

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Козуля Т. В., Козуля М.М.

## **ГРІН-КОМП'ЮТІНГ**

**Лабораторний практикум  
з навчальної дисципліни  
«Green computing (дисципліна загальної підготовки)»  
Частина перша**

Харків  
НТУ «ХПІ»  
2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Козуля Т. В., Козуля М.М.

## **ГРІН-КОМП'ЮТІНГ**

**Лабораторний практикум  
з навчальної дисципліни  
«Green computing (дисципліна загальної підготовки)»  
Частина перша**

Рекомендовано  
редакційно-видавничою  
радою університету,  
протокол №3 від 26.10.2022

Харків  
НТУ «ХПІ»  
2024

УДК 004.432.2

К 59

*Рецензенти:*

*О.М. Кондратенко*, док. тех. наук, доц. каф. прикладної механіки та -  
технологій захисту навколишнього середовища Національного -  
Університету Цивільного Захисту України

*О.М. Нікуліна*, док. тех. наук., проф. каф. інформаційних систем та -  
технологій НТУ «ХП»

**Козуля Т. В., Козуля М.М.**

**К 59** Грін-комп'ютинг: лабораторний практикум з навчальної дисципліни  
«Green computing (дисципліна загальної підготовки)» Частина перша.  
Харків : НТУ «ХП», 2024. 172 с.

ISBN 978-617-05-0445-6

У першій частині лабораторного практикуму з дисципліни «Грін комп'ютинг» надані матеріали 3-х варіантів лабораторних робіт, що відносяться до першого модулю курсу «Green computing». Ця частина комп'ютерного практикуму присвячена питанням з основ екології, системної екології, екології навколишнього середовища, екологічного інформаційного суспільства. У роботі відзначені теоретичні аспекти, методичне забезпечення та самостійні завдання для комп'ютерного виконання лабораторного практикуму відповідно до наданих тем дисципліни з урахуванням ймовірних об'єктів екологічних досліджень.

Призначено для студентів, викладачів і користувачів, які вивчають основи екології, зелених інформаційних технологій і зеленого програмного забезпечення (практика інформаційно-програмного забезпечення Green computing) для практичного застосування при створенні додатків для розв'язку задач у різних галузях науково-практичних досліджень.

Табл. 6. Іл. 70 Бібліогр. 117

УДК 004.432.2

ISBN 978-617-05-0445-6

© Т.В. Козуля, М.М. Козуля 2024 р.

## ЗМІСТ

Вступ .....	6
Лабораторна робота №1	
1 Системологія екологічних досліджень. Моніторинг як - інформаційна система. Оцінка впливу технічно-технологічної - діяльності на об'єкти довкілля.....	6
1 Теоретичні основи визначення впливу на об'єкти довкілля.....	8
1.1 Теоретичні аспекти визначення оцінки екоефективності.....	8
1.2 Теорія и практика MIPS аналізу.....	48
1.3 Послідовність проведення оцінки екоефективності (ЕЕО)...	55
2 Завдання до лабораторної роботи з оцінки екоефективності.....	59
2.1 Основні вимоги до проведення MIPS аналізу.....	59
2.2 Основні вимоги до оформлення лабораторної роботи.....	61
Список джерел інформації.....	63
Додаток А.....	72
II Екологічні аспекти при системологічному дослідженні складних об'єктів. Моніторинг. Прогнозування впливу техніко-технологічних систем на об'єкти довкілля.....	82
1 Теорія і практика системології екологічних досліджень, - статистичне моделювання і прогнозування .....	82
1.1 Системологія та моніторинг – основа комп'ютерно-інформаційної підтримки прийняття екологічних рішень.....	82
1.2 Оцінка впливу на об'єкти навколишнього середовища та прогнозування змін в екосистемах.....	96
2 Завдання до лабораторної роботи з прогнозу екологічного стану довкілля на базі сценарного підходу когнітивного моделювання...	110
2.1 Послідовність виконання роботи з оцінки та прогнозування екологічного стану «об'єкт – довкілля».....	110
2.2 Приклади аналізу стану об'єкта та виконання прогнозу змін системи за когнітивною картою .....	111
2.3 Основні вимоги до оформлення лабораторної роботи.....	117
Список джерел інформації.....	118

III Імітаційне моделювання екологічних об'єктів при - системологічному їх дослідженні. Екологічна оцінка стану системних об'єктів і процесів у них в середовищі пакета MICROSOFT

EXCEL, STATISTICA.....	119
1 Теорія та практика моніторингових досліджень системних об'єктів. Статистична обробка даних моніторингу, моделювання...	119
1.1 Визначення системи моніторингу, види моніторингу .....	119
1.2 Моделі досліджуваних об'єктів, статистична обробка даних	129
1.3 Комп'ютерне імітаційне моделювання за даними в межах моніторингу навколишнього середовища.....	133
2 Завдання на лабораторну роботу і порядок її виконання.....	143
2.1 Послідовність виконання роботи з моделювання та оцінки екологічного стану «об'єкт – довкілля».....	143
2.2 Засоби реалізації етапів проектування систем.....	146
2.3 Основні вимоги до оформлення лабораторної роботи .....	158
Список джерел інформації.....	159
IV Програми, інструменти програмного забезпечення для статистики при розв'язанні екологічних задач	160
4.1 Програми для статистики	160
4.2 Python Pandas – описова статистика, статистичні функції	169
Список джерел інформації.....	162
Предметний покажчик.....	163

## ВСТУП

У лабораторному комп'ютерному практикуму розглянуті основні підходи, методи з дослідження складних системних об'єктів навколишнього середовища (НС) відповідно до завдань трьох модулів: «*Основи екології. Системна екологія*», «*Теорія та практика екологічно орієнтованих інформаційних комп'ютерних технологій*», «*Green IT – основи створення та використання систем і технологій зеленого комп'ютера з позицій енерго- та ресурсозаощадження; зелені інформаційні системи*» лекційного навчальної дисципліни «Грін комп'ютинг» із загальної підготовки студентів освітнього рівня бакалавр. *Основна увага в лабораторних роботах* приділена засвоєнню таких основних питань, логічно пов'язаних із вирішенням екологічних проблем сталого розвитку:

- інформаційно-програмному забезпеченню концепції сталого розвитку й розв'язку задач екологічної оцінки стану об'єктів НС і визначення впливу технічно-технологічних систем на природне середовище;
- новим дослідженням щодо інформаційно-програмного забезпечення систем моніторингу в області екології;
- зеленим інформаційним системам (ІС) і технологіям (ІТ), програмному забезпеченню (ПЗ), методам і засобам досягнення зеленості;
- ресурсозберігаючим і безвідхідним (ощадливим) технологіям створення й супроводу інформаційно-програмного забезпечення;
- розумінню сутності «зелених» цифрових екосистем, екосистем програмного забезпечення; екоективності складових концепції сталого розвитку – економічної, соціальної та екологічної, і розвитку цих систем;
- умінню застосовувати екологічний підхід щодо дослідження, створення й застосування інформаційних систем, технологій і ПЗ;
- застосуванню інформаційного забезпечення для задач досягнення екологічності процесів розробки ПЗ – сервера-леза, нульові клієнти, міні фрейми, віртуальні машини, хмарні сервіси, «зелені» інформаційні системи, Grid-обчислення, платформи електронного документообігу;
- впровадженню ресурсозберігаючих і ощадливих технологій створення інформаційно-програмного забезпечення й систем, реалізації інженерії програмного забезпечення;
- визначенню та застосуванню критеріїв оцінки «зеленості», принципів і засобів створення зелених систем і технологій, методів трансформації не зелених систем і технологій у зелені;

– використанню знань про характеристики інформаційно-програмного забезпечення як об'єкта екологічного дослідження; розуміння екосистеми програмного забезпечення.

**Мета виконання лабораторних робіт визначена** положеннями «Green computing», тобто теорії й практики екологічно орієнтованих інформаційних комп'ютерних технологій та інформаційних систем технологій (ІКТ, ІСТ), що становлять енергозберігаючі, енергоефективні технології обчислень та інші «зелені» розробки.

Зелені обчислення – це теорія та практика мінімізації впливу на навколишнє середовище комп'ютерної системи, ефективне та екологічно безпечне використання ресурсів для її проектування.

У межах лабораторних робіт передбачені завдання, що стосуються розв'язання задач із пошуку оптимальних шляхів інформаційно-програмного забезпечення для зниження ресурсно-матеріальних витрат на виробництві, впровадження ошадних технологій, відповідальних за збереження природних ресурсів і систем.

Перевагою переходу до курсу «Green computing» є звернення до питань екологічних знань з позицій спеціалістів із програмування, системних аналітиків, фахівців із інформаційного забезпечення, що в даному практикуму передбачено у IV розділі, як подання рекомендацій сучасного інформаційного простору щодо наявних програм і програмних інструментів для статистики.

Таким чином, лабораторний практикум з дисципліни «*Грін комп'ютинг*» (*Green computing*) відрізняється від практичних завдань з класичного курсу «Екологія» міждисциплінарним підходом з розв'язання задач екологічного дослідження соціально-еколого-економічних систем на основі розвитку інформаційного та програмного забезпечення моніторингових систем і проектних рішень, поєднуючи положення наукових напрямів екології навколишнього середовища, екологічної безпеки відповідно до вимог сталого розвитку та розвитку інформаційно-програмного комплексу згідно з вимогами зеленості (green computing and technology).

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

### I СИСТЕМОЛОГІЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ. МОНІТОРИНГ ЯК ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА. ОЦІНКА ВПЛИВУ ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ НА ОБ'ЄКТИ ДОВКІЛЛЯ

**Завдання:** засвоєння практики застосування екологічних положень у системологічному аналізі стану та динаміки природно-техногенного об'єкта при дослідженні екологічної ефективності його функціонування з позицій екобезпеки. Оцінка обраних рішень відповідно до визначення екологічної ефективності технічних проектних завдань за даними моніторингу та результатами MIPS-аналізу. Розробка інформаційно-програмного забезпечення розв'язання поставлених задач роботи.

#### 1 Теоретичні основи визначення впливу на об'єкти довкілля

##### 1.1 Теоретичні аспекти визначення оцінки екоефективності

**1.1.1 Оцінка екологічної ефективності (ОЕЕ)** застосовується для аналізу роботи організацій різного типу та розміру відповідно до вимог захисту (безпеки) природного навколишнього середовища (ПНС) від надмірного впливу технічно-технологічної діяльності в економічному і соціальному просторі. Таке оцінювання стану і динаміки обраних для моніторингу об'єктів соціально-економічного середовища використовується для підтримки системи екологічного менеджменту (СЕМ) або незалежно. Для визначення відповідності екоефективності підприємство чи організація, що має систему екологічного менеджменту, запроваджує критерії ОЕЕ згідно з положеннями екологічної політики, її мети та завдань.

У ході оцінки екологічної ефективності (ОЕЕ) реалізуються методи та технічні прийоми екологічного менеджменту послідовним і рентабельним способом, наприклад, таких стандартів: ISO/TK 207, ISO 14001, ISO 14004, ISO 14005, ISO 14006, екологічних декларацій ISO 14025, екологічного маркування за ISO 14024 та оцінки життєвого циклу згідно з ISO 14040, ISO 1404.

За основу при розробці критеріїв ЕО прийняті такі встановлені на міжнародному рівні елементи та характеристики систем ЕО: (1) «прозора» система відбору об'єктів ЕО; (2) визначення масштабів (завдань) ЕО з метою зосередження на більш значимих екологічних впливах на навколишнє середовище; (3) визначення та оцінка альтернатив екологічних проектних рішень; (4) відкритий процес щодо участі усіх зацікавлених сторін; (5)

оцінка техногенних впливів та визначення їх вагомості у порушенні вимог екологічної безпеки; (6) планування заходів щодо зниження техногенного впливу на ПНС; (7) підготовка Звіту (заяви) про небезпечні впливи на навколишнє середовище та подання його в систему суспільного екологічного моніторингу; аналіз його якості та результатів; (8) облік матеріалів ЕО у процесі прийняття рішень; забезпечення моніторингу прийнятих рішень, контроль за виконанням та післяпроектний аналіз.

В основу загального підходу з дослідження природно-техногенних об'єктів щодо ОЕЕ покладені такі положення досягнення необхідного рівня ефективності безпеки:

– розробка і запровадження дієвого інформаційного забезпечення осіб, які приймають рішення, надання обґрунтованої інформації про можливі екологічні наслідки реалізації проекту для зменшення ступеня впливу наміченої діяльності на навколишнє середовище та забезпечення екологічної стійкості наміченого проекту;

– встановлення відповідності наміченої діяльності екологічним нормативно-правовим вимогам.

За критеріями екологічного оцінювання передбачена бальна оцінка, що надається експертами після отримання результатів із інформаційного забезпечення для проведення ОЕЕ за такою процедурою:

Ключові аспекти системи екологічного оцінювання	Бали*
Контекст	3
Нормативно-правова база	4
Практика використання	3
Вплив	3
Інституціональний потенціал	3–2

Для забезпечення реалізації цілей ОЕЕ за встановленими показниками та отримання необхідних екологічних цілей доцільно орієнтуватися на такі остаточні результати.

*Пропорційність.* Обсяг робіт з ЕО повинен відповідати вагомості впливу технічної і технологічної діяльності моніторингового об'єкту щодо на навколишнє середовище.

*Рівноправність.* Процес ЕО має бути відкритим, забезпечуючи рівноправну участь зацікавлених сторін.

---

\* Бали визначаються від 1 як незадовільна оцінка і до 5 як відміне оцінювання ситуації за обраними критеріями визначення безпеки.

*Ефективність.* Процес ЕО повинен здійснюватися ефективно з мінімальними витратами часу і ресурсів, необхідних для вирішення поставлених завдань із встановлення рівня безпеки дослідженої діяльності.

*Результативність.* Процес ЕО повинен відповідати встановленим вимогам та завданням, що узгоджені із загальноприйнятими міжнародними принципами.

Визначення екологічної оцінки передбачає застосування слова «еко» на товарах та продукції обраного об'єкта ОЕЕ. Численне використання на виробах такого позначення не має реальних підстав для довіри відповідно до прийнятої з 2014 року Угоди про Асоціацію між Україною та Європейським Союзом. За Угодою обов'язкова сертифікація в Україні відмінена, а добровільна екологічна сертифікація повинна проводитися лише громадськими організаціями, без участі державних органів і бізнесових структур, щоб унеможливити корупцію та комерціалізацію цієї сфери. Зокрема за статтею 58 «Маркування та етикетування» глави 3 Угоди передбачено, що без шкоди для статей 56 та 57 цієї Угоди стосовно технічних регламентів щодо вимог етикетування або маркування Сторони підтверджують принципи статті 2(2) Угоди ТБТ СОТ із усунення зайвих перешкод у міжнародній торгівлі. Згідно ч. 2 ст. 58 щодо обов'язкового маркування чи етикетування товарів Сторони домовились про таке:

1) намагатися звести до мінімуму вимоги щодо маркування чи етикетування, крім тих, які вимагаються для адаптації *acquis* ЄС у цій сфері та маркування чи етикетування з метою захисту здоров'я, безпеки НС або для інших важливих потреб державної політики;

2) Сторона визначає форму етикетування або маркування, але не вимагає затвердження, реєстрації або сертифікації етикеток;

3) Сторони зберігають за собою право вимагати, щоб інформація на етикетці або марках була зазначена певною мовою.

Згідно Основних засад (стратегії) державної екологічної політики України на період до 2030 року, затверджених Законом України від 28 лютого 2019 року №2697-VIII, екологічне маркування визначено одним з основних інструментів реалізації національної екологічної політики. Зокрема, стимулювання впровадження систем екологічного управління на підприємствах одночасно з поліпшенням екологічних характеристик продукції, у тому числі на основі міжнародних систем сертифікації і маркування, розвиток добровільної екологічної сертифікації, маркування продукції, є одними із завдань Цілей 2 та 3 державної екологічної політики.

**1.1.2** Поняття «*екологічне маркування*» (en - environmental label) визначено згідно ДСТУ ISO 14020:2003 Екологічні маркування та декларації – Загальні принципи (ISO 14020:2000, IDT) як *екологічна декларація* (en - environmental declaration) – твердження, в якому зазначено екологічні аспекти певної продукції чи послуги<sup>1</sup>.

Екологічне маркування чи декларація подаються у вигляді формулювання, символу чи зображення на етикетці продукції або пакування, в документації на продукцію, в технічних бюлетенях, в рекламних матеріалах тощо. Екологічне маркування має відповідати таким властивостям:

- бути точним, перевірятися, відповідати призначенню та мати точну інформацію для споживача;
- не створювати необґрунтовані бар'єри у міжнародній торгівлі;
- ґрунтуватися на науковій методології для підтвердження використання точних і перевірених даних;
- визначати переваги для певної продуктової групи;
- підтверджувати не відповідність державним нормам за умови не дублювати функції органів державного нагляду (контролю), а визначати відповідність екологічним критеріям або конкретним характеристикам, ґрунтуючись на вимогах добровільних стандартів.

Відповідно до положень Міжнародної організації зі стандартизації ISO екологічне маркування поділяють на два основні типи.

*Тип I екологічного маркування* передбачає отримання права на застосування екомаркування у разі, якщо продукція пройшла екологічну сертифікацію. Ця сертифікація здійснюється органом з екологічного маркування на відповідність екологічним критеріям, що встановлюються для кожної продуктової групи – окремо.

Екологічне маркування I типу складається з окремих чи об'єднаних елементів відповідно до екологічного критерію у формі тверджень, які вказують на перевагу чи характеристику продукції і графічного зображення – знаку екологічного маркування. Приклади знаків екологічного маркування, що належать регіональним та національним програмам I типу, визнаним на міжнародному рівні надані на рисунку 1.1.

Міжнародна асоціація, яка об'єднує регіональні та національні програми екологічного маркування I типу – Global Ecolabelling Network,

---

<sup>1</sup> Екологічне маркування у полі зору державного регулювання. 13.01.2022. URL: <https://ecolog-ua.com/news/ekologichne-markuvannya-u-poli-zoru-derzhavnogo-regulyuvannya>

GEN, здійснює процедуру сертифікації для підтвердження компетентності і міжнародного визнання за програмами екологічного маркування I типу – GENICES. GEN забезпечує розроблення та впровадження базових екологічних критеріїв для програм екологічного маркування I типу.

Такий підхід дозволяє забезпечити гармонізацію вимог до продукції між регіональними та національними програмами, які їх застосовують, а також взаємне визнання результатів оцінювання між органами з екологічного маркування, що в свою чергу, посилює потенціал експортерів-користувачів екологічного маркування згідно із ISO 14024.

		
<p>ЄС – <u>Європейська комісія</u></p>	<p>Країни Північної Європи – Швеція, Норвегія, Данія, Фінляндія, Нідерланди, <u>Північний орган екологічного маркування</u></p>	<p>Україна <u>Центр екологічної сертифікації та маркування ВГО «Жива планета»</u></p>
		
<p>США — <u>НПО «Зелена печатка»</u></p>	<p>Німеччина – <u>Федеральне агентство з навколишнього середовища Німеччини</u></p>	<p>Китай – <u>Китайський об'єднаний екологічний сертифікаційний центр</u></p>

Рисунок 1.1 – Приклади екологічного маркування продукції в країнах світу

Другий тип II екологічного маркування (самодекларації) визначає маркування з конкретної екологічної характеристики продукції. Основні принципи застосування екологічного маркування II типу надані у положеннях стандарту ISO 14021.

Прикладом екологічного маркування II типу є такі декларації: «вміст повторно переробленого матеріалу», «придатний для повторного перероблення», «придатний для компостування», «розбірна конструкція» тощо, і спеціальні знаки, що визначені міжнародним стандартом ISO 7000.

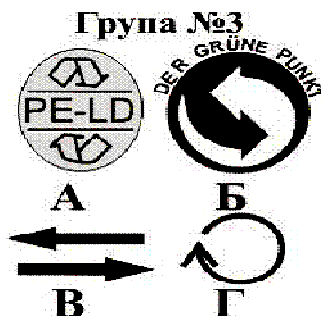
Знаки вторинної переробки надають інформацію стосовно можливої переробки продукту та упаковки. Отримання цього маркування не

пов'язано з стандартизацією і сертифікацією та не контролюється відповідними державними організаціями (рис. 1.2).

			
<p>«Петля Мебіуса»</p>	<p>“Recycle – for a better tomorrow” (Переробка – задля кращого майбутнього)</p>	<p>“Keep your country tidy” («Тримай свою країну в чистоті!») – здавати використані вироби на повторну переробку і викидати їх у роздільні сміттєві баки для паперу, скла, пластику, ганчір'я.</p>	<p>«Переробка пластику» ставиться на пластикових виробках, які можуть бути промислово-перероблені. Цифра всередині знаку вказує на тип пластмаси для спрощення сортування. Під знаком ставлять буквенний код пластику.</p>

Рисунок 1.2 – Знаки вторинної переробки 1 і 2 групи

Продукція, що може бути використана повторно і приймається в спеціалізованих пунктах, а також пакунки, які виготовлені з перероблених матеріалів, позначаються знаками маркування вторинної переробки, що становлять групу №3 і мають гарантію на території ЄС (рис. 1.3).



А – продукція може повторно використовуватись чи зроблена з вторинних ресурсів; Б – «Зелена точка» – німецький знак, який дає гарантію, що пакунок буде прийнятий у пункті вторинної переробки; В – пакунки багаторазового використання; Г – пакунки, виготовлені з вторинних матеріалів

Рисунок 1.3 – Знаки маркування вторинної переробки групи 3

На національну рівні реєстр сертифікованої продукції, товарів у розрізі інформації щодо виробника продукції, нормативної документації (НД) на відповідність продукції сертифікована згідно ДСТУ ISO 14024. Отже, споживач має можливість перевірити сертифікацію продукції чи товару на національному і на міжнародному рівні.

Порушення гарантій необхідної якості продукції, нормативних вимог до виробів технічного призначення визначаються положеннями Закону України «Про захист від недобросовісної конкуренції», які стосуються надання такої неповної, неточної або неправдивої інформації щодо:

- походження товару, виробника, продавця, технології виготовлення, способу придбання, реалізації, споживчих властивостей, якості, комплектності, придатності до застосування, стандарту, характеристик, особливостей реалізації товарів, робіт, послуг, ціни і знижки на них;
- фінансового стану та господарської діяльності суб'єкта господарювання; припису йому повноважень, прав або відносин, які відсутні;
- обсягів виробництва, придбання, продажу чи поставки товарів, виконання робіт, надання послуг, які фактично не реалізуються.

Таким чином, система екологічного маркування визначає відповідальність за стан інформаційного середовища щодо виробництва і реалізації продукції чи послуг підприємствами соціально-економічної сфери, являє собою врегульований і відкритий простір суспільних відносин.

Проект Закону про внесення змін до деяких законів України щодо регулювання застосування екологічних маркувань і декларацій був зареєстрований як № 6446 від 17.12.2021. Альтернативний проект Закону про внесення змін до деяких законів України щодо регулювання екологічного маркування в Україні визначено як № 6446-1 від 04.01.2022.

Українська система добровільного екологічного маркування товарів та послуг згідно ДСТУ ISO 14024:2002 розроблена і запроваджена Всеукраїнською громадською організацією «Жива планета» у 2003 році в рамках реалізації проекту «Розвиток сталого (збалансованого) виробництва та споживання в Україні» у партнерстві з Комітетом Верховної Ради України з питань екологічної політики, природокористування та ліквідації наслідків Чорнобильської катастрофи та Міністерства екології та природних ресурсів України. Система екологічного маркування за знаком органу сертифікації «Живої планети» отримала назву «Зелений журавлик».

Відповідність ISO 14024 дозволяє уніфікувати та гармонізувати підходи регіональних та національних екологічних сертифікаційних сис-

тем, що діють у 60 країнах світу, в тому числі в країнах-членах ЄС, які об'єднані в міжнародну асоціацію – Глобальну мережу екологічного маркування, включаючи український орган екологічної сертифікації.

Це означає визнання результатів оцінювання екологічних переваг продукції і права на застосування екологічного маркування для українських товаровиробників – власників екологічних сертифікатів, на європейському та міжнародному рівнях, що посилює їх потенціал конкурентоспроможності та усуває ринкові бар'єри. У наслідок забруднення, виснаження, пошкодження, руйнування, ірраціонального використання природних ресурсів, деградації і руйнування природних екологічних систем, природних комплексів та природних пейзажів, завдання небезпечного техногенного впливу навколишньому середовищу підлягають відповідальності згідно з законом «Про охорону навколишнього середовища» юридичні особи, фізичні особи та індивідуальні підприємці, які повинні повністю відшкодувати завдані шкода ПНС.

Відповідно до податкових ставок та прийнятих методологій проводиться обчислення суми шкоди навколишньому середовищу, схваленої в установленому порядку на основі фактичних витрат з відновлення початкового стану навколишнього середовища, зважаючи на збитки, які були понесені, у тому числі й упущену вигоду.

Контроль і моніторинг забруднення та поводження з відходами в країнах Європейського союзу відбувається згідно з діючими директивами:

- Директива 91/271/ЄЕС Ради Європейських Співтовариств про очищення міських стічних вод від 21.05.1991 р.;
- Директива 94/62/ЄС Європейського Парламенту та Ради ЄС про упаковку та відходи від упаковки від 20.12.1994 р.;
- Директива 96/61/ЄС Ради ЄС про комплексне запобігання та контроль забруднень від 24.09.1996 р.; замінена Директивою 2008/1/ЄС Європейського парламенту та Ради ЄС про комплексне запобігання та контроль забруднень від 15.01.2008 р. (обидві зазвичай є Директива IPPC); у даний час діє Директива 2010/75/ЄУ Європейського парламенту та Ради ЄС про промислові викиди (IED) від 24.11.2010 р.;
- Директива 1999/31/ЄС Ради ЄС щодо полігонів поховання відходів від 26.04.1999 р.;
- Директива 2002/95/ЄС Європейського Парламенту та Ради ЄС про обмеження використання деяких небезпечних речовин в електричному та електронному обладнанні (RoHS) від 27.01.2003 р.;

- Директива 2002/96/ЄС з відходів електричного та електронного обладнання (WEEE), у даній час діє Директива 2012/19/ЄУ Європейського парламенту та Ради ЄС про відходи електричного та електронного обладнання від 04.07.2012 р.;

- Директива 2006/66/ЄС Європейського Парламенту та Ради ЄС про батареї та акумулятори та про відходи батарей та акумуляторів від 06.09.2006 р.;

- Директива 2008/98/ЄС Європейського парламенту та Ради ЄС про відходи від 19.11.2008 р. [1].

Виконання директив підтримується міжнародними та національними стандартами різних держав, які за змістом умовно поділяються на три групи, що стосуються:

- 1) природних комплексів, флори та фауни;
- 2) якості довкілля та допустимих впливів;
- 3) правління екологічною ситуацією.

В основу стандарту ISO 14001 закладено методологію, засновану на принципі Демінга-Шухарта «Плануй – Роби – Перевірай – Дій» (PLAN, Do, Check and Act) (PDCA) (рис. 1.4).

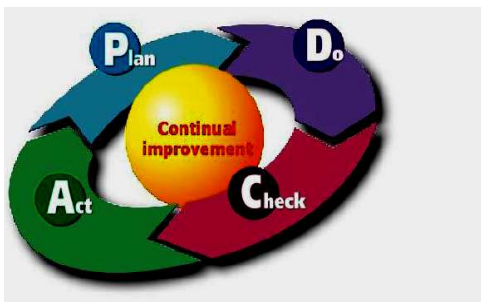


Рисунок 1.4 – Методологія PDCA (цикл Демінга-Шухарта)

Модель із чотирьох дійових складових.

1. Плануй (Plan): розробка екологічних цілей та процесів, необхідних для отримання результатів, що відповідають екологічній політиці організації.

2. Роби (Do): використання процесів, як заплановано.

3. Перевірай (Check): проведення моніторингу та вимірювання процесів щодо реалізації екологічної політики, включаючи зобов'язання, що стосуються екологічних цілей і критеріїв ЕОО, звіту про результати.

4. Дій (Act): виконання дій щодо постійного поліпшення».

Підходи, запропоновані стандартом ISO 14001, тісно пов'язані з методологією PDCA і дозволяють зрозуміти важливість системних заходів під час реалізації екологічного управління (рис. 1.5).

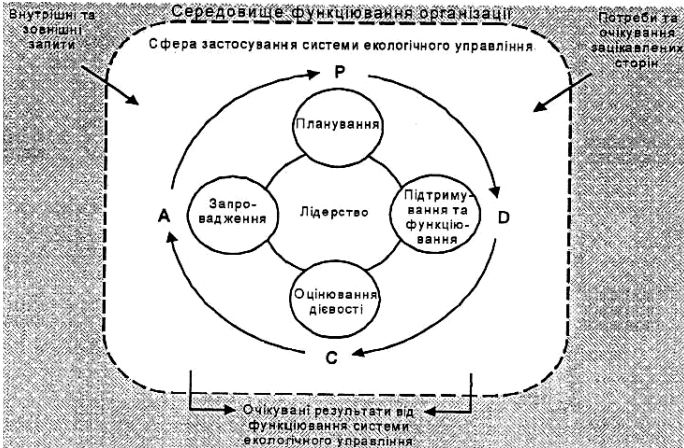


Рисунок 1.5 – Зв'язок між моделлю PDCA і структурою стандарту ISO 14001

Для забезпечення екологічної безпеки на підприємствах щодо проведення процесів виробництва чи здійснення будь-якої діяльності необхідно мати такі складові основної бази даних:

- оцінку ризиків, пов'язаних з процесами у межах певних технологій виробництва;
- головну інформацію та результати оцінювання, аналізу інформації, на основі якої будуються стратегічні рішення;
- оцінку наслідків прийнятих змін, у тому числі організаційних, щодо реалізації рішення у ситуаціях, які вийшли з-під контролю;
- інформацію про ефективне керування безпекою процесів у ситуаціях, що вийшли з-під контролю.

Наприкінці 2019 року *ASIS International*, найбільша в світі асоціація професіоналів в галузі управління безпекою, опублікувала глобальну директиву (керівництво) з корпоративного управління ризиками безпеки, в якій вперше надані системні пояснення цього стратегічного підходу і у який спосіб його можливо реалізувати в сфері управління ризиками бізнесу. *Корпоративне управління ризиками безпеки*

(англ. «Enterprise Security Risk Management», або ESRM) – це стратегічний підхід до комплексного управління безпекою підприємства, що пов’язує існуючу практику безпеки підприємства з його загальною стратегією розвитку, а також використовує загальноприйняті принципи управління ризиками безпеки бізнесу відповідно до глобальних стандартів безпеки [3].

Суть ESRM і ризик-орієнтованого підходу до безпеки полягає в тому, що професіонали з безпеки і власники активів підприємства повинні приймати остаточні рішення щодо стратегічного забезпечення безпеки. Метою ESRM є виявлення, оцінка та пом’якшення ймовірності або впливу ризиків безпеки на організацію з пріоритетною увагою до заходів захисту і протидії небезпеці при реалізації бізнесу.

Практика ESRM створює функціональні передумови для якісного партнерства між підрозділом безпеки компанії та тими стейкхолдерами, які володіють ризиковими активами компанії, використовуючи так званий *життєвий цикл управління ризиками*.

Для досягнення стратегічної мети безпеки слід орієнтуватися на такі базові **принципи** ESRM:

1) врахування повного спектру сукупних ризиків у всій організації і всіх доменів (видів) корпоративної безпеки;

2) партнерство між професіоналами в галузі безпеки та власниками активів;

3) адаптування до системи безпеки будь-яких типів організацій та підприємств: державних, приватних, некомерційних тощо.

Для забезпечення ESRM як цілісного процесу у системі оцінки ризиків безпеки бізнесу виділяють два базові аспекти ESRM: *партнерство* та *інклюзивність*.

У контексті *партнерства* ESRM визначають відповідальність за безпеку бізнесу професіоналів з безпеки бізнесу та керівників бізнесу. Важливим аспектом партнерства є питання управління вражливостями безпеки корпоративних активів особливо щодо прийняття рішень.

Програма з *інклюзивності* ESRM охоплює всі комплексні аспекти практики зниження ризиків безпеки для запобігання впливу негативних факторів та чинників вразливості.

Ризик-орієнтований підхід до управління програмами безпеки заснований на ідеї, що бізнес не може бути на сто відсотків безпечним. Саме завдання цього підходу становлять суть комплексної програми

життєвого циклу ESRM – забезпечення організації захистом від шкоди або втрат активів, що пов’язані зі складнощами виробництва (рис. 1.6) [3].

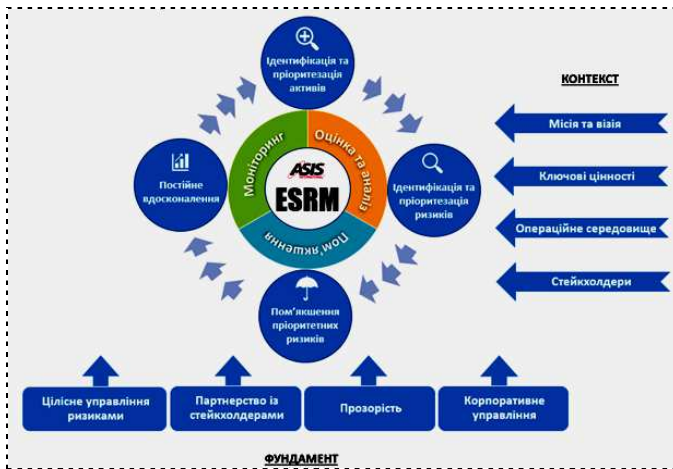


Рисунок 1.6 – Корпоративне управління безпекою процесів на підприємстві, життєвий цикл ESRM

**Фундамент** життєвого циклу ESRM заснований на чотирьох основних принципах:

- 1) цілісного управління ризиками;
- 2) партнерства зі стейкхолдерами та зацікавленими сторонами;
- 3) прозорості і транспарентності;
- 4) корпоративного управління.

Таким чином, система ESRM має за основу покращити комплексну програму безпеки підприємства, поєднуючи наявні ресурси безпеки з організаційною стратегією управління ризиками.

**1.1.3 Система HSE/EHS-менеджмент** – управління в галузі охорони праці, промислової безпеки та охорони навколишнього середовища, становить систему управління здоров'ям (Health), системи безпекою (Safety) та довкіллям (Environment), що визначає поняття безпеки внаслідок виробничої діяльності (рис. 1.7).

Корпоративна система управління HSE відповідає міжнародним стандартам ISO-14001 – Система екологічного менеджменту та OHSAS 18001 – Система професійної безпеки та охорони здоров'я. Прикладом є система HSE-менеджменту в Компанії (рис. 1.8).



Рисунок 1.7 – Основні елементи системи HSE/EHS-менеджменту



Рисунок 1.8 – Елементи управління промисловою безпекою, охороною праці та охороною навколишнього середовища

Основними принципами управління промисловою безпекою є такі цільові дії та заходи:

- 1) управління безпекою виробництва, зниження ризику для життя та здоров'я людей та впливу на навколишнє середовище;
- 2) створення та впровадження системи управління промисловою безпекою (ПБ), охороною праці (ОП) та охороною навколишнього

середовища (ОНС) за участю всіх працівників Компанії, підрядних, субпідрядних та інших третіх сторін;

3) створення екологічно безпечних умов праці та технологій охорони навколишнього середовища.

Система управління процесами, що становлять впливи на навколишнє середовище, заснована на таких складових чинних вимогах:

1) нормативи викидів, скидів забруднюючих речовин, поводження з відходами виробництва та споживання;

2) ідентифікація небезпеки відходів;

3) результати державної екологічної експертизи;

4) оцінка негативного впливу діяльності на НС;

5) звіти з екологічного моніторингу та виробничого контролю;

6) ідентифікація екологічних аспектів;

7) норми споживання енергоресурсів та витрат матеріалів;

8) вимоги технічної безпеки до експлуатації обладнання.

Методологія оцінки екологічної стійкості становить «процес, за допомогою якого оцінюються наслідки ініціативи зі стійкості, де ініціатива може бути запропонованою чи існуючою політикою, планом, програмою, проектом, законодавчим актом чи поточною практикою чи діяльністю» [4].

Захист навколишнього середовища у темі досліджень сталого розвитку та більшість термінів, пов'язаних із стійкістю, мають головним чином екологічний аспект.

Екологічна стійкість розглядається як «ситуація, у якій життєво важливі функції довкілля сприяють захисту майбутніх поколінь».

Більшість доступних методів оцінки стійкості орієнтовані на національний та/або місцевий рівень, значно меншої уваги приділяється стійкості розвитку на промисловому рівні [5].

Відповідно до пропозицій Організації економічного співробітництва та розвитку (ОЕСР) виділяють 48 методів з класифікації існуючих наборів індикаторів сталого розвитку [6].

Методи, призначені для оцінки екологічної стійкості галузей промисловості на рівні підприємств, об'єктів, процесів та продуктів. Вони групуються у 6 категорій та дозволяють виявляти індивідуальні індикатори чи набори індикаторів; складові індекси; Індекси соціальних інвестицій. Завдяки цим критеріям стійкості запроваджені в систему екологічного менеджменту й аудиту на промислових підприємств-

вах і організаціях аналіз матеріальних та енергетичних потоків, аналіз життєвого циклу продукту і послуги, екологічний облік (табл. 1.1) [6].

Таблиця 1.1 – Методи оцінки екологічної стійкості підприємств

Назва груп індикаторів	Зміст індикатору	Абревіатура
<b>I Індикатори чи набори індикаторів (Individual/Set of Indicators)</b>		
1. Sustainable Development Progress Metrics	Показники прогресу стійкого розвитку з хімічної інженерії	IChemE
2. Indicators of Sustainable Development for Industry	Показники стійкого розвитку промисловості	ISDI
3. Indicators of Sustainable Production	Показники стійкого виробництва	ISP
4. Sustainability Assessment Framework for Industry	Структура оцінки для галузі	SAFI
5. Sustainability Reporting Guidelines	Керівництво зі звітності щодо сталого розвитку	GRI
6. Wuppertal Sustainability Indicators	Показники стійкого розвитку Вупперталя	WSI
<b>II Складові індикатори (Composite Indices)</b>		
7. American Institute of Chemical Engineers Sustainability Index	Індеес стійкості Американського інституту інженерів хіміків	AIChE SI
8. BASF method	Метод компанії BASF	BASF
9. Compass Index of Sustainability	Індекс стійкості «Компас»	COMPASS
10. Compliment Index	Індекс «Комплімент»	COMPLIMENT
11. Composite Sustainability Performance Ind	Складовий індекс стійкості	CSPI
12. Composite Sustainable Development Index	Складовий індекс стійкого розвитку	ICSD
13. Index of Sustainable Performance	Індекс стійкої ефективності	SP Index
14. Life Cycle iNdeX	Індекс життєвого циклу	LInX
15. Organizational Sustainability Performance Index	Індекс організаційної стійкості	OSPI
16. Quantitative Assessment of Sustainability Indices	Кількісна оцінка показників стійкості	QASI
17. Sustainable Environmental Performance Index	Індекс стійкості екологічних показників	SEPI
18. Swesh Plot		SWESH
<b>III Індекси соціальних інвестицій (Socially Responsible Investment Indices)</b>		
19. Dow Jones Sustainability Index	Індекси стійкості Доу-Джонса	DJSI
20. FTSE4 Good Index		FTSE
21. Oekom Corporate Rating	Рейтинг компанії Oekom Research AG	OEKOM
<b>IV Аналіз матеріальних і енергетичних потоків (Material and Energy Flow Analysis – MEFA)</b>		
22. Ecological Footprint	Екологічний слід	EF

Кінець таблиці 1.1

Назва груп індикаторів	Зміст індикатору	Абревіатура
<b>23. Material Input per Unit of Service and Ecological Rucksack</b>	<b>Введення матеріалу на одиницю послуг та екологічний рюкзак</b>	<b>MIPS</b>
24. Substance Flow Analysis	Аналіз потоку речовини	SFA
25. Sustainable Process Index	Індекс сталого розвитку	SPI
26. Water Footprint	Водний слід	WF
27. Cumulative Energy Demand	Кумулятивний попит на енергію	CED
28. Embodied Energy	Енергоспоживання	EE
29. Emergy Analysis	Емергу-аналіз	EA
30. Exergy Analysis	Аналіз ексергії	EXA
<b>V Аналіз життєвого циклу (Life Cycles Analysis – LCA)</b>		
31. Bridges to Sustainability Framework	Мости до сталого структури	BRIDGES
32. Carbon Footprint	Вуглецевий слід	CF
33. Ecosystem Damage Potential	Потенційна шкода екосистемі	EDP
34. Life Cycle Sustainability Dashboard	Панель керування життєвим циклом продукту	LCSD
35. Uniform System for the Evaluation of Substance	Єдина система оцінки речовини	USES-LCA
36. CML 2001		CML
37. Eco-indicator 99		EI99
38. EDIP 2003		EDIP 2003
39. Environmental priority strategies in product development	Стратегія пріоритету охорони навколишнього природного середовища при розробці продуктів	EPS 2000
40. IMPact Assessment of Chemical Toxic;	Оцінка впливу хімічної токсичності	IMPACT2002+
41. LIME		LIME
42. ReCiPe		ReCiPe
43. The Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other environmental Impacts	Інструмент для зменшення та оцінки хімічних та інших впливів на навколишнє середовище	TRACI
<b>VI Екологічний облік (Environmental Accounting)</b>		
44. Cost-Benefit Analysis	Аналіз ефективності витрат	CBA
45. Contingent Valuation Method	Метод умовної оцінки	CVM
46. Environmental Management Accounting	Екологічний управлінський облік	EMA
47. Material Flow Cost Accounting	Врахування вартості матеріальних потоків	MFCA
48. Total Cost Assessment	Загальна оцінка витрат	TCA

Для переліку індикаторів сталого розвитку (табл. 1.1) надані характеристики показників стійкості з метою визначення умов їх використання для оцінки рівнів екологічності об'єктів дослідження.

**Категорія 1 «Індикатори та набори індикаторів»** поєднує методи, які дозволяють визначати один або кілька індикаторів для оцінки різних аспектів екологічної стійкості [6]. Ці індикатори відомі як основні показники ефективності (Key Performance Indicators (KPI)), якщо вони вибрані на основі визначених організаційних цілей і використовуються для оцінки прогресу щодо ключових аспектів дослідженої галузі. Ці методи були розроблені для оцінки більш ніж одного аспекту стійкості, включаючи екологічну стійкість, в основному всередині однієї галузі. Однак у багатьох випадках індикатори, що визначаються, використовуються для передачі інформації про екологічну стійкість зацікавленим сторонам з метою складання відповідних звітів. Показники екоефективності, які відображають співвідношення між екологічною та фінансовою складовою, встановлюються додатково в іншій категорії методів [7].

1 *Метод IChemE* (показники прогресу сталого розвитку) – вимірювання ефективної сталості промислових об'єктів у різних масштабах. У методі враховується концепція потрібного критерію та пропонується використання набору різних показників. Крім екологічних аспектів оцінюються додатково економічні та соціальні аспекти розвитку. Стосовно екологічної стійкості в цьому методі задіяні 24 показники, включаючи оцінку заходів щодо мінімізації потенційного негативного впливу викидів, стоків і відходів [7]–[8].

2 *Метод ISDI* (показники сталого розвитку промисловості) – загальна структура визначення екологічної стійкості діяльності промислових виробництв за набором показників. Метод передбачає модульний підхід – поетапний розгляд екологічних, економічних і соціальних аспектів стійкості, припускаючи таким чином поступове впровадження їх в структуру підприємства. Оцінка екологічної стійкості проводиться за 14-ма кількісними та 4-ма якісними індикаторами, які поділяються на три категорії: *вплив на навколишнє середовище, ефективність захисту навколишнього середовища; добровільні заходи*. Метод *ISDI* враховує повний життєвий цикл використовуваних матеріалів і енергії. Ці показники прийнятні для ОЕЕ для більшості галузей промисловості, передбачає запровадження додаткових типових характеристик виробництв певної технології [8].

3 *Метод ISP* (показники сталого виробництва) – нова методологія виміру прогресу на шляху до стійких систем виробництва на основі системи індикаторів Лоуелл-центру, заснована на концепції сталого виробництва, розробленої Центром сталого виробництва за 22-ма основними

показниками (Массачусетський університет, Лоуелл) [9]. Модель реалізації методу передбачає вісім етапів визначення індикаторів екологічної стійкості за 11 показниками, розділеними на три категорії: енергія та матеріали, природне середовище, продукти. У методиці надано опис сильних та слабких сторін методу, рекомендації для вибору додаткових індикаторів, специфічних для конкретних виробництв, і рекомендації щодо тестування показників [9].

4 *Метод SAFI* (структура оцінки стійкості для галузей) – рекомендації щодо вибору критеріїв, які дозволять адекватно оцінити екологічну, економічну, соціальну стійкість галузі. Оцінка екологічної стійкості у цьому методі поділяється на 4 тематичні категорії: повітряні ресурси, водні ресурси, земельні ресурси, мінеральні та енергетичні ресурси. Взаємозв'язки різних критеріїв оцінки встановлено з урахуванням даних, отриманих від промислових підприємств [10].

