу / Н.Д. Панкратова, М.Р. Сльота // Системный анализ и информационные технологии: материалы 18-й Международной научно-технической конференции SAIT 2016. – К. : УНК «ИПСА» НТУУ «КПИ», 2016. – С. 134.

74. Панкратова Н.Д. Розпізнавання ситуацій за умов неповноти і нечіткості інформації / Н.Д. Панкратова, Т.С. Тарасюк // Системный анализ и информационные технологии: материалы 18-й Международной научно-технической конференции SAIT–2016. – К. : УНК «ИПСА» НТУУ «КПИ», 2016. – С. 135.

75. Цегелик Г.Г. Математичне моделювання оптимального розподілу реплікаційних баз даних у розподілених інформаційних системах / Г.Г. Цегелик, Р.П. Краснюк // Системный анализ и информационные технологии: материалы 18-й Международной научно-технической конференции SAIT–2016. – К. : УНК «ИПСА» НТУУ «КПИ», 2016. – С. 174–175.

76. Миронова Н.А. Информационная технология синтеза методов принятия групповых решений / Н.А. Миронова // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – 2013. – № 1. – С. 137–140.

77. Миронова Н.О. Групова система підтримки прийняття рішень / Н.О. Миронова, А.О. Скрипник, В.В. Харченко // Системи обробки інформації. Тези доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми і перспективи розвитку ІТ-індустрії». – Харків : ХУПС, 2012. – № 8 (106). – С. 201–202.

78. Красников В.Н. Энтропийный анализ проектных рисков / В.Н. Красников, В.А. Макаричев // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2009. – № 1. – С. 100–104.

79. Huang G.H. Perspectives of environmental informatics and system analysis / G.H. Huang, N.B. Chang // Journal of Environmental Informatics. – 2003. – № 1 (1). – P. 1–6.

80. Федулов А.А. Введение в теорию статистически ненадежных решений / А.А. Федулов, Ю.Г. Федулов, В.Н. Цыгичко. – М. : Статистика, 1979. – 279 с.

81. Барабаш О.В. Побудова нечіткої бази знань системи управління складною організаційно-технічною системою / О.В. Барабаш, В.А. Савченко, А.С. Слюняєв // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2010. – № 2 (69). – С. 79–82.

82. Recknagel F. Current Scope, Case Studies and Future Directions of Ecological Informatics / F. Recknagel – *Journal of Environmental Informatics*. – 2013. – № 21 (1). – P. 3–11.

83. Моклячук Т.О. Методи оцінки екологічного ризику від забруднення стійкими пестицидами / Т.О. Моклячук // *Збалансоване природокористування*. – 2014. – № 2. – С. 135–142.

84. CalTOX model description – 1993. – [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://www.dtsc.ca.gov/AssessingRisk/upload/techman1-2.pdf>.

85. Моклячук О. Модель екологічного ризику забруднення ґрунтів стійкими хлорорганічними пестицидами / О. Моклячук, Т. Моклячук, В. Монарх // *Тези міжнар. наук.-практ. конференції «Екологічна безпека та збалансоване природокористування в агропромисловому виробництві»*. – 2013. – С. 115–117.

86. Проданчук М.Г. Модельні методичні підходи до токсиколого-гігієнічної оцінки небезпеки та прогнозу ситуаційного ризику щодо формування асортименту і обсягів застосування пестицидів в сільському господарстві України / М.Г. Проданчук, В.І. Великий, Ю.А. Кучак // *Современные проблемы токсикологи*. – 2001. – № 4. – С. 43–46.

87. Проданчук М.Г. Методологічні підходи до оперативної екогігієнічної оцінки асортименту та обсягів застосування пестицидів в сільському господарстві України / М.Г. Проданчук, В.І. Великий, Ю.А. Кучак // *Довкілля та здоров'я*. – 2003. – № 1. – С. 75–78.

88. Проданчук М.Г. Теоретично-прикладне обґрунтування скорочення обсягів застосування пестицидів з високим ситуаційним ризиком небезпеки на стадії попереджувального сані-тарно-гігієнічного нагляду / М.Г. Проданчук, В.І. Великий, Ю.А. Кучак // *Проблеми харчування*. – 2004. – № 3. – С. 12–16.

89. Монарх В.В. Оцінка екологічних ризиків забруднення пестицидами компонентів агроєкосистеми / В.В. Монарх // Збалансоване природокористування. – 2014. – № 1. – С. 206–212.

90. Жомирук Р.В. Математичне моделювання процесу забруднення ґрунтів і ґрунтових вод відходами гірничого виробництва / Р.В. Жомирук, Ж.В. Маланчук, Є.З. Маланчук // Зб.наук.пр. «Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво». – Рівне : НУВГП, 2005. – Вип. № 30. – С. 257–262.

91. Жомирук Р.В. Вплив забруднення довкілля на здоров'я населення в Рівненській області. / Р.В. Жомирук // Сб.наук. пр. «Вісник НУВГП». – Рівне : НУВГП, 2005. – Вип. № 4 (32). – С. 9–16.

92. Маланчук З.Р. Аналіз впливу точкових об'єктів на забруднення ґрунтів і ґрунтових вод в Рівненській області / З.Р. Маланчук, М.М. Хлопук, Р.В. Жомирук // Зб. Наук.пр. «Вісник УДУВГП». – Рівне: УДУВГП, 2004. – Вип. № 2 (26). – С. 212–221.

93. Колядинський М.І. Оцінка екологічного ризику при впливі сміттєзвалищ на довкілля / М.І. Колядинський // Міжвузівський збірник «НАУКОВІ НОТАТКИ». – Луцьк, 2012. – Вип. № 38. – С. 85–89.

94. Дорошина С.В. Методические подходы к оценке экономических последствий воздействия ракетно-космической деятельности на состояние окружающей среды / С.В. Дорошина // Энергоэффективность экономики и экологическая безопасность: теория и практика: XI междунар. конфер., Кемерово. – М. : Экономика, 2011. – С. 228–331.

95. Рюмина Е.В. Анализ эколого-экономических взаимодействий / Е.В. Рюмина. – М. : Наука, 2000. – 160 с.

96. Хлобистов Є.В. Методологічні та методичні проблеми визначення граничних навантажень на навколишнє середовище та використання природних ресурсів / Є.В. Хлобистов, О.М. Кобзар // Прометей. – 2007. – Вип. (1) 122. – С. 39–45.

97. Пляцук Д.Л. Економічні аспекти оцінки екологічних ризиків у техногенно навантажених регіонах / Д.Л. Пляцук, В.В. Бойко // Механізм регулювання економіки. – 2012. – № 4 – С. 222–226.

98. Шерстнев А.В. Экономическая оценка рисков в системе управления экологической безопасностью на производственных объектах : автореф. дис. на соискание науч. степени канд. эконом. наук : спец. 08.00.05 «Экономика и управление народным хозяйством» / Шерстнев Алексей Валерьевич; ФГБОУ ВПО «Саратовский гос. аграрный ун-тет им. Н.И. Вавилова». – Саратов, 2012. – 23 с.

99. Шерстнев А.В. Независимая оценка риска и экологической безопасности опарного производственного объекта получения нефтяных масел для агропродовольственного комплекса / А.В. Шерстнев, А.А. Попов, А.А. Ильченко // Закономерности развития региональных агропродовольственных систем: материалы Всерос. школы молодых ученых. – Саратов : Изд-во ИАГПРАН, 2008. – С. 171–174.

100. Карпова Е.С. Оригинальный программный продукт для оценки атмотехногенных воздействий на водные экосистемы / Е.С. Карпова, А.В. Калач, А.И. Ситников // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. – 2012. – № 3. – С. 21–25.

101. Калач А.В. Особенности моделирования загрязнения водных объектов с использованием геоинформационной специализированной системы – Mike shell / А.В. Калач, Е.С. Карпова // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2011. – Т. 2 [18]. – С. 119–124.

102. Владимиров В.А. Радиационная и химическая безопасность населения : монография МЧС России / В.А. Владимиров, В.И. Измалков, А.В. Измалков. – М. : Деловой экспресс, 2005. – 544 с.

103. Прангишвили И.В. Энтропийные и другие системные закономерности: Вопросы управления сложными системами / И.В. Прангишвили. – М. : Наука, 2003. – 428 с.

104. Николис Г. Самоорганизация в неравновесных системах: От диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации / Г. Николис, И. Пригожин. – М. : Мир, 1979. – 512 с.

105. Пригожин И.Р. Порядок из хаоса / И.Р. Пригожин, И. Стенгерс. – М. : Наука, 1986. – 432 с.

106. Климентович Ю.Л. Статистическая теория открытых систем / Ю.Л. Климентович. – М. : Янус, 2001. – 305 с.
107. Козуля Т.В. Теоретико-практические основы методологии комплексной оценки экологичности территориальных и объектовых систем : монография / Т.В. Козуля. – Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2014. – 298 с.
108. Gibbs J.W. Elementary Principles in Statistical Mechanics, Developed with Especial Reference to the Rational Foundation of Thermodynamics / J.W. Gibbs. – N.-Y.: Schribner, 1902. – 159 p.
109. Пригожин И.Р. Конец неопределенности / И.Р. Пригожин. – Ижевск : НИЦ, 2000. – 208 с.
110. Голицын Г.А. Вариационные принципы в научном знании / Г.А. Голицын, А.П. Левич // Философские науки. – 2004. – № 1. – С. 105–136.
111. Фурсова П.В. Математическое моделирование в экологии / П.В. Фурсова, А.П. Левич // Проблемы окружающей среды (обзорная информация ВИНТИ). – 2002. – № 9. – 157 с.
112. Хакен Г. Синергетика: иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах / Г. Хакен. – М. : Мир, 1985. – 423 с.
113. Хакен Г. Информация и самоорганизация: макроскопический подход к сложным системам / Г. Хакен; пер. с англ.: Ю.А. Данилов, А.В. Берков. – М. : Мир, 1991. – 240 с.
114. Приц А.К. Принцип стационарных состояний открытых систем и динамика популяций./ А.К. Приц. – Калининград, 1974. – 123 с.
115. Lurie D. Thermodynamic approach to biomass distribution in ecological systems / D. Lurie, J. Valls, J. Wagensberg // Bull. Math. Biol. – 1983. – № 45. – P. 869–872.
116. Levich A. P. Category-functor modelling of natural systems / A. P. Levich, A. V. Solov'yov // Cybernetics and Systems. – 1999. – № 30 (6). – P. 571–585.
117. Эткин В. А. Термодинамика неравновесных процессов переноса и преобразования энергии / В. А. Эткин, В. А. Уткин. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1991. – 167 с.