5 *Метод GRI* (керівні принципи звітності у сфері сталого розвитку) – оцінка екологічної, економічної та соціальної стійкості різних галузей на основі набору керівних принципів і стандартів звітності з кількісних та якісних показників (пропозиція Global Reporting Initiative – некомерційної організації, що спеціалізується на звітності у сфері сталого розвитку). Метою методу *GRI* є підвищення якості та корисності звітів про сталий розвиток. Екологічна стійкість оцінюється за допомогою 17 основних і 13 додаткових показників. Залежно від кількості індикаторів і їх перевірки на співвідношення зовнішньої чи внутрішньої оцінки стійкості використовують шкалу від А+ до С [11].

6 *Метод WSI* (показники сталого розвитку Вупперталя) – визначення стійкості на національних і корпоративних рівнях взаємозв'язку за екологічними, економічними та соціальними показниками. Екологічними показниками за цим методом вважаються інтенсивність споживання ресурсів, інтенсивність транспортного потоку, економічна продуктивність використання ресурсів та ін. [12].

**Категорія 2 Складові індекси (Composite Indices)** визнається як потужний інструмент для розробки політики діяльності компаній і надання інформації стосовно ефективності поліпшення навколишнього середовища, економічного, соціального чи технологічного розвитку за методологією складових індексів, яка поєднує різні показники в підіндекс або один єдиний індекс для оцінки екологічної стійкості [7], [13]. Для отримання складового індексу потрібна реалізація процедур нормалізації,

зважування й агрегації. Більшість методів, включених до цієї категорії, застосовують для оцінки соціально-економічних аспектів стійкості за винятком методів *SEPI* і *ΣWESH*, які орієнтовані на екологічну стійкість.

7 *Метод AICHe SI* (індекс стійкості Американського інституту інженерів-хіміків) – оцінка стійкості підприємств в основному хімічної галузі за 7 загальними категоріями, включаючи екологічну стійкість. За відносними показниками визначається ефективність використання ресурсів, викиди парникових газів та управління відповідністю. Методологія розроблена з урахуванням понад 30 джерел відкритих даних. Кожна категорія оцінюється за шкалою від 1 до 7 шляхом порівняння ефективності галузі згідно з доступною інформацією практиків [14].

8 *Метод BASF* – визначення результатів діяльності конкретного виробництва відповідно до стану довкілля, здоров'я людини та екосистеми [15]. Для розробки портфеля витрат враховуються результати екологічної ефективності за життєвим циклом [16]. Оцінка впливу на довкілля проводиться за 5 ключовими аспектами: споживання сировини та енергії, викиди, потенціал токсичності, зловживання та потенційні ризики. Для оцінки потенційного впливу за такими категоріями, як критичні обсяги скидів у поверхневі води, середні витрати на видалення відходів, резервні фактори та інші, запроваджується низка унікальних методів оцінювання екологічної ефективності. Метод є основним для встановлення екологічної результативності в діяльності компанії BASF. Труднощі застосування цього методу полягають у зіставленні двох оцінок витрат або доданої вартості та впливу на навколишнє середовище [17].

9 *Метод COMPASS* (індекс стійкості «Компас») – класифікація та оцінка стійкості аналізованої галузі за 4-ма категоріями: природа, економіка, суспільство та добробут. Метод компанії AtKisson Group вперше реалізований у 2000 р. спочатку на регіональному рівні.

Для кожної з обраних 4 категорій надано низку індикаторів, які об'єднують у відповідні субіндекси. У разі екологічна стійкість відповідає субіндексу природи. Кожна категорія оцінюється за шкалою від 0 до 100, де 0 відповідає найгіршим умовам або системній нестійкості, а 100 визначає ідеальні/довгострокові стійкі умови. Результируючий індекс, як об'єднання субіндексів, розглядається в якості оцінки сумарної ефективності сталого розвитку системи [18].

10 *Метод COMPLIMENT* (індекс «Комплімент») – оцінювання екологічної стійкості за результатами всебічного аналізу екологічних по-

казників галузі на основі об'єднання результатів оцінки життєвого циклу, багатокритеріального аналізу даних стосовно екологічної ефективності. Обсяг даних для аналізу змінюється відповідно до завдань оцінки.

Основні етапи методу включають: вибір показників екологічної ефективності, пошук необхідних даних, класифікацію та характеристику їх застосування для оцінки впливу на життєвий цикл, отримання загального індексу за результатами багатокритеріального аналізу даних [19].

11 *Метод CSPI (складовий індекс стійкості)* – це визначення ключових показників стійкості галузей для отримання остаточного складового індексу. Оцінка проводиться за п'ятьма категоріями у такій логічній послідовності (основні етапи методу):

- ідентифікація та категоризацію індикаторів;
- вибір індикаторів з параметрів екологічної якості аналізованого об'єкта чи системи згідно з правилом відсікання;
- надання вихідних даних;
- зважування результатів оцінювання для прийняття рішень на основі методу аналітичної ієрархії;
- агрегування індикаторів за методами Z-score та Liberatore;
- оцінка складового індексу кожної категорії;
- визначення кінцевого індексу CSPI.

Метод впроваджений в екологічну безпеку сталеливарної промисловості, для інших галузей пропонується спрощена структура [20]. Недоліком методу є застосування методу аналітичних ієрархій, що збільшує суб'єктивність методу CSPI [6].

12 *Метод ICSD (складовий індекс сталого розвитку)* призначений для надання оцінки стійкості галузей промисловості відповідно до обчисленої величини індексу, що охоплює основні напрямки стійкості, включаючи екологічну стійкість. Розрахунок кількісного значення індексу включає такі основні етапи:

- 1) вибір показників стійкості, що мають відношення до екологічного оцінювання стійкості;
- 2) класифікація показників і віднесення їх до економічної, соціальної та екологічної категорії;
- 3) аналіз позитивного або негативного впливу виробництва (галузі та іншого техногенного об'єкта на навколишнє середовище;
- 4) нормалізація отриманих оцінок показників;

5) зважування результатів оцінювання стійкості з використанням методу аналітичних ієрархій;

б) оцінка підіндексів, агрегування їх в підіндекс ICSD.

Метод розроблений з метою отримання доступного кількісного вираження стійкості для інформування осіб, відповідальних за прийняття рішень щодо тенденцій, пов'язаних зі стійкістю розглянутої галузі [21].

13 *Метод ISP (індекс сталої ефективності)* – визначення економічної, екологічної стійкості на основі розрахунку двох індексів – *індексу економічних показників* та *показника екологічної ефективності*. Метод ґрунтується на розробці аналітичної блок-схеми за енергетичними показниками промислових систем. Вихідні дані для оцінки показника екологічної ефективності включають обсяги енергії невідновлюваних та відновлюваних ресурсів, що використовуються у промисловому процесі; відходів і ступінь рециркуляції на виробництві. Поєднання цих двох індексів є основою для встановлення індексу стійкої ефективності [6].

14 *Метод LInX (індекс життєвого циклу)* – нова методика індексування життєвого циклу, яка заснована на оцінці виробничого процесу та продукції, що дозволяє визначитися з прийняттям дієвих рішень [22]. Метод базується на оцінці життєвого циклу (LCA) процесу, розробки продукту в контексті екологічної стійкості з урахуванням недоліків її спрощеної структури методологічного інструменту для швидкої оцінки стійкості.

За методом передбачено надати оцінку за чотирма загальними категоріями: *довкілля, здоров'я та безпека; витрати; технології; соціально-політичні питання*. Кожній категорії присвоюються бали від 0 до 10, причому більш високі значення означають меншу ефективність. Для кожного параметра вага задається із застосуванням методу аналітичних ієрархій, далі бали сумуються з отриманням оцінного індексу [22].

15 *Метод OSPI (індекс організаційної стійкості)* – концепція стійкої збалансованої системи показників *Sustainable balanced scorecard* (SBSC) на основі врахування соціальних і екологічних проблем за класичним підходом [24]. Система показників SBSC складається з шести категорій оцінки, що охоплюють питання визначення ступеня екологічної стійкості промислових об'єктів. Кожен показник оцінюється за шкалою від 1 до 5, загальний середній бал відображає загальну оцінку для кожної категорії. Сума балів за категоріями дає загальний індекс ефективності.

16 *Метод QASI (кількісна оцінка показників стійкості)* – кількісна оцінка ряду нормованих індексів впливу на навколишнє середо-

вище, дозволяє отримати оцінку стійкості альтернативних процесів [25]. Екологічний аспект *оцінки показників стійкості* визначається на основі отриманих кількісних оцінок шістнадцяти відносних показників, що стосуються викидів в атмосферу, води, ґрунту та споживання ресурсів. Алгоритм методу QASI включає такі 4 основні етапи [25]:

1) вибір загальних еталонних критеріїв для визначення альтернатив процесу;

2) визначення якісних показників;

3) нормалізація показників;

4) агрегування показників у кінцевий індекс стійкості.

Показники цього методу включають сумісні з ними характеристичні параметри ранніх етапів проектування процесу [25]. Це робить метод ефективним для аналізу стійкості при проектуванні виробництва.

17 *Метод SEPI (індекс стійкості екологічних показників)* – графічне уявлення про екологічну стійкість; карти стратегії екологічної ефективності, а саме Environmental Performance Strategy Map (EPSM) [26]. За ідею методу взяте положення, що кожен елемент конкретного виробництва несе певне екологічне навантаження і залишає екологічний слід. До складу EPSM включено 5 підіндексів: вуглецевий слід, водний слід, енергетичний слід, емісійний слід та робоче середовище. Результати для кожного сліду нормалізуються за шкалою від 0 до 100 [26].

Отримані підіндекси є показниками екологічної ефективності (environmental performance points (EPP)). При аналізі екологічного стану процесів створення кінцевого продукту розглядають кожен оцінюваний елемент щодо його внеску в загальне екологічне навантаження. За отриманими результатами моніторингу виробничого процесу проводиться нормалізація та оцінка показників екологічної ефективності (EPP). Сума EPP до і після технологічного процесу, ідентифікованих за «слідами», є основою для створення карти стратегії екологічної ефективності.

Отже, такий підхід врахування всіх змін протягом часу отримання продукту дозволяє побудувати карту виробничого процесу. При поєднанні EPSM та показників витрат визначають єдиний індекс стійкості [26].

18 *Метод  $\Sigma WESH$  ( $\Sigma wesh$  графік)* – матричне уявлення про потенціал впливу на навколишнє середовище, що враховує відомі коефіцієнти використання і клас безпеки кожного матеріалу та способу його отримання [27]. Метод включає 4 рівні для оцінки екологічної стійкості промислового об'єкта:

- *рівень небезпеки*: матричний графік залежності утилізації матеріалів від їхньої небезпеки;
- *рівень складності*: матричний графік ефективності використання матеріалів у порівнянні з дефіцитом матеріалу;
- *рівень води*: графік залежності ефективності використання води від обсягу заощадженої води;
- *рівень енергії*: графік залежності енергетичної ефективності від кількості зекономленої енергії.

Кожен компонент окремого рівня оцінюється за 24 відносними показниками. Система кількісного підрахунку використовує шкали 0 – 100 балів, де вищі значення відповідають вищій ефективності. Це дозволяє порівнювати результати оцінки екологічної стійкості як між рівнями, так і між будь-якими виробничими процесами і підприємствами [27].

**Категорія 3 Індeksi соціальних інвестицій** поєднує методи встановлення індєксів для оцінки показників стійкості потенційних клієнтів на корпоративному рівні. Ці методи основному використовуються зовнішніми зацікавленими сторонами, наприклад, банками та фондовими біржами [7]. Результати оцінки надають як списки ранжирування з додатковим врахуванням соціально-економічних аспектів стійкості, що має місце і в складових індєксах стійкості (категорія 2). Кожна галузь орієнтується на ті методи, які потенційно застосовані для оцінки їхньої екологічної стійкості з урахуванням регіональних та національних особливостей.

19 *Метод DJSI (індекси стійкості Доу-Джонса)* – виявлення провідних галузей промисловості за стійкістю з питань корпоративного управління, управління ризиками, брендингу, пом’якшення наслідків зміни клімату, ланцюгів поставок та робочої практики на аналізі корпоративних економічних, екологічних та соціальних показників [28].

Метод включає один головний *глобальний індєкс DJSI World* та індєкси, розроблені для врахування особливостей географічних регіонів, як Європа, Північна і Південна Америка і Азійсько-Тихоокеанський регіон. В оцінку індєксу включені загальні та галузеві критерії стійкості для кожного із секторів, що визначаються відповідно до індєксу галузевої класифікації *Industry Classification Benchmark (ICB)*. Основним джерелом інформації для оцінювання є запитальник щодо стійкого управління активами – *Sustainable Asset Management (SAM)*, який заповнюється зацікавленими галузями. Оцінка проводиться за 6–10 критеріями, кожен критерій складається з 2–10 питань [28]. Стійкий розвиток виробництва на корпо-

ративному рівні оцінюється для кожного питання і критерію за шкалою від 0 до 100, результати сумують для отримання результуючого індексу.

20 *Метод FTSE (індекс FTSE4Good)* – вимірювання ефективності галузей, що відповідають загально визнаним стандартам корпоративної відповідальності. Він розроблений групою FTSE в 2001 р. для виявлення галузей з винятковою екологічною ефективністю [29].

Метод передбачає встановлення стійкості компаній кожного виду галузі за критеріями відбору, які включають в індекс. До екологічних критеріїв відносяться показники з управління навколишнім середовищем і зміною клімату. Цю методiku запроваджено для оцінки стійкості галузей, що належать до секторів ядерної зброї, атомної і вугільної енергетики, переробки урану, виробництва тютюну. Серія *індексів FTSE4Good* призначена для оцінки ефективності компаній, що демонструють сильну екологічну, соціальну та управлінську політику. Прозоре управління та чітко визначені критерії політики компанії забезпечують високі *індекси FTSE4Good*, які використовуються широким колом учасників ринку при створенні або оцінці стійких інвестиційних продуктів [29].

21 *Метод ISS-oekom Corporate Ratings* – оцінка та ранжування галузей на національному корпоративному рівні відповідно до їх екологічної, соціальної та управлінської стійкості та ефективності (ОЕКОМ research AG) [30]. Для всебічного аналізу різних аспектів діяльності компаній ISS-oekom розробив близько 700 показників. Кожна компанія аналізується в середньому за 100 показниками, обраними відповідно до специфіки її галузі. Критерії зважуються і агрегуються, остаточний результат дається за шкалою від А + (виключні показники стійкості) до D – (погані показники стійкості) [30]. Компаніям, які за корпоративним рейтингом ОЕКОМ входять до числа лідерів у своїй галузі та відповідають галузевим мінімальним вимогам, надають Prime Status [30].

**Категорія 4 Аналіз матеріальних та енергетичних потоків** включає такі методи, які призначені для оцінки екологічної стійкості на основі даних кількісної оцінки матеріалів і/або енергетичних потоків досліджуваних промислових систем:

- методи аналізу матеріальних потоків (*MFA*);
- методи аналізу енергетичних потоків (*EFA*).

Методи аналізу матеріального потоку базуються на концепціях балансу матеріалів та енергії. Методи *MFA* є предметом наукового інтересу, що призвело до розробки різних методологічних підходів [31].

Метод *MFA* – це метод аналізу та оцінки стійкості соціально-економічного розвитку та змін навколишнього середовища, що запроваджений як ефективний метод прийняття рішень підвищення ефективності матеріального потоку. Результати оцінки є наочними, порівнянними для перевірки завдяки подання аналітичних даних у вигляді блок-схем або таблиць обліку за такою послідовністю:

- надання систематичної інформації та індикаторів для оцінки стійкості розвитку;
- оцінка критичних шляхів, зв'язків і речовин в антропосфері;
- аналіз динамічної взаємодії між матеріальним потоком та соціальними, економічними, екологічними процесами [32].

Методи *MEFA* дозволяють виявити процеси, пов'язані з високим екологічним ризиком і визначитися з питань виснаження ресурсів, рециркуляції, надмірного споживання ресурсів [31], [33], [34].

Відповідно до закону збереження маси сумарні матеріальні та енергетичні входи з повинні дорівнювати сумарним виходам, включаючи накопичення матеріалів у системі (рис. 1.9) [35].

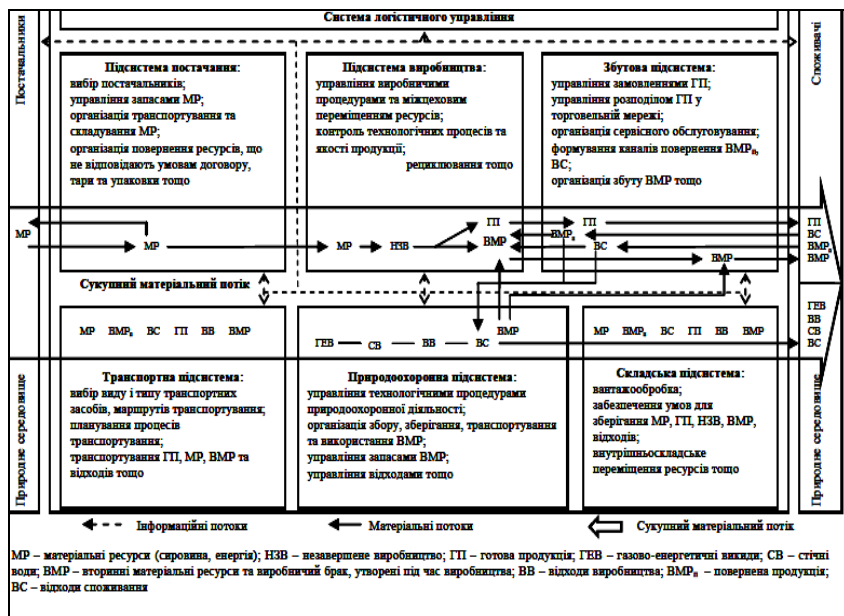


Рисунок 1.9 – Базова модель обліку й аналізу матеріальних потоків підприємства

Цей принцип матеріального балансу справедливий як для системи в цілому, так і для будь-якої підсистеми при окремому розгляді [31].

22 Метод *EF* (екологічний слід) виражає «теоретичну область (у глобальних гектарах), необхідного виробництва споживаних ресурсів та асиміляції відходів, створюваних досліджуваною системою» [36].

Для розрахунку «екологічного сліду» оцінюються фактичні площі суші чи води, необхідного виробництва ресурсів та асиміляції викидів, які потім перетворюються на еквіваленти глобальних гектарів із застосуванням відносних чинників [37].

Оцінка екологічної стійкості здійснюється шляхом зіставлення екологічного сліду з біоємністю – максимально доступною ємністю ресурсів даної області. Таким чином здійснюється моментальний знімок поточного попиту на біоємність відповідно до встановленого «екологічного сліду». При оцінці екологічної дії антропогенної діяльності на тривалі терміни метод *EF* не застосовують, як наприклад для виробництва та використання пластикових пакетів. Для застосування методу «екологічного сліду» з метою аналізу промислових систем потрібна значна адаптація методу з урахуванням індивідуальних економічних характеристик країни та географічних характеристик регіону.

23 Метод *MIPS* (вихід матеріалу на одиницю послуги чи корисного продукту) – аналіз екологічної ефективності управління матеріальними потоками. Значення *MIPS* пов'язує природні ресурси, споживані продуктом протягом його життєвого циклу. Величина *MIPS* розраховується шляхом поділу сукупних матеріальних витрат, які необхідні для виробництва, використання, переробки та утилізації продукту (*Material Input (MI)*) на одиницю кількості наданих послуг або корисного продукту, що випускається [38]. Таким чином, величина *MIPS* є оцінкою потенційного екологічного навантаження. Чим менше значення *MIPS* продукту, тим менше навантаження на довкілля. Метод рекомендується для використання, наприклад, у будівельній галузі, де витрати природних ресурсів значні [39].

У методі запроваджено визначення екологічного рюкзака (*ER*), що отримають при відніманні маси самого продукту з *MI*. Показники *MIPS* та *ER* можуть застосовуватись для оцінки екологічної стійкості продукту в оцінці ефективності використання матеріалів та ресурсів.

Відповідно до оцінки екологічної ефективності запланованого отримання продуктів за методом можна отримати таку попередню інформацію з метою прийняття певного керуючого рішення [40]:

- кількість одиниць послуг, вибраних відповідно до потреб дослідження, та доступність продукту має бути якомога вищою;
- життєвий цикл матеріалів, що використані у процесах отримання продуктів та послуг, має бути якомога нижчим;
- витрати енергії для процесів, продуктів та послуг мають бути якомога низькими;
- витрати земельних ресурсів на одиницю послуг мають бути якомога низькими, з урахуванням всього життєвого циклу продукту;
- вихід забруднюючих речовин має бути мінімальним.

24 *Метод SFA (аналіз потоку речовини)* – моніторинг потоків речовин, які спричиняють ризики для довкілля та здоров'я персоналу під час їх виробництва та споживання. Це визначає його схожість з методом MFA змістовно і за такими етапами реалізації:

- визначення цілей та вибір показників моніторингу;
- розгляд проблемної з точки зору екологічних питань системи;
- встановлення необхідних для аналізу та оцінювання матеріальних потоків та виробничих процесів;
- проектування схеми потоків речовин;
- розробка балансу маси, оцінка та інтерпретація результатів.

Метод *SFA* допомагає оцінити екологічну стійкість промислової системи шляхом кількісного визначення потоків речовин (хімічних елементів чи сполук), які впливають на екологічну стійкість [40].

Можливості методу в оцінці екологічної стійкості пропонується удосконалити за рахунок одночасного аналізу різних особливостей потоків матеріалів/речовин, інтеграції *MFA/SFA* з іншими методами оцінки. З позицій прийняття рішень підвищення показників стійкості передбачається розвиток стандартизованих методів вимірювання непрямих і невикористовуваних потоків, класифікації матеріалів, збору та обробки даних [40].

25 *Метод SPI (індекс сталого розвитку)* – оцінка галузі з позицій забезпечення потреб певної діяльності у сировинних і енергетичних ресурсах з визначенням зв'язку з областями, доступними в конкретному географічному регіоні [41]. Вихідні дані, необхідні для розрахунку *SPI*, відомі на ранній стадії проектування.

Розрахунок виконується шляхом агрегування площі, необхідної для забезпечення сировиною, енергією та інфраструктурою та асиміляції викидів аналізованого процесу. Результатом розрахунку є показник витрат ресурсів конкретної діяльності у економіці, орієнтованої на стійкість, що

становить співвідношення між потрібним обсягом для надання конкретної послуги, і обсягом, який забезпечує реалізацію всіх можливих послуг. Величина *SPI* оцінює вплив процесу (послуги) за допомогою розрахунку загальної площі, яка потрібна для стійкої асиміляції конкретного процесу в екосфері. Чим менша необхідність витрат ресурсів для процесу/послуги, тим менший вплив на довкілля [42], [43].

26 *Метод WF (водний слід)* – оцінка «загального обсягу прямої та/або зворотної прісної води, необхідної для задоволення потреб досліджуваної системи» (включаючи послуги, виробництво, споживання продуктів та ін.) [44]. Розрахунок «водного сліду» складається з чотирьох основних етапів:

- визначення цілей та галузі для екологічного дослідження;
- облік забезпечення водними ресурсами;
- оцінка екологічної стійкості методом «водного сліду»;
- аналіз та оцінка отриманих результатів для висновків.

На галузевому рівні значення *WF* оцінюється шляхом розрахунку загального обсягу води, що споживається протягом життєвого циклу продукту, для отримання інформації про процеси, які потребують поліпшення з погляду надмірного споживання води.

Показник «водного сліду» є багатовимірним індикатором, що показує обсяги використовуваної води за джерелами споживання та обсяги забруднення води за типом забруднення, що надається для оперативного інформування та загального з географічною прив'язкою.

Для оцінки значень *WF* розрізняють такі три компоненти [45]:

1) «Синій водний слід» – споживання поверхневих і ґрунтових вод при виробництві та споживанні продукту; водозбір відноситься до наземного водного об'єкта у водозбірній зоні, де відбувається випаровування води, її потрапляння в іншу зону водозбору, або входить у продукт;

2) «Зелена» вода – споживання «зелених» водних ресурсів, наприклад, дощова вода, що зберігається в ґрунті і становить її вологість);

3) «Сіра» вода – це стаття забруднення, що встановлюється за обсягом прісної води, необхідний для поглинання забруднюючих речовин на основі існуючих стандартів якості довкілля.

На відміну від класичної міри «водозбору» показник «водного сліду» враховує такі аспекти:

- розрізняє три складові в отриманому значенні водоспоживання – «зелену», «блакитну» і «сіру» воду;

- включає непряме використання води;
- не включає використання «блакитної» води, оскільки ця вода повертається туди, звідки прийшла.

Таким чином, метод «водного сліду» дає узагальнене уявлення про споживання ресурсів прісноводних систем, екологічні наслідки споживання та забруднення води на місцях. Вплив на навколишнє середовище певної кількості спожитої та утвореної забрудненої води залежить від уразливості місцевої системи водопостачання та співвідношення споживачів води та техногенних об'єктів, які використовують ту ж систему водозабору. Звіти про «водний слід» дають просторово-часову інформацію про використання води [44, 45].

*27 Метод CED (кумулятивний попит на енергію)* – це оцінка «прямого і непрямого використання енергії протягом всього життєвого циклу досліджуваної системи, включаючи енергію, що споживається під час видобутку ресурсів, виробництва та утилізації» [46]. Результати *CED* корелюють з такими категоріями впливу на навколишнє середовище, як глобальне потепління, виснаження ресурсів, підкислення, евтрофікація, виснаження озонового шару і несприятливий вплив на людину [46].

Зважаючи на ефективну результативність методу *CED* вибирають індикатором скринінгу для забезпечення екологічної ефективності.

*Метод CExD (кумулятивний попит на ексергію)* – оцінювання повного використання природної енергії для забезпечення життєвого циклу продукту, зокрема ексергії всіх необхідних ресурсів [47]. Концепція ексергії застосовується до ресурсів, що містяться в базі даних екологічної енергетики, з урахуванням хімічних, кінетичних, гідропотенційних, ядерних, сонячно-радіаційних та теплових ефектів.

За методом *CExD* встановлюється якість попиту на енергію відповідно до ексергії енергоносіїв та неенергетичних матеріалів. Показники впливу на довкілля згруповані у вісім категорій залежно від виду використаних ресурсів: корисні копалини, метали, ядерні копалини, гідроенергетика, вода, біомаса та інші відновлювані джерела енергії. Модифікації методу використовують для визначення та порівняння енергоємності та ресурсного попиту на продукти або процеси [47].

*28 Метод EE (узагальнена енергія)* – встановлення кількості прямої та непрямой енергії, необхідної для виробництва продукту чи послуги. Прямая енергія – це енергетичні ресурси, задіяні при виробництві, перетворенні та транспортуванні енергії. Непряма енергія міститься в матеріа-

льних неенергетичних ресурсах при їх видобуванні, переробці та експлуатації. Економія непрямой енергії досягається шляхом зменшення матеріаломісткості продукції, підвищення її надійності та якості, продовження терміну служби виробів [48].

Величину узагальненої енергії визначають як кількість невідновлюваної енергії (джоуль), на одиницю ваги (кг/тонн), за різними базами даних і підходами, більшість з яких стосується будівельних матеріалів. За результатами методу *ЕЕ* надається інформація про ефективність використання енергії компанією, оцінка її екологічної стійкості [49].

29 *Метод ЕА (emergy-аналіз)* – визначення кількості споживаної сонячної енергії (ексергії, в сонячних *ет*-джоулях), яка прямо чи опосередковано використана для виробництва продукту або послуги [50]. Для такого оцінювання враховуються всі етапи трансформації сонячної енергії. Метод *ЕА* на відміну від методу узагальненої енергії [48] застосовується при наданні оцінки екологічної якості паралельно з низкою складових індикаторів, що дозволяє підприємствам підвищувати стійкість виробничої діяльності [51]–[52].

30 *Метод ЕХА (аналіз ексергії)* – обчислення максимальної еквівалентної механічної роботи, що отримана від системи для досягнення стану термодинамічної рівноваги [53]. За рахунок підвищення ефективності збереження енергії забезпечується зниження викидів у довкілля, ресурсомісткості виробництва, збереження ресурсів, збільшення терміну служби резервних запасів, що визначається інтенсивним використанням матеріалів і робочої сили. Таким чином компанії і виробництва досягають підвищення безпеки завдяки меншій залежності від енергетичних ресурсів, зниження впливу на навколишнє середовище та підвищення соціальної стійкості. Отже, ексергія розглядається як гармонійне поєднання енергії, навколишнього середовища та сталого розвитку (рис. 1.10) [54]– [55].

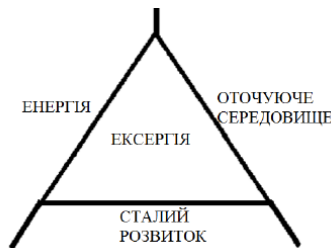


Рисунок 1.10 – Трикутник методу аналізу за ексергією

Для підвищення ефективності використання енергії і ресурсів надаються результати аналізу ексергії, що дозволяє ідентифікувати потоки, які містять додаткові кількості (або нестачу) ексергії з метою їх оптимального перерозподілу. Оцінка коефективності функціонування галузі промисловості пропонується на основі застосування показників, що ґрунтуються на концепції та методах ексергії (наприклад, застосування індексу виснаження ексергії, коефіцієнта циклічності матеріальної ексергії, ефективності ексергії та ін.), включаючи інтеграцію аналізу ексергії із промисловою екологією [56]–[57].

**Категорія 5 Аналіз життєвого циклу продукту** поєднує методи, які оцінюють ефективність систем методом аналізу всіх етапів життєвого циклу продукції, включаючи видобуток сировини, переробку, виробництво, використання та утилізацію; надають інформацію стосовно змін у навколишньому середовищі протягом усього життєвого циклу продукту. Методи засновані на розробці аналітичної моделі згідно з вимогами оцінювання стійкості систем за керівними принципами серії міжнародних стандартів ISO 14040 за такими етапами реалізації оцінки життєвого циклу продукту [58]:

- 1) визначення мети оцінювання обраної галузі;
- 2) інвентаризація вхідних і вихідних потоків виробничої системи;
- 3) оцінка впливу енергетичних і матеріальних потоків на довкілля;
- 4) аналіз і оцінка результатів аналізу життєвого циклу продукту.

Усі методи категорії «Аналіз життєвого циклу» фокусуються на екологічному аспекті стійкості, їх розділяють на дві підкатегорії: методи оцінки одного впливу (наприклад, глобального потепління) та методи оцінки множинних впливів, за якими надаються результати аналітичних розрахунків стосовно змін клімату, виснаження мінеральних ресурсів, виснаження озонового шару та інші.

31 *Метод BRIDGES (мости до сталої структури)* – загальна структура для оцінки екологічної, економічної та соціальної стійкості галузей з урахуванням етапів життєвого циклу продукту (пропозиція, виробництво, використання та утилізація) та інших факторів (час, місце, вартість транспортування та ресурсів) [6]. За результатами реалізації метода надеться інформація для вирішення питань нестачі ресурсів, надмірності та потенційного впливу на доступність ресурсів у майбутньому.

32 *Метод CF (вуглецевий слід)* – оцінка викидів парникових газів у еквівалентах діоксиду вуглецю, що викидається в певних обсягах у ре-

зультаті виробництва будь-яких продуктів [59]. Базова одиниця «вуглецевого сліду» становить тонни еквівалента CO<sub>2</sub> із зазначенням періоду часу 100 років [60]. Метод «вуглецевого сліду» є основним засобом визначення зв'язку між викидами забруднюючих речовин і наслідками зміни клімату, оцінки потенціалу глобального потепління.

Недоліком концепції «вуглецевого сліду» є низький рівень узгодженості визначень і розрахунків у наукових дослідженнях [59]. Складнощі у більшості досліджень становлять включення в аналіз усіх складових лише прямих викидів, що відносяться безпосередньо до території виробництва, та непрямих енергетичних викидів, які стосуються електроенергії, яку закупають, і теплової енергії [61].

33 *Метод EDP (потенційна шкода екосистемі)* визначає вплив землекористування на екосистеми, зокрема на біорізноманіття, відповідно до зайнятості земель і трансформацією земельних угідь на основі моделі з функціями шкоди та характеристичними факторами оцінювання [62]–[63]. Трансформація земель оцінюється на основі фактичного або віртуального часу відновлення. Збитки від трансформації землі є значними для типів земельних угідь, які важко відновлюються і вимагають надзвичайно довгого розвитку. Наприклад, для первинного лісу та торфовища цей термін дорівнює тисячі років і більше.

Коефіцієнти характеристик п'ятдесяти трьох типів землекористування розраховуються з урахуванням класифікації *CORINE plus* [62]–[63]. Метод *EDP* дозволяє галузям знайти рішення питань підвищення екологічної стійкості на основі результатів оцінки впливу землекористування на мікрорівні. Це є особливо доцільним у разі маргінальних земель, коли наслідки рішень не призведуть до зміни якості чи кількості екологічних параметрів регіону [63].

34 *Метод LCSD (панель управління життєвим циклом продукту)* – аналітична система у вигляді Панелі стійкості – *Dashboard of Sustainability (DS)*, для надання загальних рекомендацій проведення екологічного аналізу з урахуванням повного життєвого циклу продукту [64]. Остання версія DS забезпечує програму із трьох частин:

- 1) збір даних та введення їх в систему моніторингу;
- 2) програмна обробка та аналіз даних;
- 3) виведення результатів на панель моніторингу стійкості;
- 4) порівняльний аналіз ефективності на основі еталонних показників та надання звіту [65].

Метод *LCSD* – це визначення екологічної, соціальної та економічної стійкості на основі вибору та оцінки відповідних індикаторів. Особливістю методу є графічне подання результатів у кольоровому зображенні відповідно до наявної шкали оцінок, що підвищує якість передачі результатів. Адаптивний варіант *DS*-оцінювання – це математичний і графічний інструмент інтегрування оцінок різних складних впливів на стійкість розвитку та підтримки процесу прийняття рішень на основі використання «спеціальних» індикаторів створення коротких оцінок [66].

35 *Метод USES-LCA (єдина система оцінки речовини)* – обчислення характеристичних факторів екотоксичності та токсичності для людини у середній точці відповідно до механізму впливу на навколишнє середовище і в кінцевій точці згідно з завданням екологічним збитком [67]. Оцінка заснована на базі даних із 3396 хімічних речовин. Метод передбачає переведення викидів і досліджених речовини в токсикологічні ефекти і фактори екологічної шкоди для такого оцінювання:

- наземні, морські та прісноводні екосистеми – визначення факторів екотоксикологічного впливу;

- отруйний вплив на людину – розрахунок канцерогенних факторів, факторів, не пов'язаних з канцерогенністю, з отриманням індексу потенційної токсичності [68];

- оцінка екологічної стійкості галузі промисловості – встановлення потенціалу токсичності продуктів і процесів [67].

36 *Метод CML (Centrum Milieukunde Leiden (CML), 2001)* – оцінка механізму впливу на навколишнє середовище, відповідно до принципів ISO 14040 [69]. Оцінка екологічної стійкості здійснюється із застосуванням набору індикаторів впливів, кількість яких варіюється відповідно до завдань дослідження – обов'язкові, додаткові та інші категорії впливу. Категоріями впливу, включеними до *CML*, є екотоксичність, глобальне потепління, іонізуюче випромінювання, землекористування та інші категорії впливу глобального рівня з нормалізацією глобальних даних [69].

37 *Метод EI99 (еко-індикатор 99)* – обчислення екологічних збитків як результат впливу на навколишнє середовище в кінцевій точці [70]. Екологічна стійкість оцінюється за допомогою 11 категорій впливу, які далі групуються в 3 категорії шкоди, а саме: *шкода ресурсам* (виражений у надлишковій енергії в МДж), *шкода екосистемам* (виражений у % видів на м<sup>2</sup> на рік); *шкода здоров'ю людини*, який розраховується із застосуванням показника *Disability adjusted Life Years (DALY)* (роки життя з поправ-

кою на інвалідність). Отруйні ефекти, пов'язані з викидами канцерогенних речовин у повітря, воду і ґрунт, виражаються в DALY/кг викидів.

Така модель дозволяє комплексно оцінити дію на навколишнє середовище на основі результатів аналізу біологічної тривалості життя, оцінки впливу канцерогену та ефекту впливу. Нормалізація і зважування здійснюються з посиланням на європейські дані [71].

38 *Метод EDIP 2003* (оновлення версії методу *EDIP 97*, Данія) – інтеграція факторів впливу, характерних для різних європейських регіонів відповідно до 19 різних категорій впливу, включаючи глобальне потепління, виснаження озонового шару, екотоксичність, евтрофікація водойм, небезпечні відходи та ін.

В оцінці за *EDIP 2003* більша увага приділяється факторам впливу на людину. Нормалізація даних здійснюється на основі нормуючих коефіцієнтів, встановлених для Європи в 2004 р. [72], зважування виконується із застосуванням вагових коефіцієнтів *EDIP 97*.

Новітніми аспектами введення методу *EDIP 2003* є:

1) врахування у факторах впливу розподілу речовин на короткоживучі (наприклад, хлористий водень) і довгоживучі (наприклад, бензол);

2) застосування для кожної речовини фактичної поправки відповідно до географії місцевості та щільності населення регіону;

3) введення градації висот для викидів: 1, 25 і 100 м [72].

39 *Метод EPS 2000 (стратегія пріоритету охорони навколишнього середовища розробки продуктів)* – оцінка процесів, пов'язаних з розробкою продукту, пошук концепції продукту з меншим впливом на навколишнє середовище на основі індикаторів середньої і кінцевої точок оцінювання за п'ятьма категоріями впливу з охопленням загальносвітового діапазону [73]–[74]. Застосовувана одиниця виміру – Environmental Load Unit (ELU) [72]. Навантаження на довкілля визначають в грошових одиницях відповідно до рівня плати з метою уникнення негативних наслідків за кожною з категорій.

40 *Метод IMPACT 2002+* (оцінка впливу хімічної токсичності) – це комбінація методів *IMPACT 2002*, *Eco-indicator 99*, *CML* і *IPCC* – International Panel on Climate Change – Міжнародна група зі зміни клімату) [72]. Комбінаційна реалізація метода дозволяє отримати результати за двома напрямками – оцінка стійкості життєвого циклу продукту за середніми показниками та визначення збитків. Остаточний висновок надається на основі поєднання оцінок за 14-ма категоріями середніх точок і 4-ма

категоріями збитків. Нормалізація за всіма категоріями впливу становить розрахунок річного показника на середнього європейського громадянина.

Категорії середніх адаптовані за методами *Eco-indicator 99* і *CML 2002*. На конкретних середніх показниках розраховують фактори шкідливого впливу на людину для канцерогенів і не канцерогенів.

Категорії збитків включають здоров'я людини, якість екосистеми, зміну клімату та виснаження ресурсів (рис. 1.11) [75].

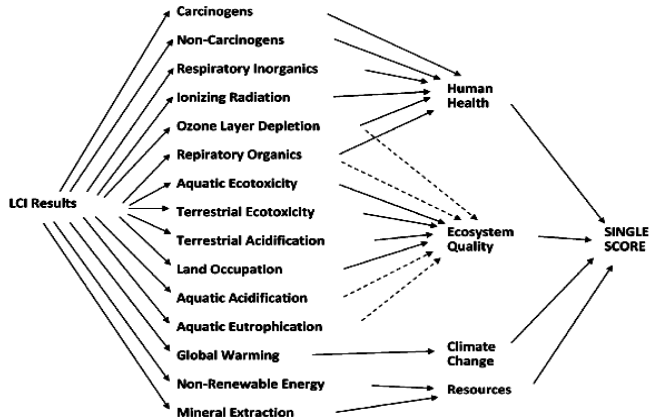


Рисунок 1.11 – Схема структури ІМПАКТ 2002+: показники категорії середньої точки та категоріями збитків

Агрегування, зважування оцінок проводиться користувачами, чи з використанням вагових коефіцієнтів згідно з ситуацією за умовчанням.

41 *Метод LIME (оцінка впливу на життєвий цикл на основі моделювання кінцевих точок*, Національний інститут передових промислових наук і технологій (AIST), Японія) – кількісна оцінка впливу на навколишнє середовище в результаті різних видів діяльності за 11-ма середніми категоріями – *глобальне потепління, існування озонового шару, підкислення, евтрофікація, утворення фотохімічного окислювача, забруднення повітря в містах, шкода здоров'ю людини, екотоксичність, землекористування, споживання ресурсів і відходів*, 4-ма кінцевими категоріями – *здоров'я людини; соціальне забезпечення; біорізноманіття; виробництво рослин* [76]. Метод включає близько 1000 речовин, для отримання єдиного індексу у вигляді комплексного впливу на навколишнє середовище, передбачена операція зважування [69].

42 *Метод ReCiPe 2016* – це оновлена версія ReCiPe 2008 для визначення категорій впливу, орієнтованих на розв'язок таких задач:

– поточних екологічних проблем – оцінка середніх (18 середніх – зміна клімату, виснаження озонового шару в стратосфері, іонізуюче випромінювання, евтрофікація прісної води, нестача мінеральних ресурсів; землекористування та ін.);

– виявлення збитків – оцінка кінцевих (3 кінцеві точки – здоров'я людини, екосистеми, надлишкові витрати ресурсів) [72].

Характеристичні чинники розраховуються на основі причинно-наслідкового ланцюжка та є репрезентативними у глобальному масштабі. Категорії кінцевих зважують та об'єднують в одну оцінку.

43 *Метод TRACI (інструмент для зменшення та оцінки хімічних та інших впливів на навколишнє середовище)* – окрема комп'ютерна програма аналізу на середньому рівні за 12-ма категоріями впливу з потенційно негативними наслідками, включаючи виснаження озонового шару, глобальне потепління, підкислення, евтрофікацію, утворення тропосферного озону, екотоксичність, наслідки для здоров'я людини, пов'язані та не пов'язані з раком, виснаження копалини палива та ефекти землекористування [77]. Метод запропонований Агентством з охорони навколишнього середовища США спеціально для США з використанням вхідних параметрів, сумісних із розташуваннями США [69]. Нормовані коефіцієнти розраховані для США і США + Канада [72].

**Категорія 6 Екологічний облік** включає методи оцінки екологічної стійкості на основі кількісного визначення екологічних витрат і вигод згідно з фінансовим обліком. Для визначення оптимальних варіантів прийняття рішень щодо планів і проектів розвитку галузі, екологічної політики та планування цілей сталого розвитку запроваджені методи трансформування екологічних і соціально-економічних даних у інформацію щодо захисту природних екосистем, надану у вигляді оцінки екологічних витрат і вигод у грошових одиницях [78].

Екологічний облік (*Environmental Accounting* (EA)) застосовується у трьох аспектах: *облік національного доходу, фінансовий облік і управлінський облік*. Для запобігання забруднення та зміцнення довгострокової конкурентоспроможності бізнесу приділяється увага управлінському обліку, а саме ідентифікації, компіляції, аналізу, використанню та наданню інформації про екологічні витрати для внутрішніх цілей компанії.

44 *Метод СВА (аналіз ефективності витрат)* – конкретна процедура розрахунку та зіставлення вигод і витрат аналізованого дії, процесу чи проекту, яка ґрунтується на теорії економіки добробуту [79].

Алгоритм реалізації метода *СВА* визначено за такими кроками:

- 1) опис досліджуваного об'єкта – проект, процес чи дія;
- 2) ідентифікація та вибір впливів за наслідками в результаті реалізації проекту (процесу або дії) – позитивні/негативні, вигоди/витрати;
- 3) кількісна оцінка відповідних впливів;
- 4) перерахунок результатів аналізу в грошові одиниці;
- 5) дисконтування чи зважування;
- 6) аналіз чутливості проекту.

Отримані висновки за цим методом мають значення для оцінки впливу політики та проектів на соціальне забезпечення [80].

45 *Метод СВМ (метод умовної оцінки)* – неринкове оцінювання впливу на довкілля товарів і послуг при аналізі витрат і вигод, що ґрунтується на опитуванні, метою якого є кількісна оцінка готовності промислового підприємства платити або приймати компенсацію за придбання чи втрату природного ресурсу, продукту чи послуги [81].

Для оцінки аспектів екологічної стійкості галузі промисловості за методом *СВМ* проводиться переведення її цінності в грошові одиниці з урахуванням наслідків діяльності, пов'язаної зі змінами біорізноманіття, виснаження ресурсів тощо [81].

46 *Метод ЕМА (екологічний управлінський облік)* – аналіз фінансової та нефінансової інформації для підтримки внутрішніх процесів управління навколишнім середовищем управління з метою підвищення ефективності матеріальних потоків, зниження ризиків і впливу на навколишнє середовище та витрат на охорону навколишнього середовища, надання інформаційної підтримки для розробки механізмів, які допомагають виявляти та розподіляти пов'язані з довкіллям витрати, що сприяє підвищенню екологічної ефективності та стійкості організацій [82]. Метод головним чином застосовується у таких областях: *ціноутворення; складання бюджету; інвестиційна оцінка; розрахунок витрат; розрахунок заощаджень* від запровадження екологічних проектів чи *встановлення кількісних показників ефективності*.

Облік у фізичних і у грошових одиницях стосується таких витрат:

- обробка відходів та викидів;
- профілактика забруднень та управління довкіллям;

- матеріальні закупівельні вартості неліквідної продукції;
- витрати на переробку неліквідної продукції;
- екологічні доходи.

Оцінки проводять для конкретного середовища – повітря/клімат, відходи, біорізноманіття та ін. [82].

47 *Метод MFCA (облік вартості матеріальних потоків)* – оцінка потоків фізичного матеріалу у галузі та зіставлення їх із відповідними витратами, пов'язаними із зберіганням, переробкою та транспортуванням; встановлення екологічної стійкості за виявленими матеріальними втратами та відповідними витратами, що сприяють підвищенню продуктивності та зниженню впливу на навколишнє середовище [83]. Метод вимагає розробки докладного балансу матеріалів, включаючи всі входи, виходи та матеріальні втрати процесів на підприємстві; при необхідності врахування зовнішніх витрат, які виходять за рамки стандарту ISO 14051:2011.

48 *Метод TCA (загальна оцінка витрат)* – комплексна процедура ідентифікації прихованих витрат на ОНПС і здоров'я, що сприяє уникненню потенційно необґрунтованих інвестицій в навколишнє середовище [84]. Методологія TCA складається з шести кроків:

- перші три – визначення аспектів проекту чи альтернатив, що є досить важливими для повної оцінки підприємства конкретної галузі;
- розробка фінансової інвентаризації проекту або його альтернативи за п'ятьма типами витрат (тип I, II, III, IV, V) – *контрольні списки перевірки, шаблонні листи для полегшення реалізації проекту.*

Заключним 7-м кроком є зворотний зв'язок з основним процесом прийняття рішень для компанії [85].

Метод TCA відрізняється від традиційних методів оцінки витрат чотирма ключовими підходами:

- розширює перелік витрат, заощаджень і доходів, включаючи непрямі, які не враховуються при аналізі проектів;
- надає точний розподіл витрат і заощаджень для певного процесу і лінійки продуктів замість суми цих витрат у вигляді накладних витрат;
- передбачає аналіз врахування довгострокових витрат та економії, характерних для інвестицій у навколишнє середовище;
- запроваджує показники рентабельності для врахування довгострокових витрат і заощаджень та тимчасову вартість грошей.

**1.1.4 Критеріальне оцінювання сталості розвитку соціально-еколого-економічних об'єктів** здійснюють на основі комплексу показни-

ків, що одночасно є індикаторами стану національної безпеки. Комплексні й узагальнені показники характеризують стан і динаміку розвитку, їх визначають як індикатори, індекси сталого розвитку за такою відповідністю:

- бути чутливими;
- легко та однозначно інтерпретуватись;
- поєднувати екологічні, соціальні та економічні аспекти;
- бути науково обґрунтованими;
- мати кількісне вираження;
- бути репрезентативними [86].

Виділяють два підходи до побудови індексів та індикаторів:

1) оцінювання екологічних, соціальних, економічних аспектів розвитку – система індикаторів;

2) комплексна оцінка розвитку країни чи регіону – інтегральні індекси, серед яких розрізняють соціально-економічні, еколого-економічні, соціально-екологічні, еколого-соціо-економічні; виділяють окрему групу інституційних показників.

Розробка та обґрунтування індексів є тематикою робіт спеціальних інститутів Великобританії, Канади, США та ін., численних агентств, організацій і комітетів на міжнародному рівні, таких як ВООЗ, ЮНЕСКО, ООН, Всесвітній Банк, Комітету екологічного моделювання (ISEM), Європейської комісії, ОЕСР, Наукового комітету з проблем навколишнього середовища (SCOPE) та ін.

Для практичного використання відповідно до цілей поширеними є такі індекси розвитку:

1. *Environmentally adjusted net domestic product* (EDP) – екологічно адаптована внутрішня продукція, використовується для екологічної корекції національних рахунків, обчислюється за формулою:

$$EDP = (NDP - DPNA) - DGNA,$$

де *NDP* – чиста внутрішня продукція; *DPNA* – вартісна оцінка виснаження природних ресурсів; *DGNA* – вартісна оцінка екологічного збитку – розміщення відходів, забруднення повітря та водою.

2. *Genuine (domestic) savings* (GS) – показник «дійсних заощаджень», запропонований і розрахований Всесвітнім Банком:

$$GS = (GDS - CFC) + EDE - DPNR - DMGE,$$

де *GDS* – валові внутрішні заощадження; *CFC* – величина знецінення вироблених активів; *EDE* – величина витрат на освіту; *DPNR* – величина

виснаження природних ресурсів; *DMGE* – збиток від забруднення навколишнього середовища; показники беруться у відсотках від ВВП.

3. *Living Planet Index* – агрегований індекс «живої планети», розроблений для моніторингу стану біологічного різноманіття планети. Ця оцінка публікується в рамках щорічної доповіді Всесвітнього Фонду Дикої Природи (*World Wild Fund*).

4. *The Ecological Footprint* – показник «екологічний слід», вираховується міжнародною організацією *Global Footprint Network*. Він виражає міру тиску людини на навколишнє середовище у вигляді площ територій і акваторій, необхідних для видобутку ресурсів та утилізації відходів.

5. *Human Development Index* – індекс розвитку людського потенціалу (ІРЛП), є інтегральним показником, що враховує рівень соціально-економічного розвитку суспільства. Цей індекс розроблений Програмою розвитку ООН (ПРООН) у 1990 році. Він включає 3 показника: *середня очікувана тривалість життя, рівень освіченості населення та рівень економічного розвитку* (ВВП на душу населення).

Надалі у показник ІРЛП включено додаток Програмою Розвитку ООН (ПРООН) для аналізу розвитку суспільства – *індекс убогості населення* – масштаби знедоленості та існуючих поневірянь (1997 р.); додалися три нові показники: ІРЛП скоригований з урахуванням нерівності, індекс гендерної нерівності (ІГН) і Багатомірний індекс бідності (МІБ), що зазначені у Доповіді про розвиток людини (2010 р.) [86].

6. *Happy Planet Index* – «Всесвітній індекс щастя», який щорічно надає британський дослідницький центр *New Economics Foundation* (2006 р.) – оцінка відчуття рівня щасливого життя населенням у різних країнах світу.

7. *Environmental Sustainability Index* – Індекс екологічної стійкості, визначений у доповіді групи вчених з Єльського і Колумбійського університетів для Всесвітнього економічного форуму в Давосі (2001 р.).

8. *Physical Quality-of-Life Index* (PQLI) – індекс фізичної якості життя (ІФЯЖ) – оцінка добробуту населення країни (якість життя), рідко використовується.

9. *Genuine Progress Indicator* (GPI) – дійсний показник прогресу – оцінка екологічних і соціальних аспектів розвитку суспільства в країнах, що містить такі складові: *злочинність і розпад сімей, зміна кількості вільного часу, домашня і добровільна робота, залежність від зарубіжних капіталів, розподіл доходу, витрати на оборону, термін «життя» предме-*

*тів тривалого користування, виснаження ресурсів, забруднення, довгостроковий екологічний збиток.*

10. «Зелений ВВП» – розробка Державного управління з охорони навколишнього середовища (ДУОНС) і Державного статистичного управління (ДСУ) КНР (2004 р).

Запровадження інтегральних, агрегованих індексів сталого розвитку є інструментом швидкого аналізу напрямку розвитку, оперативного коригування дій у галузі використання природних ресурсів та охорони навколишнього середовища.

## **1.2 Теорія и практика MIPS аналізу**

Інформаційні технології і напрямки програмних комп'ютерних управляючих технологій у наукових дослідженнях спрямовані на підвищення ефективності комп'ютерної роботи для вирішення багатьох проблемних питань. У цьому сенсі значне місце в екологічних оцінках якості різномірних об'єктів в у просторі і часі посідає MIPS-аналіз.

Мюнхенський технічний комітет з протеїнових послідовувачів (MIPS-GSF) Нойхерберг, Німеччина, надає інформацію, пов'язану з послідовністю білка на основі аналізу всього геному. Основна увага в роботі спрямована на систематичну організацію послідовності атрибутів, зібраних різними алгоритмами, первинній інформації з експериментальних даних разом з інформацією, зібраною з наукової літератури.

Аналіз MIPS підтримує автоматично генеровані і вручну анотовані геном-специфічні бази даних, розвиває схеми класифікації для функціональної анотації послідовності білка та надає інструменти для всебічного оцінювання білкових послідовностей. Цей звіт оновлює інформацію про дріжджовий геном (CYGD), *Neurospora crassa* геном (MNCDB) – база повних даних cDNAs (німецький проект генома людини, NGFN), взаємодію білка та білка ссавців – база даних MPPI, базу даних гомологій FASTA (SIMAP) та інтерфейс для швидкого пошуку інформації стосовно білку (QUIPOS). Додатково з 2004 року описані *Arabidopsis thaliana* база даних, база даних рису, завод Бази даних EST (MATDB, MOsDB, SPUTNIK), бази даних для комплексного набору геномів (PEDANT геномів) у випусках баз даних NAR 2003. Усі бази даних описані, і детальні описи проектів Мюнхенського технічного комітету доступні через веб-сервер MIPS <http://mips.gsf.de> (рис. 1.12) [38]–[40].

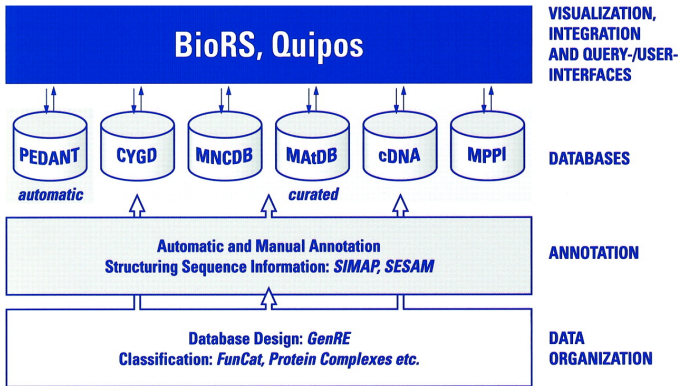


Рисунок 1.12 – Схема MIPS для організації інформації з геном-досліджень

З позиції сталого розвитку щодо екологізації усіх сфер діяльності та життєзабезпечення запропоновано використати наукову інформацію інституту MIPS-GSF для розрахунку еколого-економічних показників оцінки життєвого циклу (ЖЦ) продукції у вигляді чинника еко-ефективності, що покладений в основу MIPS-аналізу.

Концепція ЖЦ успішно використовується при оцінці впливу підприємств на довкілля на всіх стадіях екологічного супроводу та регулювання їхньої господарської діяльності [87]. За змістовністю таке дослідження екологічної якості об'єкта чи процесу є більш повним і комплексним, оскільки дозволяє задіяти максимум інформації про стан навколишнього середовища, джерела та характер впливів, і, таким чином, сприяє отриманню обґрунтованих прогностичних оцінок та рекомендацій.

У ході оцінки життєвого циклу продукції здійснюється збір інформації про вхідні та вихідні потоки речовини та енергії у виробничій системі та оцінка їх потенційного екологічного впливу за такими критеріями: *використання ресурсів, викиди у навколишнє середовище, здоров'я людини та стан екосистем* [88].

Обчислюваний критерій MIPS використовується в галузі прийняття рішень стосовно дематеріалізації економіки та екологізації виробництва, екологічних оцінок процесів, обладнання та технологічних процесів. Екологічний «рюкзак», що доповнює критерій MIPS, надає інформацію для екомаркування та відповідним чином запровадженій у рекламно-інформаційні компанії як екознак продукції чи виробництва.

Теорія універсального екологічного критерію «вуглецевий слід», що показує кількість виділеного вуглекислого газу в життєвому циклі продукції, також знайшла відображення у сфері визначення індикаторів екологізації діяльності суб'єктів господарювання за *концепцією MIPS* (Wuppertal Institute, Німеччина, 1991 р.). Ця методика оцінки екоефективності набула широкого поширення в Європі та Японії, і стала базою екологічної стратегії з оцінки рівня навантаження на природне середовище – *інтенсивність споживання матеріалів протягом ЖЦ продукту на одиницю наданих послуг*. Суть MIPS-методу – обчислення «екологічного рюкзака», що утворюється при виробництві товарів і послуг, який теоретично пов'язаний з постулатами теорії сталого розвитку, що протистоїть таким фатам:

- 90 % усіх матеріальних ресурсів не використовуються повністю у процесі виробництва;
- в індустріально розвинених країнах щорічно на одну особу втрачається до 100 т невідновлюваних ресурсів (чистої води – понад 500 т);
- для виробництва одиниці будь-якого виду техніки (наприклад, комп'ютер) потрібно кілька тонн різних матеріальних ресурсів.

Аналіз екоефективності, тобто MIPS-аналіз заснований на відомій екологічній концепції дематеріалізації, що є одним з різновидів політик в галузі запобігання забруднення навколишнього природного середовища. Цей підхід дозволяє переключитися з розгляду екологічно небезпечних виходів виробничих процесів чи продуктових ланцюгів на аналіз входів окремих процесів чи продуктових ланцюгів загалом. Досяжний рівень дематеріалізації вимірюється в одиницях MIPS.

Термін MIPS є абревіатурою англійського словосполучення *Material Input Per unit Service or utility* – *матеріальний вхід на одиницю товару* (послуги) або його *корисність*. Індикатор MIPS обчислюється і його величина повинна бути якомога меншою. Чим більше величина MIPS, тим вища *екологічна ціна одиниці продукції* або «*екологічний рюкзак*», який містить ця продукція. Таким чином, MIPS-аналіз запроваджений з метою оцінки ступеня екологізації господарської діяльності на різних рівнях: виробництво конкретного виду продукції чи послуг, підприємство, регіон, країна. Математично індикатор MIPS обчислюється за формулою (Курц Гефаст, 1992) [38]:

$$\text{MIPS} = \text{MI} / \text{S}, \quad (1.1)$$

де  $MI$  – це матеріальний вхід або сума всіх вхідних матеріальних потоків (враховується весь виробничий цикл, починаючи від видобутку та переробки сировини, транспортування, упаковки, поточного використання, вторинної переробки та розміщення відходів), кг, т;  $S$  – це продукція/послуга, що є кінцевим продуктом, умовно-натуральний показник.

Кожна додаткова послуга, що надається продуктом, ділить навпіл отримане значення MIPS, тобто при зростанні коефіцієнта корисної дії (**ккд**) на поданий матеріальний вхід додає екологічної ефективності виробництва чи послуги. Таким чином, показник MIPS в умовах зростаючої кількості послуг одиниці продукції стає все менше, і екологічна прийнятність продукту зростає. Наприклад, перевезення кількості пасажирів за максимальною кількістю посадкових місць; прання при повному завантаженні пральної машини та ін.

Зворотна величина  $S/MI$  визначає *природно-ресурсну ефективність* (екоефективність), що стає важливим показником у країнах із ринковою економікою, орієнтованою на екологічно свідомого споживача.

Алгоритм обчислення MIPS-індикатора становить такі етапи:

- 1) аналіз всіх матеріальних ресурсів, що витрачаються на виготовлення продукції;
- 2) обчислення вхідного матеріального потоку за  $MI$ -індексом;
- 3) визначення стратегій «Чистого Виробництва»;
- 4) аналіз стратегій заміщення;
- 5) оцінка варіантів оптимального використання одиниці виробленої продукції (послуги);
- 6) пропозиції надання більш екоефективних продукції/послуг;
- 7) розробка екологічної маркетингової стратегії.

Перші чотири пункти MIPS-аналізу пов'язані з обчисленням і зменшенням значення у чисельнику, тобто зниження матеріаломісткості продукту/послуги. Останні три пункти MIPS-аналізу спрямовані на збільшення значення у знаменнику, тобто зростання **ккд** при використанні природних ресурсів. На першому етапі аналізу встановлюється необхідний процесний ланцюжок виробництва даного продукту чи послуги з урахуванням життєвого циклу товару. Для кожного процесу визначають вхідні та вихідні матеріальні потоки. Споживані під час виробництва ресурси, використання та рециркулювання відходів продукту перераховуються у вигляді спеціальних коефіцієнтів  $MI$ -індексів відповідно до кількості залучених природних ресурсів (рис. 1.13) [89].

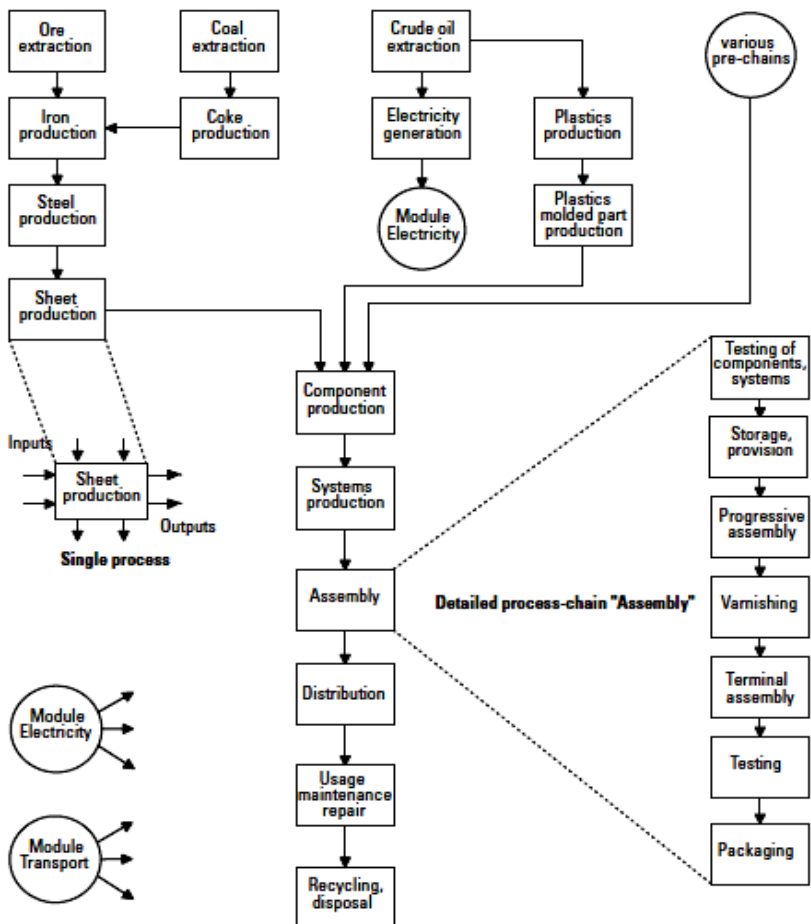


Рисунок 1.13 – Схема організації виробництва для виконання MIPS-аналізу

Складним та проблемним питанням MIPS-аналізу є визначення для кожного виду сировини та матеріалу MI-індексу. Для цілого ряду природних і штучних матеріалів, деяких видів енергії та транспорту розраховані показники питомої ресурсомісткості, тобто MI-індекси. Такий індекс для того самого матеріалу відрізняється в різних регіонах і країнах, що пов'язано з рівнем розвитку технологій і, відповідно, рівнем забруднення і втратами на початковому етапі виробництва.

Цільове рішення щодо зниження MIPS-індикатора відповідає реалізації кроків з 3-го по 7-й наведеного вище алгоритму для досягнення умов стратегічної програми «Чисте Виробництво»:  $MI \rightarrow \min$ ,  $S \rightarrow \max$ . Мінімізація значення пов'язана з запровадженням таких заходів:

- 1) удосконалення процесів виробництва;
- 2) зниження енергетичних втрат, покращення умов зберігання, повне завантаження потужностей і транспорту та ін.;
- 3) заміна не екологічних матеріалів екологічними, наприклад, заміна міді на пластик знижує MI-індекс у 93 рази, вугілля на енергію вітру – у 13 разів, автотранспорт на електротранспорт – у 2 рази;

4) збільшення коефіцієнта використання сировинних ресурсів.  
Максимум обсягу продукту/послуги  $S$  досягається за таких умов:

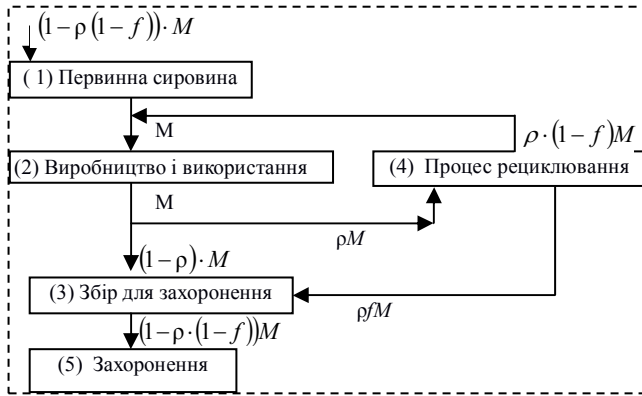
- 1) підвищення терміну служби товару;
- 2) багатофункціональне використання продукту, наприклад об'єднання в одному апараті принтера, сканера та ксероксу;
- 3) запровадження додаткового використання, модернізації, розкомплектування продукту для використання окремих матеріалів;
- 4) розробка рециклінгу та його реалізація на виробництві.

Ефективність повторного залучення ресурсів у господарчий оборот – циклізація, або *design for recycling (DfR)* – рециркування залежить від технологічного проекту продукту або процесів. Це є одним із теоретично-практичних напрямів розвитку промислової екології [90]. Так наприклад, Розпорядження 12780 уряду США 1991 року визначало умови для придбання продукції урядовими агентствами з рециркуваних матеріалів, і заохочування постачальників до участі в програмах утилізації відходів. Статут німецького екологічного знака «Blue Angel» включає у процедуру оцінки відповідності якості продукції такі вимоги промекології:

- 1) мінімізація кількості різних матеріалів;
- 2) стратегія простоти конструкції;
- 3) уникнення використання небезпечних матеріалів;
- 4) запобігання об'єднання неоднорідних матеріалів такими способами, які ускладнюють сепарацію

За планом кінця життєвого циклу продукту розглядають варіанти його повернення у господарчу ланку завдяки 2 типам рециркування.

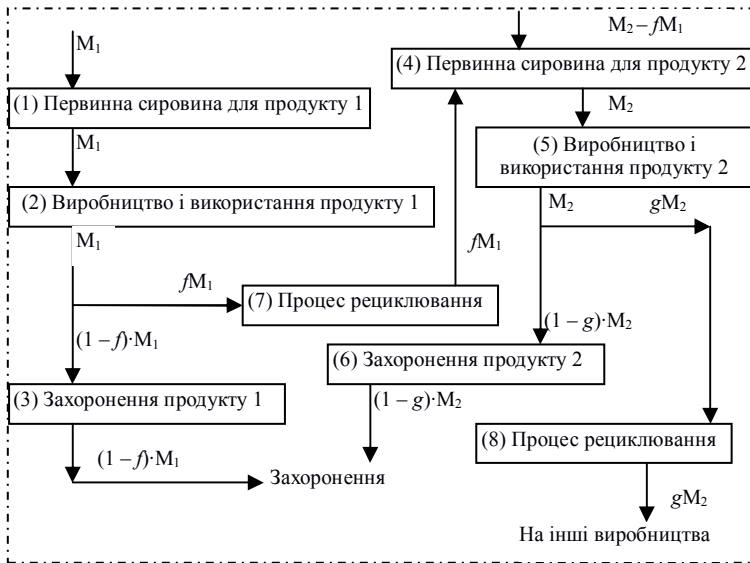
1. Замкнута петля (*closed-loop*) – горизонтальне рециркування, що передбачає продовження життя продукту на підприємстві і підготовку до захоронення непридатних залишків виробництва (рис. 1.14).



$M$  – потік маси;  $f$  – частина потоку, яка надходить на рецикування;  $\rho$  – частина потоку, непридатного для рецикування

Рисунок 1.14 – Замкнутий цикл рецикування продуктів після використання

2. Відкрита петля рецикування (*open-loop*) – спосіб каскадного рецикування з передачею продукту на інші підприємства (рис. 1.15).



$M$  – потік маси;  $f, g$  – частина потоків, які надходять на рецикування

Рисунок 1.15 – Відкритий цикл рецикування продуктів після використання

### 1.3 Послідовність проведення оцінки екоефективності (ЕЕО)

Методологія обчислення використання ресурсів на одиницю послуги чи корисного продукту на основі аналізу життєвого циклу продукції набула розвитку в Інституті Клімату, Навколишнього середовища та Енергії м. Вуппертала, Інституті «Фактор 10» (Німеччина), Європейському інституті сталого розвитку (Австрія). **Концепція MIPS** (“*Material Input Per Unit Service or Utility*”, 1992) – «матеріальний вхід на одиницю послуги чи корисного продукту» полягає у обліку всіх потоків ресурсів, необхідні виробництва продукту чи послуги усім життєвому циклі продукції – від створення до утилізації. Цьому обліку піддаються безпосередньо використані чи втрачені ресурси, і ресурси, використані під час виробництва сировини для продукції, і навіть відходи і викиди. Використані спеціальні МІ-числа (*Material Intensity*) необхідні для розрахунку кількості матеріалів на вході використовуваних ресурсів або матеріалів [38]–[40], [88]–[90]. Вони відбивають кількість використаних ресурсів на одиницю продукції.

*Етап підготовки до здійснення оцінки ефективності:*

- планування ОЕЕ;
- вибір показників для ОЕЕ – процес вибору показників відповідно до поставленої мети та завдань може включати вибір з числа існуючих показників, розробку нових показників.

*Етап виконання оцінки екоефективності:*

1. Управління даними та інформацією, що включає:
  - збір даних, що належать до обраних показників (ISO/TC 14033);
  - аналіз і перетворення даних в інформацію, що описує екологічну ефективність організації;
  - оцінку інформації, що описує екологічну ефективність організації відповідно до мети досягнення ЕЕО на виробництві;
  - підготовку звіту та передачу інформації стосовно екологічної ефективності організації виробництва.

*Етап перевірки та оцінки результатів, покращення ОЕЕ.*

Визначення індикатора MIPS відбиває дві основні ідеї екологізації господарської діяльності у регіоні:

- підвищення екоефективності господарських суб’єктів шляхом зменшення матеріальних потоків;
- використання нових інноваційних підходів та маркетингових стратегій, спрямованих на підвищення тривалості використання та якості одиниці продукції (послуги), вироблених суб’єктами господарювання.

*Питома ресурсомісткість* – кількість природних ресурсів, що вилучаються і споживаються, необхідних для виробництва одиниці кінцевої продукції, визначається відповідно до кількості споживаної сировини на одиницю готової продукції:

$$P_{\text{пит}} = \frac{M_{ci}}{M_i}, \quad (1.2)$$

де  $M_i$  та  $M_{ci}$  – маси  $i$ -го виду готової продукції та сировини, що використовується в технологічному процесі, т, т/гр. од.).

Відповідно до значення питомої ресурсомісткості відрізняють безвідходний процес –  $P_{\text{пит}} = 0,9 - 1,0$  ; маловідходний –  $P_{\text{пит}} = 0,5 - 0,9$  ; відкритий –  $P_{\text{пит}} = 0,5$  .

Основна складність у застосуванні MIPS-аналізу полягає в тому, що для повної оцінки всіх необхідних навіть нескладних коротких технологічних процесів потрібно мати дуже великий обсяг інформації. Однак, розраховані один раз МІ-числа використовуються багаторазово, можна користатися вже існуючими даними, хоча їх список постійно поповнюється і оновлюється.

Інша складність – необхідність чіткого обмеження, що саме включати в аналіз, а чим можна знехтувати. Для кожної конкретної задачі своєї послідовності введення відомих МІ-чисел окремих складових матеріального потоку чи їх розрахунку, визначення матеріального входу на одиницю готової продукції (рис. 1.16) [91].

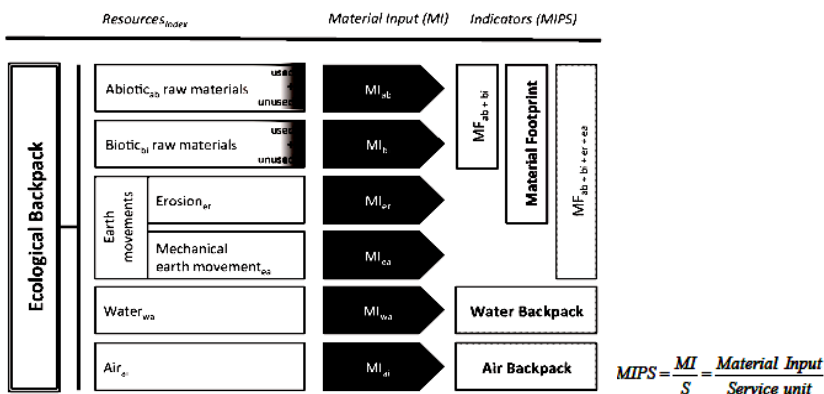


Рисунок 1.16 – Категорії ресурсів, матеріальні витрати (MI), матеріальні сліди (MF)

Процес прийняття рішень, що циклічно повторюється, відомий як Deming Cycle, Shewhart cycle, Deming Wheel, Plan-Do-Study-Act (PDCA), принцип Демінга-Шухарта, використовують в управлінні якістю, враховується для встановлення алгоритму MIPS-аналізу (рис. 1.17) [89], [92].

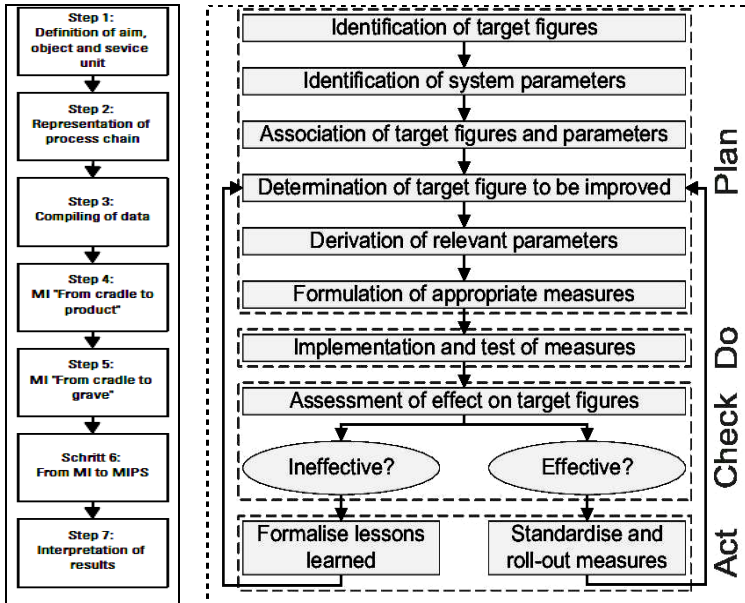


Рисунок 1.17 – Схема оцінки екоефективності відповідно до PDCA

Облік повної вартості ресурсів, витрачених на виробництві продукції, проводиться за такою узагальненою схемою. У *першу групу* використаних ресурсів BP1 включають сировину чи напівфабрикати, що безпосередньо необхідні для технологічних процесів отримання продукту. Для цього проводиться аналіз виробничих схем, технологічних карт тощо. До цієї ж групи заносять дані з витрат води та повітря, що використовуються в процесі виробництва. *Друга група* ресурсів BP2 – енергетичні, як електроенергія, та інші необхідні процесу виробництва паливні ресурси. *Третя група* BP3 – пакувальні матеріали. *Четверта група* BP4 включає ресурси, що спрямовані на доставку товару до споживача. Додатково виділяють п'яту групу BP5 – ресурси, витрачені на утилізацію продукції і пакувальних матеріалів. За цими групами на кожному етапі MIPS-аналізу

розраховується «екологічне навантаження» – ресурси, відновлювані ресурси, витрачені виробництва на ресурси, використані обсяги води, повітря (якщо змінюється його хімічний чи фізичний склад), порушені землі.

Таким чином, на кожному етапі враховуються як ресурси, безпосередньо використовувані у процесі випуску продукту/послуги, так і сумарна кількість ресурсів, витрачених на окремі компоненти в процесі виробництва, що становить такі загальні витрати:

$$BP = (BP_{1п} + BP_{1к} + BP_{2п} + BP_{2к} + BP_{3п} + BP_{3к} + BP_{4п} + BP_{4к} + BP_{5п} + BP_{5к}), \quad (1.3)$$

де «п» позначає необхідні ресурси у процесі виробництва, що входять у звітність підприємств; «к» означає опосередковано використані ресурси, чи ресурси, «прямо» витрачені на кожному етапі виробництва.

Для оцінки економічних витрат підприємства враховують вартість ресурсів помножену на їх масу, використану на кожному етапі виробництва. Побічні витрати ресурсів інших підприємств, що використовуються аналізованим підприємством, включають до повних витрат виробництва продукту/послуги. Загальну вартість ресурсів, витрачених підприємством на виробництво продукту обчислюють за формулою

$$B = (B_{1п} + B_{1к} + B_{2п} + B_{2к} + B_{3п} + B_{3к} + B_{4п} + B_{4к} + B_{5п} + B_{5к}),$$

$$B_{iп} + B_{iк} = B_j = \overline{1, N} (m_{ijп}p_{ijп} + m_{ijk}p_{ijk}), \quad (1.4)$$

де  $i$  – етап;  $j$  – ресурс;  $\overline{1, N}$  – на кожному етапі використовується від 1 до  $N$  ресурсів, що відрізняється від етапу до етапу:  $N (m_{ijп}p_{ijп} + m_{ijk}p_{ijk})$ , де  $m$  – маса витраченого ресурсу,  $p$  – ціна ресурсу.

На «виході» необхідно враховувати викиди у повітря, скиди у воду, забруднення ґрунтів, утворення твердих відходів. Така звітність запроваджена як обов'язкова на виробництвах за кордоном і має місце при відповідній звітності у нашій країні.

Матеріальний вхід MIPS-число на одиницю корисного продукту:

$$MIPS = (BP1 + BP2 + BP3 + BP4) / S, \quad (1.5)$$

де  $S$  – одиниця продукту.

Матеріальний вхід на одиницю продукції визначають під час проведення екологічного аудиту підприємств, а отримані дані враховують під час екологічної сертифікації підприємств.

## **2 Завдання до лабораторної роботи з оцінки екоефективності**

### **2.1 Основні вимоги до проведення MIPS аналізу**

**2.1.1 Об'єкт дослідження** обрати відповідно до існуючих систем моніторингу: міських територій, промислових об'єктів, сільськогосподарських територій, агропромислових комплексів. **Постановка задач дослідження обов'язкова** для визначення змісту ЕО на основі MIPS-аналізу, правильності вибору послідовності аналізу та інтерпретації отриманих результатів (див. рис. 1.15–1.17).

**Надати загальну схему об'єкта у вигляді системологічної моделі** з метою визначення напрямку проведення MIPS-аналізу (див. лекційні матеріали до модуля 1). Розробити схематичну конструкцію процесної організації об'єкта дослідження з визначенням матеріальних потоків забезпечення його функціональності за прикладом рисунка 1.18 [93].

**Визначити** основні матеріальні потоки забезпечення функціонування обраного об'єкта дослідження: ресурсні потоки, продукт/послуга, вихідні потоки щодо побічної продукції, передачі ресурсів іншим підприємствам як результат наявних технологій рециркулювання (див. рис. 1.14 і рис. 1.15), викиди, скиди, утворення відходів. Розробка IDFO і IDFI діаграм забезпечення розрахунку екоефективності системного об'єкта, побудова БД чи бази знань (БЗ) для підтримки прийняття рішень за поставленими задачами роботи (приклад надано на рис. 1.12).

**2.1.2 Обробка даних для визначення екологічної оцінки** відповідає послідовності використання інформації з проведення MIPS-аналізу [38]–[40], [88]–[93]. Обов'язково врахувати для аналітичного матеріалу для розрахунку MIPS-оцінки поділ системи даних на такі складові:

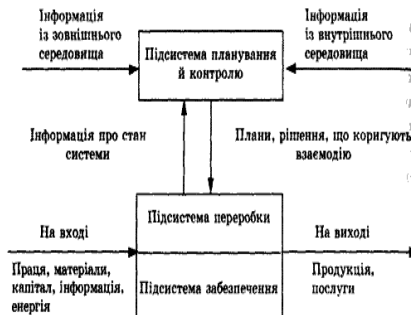
- *підготовка виробництва* – умови отримання ресурсів і їх транспортування (застосування шкідливих речовин, наявні фактори небезпеки, викиди, скиди, утворені відходи тощо);
- *основний об'єкт дослідження* (див. рис. 1.18);
- *поводження з використаним продуктом/послугою* (після виробничий період, кінець ЖЦ продукту);
- *технологічні процеси* основного виробництва, обслуговування, додаткові технології, що стосуються підготовки виробництва в техніко- чи технологічно-організаційному плані;
- *процеси та технології безпеки виробництва та природоохоронної діяльності, наприклад очисні споруди, технології рециклінгу, переробки відходів, утилізації та ін.*



а)



б)



в)

а) – загальна схема з аналізу матеріальних потоків при виробництві продукту; б) – схема вхідних і вихідних потоків забезпечення виробництва загалом для надання оцінки екоефективності; в) конкретні технології чи відділи виробництва, що впливають на MIPS-оцінку (очисні споруди, рециклювання тощо)

Рисунок 1.18 – Схеми послідовного визначення даних для MIPS-оцінки дослідженого об'єкта на прикладі розгляду операційних процесів організації виробництва

**2.1.3 Розрахунок MIPS-величин та оцінка екоефективності обраного об'єкта дослідження за алгоритмом (див. рис. 1.17):**

1) *заповнення визначеними даними з матеріальних потоків за таблицею MIPS-аналізу,*



формації; побудова системологічної моделі об'єкта дослідження, вибір моніторингу як інформаційної системи забезпечення аналізу екологічного стану досліджуваного об'єкта за MIPS-аналізом; оцінка отриманих результатів і прогноз стану об'єкта; рекомендації з вирішення екологічних питань відповідно до вимог екологічного менеджменту; список джерел інформації.

Розрахунки і отримання необхідного результату перевіряється на основі розробленого до вашої задачі алгоритму надання оцінки екоефективності. Обчислення екоефективності проводиться у вигляді роботи розробленого програмного застосунку, програми розрахунку за наданим алгоритмом чи завдяки застосуванню існуючих програмних додатків як Mathlab, Mathcad, STATISTICA та ін.

**Висновки** повинні носити конкретний характер, бути структурованими і узагальнювати результати виконаних досліджень. Висновки слід викладати з чіткою вказівкою того, що саме зроблено автором роботи: «Розглянуто... Проаналізовано... Проведено дослідження ... Розроблено базу даних... Побудовано... Аналіз показав, що... Розроблено рекомендації...».

**Звіт повинен відповідати такій послідовності надання матеріалу:** вибір об'єкта дослідження; постановка мети та задач роботи; хід виконання роботи з наданням відповідей на поставлені задачі; оцінка отриманих результатів; рекомендації з вирішення екологічних питань; висновки як отримані рішення на поставлені питання; список джерел інформації.

### Список джерел інформації

1. Практичні аспекти управління відходами в Україні. Посібник /Барінов М.О., Олексієвець І.Л., Родная Д.В., Журавель Т.В., Коломієць С.В., Козлова І.А., Пархоменко Г.П. К.: «Поліграф плюс».2021. 118 с.
2. ДСТУ ISO 14001:2015 (ISO 14001:2015, IDT) Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосування. Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2016. 30 с.
3. Що таке корпоративне управління ризиками безпеки (esrm) і які переваги для організації від застосування цього підходу? 25.01.2021. URL: <https://sksecurity.org/uk/shho-take-korporativne-upravlinnya-rizikami-bezpeki-esrm-i-yaki-perevagi-dlya-organizaczi%D1%97-vid-zastosuvannya-czogo-pidhodu-2/>
4. Pope J., Annandale D., Morrison Sanders A. Conceptualizing sustainability assessment. *Environmental Impact Assessment Review*. 2004. Vol. 24, № 6. P. 595–616.
5. Labuschagne C., Brent A.C., Ron P.G. van Erck. Assessing the sustainability performances of industries. *Journal of Cleaner Production*. 2005. Vol. 13. № 4. P. 373–385.
6. Angelakoglou K, Gaidajis G. *Journal of Cleaner Production*. 2015. Vol. 108. Part A. P. 725–747.
7. OECD, 2009. Eco-innovation in industry – Enabling green growth, Chapter 3: Tracking performance: indicators of sustainable manufacturing. *Organization for Economic Co-Operation and Development (OECD), OECD publishing*. 2009. ISBN 978-92-64-07722-5. P. 95–144.
8. Azapagic A., Perdan S. Indicators for sustainable development for industry: a general framework. *Process Safety and Environmental Protection*. 2000. Vol. 78. № 4. P. 243–261.
9. Veleva V., Ellenbecker M. Indicators of sustainable production: framework and methodology. *Journal of Cleaner Production*. 2001. Vol. 9. № 6. P. 519–549.
10. Labuschagne C., Brent A.C., Ron P.G. van Erck. Assessing the sustainability performances of industries. *Journal of Cleaner Production*. 2005. Vol. 13. № 4. P. 373–385.
11. Angelakoglou K, Gaidajis G. A review of methods contributing to the assessment of the environmental sustainability of industrial systems. *Journal of Cleaner Production*. 2015. Vol. 108. Part A. P. 725–747.

12. Spangenberg J.H., Bonniot O. Sustainability indicators – a compass on the road towards sustainability. *Wuppertal Paper*. № 81. 1998. URL: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/49138/1/250130211.pdf>.

13. Singh R. K., Murty H. R., Gupta, S. K., Dikshit A. K. An overview of sustainability assessment methodologies. *Ecological Indicators*. 2012. Vol. 15. № 1. P. 281–299.

14. Sikdar S., Schuster D., Tanzil D., Beloff B. AICHe Sustainability Index, measuring sustainability in the real world: industry experiences. Institute for Sustainability, AICHe, 2011. URL: <http://e2s2.ndia.org/schedule/Documents/Abstracts/12726.pdf>.

15. Saling P., Kicherer A., Dittrich-Kramer B., et al. Eco-efficiency analysis by BASF: The method. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2002. Vol. 7. № 4 P. 203–218.

16. Pope J., Annandale D., Morrison Sanders A. Conceptualizing sustainability assessment. *Environmental Impact Assessment Review*. 2004. Vol. 24, № 6. P. 595–616.

17. Kicherer A. Schaltegger S., Tsochochohei H., Ferreira Pozo B. Ecoefficiency. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2007. Vol. 12. P. 537.

18. Atkisson A., Hatcher R. L. The compass index of sustainability: a five year review, Draft version 3, 2005. URL: [http://compassu.files.wordpress.com/2012/03/atkisson\\_compassreview2005-v3a.pdf](http://compassu.files.wordpress.com/2012/03/atkisson_compassreview2005-v3a.pdf).

19. Hermann B. G., Kroeze C. Jawjit W. Assessing environmental performance by combining life cycle assessment, multi-criteria analysis and environmental performance indicators. *Journal of Cleaner Production*. 2007. Vol. 15. № 18. P. 1787–1796.

20. Singh R. K., Murty H. R., Gupta S. K., Dikshit A. K. Development of composite sustainability performance index for steel industry. *Ecological Indicators*. 2007. Vol. 7. № 3. P. 565–588.

21. Krajnc D., Glavic P. A. Model for integrated assessment of sustainable development. *Resources, Conservation and Recycling*. 2005. Vol. 43. № 2. P. 189–208.

22. Khan F. I., Sadiq R., Veitch B. Life cycle iNdeX (LInX): a new indexing procedure for process and product design and decisions making. *Journal of Cleaner Production*. 2004. Vol. 12. № 1. P. 59–75.

23. Atkisson A. The sustainability compass: introduction and orientation. URL: <https://compassu.wordpress.com/introduction/>.

24. Hubbard G. Measuring organizational performance: Beyond the triple bottom line approach. *Business Strategy and the Environment*. 2009. Vol. 18. № 3. P. 177–191. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/bse.564>.

25. Tugnoli A., Santarelli F., Cozzani V. An approach to quantitative sustainability assessment in the early stages of process design. *Environmental science and technology*. 2008. Vol. 42. № 12. P. 4555–4562.

26. De Benedetto L., Klemes J. The environmental performance strategy map: an integrated LCA approach to support the strategic decision-making process. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 17. P. 900–906.

27. Graedel T., Howard-Greenville J. Greening the Industrial Facilities. *New York: Springer Science and Business Media*. 2005. P. 115–126.

28. RobecoSAM AG. Dow Jones sustainability Europe index guide, S&P Dow Jones Indices, Version 2.2. 2013. Zurich, Switzerland. URL: <https://us.spindices.com/documents/methodologies/methodology-djsi-europe.pdf>.

29. FTSE. FTSE4Good index series, Online 2018. URL: <https://www.ftse.com/products/indices/FTSE4Good>.

30. OEKOM, 2018. Oekom corporate rating. Online. URL: [http://oekomresearch.eu/index\\_en.php?content=corporate-rating](http://oekomresearch.eu/index_en.php?content=corporate-rating).