118. Jørgensen S.E. Integration of Ecosystem Theories: a Pattern 2nd. / S.E. Jørgensen. – Dordrecht: Kluwer, 1997. – 400 p.
119. Луценко Е.В. Универсальный информационный вариационный принцип развития систем / Е.В. Луценко. – Краснодар : КубГАУ, 2006. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://lc.kubagro.ru/aidos/>
120. Барабаш О.В. Побудова нечіткої бази знань системи управління складною організаційно-технічною системою / О.В. Барабаш, В.А. Савченко, А.С. Слюняев // Авиационно-космическая техника и технология. – 2010. – № 2. – С. 79–82.
121. Тарасов В.О. Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень: Теорія, синтез ефективність / В.О. Тарасов, Б.М. Герасимов, І.О. Левін, В.О. Корнійчук. – К.: МАКНС, 2007. – 336 с.
122. Колмогоров А.Н. Теория информации и теория алгоритмов / А.Н. Колмогоров. – М. : Наука, 1987. – 304 с.
123. Хазен А.М. Разум природы и разум человека / А. М. Хазен. – М. : РИО «Мособлупрполиграфиздата», 2000. – 607 с.
124. Козуля Т.В. Процеси екологічного регулювання. Концепція корпоративної екологічної системи: монографія / Т.В. Козуля. – Харків : НТУ «ХПИ», 2010. – 588 с.
125. Овезгельдыев А.О. Синтез и идентификация моделей многофакторного оценивания и оптимизации / А.О. Овезгельдыев, Э.Г. Петров, К.Э. Петров. – К. : Наукова Думка, 2002. – 163 с.
126. Бодров В.И. Математические методы принятия решений / В.И. Бодров, Т.Я. Лазарева, Ю.Ф. Мартемьянов. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. – 124 с.
127. Аросеньев Ю.Н. Принятие решений. Интегрированные интеллектуальные системы / Ю.Н. Аросеньев, С.И. Шелобаев, Т.Ю. Давыдова. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 270 с.
128. Ларичев О.И. Качественные методы принятия решений. Вербальный анализ решений / О.И. Ларичев, Е.М. Мошкович. – М. : Наука, Физматлит, 1996. – 208 с.

129. Розенберг Г.С. Базы экологических знаний: технология создания и предварительные результаты / Г.С. Розенберг, Д.П. Дунин // Изв. СамНЦ РАН. 1999. – Т. 1. – № 2. – С. 186–192.

130. Ракитянська Г.Б. Оптимизація сполучених нечітких баз знань на правилах і відношеннях / Г.Б. Ракитянська // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2015. – № 1. – С. 17–26.

131. Пашинська С.Л. Інформаційна технологія експрес-обробки екологічних даних / С.Л. Пашинська, М.Ю. Антомонов, І.В. Гущук // Гігієна населених місць. – 2013. – № 62. – С. 303–306.

132. Барабаш О.В. Модель бази знань інтелектуальної системи управління високошвидкісного рухомого об'єкта на основі її верифікації / О.В. Барабаш, Д.М. Обідін, А.П. Мусієнко // Системи обробки інформації. – 2014. – Вип. 5 (121). – С. 3–6.

133. Барабаш О.В. Побудова нечіткої бази знань системи управління складною організаційно-технічною системою / О.В. Барабаш, В.А. Савченко, А.С. Слюняєв // Авиационно-космическая техника и технология. – 2010. – № 2. – С. 79–82.

134. Сергиенко М.А. Методы проектирования нечеткой базы знаний / М.А. Сергиенко // Вестник Воронежского государственного университета. Системный анализ и информационные технологии. – 2008. – № 2. – С. 67–71.

135. Коваль А.В. Модель сценарно-целевого похода при построении информационно-аналитической системы / А.В. Коваль, Ю.Д. Бойко, Е.А. Зайцева // Системный анализ и информационные технологии: материалы 16-й Между народ. н-т конф. SAIT-2014. – К. : УНК «ИПСА» НУТУ «КПИ», 2014. – С. 105–106.

136. Юдицкий С.А. Сценарно-целевой подход к системному анализу / С.А. Юдицкий // Автоматика и телемеханика. – 2001. – № 4. – С. 63–175.

137. Згуровський М.З. Основи системного аналізу / М.З. Згуровський, Н.Д. Панкратова. – К. : Видавнича група ВНУ, 2007. – 544 с.

138. Сукачов В.И. Основы синергетики / В.И. Сукачов. – К. : Оберег, 2001. – 287 с.
139. Николас Дж. Динамика иерархических систем: эволюционное представление / Дж. Николас. – М. : Мир, 1989. – 488 с.
140. Козуля Т.В. Синергетика і прийняття управлінського рішення в умовах функціонування корпоративної екологічної системи / Т.В. Козуля, Н.В. Шаронова // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2005. – № 2. – С. 31–36.
141. Козуля Т.В. Моделі прийняття управлінського рішення і концепція корпоративної екологічної системи / Т.В. Козуля, Н.В. Шаронова // Бионика интеллекта. – Харьков, 2005. – № 1 (62). – С. 31–36.
142. Похомова Н.В. Экологический менеджмент / Н.В. Похомова, А Эндрес, К. Рихтер. – СПб. : Питер, 2003. – 544 с.
143. Лук'яніхін В.О. Екологічний менеджмент / В.О. Лук'яніхін. – Суми : ВТД «Університетська книга», 2002. – 314 с.
144. Мельник Л.Г. Екологічна економіка / Л.Г. Мельник. – Суми : Університетська книга, 2003. – 348 с.
145. Механізми стратегічного програмно-цільового планування розвитку безпеки і оборони України / [наук.-інформ. зб.]. – К. : ДП «НВЦ «Євроатлантикінформ», 2006. – Вип. 23. – 152 с. – (Серія: Дослідження і розробки у сфері євроатлантичної інтеграції України).
146. Шевчук В.Я. Екологічне управління / В.Я. Шевчук, Ю.М. Сатанкін, Г.А. Білявський та ін. ; під ред. Г.А. Білявського. – К. : Лебідь, 2004. – 430 с.
147. Гриценко В.И. Биоэкомедицина. Единое информационное пространство / В.И. Гриценко, М.М. Вовк, А.Б. Котова и др. – К. : Наук. думка, 2001. – 314 с.
148. Математический энциклопедический словарь / Под ред. Ю.В. Прохорова. – М. : Изд-во «Сов. энцикл.», 1988. – 847 с.
149. Энциклопедия кибернетики. – К. : Укр. рад. энциклопедия, 1974. – Т. 2. – 632 с.

150. Козуля Т.В. Екологічна оцінка стану корпоративної системи і оцінка ризику здоров'ю населення / Т.В. Козуля, М.Г. Щербань // Восточноевропейский журнал передовых технологий. – Харьков, 2010. – № 4/8 (46). – С. 45–50.

151. Козуля Т.В. Формування технології навчання на синергетичній основі для фахівців комплексної підготовки / Т.В. Козуля, М.О. Білова // Проблеми та перспективи формування національної гуманітарно-технічної еліти. Збірник наукових праць. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – С. 116–125.

152. Петров В.В. Энтропийные методы проектирования сложных информационных систем / В.В. Петров, В.М. Агеев, Н.В. Павлова // Итоги науки и техники. Техническая кибернетика. – М., 1985. – Т. 18. – С. 78 – 123.

153. Козуля Т.В. Особливості оцінки якості навколишнього середовища і управління екологічною безпекою з позицій сталого розвитку: дис. на здобуття наук. ступеня д. тех. наук : спец. 21.06.01 «Екологічна безпека» / Козуля Тетяна Володимирівна ; ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України». – Київ, 2012. – 383 с.

154. Вяткин В.Б. Синергетическая теория информации: пояснения и терминологические замечания / В.Б. Вяткин // Научный журнал КубГАУ. – 2012. – № 80 (06). – С. 1–36. – Режим доступа до журн.: <http://ej.kubagro.ru/2012/06/pdf/46.pdf>.

155. Эшби У.Р. Введение в кибернетику. / У.Р. Эшби. – М. : Изд. иностр. лит., 1959. – 432 с.

156. Горбань И.И. Энтропия неопределенности / Горбань И. И. // Математичні машини і системи. – 2013. – № 2. – С. 105–117.

157. Соловьев Ю.Л. Энтропийные методы оценки программ развития города [Электронный ресурс] / Ю.Л. Соловьев // Электронное научное издание «Вестник кибернетики». – 2003. – № 2. – Режим доступа: http://jc.surgu.ru/attachments/article/134/2003_2_2-sol.pdf

158. Мушик Э. Методы принятия технических решений / Э. Мушик, П. Мюллер ; пер. с нем. Н.В. Васильченко, В.А. Душского. – М. : Мир, 1990. – 208 с.

159. Бриллюэн Л. Наука и теория информации / Л. Бриллюэн ; пер. с англ. А.А. Харкевича. – М. : Гос. изд-во физико-математической литературы, 1960. – 390 с.

160. Попков Ю.С. Концепция энтропии в системном анализе. / Ю.С. Попков. – М. : Институт системного анализа РАН, 2014. – 48 с.

161. Вечірська І.Д. Про дослідження властивостей лінійних логічних перетворень / І.Д. Вечірська, Ю.П. Шабанов-Кушнарєнко // Системи обробки інформації. – 2007. – Вип. 8 (66). – С. 130–133.

162. Голян Н.В. Алгебро-логические модели конструкций неявного выбора в бизнес процессах / Н.В. Голян, Ю.П. Шабанов-Кушнарєнко // Системи обробки інформації. – 2011. – Вип. 8 (98). – С. 275–278.

163. Емельянов В.В. Теория и практика эволюционного моделирования / В.В. Емельянов, В.В. Курейчик, В.М. Курейчик. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 432 с.