31. Hinterberg F., Giljum, S., Hammer, F. Material flow accounting and analysis – A valuable tool for analyses of society-nature interrelationships, Entry prepared for the Internet Encyclopedia of Ecological Economics. 2003. URL: <http://www.isecoeco.org/pdf/material.pdf>.

32. Chu-Long Huang, Jonathan Vause, Hwong-Wen Ma, Chang-Ping Yu. Using material/substance flow analysis to support sustainable development assessment: A literature review and outlook. *Resources, Conservation and Recycling*. 2012. Vol. 68. P. 104–116.

33. Christ K. L., Burritt R. L. Material flow cost accounting: a review and agenda for future research. *Journal of Cleaner Production*. 2015. Vol. 89. Part B. P. 1378–1389. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.005>.

34. Huang C. L., Vause J., Ma H. W., Yu C. P. Using material/substance flow analysis to support sustainable development assessment: A literature review and outlook. *Resources, Conservation and Recycling*. 2012. Vol. 68. P. 104–116.

35. Мішенін Є.В., Коблянська І.І., Устік Т.В., Ярова І.Є. Еколого-орієнтоване логістичне управління виробництвом: монографія. Суми: ТОВ «Друкарський дім «Папірус», 2013. 248 с.

36. Rees W. E., Wackernagel M. Urban ecological footprints: Why cities cannot be sustainable – And why they are a key to sustainability. *Environmental Impact Assessment Review*. 1996. Vol. 16. № 4–6. P. 223–248.
37. Monfreda C., Wackernagel M., Deumling D. Establishing national natural capital accounts based on detailed ecological footprint and biological capacity assessments. *Land Use Policy*. 2004. Vol. 21. № 3. P. 231–246.
38. Schmidt-Bleek F. MIPS and ecological rucksacks in designing the future. 2nd International Symposium of Environmental Conscious Design and Inverse Manufacturing. EcoDesign. 2001. 11-15 December, Tokyo, Japan. DOI: 10.1109/ECODIM.2001.992306.
39. Sinivuori P., Saari A. MIPS analysis of natural resource consumption in two university buildings. *Building Environment*. 2006. Vol. 41. № 5. P. 657–668. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.02.022>.
40. Huang C. L., Vause J., Ma H. W. Yu C. P. Using material/substance flow analysis to support sustainable development assessment: A literature review and outlook. *Resources, Conservation and Recycling*. 2012. V. 68. P. 104–116.
41. Krotscheck C., Narodoslowsky M. The Sustainable Process Index – A new dimension in ecological evaluation. *Ecological Engineering*. 1996. Vol. 6. № 4. P. 241–258.
42. Narodoslowsky M., Krotscheck C. Integrated ecological optimization of processes with the sustainable process index. *Waste Management*. 2000. Vol. 20. № 8. P. 599–603.
43. Narodoslowsky M., Krotscheck Ch. What can we learn from ecological valuation of processes with the sustainable process index (SPI) – the case study of energy production systems. *Journal of Cleaner Production*. 2004. Vol. 12. № 2. P. 111–115.
44. Hoekstra A.Y., Chapagain A.K., Aldaya M.M., Mekonnen M.M. Water footprint manual – state of the art 2009, *Water Footprint Network, Enschede, The Netherlands*. 2009. URL: <http://waterfootprint.org/media/downloads/WaterFootprintManual2009.pdf>.
45. Hoekstra A.Y., Chapagain A.K., Aldaya M.M., Mekonnen M.M. The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard, *Water Footprint Network, Enschede, The Netherlands*. 2011. URL: [http://waterfootprint.org/media/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual\\_2.pdf](http://waterfootprint.org/media/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual_2.pdf).

46. Huijbregts M.A.J., Rombouts L.J.A., Hellweg S., et al. Is cumulative fossil energy demand a useful indicators for the environmental performance of products? *Environmental science and technology*. 2006. Vol. 40. № 3. P. 641–648.
47. Bösch M.E., Hellweg S., Huijbregts M.A., Frischknecht R. Applying cumulative exergy demand (CExD) indicators to the ecoinvent database. *International Journal of Life Cycle Assessment*. 2007. Vol. 12. № 3. P. 181–190.
48. Brown M.T., Herendeen R.A. Embodied energy analysis and EMERGY analysis: a comparative view. *Ecological Economics*. 1996. Vol. 19. № 3. P. 219–235.
49. Dixit M.K., Fernandez-Solis J.L., Lavy S., Culp C.H. Identification of parameters for embodied energy measurement: A literature review. *Energy and Buildings*. 2010. Vol. 42. № 8. P. 1238–1247.
50. Brown, M.T., Ugliati, S. Energy quality, emergy and transformity: H. T. Odum's contributions to quantifying and understanding systems. *Ecological Modelling*. 2004. Vol. 178. № 1–2. P. 201–213.
51. Hau J.L., Bakshi B.R. Promise and problems of emergy analysis. *Ecological Modelling*. 2004. Vol. 178. № 1–2. P. 215–225.
52. Geng Y., Zhang P., Ugliati S., Sarkis J. Emergy analysis of an industrial park: The case of Dalian, China. *Science of The Total Environment*. 2010. Vol. 408. № 22. P. 5273–5283.
53. Rosen M.A., Dincer I., Kanoglu M. Role of exergy in increasing efficiency and sustainability and reducing environmental impact. *Exergy Policy*. 2008. Vol. 36. № 1. P. 128–137.
54. Dincer I., Rosen, M.A., Al-Zareer M. 5.5 Exergy Management. *Comprehensive Energy Systems*. 2018. Vol. 5. P. 166–201.
55. Буяк Н. А. Енергоефективність системи «джерело теплоти – людина – огорожувальні конструкції будівлі»: дис. на здобуття наукового ступеня канд. тех. наук: 05.14.01 / Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, 2017. 214 с.
56. Bühler F., Nguyen T.-V., Elmegaard, B. Energy and exergy analyses of the Danish industry sector. *Applied Energy*. 2016. Vol. 184. P. 1447–1459.
57. Fellaou S., Bounahmidi T. Analyzing thermodynamic improvement potential of a selected cement manufacturing process: Advanced exergy analysis. *Energy*. 2018. Vol. 154. P. 190–200.

58. ДСТУ ISO 14040:2013. Оцінювання життєвого циклу. Принципи та структура/ (ISO 14040:2006, IDT). Київ: Мінекономрозвитку України, 2014. 22 с.

59. Pandey D., Agrawal M., Pandey J.S. Carbon footprint: current methods of estimation. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2011. Vol. 178. № 1–4. P. 135–60.

60. WRI/WBCSD, 2004. The greenhouse gas protocol: A corporate accounting and reporting standard revised edition. Geneva: World Business Council for Sustainable Development and World Resource Institute. 2004. URL: [http://pdf.wri.org/ghg\\_protocol\\_2004.pdf](http://pdf.wri.org/ghg_protocol_2004.pdf).

61. Weber C.L., Matthews H.S. Quantifying the global and distributional aspects of American household carbon footprint. *Ecological Economics*. 2008. Vol. 66, № 2–3. P. 379–391.

62. Scholz R.W. Assessment of land use impacts on the natural environment. Part 1: An analytical framework for pure land occupation and land use change. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2007. Vol. 12. № 1. P. 16–23.

63. Koellner T., Scholz R.W. Assessment of land use impacts on the natural environment. Part 2: Generic characterization factors for local species diversity in central Europe. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2008. Vol. 13. № 1. P. 32–48.

64. Traverso M., Asdrubali F., Francia A., Finkbeiner M. Towards life cycle sustainability assessment: an implementation to photovoltaic modules. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2012. Vol. 17. № 8. P. 1068–1079.

65. Sustainability Dashboard. URL: <http://green2sustainable.com/#analyze>, (accessed 09.08.2018).

66. Scipioni A., Mazzi A., Mason M., Manzardo A. The Dashboard of Sustainability to measure the local urban sustainable development: The case study of Padua Municipality. *Ecological Indicators*. 2009. Vol. 9. № 2. P. 364–380.

67. Muazu R.I., Rothman, R. Integrating life cycle assessment and environmental risk assessment: a critical review. *Journal of Cleaner Production*. 293. 126120. URL: <https://eprints.whiterose.ac.uk/176292/> (2021); <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126120>.

68. Saouter E., Biganzoli F., Ceriani L., Versteeg D., Crenna E., Zampori L., Sala S., Pant R. Environmental Footprint: Update of Life Cycle Impact

Assessment Methods – Ecotoxicity freshwater, human toxicity cancer, and non-cancer. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2020. 120 p.

69. European Commission. Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context , ILCD handbook, International Reference Life Cycle Data System, European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, Ispa, Italy. 2011. URL: <http://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/ILCD-Handbook-Recommendations-for-Life-Cycle-Impact-Assessment-in-the-European-context.pdf>.

70. Charis M Galanakis Environmental Impact of Agro-Food Industry and Food Consumption. Academic Press, 2020. 308 p. URL: <https://books.google.com.ua/>

71. T Grant–2019 Global Guidance on Environmental Life Cycle Impact Assessment Indicators – Volume 2. URL: <https://agritrop.cirad.fr/597747/ID597747.pdf>.

72. SimaPro Database Manual, Methods Library, February 2018, Report Version 4.1. Pre Consultants, The Netherlands. URL: <http://www.pre.nl/download/manuals/DatabaseManualMethods.pdf> (accessed 09.08.18).

73. Carvalho A., Mimoso A. F., Mendes A. N., Matos H. A. From a literature review to a framework for environmental process impact assessment index. *Journal of Cleaner Production*. 2014. Vol. 64. P. 36–62.

74. Mansell P., Philbin S. Measuring Sustainable Development Goal Targets on Infrastructure Projects. *The Journal of Modern Project Management*. 2020. Vol. 8. № 1. P. 42–63.

75. Jolliet O.; Margni M.; Charles R.; Humbert S.; Payet J.; Rebitzer G.; Rosenbaum R. IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2003. Vol. 8. № 6. P. 324–330.

76. Itsubo N., Inaba A. A New LCIA Method: LIME has been completed, JLCA corner. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2003. Vol. 8. № 5. P. 305–305.

77. Tool for Reduction and Assessment of Chemicals and Other Environmental Impacts (TRACI). URL: <https://www.epa.gov/chemical-research/tool-reduction-and-assessment-chemicals-and-other-environmental-impacts-traci>, Last updated on september 29, 2021.

78. Gengyuan Liu, Xinan Yin, Walter Pengue, et al. Environmental accounting: In between raw data and information use for management practices. *Journal of Cleaner Production*. 2018. Vol. 197. Part 1. P. 1056–1068.

79. Tadhg O'Mahony Cost-Benefit Analysis and the environment: The time horizon is of the essence. *Environmental Impact Assessment Review*. Vol. 89 (2021) 106587. 9 p. URL: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2021.106587>.

80. Carolus J.F., Hanley N., Olsen, S. B., Pedersen S. M. A Bottom-up Approach to Environmental Cost-Benefit Analysis. *Ecological Economics*. 2018. Vol. 152. P. 282–295.

81. Sajise A.J., Samson J. N., Quiao L., Sibal J., Raitzer David A., Harde D. Contingent Valuation of nonmarket Benefits in Project Economic Analysis a Guide to good Practice. Asian Development Bank. 2021. 210 p. URL: <https://www.adb.org/sites/default/files/publication/761816/valuation-nonmarket-benefits-project-economic-analysis-guide.pdf>.

82. Possible Implications of the Relationship between Environmental Management Accounting Techniques and Sustainable Competitive Advantage. *International Journal of Innovation, Creativity and Change*. www.ijicc.net Volume 13, Issue 5, 2020.13 p. URL: [https://www.ijicc.net/images/vol\\_13/Iss\\_5/13510\\_Allawi\\_2020\\_E\\_R.pdf](https://www.ijicc.net/images/vol_13/Iss_5/13510_Allawi_2020_E_R.pdf).

83. Schmidt M., Nakajima M. Material flow cost accounting as an approach to improve resource efficiency in manufacturing companies. *Resources. Open access*. 2013. Vol. 2. P. 358–369. URL: <http://www.mdpi.com/2079-9276/2/3>.

84. WMRC, 1998. Strengthening corporate commitment to pollution prevention in Illinois: concepts and case studies of Total Cost Assessment. Telus Institute, Illinois Waste Management and Research Center, Authority of the State of Illinois, 98/150, *WMRC Technical Report series*. URL: <https://www.ideals.illinois.edu/bitstream/handle/2142/2041/tr30.pdf>.

85. Curkovic S., Sroufe R. Total quality environmental management and total cost assessment: An exploratory study. *International Journal of Production Economic*. 2007. Vol. 10. № 2. P. 560–579.

86. «Щодо запровадження індикаторів сталого розвитку». Аналітична записка Національний інститут стратегічних досліджень (НІСД) URL: <https://niss.gov.ua/doslidzhennya/nacionalna-bezpeka/schodo-zaprovadzhennya-indikatoriv-stalogo-rozvitku-analitichna>.

87. BSD Global. 2013. Eco-efficiency: Strategies and tools. URL: [http://www.iisd.org/business/tools/bt\\_eco\\_eff.aspx](http://www.iisd.org/business/tools/bt_eco_eff.aspx).

88. Life cycle assessment of offshore and onshore sited wind power plants based on Vestas V90-3.0 MW turbines. Vestas Wind System A/S, Denmark, 2006. 60 p. URL: [www.vestas.com](http://www.vestas.com).

89. Ritthoff M., Rohn H., Liedtke Ch. Calculating MIPS: Resource productivity of products and services. All content following this page was uploaded by Christa Liedtke on 02 January 2014. URL: <https://www.researchgate.net/publication/241770071>.

90. Бедрій Я.І., Білінський Б.О., Івах Р.М., Козяр М.М. Промислова екологія. К.: Кондор, 2018. 374 с.

91. Liedtke Ch., Bienge K., Wiesen K., Teubler J., Greiff K., Lettenmeier M., Rohn H. Resource Use in the Production and Consumption System – The MIPS Approach. *Resources* 2014. № 3. P. 544-574.

92. Putz M., Götze U., Stoldt J., Franz E. Fostering energy efficiency by way of a techno-economic framework. All content following this page was uploaded by Johannes Stoldt on 28 October 2016. URL: <https://www.researchgate.net/publication/299337006>.

93. Максимів Л.І. Роль еко-контролінгу у формуванні систем екологічного менеджменту на промислових підприємствах. *Науковий Вісник НЛТУ України*. 2014. Вип. 24.5 С. 87–96.

ДОДАТОК А

**MATERIAL INTENSITY OF MATERIALS, FUELS, TRANSPORT SERVICES, FOOD**

Таблиця А.1 – Інформаційний ресурс для виконання розрахунків

Сайт методу	Розробник	Зміст
www.faktor10.at	Factor 10 Institute, Austria	Фактор 10, ресурсна продуктивність, MIPS
www.mips-online.info	Wuppertal Institute	Ресурсна продуктивність, МІ числа, MIPS
www.pius-info.de	Effizienz-Agentur NRW	Виробничо-інтегрована політика в галузі охорони навколишнього середовища
http://ces.ecoefficiency.spb.ru	St. Petersburg Center for Environmental Strategies, Russia	Список МІ чисел, проекти і консультування в галузі еко-ефективності та MIPS-аналіза

Таблиця А.2 – Значення МІ-чисел

name Name	specification Spezifikation	Material intensity [kg/kg] / Materialintensität [kg/kg]						region Regionaler Bezug
		abiotic material abiotische Rohstoffe	biotic material biotische Rohstoffe	water Wasser	air Luft	earth movement in agriculture and silviculture Bodenbewegung in Land- und Forstwirtschaft		
						emission Emission	mechanical earth movement mechanische Bodenbearbeitung	
<b>Basic materials / Mineralische Grundstoffe</b>								
alumina Aluminiumoxid	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; Bayer process Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; Bayer-Verfahren	7,43		58,62	0,45			Germany
borax Borax	synthetic synthetisch (Na <sub>2</sub> O*2B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *10H <sub>2</sub> O)	5,75		13,02	0,43			Germany
boric acid Borsäure	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *3H <sub>2</sub> O B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *3H <sub>2</sub> O	7,61		16,15	1,08			Germany
china clay Kaolin		3,05		2,46	0,08			Germany
diabase Diabas	crushed gebrochen	1,42		6,13	0,05			Germany
	grinded gemahlen	1,65		10,28	0,08			Germany
diamonds Diamanten	estimated abgeschätzt	5.260.000,00						South Africa
fluorspar Flussspat	CaF <sub>2</sub> CaF <sub>2</sub>	2,93		7,92	0,06			Europe
graphite Graphit		20,06		306,25	5,70			Canada
gypsum Gips	grinded gemahlen	1,83		10,30	0,06			Germany
lime Kalk	limestone / dolomite; crushed Kalkstein / Dolomit; gebrochen	1,44		5,56	0,03			Germany
	limestone / dolomite; grinded Kalkstein / Dolomit; gemahlen	1,66		9,71	0,06			Germany
	caustic lime, CaO; crushed Brennalkali; gebrochen	3,12		12,76	0,10			Germany
	caustic lime, CaO; grinded Brennalkali; gemahlen	3,23		14,68	0,12			Germany
	calcium hydroxide Kalkhydrat	2,46		11,65	0,09			Germany
potassium nitrate Kaliumnitrat	KNO <sub>3</sub>	8,20		59,00	0,70			World
rock salt Steinsalz	NaCl NaCl	1,24		2,29	0,02			Germany
sand Sand	quartz sand Quarzsand	1,42		1,43	0,03			Germany
soda Soda	heavy, synthetic, Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> schwer, synthetisch, Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	4,46		27,72	1,02			Germany

Продовження табл. А.2

name Name	specification Spezifikation	Material intensity [kg/kg] / Materialintensität [kg/kg]					earth movement in agriculture and arboriculture Bodenbewegung in Land- und Forstwirtschaft	mechanical earth movement mechanische Bodenbearbeitung	region Regionaler Bezug
		abiotic material abiotische Rohstoffe	biotic material biotische Rohstoffe	water Wasser	air Luft	emission Emission			
<b>Energy, fuels and plants [kg/kWh] / Energie, Brennstoffe und Kraftwerke [kg/kWh]</b>									
electricity Elektrizität	electrical power mix 2008 (public network) elektrischer Strommix 2008 (öffentliche Netz)	3,15	0,04	57,64	0,514				Germany
	electrical power (industrial customer generation) elektrischer Strom (industrielle Eigenzeugung)	2,67		37,92	0,640				Germany
countries Länder	electrical power, European OECD Countries elektrischer Strom europäische OECD-Länder	1,58		63,83	0,425				Europe
	electrical power, all OECD Countries elektrischer Strom alle OECD-Länder	1,55		66,73	0,535				World
Lignite fired power plant Braunkohlekraftwerk	electricity from lignite elektrischer Strom aus Braunkohle	12,11		122,44	0,875				Germany
Hard coal fired power plant Steinkohlekraftwerk	electricity from hard coal elektrischer Strom aus Steinkohle	3,14		59,33	0,779				Germany
wind farm Windpark	80x5MW, offshore (HVDC, at grid connection point inland) 80x5MW, offshore (HVDC, ab inländischem Netzanschluss)	0,10		0,84	0,009				Germany
	12x5 MW offshore (HVAC, at grid connection point inland) 12x5MW, offshore (HVAC, ab inländischem Netzanschluss)	0,16		0,95	0,008				Germany
	12x5MW onshore (asynchronous, at grid connection point inland) 12x5MW, onshore (HVAC, ab inländischem Netzanschluss)	0,09		0,84	0,008				Germany
biogas plant Biogasanlage	400kW, without heat extraction, at grid connection point 400kW, ohne Wärmenutzung, ab Netzanschluss	0,60	2,97	1,75	0,950		0,35		Germany
concentrated solar power Sonnenturmkraftwerk	Parabolic trough, at UCTE grid connection Parabolspiegelmkraftwerk	0,21		6,46	0,001				MENA
	Fresnel reflectors, at UCTE grid connection Fresnel-Spiegelmkraftwerk	0,20		9,18	0,013				MENA
	Central Receiver, at UCTE grid connection Selturmkraftwerk	0,12		4,93	0,009				MENA
<b>Energy and fuels (without combustion air) [kg/kg] / Energie und Brennstoffe (ohne Verbrennungsluft) [kg/kg]</b>									
crude oil Erdöl		1,22		4,28	0,01				Germany
diesel oil Diesel	H <sub>2</sub> : 42,8 MJ/kg H <sub>2</sub> : 42,8 MJ/kg	1,36		9,70	0,02				Germany
hard coal Steinkohle	H <sub>2</sub> : 29,4 MJ/kg H <sub>2</sub> : 29,4 MJ/kg	2,36		9,12	0,05				Germany
	German import mix; H <sub>2</sub> : 27,5 MJ/kg deutscher Importmix; H <sub>2</sub> : 27,5 MJ/kg	2,11		9,12	0,50				Germany
	H <sub>2</sub> : 26,37 MJ/kg H <sub>2</sub> : 26,37 MJ/kg	17,15		3,66	0,02				Australia
	H <sub>2</sub> : 27 MJ/kg H <sub>2</sub> : 27 MJ/kg	1,47		6,70	0,03				Germany
	H <sub>2</sub> : 23,25 MJ/kg H <sub>2</sub> : 23,25 MJ/kg	5,06		4,58	0,02				World
	H <sub>2</sub> : 24,9 MJ/kg H <sub>2</sub> : 24,9 MJ/kg	7,70		1,86	0,01				South Africa
	H <sub>2</sub> : 23,2 MJ/kg H <sub>2</sub> : 23,2 MJ/kg	6,11		3,11	0,02				USA
	H <sub>2</sub> : 21,1 MJ/kg H <sub>2</sub> : 21,1 MJ/kg	1,64		3,85	0,01				China
	H <sub>2</sub> : 23,44 MJ/kg H <sub>2</sub> : 23,44 MJ/kg	7,40		9,99	0,05				Russia
	H <sub>2</sub> : 24,9 MJ/kg H <sub>2</sub> : 24,9 MJ/kg	2,15		12,88	0,04				Poland
	H <sub>2</sub> : 20 MJ/kg H <sub>2</sub> : 20 MJ/kg	1,75		9,60	0,03				Ukraine
	H <sub>2</sub> : 27,83 MJ/kg H <sub>2</sub> : 27,83 MJ/kg	15,32		3,25	0,02				Canada
	H <sub>2</sub> : 24,1 MJ/kg H <sub>2</sub> : 24,1 MJ/kg	5,97		5,31	0,02				UK
	H <sub>2</sub> : 20,8 MJ/kg H <sub>2</sub> : 20,8 MJ/kg	4,90		4,31	0,02				India
heating oil Heizöl	light; H <sub>2</sub> : 42,8 MJ/kg el; H <sub>2</sub> : 42,8 MJ/kg	1,36		9,45	0,02				Germany
	heavy; H <sub>2</sub> : 40,7 MJ/kg S; H <sub>2</sub> : 40,7 MJ/kg	1,50		11,45	0,03				Germany
lignite Braunkohle	H <sub>2</sub> : 8,8 MJ/kg H <sub>2</sub> : 8,8 MJ/kg	9,68		9,25	0,02				Germany
natural gas Erds gas	H <sub>2</sub> : 41 MJ/kg H <sub>2</sub> : 41 MJ/kg	1,22		0,50	0,00				Germany
steam Dampf	16 bar; 3,117 MJ/kg 16 bar; 3,117 MJ/kg	0,39		1,61	0,24				Germany
	4 bar; 3,060 MJ/kg 4 bar; 3,060 MJ/kg	0,39		1,60	0,24				Germany

Продовження табл. А.2

name Name	specification Spezifikation	Material intensity [kg/kg] / Materialintensität [kg/kg]						earth movement in agriculture and silviculture Bodenbewegung in Land- und Forstwirtschaft		region Regionaler Bezug
		abiotic material abiotische Rohstoffe	biotic material biotische Rohstoffe	water Wasser	air Luft	emissions Emissionen	mechanical earth movement mechanische Bodenbearbeitung			
<b>Combustion air (except crude oil and steam) / Verbrennungsluft (außer Erdöl und Dampf)</b>										
<p>Combustion air. All the above energy and fuels specifications are entered without combustion air. When combustibles are burned, additional air (oxygen) is transformed. The amount of air needed for the burning process is listed within the adjoining column.</p> <p>Verbrennungsluft: Alle Angaben bei den Brennstoffen sind ohne Verbrennungsluft. Werden die Brennstoffe verbrannt so wird hierzu zusätzliche Luft (Sauerstoff) umgesetzt. Die benötigten Luftmengen sind nebenstehend aufgeführt.</p>	diesel oil Diesel		H <sub>2</sub> : 42,8 MJ/kg H <sub>2</sub> : 42,8 MJ/kg				3,20			Germany
	gasoline Benzin						3,19			Germany
	hard coal Steinkohle		H <sub>2</sub> : 29,4 MJ/kg H <sub>2</sub> : 29,4 MJ/kg H <sub>2</sub> : 27,5 MJ/kg H <sub>2</sub> : 27,5 MJ/kg				2,31			Germany
			H <sub>2</sub> : 26,37 MJ/kg H <sub>2</sub> : 27 MJ/kg				2,20			Germany
			H <sub>2</sub> : 26,37 MJ/kg H <sub>2</sub> : 27 MJ/kg				2,07			Australia
			H <sub>2</sub> : 27 MJ/kg				2,12			Germany
			H <sub>2</sub> : 23,25 MJ/kg H <sub>2</sub> : 23,25 MJ/kg				1,83			world
			H <sub>2</sub> : 24,9 MJ/kg H <sub>2</sub> : 24,9 MJ/kg				1,96			South Africa
			H <sub>2</sub> : 25,2 MJ/kg H <sub>2</sub> : 25,2 MJ/kg				1,98			USA
			H <sub>2</sub> : 21,1 MJ/kg H <sub>2</sub> : 21,1 MJ/kg				1,66			China
			H <sub>2</sub> : 23,44 MJ/kg H <sub>2</sub> : 23,44 MJ/kg				1,84			Russia
			H <sub>2</sub> : 24,9 MJ/kg H <sub>2</sub> : 24,9 MJ/kg				1,96			Poland
			H <sub>2</sub> : 20 MJ/kg H <sub>2</sub> : 20 MJ/kg				1,57			Ukraine
			H <sub>2</sub> : 27,83 MJ/kg H <sub>2</sub> : 27,83 MJ/kg				2,19			Canada
			H <sub>2</sub> : 24,1 MJ/kg H <sub>2</sub> : 24,1 MJ/kg				1,89			UK
			H <sub>2</sub> : 20,8 MJ/kg H <sub>2</sub> : 20,8 MJ/kg				1,63			India
	heating oil, light Heizöl, el		H <sub>2</sub> : 42,8 MJ/kg H <sub>2</sub> : 42,8 MJ/kg				3,19			Germany
	heating oil, heavy Heizöl, S		H <sub>2</sub> : 40,7 MJ/kg H <sub>2</sub> : 40,7 MJ/kg				3,02			Germany
	lignite Braunkohle		H <sub>2</sub> : 8,8 MJ/kg H <sub>2</sub> : 8,8 MJ/kg				0,66			Germany
	natural gas Erdgas		H <sub>2</sub> : 41 MJ/kg H <sub>2</sub> : 41 MJ/kg				3,64			Germany

name Name	specification Spezifikation	Material intensity [kg/kg] / Materialintensität [kg/kg]						earth movement in agriculture and silviculture Bodenbewegung in Land- und Forstwirtschaft		region Regionaler Bezug
		abiotic material abiotische Rohstoffe	biotic material biotische Rohstoffe	water Wasser	air Luft	emissions Emissionen	mechanical earth movement mechanische Bodenbearbeitung			
sorbitol Sorbitol			1,10		22,75	1,61				Germany
starch Stärke			1,07		22,09	1,56				Germany
styrene Styrol			5,91		41,96	2,86				Germany
sodium hydroxid Natriumhydroxid (Natronlauge)	NaOH		2,76		90,31	1,06				Europe
sodium silicate (waterglass) Wasserglas	solution 35% Lösung 35%		1,18		6,30	0,29				Germany
soot Ruß			2,58		7,13	2,54				UK
sulfuric acid Schwefelsäure	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		0,25		4,10	0,70				Germany
terephthalic acid Terephthalsäure			4,85		141,71	2,58				Europe
toluole diisocyanate, TDI Toluol Diisocyanat			8,56		490,58	4,09				Europe
hydrochloric acid Salzsäure	HCl, 37%		3,03		40,66	0,38				Germany
hydrogen Wasserstoff	chlorine-alkali-electrolysis Chlor-Alkali-Elektrolyse		2,52		93,69	0,70				Europe
urea Harnstoff	CH <sub>4</sub> N <sub>2</sub> O		3,45		44,60	1,82				Germany

Продовження табл. А.2

name Name	specification Spezifikation	Material intensity [kg/kg] / Materialintensität [kg/kg]						region Regionaler Bezug
		abiotic material abiotische Rohstoffe	biotic material biotische Rohstoffe	water Wasser	air Luft	earth movement in agriculture and silviculture Bodenbewegung in Land- und Forstwirtschaft		
						erosion Erosion	mechanical earth movement mechanische Bodenbearbeitung	
<b>Chemicals / Chemikalien</b>								
acetone Aceton	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O		3,19		18,72	1,89		Germany
acrylonitril Acrylnitril			2,56		93,23	5,05		Europe
allyl chloride Allylchlorid			6,93		140,71	2,44		Europe
aluminium chloride Aluminiumchlorid	AlCl <sub>3</sub>		8,61		110,63	1,15		Germany
ammonia Ammoniak	NH <sub>3</sub>		1,85		10,11	5,04		Europe
aniline, aminobenzen Anilin	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> N		8,21		148,83	3,83		Germany
benzene Benzol	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>		4,32		28,23	2,19		Germany
bisphenol-A Bisphenol-A			5,00		88,45	2,52		Europe
chlorine Chlor	Cl <sub>2</sub>		3,84		100,90	1,09		Europe
dimethylformamide Dimethylformamid			1,53		5,29	3,72		Europe
diphenylmethane diisocyanate; MDI Diphenylmethan Diisocyanat			5,20		440,84	3,89		Europe
epichlorohydrin Epichlorohydrin	C <sub>3</sub> H <sub>5</sub> ClO		15,42		319,47	5,68		Europe
ethylene benzol Ethylbenzol			4,45		30,53	2,19		Europe
ethylene Ethylen	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>		3,89		25,76	1,96		Germany
ethylene glycol Ethylen glykol			2,90		133,46	2,29		Europe
formaldehyde, methanal Formaldehyde			1,11		29,98	0,98		Germany
fumaric acid Fumarsäure	from maleic acid aus Maleinsäure		7,28		313,70	0,75		Europe
	from maleic acid anhydride aus Maleinsäureanhydrid		3,23		140,15	0,90		Europe
isobutyraldehyde Isobutyraldehyd			2,21		7,88	1,07		Europe
maleic acid Maleinsäure			5,01		216,68	3,54		Europe
maleic acid anhydride Maleinsäureanhydrid			2,80		118,29	0,59		Europe
methane Methan			1,38		1,99	3,90		Europe
methanol Methanol			1,67		4,46	3,87		Europe
naphtha Naphtha			1,69		13,88	0,05		Germany
neopentylglycol Neopentylglykol			1,81		15,77	0,96		Europe
nitrobenzene Nitrobenzol			4,95		93,13	2,70		Germany
nitrogen Stickstoff	liquid flüssig		0,81		33,18	1,22		Europe
	gas gasförmig		0,19		7,66	1,05		Europe
oxygen Sauerstoff	liquid flüssig		4,66		1.084,61	2,50		Germany
	gas gasförmig		2,58		137,02	1,70		Europe
pentane Pentan			1,98		109,69	2,15		Europe
phenol Phenol			3,19		18,72	1,89		Germany
phosgene Phosgen	CCl <sub>2</sub> O		4,95		125,25	0,61		Germany
polyacrylonitrile; PAN Polyacrylnitril			14,22		351,19	10,52		Europe
polyether polyole Polyätherpolyol (Polyol)			8,27		465,92	3,51		Europe
poly methylene di(phenylisocyanate); PMDI			9,53		167,36	2,90		Germany
propylene acid Propylensäure			4,61		24,24	3,32		Germany
propylene, PP Propylen			1,74		87,55	1,49		Europe
p-xylene p-Xylol			5,82		50,79	2,94		Europe

Продовження табл. А.2

name Name	specification Spezifikation	Material intensity [kg/kg] / Materialintensität [kg/kg]						region Regionaler Bezug
		abiotic material abiotische Erdstoffe	biotic material biotische Erdstoffe	water Wasser	air Luft	earth movement in agriculture and silviculture Bodenbewegung in Land- und Forstwirtschaft		
						erosion Erosion	mechanical earth movement mechanische Bodenbearbeitung	
<b>Plastics / Kunststoffe</b>								
acrylonitrile-butadiene-styrene, ABS Acrylnitril-Butadien-Styrol		3,97		206,89	3,75			Europe
polystyrene, PS Polystyrol	general purpose, GPPS allgemeine Anwendung	2,51		164,04	2,80			Europe
	expanded polystyrene granulate, EPS Expandierte Polystyrol Granulat	2,50		137,68	2,47			Europe
	high impact, HIPS hochschlagfest	2,78		175,26	3,15			Europe
polyamid, PA Nylon	PA 6.6	5,51		921,03	4,61			Europe
polycarbonate, PC Polycarbonat		6,94		212,19	4,70			Europe
polyethylene PE Polyethylen	foam Folie	3,01		167,60	1,84			Europe
	high density, HDPE hohe Dichte	2,52		105,85	1,90			Europe
	low density, LDPE geringe Dichte	2,49		122,20	1,62			Europe
	linear low density, LLDPE lineare PE niedere Dichte	2,12		162,13	2,80			Europe
polyethylene terephthalat, PET Polyethylen-terephthalat	granulate Granulat	6,00		205,00	3,50			Europe
	bottle grade für Flaschen	6,30		230,00	3,50			Europe
	rPET (estimation), Resource Recovery Cooperation Process rPET (Abschätzung)	0,99		16,47	0,24			Europe
polypropylene, PP Polypropylen	granulate Granulat	2,09		35,80	1,48			Europe
	injection moulding Spritzguss	4,24		205,48	3,37			Europe
polytetrafluorethylene, PTFE Polytetrafluorethylen		18,81		456,95	6,37			Europe
polyvinyl chloride, PVC Polyvinylchlorid	foam Schaum	17,34		679,38	11,57			Europe
	bulk Bulk	3,47		305,29	1,70			Europe
	emulsified emulgiert	3,65		197,54	2,46			Europe
	suspended suspendiert	3,33		176,57	1,69			Europe
	styrol butadien rubber, SBR Styrol Butadien Kautschuk		5,70		146,00	1,65		
<b>Resins / Kunstharze</b>								
epoxy resin Epoxidharz		13,73		289,88	5,50			Europe
polyester Polyester	resin Harz, Gelcoat Außenschutz	5,11		188,04	2,89			Europe
	resin Harz, Gelcoat Innenschutz	4,32		166,96	2,43			Europe
	resin Harz, Iso-NPG	5,40		208,72	3,21			Europe
	resin Harz, OS	5,62		235,44	3,46			Europe
<b>Mineral fertilizer / Mineraldünger</b>								
calcium ammonium nitrate Kalkammonsalpeter	mixture of CaCO <sub>3</sub> and NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> Mischung aus CaCO <sub>3</sub> und NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	5,48		39,25	2,19			Germany
diammonium phosphate Diammonphosphat		7,07		50,84	3,57			Germany
liquid ammonium nitrate urea, LAU Ammoniumnitrat-Harnstofflösung; AHL		1,43		58,01	0,99			Germany
(mono)ammonium phosphate Monoammonphosphat		7,36		50,57	3,68			Germany
triple superphosphate Triplephosphat		3,44		23,26	1,29			Germany
potassic fertilizer Kalidünger	60% K <sub>2</sub> O	11,32		10,62	0,07			Germany

Продовження табл. А.2

name Name	specification Spezifikation	Material intensity [kg/kg] / Materialintensität [kg/kg]						region Regionaler Bezug
		abiotic material abiotische Rohstoffe	biotic material biotische Rohstoffe	water Wasser	air Luft	earth movement in agriculture and silviculture Bodenbewegung in Land- und Forstwirtschaft		
						erosion Erosion	mechanical earth movement mechanische Bodenbearbeitung	
<b>Construction materials / Baustoffe</b>								
brick Ziegel	lightweight clay brick (polystyrene) / solid clay brick porosierte Leichtziegel (Polystyrol) / Vollziegel	2,11		5,74	0,05			Germany
	lightweight clay brick (saw dust) porosierte Leichtziegel (Sägenzahn)	1,97		5,42	0,04			Germany
	roofing tile Dachziegel	2,11		5,30	0,07			Germany
cellular concrete Porenbeton	400 kg/m <sup>3</sup>							
	400 kg/m <sup>3</sup>	2,51		14,98	0,26			Germany
	500 kg/m <sup>3</sup>							
	500 kg/m <sup>3</sup>	2,28		13,42	0,22			Germany
	500 kg/m <sup>3</sup> ; statically reinforced							
	500 kg/m <sup>3</sup> ; bewehrt	2,64		14,62	0,28			Germany
	600 kg/m <sup>3</sup>							
cement Zement	600 kg/m <sup>3</sup>	2,10		11,49	0,17			Germany
	600 kg/m <sup>3</sup> ; statically reinforced							
	600 kg/m <sup>3</sup> ; bewehrt	2,37		12,15	0,23			Germany
	Portland cement Portland-Zement	3,22		16,94	0,33			Germany
	Portland blast-furnace cement Eisenportl.-Zement (72% Portl.-Zement; 24% Hüttensand; 4% Gips)	2,79		18,82	0,30			Germany
concrete Beton	blast-furnace cement Hüttenszement (40% Portl.-Zement; 56% Hüttensand; 4% Gips)	2,22		21,31	0,25			Germany
	B25	1,33		3,42	0,04			Germany
	granite Granit			3,36	0,59			Germany
sandlime brick Kalksandstein	slabs, grinded, polished Platten, geschliffen, poliert	1,92						Germany
		1,28		2,02	0,01			Germany
sheet glass Flachglas	float glass Flaotglas	2,95		11,65	0,74			Germany
stoneware pipe Kanalisationssteinzeug		2,88		32,93	0,24			Germany
<b>Thermal insulation materials / Dämmstoffe</b>								
cellulose flake Celluloselocken		1,71		6,74	0,27			Germany
foam glass Schaumglas		6,71		152,65	2,80			Europe
man made mineral fibres künstliche Mineralfasern	glass wool Glaswolle K,-40	4,66		45,98	1,80			Germany
	rock wool Steinwolle K,-40	4,00		39,72	1,69			Germany
perlite Perlit	estimated abgeschätzt	2,04		6,77	0,04			Germany
polyurethane; PU Polyurethan	rigid foam Hartschaum	6,31		505,06	3,56			Europe
	flexible foam Weichschaum	7,52		532,39	3,42			Europe

Продовження табл. А.2

name Name	specification Spezifikation	Material intensity [kg/kg] / Materialintensität [kg/kg]						region Regionaler Bezug	
		abiotic material abiotische Rohstoffe	biotic material biotische Rohstoffe	water Wasser	air Luft	earth movement in agriculture and silviculture Bodsbewegung in Land- und Forstwirtschaft			
						emission Emission	mechanical earth movement mechanische Bodsbearbeitung		
<b>Textile fibres / Textilfasern</b>									
cotton Baumwolle	USA west USA west		8,60	2,90	6.814,00	2,74	5,01	USA	
polyester Polyester	yarn Garn		8,10		278,00	3,73		World	
<b>Technical fibres / technische Fasern</b>									
aramid fibre Aramidfaser			37,03		940,39	19,57		Europe	
carbon fibre Kohlefaser	PAN		58,09		1.794,90	38,00		Europe	
	unspecified		61,12		2.411,47	33,39		Europe	
fibre glass Glasfasern	E-glass (E-Electric) E-Glas		6,22		94,49	2,09		Europe	
	R-glass (R-Resistance) R-Glas		10,84		296,25	2,01		Europe	
<b>Others / Sonstige</b>									
container glass Behälterglas	primary; special applications primär; spezielle Anwendungen		3,04		17,06	0,72		Germany	
	53% cullet 53% Fremdscherben		1,72		13,36	0,58		Germany	
	88% cullet 88% Fremdscherben		0,87		10,93	0,48		Germany	
leather Leder	chrome tanned chromgegerbt, Flächenleder		12,30		515,00	2,80		Europe	
	vegetable tanned leather pflanzlich gegerbt, Flächenleder		9,20	12,60	446,00	2,40		Europe	
	vegetable tanned weight leather pflanzlich gegerbt, Gewichtsleder		3,30	12,60	176,00	0,90		Europe	
linoleum Linoleum			2,01	0,35	6,68	1,99		Germany	
paper and board Papier und Puppe	primary, bleached Frischfaser, gebleicht		9,17	2,56	302,99	1,28		Europe	
	primary, not bleached Frischfaser, ungebleicht		8,94	2,38	268,06	1,29		Europe	
	chipboard Grenskarton		0,30	0,22	24,90	0,07		Europe	
	corrugated cardboard Wellkarton		1,86	0,75	93,56	0,33		Europe	
	primary newspaper primär: Zeitungsdrukpapier		0,38	0,94	3,47	0,08		Europe	
	secondary newspaper sekundär: Zeitungsdrukpapier		0,24	0,04	14,80	0,05		Europe	
	sulphate pulp (bleached) Sulfatzellstoff (gebleicht)		2,61	2,64	112,10	0,41		Europe	
	sulphate pulp (unbleached) Sulfatzellstoff (ungebleicht)		3,09	2,42	93,27	0,52		Europe	
	sulphate pulp (bleached) Sulfatzellstoff (gebleicht)		4,38	2,64	185,21	0,66		Europe	
	sulphate pulp (unbleached) Sulfatzellstoff (ungebleicht)		2,59	2,42	141,87	0,41		Europe	
	Light Weight Coated (LWC)		8,68	4,53	186,00	1,39		Europe	
	wood Holz	chipboard Spanplatte		0,68	0,65	18,42	0,29		Germany
		plywood Sperrholz (Platte)		2,00	9,13	23,56	0,54		Germany
		douglas fir wood (cut timber, baked) Douglasholz (geschnitten, getrocknet)		0,63	4,37	9,24	0,17		Germany
spruce wood (cut timber, baked) Fichtenholz (geschnitten, getrocknet)			0,68	4,72	9,40	0,16		Germany	
hardboard / moulded fibre board Hartfaserplatte			2,91		49,14	0,98		Germany	
pine wood (cut timber, baked) Kieferholz (geschnitten, getrocknet)			0,86	5,51	9,97	0,13		Germany	
fiberboard (average density) mitteldichte Faserplatte (MDF)			1,96		32,86	0,48		Germany	
<b>Water / Wasser</b>									
deionized water deionisierter Wasser	estimated abgeschätzt		0,08		2,20	0,01		Germany	
drinking water Trinkwasser			0,01		1,30	0,00		Germany	

Продовження табл. А.2

name Name	specification Spezifikation	Material intensity [kg/kg] / Materialintensität [kg/kg]						region Regionaler Bezug
		abiotic material abiotische Rohstoffe	biotic material biotische Rohstoffe	water Wasser	air Luft	earth movement in agriculture and silviculture Bodenbewegung in Land- und Forstwirtschaft		
						erosion Erosion	mechanical earth movement mechanische Bodenbearbeitung	
<b>Transport [kg/tkm] (only transport, without infrastructure) / Transport [kg/tkm] (nur Transport, ohne Infrastruktur)</b>								
canal boats Binnenschiffe	average durchschnittlich		0,02		0,16	0,04		Germany
	vessel Gütermotorschiff		0,03		0,16	0,04		Germany
	push boat Schub-Gütermotorschiffe		0,02		0,13	0,03		Germany
	four lighter barge train 4er Schubverband		0,02		0,13	0,02		Germany
cargo trains Frachtzüge	all German trains alle (DB)		0,08		3,57	0,03		Germany
	diesel traction Dieseltraktion		0,06		0,15	0,06		Germany
	electric traction Elektrotraktion		0,08		4,37	0,03		Germany
sea going vessels Seeschiffe	average durchschnittlich		0,01		0,05	0,01		Germany
	tanker Tanker		0,00		0,03	0,01		Germany
	container vessel Containerschiff		0,09		0,08	0,02		Germany
	cargo boat Frachtschiff		0,01		0,09	0,02		Germany
truck transport of cargo Straßengüterverkehr	average durchschnittlich		0,22		1,91	0,21		Germany
	lorry <2,8 t Lkw <2,8 t		1,34		11,63	1,33		Germany
	all lorries >2,8 t alle LKW >2,8 t		0,45		4,12	0,14		Germany
	all articulated lorries >8t alle Lastzüge >8t, Herstellung+Betrieb+Unterhalt		0,11		0,93	0,10		Germany
	all articulated vehicles alle Sattelzüge, Herstellung+Betrieb+Unterhalt		0,09		0,73	0,10		Germany
<b>Transport incl. infrastructure [kg/tkm] / Transport inkl. Infrastruktur [kg/tkm]</b>								
air cargo Luftfracht	short distance Kurzstrecke		4,70		189,00	3,40		Finland
	from Finland to middle and southern Europe aus: Finnland nach Mittel- und Südeuropa		1,10		33,60	1,40		Finland
	from Finland outside Europe aus: Finnland nach außerhalb Europas		0,60		9,10	1,30		Finland
cargo trains Frachtzüge	average durchschnittlich		0,54		15,30	0,02		Finland
	river boat Binnenschiff		0,35		11,70	0,04		Germany
sea going vessels Seeschiff	from Finland to middle and southern Europe aus: Finnland nach Mittel- und Südeuropa		0,12		0,70	0,70		Finland
	from Finland outside Europe aus: Finnland nach außerhalb Europas		0,08		0,60	0,10		Finland
truck transport of cargo Straßengüterverkehr	average durchschnittlich		0,98		7,07	0,23		Germany
	average durchschnittlich		0,52		6,30	0,09		Finland