164. Carswell J.D. A Web-Based and Mobile Environmental Management System / J.D. Carswell, K. Gardiner, M. Bertolotto, A. Rizzini, N. Mandrak // Journal of Environmental Informatics. – 2008. – № 12 (1). – P. 9–20.

165. Carswell, J.D. Applications of mobile computing for fish species at risk management. / J.D. Carswell, K. Gardiner, M. Bertolotto, N. Mandrak // Journal of Environmental Informatics. – 2004. – № 2 (4). – P. 413–421.

Додаток А

Комплексне дослідження оцінки якості ґрунтів та стану здоров'я

Стан системи визначається за оцінкою імовірності відхилення порушень від стану квазістабільності організму:

1) середньоквадратичне відхилення від стабільного стану:

$$\sigma\sigma(X) = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{\text{length}(X)-1} (X_i - 0)^2}{\text{length}(X) - 1}}; \quad (\text{A.1})$$

2) імовірність відхилень від нормативних відповідностей (обмежень):

$$P(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma\sigma(X)}} \left[\frac{-1}{2} \operatorname{erf}\left(\frac{1}{2}\sqrt{2} \frac{-\max(X)+0}{\sigma\sigma(X)}\right) \frac{\pi^1}{2} \cdot \sqrt{2}\sigma(X) + \right. \\ \left. + \frac{1}{2} \operatorname{erf}\left(\frac{1}{2}\sqrt{2} \frac{-\min(X)+0}{\sigma\sigma(X)}\right) \frac{\pi^1}{2} \cdot \sqrt{2}\sigma\sigma(X) \right]; \quad (\text{A.2})$$

3) ентропійна оцінка екобезпеки як рівень невпорядкованості системи:

$$S(X) = \ln P(X), \quad Risk = -PP(X) \ln[PP(X)]. \quad (\text{A.3})$$

Імовірність перебігу процесів в організмі людини при появі відхилень у стані чи функціонуванні органів і систем надано у такій послідовності:

1) середньоквадратичне відхилення порушень стану від мінімально зафіксованого:

$$\sigma(X) = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{\text{length}(X)-1} (X_i - \min(X))^2}{\text{length}(X) - 1}}; \quad (\text{A.4})$$

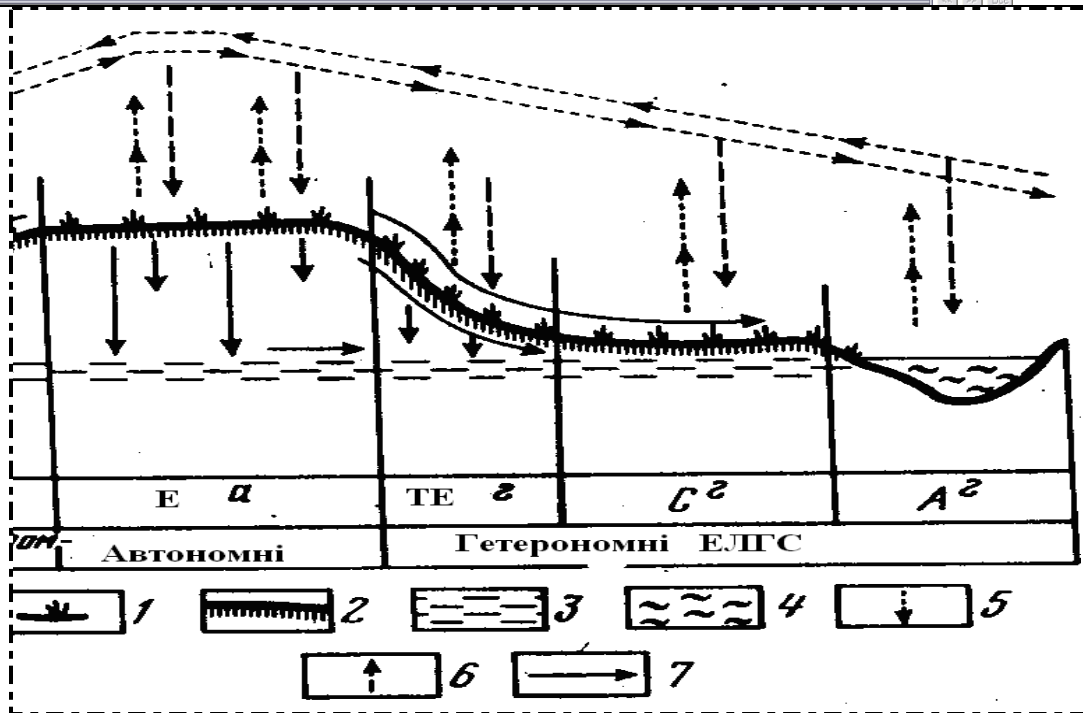
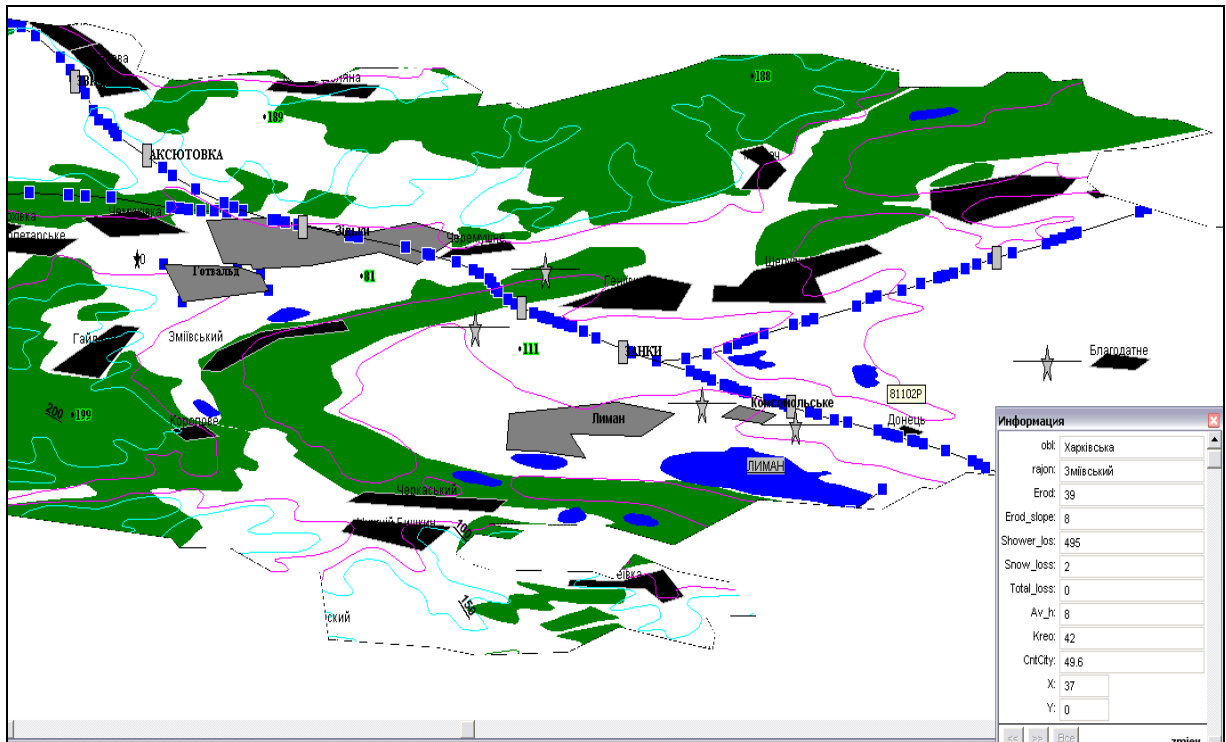
2) імовірність відхилення порушень від мінімально можливих змін:

$$P(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma(X)}} \left[\frac{-1}{2} \operatorname{erf}\left(\frac{1}{2}\sqrt{2} \frac{-\max(X)+\min(X)}{\sigma(X)}\right) \frac{\pi^1}{2} \cdot \sqrt{2}\sigma(X) + \right. \\ \left. + \frac{1}{2} \operatorname{erf}\left(\frac{1}{2}\sqrt{2} \frac{-\text{mean}(X)+\min(X)}{\sigma(X)}\right) \frac{\pi^1}{2} \cdot \sqrt{2}\sigma(X) \right]; \quad (\text{A.5})$$

3) ризик дестабілізації організму виду інформаційної ентропії:

$$S(P) = \ln P(X), \quad Risk = S1 = -P(X) \ln[P(X)], \quad (\text{A.6})$$

де $S(P)$ – ентропійна оцінка порушень; $Risk$ – інформаційна ентропія як узагальнена характеристика рівня небезпеки.



E^a – елювіальна автономна; гетерономні: TE^2 – транслювіально-аккумулятивна; C^2 – супераквальна; A^2 – шквальна. Блоки ЕГС: 1 – рослинність, 2 – ґрунти, 3 – ґрунтові води, 4 – поверхневі води; міграційні потоки речовини: 5 – надходження з опадами, 6 – транспірація, випаровування з поверхні ґрунтів і водойм і перенесення речовини в газоподібній фазі, 7 – водна міграція з поверхні, у ґрунті і з ґрунтовими стоками

Рисунок А.1 – Досліджені ландшафтно-геохімічні комплекси

Таблиця А.1 – Вміст важких металів у ґрунтах від дії викидів ТЕС, мг/кг

Місце відбору проб	Cd (5)*	Cu (23)*	Sr (130)*	Co (16)*	Zn (51)*	V (42)*	Ni (23)*	Cr (47)*	Pb (10)*
1	<5	35	300	8	140	60	4	200	35
2	<3	10	200	30	20	280	30	100	30
3	<3	20	100	30	30	300	40	100	30
4	<3	20	200	30	30	300	30	80	20
5	<3	30	50	30	100	300	50	100	30
6	<3	20	100	30	50	280	30	100	30
7	3	14	50	5	12	20	6	14	12
	4	25	250	16	35	100	30	90	14
	3	30	100	6	30	50	15	25	10
8	4	30	300	10	27	70	40	100	17
	4	50	50	8	50	70	30	100	10
	4	550	880	7	50	32	27	70	14
9	<5	6	30	2,5	90	7	4	10	6
10	<5	16	100	4	50	30	7	30	50
11	<5	20	30	2,5	140	10	6	20	9
12	<5	20	110	8	50	80	12	70	14

* – кларкові значення вмісту ВМ у ґрунтах

Таблиця А.2 – Дані стосовно вмісту важких металів у досліджених ґрунтах для локальної ентропійної ризик-оцінки

Zn	Co	Ni	Pb	Sr	Cu	Mo	Cr	V
0,67	0,88	8,70	3,00	1,28	2,17	1,61	2,13	2,38
1,02	0,69	4,35	1,10	0,85	2,22	1,61	2,13	2,38
1,14	0,50	1,30	3,00	0,73	3,04	1,29	2,13	2,38
0,27	0,63	0,26	1,20	0,40	1,30	1,61	0,64	1,67
0,92	1,25	4,35	3,00	1,77	2,17	3,23	2,13	2,55
0,78	0,63	0,57	1,40	0,54	1,61	1,61	1,06	1,21

Таблиця А.3 – Демографічні показники та захворюваність (на 100 тисяч населення) серед населення Зміївського району

	населення всього	народжуваність	смертність	природний приріст	рівень смертності малюків (на 1000 дітей, народжених живими)	смертність від злоякісних новоутворень (на 100 тисяч)	захворюваність злоякісними новоутвореннями	захворюваність на хронічний пієлонефрит	захворюваність на камені нирок і сечоводів	захворюваність на хвороби органів травлення	захворюваність на атеросклероз	захворюваність на гіпертонічну хворобу	захворюваність на хвороби органів дихання	Інфекційні захворювання			Захворюваність заразними шкірними хворобами	
														гострі кишкові захворювання всього	дизентерія	вірусний гепатит	дерматомікози	короста
1999	81500	6,4	17,9	-11,5	19,89	245,1	349,3	39,2	38	3314,1	25,7	458	30490	150,9	51,5	42,9	14,6	23,1
2000	80800	7,3	18,2	-10,9	9,15	227,7	315,6	40	48	3375	30	663	30819	159,5	58,1	80,3	11	36,8
2001	79800	6,4	18,2	-11,8	3,49	241,3	329,2	54	28,8	4392	9	550	30524	126,4	15	66,3	15	32,5
2002	81300	7,2	17,8	-10,6	5,73	197,5	323,9	64	30,8	2792,1	32,8	1172,4	27639,6	150,8	13,8	85,1	8,8	27,5
2003	79300	7,4	19,3	-11,9	9,03	241,7	352,1	96,01	63,59	2497,51	42,44	2174,3	30700,75	107	8,7	43,5	15	26,3
2004	78100	8,1	19,1	-11	5,25	163,9	292	130,33	117,79	2883,46	112,15	5846,96	36191,73	163,8	35,3	56,7	20,2	37,8
2005	76800	7,8	20,2	-12,4	10,4	109,7	355,9	191,41	147,14	2835,94	147,14	4463,3	39959,64	154,3	19,2	12,8	21,8	37,1
2006	75900	9,2	19,2	-10	4,84	134,4	388,7	147,56	156,79	2711,46	134,39	3170,57	38027,67	140,3	11,7	25,9	20,9	36,6
2007	75006	9,8	19,1	-9,3	10,14	129,1	349,1	106,07	202,85	2731,23	91,48	3931,11	38149,66	199	17,1	26,3	25	38,2
2008	75006	10,1	20	-9,9	10,13	153,8	382	106,07	156,79	1949,2	112,15	4213	37853	226,6	53,33	13,3	22,7	30,7
2009	74118	10,2	19,6	-9,4	7,1	141,9	334,2	130,33	147,14	2039,99	91,48	3860,06	38956,8	159,2	67,5	6,8	20	29,3

Додаток Б

Код програмної реалізації оцінки рівня безпеки стану ґрунтів, забруднених викидами важких металів, і рівня здоров'я населення

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;
using System.IO;

namespace Komporator
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
        }

        /// <summary>
        /// рисование графика
        /// </summary>
        /// <param name="m"></param>
        /// <param name="cv"></param>
        /// <param name="nazv"></param>
        private void Paint(int m, double[] cv, string[] nazv)
        {
            Graphics g = pictureBox1.CreateGraphics();
            Pen myPen = new Pen(Color.Red);
            Pen osi = new Pen(Color.Black);
            Font hfont = new Font("Tahoma", 10, FontStyle.Bold);
            Font mfont = new Font("Tahoma", 10);
            float sw = (float)((this.pictureBox1.Width - 20) / (m));
            double cvmax = cv[0];
            double cvmin = cv[0];
            for (int i = 0; i < m; i++)
            {
                if (cv[i] > cvmax) cvmax = cv[i];
                if (cv[i] < cvmin) cvmin = cv[i];
            }
            float hh = this.pictureBox1.Height;
            float ww = this.pictureBox1.Width;
            g.DrawLine(osi, 0, hh-20, ww, hh-20);
            g.DrawLine(osi, 10, 0, 10, hh);
            g.DrawString("0", mfont, System.Drawing.Brushes.Gray, 1, hh-20);
            float x1, y1, x2, y2;
            x1 = 20;
            y1 = this.pictureBox1.Height - 20 - (float)((this.pictureBox1.Height - 70) *
                (cv[0] - cvmin) / (cvmax - cvmin));
            g.DrawString("1", mfont, System.Drawing.Brushes.Gray, 1, y1-10);
            g.DrawRectangle(myPen, x1 - 2, y1 - 2, 4, 4);
            g.DrawString(nazv[0], mfont, System.Drawing.Brushes.Black, x1 - 5, y1 - 20);
            for (int i = 1; i < m; i++)
            {
                x2 = 20 + i * sw;
            }
        }
    }
}

```

```

    if (cv[i].ToString() == "NaN") cv[i] = 0;
    y2 = this.pictureBox1.Height - 20 - (float)((this.pictureBox1.Height - 70) *
(cv[i] - cvmin) / (cvmax - cvmin));
    g.DrawRectangle(myPen, x2 - 2, y2 - 2, 4, 4);
    g.DrawString(nazv[i], mfont, System.Drawing.Brushes.Black, x2 - 10, y2 - 20);
    g.DrawLine(myPen, x1, y1, x2, y2);
    x1 = x2;
    y1 = y2;
}
x2 = 20 + (cv.Length - 1) * sw;
y2 = this.pictureBox1.Height - 20 - (float)((this.pictureBox1.Height - 70) *
(cv[m - 1] - cvmin) / (cvmax - cvmin));
g.DrawRectangle(myPen, x2 - 2, y2 - 2, 4, 4);
}
private void Paint2(int m, double[] cv, string[] nazv)
{
Graphics g = pictureBox2.CreateGraphics();
Pen myPen = new Pen(Color.Red);
Pen osi = new Pen(Color.Black);
Font hfont = new Font("Tahoma", 10, FontStyle.Bold);
Font mfont = new Font("Tahoma", 10);
float sw = (float)((this.pictureBox2.Width - 20) / (m));
double cvmax = cv[0];
double cvmin = cv[0];
for (int i = 0; i < m; i++)
{
    if (cv[i] > cvmax) cvmax = cv[i];
    if (cv[i] < cvmin) cvmin = cv[i];
}
float hh = this.pictureBox1.Height;
float ww = this.pictureBox1.Width;
g.DrawLine(osi, 0, hh - 20, ww, hh - 20);
g.DrawLine(osi, 10, 0, 10, hh);
g.DrawString("0", mfont, System.Drawing.Brushes.Gray, 1, hh - 20);
float x1, y1, x2, y2;
x1 = 20;
y1 = this.pictureBox2.Height - 20 - (float)((this.pictureBox2.Height - 70) *
(cv[0] - cvmin) / (cvmax - cvmin));
g.DrawString("1", mfont, System.Drawing.Brushes.Gray, 1, y1 - 10);
g.DrawRectangle(myPen, x1 - 2, y1 - 2, 4, 4);
g.DrawString(nazv[0], mfont, System.Drawing.Brushes.Black, x1 - 5, y1 - 20);
for (int i = 1; i < m; i++)
{
    x2 = 20 + i * sw;
    if (cv[i].ToString() == "NaN") cv[i] = 0;
    y2 = this.pictureBox2.Height - 20 - (float)((this.pictureBox2.Height - 70) *
(cv[i] - cvmin) / (cvmax - cvmin));
    g.DrawRectangle(myPen, x2 - 2, y2 - 2, 4, 4);
    g.DrawString(nazv[i], mfont, System.Drawing.Brushes.Black, x2 - 5, y2 - 20);
    g.DrawLine(myPen, x1, y1, x2, y2);
    x1 = x2;
    y1 = y2;
}
x2 = 20 + (cv.Length - 1) * sw;
y2 = this.pictureBox2.Height - 20 - (float)((this.pictureBox2.Height - 70) *
(cv[m - 1] - cvmin) / (cvmax - cvmin));
g.DrawRectangle(myPen, x2 - 2, y2 - 2, 4, 4);
}

/// <summary>
/// расчет по формулам
/// </summary>
/// <param name="X"></param>
/// <param name="sigma"></param>

```