Продовження табл. А.2

name Name	specification Spezifikation	Material intensity [kg/kg] / Materialintensität [kg/kg]						region Regionaler Bezug
		abiotic material abiotische Rohstoffe	biotic material biotische Rohstoffe	water Wasser	air Luft	earth movement in agriculture and silviculture Bodenbewegung in Land- und Forstwirtschaft		
						erosion Erosion	mechanical earth movement mechanische Bodenbearbeitung	
<b>Nutrition/ Ernährung</b>								
<b>Meat / Fleisch</b>								
<b>Chicken</b> Hähnchen	<b>flesh, conventional</b> Fleisch, konventionell	8,99	6,67	344,03	2,30	6,64	3 831,90	Germany
	<b>flesh, conventional</b> Fleisch, konventionell	7,00	4,60	228,00	1,50	1,20	1 089,20	Finland
<b>beef</b> Rindfleisch	<b>33% from milk cow, conventional</b> 33% Milchkuh, konventionell	6,53	27,05	269,95	1,68	9,55	2 677,38	Germany
		12,00	31,00	439,00	0,99	3,20	2 842,20	Finland
<b>pork</b> Schweinefleisch	<b>conventional</b> konventionell	2,57	6,89	62,33	1,01	6,51	2 967,50	Germany
		8,30	10,00	240,00	1,90	2,80	2 434,00	Finland
<b>Fish / Fisch</b>								
<b>rainbow trout</b> Regenbogenforelle	<b>farmed</b> Aquakultur	2,80	4,70	271,00	0,83	0,17	148,17	Finland
<b>fish flour</b> Fischmehl		1,30	5,00	19,28	3,08			Germany
<b>Cereals and bread / Getreide und Brot</b>								
<b>Barley</b> Gerste	<b>winter barley, without drying, conventional farming</b> Wintergerste, ohne Trocknen, konventioneller Anbau	0,29	2,03	2,33	0,08	1,37	692,31	Germany
<b>Bread</b> Brot	<b>barley</b> Gerste	1,10	1,40	21,00	0,15	0,39	341,39	Finland
	<b>wheat flour</b> Weizenmehl	1,68	2,12	42,85	1,76	1,08	605,12	Germany
	<b>wheat flour</b> Weizenmehl	1,10	1,30	20,00	0,14	0,35	308,35	Finland
	<b>rye</b> Roggen	1,60	0,80	111,00	0,20	0,29	259,29	Finland
	<b>mixed bread</b> Mischbrot	1,30	1,10	99,00	0,20	0,34	304,34	Finland
<b>Oat</b> Hafer	<b>without drying</b> ohne Trocknen	0,36	2,53	1,13	0,07	1,74	900,00	Germany
<b>Wheat</b> Weizen	<b>winter wheat, conventional farming</b> Winterweizen, konventioneller Anbau	0,46	1,98	3,11	0,12	1,10	616,48	Germany
<b>Wheat flour</b> Weizenmehl	<b>conventional farming</b> konventioneller Anbau	0,78	2,97	8,62	0,20	1,65	924,72	Germany
<b>Dairy products and eggs / Milchprodukte und Eier</b>								
<b>butter</b> Butter		3,42	56,87	105,75	0,79	18,43	5 366,10	Germany
		9,80	25,00	208,00	0,67	2,60	2 331,60	Finland
<b>cheese</b> Käse		11,00	29,00	260,00	1,10	3,00	2 678,00	Finland
<b>cream quark</b> Salzquark	<b>40% FDM</b>	0,72	12,03	21,59	0,17	3,90	1 135,00	Germany
<b>double cream fromage frais</b> Doppelrahmfrischkäse	<b>60% FDM</b>	0,84	14,24	25,51	0,20	4,62	1 343,90	Germany
<b>eggs</b> Eier		1,15	1,98	28,56	0,25	0,93	605,87	Germany
		5,70	4,00	141,00	1,00	1,10	943,10	Finland
<b>milk</b> Milch	<b>unskimmed fresh milk</b> frische Vollmilch	0,15	2,46	4,42	0,04	0,80	232,05	Germany
	<b>skim milk powder</b> entrahmtes Milchpulver	16,45	15,26	653,07	4,42	33,72	1 439,90	Germany
		1,10	3,00	31,00	0,09	0,31	274,31	Finland
<b>whipping cream</b> Schlagsahne	<b>28% fat</b> 28% Fett	0,70	11,47	21,14	0,16	3,72	1 081,90	Germany
<b>whhey</b> Molke		0,03	0,42	0,76	0,01	0,14	39,83	Germany
	<b>powder</b> Pulver	23,15	7,28	929,79	6,22	2,36	686,77	Germany
<b>yoghurt</b> Joghurt	<b>nature</b> Natur	0,19	2,75	5,61	0,05	0,89	259,47	Germany
<b>Vegetables and fruits / Gemüse und Obst</b>								
<b>arctic cloudberry</b> arktische Moltebeere		2,00	1,00	17,00	0,20	0,00	0,00	Finland
<b>apple</b> Apfel		1,00	1,00	7,00	0,01	0,32	93,00	Finland
<b>cucumber</b> Gurke		7,00	1,00	570,00	4,00	0,00	25,00	Finland
<b>field bean</b> Ackerbohne	<b>conventional farming</b> konventioneller Anbau	0,67	1,07	9,09	0,13	0,74	900,00	Germany

Кінець табл. А.2

name Name	specification Spezifikation	Material intensity [kg/kg] / Materialintensität [kg/kg]						region Regionaler Bezug
		abiotic material abiotische Rohstoffe	biotic material biotische Rohstoffe	water Wasser	air Luft	earth movement in agriculture and silviculture Bodenbewegung in Land- und Forstwirtschaft		
						erosion Erosion	mechanical earth movement mechanische Bodenbearbeitung	
grain peas Körnererbse	conventional farming konventioneller Anbau	0,80	1,53	9,43	0,15	2,76	900,00	Germany
grain maize Körnermais	conventional farming konventioneller Anbau	0,89	2,06	25,01	0,21	0,90	625,00	Germany
potatoes Kartoffeln	unwashed, conventional farming ungewaschen, konventioneller Anbau	0,10	1,06	0,39	0,01	0,22	112,50	Germany
		0,29	1,70	52,00	0,02	0,08	71,00	Finland
soy Soja	conventional farming konventioneller Anbau	0,96	1,10	10,68	0,19	4,00	1.500,00	Germany
		1,30	1,40	157,00	0,92	0,35	310,00	Finland
strawberry Erdbeere		1,00	1,00	18,00	0,20	0,63	555,00	Finland
tomato Tomate		8,00	1,00	793,00	4,00	0,01	36,00	Finland
<b>Sugar / Zucker</b>								
beet sugar Rübenzucker		8,58	12,63	53,73	4,70	1,15	542,21	Germany
sugar Zucker		3,10	1,60	24,00	0,80	0,38	336,00	Finland
<b>Vegetable oil / Pflanzenöle</b>								
colza oil Rapsöl	winter gerse, conventional farming Wintererap., konventioneller Anbau	3,15	2,54	51,04	0,73	6,12	3.569,20	Germany
		8,30	20,00	168,00	0,56	2,20	1.927,00	Finland
soy oil Sojöl		7,60	19,00	162,00	0,09	2,00	1.783,00	Finland
		6,47	6,09	104,53	1,38	22,22	8.333,30	Germany
<b>Beverages / Getränke</b>								
beer Bier		1,50	0,31	280,00	0,51	0,09	75,00	Finland
<b>Animal feed / Tierfutter</b>								
chicken compound feed Mischfutter		0,77	1,43	12,53	0,18	1,42	821,74	Germany
folded beet Futterrübe	conventional farming konventioneller Anbau	0,05	1,35	0,27	0,01	0,05	45,00	Germany
field dried hay luftgetrocknetes Heu	bale from field, conventional farming Heuballen vom Feld, konventioneller Anbau	0,05	1,35	0,40	0,02	0,27	88,60	Germany
silage maize Silomais		0,06	1,10	0,36	0,01	0,67	112,50	Germany
wilted silage Anweilsilage	bale from field, conventional farming Ballen vom Feld, konventioneller Anbau	0,05	1,25	0,77	0,01	0,25	81,52	Germany

## II ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПРИ СИСТЕМОЛОГІЧНОМУ - ДОСЛІДЖЕННІ СКЛАДНИХ ОБ'ЄКТІВ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА. МОНІТОРИНГ. ПРОГНОЗУВАННЯ ВПЛИВУ - ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ НА ОБ'ЄКТИ ДОВКІЛЛЯ

**Завдання:** засвоєння практики побудови системологічної моделі об'єкта дослідження екологічних аспектів соціально-економічної діяльності як складного системного утворення «об'єкт – навколишнє середовище»; визначення інформаційного забезпечення з вивчення стану рівноваги системного об'єкта у вигляді системи екологічного моніторингу; прогнозування розвитку об'єкта дослідження відповідно до розробленої статистичної моделі його екологічного стану та оцінка динаміки природно-техногенного об'єкта при дослідженні екологічної ефективності його функціонування з позицій екобезпеки.

### **1 Теорія і практика системології екологічних досліджень, - статистичне моделювання і прогнозування**

#### **1.1 Системологія та моніторинг – основа комп'ютерно- інформаційної підтримки прийняття екологічних рішень**

**1.1.1 Інформатика і системологія** інтегрують базові знання, навички і вміння щодо використання комп'ютерної техніки, прикладної математики та спеціальних навичок і досвіду для запровадження інформаційно-комунікаційних технологій статистичного опрацювання експериментальних даних, математичного моделювання, оптимізаційних розрахунків. Отримані таким чином вихідні результати розв'язку завдань дозволяють використання прикладного та предметно-орієнтованого програмного забезпечення для підготовки звітних науково-технічних документів.

Основу системології складають система знань про системність світу алгоритм системогенезу, алгоритм системно-організаційної діяльності, системність категорій матеріального світу: матерії, інформації в просторі та часі. Основу системного аналізу становить *моделювання*, що ґрунтується на тестуванні в потрібному напрямі тих або інших моделей, а не самих реальних об'єктів.

У сучасній математичній теорії моделей розглядають *модель* як результат відображення однієї абстрактної математичної структури на іншу, також абстрактну, математичну структуру або результатом інтерпретації першої в термінах і образах другої.

Для визначення взаємодії об'єкта в системі логічної моделі з навоколишнім середовищем важливим є організація наукових спостережень, що ґрунтуються на таких методах:

- системного аналізу структури техногенної і природної середовища та його динаміки;
- системності, аналізу за категоріями ресурсних, інформаційних зв'язків між компонентами;
- аналізу потоків матеріалів і баланс ресурсів у техногенній системі та нагромадження знань, фактів, які дають уявлення про масштаб і характер проблеми забруднення екосистеми;
- аналізу потоків енергії для прогнозування впливу техногенних активних систем на екологію;
- аналізу структури і складу відходів виробництва та життєдіяльності людини, розподіл їх за хімічними і фізичними властивостями.

Концепція інформатики і системології в екологічних дослідженнях передбачає комплекс систем контролю за станом екологічного середовища та оцінювання впливу техногенних структур на підставі використання інформаційних технологій відбору й опрацювання даних та інтелектуальних систем інтерпретації і визначення ситуації.

Побудова стратегії багатопараметричного контролю стану екологічного середовища навколо техногенних систем вимагає використання сучасних методів оброблення даних і створення інформаційного внутрішнього середовища (ІВС) на підставі системних, інформаційних і інтелектуальних технологій прийняття рішень. Прийняття рішень (ПР) у сфері контролю техногенного забруднення екологічного середовища, як виробництв, так і соціальних систем, характеризується багаточинниковою складністю економічного, технічного і соціального характеру, виконанням вимог законодавства щодо забруднювальних підприємств. Підходи для прийняття рішень у сфері контролю забруднення екологічного середовища на підставі системних і інформаційних технологій [1].

Базові методи обробки даних відзначаються використанням системного аналізу й інформаційних технологій:

- 1) метод комплексного аналізу екологічного багатокомпонентного середовища з урахуванням систематичного вивчення наслідків для різних рівней забруднення води, атмосфери, ґрунтів як складної системи;
- 2) метод оцінки балансу [витрати – користь] на підставі показника  $K_S$  погіршення якості навоколишнього середовища:

$$K_S = \sum_{j=1}^m K_j = \sum_{j=1}^m (d_{PS}, W_P, M_P), \quad (1.1)$$

де  $K_j$  – показник якості компонента системи;  $d_{PS}$  – ступінь втрат у виборі стратегії управління ( $StratU_S/C_i$ ) відносно мети  $C_i$ ;  $W_P$  – компоненти забруднення;  $M_P$  – максимальна продуктивність виробничої системи;  $P$  – номер і тип забруднювача;  $j$  – номер і тип компонента системи;

3) метод мінімізації ризиків і оцінки [витрати – вигоди] у граничних і нормальних режимах функціонування об'єктів ґрунтується на аналізі компонентів забруднення та рівня ризику в режимі максимальної продуктивності виробничої системи згідно з інформацією, отриманою під час контролю рівня забруднення від інформаційно-вимірювальних систем АСУ-ТП і моніторингу середовища у такому вигляді:

$$\min_{T_n} \alpha_{risk} = F_n \left( \frac{StratU_S}{C_i} \cdot \max_{T_n} d(\theta_g - \hat{\theta}_n) \right), \quad (1.2)$$

де  $T_n$  – ділянка термінального часу;  $\alpha_{risk}$  – рівень ризику у стратегії управління ( $StratU_S/C_i$ ) відносно мети  $C_i$ ; ( $T_n$ );  $\theta_g$  – граничний параметр режиму продуктивності  $OY$ ;  $\hat{\theta}_n$  – робоча оцінка параметра стану в поточному часі ( $t \in T_n$ ).

Динаміка зміни якості середовища на інтервалі часу  $Tm$  встановлюється за різницею

$$\Delta_S = K_0 - K_S(t, Tm) \quad (1.3)$$

де  $K_0$  – початкова якість навколишнього середовища;  $K_S(t, Tm)$  – показник погіршення якості навколишнього середовища у поточному часі за наданим інтервалом  $Tm$ .

Отже, аналіз засобами функціональної системології властивостей системи як цілісного функціонального об'єкта встановлюється яким чином відповідно до виявлених потоків «проточний» елемент входить у мережу замкнутих обмінних потоків надоб'єкта. Виявлення цих якостей є повною характеристикою функцій системного об'єкта та виразником його цілісності. За якісними характеристиками встановлюють баланс потоків. Описані уявлення дозволяють говорити про те, що структура при систем-

ному розгляді не може бути або лише функціональною, або лише об'єктною (субстанційною).

При структуруванні системного об'єкта дослідження екологічних проблем, по-перше, визначаються в поняттях надсистеми – формування мети цього дослідження, самої системи дослідження, її взаємодії з навколишнім середовищем, та зв'язках, які забезпечують інформаційну взаємодію надсистеми із системою та системи з НС. Основою для початку такої роботи є інформаційно-аналітична система екологічного моніторингу.

**1.1.2** Інформаційною системою (ІС) при дослідженні екологічних проблем на основі комплексу міждисциплінарних наукових знань про такий системний об'єкт як «природа – суспільство – економіка – людина» є система спостережень, що названа **моніторингом**.

Система моніторингу в інформаційному плані забезпечує організацію необхідних інформаційних потоків як результат спостереження за основними процесами та явищами в біосфері. Для прийняття раціональних управлінських рішень необхідною умовою є наявність якісного інформаційного забезпечення щодо динаміки різних показників, які характеризують стан навколишнього середовища. Така інформація разом з базою знань екологічного та соціально-економічного моніторингу є початковою функцією управлінського циклу науково обґрунтованої системи екологічного та соціально-економічного менеджменту (рис. 1.1) [2].

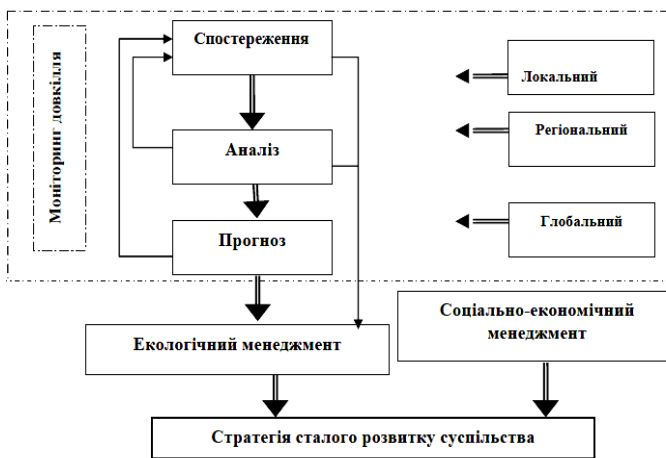


Рисунок 1.1 – Орієнтовна блок-схема реалізації концепції екологічного розвитку

Універсальним підходом до визначення структури системи моніторингу антропогенних змін навколишнього природного середовища є його розподіл на основні блоки: «Спостереження», «Оцінка фактичного стану», «Прогноз стану довкілля», «Оцінка прогнозованого стану» та «Підтримка прийняття управлінських рішень» (рис. 1.2) [2].

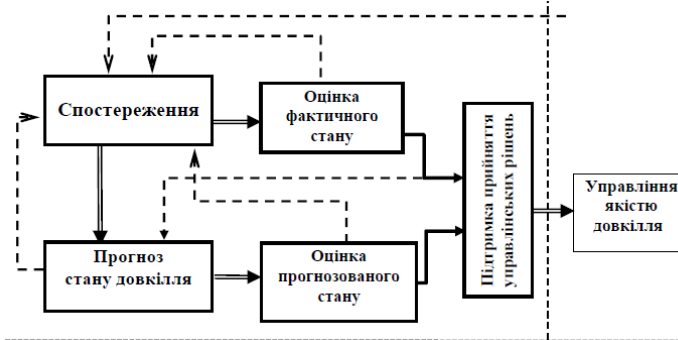


Рисунок 1.2 – Структура системи моніторингу довкілля

Отже, *моніторинг довкілля* в сучасному розумінні розглядається як аналітично-інформаційна систем, яка охоплює такі основні напрями:

- 1) *спостереження* за станом довкілля і за факторами, які впливають на окремі елементи довкілля;
- 2) *оцінювання та аналіз* фактичного стану складових довкілля;
- 3) *прогнозування* стану довкілля і оцінювання цього стану;
- 4) *забезпечення науково-інформаційної підтримки* прийняття управлінських рішень.

За допомогою системи моніторингу виявляються критичні ситуації, виділяються критичні фактори впливу і найбільш чутливі до впливу елементи біосфери. У процесі здійснення моніторингу важливо отримати дані та інформацію про абіотичну складову середовища і стан біоти, функціонування екосистем і реакції екосистем на можливі збурення. Відповідно до ролі моніторингу у формуванні інформаційного ресурсу перші два названі вище напрями пов'язані з статистичним аналізом даних.

Більш повно засоби статистичного аналізу надані у спеціалізованих пакетах статистичної обробки даних, таких як STATISTICA, STADIA, STATGRAPHICS, SPSS. Для обробки кількісної інформації часто використовується пакет прикладних програм Microsoft Office, зокрема програми MS Access і MS Excel.

**1.1.3 Підсистеми збирання та введення інформації** дозволяють вносити інформацію (масиви даних) в *автоматичному та інтерактивному* режимах до відповідних екологічних баз даних і *еколого-географічних баз даних* (ЕГБД). Ринок геоінформаційних технологій пропонує досконалі рішення для створення інформаційних систем будь-якого рівня: від настільної, розрахованої на одного користувача, до складних корпоративних інформаційних систем (ІС). У будь-якому випадку основою такої інформаційної системи є еколого-географічна база даних.

В *автоматичному* або *напівавтоматичному* режимі підсистема збирання та введення інформації взаємодіє з іншими *інформаційними системами*, наприклад, з інформаційно-аналітичною системою соціально-гігієнічного моніторингу Міністерства охорони здоров'я та ін. Підсистеми збирання та введення інформації забезпечують інформаційну взаємодію з регіональними ІС органів державного управління та самоврядування і, в першу чергу, земельного та містобудівного кадастру.

При *інтерактивному режимі*, який може функціонувати незалежно або паралельно, як доповнення автоматизованого або окремо від автоматизованого, користувач вводить інформацію (масиви даних) безпосередньо до баз даних, використовуючи спеціальне програмне забезпечення – системи управління базами даних та ЕГБД (рис. 1.3) [3].

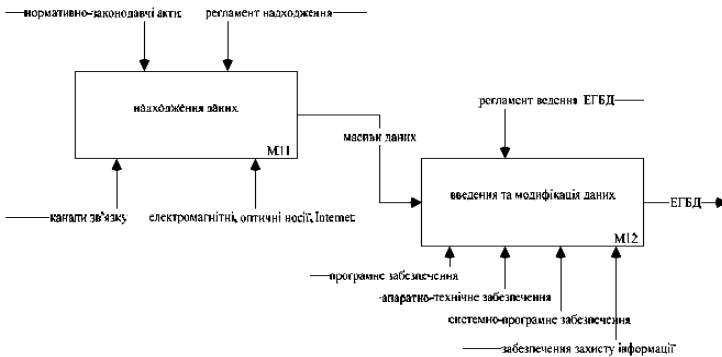


Рисунок 1.3 – Інформаційно-функціональна модель підсистеми збирання та введення екологічної інформації (регіональні системи моніторингу довкілля (РСМД))

Отримання екологічної інформації для забезпечення процесу підготовки управлінських рішень (ЗППУР), входять дані, які характеризують:

– *стан природних ресурсів* – кліматичні та метеорологічні умови, склад води у водних об'єктах, зелених насаджень, ґрунту та ін.;

– *використання природних ресурсів* – номенклатура та обсяги викидів, обсяги водокористування та скидів забруднюючих речовин (ЗР), утворення відходів домогосподарствами та суб'єктами підприємницької діяльності, використання земельних ресурсів, зелених насаджень, у т. ч. об'єктів природно-заповідного фонду та ін.;

– *рівень впливу на навколишнє природне середовище* – рівень впливу від об'єктів техногенного екологічного ризику, концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі, водних об'єктах, ґрунтах як складних системах, у промислових і побутових відходах, у т. ч. токсичних, біологічне забруднення, фізичні фактори – шум, іонізуюче та електромагнітне випромінювання та ін.

Інформація про об'єкти та процеси екологічного управління включає *кількісно-якісні, просторово-географічні та часові* характеристики. Наприклад, для обґрунтування прийняття рішення у галузі охорони атмосферного повітря необхідне забезпечення інформацією про *кількісні значення* концентрації певної забруднюючої речовини в приземному шарі атмосферного повітря на *конкретній території* міста за *певний час*.

Наукові знання про інформаційні процеси, що визначають історію, будову і склад як Землі в цілому, так і її окремих оболонок, включаючи літосферу, гідросферу, атмосферу і біосферу визначають **геоінформатику**. *Геоінформаційна система* (ГІС) – це інформаційна система, яка забезпечує збирання, збереження, обробку, доступ, відображення та поширення просторово-орієнтованих даних (просторових даних). З точки зору програмно-інформаційної реалізації геоінформаційна система (ГІС) – це сукупність електронних карт з умовними позначеннями об'єктів на них, баз даних з інформацією про об'єкти та програмного забезпечення для зручної роботи з картами і базами як з єдиним цілим. Створення і розвиток засобів ГІС-технологій є одним із найважливіших напрямків застосування сучасних досягнень обчислювальної та космічної техніки в екологічній діяльності, зокрема, при організації та експлуатації систем моніторингу навколишнього природного середовища. Важливо, що в рамках ГІС досліджується не тільки географічна інформація, а й всі процеси та явища на земній поверхні, в економіці та у суспільстві.

*Інформаційно-аналітичне забезпечення прийняття управлінських рішень* у галузі екологічного управління здійснюється через створення

інформаційно-аналітичних центрів (ІАЦ) РСМД. Це дозволяє під конкретні завдання здійснювати функції *спостереження, дослідження, екологічної експертизи, контролю, прогнозування, програмування, інформування* та іншої *виконавчо-розпорядчої діяльності*.

*Архітектура ГІС технологій від ESRI* – набір технологічних рішень, що пропонує компанія ESRI, має назву ArcGIS. До складу ArcGIS входять серверно-орієнтовні (ArcSDE та ArcIMS), клієнт орієнтовні програмні продукти ArcDesktop (ArcInfo, ArcEditor, ArcView), до складу яких в свою чергу входять ArcMap, ArcCatalog, ArcToolBox (рис. 1.4) [3].

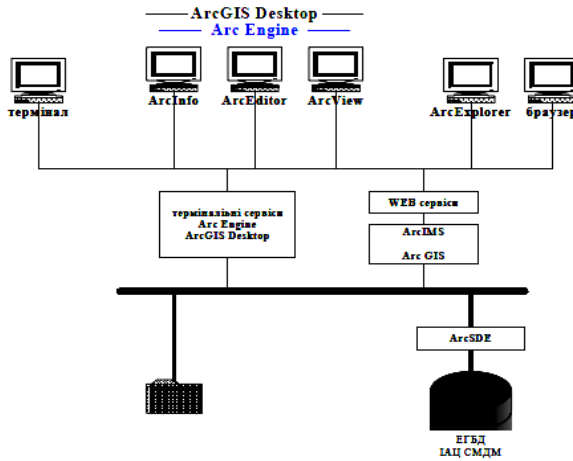


Рисунок 1.4 – Архітектура програмних продуктів від ESRI

**1.1.4** Завдяки **математичній обробці даних моніторингових досліджень** і отриманим результатам проводиться аналіз і оцінка закономірностей процесів і явищ, що змінюються у часі й просторі, показників і характеристик стану довкілля.

1. *Порівняння даних* – оцінка відповідності даних спостережень стану об’єктів гранично допустимим значенням показників, визначення максимуму/мінімуму з вибірки вимірювань.

2. *Статистична обробка даних* – побудова варіаційного ряду, гістограми та ідентифікації закону розподілу; визначення основних статистичних характеристик (математичного очікування, середньоквадратичного відхилення, дисперсії, медіани, моди, ексцесу, коефіцієнта асиметрії тощо); кореляційний, регресійний, факторний та інші види аналізу.

3. *Інтерполяція даних*: звичайна інтерполяція – знаходження значення функції між декількома заданими чи відомими чинниками; *апроксимація* – ідентифікація параметрів та структури математичної залежності, яка описує заданий набір точок; *екстраполяція* – прогнозування значень функції за межами того інтервалу, на якому ця функція будувалась.

*Порівняння даних і визначення їх максимуму та мінімуму* – це операції обробки даних спостережень для заданого показника якості тієї чи іншої складової при роботі з багатьма факторами та критеріями.

*Інтерполяція даних* розглядається як простий спосіб розв’язання задач моделювання та прогнозування даних без урахування фізико-біохімічної природи процесів, характеристики яких розглядаються. Звичайна інтерполяція використовується для набору значень показника у певних точках для встановлення його значення в інших точках. Інтерполяція проводиться багатьма засобами, серед яких поширеними є функції обчислювального пакета Mathcad:

1) лінійна інтерполяція (інтерполяція прямою) – для одновимірного випадку (linterp):  $y(x) = ax + b$  – поширена в різного роду калібрувальних графіках вимірювальних приладів, забезпечує простий математичний опис, але невелику точність для більшості реальних природних процесів;

2) поліноміальна інтерполяція – апроксимація поліномом  $n$ -го порядку для одновимірного випадку (regress, interp) має вигляд

$$y(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_1 x + a_0, \quad (1.4)$$

що має високу точність у заданих точках, тобто збіг даних з теоретичними дорівнює нулю, але між вузлами відрізняється від загального тренду;

3) сплайн-інтерполяція – інтерполяція набором сплайнів, поліномів 1–4 порядків з мінімальною кривизною, які поєднують при узгодженні похідних: лінійна – lspline, параболічна – pspline, кубічна – cspline та ін.

Відносні похибки  $\delta$  для усіх математичних залежностей визначаються за ідентифікованими на попередньому етапі параметрами:

$$\delta = \frac{\sum_j |y_j - y(x_j)|}{\sum_j |y(x_j)|} \cdot 100\%, \quad (1.5)$$

тобто встановлення відношення суми модулів різниць між значеннями кожної ідентифікованої залежності та заданим набором значень до суми модулів значень цієї ідентифікованої залежності.

Для реалізації методів математичної обробки даних існують спеціальні математичні пакети, у т. ч. такі безкоштовні: MS Excel, Matlab, Scilab (безкоштовний), Maple, Mathcad, Mathematica, Statistica, SPSS та ін.

Таким чином, отриманий інформаційний ресурс відповідно до поставлених вище завдань ЗППУР є основою побудови інформаційної системи РСМД для прийняття обґрунтованих екологічних рішень.

**1.1.5 Підсистеми аналізу, оцінки та подання інформації** забезпечують правові та організаційні засади надання, оприлюднення та розповсюдження екологічної інформації через Центри екологічної інформації, які є інфраструктурними елементами мережі загальнодержавної екологічної автоматизованої інформаційно-аналітичної системи забезпечення доступу до екологічної інформації (рис. 1.5) [3].

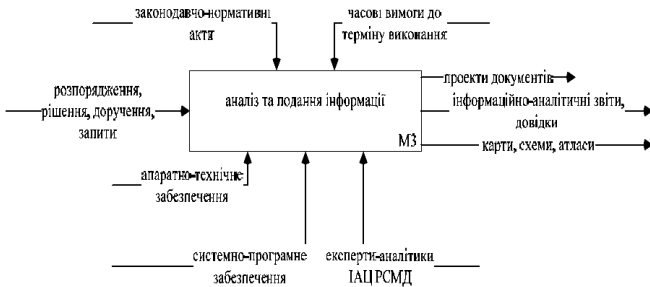


Рисунок 1.5 – Інформаційно-функціональна модель підсистеми аналізу та подання інформації РСМД

**Підсистеми збереження та накопичення інформації** відповідають за ведення відповідних *тематичних* та *довідкових* БД і ЕГБД.

До *тематичних* ЕГБД відносять ті, які містять масиви даних стосовно об'єктів та процесів екологічного управління. До цієї екологічної інформації відносять, наприклад, значення концентрації ЗР, отримані на стаціонарних постах спостереження за забрудненням атмосферного повітря Держгідрометслужби.

*Нормативно-довідкові* екологічні бази даних та ЕГБД містять загальну інформацію стосовно фізико-хімічних або токсикологічних характеристик забруднювальних речовин. Сучасний розвиток інформаційних технологій дозволяє організувати єдине середовище для функціонування баз даних або ЕГБД за концепцією *розподілених* баз даних.

Розробка ЕГБД будується на основі архітектури «файл-сервер» і «клієнт-сервер». Остання, у випадку групового (колективного) використання, має суттєві переваги.

Збереження та управління зростаючими обсягами екологічних даних РСМД протягом життєвого циклу ЕГБД потребують розвитку ресурсів мережі збереження даних або *Storage Area Networks*.

Через засоби масової інформації відбувається оприлюднення такої екологічної інформації:

- *стан* навколишнього природного середовища (НПС), *динаміка* його змін, *джерела* забруднення, *розміщення* відходів;

- *надзвичайні* екологічні ситуації та *заходи* з їх ліквідації;

- *розробка* та *прийняття* екологічних програм, *планів* дій, а також *документів* з питань екологічної політики;

- екологічні *проблеми* галузі чи регіону та можливі *шляхи* їх *вирішення* з метою залучення населення до участі у прийнятті рішень, що стосуються навколишнього природного середовища;

- *плани* щодо розміщення об'єктів підвищеної екологічної небезпеки, які вимагають проведення оцінювання впливу на навколишнє природне середовище;

- *наміри* щодо видачі відповідних документів на використання природних ресурсів місцевого значення, а також на *забруднення* навколишнього природного середовища;

- *досвід співпраці з громадськістю* у галузі охорони навколишнього природного середовища (ОНПС), *раціонального використання* природних ресурсів та *забезпечення* екологічної безпеки;

- *інші екологічні аспекти* чи *фактори*, що є важливими для громадськості при здійсненні нею громадської екологічної експертизи чи реалізації інших екологічних прав.

Робота апаратно-програмних комплексів спрямована на виконання екологічних завдань, забезпечуючи на виході такої інформації:

- *довіді* та *звіти* про стан навколишнього природного середовища з висвітленням динаміки його змін;

- *перелік, тексти* та *проекти нормативно-правових актів* у сфері охорони НПС та дотримання природоохоронного законодавства;

- *плани, програми* та *проекти, документи* з питань політики у сфері охорони навколишнього природного середовища;

- *міжнародні угоди* у сфері ОНПС та *стан їх виконання*;

– інша *інформацію про стан окремих об'єктів* навколишнього середовища, що важлива для громадськості [3].

Однією з найбільш ефективних регіональних автоматизованих інформаційно-вимірювальних систем (АІВС) в Україні є відома АІВС «Тиса» для української частини басейну р. Тиса на Закарпатті. Ведуться проектні роботи щодо розвитку аналогічної і потужнішої АІВС «Прикарпаття» для української частини басейнів річок Дністер, Прут і Сірет. Відомим є і комплекс постійно діючих автоматизованих інформаційних систем для транскордонного моніторингу вод в басейнах річок Дніпро, Сіверський Донець, Дунай, Західний Буг та ін. [4].

На регіональному рівні використовуються відомчі інформаційні системи, серед яких найбільш уніфікованими в розрізі областей та міст України та реально функціонуючими в усіх регіонах країни є такі:

1) *інформаційна система моніторингу якості вод Держводгоспу* (розробник: НДІ проблем математичних машин та систем НАН України);

2) *єдина автоматизована система Державної екологічної інспекції та підрозділів аналітичного контролю* територіальних органів Мінприроди України із отриманням результатів вимірювань стану забруднення довкілля, викидів, скидів і відходів, їх накопичення, оброблення та аналізування (скорочено: АСУ «ЕкоІнспектор», розробник – Вінницький національний технічний університет);

3) *комплекс програм Мінприроди* для збору та обробки даних системи регіонального моніторингу довкілля в держуправліннях охорони навколишнього природного середовища (розробник: Компанія «Ер-Джі-Дейта», м. Київ).

Усі ці системи мають засоби збирання даних моніторингу регіонального рівня, їх обробки, аналізу, узагальнення та подання узручному вигляді на загальнодержавному рівні [3].

Загалом схеми інформаційної технології моніторингу розробляються відповідно до завдань підтримки прийняття оперативних рішень щодо екологічної безпеки. До її складу включають системи процесів збору, обробки та передачі інформації.

За запитом до підсистеми збору даних моніторингу надходять точні значення даних, що становлять виміряні значення параметрів навколишнього середовища в відповідних точках підконтрольної урбосистеми. Отримані значення у відповідних форматах передаються в оперативну пам'ять ЕОМ і зберігаються в окремих масивах БД з відповідним значен-



Центральною структурно-функціональною ланкою системи дослідження довкілля є *регіональний інформаційно-аналітичний центр* (РІАЦ) системи моніторингу, функціонування якого спрямовано на підвищення ефективності управління екологічним станом за рахунок:

- *інтеграції значущої екологічної інформації від суб'єктів системи моніторингу довкілля;*
- *комплексного аналізу та оцінки екологічного стану довкілля;*
- *прогнозування змін екологічного стану довкілля;*
- *забезпечення органів державного і місцевого самоврядування інформацією про стан і прогноз розвитку екологічної ситуації;*
- *інформаційної підтримки прийняття рішень з охорони довкілля та раціонального використання природних ресурсів, екобезпеки (рис. 1.8).*

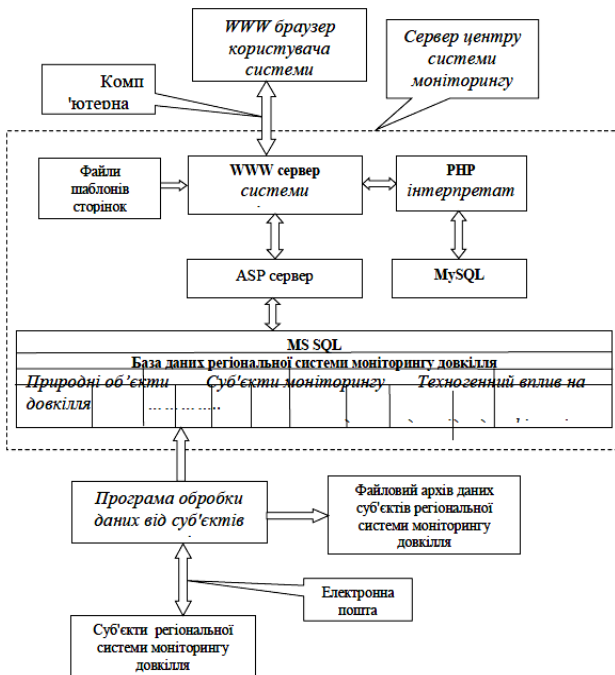


Рисунок 1.8 – Блок-схема РІАЦ моніторингу на прикладі Запорізької обл. [3]

Всі зв'язки між об'єктами соціальної, економічної та екологічної природи слабоформалізовані, а сам системний об'єкт, що включає зазна-

чені системи, є слабоструктурованим і багатозв'язним. У такому випадку визначено за доцільне для дослідження системного утворення запровадити формальні методи міждисциплінарного характеру, в основі яких лежить математичний апарат, заснований на поданні знань з комплексною (якісною і кількісною) інформацією у вигляді когнітивних карт [7]–[9].

## **1.2 Оцінка впливу на об'єкти навколишнього середовища та прогнозування змін в екосистемах**

Застосування системологічного когнітивного підходу та системологічного класифікаційного аналізу дозволяє отримати ефективний метод концептуального моделювання (КМ) слабоструктурованих проблемних областей (ПО) на основі природної класифікації (ПК).

З погляду системології КМ має розвиватися у межах детермінованого підходу, що дозволяє за детермінованим аналізом встановити надсистему досліджуваної системи та функціональний запит до системи, тобто її цільову функцію та причини виникнення. Застосування детермінованого підходу на користь КМ передбачає аналіз системи з визначення:

- запиту надсистеми на систему відповідно до функції, що є зовнішньою детермінантою;
- вихідного матеріалу, потенційно придатного для формування даної системи та виконання необхідної функції;
- процесу перетворення вихідного матеріалу даної системи на систему як субстанцію відповідної надсистеми, тобто становлення даної системи та її адаптації до запиту надсистеми;
- функції даної системи надсистеми відповідно до запиту надсистеми, тобто внутрішньої детермінанти.

Результати такого аналізу забезпечують отримання знань відповідно до причин і умов виникнення системи з певними властивостями, про динаміку процесу становлення такої системи, про наслідки її виникнення та функціонування. Отримані результати застосовують для створення *інтелектуальної системи експертного аналізу* стану навколишнього середовища, *прогнозування та запобігання* надзвичайних ситуацій (ІСЕАПЗ), яка включає такі чотири підсистеми:

- 1) підтримки бази знань (БЗ),
- 2) прогнозування стану навколишнього середовища,
- 3) планування рішення,
- 4) управління моделями.

Обробка моніторингових даних реалізується багаточисельними методами математичної обробки, для яких існують спеціальні математичні пакети, у т. ч. безкоштовні: MS Excel, Matlab, Mathcad, Statistica, SPSS та інші. Для подання отриманої інформації вагомими є методи на основі геоінформаційних технологій обробки даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), серед яких значущими є:

- *актуалізація наявних цифрових даних*, наприклад, ідентифікація нових доріг, засушливих зон, вирубок лісу, змін у гідрографічній мережі, надмірного збільшення золівдвалу, незаконного видобутку надр тощо;

- *обробка даних дистанційної розвідки та зондування стану нафтових і газових родовищ*, наприклад за допомогою програмного комплексу ArcGIS та Finder;

- *інвентаризація природних ресурсів* на основі спектрального аналізу знімків для кількісної оцінки запасів деревини, зони забруднення поверхневих вод, родовищ підземних вод, корисних копалин та ін.;

- *автоматизоване формування цифрового рельєфу місцевості* на основі суміщення зображення з декількох зондувальних пристроїв;

- *визначення фізико-хімічних показників якості довкілля* (вміст  $O_3$  чи  $CO$ , концентрація нафтопродуктів у воді тощо) на основі зйомки місцевості в багатоспектральному діапазоні та її комплексній обробці;

- *оцінювання фізичних показників стану довкілля* (температура води, прозорість повітря, вологість і розораність ґрунту, вмісту хлорофілу у рослинах тощо) на основі зондування в інфрачервоному спектрі або в багатоспектральному діапазоні;

- *виявлення та оцінювання стану і динаміки зон стихійних лих, техногенних аварій та екологічних проблем, пов'язаних з підтопленням території, лісових пожеж, цунамі, ураганів, розливу нафти тощо* [3].

Використання ГІС-технологій в задачах математичного моделювання та прогнозування здійснюється двома способами:

- 1) *стандартний інструментарій* ГІС-пакетів для подання вхідних даних для моделювання, їх обробки та візуалізації результатів;

- 2) *середовища розробника й інструментарію* ГІС-пакетів: ArcGIS Engine, ArcGIS Server, MapBasic, MapInfo MapXtreme Java, Panorama GIS WebServer, Panorama GISToolKit та ін. для створення *спеціалізованих пакетів програм*, призначених для розв'язання окремих задач і проблем.

*Перший метод* є більш масовим, не вимагає спеціалізованих знань і навичок для створення нових об'єктно-орієнтованих пакетів про-

грам. Обмеженість методу визначена можливостями та функціями, що передбачені розробниками ГІС-пакетів для розв'язання задач.

*Другий метод* має необмежені можливості у розв'язанні задач завдяки спеціалізованим пакетам програм, відсутності зайвих функцій для розв'язання поставлених задач, які часто ускладнюють та затримують роботу при використанні універсальних ГІС-пакетів. Однак, необхідні спеціальні знання та чималий досвід у написанні складних об'єктно-орієнтованих пакетів програм з використанням ГІС-інструментарію [3].

Таким чином, використання математичних пакетів програмної обробки даних і ГІС-пакетів пов'язано з проведенням математичних розрахунків, моделювання та прогнозування процесів в досліджених об'єктах і автоматизованому генеруванні результатів як основи для прийняття екологічних рішень (рис. 1.9) [3].



Рисунок 1.9 – Послідовність прогнозування стану довкілля за даними моніторингу об'єктів навколишнього середовища

Прогнозування стану складних об'єктів екологічного моніторингу, що містять різноманітні системи (соціальні, економічні, екологічні) реалізуються на основі когнітивного підходу (complex large system) дослідження систем різної природи, який дозволяє зрозуміти, яким чином людина розшифровує, аналізує, організовує інформацію про реальну дійсність для того, щоб проводити порівняння, передбачити розвиток подій, приймати рішення, управляти або адаптуватися до ситуації.

Когнітивний підхід є одним із інструментів вивчення ситуацій і стану слабоструктурованих систем (СС) для відображення надскладних

тенденції розвитку системи в спрощеному вигляді у формі моделі, прогнозування та аналізу можливих сценаріїв розвитку ситуацій, визначення шляхів та умов переведення ситуації в цільове становище.

В основі когнітивного моделювання складних систем покладено побудову на вихідній інформації у відповідності до мети дослідження *когнітивної карти* – це схема, візуальне відображення суб'єктом (дослідником, експертом, особою, яка приймає рішення) його уявлення про систему причинно-наслідкових зв'язків (відносин, впливів, взаємодій) між концептами (об'єктами, сутностями, поняттями, факторами, взаємодіючими системами та їх блоками), що складається з певною метою в рамках тієї чи іншої предметної області чи напрямку когнітивної науки (рис. 1.10) [7].