```

    /// <param name="min"></param>
    /// <returns></returns>
    static double F(double X, double sigma, double min)
    {
    return (1 / (Math.Sqrt(2 * Math.PI) * sigma)) * (Math.Exp((-1 / (2 *
    Math.Pow(sigma, 2))) * Math.Pow(X - min, 2)));
    }
    static double P(double max, double min, double sigma, double sr)
    {
    double a, b1, b2, b3, b, c1, c2, c3, c, d;
    a = Math.Sqrt(2 * Math.PI) * sigma;

    b1 = (min - max) / sigma;
    b2 = 0.5 * Math.Sqrt(2) * b1;
    b3 = E1(b2) * Math.Sqrt(2) * sigma * (Math.PI * 0.5);
    b = (-0.5) * b3;
    c1 = (min - sr) / sigma;
    c2 = 0.5 * Math.Sqrt(2) * c1;
    c3 = E1(c2) * Math.Sqrt(2) * sigma * (Math.PI * 0.5);
    c = 0.5 * c3;
    d = b + c;
    return d / a;
    }
    static double PP(double max, double min, double sigma)
    {
    double a = 1 / (Math.Sqrt(2 * Math.PI) * sigma);

    double b1 = (1 - max) / sigma;
    double b2 = 0.5 * Math.Sqrt(2) * b1;
    double b3 = E1(b2) * Math.Sqrt(2) * sigma * (Math.PI / 2);
    double b = (-0.5) * b3;

    double c1 = (1 - min) / sigma;
    double c2 = E1(0.5 * Math.Sqrt(2) * c1);
    double c3 = c2 * Math.Sqrt(2) * sigma * (Math.PI / 2);
    double c = 0.5 * c3;
    double d = b + c;
    return a * d;
    }
    static double PFunc(double sigma, double min, double max, double mean)
    {
    double a = (-0.5) * E1(0.5 * Math.Sqrt(2) * ((min - max) / sigma)) * (Math.PI /
    2) * Math.Sqrt(2) * sigma;
    double b = 0.5 * E1(0.5 * Math.Sqrt(2) * ((min - mean) / sigma)) * (Math.PI / 2)
    * Math.Sqrt(2) * sigma;
    double c = 1 / (Math.Sqrt(2 * Math.PI) * sigma);
    double Pres = c * (a + b);
    return Pres;
    }

    static double PPFunc(double sigmaSigma, double min, double max)
    {
    double a = (-0.5) * E1(0.5 * Math.Sqrt(2) * ((0 - max) / sigmaSigma)) * (Math.PI
    / 2) * Math.Sqrt(2) * sigmaSigma;
    double b = 0.5 * E1(0.5 * Math.Sqrt(2) * ((0 - min) / sigmaSigma)) * (Math.PI /
    2) * Math.Sqrt(2) * sigmaSigma;
    double c = 1 / (Math.Sqrt(2 * Math.PI) * sigmaSigma);
    double PPres = c * (a + b);
    return PPres;
    }

    static double E1(double x)
    {
    double s = 0;

```

```

if (x > 0)
{
    double dx = x / 1000000;
    for (double i = dx, x1 = 0; i <= x; i += dx)
    {
        s += (Math.Exp(-Math.Pow(x1, 2)) + Math.Exp(-Math.Pow(i, 2))) * (dx);
        x1 = i;
    }
    s = s / Math.Sqrt(Math.PI);
}
else
{
    double dx = -x / 1000000;
    for (double i = x + dx, x1 = x; i <= 0; i += dx)
    {
        s += (Math.Exp(-Math.Pow(x1, 2)) + Math.Exp(-Math.Pow(i, 2))) * (dx);
        x1 = i;
    }
    s = (s / Math.Sqrt(Math.PI)) * (-1);
}

return s;
}

private void elements(string filename)
{
    int m = 9; // количество столбцов (элементов)
    string[] Anazv = { "Zn", "Co", "Ni", "Pb", "Sr", "Cu", "Mo", "Cr", "V" }; // new
    int n = 6; // количество данных по каждому элементу
    double[,] A = new double[m, n];
    double[] sigma = new double[m];
    double[] f = new double[m];
    double[] p = new double[m];
    double[] sigma2 = new double[m];
    double[] pp = new double[m];
    double[] SS = new double[m];
    double[] S1 = new double[m];
    double[] logarifm = new double[m];
    // читаем с файла
    StreamReader srl;
    string SFileName = filename + ".txt";
    FileStream fs = File.Open(SFileName, FileMode.Open, FileAccess.Read);
    srl = new StreamReader(fs, true);
    for (int i = 0; i < 9; i++)
    {
        Anazv[i] = srl.ReadLine();
        for (int j = 0; j < 6; j++)
        {
            A[i, j] = Convert.ToDouble(srl.ReadLine());
        }
    }
    try
    {
        srl.Close();
    }
    catch { }
    srl = null;
    // закрыли файл
    for (int j = 0; j < m; j++)
    {
        double sum = 0, sr = 0;
        double min = A[j, 0]; // Находим минимум
        for (int i = 0; i < n; i++)
        {

```

```

    if (min > A[j, i])
min = A[j, i];
}
double max = min; //НахДИМ МАКСИМУМ
for (int i = 0; i < n; i++)
{
    if (max < A[j, i])
max = A[j, i];
}
for (int i = 0; i < n; i++)
{
    sr += A[j, i];
}
sr = sr / n;
//РАСЧИТЫВАНИЕ СИГМА(x)

for (int i = 0; i < n; i++)
{
    sum += Math.Pow(A[j, i] - min, 2);
}
sigma[j] = Math.Sqrt(sum / (n - 1));
//РАСЧИТЫВАЕМ F(x,i)

for (int i = 0; i < n; i++)
{
    Math.Round(F(A[j, i], sigma[j], min), 3);
}
//РАСЧИТЫВАЕМ P
p[j] = Math.Round(P(max, min, sigma[j], sr), 3);
//РАСЧИТЫВАЕМ СИГМАСИГМА(X)
sum = 0;
for (int i = 0; i < n; i++)
{
    sum += Math.Pow(A[j, i] - 1, 2);
}
sigma2[j] = Math.Sqrt(sum / (n - 1));
//РАСЧИТЫВАЕМ PP
pp[j] = Math.Round(PP(max, min, sigma2[j]), 3);
//РАСЧИТАТЬ SS
SS[j] = -PP(max, min, sigma2[j]) * Math.Log(PP(max, min, sigma2[j]));
//РАСЧИТАТЬ S1
S1[j] = -P(max, min, sigma[j], sr) * Math.Log(P(max, min, sigma[j], sr));
//РАСЧИТАТЬ logarifm
logarifm[j] = Math.Log(P(max, min, sigma[j], sr));
textBox2.Text += "logarifm[" + Anazv[j] + "] = " + Math.Round(logarifm[j], 3) +
"\r\n";
}

double[] komparatorLog = new double[m];
int kk = 0;
for (int i = 0; i < m; i++)
    if (Math.Abs(logarifm[i]) > 1.89)
        { komparatorLog[i] = 1; kk++; }
for (int i = 0; i < m; i++)
    textBox2.Text += "komp[" + Anazv[i] + "] = " + komparatorLog[i] + "\r\n";
Paint(m, komparatorLog, Anazv);
double[,] komp = new double[m, m];
for (int i = 0; i < m; i++)
{
    for (int j = 0; j < m; j++)
        komp[i, j] = komparatorLog[i];
}
textBox5.Text += "Таким чином, шкідливими речовинами на досліджуваній ділянці
e:\r\n";

```

```

for (int i = 0; i < m; i++)
{
    if (komparatorLog[i] == 1)
    {
        textBox5.Text += Anazv[i];
        if (i != m - 1)
        { textBox5.Text += "; "; }
        else { textBox5.Text += "."; }
    }
}
}
private void health(string fileName)
{
    StreamReader sr1;
    string SFileName = fileName + ".txt";
    FileStream fs = File.Open(SFileName, FileMode.Open, FileAccess.Read);
    sr1 = new StreamReader(fs, true);
    int m = Convert.ToInt32(sr1.ReadLine());
    int n = Convert.ToInt32(sr1.ReadLine());
    double[,] A = new double[n, m];
    string[] Anazv = new string[m];
    string[] PolnNazv = new string[m];
    double[,] gr = new double[7, m];
    int i, j;

    for (j = 0; j < m; j++)
    {
        Anazv[j] = sr1.ReadLine();
        for (i = 0; i < n; i++)
        {
            A[i, j] = Convert.ToDouble(sr1.ReadLine());
        }
    }

    try
    {
        sr1.Close();
    }
    catch { }
    sr1 = null;
    //закрили файл

    PolnNazv[0] = "Злоякісні новутворення";
    PolnNazv[1] = "Хронічний піелонефрит";
    PolnNazv[2] = "Гіпертонічна хвороба";
    PolnNazv[3] = "Захворювання на атеросклероз";
    PolnNazv[4] = "Захворювання на камені нирок";
    PolnNazv[5] = "Органи травлення";
    PolnNazv[6] = "Хвороби органів дихання";
    for (i = 0; i < m; i++)
    {
        textBox3.Text += Anazv[i]+" - "+PolnNazv[i];
        if (i != m - 1)
            textBox3.Text += ";\r\n";
        else
            textBox3.Text += ".\r\n";
    }
    ///Минимум, Максимум, Среднее
    double[] min = new double[m];
    for (j = 0; j < m; j++)
    {
        min[j] = A[0, j];
        for (i = 0; i < n; i++)

```

```

    {
        if (min[j] > A[i, j])
min[j] = A[i, j];
    }
}
double[] max = new double[m];
for (j = 0; j < m; j++)
{
    max[j] = A[0, j];
    for (i = 0; i < n; i++)
    {
        if (max[j] < A[i, j])
max[j] = A[i, j];
    }
}

double[] mean = new double[m];
for (j = 0; j < m; j++)
{
    mean[j] = 0;
    for (i = 0; i < n; i++)
    {
        mean[j] += A[i, j];
    }
    mean[j] = mean[j] / n;
}

////Считаем Сигму
double[] Sigma = new double[m];
for (j = 0; j < m; j++)
{
    double s = 0;
    for (i = 0; i < n; i++)
    {
        s += Math.Pow(A[i, j] - min[j], 2);
    }
    Sigma[j] = Math.Pow(s / (n - 1), 0.5);
    gr[0, j] = Sigma[j];
}
////Считаем P
double[] P = new double[m];
for (i = 0; i < m; i++)
{
    P[i] = PFunc(Sigma[i], min[i], max[i], mean[i]);
    gr[1, i] = P[i];
}
//// Считаем СигмаСигма
double[] SigmaSigma = new double[m];
for (j = 0; j < m; j++)
{
    double s = 0;
    for (i = 0; i < n; i++)
    {
        s += Math.Pow(A[i, j] - 0, 2);
    }
    SigmaSigma[j] = Math.Sqrt(s / (n - 1));
    gr[2, j] = SigmaSigma[j];
}
////Считаем PP
double[] PP = new double[m];
for (i = 0; i < m; i++)
{
    PP[i] = PFunc(SigmaSigma[i], min[i], max[i]);
    gr[3, i] = PP[i];
}

```