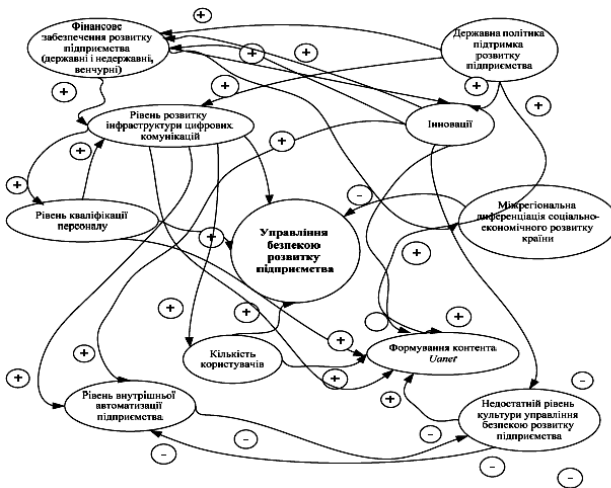


Рисунок 1.10 – Приклад когнітивної карти – когнітивний граф управління безпекою розвитку металургійного підприємства

Для опису когнітивних моделей застосовують апарат знакових і зважених орієнтованих графів. Ваги дуг когнітивної моделі визначаються на основі статистичної обробки інформації або експертним шляхом. Завдяки отриманим результатам когнітивного моделювання і аналізу визначають зміни в реакції системи при покроковим введенні разового імпульсного впливу значень досліджуваних факторів. Це дозволяє встановити множини сприятливих сценаріїв, які підлягають ранжуванню, за умови збереження стабільності когнітивних моделей.

При моделюванні властивості процесів та явищ встановлюють умови забезпечення позитивних, стимулюючих зростань, відсутність негативних, зворотних зв'язків, налагодження параметрів цих зв'язків, які гарантують виконання цільового призначення об'єкта [9]. Когнітивна карта надається орієнтованим графом  $(X, W)$ , де  $X = \{x_i\}$  – множина базисних факторів проблемної ситуації;  $W = \{w_{ij}\}$ ,  $w_{ij} [-1; +1]$  – множина причинно-наслідкових відносин, які задають знак і силу впливу факторів-причин на фактори-наслідки. Для фактора  $x_i$  визначають впорядковану множину лінгвістичних значень  $Z_i$  та шкалу як відображення цих значень в точки числової осі,  $\varphi: Z_i \rightarrow X_i$ .

Для визначення взаємозв'язків між ключовими факторами розвитку обраного об'єкта на попередньому етапі проводиться кореляційний аналіз, а уточнення та обґрунтування наявності взаємозв'язків між базисними факторами – на основі *контент-аналізу* схожих слабоструктурованих ситуацій. Результатом цього етапу є побудова когнітивної карти досліджуваної слабоструктурованої ситуації.

Визначення сили та характеру впливу між базисними факторами пропонується встановлювати на основі побудови багатofакторних регресійних моделей, у яких залежна змінна (фактор  $X_j$ ) є лінійною комбінацією незалежних змінних (факторів  $X_i$ ), що належать множині факторів, які впливають на фактор  $X_j$ . Величина сили впливу визначається через  $\beta$ -коефіцієнти регресійних моделей, величина яких є середньою змінною середньоквадратичного відхилення залежної змінної при зміні незалежної на величину одного свого середньоквадратичного відхилення.

У разі невизначеності ситуації з дослідженим об'єктом будується нечітка когнітивна модель і матриця зв'язку  $W_{\text{неч}}$ , елементи якої характеризують силу та характер впливу фактора  $X_i$  на фактор  $X_j$ .

Для аналізу структури нечіткої когнітивної моделі розраховуються системні показники на основі алгоритмів і підходів, що дозволяють досліджувати силу та характер впливу між факторами чи фактором та нечіткою когнітивною моделлю (системою).

На початку аналізу моделі визначають стабілізуючі ( $S_k$ ) та дестабілізуючі ( $D_k$ ) контури когнітивної карти. Позитивний цикл – це контур позитивного зворотного зв'язку: зростання ваги фактора в циклі приводить до його подальшого зростання. Негативний цикл протидіє відхиленням від початкового стану, можлива нестійкість у вигляді значних коливань, які виникають під час проходження циклу. Таким чином, зростання

чи зменшення значення будь-якої вершини в контурах призведе до підсилення початкового відхилення, що виникає у вершинах, які входять до контуру. Це порушує узгодженість факторів, нестабільність системи.

Когнітивний підхід до моделювання соціально-еколого-економічних об'єктів і управління охороною навколишнього природного середовища спрямований на розробку формальних моделей і методів, що підтримують інтелектуальний процес вирішення проблем завдяки обліку в них когнітивних можливостей (сприйняття, уявлення, пізнання, розуміння, пояснення) суб'єктів управління при вирішенні управлінських завдань.

Основними елементами когнітивної екологічної моделі є базисні фактори (або просто фактори) та причинно-наслідкові зв'язки між ними. Базові фактори – це фактори, що визначають і обмежують спостереження явищ, процесів в СС і навколишньому їй середовищі, інтерпретовані як суттєві, ключові параметри, ознаки системи функціонування такого системного об'єкта дослідження « СС – навколишнє середовище» [10].

Відповідно до прийнятого уявлення когнітивної карти модель моніторингових спостережень визначається знаковим графом, тобто орієнтованим графом, вершинам якого зіставлені фактори, а ребрам - знаки (+ або -). Фактор (від латів. *factor* – діючий, що виробляє) – причина, рушійна сила будь-якого процесу, явища, що визначає його характер або окремі його риси. У різних публікаціях також використовується терміни «концепт», «параметр» або «змінна» [7]–[10].

Нині когнітивна карта дається як виваженого графа, у якому вершини – чинники, а ребра – ваги за шкалою.

Дослідження взаємодії факторів за когнітивною моделлю дозволяє оцінювати поширення впливу, що змінює їхнє значення. Поведінка (стан) системи описується на основі значень системних змінних, що робить можливим використання класичних підходів з теорії систем, зокрема, для моделювання, аналізу динаміки, управління. Аналіз когнітивної карти дозволяє виявити структуру проблеми (системи), визначити значні чинники, що впливають неї, оцінити вплив чинників (концептів) один на одного. Якщо в когнітивній карті виділені цільові і вхідні концепти, на які можна впливати, то коло розв'язуваних завдань включає оцінку досяжності цілей, пошук рішень, сценаріїв і стратегій управління [10].

Завдання аналізу ситуацій на основі когнітивних карток поділяють на два типи: статичні та динамічні. Статичний аналіз, чи аналіз впливів – це аналіз досліджуваної ситуації у вигляді вивчення структури взає-

мовпливів і виділення чинників із сильним впливом, значення яких потрібно змінити. Динамічний аналіз є основою генерації можливих сценаріїв розвитку ситуації у часі (рис. 1.11) [7].

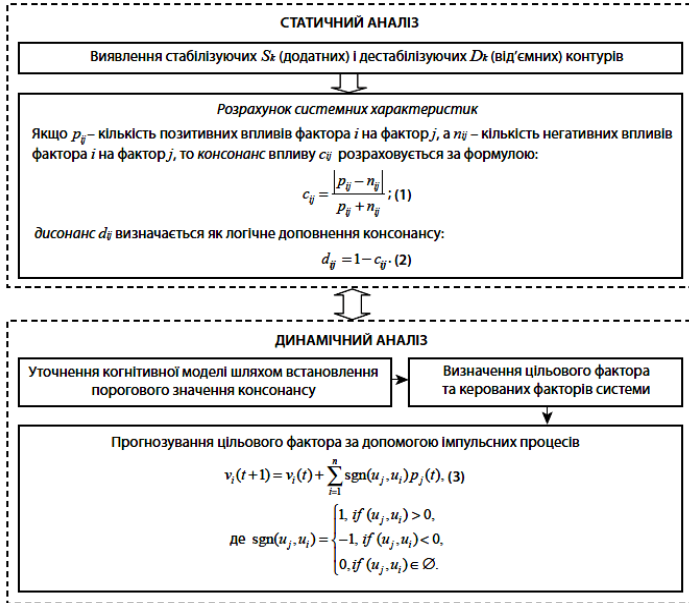


Рисунок 1.11 – Етапи дослідження системних характеристик когнітивної моделі

Для аналізу, як правило, використовується математичний апарат двох типів: апарат лінійних динамічних систем і апарат нечіткої математики. Формально в лінійній динамічній моделі, основу якої становить когнітивна карата, фактор визначається як змінна, що приймає значення з деякої числової шкали. Зміна значень факторів задається формулою

$$x_i(t+1) = x_i(t) + \sum_{j \in I_i} a_{ij} (x_j(t) - x_j(t-1)), \quad i = 1, \dots, N, \quad (1.6)$$

де  $x_i(t+1), x_i(t)$  – значення  $i$ -го фактора в моменти часу  $t+1$  і  $t$  відповідно;  $(x_j(t) - x_j(t-1)) = \Delta x_j(t)$  – зміни фактора  $x_j$  у момент часу  $t$ ;  $a_{ij}$  – вага впливу фактора  $x_j$  на фактор  $x_i$ ;  $I_i$  – кількість факторів, що безпосередньо впливають на фактор  $x_i$ .

Завдання управління на основі аналізу когнітивних моделей полягає у виділенні серед чинних властивостей ситуації таких факторів:

– *керуючих* – факторів, на які особа, яка приймає рішення, має можливість безпосередньо впливати;

– *цільових* – факторів, зміна чи стабілізація яких є метою управління; вибір множини керуючих факторів – керуюче рішення (*стратегія*).

У інтерпретаціях знакового графа порівнюють рішення на множині цільових чинників, які мають потрібний позитивний чи негативний вплив, без оцінки сили впливу. Виникнення невизначеностей не дає можливості оцінити рішення навіть за знаком його впливу на цільові фактори.

У рамках знакових графів ці проблеми усуває підхід, що передбачає метод аналізу впливів на таких припущеннях [10]:

1) сила впливу одного фактора на інший залежить від довжини досліджуваного шляху (тобто числа ребер у ньому);

2) чим більше паралельних впливів за різними послідовностями зв'язків існує між факторами, тим сильніший вплив між ними.

Число позитивних  $E_{ij}^{(m)}$  і негативних  $I_{ij}^{(m)}$  шляхів від фактора  $v_i$  до фактору  $v_j$  довжини  $m$  визначає їх сумарний вплив:

$$\tilde{p}_{ij} = \sum_{m=1}^{\infty} f(m)E_{ij}^{(m)} \text{ – позитивний і } \tilde{n}_{ij} = \sum_{m=1}^{\infty} f(m)I_{ij}^{(m)} \text{ – негативний вплив,}$$

де  $f(m)$  – монотонна незменшувана функція від довжини шляху  $m$ , що визначає ступінь ослаблення впливу на шляху від  $v_i$  до  $v_j$ .

Функція  $f(m)$  – це функція, що диференціюється  $f(m) = zm$ , де  $z$  – коефіцієнт, що визначає ступінь ослаблення. Зі зменшенням  $z$  знижується вплив довгих шляхів на кінцевий результат, що використовується для аналізу впливу шляхів різної довжини.

Для порівняння різних стратегій розглядають варіанти оціночної функції  $v(s_{ij}, c_{ij})$ , де  $s_{ij}$  – сумарний вплив  $i$ -го фактора на  $j$ -й фактор;  $c_{ij}$  – консонанс впливу  $i$ -го фактора на  $j$ -й фактор, міра відмінності між позитивним і негативним впливом: чим вона більша, тим більш визначеною є оцінка впливу на навколишнє середовище, що становить величину

$$s_{ij} = \ddot{p}_{ij} + \tilde{n}_{ij}, \quad c_{ij} = (\tilde{p}_{ij} - \tilde{n}_{ij}) / (\tilde{p}_{ij} + \tilde{n}_{ij}) \quad (1.7)$$

Функція  $v(s_{ij}, c_{ij})$  відповідає таким властивостям:

- 1)  $i$ -та стратегія, яка визначена парою  $(s_{ij}, c_{ij})$ , а стратегія  $i'$  – парою  $(s'_{ij}, c'_{ij})$  за умови  $v(s_{ij}, c_{ij}) > v(s'_{ij}, c'_{ij})$  становить кращий за  $i'$ -й варіант;
- 2)  $v(s_{ij}, c_{ij}) = 0$ , то  $c_{ij} = 0$  за будь-яких  $s_{ij}$ ;
- 3)  $v(s_{ij}, c_{ij})$  монотонно зростає за обома змінними, то  $c_{ij} > 0$ ;
- 4)  $v(s_{ij}, c_{ij})$  монотонно зменшена за обома змінними, то  $c_{ij} < 0$ .

При деяких припущеннях доцільно вибрати оцінну функцію як  $v(s, c) = vs(c) \cdot vc(c)$ .

Аналіз впливів у нечітких когнітивних картах (НКК) заснований на підході детальної характеристики взаємодії факторів: між  $f_i$  і  $f_j$  за  $m$  шляхів;  $Ir(f_i, f_j)$  позначає вплив  $f_i$  на  $f_j$  відповідно до  $r$ -го шляху;  $T(f_i, f_j)$  – сумарний вплив  $f_i$  на  $f_j$  за всіма шляхами:

$$Ir(f_i, f_j) = \min_p w_{p,p+1}, \quad T(f_i, f_j) = \max_{1 \leq r \leq m} Ir(f_i, f_j) \quad (1.8)$$

де  $w_{p,p+1}$  – вага орієнтованого ребра від  $f_p$  до  $f_{p+1}$  на  $r$ -му шляху.

Таким чином, операція  $Ir(f_i, f_j)$  виділяє слабкий зв'язок на  $r$ -му шляху, а операція  $T(f_i, f_j)$  виділяє сильніший із зв'язків (рис. 1.12).

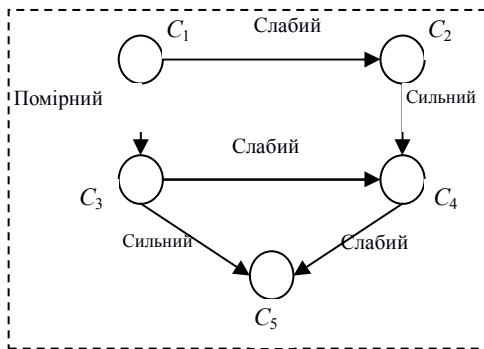


Рисунок 1.12 – Нечіткий когнітивний граф впливів

Для оцінки впливу фактора  $C_1$  на  $C_5$  виділяють три каузальні шляхи:  $(C_1, C_3, C_5)$ ,  $(C_1, C_3, C_4, C_5)$ ,  $(C_1, C_2, C_4, C_5)$  непрямих впливів  $C_1$  на  $C_5$ :

- $I(C_1, C_5) = \min(w_{13}, e_{35}) = \min\{\text{помірний}, \text{сильний}\} = \text{помірний};$

- $I(C_1, C_5) = \min$  (помірний, слабкий, слабкий) = слабкий;
- $I(C_1, C_5) = \min$  (слабкий, сильний, слабкий) = слабкий.

Таким чином, сумарний вплив  $C_1$  на  $C_5$  дорівнює

$$T(C_1, C_5) = \max(I_1(C_1, C_5), I_2(C_1, C_5), I_3(C_1, C_5)) = \max = \text{помірний}.$$

У завданнях динамічного аналізу нечіткі величини приписуються не тільки зв'язкам, а й факторам. Ваги зв'язків у процесі аналізу вважаються постійними, а приписана величина фактору  $v_i$  – це значення деякої функції  $y_i(t)$  від ваг вхідних ребер і вхідних значень факторів для  $v_i$ , яке змінюється з часом. Вектор значень факторів  $Y(t) = (y_1(t), y_2(t), \dots, y_n(t))$  у момент  $t$  визначає стан ситуації у цей момент. Сукупність ваг ребер  $w_{ij}$  задається матрицею суміжності графа  $W = |w_{ij}|$ . Значення фактора дозволяє оцінити силу впливу на фактор, встановити сумарний конкретний вплив факторів.

Розвиток ситуації у часі під впливом різних зовнішніх впливів виявляється у зміні значень факторів, тобто вирішується завдання *прогнозу* (пряме завдання), досліджується можливість *управління ситуацією*, тобто. здійснюється пошук впливу, що призводить до цільового стану (зворотне завдання). Реалістичний для багатьох прикладних завдань випадок передбачає, що функції для всіх факторів, по-перше, однакові, а по-друге, залежать не від значень вхідних факторів, а від їх прирощень (тобто величина збільшення у будь-якому разі впливає однаково на стан системи).

Область значень фактора  $v_i$  – це лінійно впорядкована множина (шкала) лінгвістичних значень  $Z_i = \{z_{i1}, z_{i2}, \dots, z_{iq}(i)\}$ , де  $z_{i1}$  – мінімальний і  $z_{iq}(i)$  – максимальний елементи множини, для якої  $z_{ik} < z_{i1}$ , якщо  $k < 1$ .

Збільшення поточного значення чинника визначається переходом  $y_i(t) = z_{im}$  до елементів  $z_{i(m+1)}, z_{i(m+2)}, \dots, z_{iq}(i)$  позитивним  $P^+$ ; негативним прирощенням  $P^-$  під час переходу до  $z_{i(m-1)}, z_{i(m-2)}, \dots, z_{i1}$ . У випадку при переході від  $z_{im}$  до  $z_{i1}$  вважають  $P = 1 - m$ . При  $m < 1$  зміни значень будуть позитивним, а при  $m > 1$  – негативними.

Стан ситуації визначають за відображенням:  $Z_i[0,1]$  дискретної лінгвістичної шкали  $Z_i = \{z_{i1}, z_{i2}, \dots, z_{ir}\}$  на відрізок  $[0, 1]$  за алгоритмом.

Відрізок  $[0, 1]$  розбивають на  $r$  рівних відрізків, межі яких позначають у порядку зростання  $b_0 = 0, b_1, \dots, b_r = 1$ , а елемент відображається у центрі  $k$ -го відрізка. Зворотнє відображення  $-1: [0, 1]Z_i \in$  гомоморфізм: всі точки, що лежать в інтервалі  $(b_{k-1}, b_k)$ , відобразяться в одну точку  $z_{ik}$ . Відповідно до відображення стан ситуації у числовому вигляді визначається як  $X(t) = Y(t) = (y_1(t), y_2(t), \dots, y_n(t))$ . Подальші обчислення виробляються з числовим уявленням ситуації  $X(t)$ . Зворотнє відображення  $-1$  використовується лише для якісних інтерпретацій результатів аналізу.

**Пряме завдання** – *прогноз розвитку ситуації* відповідно до таких вихідних даних:

1) когнітивна карта  $G(V, W)$ , де  $V$  – множина вершин (факторів ситуації);  $W$  – матриця суміжності;

2) множина шкал  $\{Z_1, \dots, Z_n\}$  усіх факторів ситуації;

3) початковий стан ситуації  $X(0) = (x_1(0), \dots, x_n(0))$ ;

4) початковий вектор прирощування факторів ситуації  $P(0) = (p_1(0), \dots, p_n(0))$ .

Необхідно знайти стан ситуації  $X(1), \dots, X(n)$  та вектори приросту у дискретні моменти часу  $1, \dots, n$ , де  $n$  – число вершин, за умови, що вплив збурення стосується всіх вершин.

*Прогноз розвитку ситуації* визначають відповідно до матричного відношення виду

$$P(t+1) = P(t) \circ W, \quad (1.9)$$

для якого  $p_i(t+1) = \max \left( \left| p_j(t) \cdot w_{ji} \right| \right)$  є виконанням правила max-product.

У алгоритмах рішення використовуються нечіткі матричні операції, названі в нечіткій математиці композиціями – *max-product* – роль додавання визначає взяття максимуму, множення – звичайна дія; *max-min* – роль множення визначає взяття мінімуму.

Приріст  $p_i(t+1)$  – це максимум з величин  $p_j(t) \cdot w_{ji}$  за всіма факторами, що є вхідними для фактора  $v_i$ , для інших  $w_{ji} = 0$ .

У моделі задано початковий стан ситуації  $Y(0)$  і наступний стан  $Y(1)$  після застосування керуючих впливів у лінгвістичних значеннях. Початкове збільшення визначається у вигляді  $P(0) = Y(1) - Y(0) = X(1) - X(0)$ .

Стан ситуації з урахуванням природжень у послідовні моменти  $t = 1, \dots, n$  визначається за формулою

$$X(t+1) = X(t) + P(t+1) \quad (1.10)$$

Для інтерпретації прогнозів із вектором  $P(t+1)$  визначається вектор  $C = \{c_1(t+1), \dots, c_n(t+1)\}$  – консонанс фактора  $v_i$ . Консонанс  $c_i(t+1)$  характеризує ступінь визначеності прогнозу на час  $(t+1)$ . Він дорівнює 1, якщо знаки вхідних природжень однакові, дорівнює 0, якщо  $(t+1) = (t-1)$ .

*Рішення прямої задачі* враховує два істотні моменти.

1. При аналізі нечітких ситуацій час реалізації впливу одних факторів на інші оцінюється нечітко. Моменти часу розуміються як лінійно впорядковані у часі проміжні кроки прогнозу. Цільовий стан  $X(t+n)$  є результатом узагальненої якісної оцінки всього прогнозованого розвитку ситуації від  $t$  до  $(t+n)$ .

Елементи векторів природжень значень факторів, отримані в дискретні послідовні моменти часу  $P(t+1), \dots, P(t+n)$  подаються у вигляді двовимірного масиву:

$$P^t = \left| P(t+1)^T, \dots, P(t+n)^T \right|, \quad (1.11)$$

де рядки  $P^t$  – це значення збільшення одного фактора у послідовні моменти часу, а стовпці – значення збільшення всіх факторів у послідовні моменти часу – «хвиля» природжень.

*Матриця  $P^t$  називається матрицею прогнозу.*

2. При обчисленні станів ситуації у моменти часу  $t, t+1, \dots, t+n$  обчислюють значення приросту та рівень упевненості його вибору (консонанс). При виборі природжування зберігають відкинуте негативне (або позитивне) збільшення.

**Зворотне завдання** – знаходження керуючих впливів, які дають необхідний приріст значень факторів ситуації. У формуванні зворотної задачі моменти часу не беруть участь, тому що неважливо, на якому кроці необхідне природження буде досягнуто. При пошуку рішення розглядаються напрями поширення впливів, використовуючи нечітке транзитивне замикання  $W' = \left| w'_{ij} \right|$  матриці суміжності  $W$ :  $w'_{ij} = ((w_{ij})_1, (w_{ij})_2, \dots, (w_{ij})_n)$ , де  $(w_{ij})_k$  елемент матриці  $W_k$ ,  $k = 1, 2, \dots, n$  визначається зі співвідношення  $(w_{ij})_k = (w_{i1} \cdot (w_{1j})_{k-1})$ .

*Вихідні дані:* Встановлено причинно-наслідкові зв'язки між факторами у вигляді матриці транзитивного замикання  $W'$ , цільовий вектор необхідних збільшень факторів ситуації  $G = (g_1, g_2, \dots, g_n)$ .

Знайти множини векторів вхідних впливів  $\{U\}$ , що задовольняють умові рішення нечіткого реляційного рівняння щодо  $U$  [10]:

$$U \cdot W' = G \quad (1.12)$$

Зворотнє завдання для нечітких реляційних рівнянь типу *max-product* еквівалентне завданню покриття.

Вибір правила *max-product* (множення та взяття максимуму) для агрегування прирощень факторів у якісних когнітивних картах обумовлено кількома причинами. По-перше, вибір цього правила вимагає неадитивність лінгвістичних значень та прирощень факторів, заданих у порядкових шкалах, для яких операція додавання не визначена.

По-друге, застосування правила *max-product* порівняно з методом *sum-product* при обчисленні прогнозів на когнітивних картах, параметризованих досить грубим експертним способом, має низку переваг. При використанні правила *sum-product* експертні помилки включені у ваги дуг і значення факторів, сумують на кожному з  $n$  кроків моделювання. Це призводить до мультиплікативної похибки прогнозних значень всіх факторів, що призводить до нестійкості змодельованої картою системи.

При використанні правила *max-product* мультиплікативні похибки мінімальні, а виділене цим правилом максимальне збільшення чинника насправді визначає його гарантоване прогнозне значення.

Головною *перевагою* пропонованого апарату когнітивних карт є те, що цей підхід є *математичною основою для інтелектуальних інформаційних технологій підтримки прийняття рішень у слабоструктурованих предметних галузях*.

Відповідно до структури когнітивного аналізу (див. рис. 1.11) динамічний аналіз дозволяє визначитися з тенденціями поведінки досліджуваної системи завдяки моделюванню ситуації завдяки *сценарному підходу з застосуванням імпульсного режиму* зміни стані в модельній системі.

Надання так званого початкового імпульсу, тобто. довільної початкової зміни значення вершин визначено як керований вплив на систему. Процес зміни стану вершин із накопиченням задається формулою:

$$x(k) = x(0) + p(0) \left( E + A + A^2 + \dots + A^{k-1} \right), \quad (1.13)$$

де  $x(0)$  – вектор значень вершин орграфу початкового імпульсу;  $p(0)$  – вектор величин початкових змін значень вершин, *начальний імпульс*;  $x(k)$  – вектор значень вершин після проходження імпульсу по системі;  $A$  – матриця суміжності вершин з вагових коефіцієнтів орграфу.

Якщо система містить  $N$  вершин, то  $x(k) \in R^N$ ,  $p(0) \in R^N$ ,  $A$  – матриця розміру  $N \times N$ . Вектор вважають  $x(0)$  тривіальним, так як стан системи оцінюється за допомогою набору показників, що становить значення частини вершин системи. Для кожного початкового імпульсу  $p(0) = (\lambda_1, \dots, \lambda_N)$  отримують вектор повної реакції системи  $a_p = (a_{p_1}, \dots, a_{p_n})$ ,  $a_{p_j} = \lim_{k \rightarrow \infty} x_j(k)$  [10]. Таким чином одержують реакції системи на дію одиничних векторів початкових імпульсів  $p^i(0) = e_i \in R^N$ , що становить основу для визначення повної інформації з тенденцій змін:

$$a_i = (a_{i_1}, \dots, a_{i_n}), a_{ij} = \lim_{k \rightarrow \infty} p^i(0) \cdot B^{(k-1)}, \quad (1.14)$$

де  $B^{(k-1)} = (b_{ij}^{k-1}) = E + A + A^2 + \dots + A^{k-1}$ ,  $p(0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i \cdot p^i(0)$ ,  $a_p = \sum_{i=1}^N \lambda_i \cdot a_i$ .

Сукупність векторів  $p(0), a_p$  називають альтернативним варіантом розвитку орграфу або альтернативою:  $A_p = (p(0), a_p) \in R^{R+n}$ . Альтернативи виду  $A_i = (p_i(0), a_i)$  є базовими альтернативами. Таким чином, множини альтернатив є лінійною оболонкою множини базових альтернатив. Звідси і наявність множини варіантів керуючих впливів на систему і для кожного з них є відповідний результативний стан системи. Особливо важливо це в еколого-економічному аналізі та екологічному управлінні.

Таким чином, за допомогою когнітивного моделювання здійснюється прогнозування стану модельованої системи при різних керуючих впливах, пошук альтернативних керуючих рішень щодо приведення системи в цільовий стан:

- статичний аналіз – аналіз досліджуваної ситуації за допомогою вивчення структури взаємних впливів концептів когнітивної карти;
- динамічний аналіз, який полягає у генерації можливих сценаріїв розвитку ситуації у часі.

## **2 Завдання до лабораторної роботи з прогнозу екологічного стану довкілля на базі сценарного підходу когнітивного моделювання**

### **2.1 Послідовність виконання роботи з оцінки та прогнозування екологічного стану «об'єкт – довкілля»**

1 Об'єктом дослідження має бути природно-територіальний комплекс, окрема екосистема, «виробництво – навколишнє середовище», «ІТ (ІС) – навколишнє середовище» та ін., тобто будь-який об'єкт, що за ознаками може визначатися як екосистема. Для повного уявлення об'єкта необхідно надати його опис відповідно до екологічних задач, що мають місце при внутрішньо системному управлінні чи зовнішньому урегулюванні питань його впливу на довкілля.

2 Відповідним чином сформулювати мету, визначити задачі, які необхідно вирішити, щоб отримати оцінку поточного екологічного стану досліджуваного об'єкта та встановити напрями екологічного урегулювання на основі прогнозованих змін при певних проявах внутрішніх і зовнішніх факторів збудження ймовірного чи стохастичного характеру.

3 Розробити системологічну модель обраного об'єкта відповідно до попереднього його опису за літературними джерелами чи іншими джерелами інформації, врахувати мету і задачі дослідження для структурування системної моделі. Надати опис складових системного подання об'єкта, зв'язків у вигляді систем стану і системи процесів, що забезпечують функціонування об'єкта й взаємодію з навколишнім середовищем.

4 Обрати відповідну систему моніторингу для вивчення об'єкта та і контролювання екологічної її функціональності після прийнятих рішень (використати для цього попередні матеріали, надані на рис. 1.1–1.8). Після цього структурувати дані про об'єкт і визначитися с побудовою його моделі для оцінки стану і прогнозу змін.

5 Побудувати модель дослідження у вигляді когнітивної карти і дослідити її складові та зв'язки за параметрами стійкості, наявності вагомих і сильно зв'язаних компонент, встановити контури позитивного і негативного значення для підтримки екологічної якості об'єкта (використати матеріал рисунків 1.10–1.12, формули (1.6)–(1.12), для попередньої статистичної обробки даних про об'єкт застосувати регресійний аналіз (див. вирази (1.4)–(1.5)). Отриманий результат цього пункту роботи – когнітивна карта, оцінка інформації статистичного когнітивного аналізу з поточного стану обраного об'єкта щодо екологічності складових і його загалом.

6 Прогнозування змін у стані досліджуваного системного утворення «об'єкт – навколишнє середовище» відповідно до сценарного підходу та імпульсного режиму, встановлення керуючих дій щодо екологічного урегулювання питань безпеки довкілля при функціонуванні об'єкта.

**Моделювання, розрахунки на основі когнітивної карти і сценарного підходу її дослідження проводяться тільки при використанні програмної системи Cognitive Modelling Software System (CMSS) чи пакету STATISTICA, MathCad, MathLab чи розробленої програми, що підвищує оцінку роботи.**

## **2.2 Приклади аналізу стану об'єкта та виконання прогнозу змін системи за когнітивною картою**

Аналіз когнітивної карти складної системи «об'єкт – навколишнє середовище» (див. системологічну модель об'єкта) має за мету перевірити відповідність моделі реальній досліджуваній системі та визначити її структурні властивості, стійкість, функціональність згідно з цільовою функцією та ін.

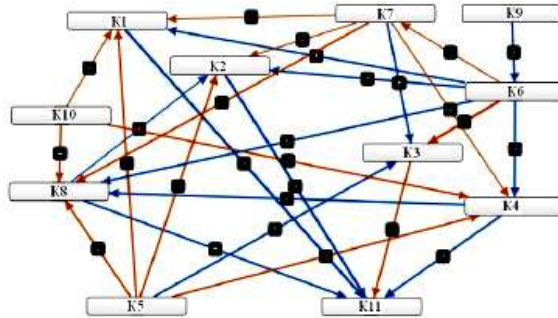
**1 Аналіз імпульсної стійкості** – це проведення обчислювального експерименту з визначення коренів характеристичного рівняння матриці відносин когнітивної карти  $G$ . Ці обчислення необхідні визначення властивості імпульсної стійкості системи відповідно до збурення і початкового значення. Для перевірки стійкості використовується критерій  $M$  – максимальне за модулем власне число матриці  $RG$ , тобто корінь характеристичного рівняння, де  $M < 1$  визначає стійкість системи.

**2 Аналіз шляхів, циклів та структурної стійкості моделі  $G$**  – це оцінка логічності зображених причинно-наслідкових ланцюжків, їх не суперечності реальній системі та встановлення можливих шляхів досягнення стабільності системи (проводиться за допомогою програмного застосування CMSS), а саме виділення негативних стабілізуючих циклів зворотного зв'язку (непарне число негативних дуг).

**3 Імпульсне моделювання, сценарії розвитку системи** для проектування стратегій розвитку еколого-соціально-економічних систем на основі отриманих результатів управління ситуаціями відповідно до моделі імпульсних процесів. Перед проведенням імпульсного моделювання розробляється план експерименту, у якому визначаються вершина чи його сукупність, куди вноситимуться збурення. Результати обчислювального експерименту, що відповідає одному з можливих сценаріїв надаються у відповідну таблицю. Так, для оцінки рівня захищеності системи захисту інформації пропонується

така послідовність прийняття рішення на основі когнітивного моделювання та аналізу ситуації [11].

Згідно з структурою знань про систему захисту в галузі інформаційної безпеки визначені списки концептів та сили зв'язку між ними для побудови нечіткої когнітивної карти (НКК) з метою ідентифікації стану захищеності системи захисту інформації (рис. 1.13).



K1 – захист від витoku технічними каналами; K2 – захист каналу передавання інформації; K3 – розголошення інформації персоналом; K4 – фізичний захист; K5 – НСД до інформації зловмисником; K6 – організаційне забезпечення захисту інформації; K7 – неавтономні дії, помилки обслуговуючого персоналу; K8 – надійність, відмовостійкість технічних та програмних засобів; K9 – нормативно-правове забезпечення захисту; K10 – природні явища та явища техногенного характеру; K11 – захищеність системи захисту інформації

Рисунок 1.13 – Нечітка когнітивна карта дослідження стану захищеності системи захисту інформації [11]

1. На основі матриці  $V_{неч}$  розраховуються системні показники нечіткої когнітивної карти, що дозволяють виділяти фактори, які чинять найбільший вплив на інші фактори та систему, й навпаки, та оцінити ступінь цього впливу [9]. Вплив  $i$ -го фактора на  $j$ -й:

$$p_{ij} = \text{sign}(v_{ij} + \bar{v}_{ij}) \max(|v_{ij}|, |\bar{v}_{ij}|), \quad |v_{ij}| \neq |\bar{v}_{ij}|. \quad (1.15)$$

Вплив  $i$ -го фактора на систему:

$$\bar{P}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n p_{ij}. \quad (1.16)$$

Вплив системи на  $j$ -й фактор:

$$\bar{P}_j = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n p_{ij} \cdot \quad (1.17)$$

Консонанас впливу  $i$ -го фактора на  $j$ -й аналогічно виразу (1.7):

$$c_{ij} \frac{|v_{ij} + \bar{v}_{ij}|}{|v_{ij}| + |\bar{v}_{ij}|} \cdot \quad (1.18)$$

Консонанас впливу  $i$ -го фактора на систему :

$$\bar{C}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n p_{ij} \quad (1.19)$$

Консонанас впливу системи на  $j$ -й фактор:

$$\bar{C}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_{ij} \quad (1.20)$$

Дисонанс впливу  $i$ -го фактора на систему (міра недовіри до отриманого результату):

$$\bar{D}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n d_{ij} \quad (1.21)$$

Дисонанс впливу системи на  $j$ -й фактор:

$$\bar{D}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_{ij} \quad (1.22)$$

Консонанс і дисонанс є протилежним, отже,

$$\bar{C}_i + \bar{D}_i = 1, \bar{C}_j + \bar{D}_j = 1 \quad (1.23)$$

Таким чином, після побудови КК будь-якого виду передбачено аналіз стану об'єкта як складної системи за результатами когнітивного аналізу (аналітичні вирази (1.6)–(1.8) і (1.15–1.23).

2. Визначення сили зв'язку становить оцінку впливу одного концепту на інший і надається лінгвістичними термами з урахуванням додатних концептів – підсилення впливу концепту  $K_i$  на концепт  $K_j$  ( $w_{ij} > 0$ ); від'ємних – послаблення впливу концепту  $K_i$  на концепт  $K_j$  ( $w_{ij} < 0$ ), тобто  $w_{ij} \in [-1; 1]$ . Сила зв'язку, наприклад, для додатних зв'язків шкала має вигляд: { 0 – не впливає; (0, 0,15] – дуже слабка; (0,15, 0,35] – слабка; (0,35, 0,6] – середня; (0,6, 0,85] – сильна; (0,85, 1] – дуже сильна } [11].

Аналогічний вигляд має шкала тільки з протилежними знаками для від'ємних зв'язків, що належить відрізку  $[-1, 0]$ .

Остаточно для НКК (див. рис. 1.13) матриця взаємовпливів концептів матиме такий вигляд  $W = [w(K_i, K_j)]_{n \times n}$  (рис. 1.14) [11].

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11
K1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,9
K2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,85
K3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,75
K4	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0,7
K5	-0,55	-0,7	0,82	-0,75	0	0	0	-0,55	0	0	0
K6	0,7	0,65	-0,9	0,8	0	0	-0,3	0,7	0	0	0
K7	-0,45	-0,3	0,58	-0,42	0	0	0	-0,55	0	0	0
K8	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,55
K9	0	0	0	0	0	0,55	0	0	0	0	0
K10	-0,35	0	0	-0,3	0	0	0	-0,82	0	0	0
K11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рисунок 1.14 – Матриця взаємовпливів концептів НКК предметної області [11]

3. Для визначення структурно-топологічних властивостей НКК використовують показники структурної складності:

1) щільність НКК – показує ступінь зв'язності графа НКК:

$$d = \frac{m}{n(n-1)}, \quad (1.24)$$

де  $m$  – загальна кількість зв'язків НКК;  $n$  – загальна кількість концептів НКК (для НКК на рис. 1.13 при  $n = 11$  і  $m = 27$  щільність  $d = 0,25$ , що є достатньо великою [11]);

2) центральність концепту – характеризує ступінь взаємодії  $i$ -го концепту НКК з його сусідами:

– вихідна центральність – сукупна сила зв'язків ( $w_{ij}$ ), що виходять з аналізованого концепту  $K_i$ :

$$od_i = \sum_{j=1}^n w_{ij}; \quad (1.25)$$

– вхідна центральність – сукупна сила зв'язків ( $w_{ij}$ ), що входять до аналізованого концепту  $K_i$ :

$$id_i = \sum_{j=1}^n w_{ij}; \quad (1.26)$$

3) загальна центральність концепту:

$$td_i = od_i + id_i; \quad (1.27)$$

4) складність – відношення кількості концептів типу «Receiver» (концепт, на який впливають концепти системи, а він не впливає ні на жоден з них) до кількості концептів типу «Driver» (концепт, що впливає на інші концепти, а на нього не впливає жодний з концептів системи). Чим більше значення даного коефіцієнта, тим складніші карти, оскільки вони містять більше корисних результатів та менше контрольованих впливів на зовнішнє середовище;

5) індекс ієрархії:

$$h = \frac{12\sigma_{od}^2}{n^2 - 1}, \quad (1.28)$$

де  $\sigma_{od}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (od_i - \mu_{od})^2}{n}$ ,  $\mu_{od} = \frac{\sum_{i=1}^n od_i}{n}$ , при  $h = 1$  система є повністю ієрархічною, при  $h = 0$  – повністю демократичною.

Так, для наданого прикладу НКК щодо дослідження стану захищеності системи захисту інформації отримані такі результати: більш високу структурну значимість має концепт К6 ( $td_6 = 4, 6$ ) (див. рис. 1.13), концепти К8, К11, К4, К5 відповідно визначені значеннями загальної центральності  $td_8 = 3,92$ ;  $td_{11} = 3,75$ ;  $td_4 = 3,67$ ;  $td_5 = 3,36$ , тобто вони акумулюють найбільшу кількість зв'язків від інших концептів, відіграють роль своєрідних центрів впливу в НКК [11]. Результати щодо визначення рівня ієрархічності показали, що надана як приклад система є високо демократичною, бо  $h = 0,2$ .

4. Сценарне моделювання для визначення відносної зміни в аналізованому об'єкті, наприклад рівня захищеності системи, при максимальному значенні впливу на неї вагомих концептів (сценарний підхід, імпульсний режим за рівняннями (1.9)–(1.14)). Для опису динаміки стану концептів використовують імпульсні процеси. В основі цього підходу моделювання прогнозних станів лежить припущення про те, що зміна станів всіх концептів відбувається в дискретні моменти часу. Зміна стану концеп-

пту  $v_i$  в момент часу  $t$  є імпульсом й позначається  $p_i(t)$ . Модифікована модель імпульсного процесу для нечітких когнітивних карт враховує передачу впливу між концептами і керуючий вплив [9].

При цьому передача впливу відбувається за один такт: зміна стану концепту – причини в момент часу  $t$  призводять до зміни стану концепту – наслідку в момент часу  $t+1$ :

$$v_i(t-1) = \min(v_i(t) + u_i(t+1) + \sum_{j=1}^n w_{ij} p_j(t)) \quad (1.29)$$

де  $u_i(t+1)$  – керуючий вплив на концепт  $v_i$  в момент часу  $(t+1)$ .

Для прикладу оформлення результатів наведено таблицю реалізації сценарного підходу з оцінки ефективності впливу раціональних сценаріїв на досягнення цільових орієнтирів соціально-економічного розвитку Харківського регіону (рис. 1.15) [9].

Концепт ( $v_i$ )	Значення концепту в момент часу ( $v_i(t)$ )		Темп приросту концепту ( $v_i$ ), %	Вербальне описання й зміна рівня концепту
	$v_i(0)$	$v_i(20)$		
Природно-ресурсний потенціал	0,3293	0,3293	0,00	НС (незмінний)
Урбанізація	0,8180	1,0000	22,25	BC→B
Центро-периферійне розміщення	0,2828	0,3835	35,61	H→HC
Сільські території	0,2119	0,0400	-81,12	H↓H
Масштабність	0,1919	0,0771	-59,80	H↓H
Щільність населення	0,1059	0,0858	-18,96	H↓H
Охорона здоров'я	0,9071	0,9533	5,10	B↑B
Освіта (потенціал)	0,7005	0,7648	9,17	BC↑BC
Дозвілля (потенціал)	0,5021	0,6651	32,47	C↑C
Трудовий потенціал	0,6724	0,6785	0,91	C↑C
Інвестиційний потенціал	0,2442	0,3400	39,24	H→HC
Науковий потенціал	0,6436	0,9367	45,54	C→B
Інноваційний потенціал	0,4577	0,5123	11,93	HC→C
Структурний потенціал	0,6397	0,7443	16,35	C→BC
Соціальна результативність	0,7771	0,9989	28,54	BC→B
Екологічна результативність	0,9193	0,7842	-14,70	B→BC
Економічна результативність	0,3019	0,3591	18,95	HC↑HC
Довге та здорове життя	0,4525	0,5515	21,88	HC→C
Безпека життя	0,5702	0,5708	0,10	C↑C
Освіта	0,7336	1,0000	36,31	BC→B
Забезпеченість житлом	0,1795	0,2024	12,74	H↑H
Сукупні витрати домогосподарств	0,8170	0,8483	3,83	BC↑BC
Раціональне харчування	0,9887	1,0000	1,14	B↑B
Дозвілля	0,3780	0,5327	40,93	HC→C

Рисунок 1.15 – Приклад реалізації сценарного підходу за імпульсним режимом

Таким чином, запропонований підхід до оцінки впливу факторів на зміни у досліджуваному об'єкті дозволяє визначити силу та характер взаємозв'язків між факторами, оцінити силу та характер цього впливу, побудувати когнітивну модель досліджуваної ситуації, встановити стан «об'єкт – навколишнє середовище» і спрогнозувати наслідки їх взаємодії.

### **2.3 Основні вимоги до оформлення лабораторної роботи**

Звіт з виконання лабораторної роботи має таку структуру:

1) визначення об'єкта дослідження з відповідним формулюванням мети роботи, попереднім описом інформації щодо ситуації з об'єктом і уявлення про нього у вигляді *системологічної моделі* «об'єкт – навколишнє середовище»; постановка задач дослідження за тематикою лабораторної роботи до модуля 1 лекційного курсу;

2) хід виконання роботи відповідно до послідовності моделювання ситуації за когнітивним аналізом згідно до матеріалів п. 2.2 і прикладу прогнозування за когнітивною моделлю, що надано в п. 2.3;

3) загальний **висновок** повинен бути конкретним, структурованими і узагальнювати результати виконаних досліджень: викладати з чіткою вказівкою того, що саме зроблено автором роботи: «Розглянуто.... Проаналізовано... Вибрано.... Проведено дослідження та зібрано... Розроблено та наповнено базу даних... Побудовано... Аналіз показав, що... Розроблено рекомендації щодо..., які передано в... для подальшого використання на практиці»;

4) список джерел інформації, на які подані посилання при виконанні лабораторної роботи стосовно забезпечення вихідними даними та методичним матеріалом щодо математичних викладок і побудови автоматизованої системи розрахунків.

Обов'язковим при наданні розрахунків і графічного матеріалу є використання прикладних програм, програмних застосунків чи пакетів, розробок особистих з програмного забезпечення розв'язку задач роботи.