```

}
////Считаем SS
double[] SS = new double[m];
for (i = 0; i < m; i++)
{
    SS[i] = -PP[i] * Math.Log(PP[i]);
    gr[4, i] = SS[i];
}
////Считаем S1
double[] S1 = new double[m];
for (i = 0; i < m; i++)
{
    S1[i] = -P[i] * Math.Log(P[i]);
    gr[5, i] = S1[i];
}
//// Считаем logarifm
textBox3.Text += "\r\n";
double[] logarifm = new double[m];
for (i = 0; i < m; i++)
{
    logarifm[i] = Math.Log(P[i]);
    gr[6, i] = logarifm[i];
    textBox3.Text += "logarifm[" + Anazv[i] + "]= " + Math.Round(logarifm[i], 3) +
"\r\n";
}
double[] komparatorLog = new double[m];
int kk = 0;
for (i = 0; i < m; i++)
    if (Math.Abs(logarifm[i]) > 1.89)
        { komparatorLog[i] = 1; kk++; }
for (i = 0; i < m; i++)
    textBox3.Text += "komp[" + Anazv[i] + "]= " + komparatorLog[i] + "\r\n";
Paint2(m, komparatorLog, Anazv);
double[,] komp = new double[m, m];
for (i = 0; i < m; i++)
{
    for (j = 0; j < m; j++)
        komp[i, j] = komparatorLog[i];
}
textBox6.Text += "Таким чином, основними захворюваннями на досліджуваній ділянці
ε:\r\n";
for (i = 0; i < m; i++)
{
    if (komparatorLog[i] == 1)
        textBox6.Text += PolnNazv[i] + "\r\n";
}
}

private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
{
    string filename;
    filename = Convert.ToString(textBox1.Text);
    elements(filename);
    string filename2;
    filename2 = Convert.ToString(textBox4.Text);
    health(filename2);
}
}
}
}

```


Додаток В

Код програмної реалізації оцінки стану здоров'я населення

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;
using System.IO;

namespace Komporator
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
        }
        /// <summary>
        ///   рiсование графика
        /// </summary>
        /// <param name="m"></param>
        /// <param name="cv"></param>
        /// <param name="nazv"></param>
        private void Paint(int m, double[] cv, string[] nazv)
        {
            Graphics g = pictureBox1.CreateGraphics();
            Pen myPen = new Pen(Color.DeepPink);
            Font hfont = new Font("Tahoma", 10, FontStyle.Bold);
            Font mfont = new Font("Tahoma", 10);
            float sw = (float)((this.pictureBox1.Width - 20) / (m));
            double cvmax = cv[0];
            double cvmin = cv[0];
            for (int i = 0; i < m; i++)
            {
                if (cv[i] > cvmax) cvmax = cv[i];
                if (cv[i] < cvmin) cvmin = cv[i];
            }
            float x1, y1, x2, y2;
            x1 = 8;
            y1 = this.pictureBox1.Height - 20 - (float)((this.pictureBox1.Height - 70) *
                (cv[0] - cvmin) / (cvmax - cvmin));
            g.DrawRectangle(myPen, x1 - 2, y1 - 2, 4, 4);
            g.DrawString(nazv[0], mfont, System.Drawing.Brushes.Black, x1 - 5, y1 - 20);
            for (int i = 1; i < m; i++)
            {
                x2 = 8 + i * sw;
                if (cv[i].ToString() == "NaN") cv[i] = 0;
                y2 = this.pictureBox1.Height - 20 - (float)((this.pictureBox1.Height - 70) *
                    (cv[i] - cvmin) / (cvmax - cvmin));
                g.DrawRectangle(myPen, x2 - 2, y2 - 2, 4, 4);
                g.DrawString(nazv[i], mfont, System.Drawing.Brushes.Black, x2 - 5, y2 - 20);
                g.DrawLine(myPen, x1, y1, x2, y2);
                x1 = x2;
                y1 = y2;
            }
            x2 = 8 + (cv.Length - 1) * sw;
        }
    }
}

```

```

y2 = this.pictureBox1.Height - 20 - (float)((this.pictureBox1.Height - 70) *
(cv[m - 1] - cvmin) / (cvmax - cvmin));
g.DrawRectangle(myPen, x2 - 2, y2 - 2, 4, 4);
}
/// <summary>
/// расчет по формулам
/// </summary>
static double F(double X, double sigma, double min)
{
return (1 / (Math.Sqrt(2 * Math.PI) * sigma)) * (Math.Exp((-1 / (2 *
Math.Pow(sigma, 2))) * Math.Pow(X - min, 2)));
}
static double P(double max, double min, double sigma, double sr)
{
double a, b1, b2, b3, b, c1, c2, c3, c, d;
a = Math.Sqrt(2 * Math.PI) * sigma;
b1 = (min - max) / sigma;
b2 = 0.5 * Math.Sqrt(2) * b1;
b3 = E1(b2) * Math.Sqrt(2) * sigma * (Math.PI * 0.5);
b = (-0.5) * b3;
c1 = (min - sr) / sigma;
c2 = 0.5 * Math.Sqrt(2) * c1;
c3 = E1(c2) * Math.Sqrt(2) * sigma * (Math.PI * 0.5);
c = 0.5 * c3;
d = b + c;
return d / a;
}
static double PP(double max, double min, double sigma)
{
double a = 1 / (Math.Sqrt(2 * Math.PI) * sigma);
double b1 = (1 - max) / sigma;
double b2 = 0.5 * Math.Sqrt(2) * b1;
double b3 = E1(b2) * Math.Sqrt(2) * sigma * (Math.PI / 2);
double b = (-0.5) * b3;
double c1 = (1 - min) / sigma;
double c2 = E1(0.5 * Math.Sqrt(2) * c1);
double c3 = c2 * Math.Sqrt(2) * sigma * (Math.PI / 2);
double c = 0.5 * c3;
double d = b + c;
return a * d;
}
static double E1(double x)
{
double s = 0;
if (x > 0)
{
double dx = x / 1000000;
for (double i = dx, x1 = 0; i <= x; i += dx)
{
s += (Math.Exp(-Math.Pow(x1, 2)) + Math.Exp(-Math.Pow(i, 2))) * (dx);
x1 = i;
}
s = s / Math.Sqrt(Math.PI);
}
else
{
double dx = -x / 1000000;
for (double i = x + dx, x1 = x; i <= 0; i += dx)
{
s += (Math.Exp(-Math.Pow(x1, 2)) + Math.Exp(-Math.Pow(i, 2))) * (dx);
x1 = i;
}
s = (s / Math.Sqrt(Math.PI)) * (-1);
}
}

```

```

return s;
    }
    private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
    {
// читаем с файла
StreamReader sr1;
string filename;
filename = Convert.ToString(textBox1.Text);
string SFileName = filename + ".txt";
FileStream fs = File.Open(SFileName, FileMode.Open, FileAccess.Read);
sr1 = new StreamReader(fs, true);
int m = Convert.ToInt32(sr1.ReadLine()); // количество строк (элементов)
string[] Anazv = new string[m];
int n = Convert.ToInt32(sr1.ReadLine()); // количество данных по каждому элементу
double[,] A = new double[m, n];
double[] sigma = new double[m];
double[] f = new double[m];
double[] p = new double[m];
double[] sigma2 = new double[m];
double[] pp = new double[m];
double[] SS = new double[m];
double[] S1 = new double[m];
double[] logarifm = new double[m];
for (int i = 0; i < m; i++)
{
    Anazv[i] = sr1.ReadLine();
    for (int j = 0; j < n; j++)
    {
        A[i, j] = Convert.ToDouble(sr1.ReadLine());
    }
}
try
{ sr1.Close(); }
catch { }
sr1 = null;
// закрыли файл
for (int j = 0; j < m; j++)
{
    double sum = 0, sr = 0;
    double min = A[j, 0]; // Находим минимум
    for (int i = 0; i < n; i++)
    {
        if (min > A[j, i])
            min = A[j, i];
    }
    double max = min; // Находим максимум
    for (int i = 0; i < n; i++)
    {
        if (max < A[j, i])
            max = A[j, i];
    }
    for (int i = 0; i < n; i++)
    {
        sr += A[j, i];
    }
    sr = sr / n;
    // Расчеты сигма(x)
    for (int i = 0; i < n; i++)
    {
        sum += Math.Pow(A[j, i] - min, 2);
    }
    sigma[j] = Math.Sqrt(sum / (n - 1));
    // Расчеты F(x, i)
    for (int i = 0; i < n; i++)
    {
        Math.Round(F(A[j, i], sigma[j], min), 3);
    }
    // Расчеты P
    p[j] = Math.Round(P(max, min, sigma[j], sr), 3);
    // Расчеты сигма(X)
    sum = 0;
    for (int i = 0; i < n; i++)

```

```

    { sum += Math.Pow(A[j, i] - 1, 2); }
    sigma2[j] = Math.Sqrt(sum / (n - 1));
    //Расчитываем PP
    pp[j] = Math.Round(PP(max, min, sigma2[j]), 3);
    //Расчитать SS
    SS[j] = -PP(max, min, sigma2[j]) * Math.Log(PP(max, min, sigma2[j]));
    //Расчитать S1
    S1[j] = -P(max, min, sigma[j], sr) * Math.Log(P(max, min, sigma[j], sr));
    //Расчитать logarifm
    logarifm[j] = Math.Log(P(max, min, sigma[j], sr));
    textBox2.Text+="logarifm["+Anazv[j]+"]= " + Math.Round(logarifm[j], 3)+"\r\n";
}
double[] komparatorLog = new double[m];
int kk=0;
for (int i = 0; i < m; i++)
    if (Math.Abs(logarifm[i]) > 1.89)
        {komparatorLog[i] = 1;kk++;}
Paint(m, komparatorLog, Anazv);
double[,] komp = new double[m, m];
for (int i = 0; i < m; i++)
{
    for (int j = 0; j < m; j++)
        komp[i, j] = komparatorLog[i];
}
int[] kompi=new int[kk];
for (int i = 0,j=0; i < m; i++)
    if (komparatorLog[i] == 1)
        { kompi[j] = i; j++;}
for (int i = 0; i < kk; i++)
    textBox2.Text += "\t" + Anazv[kompi[i]];
textBox2.Text += "\r\n";
for (int i = 0; i < kk; i++)
{
    textBox2.Text += Anazv[kompi[i]] + "\t";
    for (int j = 0; j < kk; j++)
    {
        if (kompi[i] > 6 || kompi[j] > 6)
        {
            if (kompi[i] == kompi[j])
            { textBox2.Text += 0 + "\t"; }
        }
        else
        {
            if (kompi[i] == 7 && kompi[j] == 8)
            { textBox2.Text += 0 + "\t"; }
            else
            {
                if (kompi[i] == 8 && kompi[j] == 7)
                { textBox2.Text += 0 + "\t"; }
                else
                {textBox2.Text += 1 + "\t"; }
            }
        }
    }
}
else
{ textBox2.Text += 0 + "\t"; }
}
textBox2.Text += "\r\n";
}
}
}
}