### Список джерел інформації

1. Лиса Н.К. Системологічний аналіз проблеми створення інформаційних технологій інтегрованого моніторингу техногенних систем. *Науковий вісник НЛТУ України*, 2017. Т. 27. № 10 Scientific Bulletin of UNFU, 2017. Vol. 27. № 10. С. 146–150.
2. Організаційна структура моніторингу. URL: <http://hydrogeology.univer.kharkov.ua/wp-content/uploads/2019/03/%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86.%D0%9C%D0%BE%D0%BD%D1%96%D1%82.pdf>
3. Моніторинг довкілля: підручник / [Боголюбов В.М., Клименко М.О., Мокін В. Б. та ін.]; за ред. проф. В.М. Боголюбова. Київ: НУБі-ПУ, 2018. 435 с.
4. Прогнозування, попередження та ліквідацію наслідків повеней... Науково-практичний онлайн-семінар на базі Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. 15.07. 2020 р.. URL: <https://vodaif.gov.ua/prognozuvannya-poperedzhennya-ta-likvidatsiyu-naslidkiv-povenej-obgovoryly-naukovtsi-v-ivano-frankivsku/>
5. Бахарев В.С., Шевченко І.В., Коваль С.С., Корцова Е.Л. Інформаційно-технологічні аспекти управління екологічною безпекою в системах муніципального моніторингу атмосферного повітря. Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. Випуск 4/2017 (105). С. 68–73.
6. Інтерактивна карта радіаційного моніторингу України ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України». URL: <https://www.igns.gov.ua/>
7. Прохорова В.В., Мушнікова С.А. Альтернативні стратегічні сценарії управління безпекою розвитку металургійних підприємств на основі побудови когнітивної моделі. *ВІСНИК КНУТД*, 2020. № 1 (143). С. 59–68.
8. Лось В. О., Очеретін Д. В. Когнітивне моделювання розвитку туристичної сфери. *БІЗНЕСІНФОРМ*. № 10 '2017. С. 166–173.
9. Кизим М.О., Белікова Н.В., Беккер М.Л. Науково-методичне забезпечення вирішення проблемних ситуацій в регіонах України (на прикладі Харківської області). *Проблеми економіки*, 2021. № 2 (48). С. 70–85.
10. Козуля Т.В. Теория и практика экологического менеджмента: учебно-метод. пособие к практическим занятиям. Харьков, 2014. 92 с.
11. Saliieva O., Yaremchuk Yu. Determining the level of security of the information security system based on cognitive modelling. *Ukrainian Scientific Journal of Information Security*, 2020. Vol. 26. Issue 1. P. 42–49.

### III ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ПРИ СИСТЕМОЛОГІЧНОМУ ЇХ ДОСЛІДЖЕННІ. ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА СТАНУ СИСТЕМНИХ ОБ'ЄКТІВ І ПРОЦЕСІВ У НИХ В СЕРЕДОВИЩІ ПАКЕТА MICROSOFT EXCEL, STATISTICA

**Завдання:** практика моніторингових досліджень для моделювання складних об'єктів соціально-еколого-економічного призначення; практика розробки системологічних моделей за первинною інформацією щодо стану об'єкта; статистичні пакети та їх використання в діяльності моніторингових систем для отримання інформаційно-програмної підтримки прийняття екологічних рішень.

#### **1 Теорія та практика моніторингових досліджень системних об'єктів. Статистична обробка даних моніторингу, моделювання**

##### **1.1 Визначення системи моніторингу, види моніторингу**

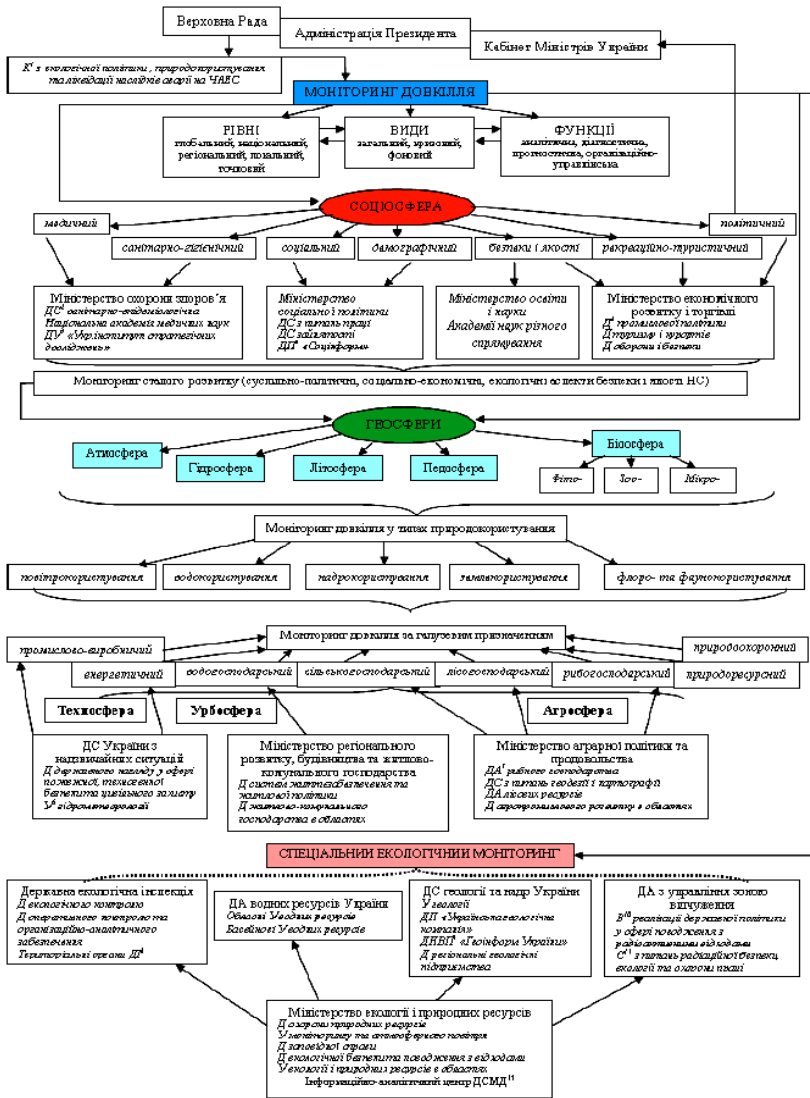
Система моніторингу (СМ) – це комплексна система спостережень, збору, обробки, систематизації, аналізу інформації про стан навколишнього середовища, яка дає оцінку і прогнозує його зміни, розробляє обґрунтовані рекомендації для прийняття управлінських рішень (рис. 1.1).

**Структура** системи моніторингу визначена такими чинниками:

- функціональне призначення СМ;
- область застосування та цільові установки з переліку задач;
- функції обробки інформації, покладені на СМ.

Функціональне призначення СМ визначає її склад незалежно від області застосування, переліку задач і засобів отримання первинної інформації. Відповідно до виконуваних функцій і властивостей СМ стає блоковою (рис. 1.1). Це забезпечує їй функціональність, визначає властивості, характеристики, складність і витрати на реалізацію блоків. *Функції* моніторингу доквілля – аналітична, діагностична, прогностична, організаційно-управлінська виконуються на всіх рівнях і видах моніторингу.

Інформаційна система моніторингових даних складається з декількох блоків. Блоки «Спостереження» та «Прогноз стану» тісно пов'язані між собою, оскільки прогноз стану доквілля можливий при наявності репрезентативної інформації про фактичний стан (прямий зв'язок). Необхідно отримати дані про початковий (фоновий) стан усіх складових біосфери завдяки системі фонового (базового) моніторингу. В залежності від призначення СМ доквілля мають свій об'єкт дослідження.



К<sup>1</sup> – комітет, ДС<sup>2</sup> – державна служба, ДУ<sup>3</sup> – державна установа, ДП<sup>4</sup> – державне підприємства, Д<sup>5</sup> – департамент, У<sup>6</sup> – управління, ДА<sup>7</sup> – державне агентство, ДІ<sup>8</sup> – державні інспекції, ДНВП<sup>9</sup> – державне навчально-виробниче підприємство, В<sup>10</sup> – відділ, С<sup>11</sup> – служба, ДСМД<sup>12</sup> – державна служба моніторингу довкілля

Рисунок 1.1 – Структурно-організаційна схема моніторингу довкілля [1]

При спостереженні за **територіями** пріоритет мають міста та зони, з яких беруть питну воду. Серед **середовищ** більша увага приділяється атмосферному повітрю та воді прісних водойм (особливо малопроточних). Для **повітря** важливими інгредієнтами є пил, оксиди сірки, вуглецю та азоту, важкі метали, бенз(а)пірен та пестициди. Для **води** – біогенні продукти, феноли та нафтопродукти. Серед **джерел забруднень проблемними** є транспорт, ТЕС, підприємства кольорової металургії тощо.

Моніторинг охоплює спостереження за джерелами та факторами антропогенного впливу – хімічними, фізичними (випромінювання, механічні дії) та біологічними, за ефектами у навколишньому середовищі, викликаними різною дією, в першу чергу за реакцією біологічних систем.

У роботі систем моніторингу відзначено три етапи:

- порівняння рівня концентрації шкідливих викидів, скидів, відходів чи будь-якого іншого впливу на навколишнє середовище (НС) з гранично допустимою концентрацією (блок 1);

- ідентифікація аварійних ситуацій (блок 2);

- прогнозування розвитку ситуації (блок 3).

Результатом прогнозування розвитку ситуації є функція виду

$$S_3 = E_i(K_i, M_i, R_i), \quad (1.1)$$

де  $K_i$  – міра перевищення нормативів,  $M_i$  – функції визначення ступеня небезпеки,  $R_i$  – ранг аварійності ситуації,  $i = 1, 2, \dots, n$ .

Моніторингова система має таку структуру, що містить:

- 1) інформаційно-вимірвальну мережу;
- 2) мережу передачі даних;
- 3) центр моніторингу(ЦМ);
- 4) мережу призначених для користувача терміналів.

*Інформаційно-вимірвальна мережа* об'єднує автоматичні станції моніторингу навколишнього середовища(АСМ) і стаціонарну аналітичну лабораторію, обладнану терміналами введення в систему результатів лабораторних аналізів.

*Мережа передачі даних* забезпечує збір вимірвальної інформації, що поступає від АСМ, по радіо і/або телефонним каналам зв'язку.

*Центр моніторингу* є розподіленою системою обробки даних на базі локальної комп'ютерної мережі. Вона виконує функції прийому, накопичення, обробки і розподілу даних [2].

*Призначені для користувача термінали* (локальні та віддалені) встановлюються у підрозділах і службах, що вирішують завдання контролю та управління екологічною обстановкою, і забезпечують персонал даними моніторингу в реальному масштабі часу.

Така система моніторингу дозволяє здійснювати спостереження за шкідливими викидами підприємства у воду, ґрунт та атмосферу і прогнозувати розвиток екологічно небезпечних ситуацій (рис. 1.2) [2].

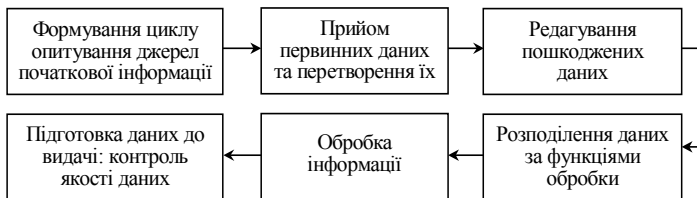


Рисунок 1.2 – Алгоритм роботи системи моніторингу за виконуваними функціями з інформацією

*Блок формування циклу опитування джерел первинної інформації* реалізується програмними засобами. Час роботи блоку визначається переліком вимірюваних величин (ВВ), що підлягають моніторингу. Розмір переліку та мережі комунікацій на вході СМ залежать від характеристик систем, області їх застосування.

*Блок прийому первинних даних та перетворення їх* визначено функціями прийому первинних даних і розміщення їх у буферній пам'яті.

*Блок редагування* займається усуненням помилок у первинних даних, що виникають як наслідок перешкод у каналах зв'язку і при зніманні даних, завдяки програмним засобам. У цьому блоці проводиться зміна формату даних і приведення їх до прийнятого стандарту.

*Блок розподілу даних по функціях обробки* забезпечує відбір даних та їх формування для передачі на вхід алгоритмів обробки. Так, при прогнозуванні дані формуються у вигляді часових рядів, при цьому в СМ повинні забезпечуватися функції тривалого зберігання даних часового ряду. У блоці фіксують дані для системи підтримки рішень.

*Блок обробки інформації* реалізовує алгоритми обробки інформації і формування вихідних даних.

*Блок підготовки даних до видачі* проводить візуальний контроль даних і перевірку на присутність непередбачених викидів і відхилень та формує дані для видачі.

Під структурою СМ розуміється спосіб встановлення взаємодії джерел інформації, блока управління СМ (БУСМ), об'єкта моніторингу (ОМ) і блоків, наведених на рис. 1.2. Побудова та структурування СМ визначаються на основі таких правил:

- 1) ієрархічність структури;
- 2) єдність структурного і змістовного формування центрів збору первинної інформації і пунктів обробки інформації на кожному рівні;
- 3) єдність технічного, програмного та інформаційного забезпечення на кожному рівні окремо та всіх рівнях загалом;
- 4) наявність мережі обміну даними між локальними елементами структури систем моніторингу.

Система моніторингу є багатоаспектною, тому оцінка якості її функціонування має складний вигляд. Запропоновані шість часткових критеріїв і критерій згортки для надання оцінки СМ. Окремий частковий критерій визначає конкретну систему властивостей моніторингової системи.

З позицій *green technology* при розробці інформаційних продуктів, якою є СМ, важливим є мінімізація ресурсозабезпечення при тому ж чи більш максимальному ккд вирішуваних задач. Таким чином, універсальним критерієм оцінки є вартість побудови і забезпечення функцій СМ.

Пропонується методологія використання низки критеріїв оцінки якості системи моніторингу та згортки їх у загальний критерій [2]:

$$W = F(F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6), \quad (1.2)$$

де  $F_1$  – точність;  $F_2$  – дискретність;  $F_3$  – форма подання;  $F_4$  – рівень ризику;  $F_5$  – наявність алгоритмів обробки;  $F_6$  – вартість побудови СМ і забезпечення її функціонування.

Для визначення  $F_1$  використовують закон розподілу ймовірностей значень ВВ. Для нормального розподілу розглядають такі показники:

- ідентифікатор виду розподілу –  $H$ ;
- математичне сподівання ВВ –  $m$ ;
- середньоквадратичну помилку –  $\sigma$ .

При локальних дослідженнях залучають такі параметри: точкова оцінка ВВ –  $x$ ; довірчий інтервал –  $|\epsilon|$ ; довірна ймовірність –  $\beta$ . Таким чином,  $F_1$  оцінюється трьома скалярними значеннями.

Параметр  $F_2$  обчислюється відповідно до методів статистичної обробки даних і виражається через  $\tau$ .

Значення  $F_3$  надається відповідно до запитів стосовно вихідних характеристик і вхідних даних про ВВ однорозрядною булевою змінною:

$F_3 = 1$  – є форма перетворення даних ВВ для характеристик;  
 $F_3 = 1$  – є збіг вимог до вихідних даних і форми подання вхідних;  
 $F_3 = 0$  – відсутність виконання вимог до збігу результатів і даних. (1.3)

Величина рівня ризику  $F_4$  надається в абсолютному або відносному вимірі та виражається звичайно двома числами:  $M_p$  – математичне сподівання рівня ризику;  $\sigma_p$  – середньоквадратична помилка визначення рівня ризику, тобто  $F_4 = \{M_p, \sigma_p\}$ .

Характеристика наявності алгоритмів обробки  $F_5$  встановлюється відповідно до прийнятої угоди:  $M_1$  – наявність списку алгоритмів обробки,  $M_2$  – СМ має засоби реалізації списку з алгоритмів обробки:

$$F_5 = \begin{cases} 1, & M_1 \subset M_2; \\ 0, & M_1 \not\subset M_2 \end{cases} \quad (1.4)$$

Вартісна оцінка включає  $F_6^1$  – вартість побудови СМ;  $F_6^2$  – вартість забезпечення функціонування СМ в одиницю часу (наприклад, один рік), що загалом становить

$$F_6 = F_6^1 + F_6^2. \quad (1.5)$$

Процедура згортки визначається як процес приведення часткових критеріїв  $F_i, i = \overline{1,6}$  до спільної системи обчислення за умови співвідношення (1.2) згідно з введенням вагових коефіцієнтів  $\gamma_i$ , що встановлюються експертним шляхом в кожній системі моніторингу:

$$W = \sum_{i=1}^6 F_i \cdot \gamma_i. \quad (1.6)$$

Таким чином, критерій згортки дозволяє визначитися про ступінь відповідності систем моніторингу висунутим вимогам.

Порівняння часткових критеріїв між собою проводиться за допомогою універсального критерію, що відображає кількісно властивості корисності, а саме використовується:

- 1) теоретико-інформаційна міра – часткові критерії оцінюють інформаційні аспекти моніторингу;
- 2) інтерпретація на прикладі розподіленої у просторі і в часі масштабної системи моніторингу [2].

Для функції корисності задають значення, що враховують в часткових критеріях і визначаються відповідно до потреб забезпечення нормального функціонування об'єкта керування, зважаючи, що часткові критерії оцінки СМ можуть бути конфліктними.

Часткові критерії *точність, достовірність, продуктивність* взаємозалежні і взаємопов'язані. Інформаційна система забезпечує визначення і видачу деяких даних із заданою точністю і достовірністю. Якщо продуктивність системи обмежена і не видаються деякі типи даних, то це означає повну відсутність точності невиданих значень. Оскільки ці критерії взаємозалежні, то неможливе використання їх окремо: збільшення, наприклад, точності за рахунок зниження достовірності або пропускну спроможності. Таким чином, необхідно підібрати такий інтегральний критерій, який би описував одночасно точність, достовірність і пропуску спроможність і був конструктивним, тобто обчислюваним на моделі теоретико-інформаційного рівня.

Схема вибору критеріїв ефективності дослідження зазначеної моделі СМ становить такі визначення:

- 1) загального критерію ефективності функціонування об'єкта;
- 2) часткових критеріїв ефективності, критичних до змін досліджуваних властивостей;
- 3) взаємозв'язку загального і часткового критеріїв для використання у наукових і практичних дослідженнях.

Концептуальна модель корпоративної інформаційної системи (КІС) визначає цикл роботи зі знаннями про ресурси навколишнього природного середовища (НПС) згідно моделі OODA (Observe – спостерігай, Orient – орієнтуйся, Decide – вирішуй, Act – дій) (рис. 1.3) [3].

До бази даних надходить інформація від зовнішніх джерел у результаті *моніторингу НС*. Програмна частина КІС містить засоби для додавання інформації до таблиць БД за допомогою SQL-запитів, вибірку даних з таблиць для подальшого аналізу та прогнозування.

Для ведення БД і виконання регламентної обробки даних необхідна нормативно-довідкова інформація, що вміщується в базу даних «нормативно-довідкова інформація», актуальність якої забезпечується адміністрацією відповідного банку даних.

Програмні засоби інформаційного забезпечення включають програми завантаження баз даних, документування процесу коригування баз даних, коригування баз даних, друкування даних бази, реорганізації бази

даних, відновлення бази даних при руйнуванні частини даних та інформаційно-пошукову систему. Функціональні комплекси та зовнішні системи, що взаємодіють з базами даних, мають бути інформаційно сумісними за структурою, складом, класифікацією і кодуванням даних. У системі мають передбачаються необхідні заходи щодо оновлення даних в інформаційних масивах системи, а також контролю ідентичності однойменної інформації в базах даних.

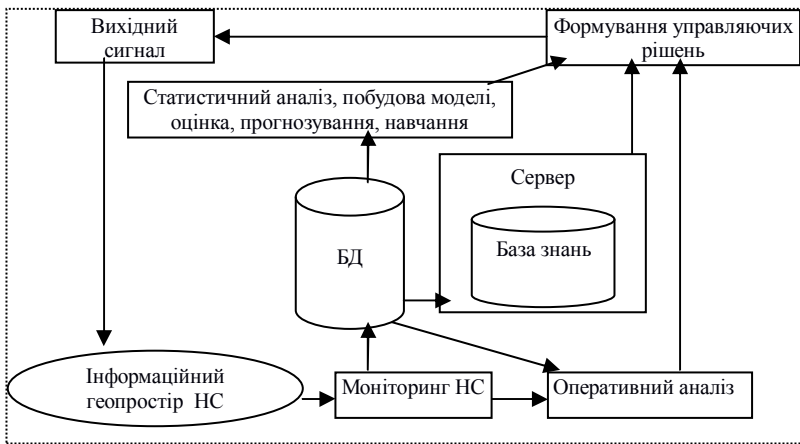


Рисунок 1.3 – Клієнт-серверна система з використанням БЗ при розв’язанні завдань екологічного моніторингу (блок-схема КІС)

База знань (БЗ) містить знання про ресурси навколишнього середовища, паттерни можливих ситуацій.

Блок «Статистичний аналіз, прогнозування, навчання» реалізує методи Data Mining з метою виявлення взаємного впливу параметрів моніторингу, складання прогнозів, виявлення причинно-наслідкових зв’язків для формування правил БЗ.

Алгоритм функціонування СМ розробляється після того, як вибрано склад і структуру системи. Структура СМ характеризується числом рівнів ієрархії  $N$  і числом полюсів  $P$  на кожному рівні  $n_i (i = \overline{1, N})$ , тобто

$$P = \sum_{i=1}^N n_i.$$

Алгоритм визначає реалізацію задач моніторингу, встановлення необхідних параметрів і часових характеристики, забезпечує виконання

всіх процедур, наведених на рисунку 1.2. Алгоритм роботи СМ наведено на рисунку 1.4 [2].

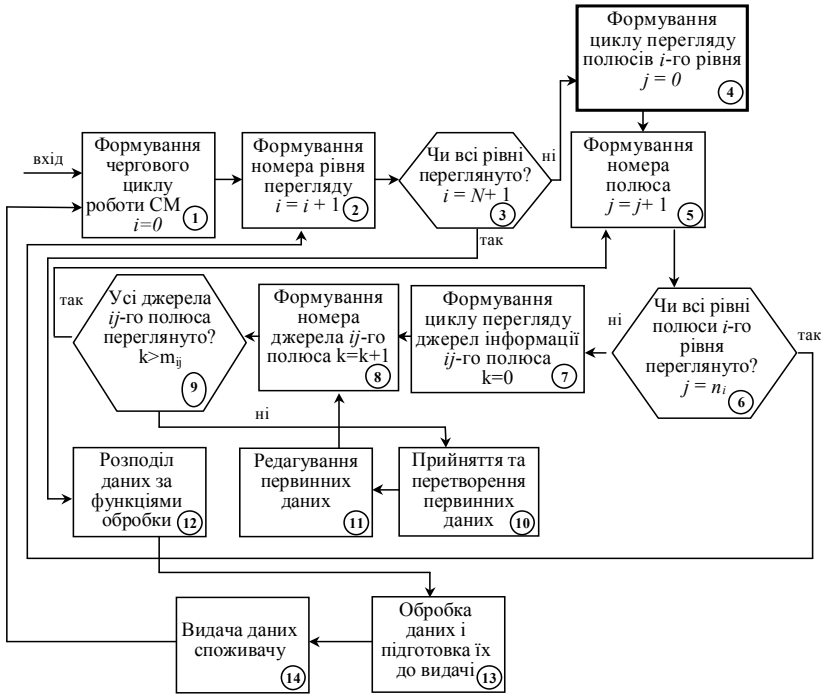


Рисунок 1.4 – Схема алгоритму функціонування СМ

Моніторинг довкілля в сучасному розумінні розглядають як аналітично-інформаційну систему для розв’язку таких задач:

- 1) спостереження за станом довкілля і за факторами, які впливають на окремі елементи довкілля;
- 2) оцінка й аналіз фактичного стану всіх складових довкілля;
- 3) прогнозування стану довкілля та його функціональності;
- 4) надання науково-інформаційної підтримки прийняття рішень із екологічного управління та забезпечення стану екобезпеки.

Пріоритетність вирішуваних завдань спостережень за станом довкілля розподілені на вісім класів (чим вищий клас, тобто менший його порядковий номер, тим вищий пріоритет) з визначенням середовища і ти-

пу програми вимірювань: «І» – імпактний, «Р» – регіональний, «Б» – базовий і «Г» – глобальний моніторинг.

Сучасні методи обробки та аналізу кількісних показників у завданнях екологічного моніторингу становлять моделі статистичні, емпірично-статистичні, гауссові, турбулентної дифузії. Світова практика моніторингових досліджень визначена застосуванням на практиці сучасних інформаційних технологій екологічного моніторингу: модель атмосферної дисперсії AERMOD, модель CALPUFF, програма AUSTAL 2000, модель ADMS-3, модель CALINE3, модель CTDMPPLUS, модель OCD, а також запровадження систем моніторингу для конкретних завдань – Система автоматизованих стаціонарних станцій аналізу якості повітря серії «Ефір 2» (Україна); Система моніторингу атмосфери (Латвія) [4]– [6].

1. *Модель атмосферної дисперсії AERMOD* (Канада, США) заснована на алгоритмі Гаусової моделі й призначена для моделювання стану атмосфери у радіусі до 50 км від стаціонарних промислових джерел забруднення. Модель дозволяє прогнозувати неперервні плавучі викиди від рівня землі і дисперсії переривчастих викидів. Модель приймає метеорологічні дані з декількох висот, дозволяє створювати профілі температури, вітру, турбулентності, враховувати будівельні ефекти, моделювати сухе та мокре осадження домішок.

2. *Модель CALPUFF*, що прийнята Агентством з охорони довкілля США, в основі якої лежить «Керівництво щодо якості повітря», і є сучасною нестационарною метеорологічною й повітряною системою моделювання атмосферної дисперсії на базі інтегрованої Гаусової моделі. Модель призначена для моделювання дисперсії неперервних плавучих викидів від точкових або лінійних джерел, містить також алгоритм для оброблення ефекту скошування на найближчі будівлі, що знаходяться на шляху розповсюдження забруднюючих речовин. До основних переваг цієї моделі можна віднести: використання моделі Ейлера, яка імітує ефекти розповсюдження забруднювача у часі та просторі за різних метеоумов; можливість імітації добового циклу для кожного забруднювача; використання тривимірних метеорологічних полів тощо. До недоліків можна віднести те, що робота з моделлю потребує високої кваліфікації оператора, моделі «важких газів» не розглядаються, відсутній алгоритм обчислення температури джерела і не моделюється сухе осадження [5], [6].

3. *Програма AUSTAL 2000*, яка призначена для моделювання дисперсії забруднювачів повітря (Німеччина, Україна) базується на «Техніч-

ній інструкції щодо контролю за якістю повітря». Програма побудована на моделі Лагранжа, яка завбачає дисперсію забруднювача при відомих змінах базових показників. Модель описує перенос окремих повітряних потоків під дією атмосферних полів і розповсюдження домішок забруднювачів. Модель Лагранжа дає ефективну обчислювальну систему; має можливість моделювання розповсюдження забруднювачів при наявності на їхньому шляху будівель, складного рельєфу місцевості; здійснює моделювання шлейфа забруднювача за сухим та мокрим осадженням у порядку хімічних реакцій. Недоліки програми – важкість моделювання взаємодії великої кількості окремих джерел забруднення, що потребує використання нелінійної хімії.

4. *Модель ADMS-3* є сучасною моделлю дисперсії для обчислення концентрації забруднювачів, що виділяються точковими, об'ємними, лінійними та площовими джерелами. Модель містить алгоритми врахування ефекту основної ділянки забудови; складності рельєфу місцевості; вологого осадження; короткострокового колювання у концентрації; хімічних реакцій; радіоактивного розпаду й доз гамма випромінювання; підвищення факела як функції відстані; потоків і спрямованих викиди; усереднення часу у межах від короткострокового до щорічного.

5. *Модель CALINE3* є стаціонарною Гаусовою моделлю дисперсії, розробленою для визначення концентрації забруднювача повітря у відносно нескладній місцевості.

6. *Модель CTDMPLUS* є удосконаленим точковим джерелом Гаусової моделі якості повітря в умовах складного ландшафту.

7. *Модель OCD* дозволяє встановити вплив емісії від точкових, площових, лінійних джерел на якість повітря у прибережних районах [6].

## **1.2 Моделі складних об'єктів, статистична обробка даних**

При організації спостережень за зміною стану екосистем необхідно приділяти увагу можливим порушенням і перебудовам в умовах ведення лісового господарства, землеробства та тваринництва. Для отримання інформативних даних за результатами моніторингу антропогенних змін природного середовища необхідно визначити індикаторні види ознак і відгуків в екосистемі. *Індикатор* – характеристика (показник) об'єкта моніторингу, що доступна для спостереження та виміру. Індикатори можуть замінити і надавати інші характеристики об'єкта моніторингу, недоступні для спостереження. Індикатори подають множину об'єктів спосте-

реження в СМ і їх число слід мінімізувати за вартісним критерієм, тому що кожний об'єкт спостереження вимагає витрат [2].

Для встановлення характеру відгуків елементів біосфери на збурення як за допомогою натурних, так і лабораторних експериментів, математичного моделювання та аналізу результатів польових спостережень встановлюється презентативний набір об'єктів, параметрів і вимірюваних величин для надання більш точної оцінки стану досліджуваних систем. Це особливо важливо при моніторингу забруднень і вивченні природно-техногенних комплексів. Так, для контролю за станом біологічних систем дотримуються правил підбору таких показників:

- для процесів з гомеостатичними механізмами;
- з визначення неспецифічних відгуків на фактор збурення;
- для оцінки стану інтегральним показником.

При опрацюванні в СМ алгоритмів прогнозування розглядаються завдання з *рандомізації* – процедура одержання еквівалентних груп, вирівнювання складу груп за будь-якими критеріям. У рамках моніторингу є декілька можливостей для рандомізації. Одна з них пов'язана з визначенням еквівалентної групи. У якості еквівалента вибирають значимі характеристики генеральної сукупності, наприклад, перші моменти розподілів імовірностей. Другий варіант рандомізації у рамках моніторингу визначається роботою з великими вибірками. Еквівалентність у такому разі досягається випадково за умови використання великої кількості об'єктів спостереження так само як і репрезентативність.

У даний час велика частина досліджень проводиться із застосуванням математичного апарату теорії ймовірностей і математичної статистики, що дозволяє прогнозувати функціонування і розвиток різних процесів і явищ [4]. Методики прогнозування забруднення об'єктів НС базуються на результатах теоретичних та експериментальних досліджень закономірностей розповсюдження домішок, що продукуються джерелами забруднення. До поширених методів опису закономірностей розповсюдження домішок залежно від математичного апарату відносять *емпірично-статистичні методи; статистичні методи; Гаусівські моделі; моделі турбулентної дифузії*.

*Емпірично-статистичні моделі* об'єднують практично всі методи первинної обробки експериментальної інформації для отримання алгебраїчних співвідношень. Завдяки цим методам досягають упорядкування й агрегації інформації щодо показників забруднення. За результатами такої

обробки даних отримують кількісну оцінку та змістовну інтерпретацію причинно-наслідкових зв'язків між рівнем забруднення та кількістю викидів від джерел забруднення. Недоліком емпірично-статистичних моделей є спрощеність, що не дозволяє забезпечити необхідну точність оцінки якості, використані для експрес-оцінки та скринінгового аналізу середньорічного забруднення досліджуваної території.

*Статистичні методи* пов'язують між собою різноманітні метеорологічні параметри за допомогою кореляційного та спектрального аналізу або стохастичних рівнянь. Ці методи мають відносно простий математичний апарат моделей та незначні потреби в обчислювальних ресурсах. Звідси відзначають високі значення похибок при довгострокових прогнозах. Для уточнення вихідних даних і підвищення репрезентативності результатів статистичних моделей вводять граничні умови, які є специфічними для кожної конкретної задачі прогнозу розповсюдження домішки в навколишньому середовищі.

*Гаусівські моделі* використовують для визначення локальної дисперсії певної множини часток дрібнодисперсної суміші повітря із забруднювачем домішки, що викидаються з точкового джерела, а їх аналітичний розв'язок розглядають для стаціонарних та нестаціонарних розподілів. Гаусове рівняння має вигляд

$$\frac{dc}{dt} + U \frac{dc}{dx} = \frac{d}{dy} \left( K_y \frac{dc}{dy} \right) + \frac{d}{dz} \left( K_z \frac{dc}{dz} \right) + s, \quad (1.7)$$

де  $x$  – координата, що виміряна від джерела вздовж напрямку вітру;  $y$  – координата, що виміряна від джерела перпендикулярно напрямку вітру;  $z$  – вертикальна координата від ґрунту;  $C = C(x, y, z)$  – середня концентрація дисперсної речовини у точці  $(x, y, z)$ ;  $K_y$ ,  $K_z$  – коефіцієнти турбулентності за напрямом осей  $y, z$ ;  $U$  – середня швидкість вітру вздовж осі  $x$ ;  $t$  – час розповсюдження домішок [6].

*Моделі турбулентно-дифузійного переносу* застосовуються для прогнозування розповсюдження забруднюючих домішок у мезомасштабному прибережному шарі. Такі моделі базуються на апріорній інформації у вигляді рівнянь турбулентного переносу забруднюючих речовин і припущеннях про постійність деяких параметрів та поля коефіцієнта турбулентної дифузії у межах локального регіону, для якого здійснюється прогноз. Аналіз поширення шкідливих домішок базується на розробці теорії дифу-

зії окремих середовищ на основі математичного опису процесу за допомогою рівняння турбулентної дифузії – дослідження розповсюдження домішок від джерел різного типу та за різних характеристик навколишнього середовища. В загальному вигляді задача прогнозування забруднення повітря навколишнього середовища визначається як рішення за певних початкових і граничних умов диференційного рівняння:

$$\sum_{i=1}^3 v_i \frac{dK}{dx_i} + \frac{dK}{dt} = \sum_{i=1}^3 \frac{d}{dx_i} \left( C_i \frac{dK}{dx_i} \right) - \alpha K, \quad (1.8)$$

де  $v_i$  – середня швидкість переміщення домішки;  $C_i$  – концентрація домішки;  $x$  – координата;  $t$  – час розповсюдження домішки;  $K$  – коефіцієнт обміну;  $\alpha$  – коефіцієнт, що визначає зміну концентрації за рахунок трансформування домішки;  $\sum_{i=1}^3 v_i \frac{dK}{dx_i} + \frac{dK}{dt}$  в декартовій системі координат

становить  $\frac{dK}{dt} + v_x \frac{dK}{dx} + v_y \frac{dK}{dy} + v_z \frac{dK}{dz}$ .

*Моделі турбулентно-дифузійного переносу* застосовуються для прогнозування розповсюдження забруднюючих домішок у мезомасштабному прибережному шарі. Такі моделі базуються на апріорній інформації у вигляді рівнянь турбулентного переносу забруднюючих речовин і припущеннях, наприклад для повітря, про постійність швидкості вітру та поля коефіцієнта турбулентної дифузії у межах локального регіону, для якого здійснюється прогноз [2].

*Модель Лагранжа* – прогнозування розповсюдження забруднюючих речовин, враховуючи зміни базової сітки, яка не прив’язана до географічних координат. Ці зміни в цілому залежать від того, наскільки рушійна сила переміщення домішок є близькою до напрямку руху забруднюючої хмари [6]:

$$\langle C(r, t) \rangle = p(r_1, t | r', t') S(r', t') dr' dt' \quad (1.9)$$

де  $\langle C(r, t) \rangle$  – середня концентрація забруднюючої речовини у точці з координатою  $r$  у момент часу  $t$ ;  $S(r', t')$  – визначає джерело викиду;  $p(r_1, t | r', t')$  – функція ймовірності переходу від точки та часу  $(r', t')$  до точки та часу  $(r, t)$ .

### 1.3 Комп'ютерне імітаційне моделювання за даними в межах моніторингу навколишнього середовища

*Імітаційне моделювання* – це метод дослідження, при якому досліджуваний об'єкт замінюється моделлю, яка з достатньою точністю описує реальну систему, для проведення експериментів з метою отримання інформації про цей об'єкт. Експериментування з моделлю називають *імітацією* (імітація – це розуміння суті явища, не вдаючись до експериментів на реальному об'єкті) [7]. *Імітаційне моделювання* – це сукупність методів алгоритмізації функціонування об'єктів досліджень, програмної реалізації алгоритмічних описів, організації, планування та виконання на ЕОМ обчислювальних експериментів з математичними моделями

*Імітаційне статистичне моделювання* являє собою чисельний метод проведення на ЕОМ обчислювальних експериментів з математичними моделями, що імітують поведінку реальних об'єктів, процесів і систем у часі протягом заданого періоду.

Для класу об'єктів, у тому числі екологічних і техно-природних систем із-за їх складності та імовірно-стохастичної поведінки, математична модель замінюється імітатором або імітаційною моделлю. *Екологічні явища, що вивчаються, спочатку потрібно зрозуміти, дати їм пояснення, а потім передбачено прогнозування їх стану і поведінки з метою отримання інформації додаткової для прийняття зважених рішень.*

Розрізняють два види прогнозів – безумовний та умовний. *Безумовний прогноз* – це передбачення і надання або поширення інформації щодо наступу певної події в реальній системі, тобто явища з певними ознаками, що обов'язково реалізується у певний проміжок часу і у певному місці [8]. *Якість прогнозів* характеризують такими показниками:

- 1) *глибина* – термін перспективи, на яку прогноз надається;
- 2) *детальність* – склад і кількість ознак, що прогнозуються;
- 3) *точність* – похибки прогнозованих кількісних оцінок;
- 4) *виправданість* – ймовірність або частота, з якими прогноз має збігатися або збігається з реальністю.

*Умовний прогноз* – передбачення певних подій або явищ, додатково супроводжується переліком умов, за якими ці події або явища можуть наступити. У зв'язку з відсутністю упевненості, який саме набір факторів впливатиме на хід подій або картину явищ, буде дійсно реалізований, *умовні прогнози є багатоваріантними*. В умовних прогнозах математичне моделювання є інструментом виконання прогностичних розрахунків кіль-

кісних ознак можливих явищ, що ймовірно наступають у відповідності з встановленим набором факторів впливу. Отже, *прогностичні розрахунки* – це *математизований пошук* відповідей на реакцію (вихід) системи навколишнього середовища на певний набір зовнішніх контрольованих і неконтрольованих впливів (входи системи). Цей набір входів системи, що повністю визначає її реакцію, разом з відповідним розрахованим за моделлю системи її виходом складають *прогностичний варіант або сценарій*.

Реалізація різних сценаріїв на моделі об'єкта дослідження використовується для отримання такого інформаційного ресурсу:

- нових знань про екологічні процеси у системі;
- визначення умов встановлення її рівноважних станів;
- прогнозування ймовірних змін стану системи та умов процесів

для оптимізації контрольованих впливів на систему відповідно до потреб ресурсів і корисності відповідних режимів її функціонування.

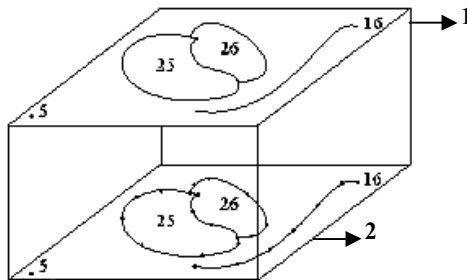
Для вирішення цих питань доцільним є використання імітаційної моделі, яка простіше прогностичних аналітичних моделей. Змінна «час», необхідний компонент аналітичних моделей, у комп'ютерній програмі виводиться поза межі рівнянь, тобто лічильник часу організується окремо, модель стає дискретною. Друге спрощення – відсутність процедури вирішення диференціальних рівнянь. Значення параметрів імітаційних моделей підбираються за допомогою зовнішніх оптимізацій процедур.

Головне завдання імітаційного моделювання при відображенні даних моніторингу полягає у тому, щоб висловити відомі змінні через невідомі параметри. Імітаційна модель повинна обчислювати спостережувані у природі величини чи виявлену через досвід інформацію. Таким чином з'являється можливість, перебираючи можливі значення параметрів, знайти такі, у яких модельні значення змінних співпадуть із реальними. У цьому випадку аналізують знайдені значення параметрів як характеристику механізму явища, що спостерігається.

*Моделі просторових даних* – логічні правила для формалізованого цифрового опису просторових об'єктів – *векторні моделі даних*. Існує кілька способів об'єднання векторних структур даних у векторну модель даних. Найбільш простою векторною моделлю даних є «*спагеті*»-модель – перекладання «один на один» зображення карти (рис. 1.5) [9], [10].

У такій моделі кожен геометричний об'єкт зберігається окремо і не пов'язаний з іншими, відсутній опис відносин між об'єктами. Наприклад, загальна межа об'єктів 25 і 26 записується двічі за допомогою одна-

кового набору координат. Усі відносини між об'єктами обчислюються незалежно, що ускладнює аналіз даних і збільшує обсяг наданої інформації.



1 – паперова карта; 2 – цифрова карта в декартових координатах (модель даних); точка 5 – одна пара координат (x, y); лінія 16 – набір пар координат (x, y); область 25 – набір пар координат (x, y), де перша і остання співпадають

Рисунок 1.5 – Схематичний вигляд «спагеті»-моделі

*Векторні топологічні моделі* містять відомості про сусідства, близькості об'єктів та інші характеристики взаємного розташування векторних об'єктів (рис. 1.6).

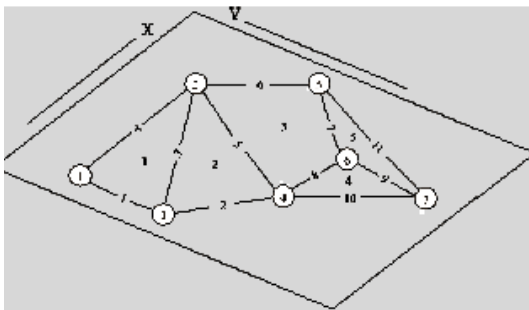


Рисунок 1.6 – Векторна топологічна модель даних

До засобів просторового аналізу відносять процедури маніпулювання просторовими та атрибутивними даними, які виконуються при обробці запитів користувача, – операції накладання графічних об'єктів, засоби аналізу мережових структур чи виділення об'єктів за заданими ознаками. Для роботи з даними кожний ГІС-пакет має свій характерний набір засобів просторового аналізу, що дозволяє здійснити організацію вибору та об'єднання об'єктів відповідно до заданих умов, результатів реалізації

операцій обчислювальної геометрії, аналізу накладень, побудови буферних зон, мережевого аналізу.

В Україні використовуються ГІС як професійного рівня, так і спеціалізовані. Програмні продукти формуються з урахуванням модульного принципу. Зазвичай виділяють базовий модуль та модулі розширення (або додатки). У базовому модулі містяться функції, що реалізують основні операції ГІС – програмна підтримка пристроїв введення-виведення, експорт та імпорт даних тощо. На даний час на ринку відомо про близько 20 добре відомих повнофункціональних ГІС-пакетів [9].

Більшість систем працює на платформі Windows. Деякі системи мають версії під управлінням інших операційних систем:

- «Обрій» – MS DOS, Unix, Linux, MC BC, Free BSD, Solaris, ІН-ТРОС;
- ПАРК – MS DOS; Arc GIS AIX та ін;
- ArcView GIS – Unix.

Всі системи підтримують обмін просторовою інформацією (експорт та імпорт) з багатьма ГІС та САПР через основні обмінні формати.

Більшість систем забезпечують роботу з усіма основними СУБД через драйвери ODBC, BDE. Першою серед підтримуваних або використовуваних СУБД стоїть Oracle.

Основним способом розширення можливостей сучасних повнофункціональних ГІС є програмування мовами високого рівня – MS Visual Basic, Microsoft Visual C++, Borland Delphi, Borland C++ Builder з підключенням DLL і OCX-бібліотек (ActiveX). Такі системи як MapInfo Professional використовують Map Basic, а системи ArcView GIS – Avenue.

Поширеними зарубіжними системами з різних причин є ArcView GIS, MapInfo Professional, MicroStation/J. Аналогічний список вітчизняних систем очолюють ГеоГраф, Панорама (Карта 2000), ПАРК, GeoLink [9].

***Засоби візуалізації даних спостережень.*** Дані спостережень різних фізичних величин, що є змінними інженерно-екологічних систем довкілля, складають інформативну базу для побудови математичних моделей або їх пристосування до специфічних умов середовища. Для вияву зв'язків між змінними застосовують засоби візуалізації рядів даних спостережень. Простим і корисним засобом візуалізації вибірки вимірювань  $(x_1, y_1)$ ,  $(x_2, y_2)$ , ...,  $(x_n, y_n)$ , ...,  $(x_N, y_N)$  двох фізичних величин  $x$  і  $y$  є побудова графіка (діаграми) розсіяння цих даних у прямокутній системі координат (рис. 1.7) [8].

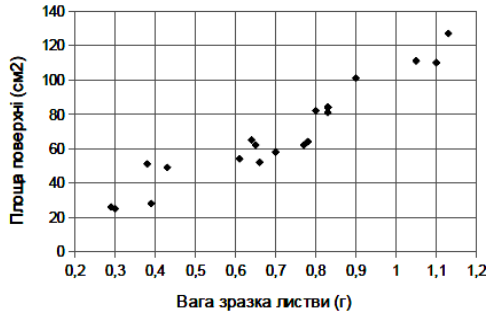
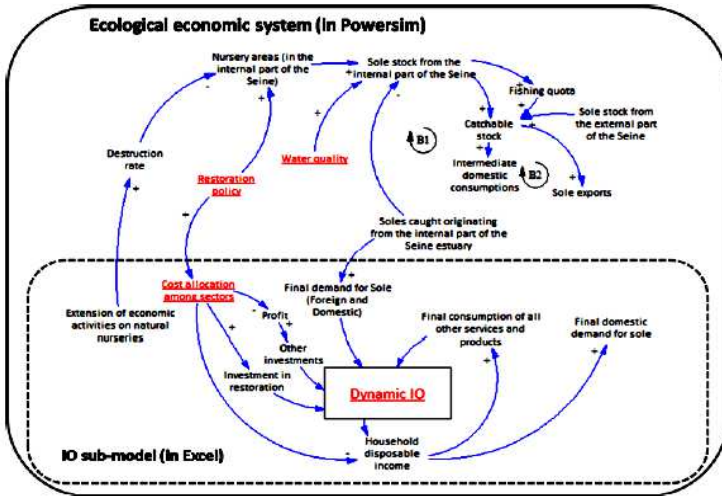


Рисунок 1.7 – Графік розсіяння величин  $x$  і  $y$

Так, для розв’язку задач стосовно функціонування природно-техногенних комплексів пропонується еколого-економічна модель виявлення ключових змінних основних зв’язків усередині складного об’єкта дослідження «річка Сена – економічна система» (рис. 1.8) [11].