```

Додаток Г
Розрахункові дані кінетики осаду

Таблиця Г.1 – Розрахунок кінетики осаду для зразка №2 при $C=70$ г/л,
природне осадження

Час, хв	Висота освітленого, мм	Висота згущеного, мм	Згущене в %	Швидкість осадження, мм/сек
0	0	262	100	
5	4,5	257,5	98,2824	0,0150
10	12	250	95,4198	0,0250
15	19	243	92,7481	0,0233
20	26,5	235,5	89,8855	0,0250
25	34	228	87,0229	0,0250
30	41	221	84,3511	0,0233
35	48	214	81,6794	0,0233
40	54,5	207,5	79,1985	0,0217
45	61	201	76,7176	0,0217
50	67,5	194,5	74,2366	0,0217
55	73,5	188,5	71,9466	0,0200
60	80	182	69,4656	0,0217
65	86,5	175,5	66,9847	0,0217
70	92,5	169,5	64,6947	0,0200
75	98,5	163,5	62,4046	0,0200
80	104,5	157,5	60,1145	0,0200
85	111	151	57,6336	0,0217
90	116,5	145,5	55,5344	0,0183
95	122,5	139,5	53,2443	0,0200
100	128,5	133,5	50,9542	0,0200
105	134,5	127,5	48,6641	0,0200
960	207	55	20,9924	0,0014

Таблиця Г.2 – Розрахунок кінетики осаду для зразка №2 при $C=70$ г/л, після впливу мішалки

Час, хв	Висота освітленого, мм	Висота згущеного, мм	Згущене в %	Швидкість осадження, мм/сек
0	0	92	100	
10	10,5	81,5	88,5870	0,0175
20	20,5	71,5	77,7174	0,0167
25	26	66	71,7391	0,0183
30	31	61	66,3043	0,0167
40	40,5	51,5	55,9783	0,0158
50	49,5	42,5	46,1957	0,015
55	51	41	44,5652	0,005
65	53	39	42,3913	0,0033
70	54	38	41,3043	0,0033
80	56	36	39,1304	0,0033
90	57	35	38,0435	0,0017
95	57,5	34,5	37,5	0,0017
105	58,5	33,5	36,4130	0,0017

```

for (int i = 0; i < vhn; i++)
{
    Hm += Hm298[i] * m[i];
    Sm += Sm298[i] * m[i];
    HmT1 += HmT500[i] * m[i];
    SmT1 += SmT500[i] * m[i];
    HmT2 += HmT1000[i] * m[i];
    SmT2 += SmT1000[i] * m[i];
}
for (int i = 0; i < vihn; i++)
{
    Hn += Hn298[i] * n[i];
    Sn += Sn298[i] * n[i];
    HnT1 += HnT500[i] * n[i];
    SnT1 += SnT500[i] * n[i];
    HnT2 += HnT1000[i] * n[i];
    SnT2 += SnT1000[i] * n[i];
}
double deltaH298 = Hn - Hm;
double deltaS298 = Sn - Sm;
double deltaG298=deltaH298-298*deltaS298;
double deltaGT1=deltaH298-T1* deltaS298+HnT1-
HmT1-T1*SnT1+T1*SmT1;
double deltaGT2 = deltaH298 - T2 * deltaS298
+ HnT2 - HmT2 - T2 * SnT2 + T2 * SmT2;

```

```

Введите количество элементов при входе:
1
Введите количество элементов при выходе:
2
m[0]=1
n[0]=1
n[1]=1
Введите начальные данные:
Hm298[0]=52,5
Hn298[0]=38,2
Hm298[1]=217,98
Sm298[0]=0,2193
Sn298[0]=0,2305
Sn298[1]=0,1146
Для T=500
HmT298[0]=23,290
HnT298[0]=21,2
HmT298[1]=10,393
SmT298[0]=0,279343
SnT298[0]=0,24612
SnT298[1]=0,125353
для T=1000
HmT298[0]=67,576
HnT298[0]=61,2
HmT298[1]=20,786
SmT298[0]=0,339186
SnT298[0]=0,300303
SnT298[1]=0,139761

Решение:
deltaH298=203,68
deltaS298=0,126
deltaG298=166,192
deltaGT(500)=103,018
deltaGT(1000)=-8,588

```

Рисунок Г.1 – Фрагмент програмного розрахунку рівня безпеки за ентропійним оцінювання стану технологічних операцій термічної деструкції шин

Додаток Д

Код програмної реалізації оперативного управління безпекою

1. Фрагмент програмної реалізації на мові C#:

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;
using System.IO;

namespace Entropy
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
        }
        int i, j;
        // рисование графика

        private void Paint(int m, double[] cv, string[] nazv, PictureBox ptb)
        {
            Graphics g = ptb.CreateGraphics();
            Pen myPen = new Pen(Color.Red);
            Pen osi = new Pen(Color.Black);
            Font hfont = new Font("Tahoma", 7);
            Font mfont = new Font("Tahoma", 7);
            float hh = ptb.Height;
            float ww = ptb.Width;
            g.DrawString("Висота згущеного", hfont, System.Drawing.Brushes.Black, 10, hh
- hh);
            float sw = (float)((ww - 20) / (m));
            double cvmax = 1;
            double cvmin = 0;
            g.DrawLine(osi, 0, hh-20, ww, hh-20);
            g.DrawLine(osi, 10, 0, 10, hh);
            g.DrawString("0", mfont, System.Drawing.Brushes.Gray, 1, hh-20);
            float x1, y1, x2, y2;
            x1 = 20;
            y1 = (hh - 20 - (float)((hh - hh/2) * (cv[0] - cvmin) / (cvmax - cvmin)));
            g.DrawString("1", mfont, System.Drawing.Brushes.Gray, 1, (hh-20-hh/2));
            g.DrawRectangle(myPen, x1 - 2, y1 - 2, 4, 4);
            g.DrawString(nazv[0], mfont, System.Drawing.Brushes.Black, x1 - 5, y1 + 2);
            for (int i = 1; i < m; i++)
            {
                x2 = 20 + i * sw;
                y2 = (hh - 20 - (float)((hh - hh/2) * (cv[i] - cvmin) / (cvmax - cvmin)));
                g.DrawRectangle(myPen, x2 - 2, y2 - 2, 4, 4);
                g.DrawString(nazv[i], mfont, System.Drawing.Brushes.Black, x2 - 10, y2 + 2);
                g.DrawLine(myPen, x1, y1, x2, y2);
                x1 = x2;
                y1 = y2;
            }
            x2 = 20 + (cv.Length - 1) * sw;
            y2 = hh - 20 - (float)((hh - hh/2) * (cv[m - 1] - cvmin) / (cvmax - cvmin));
            g.DrawRectangle(myPen, x2 - 2, y2 - 2, 4, 4);
        }
        private void Paint2(int m, double[] cv, string[] nazv, PictureBox ptb)
    }
}

```

```

    {
        Graphics g = ptb.CreateGraphics();
        Pen myPen = new Pen(Color.Blue);
        Pen osi = new Pen(Color.Black);
        Font hfont = new Font("Tahoma", 7);
        Font mfont = new Font("Tahoma", 7);
        float hh = ptb.Height;
        float ww = ptb.Width;
        g.DrawString("Висота осажденного", hfont, System.Drawing.Brushes.Black, 10, hh-
hh);
        float sw = (float)((ww - 20) / (m));
        double cvmax = 1;
        double cvmin = 0;
        g.DrawLine(osi, 0, hh - 20, ww, hh - 20);
        g.DrawLine(osi, 10, 0, 10, hh);
        g.DrawString("0", mfont, System.Drawing.Brushes.Gray, 1, hh - 20);
        float x1, y1, x2, y2;
        x1 = 20;
        y1 = hh - 20 - (float)((hh - hh/2) * (cv[0] - cvmin) / (cvmax - cvmin));
        g.DrawString("1", mfont, System.Drawing.Brushes.Gray, 1, (hh - 20 - hh / 2));
        g.DrawRectangle(myPen, x1 - 2, y1 - 2, 4, 4);
        g.DrawString(nazv[0], mfont, System.Drawing.Brushes.Black, x1 - 5, y1 + 2);
        for (int i = 1; i < m; i++)
        {
            x2 = 20 + i * sw;
            y2 = hh - 20 - (float)((hh - hh/2) * (cv[i] - cvmin) / (cvmax - cvmin));
            g.DrawRectangle(myPen, x2 - 2, y2 - 2, 4, 4);
            g.DrawString(nazv[i], mfont, System.Drawing.Brushes.Black, x2 - 5, y2 + 2);
            g.DrawLine(myPen, x1, y1, x2, y2);
            x1 = x2;
            y1 = y2;
        }
        x2 = 20 + (cv.Length - 1) * sw;
        y2 = hh - 20 - (float)((hh - hh/2) * (cv[m - 1] - cvmin) / (cvmax - cvmin));
        g.DrawRectangle(myPen, x2 - 2, y2 - 2, 4, 4);
    }
    /// <summary>
    /// Считывание данных с файла
    /// </summary>
    /// <param name="fileName"></param>
    private void data(string fileName, TextBox tx, PictureBox ptb2, PictureBox
ptb1, TextBox analiz)
    {
        StreamReader srl;
        string SFileName = fileName + ".txt";
        FileStream fs = File.Open(SFileName, FileMode.Open, FileAccess.Read);
        srl = new StreamReader(fs, true);
        int m = Convert.ToInt32(srl.ReadLine());
        int n = Convert.ToInt32(srl.ReadLine());
        double[,] data = new double[n, m];
        for (i = 0; i < m; i++)
        for (j = 0; j < n; j++)
        {
            data[j, i] = Convert.ToDouble(srl.ReadLine());
        }
        try
        { srl.Close(); }
        catch { }
        srl = null;
        for (i = 0; i < m; i++)
        {
            for (j = 0; j < n; j++)
            { tx.Text += data[j, i] + "\t"; }
            tx.Text += "\r\n"; }
    }

```



```

MathEnt me = new MathEnt();
double[,] kE = new double[n, m];
double [] N=new double[m];
string mm;
for (i = 0; i < n; i++)
{
if (i == 0)
{
for (j = 0; j < m; j++)
{ kE[i, j] = data[i, j]; }
}
else
{
for (int jj = 0; jj < m; jj++)
{ N[jj] = data[i, jj];}
if (i == 1)
{ mm = "max"; }
else { mm = "min"; }
N = me.toS(N, mm);
for (int j1 = 0; j1 < m; j1++)
{ kE[i, j1] = N[j1];}
}
string[] nazv = new string[m];
double[] cv = new double[m];
double[] cv2 = new double[m];
for (j = 0; j < m; j++)
{
nazv[j] = kE[0, j].ToString();
cv[j] = kE[1, j];
cv2[j] = kE[2, j];
}
Paint(m, cv, nazv, ptb1);
Paint2(m, cv2, nazv, ptb2);
double[,] res = new double[n - 1, m];
int ind = 0;
double minT = data[0, m-1];
for (i = 0; i < m; i++)
{
res[0,i] = data[0, i];
res[1, i] = kE[1, i] * kE[2, i];
}
for (i = 0; i < m; i++)
{
if (res[1, i] == 1)
{
if (minT >= data[0, i])
{minT = data[0, i];
ind = i;}
}
}
analiz.Text += "Оптимальный вариант:\r\n";
for (i = 0; i < n; i++)
analiz.Text += data[i, ind]+"\\t";
}
private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
{
string filename;
filename = Convert.ToString(textBox1.Text);
data(filename, textBox2, pictureBox1, pictureBox3, textBox5);
string filename2;
filename2 = Convert.ToString(textBox4.Text);
data(filename2, textBox3, pictureBox2, pictureBox4, textBox6);
} } }

```

2. Фрагмент програмної реалізації на Java

```

package com.mariia.math;
import java.io.Console;
import android.util.Log;
public class Entropy {
    int i;
    public double[] toS(double []N, String mm){
        double sumN=0;
        for (i=0; i<N.length;i++)
        {sumN+=N[i]; }
        double [] S=new double[N.length];
        for(i=0;i<N.length;i++)
        {S[i]=-1*(N[i]/sumN)*(Math.Log(N[i]/sumN)); }
        double inter=max(S)-min(S);
        double minb=min(S)+inter*0.38;
        double maxa=max(S)-inter*0.38;
        Log.i("maxa", String.valueOf(maxa));
        Log.i("maxb", String.valueOf(max(S)));
        Log.i("inter", String.valueOf(inter));
        double [] kompires=new double[S.length];
        if(mm.compareTo("max")==0)
        {kompires = kompar(S, maxa, max(S));}
        else{
            kompires = kompar(S, min(S), minb);
        }
        return kompires;
    }

    public double min(double[] S){
        double minS=S[0];
        for(i=0;i<S.length;i++)
        {
            if(minS>S[i])
                minS=S[i];
        }
        return minS;
    }

    public double max(double[] S){
        double maxS=S[0];
        for(i=0;i<S.length;i++)
        {
            if(maxS<S[i])
                maxS=S[i];
        }
        return maxS;
    }

    public double [] kompar(double [] S, double a, double b){
        double[] Skomp = new double[S.length];
        for(int i=0;i<S.length;i++){
            if(a<=S[i]&&S[i]<=b)
            { Skomp[i]=1; }
            else{ Skomp[i]=0; }
        }
        return Skomp;
    }
}

```

Додаток Ж

Акт впровадження результатів дисертаційної роботи у науково-проектні роботи ДП «УкрНТЦ «Енергосталь»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Генеральний директор Державного підприємства
«Український науково-технічний центр
металургійної промисловості «Енергосталь»


_____ д.т.н., проф. Д.В. Сталінський

_____ 12 20 16 р.

АКТ

**про використання результатів кандидатської дисертаційної роботи Козулі
Марії Михайлівни**

Цей акт підтверджує, що результати дисертаційної роботи Козулі Марії Михайлівни з тематики **«Комплексна інформаційно-системна оцінка рівня екологічної безпеки складних об'єктів»**, яку виконано в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут», використано у дослідженнях ДП «УкрНТЦ «ЕНЕРГОСТАЛЬ».

На основі наданого у дисертаційній роботі інформаційно-алгоритмічного забезпечення комплексної оцінки екологічності природно-техногенних об'єктів проведено обґрунтування екологічної безпечності за темами: «Переробка зношених автомобільних шин методом термохімічної деструкції», «Розробка ТЕО з організації системи повернення води господарчо-побутових стоків з метою їх використання у виробничому водопостачанні».

Результати розрахунків екологічної якості техногенних об'єктів використані у дослідженнях і проектах ДП «УкрНТЦ «ЕНЕРГОСТАЛЬ».

Заст. директора з НТР
«НДП «Енергосталь», к.т.н.



А.Л. Скоромний

Заст. директора з НТР «УкрНДІмет»,
д.т.н., проф.



О.М. Касімов

Додаток 3

Акт впровадження результатів дисертаційної роботи у роботу науково-дослідної лабораторії Харківського національного медичного університету

«ЗАТВЕРДЖУЮ»



Проректор з наукової роботи
Харківського національного
медичного університету
проф. В.В. М'ясоєдов
« 25 » 11 20 16 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

1. Найменування пропозиції для впровадження. Методика інформаційно-алгоритмічного забезпечення для оцінки екологічної безпеки природно-техногенних територій.
2. Установа-розробник. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут».
3. Автор. Аспірант Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Козуля Марія Михайлівна.
4. Джерело інформації. Дисертаційна робота на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук з тематики: «Комплексна інформаційно-системна оцінка рівня екологічної безпеки складних об'єктів», яку виконано в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут».
5. Базова установа, яка проводить впровадження. Центральна науково-дослідна лабораторія Харківського національного медичного університету.
6. Термін впровадження: січень - травень 2017 р.
7. Форма впровадження: матеріали використовуються в науково-практичних дослідженнях.
8. Зауваження та пропозиції: немає.
9. Відповідальний за впровадження.

Головний науковий співробітник
Центральної науково-дослідної
лабораторії Харківського національного
медичного університету

проф. М.Г. Щербань

Додаток К

Акт впровадження результатів дисертаційної роботи до навчального процесу в НТУ «ХП»



ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з навчальної роботи
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»

Марченко А. П.

« 13 » 01 2017 р.

АКТ

про використання результатів кандидатської дисертаційної роботи аспіранта
кафедри інтелектуальних комп'ютерних систем
Козулі Марії Михайлівни
**«Комплексна інформаційно-системна оцінка рівня екологічної безпеки
складних об'єктів»**
у навчальному процесі Національного технічного університету «Харківський
політехнічний інститут»

Теоретичні результати дисертаційної роботи Козулі Марії Михайлівни, яка виконувалась на кафедрі інтелектуальних комп'ютерних систем Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», впроваджено у навчальний процес при викладанні спеціальних дисциплін «Основи програмування», «Програмування», «Основи обробки електронної інформації», «Основи інформатики та комп'ютерної техніки» для спеціальності «Прикладна та комп'ютерна лінгвістика» в НТУ «ХП» з метою поліпшення якості викладання цих дисциплін, надання новітніх знань з досліджень складних систем, математичного моделювання в умовах невизначеності, ознайомлення студентів з сучасними розробками інформаційно-методичного забезпечення робіт з еколого-соціально-економічного аналізу територіальних і виробничих об'єктів.

Програмне забезпечення, розроблене у дисертаційній роботі Козулі Марії Михайлівни, використовується при проведенні науково-дослідницької роботи студентів на кафедрі інтелектуальних комп'ютерних систем НТУ «ХП».

Декан факультету
соціально-гуманітарних технологій,
проф., д.т.н.

 А.В. Кіпенський

Зав. кафедри інтелектуальних
Комп'ютерних систем, проф., д.т.н.

 Н.В. Шаронова



ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з навчальної роботи
 Національного технічного університету
 «Харківський політехнічний інститут»

Марченко А. П.

« 11 » 01 2017 р.

ДОВІДКА

про впровадження результатів кандидатської дисертаційної роботи асистента
 кафедри інтелектуальних комп'ютерних систем

Козулі Марії Михайлівни

**«Комплексна інформаційно-системна оцінка рівня екологічної безпеки
 складних об'єктів»**

Матеріали кандидатської дисертаційної роботи Козулі Марії Михайлівни, в якій розроблено інформаційно-методичне забезпечення комплексної оцінки рівня екологічної безпеки еколого-соціально-економічних об'єктів, використовується дисертантом у навчальному процесі Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» на кафедрі комп'ютерного моніторингу і логістики при підготовці спеціалістів з напрямку 6.020303 – «Філологія» зі спеціальності 7.02030303 – Прикладна та комп'ютерна лінгвістика :

При викладанні практичних занять навчальних дисциплін «Основи програмування» (64 години), «Програмування» (32 години), «Основи обробки електронної інформації» (32 години), «Основи інформатики та комп'ютерної техніки» (32 години) використані приклади інформаційного і програмного забезпечення в області соціально-економічного і еколого-економічного аналізу складних систем щодо прийняття управлінського рішення відповідно до фактів дестабілізації станів і процесів об'єкта дослідження, прогнозування стану складних систем для отримання повного аналізу дослідження з урахуванням математичних моделей в управлінні, оцінки промислових підприємств як еколого-соціально-економічних об'єктів локального рівня дослідження.

Результати дисертаційної роботи асистента кафедри інтелектуальних комп'ютерних систем відображені у наукових роботах при проведенні науково-дослідницької роботи студентів.

Декан факультету
 соціально-гуманітарних технологій,
 проф., д.т.н.

 А.В. Кіпенський

Зав. кафедри інтелектуальних
 Комп'ютерних систем, проф., д.т.н.

 Н.В. Шаронова