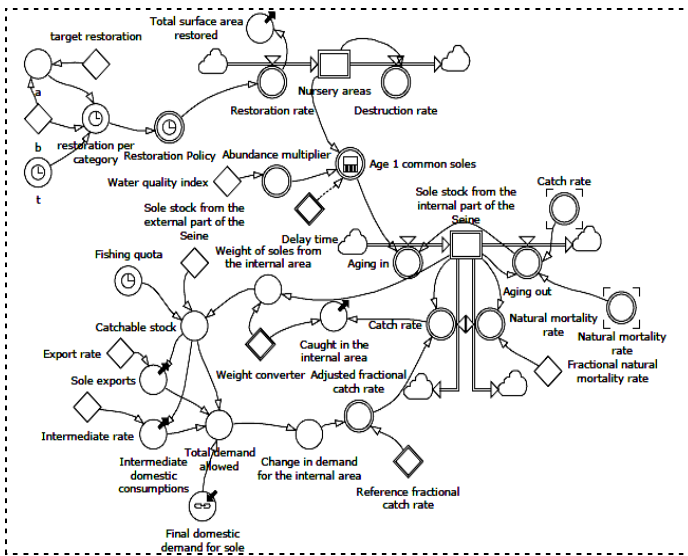
«+» і «-» – напрямки зміни в «тому ж» і «протилежному» параметрів; B1 і B2 – негативні або балансувальні петлі зворотного зв’язку [11]

Рисунок 1.8 – Схема зв’язків між економічною та екологічною системою

Значна частина забруднення в гирлі Сени походить від міста Париж, розташованого в 350 км вище за течією, тому «Якість води» як частина системи надається екзогенною без зворотного зв’язку в моделі.

Екологічна система моделюється за допомогою Powersim (Powersim Studio 10, <http://www.powersim.com/>), програмного забезпечення SD, моделювання «витрати-вихід» економічна підсистема (IO) відбувається за допомогою Microsoft Excel. Проводиться інтегрування економіки як підсистеми в екологічну систему, використовуючи функцію Powersim для підключення до різних наборів даних, включаючи Excel. Динаміка та прийняття керованого рішення щодо покращення якості води виходять за межі еколого-економічної системи в місці дослідження (див. рис. 1.8).

Інтеграція здатна передавати дані та дозволяє проводити внутрішні обчислення як Powersim і Excel на кожному кроці симуляції. Більшість економічних змінних моделюються в Excel (всередині пунктирної рамки), деякі моделюються в SD (Powersim) з позицій технічної ефективності. Моделювання системної динаміки (SD) щодо стану екологічної системи становить зображення частини SD моделі IO/SD на фондовій і поточній діаграмі (див. рис. 1.8) (рис. 1.9) [11].



прямокутники та подвійні стрілки – запаси та потоки відповідно; кружечки та ромби – допоміжні змінні та константи; жирні стрілки – зв’язок між SD екологічної системи та економічною підсистемою; стрілка, що виходить із кола – значення цієї змінної передається в економічну підсистему, залишає допоміжну змінну; жирна стрілка входить до кола – цінність передається від економічної підсистеми до екологічної системи [11]

Рисунок 1.9 – Модель IO/SD екологічної системи та її економічної підсистеми

Зони розплідника включають 21 категорію з різною кількістю підошви для подання просторових неоднорідностей; категоризація залежить від типу осаду – гравій, пісок або мул – і глибини. Припускається, що ці області незалежні, бо відомо таке:

- як виділені зони взаємодіють один з одним;
- визначеність фізичних, хімічних і біологічних умов, необхідних морським тваринам для розмноження, наприклад, на дні, де такі показники як температура та кислотність води, залежать від якості води;
- доступність їжі, що лімітовано природно.

Таке системне уявлення об'єкта дозволяє регулювати питання рівноваги в екологічній системі при рішенні питань природоохоронного значення, а саме модель включає такі підсистеми як «Швидкість відновлення», «Коефіцієнт відновлення», «Розплідники (у внутрішній частині Сени)», «Проміжне внутрішнє споживання», «Уловний запас», «Вартість природоохоронних заходів» тощо. Ці складові є основою аналізу циклу «Динамічний ввід-вивід». Якість води, її покращення відображає якісний аспект розплідника. Погіршення якості води є основним антропогенним порушенням для підошви в гирлі Сени, що аналізується завдяки запровадження підходу зворотного прогнозування [11].

Отже, для прийняття екологічного рішення у наданому вище прикладі дослідження природно-техногенної системи важливим є визначити умови покращення якості води, що дозволить відновити чисельність молоді морських мешканців. Для цього доцільно звернутися до статистичного моделювання на основі моніторингових даних і бази знань або знання-орієнтованої БД.

*Статистичну обробку даних* починають з формування *варіаційного ряду* за відомими правилами та критеріями. Це є основою для визначення *емпіричного закону розподілу значень показника* відповідно до побудованого графіку чи гістограми, за якими формуються гіпотези про закон розподілу і за критеріями згоди (Пірсона, Колмогорова та ін.) [3].

Надалі мають справу з обчисленням параметрів функції розподілу та основних статистичних характеристик: математичне очікування (середнє арифметичне), середньоквадратичне відхилення, дисперсія, медіана, мода, ексцес, коефіцієнт асиметрії тощо. Допускається визначити тільки середнє арифметичне значення та середньоквадратичне відхилення.

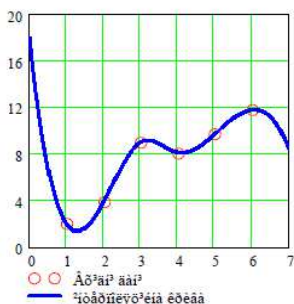
Наближений опис залежності певного параметру від однієї чи двох координат пов'язаний з процедурою **інтерполяції** у просторі – одно-

та *двовимірною*, які дозволяють за набором даних побудувати криву чи поверхню. Розв'язання задач моделювання та прогнозування даних на основі *інтерполяції* проводиться без урахування фізико-хімічної і біологічної природи процесів, що розглядаються, з отриманням таких результатів:

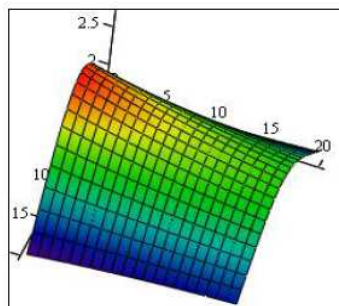
1) *інтерполяція прямою* (лінійна інтерполяція) –  $y(x) = ax + b$  для одновимірного випадку, забезпечує простий математичний опис, але невелику точність для більшості реальних природних процесів;

2) *інтерполяція шляхом апроксимації заданої залежності поліномом  $n$ -го порядку* (поліноміальна інтерполяція), що для одновимірного випадку має вигляд  $y(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_1 x + a_0$ ;

3) *інтерполяція набором сплайнів* – поліноміальні криві 1–3 порядку з мінімальною кривизною, які зшиваються між собою шляхом узгодження усіх можливих похідних – *сплайн-інтерполяція* (рис. 1.10) [3].



а



б

а – одновимірна та б – двовимірна інтерполяція залежностей кубічними сплайнами

Рисунок 1.10 – Приклади сплайн-інтерполяції

Ідентифікацію параметрів і структури математичної залежності для даного набору точок – *апроксимацію*, проводять у такій послідовності:

- 1) побудова графіку залежності  $y_i$  від  $x_i$  ( $i = \overline{1, M}$ );
- 2) визначення опису лінії на графіку з досліджень в екологічному моніторингу за такими математичними залежностями  $y(x)$ :
  - лінійною типу  $y(x) = ax + b$ ;
  - нелінійною поліноміальною  $y(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_1 x + a_0$ ;
  - експоненціальною, яка є розв'язком звичайного диференціального рівняння першого порядку  $y(x) = ae^{-bx+c}$ ,  $b > 0$ ;

- нелінійною типу  $y(x) = \frac{a}{1+bx}$ ;
- логарифмічною  $y(x) = a \ln(bx + c)$ ,  $bx + c > 0$ ;
- тригонометричною  $y(x) = a + b \sin(ct + d)$ ;

3) перевірка правильності ідентифікації і виявлення точної ідентифікації заданої лінії на всіх значеннях масиву точок  $M$ : набір точок функції  $y_i$  від  $x_i$  ( $i = \overline{1, M}$ ) розбивається на дві частини:  $N$  використовуються для ідентифікації (визначення) параметрів вибраних на другому етапі математичних залежностей, а решта  $P = M - N$  – для незалежної;

4) ідентифікація параметрів вибраних  $N$  точок  $y_i$  від  $x_i$  ( $i = \overline{1, N}$ ) поширеним методом найменших квадратів – у пакеті Mathcad Professional для ідентифікації параметрів поліному порядку  $n$  для набору точок, абсциси та ординати яких задаються векторами  $y$  і  $x$ , – функція  $\text{regress}(x, y, n)$ ;

5) визначення відносної похибки  $\delta$  для усіх математичних залежностей в масиві з  $P$  точок  $y_j$  від  $x_j$  ( $j = \overline{1, P}$ ) з ідентифікованими на попередньому етапі параметрами за формулою

$$\delta = \frac{\sum_{j=1}^P |y_j - y(x_j)|}{\sum_{j=1}^P |y(x_j)|} \cdot 100\%, \quad (1.10)$$

тобто знаходиться відношення суми модулів різниць між значеннями кожної ідентифікованої залежності і заданим набором значень до суми модулів значень цієї ідентифікованої залежності;

6) ідентифікація структури математичної залежності – з визначених виразів  $y(x)$  на четвертому етапі вибирається така модель, яка має найменшу встановлену похибку за відношенням (1.10) [3].

*Прогнозування* значень функції за межами інтервалу її реалізації за моніторинговими даними проводиться в межах правил **екстраполяції**:

1) встановлення результуючої математичної залежності  $y = f(x)$  для заданого набору даних у задачі апроксимації;

2) розрахунок  $y_{\text{прогн}} = f(x_{\text{прогн}})$  за наданою математичною залежністю при підстановці значення аргументу  $x_{\text{прогн}}$ , що треба дослідити;

3) розв'язок задачі передбачення поведінки  $y = f(x)$  не дозволяє використовувати метод найменших квадратів, який призначений тільки

для використання на фіксованому інтервалі даних, застосовується на етапі апроксимації залежності  $f(x)$ .

Значна частина вихідної інформації для оцінки і прогнозування антропогенного впливу отримується з блоку екологічного моніторингу, де передбачається спостереження за джерелами, факторами і власне антропогенним впливом на навколишнє середовище. Частково вихідна інформація для прогнозування виробляється блоком моніторингу, зв'язаним з оцінкою рівнів антропогенного впливу.

У загальному випадку прогнозуюча система має математичні, логічні й евристичні елементи. Наявна на даний час інформація про явище, процес чи об'єкт подається на вхід аналітичної системи. Інформацію про майбутні параметри явища, процесу, стану об'єкта отримують як результат прогнозування дії кожного з видів антропогенного впливу.

Результати прогнозування надають у візуалізованому вигляді, зручному для оцінки антропогенного впливу на об'єкти навколишнього середовища. Обов'язковим є наявність оцінки *адекватності моделі* реальним процесам і *вірогідності* одержуваної прогнозної інформації.

Зважаючи на зв'язок майбутньої ситуації з антропогенним впливом, отриманий результат залежить від багатьох факторів стохастичної природи і характеризується невизначеністю, тому для висновку про адекватність підходить метод максимуму правдоподібності. Зазначений метод ґрунтується на імовірнісному підході, передбачає визначення так званої функції правдоподібності. Така функція надається умовною щільністю імовірності. Доцільним при оцінці рівня відповідності моделі реальній ситуації є використання методу визначення мінімуму максимального відхилення параметрів детермінованої частини моделі від їхніх експериментальних значень.

Оцінка антропогенних впливів встановлюється за результатами прогнозування. Прогнозовані параметри, що характеризують антропогенні впливи, порівнюються з їх критеріальними значеннями. До критеріїв оцінки рівнів антропогенного впливу відносять гранично допустимі концентрації шкідливих речовин, допустимі рівні забруднення територій, гранично допустимі рівні шумів, електромагнітних випромінювань, теплових потоків, температурного градієнта та ін. [3].

За результатами цього порівняння проводиться відповідний аналіз і формуються висновки про доцільність проведення необхідних науково обґрунтованих природоохоронних заходів.

## 2 Завдання на лабораторну роботу і порядок її виконання

### 2.1 Послідовність виконання роботи з моделювання та оцінки екологічного стану «об'єкт – довкілля»

При виконанні комп'ютерного практикуму врахувати загальні принципи розробки та виконання імітаційних проектів, які доцільні як організаційні фактори при роботі з екологічними даними.

1. *Побудова імітаційної моделі та її застосування до проектування та покращення системи є процесом циклічного типу, що передбачає таким чином контроль якості розробки (рис. 1.11). Процес розробки математичної моделі – це ітеративна процедура із зворотними зв'язками, позначеними пунктирними стрілками, послідовного наближення до бажаного опису об'єкта, що моделюється (див. рис 1.8–1.9) [10].*

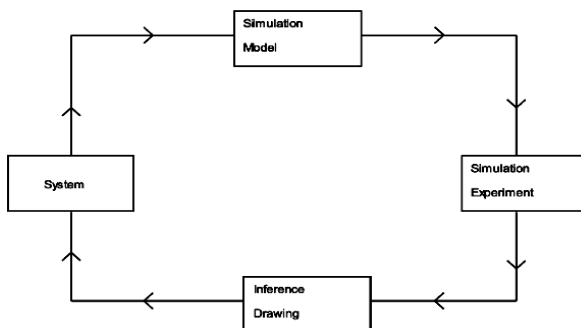


Рисунок 1.11 – Схема моделювання систем для їх проектування

Результати з розробки імітаційної моделі у математично-логічній формі використовують для експериментів, що дозволяє генерувати чисельні дані. Моделі комп'ютерного моделювання можуть бути реалізовані завдяки циклу PDCA (див. рис. 1.4 на стор. 16).

2. *Імітаційні експерименти* мають бути розроблені так само, як і будь-який лабораторний чи польовий експеримент. Експериментальні процедури призводять до отримання статистичних оцінок значень, що не можна отримати з моделі за допомогою математичного аналізу. Модель і експериментальні результати інтерпретуються, щоб зробити висновки про якісне функціонування модельної системи, можливості її використання.

Статистичні методи обробки даних використовують спостережувані значення показників для оцінки їх ефективності, інтерпретації результатів експерименту (див. рис. 1.7–1.10, формула (1.10)).

3. Комп'ютерні експерименти з моделювання призводять до численних спостережень за показниками, зміна цих спостережень відображає загальну причину варіативності та змін властиві системі. Це відображається на графіках, що показують усі спостереження показників ефективності; гістограмах, що поєднують спостереження у категорії. Зведені статистичні дані, такі як мінімум, максимум і середнє, повинні обчислюватися на основі спостережень. На рисунку 1.12 показано три вибіркові графіки відображення: причина – ефект; варіативність – свідчення про високий рівень варіацій загальної причини; загальний вихід системи – пропускна здатність з часом [10].

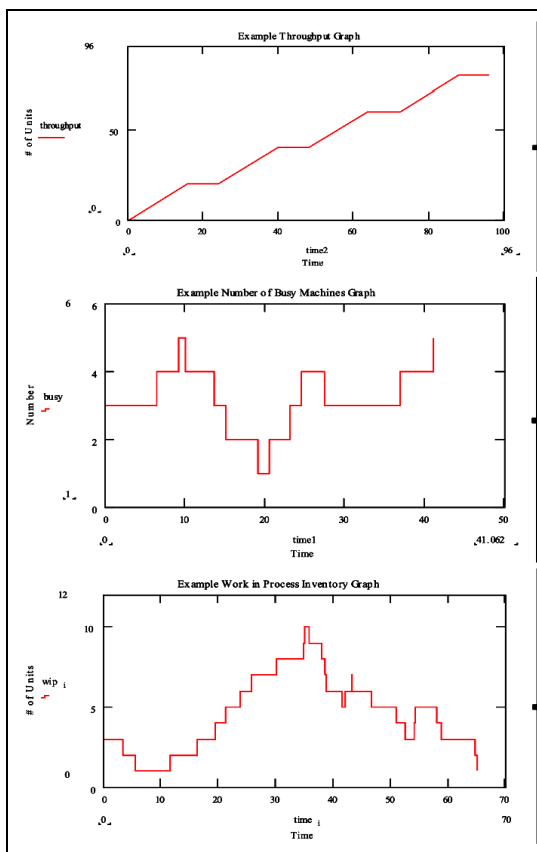


Рисунок 1.12 – Приклади графіків з аналізу продуктивності системи

4. *Настройки* та перевірки адекватності моделі спрямовані на відтворення реакцій виходів системи на зміну її входів. При використанні у побудові моделі фундаментальних принципів і теорій, вихід моделі може суттєво відрізнятися від реакції об'єкта внаслідок прийнятих припущень і спрощень. Ці відхилення можуть бути певною мірою мінімізовані на стадії *настройки* моделі. Для цього дані натурних спостережень використовують як «навчальну» вибірку.

**Таким чином, враховуючи етапи 1–4 проектування системи для прийняття цільових рішень, отримують такий алгоритм проекту.**

4.1 Рішення щодо необхідності розробки математичної моделі.

4.2 Визначення мети моделювання.

4.3 Опис системи, що моделюється: визначення її елементів, границь, довкілля, взаємодії елементів.

4.4 Розгляд і обґрунтування припущень щодо можливого спрощення системи, що моделюється.

4.5 Визначення змінних системи, її входів, виходів, параметрів.

4.6 Формулювання моделі у вигляді блок-схеми змінних системи та їх зв'язків, рівнянь, початкових і граничних обмежень (умов) тощо.

4.7 Перетворення моделі у стандартну математичну форму.

4.8 Підготовка моделі до реалізації на обчислюваному пристрої.

4.9 *Настройка* моделі за даними спостережень.

4.10 Перевірка адекватності моделі за даними спостережень.

4.11 Практичне застосування моделі.

Моделювання процесів для умов спостереження за різними величинами, обраних для підбору параметрів і коефіцієнтів виконується до тих пір, доки вихід моделі не буде чітко відповідати навчальній вибірці. При відповідності встановленим вимогам щодо адекватності моделі стадія *настройки* моделі вважається успішною.

Якщо у процедурі *настройки* моделі підбирають декілька параметрів, то доцільно провести аналіз чутливості виходів моделі до зміни цих величин. Це дозволяє визначити величин тих параметрів, які більш за всіх впливають на виходи моделі.

5. *Перевірка адекватності* (відповідності) моделі доцільна для встановлення пристосованості моделі до імітації реакцій об'єкта за зовнішніми впливами. Неформальна перевірка точності моделі виконується за допомогою розрахунків та порівняння результатів за модельними ситуаціями, що допускають аналітичні рішення. Упевненість щодо адекватності

моделі ґрунтується на процедурі її формальної перевірки. Для цього використовується перевірна вибірка спостережень об'єкта за умов, що відрізняються від умов спостережень, які використані як навчальна вибірка.

За умови достатньо малої відмінності перевірочних результатів моделювання від даних спостережень, тобто відповідності встановленим вимогам до адекватності моделі, перевірка моделі визнається успішною. При іншому результаті необхідно повернутися до перегляду попередніх стадій розробки моделі з метою її удосконалення (рис. 1.13) [10].

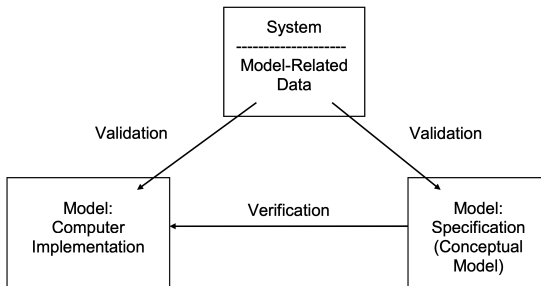


Рисунок 1.13 – Перевірка та верифікація моделі

6. *Валідація* – процедура збирання доказів того, що модель є точним уявленням системи щодо цілей рішення, і, таким чином, отриманні з неї інформації як основи для прийняття рішень про досліджувану систему. Валідація пов'язана з порівнянням системи та вилучених із неї даних із імітаційними моделями та експериментальними результатами.

7. *Аналітичні моделі* запроваджують для покращення імітаційного моделювання та експериментів. Результат аналітичних моделей дозволяє встановити нижні та верхні межі робочих параметрів системи. Імітація експериментів може бути використана для уточнення цих оцінок.

Аналітичні моделі та імітаційні моделі можуть обчислювати однакові величини для процедури валідації.

## 2.2 Засоби реалізації етапів проектування систем

*Microsoft Excel®*. Значна кількість розроблених професіоналами проблемно-орієнтованих програмних продуктів дозволяє проводити складні числові імітаційні експерименти, доступні на різних умовах для практичного використання. Так, відповідно до мети роботи – дати кількісне пояснення при обчисленні деяких властивостей, що становлять динаміку

процесу рівноважного екологічного функціонування системи дослідження, необхідно надати *статистичну оцінку інформації про них в зібраних даних*. Вирішувати таке завдання краще за допомогою імітаційного комп'ютерного моделювання (рис. 1.14).

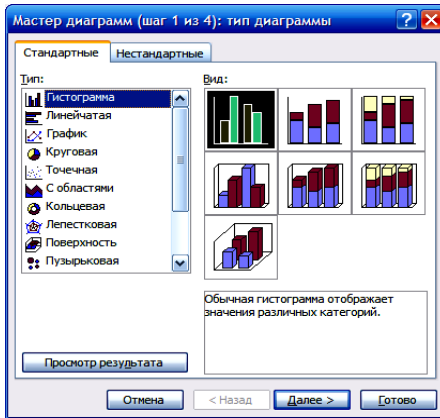


Рисунок 1.14 – Побудова графічних моделей за даними спостережень в MS Excel

1. Для обчислення *кореляційної матриці* у MS EXCEL використовується процедура «Кореляція» з пакета «Аналіз даних».

Для реалізації процедури необхідно:

- 1) виконати команду Сервіс Аналіз даних;
- 2) вибрати у списку «Інструменти аналізу» рядок «Кореляція» і натиснути кнопку ОК (якщо пункт «Аналіз даних» у меню «Сервіс» відсутній, то слід звернутися до пункту «Надбудови» того ж меню і встановити прапорець «Пакет аналізу» ) (рис. 1.15).

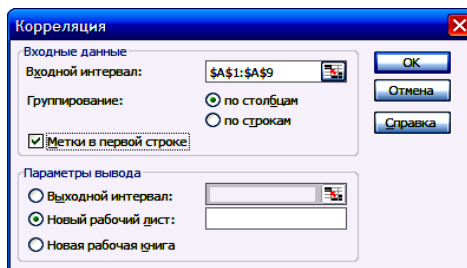


Рисунок 1.15 – Визначення даних для кореляційного аналізу

Подальший аналіз стосується визначення параметричних та непараметричних критеріїв, критерію Стьюдента. Для цього викликають модуль «Парний двовибірковий тест t-тест для середніх» (рис. 1.16).

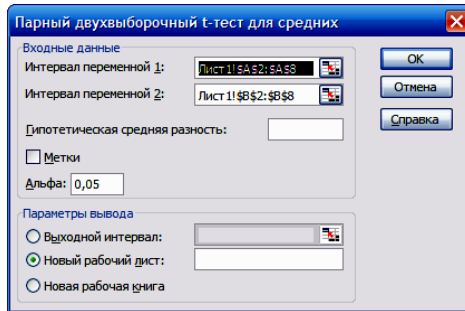


Рисунок 1.16 – Парный двовибірковий тест t-тест для середніх

У вікнах «Інтервал змінної 1» та «Інтервал змінної 2» задають значення порівнюваних вибірок. Діапазон повинен складатися з одного стовпця або одного рядка, що містять однакову з другим діапазоном кількість даних. Параметр «альфа» залишають без змін. Вибирають місце вихідного інтервалу. І натискаємо ОК.

Засоби *Microsoft Excel* надають можливість отримати обчислення коефіцієнтів рангової кореляції у модулі «Ранг і перцентиль», коефіцієнтів кореляції Пірсона у модулі «Кореляція» або за допомогою функції ПІРСОН. Існує ціла низка функцій, пов'язаних з розрахунком t-критерію, F-критерію Фішера. Непараметричні критерії майже відсутні в Excel.

2. *Дисперсійний аналіз.* Для з'ясування факту впливу контрольованого фактора на результативну ознаку на основі вибіркового даних використовується модуль «Однофакторний дисперсійний аналіз»:

Алгоритм проведення дисперсійного аналізу у MS EXCEL:

1) ввести дані в таблицю, так щоб у кожному рядку (або стовпці) виявилися дані, що відповідають одному значенню досліджуваного фактора, а рядки (стовпці) розташовувалися в порядку зростання (зменшення) величини фактора;

2) виконати команду «Сервіс > Аналіз даних»;

3) вибрати процедуру «Однофакторний дисперсійний аналіз» у діалоговому вікні «Аналіз даних» у списку Інструменти аналізу, потім натиснути кнопку ОК;

4) задати «Вхідний інтервал»у діалоговому вікні, що з'явилося, тобто ввести посилання на діапазон аналізованих даних, що містить всі стовпці даних;

б) вказати вихідний інтервал, тобто ввести посилання на комірку, з якою будуть показані результати аналізу.

Розмір вихідного діапазону визначається автоматично, і на екрані виводиться повідомлення у разі можливого накладання вихідного діапазону на вихідні дані. Натисніть кнопку ОК.

Вихідний діапазон включає результати дисперсійного аналізу: середні, дисперсії, критерій Фішера та інші показники. Вплив досліджуваного фактора визначається за величиною значущості критерію Фішера, що знаходиться в таблиці «Дисперсійний аналіз» на перетині рядка «Міжгрупова» і стовпця Р-значення. У випадках, коли Р-значення <0,05 критерій Фішера значимий, і вплив досліджуваного фактора на результуючу функцію вважається доведеним.

Наприклад, за даними ґрунтових характеристик дослідного поля (табл. 2.1) необхідно надати розрахунок статистичних характеристик за допомогою пакету аналізу MS EXCEL [6]–[8].

Таблиця 2.1 – Характеристики стану ґрунту дослідного поля

№ п/п	№ проби	Органіч. речовина, %	Мікроорг., *10 <sup>6</sup> вкз./г	NO <sub>3</sub> , мг/кг	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг	Мезо-фауна, вкз./10 кг	Фіз. глина, %
1	1,4	3,7	5,1	23,0	16,3	0,2	72,4
2	1,1	3,5	0,8	17,0	28,6	0,2	70,3
3	2,4	3,3	1,7	78,0	24,4	3,8	69,8
4	2,9	3,2	1,8	38,0	18,3	3,2	69,7
5	3,6	3,1	3,3	7,0	32,7	0,2	68,7
6	3,7	3,1	0,9	21,0	26,8	0,6	68,7
7	4,3	4,0	1,0	11,0	92,6	0,8	73,9
8	4,6	3,5	1,5	32,0	27,9	0,6	72,5
9	5,1	3,7	1,1	27,0	26,4	4,4	70,8
10	5,6	3,0	2,8	62,0	56,1	0,6	67,9
11	5,4	2,7	1,0	7,0	37,9	1,8	66,9
12	7,4	2,9	0,3	46,0	72,5	1,0	68,1
13	7,0	3,5	0,8	30,0	56,3	1,8	71,1
14	7,1	3,6	1,7	21,0	22,7	1,8	71,8
15	7,2	3,8	4,5	18,0	32,4	1,2	74,2

**Аналіз результатів.** Використовуючи технологію розв’язання задачі за допомогою MS EXCEL, одержують такі результати статистичних параметрів стану грантів для наданих даних поля (рис. 1.17).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	№ проби	Дрг. в-во %оорг.*10 <sup>2</sup>	№ОЗ, мг/лр	205, мг/фана, эквиз	глина, %							
2	1.4	3,7	5,1	23,0	16,3	0,2	72,4					
3	1.10	3,5	0,8	17,0	28,6	0,2	70,3					
4	2.4	3,3	1,7	78,0	24,4	3,8	69,8					
5	2.9	3,2	1,8	38,0	18,3	3,2	69,7					
6	3.6	3,1	3,3	7,0	32,7	0,2	68,7					
7	3.7	3,1	0,9	21,0	26,8	0,6	68,7					
8	4.3	4,0	1,0	11,0	92,6	0,8	73,9					
9	4.6	3,5	1,5	32,0	27,9	0,6	72,5					
10	5.1	3,7	1,1	27,0	26,4	4,4	70,8					
11	5.6	3,0	2,8	62,0	56,1	0,6	67,9					
12	5.4	2,7	1,0	7,0	37,9	1,8	66,9					
13	6.4	2,9	0,3	46,0	72,5	1,0	68,1					
14	7.0	3,5	0,8	30,0	56,3	1,8	71,1					
15	7.1	3,6	1,7	21,0	22,7	1,8	71,8					
16	7.2	3,8	4,5	18,0	32,4	1,2	74,2					
17	Столбец1		Столбец2		Столбец3		Столбец4		Столбец5		Столбец6	
18	Среднее	3,37	Среднее	1,89	Среднее	29,20	Среднее	38,13	Среднее	1,48	Среднее	70,45
19	Стандартная ошибка	0,09	дартная оц	0,37	дартная о	5,16	дартная оц	5,62	дартная о	0,35	дартная	0,57
20	Медиана	3,45	Медиана	1,50	Медиана	23,00	Медиана	28,60	Медиана	1,00	Медиана	70,35
21	Мода	#Н/Д	Мода	0,80	Мода	7,00	Мода	#Н/Д	Мода	0,20	Мода	68,70
22	Стандартное отклонение	0,36	ртное откл	1,42	ртное отк.	19,99	ртное откл	21,75	ртное отк	1,34	ртное от	2,21
23	Дисперсия выборки	0,13	иссия выб	2,02	иссия вы	399,60	иссия выб	472,97	иссия вы	1,80	иссия вы	4,88
24	Экссесс	-0,62	Экссесс	0,81	Экссесс	1,43	Экссесс	1,81	Экссесс	0,33	Экссес	-0,88
25	Асимметричность	-0,15	мметричнс	1,30	иметричн	1,28	имметрично	1,48	иметричн	1,15	иметрич	0,20
26	Интервал	1,29	Интервал	4,80	Интервал	71,00	Интервал	76,30	Интервал	4,20	Интерв	7,30
27	Минимум	2,70	Минимум	0,30	Минимум	7,00	Минимум	16,30	Минимум	0,20	Минимум	66,90

Рисунок 1.17 – Розрахунок статистичних характеристик щодо стану - ґрунту за допомогою *Пакета аналізу MS EXCEL*

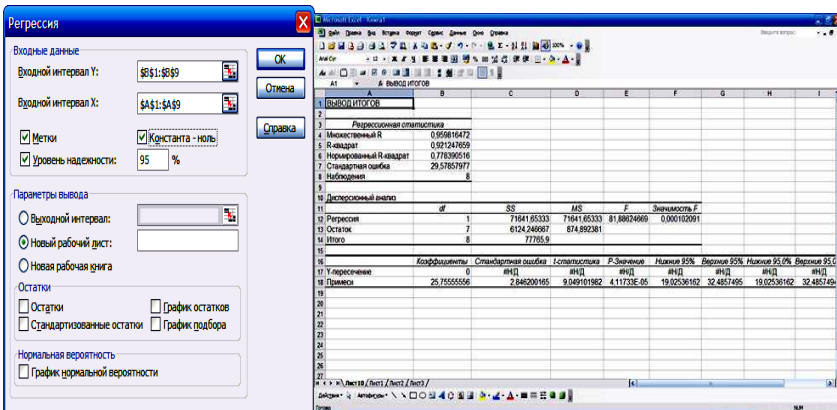
Для прикладу реалізації наданого вище алгоритму дисперсійного аналізу проведено аналіз динаміки росту рослин відповідно до параметрів стану ґрунту, наявної підкормки, що показано на рисунку 1.18.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Варианты опыта	1	2	3	Среднее		
2	Контроль (почва)	2,3	2,5	2,1	2,3		
3	2 г/га кур. пом.+5 г/га ФГ	3,8	4,1	3,9	3,9		
4	4 г/га кур. пом.+5 г/га ФГ	3,7	4,3	4,2	4,1		
5							
6	Однофакторный дисперсионный анализ						
7							
8	<b>ИТОГИ</b>						
9	Группы	Счет	Сумма	Среднее	Дисперсия		
10	Строка 1	3,000	6,900	2,300	0,040		
11	Строка 2	3,000	11,800	3,933	0,023		
12	Строка 3	3,000	12,200	4,067	0,103		
13							
14							
15	Дисперсионный анализ						
16	Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
17	Между группами	5,807	2,000	2,903	52,260	0,000	5,143
18	Внутри групп	0,333	6,000	0,056			
19							
20	Итого	6,140	8,000				

Рисунок 1.18 – Результати дисперсійного аналізу змінності довжини розвитку рослин від доз підкормки

Для оцінки отриманих результатів дисперсійного аналізу (див. рис. 1.18) порівнюють фактичне значення F-критерію Фішера (52,26) з його стандартним (критичним) значенням (5,143) на прийнятому рівні значущості (0,05), оскільки  $F_{\text{факт}} > F_{\text{крит}}$ , то вплив регульованого фактора (доза добрива) на результативну ознаку (довжину паростка) вважається статистично достовірним. Мінливість результативної ознаки, виявленої у дослідах, є ефектом впливу регульованого чинника [3], [6]–[8].

3. *Регресійний аналіз* і послідовність його реалізації для отримання статистичної моделі виду  $y = f(x)$  модулем «Регресія» (рис. 1.19).



а

б

а – початкове вікно регресійного аналізу; б – результативна таблиця визначення регресійного рівняння

Рисунок 1.19 – Початок регресійного аналізу та подання його результатів

Для вирішення завдання з встановлення залежності між індексом екологічного розвитку та індексом реального забруднення територій проживання населення використано пакет STATISTICA 6.0.

1. Запустити систему Статистика, вибрати модуль «Множинна регресія» (Multiple regression), що дозволить відкрити стартову панель модуля «Множинна регресія» (Multiple regression) (рис. 1.20).

2. Вибрати «Open Data» (Відкрити дані), відкрити створений файл *Ukraina.sta*. Вибір змінних здійснюється за допомогою кнопки *Variables* (Змінні) у лівому верхньому куті панелі. Натиснувши цю кнопку, отримують діалогове вікно «Select dependent and independent variable list» – Вибрати списки залежних і незалежних змінних.

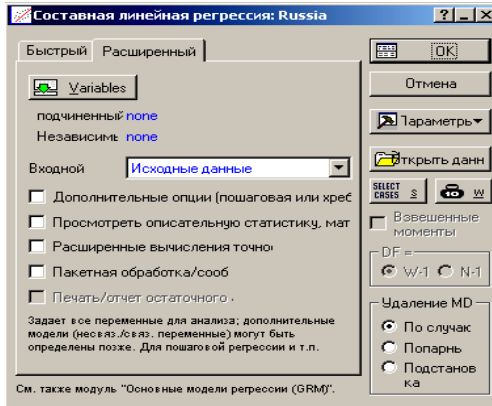


Рисунок 1.20 – Стартовая панель модуля «Множинна регресія»

Після вибору ім'я змінної у лівій частині вікна треба визначити залежну змінну. Висвітивши ім'я змінної у правій частині вікна, обирають незалежну змінну. Це можна зробити, набравши номери змінних у рядках: Dependent variable list – Список залежних змінних; Independent variable list – Список незалежних змінних (рис. 1.21).

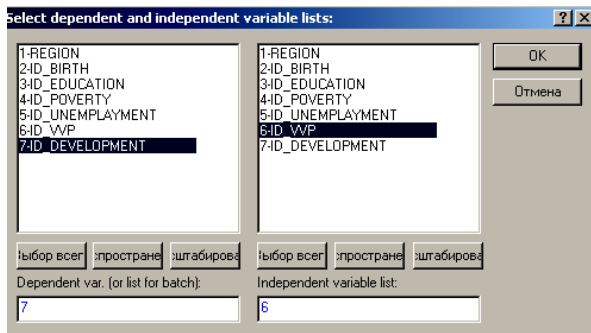


Рисунок 1.21 – Вікно вибору змінних для аналізу

У цьому прикладі незалежною змінною є ID\_DEVELOPMENT – індекс екологічного розвитку, а залежною – ID\_VVP – індекс реального забруднення населених територій. Натисніть  – змінні для аналізу вибрано. Додаткових установок у стартовій панелі в такому випадку робити не потрібно, тому натисніть кнопку . Програма здійснить оцінювання параметрів моделі, з'явиться вікно результатів (рис. 1.22).

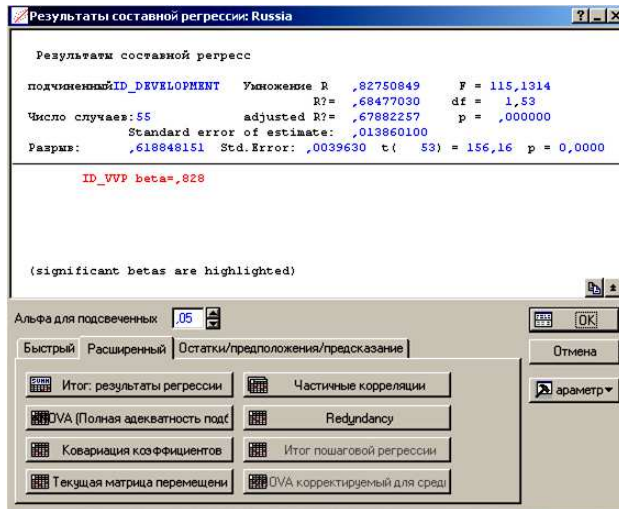


Рисунок 1.22 – Диалогове вікно «Результати складової регресії»

3. У діалоговому вікні «Результати складової регресії» (Multiple Regression Results) переглядають результати оцінювання в чисельному і графічному вигляді. Вікно результатів аналізу має таку структуру:

- верхня частина вікна – *інформаційна*, яка складається з двох частин: у першій частині міститься основна інформація про результати оцінювання, у другій висвічуються значні регресійні коефіцієнти;

- нижня частина вікна «Результати складової регресії» (Multiple Regression Results) містить функціональні кнопки та закладки для всебічного перегляду результатів аналізу.

*Інформаційна частина вікна* надає короткі відомості про результати аналізу (див. рис. 1.22):

- Підлеглий (Dep. Var.) – залежна змінна – ID\_DEVELOPMENT;
- Кількість випадків (No. of Cases) – кількість випадків, за якими побудована регресія – 55;
- Multiple R (множення R) – коефіцієнт множинної кореляції – 0,82750849.
- R² - R-square – квадрат коефіцієнта множинної кореляції, або коефіцієнт детермінації – 0,68477030. *Коефіцієнт детермінації* – це частка загального розкиду щодо вибіркового середнього залежного змінного, яке пояснюється побудованою регресією і має значення в межах від 0 до 1.

У прикладі  $R^2=0,68$ , тобто побудована регресія пояснює понад 68 % розкиду значень змінної ID\_DEVELOPMENT щодо середнього;

- adjusted R?: Adjusted R-square – скоригований коефіцієнт детермінації – 0,67882257. *Коригований коефіцієнт детермінації* визначається як  $\text{Adjusted R-square} = 1 - (1 - R\text{-square}) * (n / (n - p))$ , де  $n$  – число спостережень у моделі,  $p$  – число параметрів моделі (число незалежних змінних плюс 1, оскільки в модель включено вільний член);

- Standard error of estimate – стандартна помилка оцінки – міра розсіювання спостережуваних значень щодо регресійної прямої – 0,01386;

- Розрив (**Intercept**) – оцінка вільного члена регресії: 0,618848151 – значення коефіцієнта  $b$  у рівнянні регресії  $y = a \cdot x + b$ ;

- St. Error – стандартна помилка оцінки вільного члена – стандартна помилка коефіцієнта  $b$  у рівнянні регресії – 0,0039630;

- t(df) and p-value – значення t-критерію – використовується для перевірки гіпотези про рівність 0 вільного члена регресії; рівень  $p - t(53) = 156,16$   $p=0,000$ ;

- F – значення F-критерію – 115,1314;

- df – число ступенів свободи F-критерію – 1,53;

- $p$  – рівень значущості – 0,0000.

Величина F-критерію використовується для перевірки гіпотези про значущість регресії. У даному випадку для перевірки гіпотези, яка стверджує, що між залежною змінною та незалежною змінною ID\_VVP немає лінійної залежності, тобто  $a=0$ , проти альтернативи  $a$  не дорівнює 0. У даному прикладі велике значення F-критерію – 115,1314 та рівень значущості  $p = 0,0000$  показують, що побудована регресія значуща.

*Друга частину інформаційного вікна* говорить про важливі регресійні коефіцієнти: ID\_VVP  $\text{beta}=0,828$  і пояснення значимості  $\text{beta}$  – significant beta's are highlighted. В даному випадку  $\text{beta}$  є стандартизованим коефіцієнтом  $a$ , тобто коефіцієнтом при незалежній змінній ID\_VVP.

**Функціональна частина вікна результатів:** натиснути кнопку «Результат»: результати регресії (Regression summary). Це електронна таблиця виводу, в якій наведено підсумкові результати оцінювання регресійної моделі (рис. 1.23).

Це стандартна таблиця виведення регресійного аналізу. У *першому стовпці* таблиці дано значення коефіцієнтів  $\text{beta}$  – *стандартизовані коефіцієнти регресійного рівняння*, у *другому* – стандартні помилки  $\text{beta}$ , у *третьому* – точкові оцінки параметрів моделі: *вільний член*  $b = 0,618848$ ;

коefficient  $a$  при незалежній змінній ID\_VVP  $a = 0,269906$ . Надані стандартні помилки для coefficientів, значення статистик t-критерію та ін.

Regression Summary for Dependent Variable: ID_DEVELOPMENT (Russia)						
R= ,82750849 R <sup>2</sup> = ,68477030 Adjusted R <sup>2</sup> = ,67882257						
F(1,53)=115,13 p<,000000 Std.Error of estimate: ,01386						
	Бета	Std. Err. of Beta	B	Std. Err. of B	t(53)	p-level
N=55						
ОТРЕЗОК			0,618848	0,003963	156,1567	0,000000
ID_VVP	0,827508	0,077122	0,269906	0,025155	10,7299	0,000000

Рисунок 1.23 – Кінцева таблиця регресії

Відповідно до результуючої таблиці регресії модель має вигляд:  
 $ID\_DEVELOPMENT = 0,269906 \cdot ID\_VVP + 0,618848$ .

**Оцінка адекватності моделі** дозволяє впевнено використовувати отримані результати для подальших дій. Аналіз адекватності ґрунтується на аналізі залишків – різниця між значеннями, що спостерігаються, і модельними, підрахованими за моделлю з оціненими параметрами. У модулі Множинна регресія (Multiple regression) є спеціальне діалогове вікно «Аналіз залишків» (Residual Analysis) (рис. 1.24).

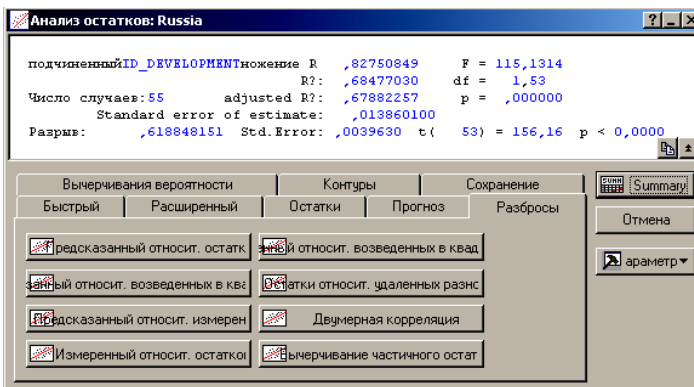


Рисунок 1.24 – Діалогове вікно «Аналіз залишків» у модулі Множинна регресія

Якщо залишки не є нормальними, потрібна стабілізація дисперсії, то застосовують перетворення залежних і незалежних змінних, вилучення квадратного кореня чи логарифмічне перетворення залежних змінних.

Згідно з модулем Множинна регресія мають закладку «Розкиди», де в меню «Передбачувальні щодо залишків» подано графічно інформацію про адекватність отриманої моделі на основі аналізу залишків (рис. 1.25).

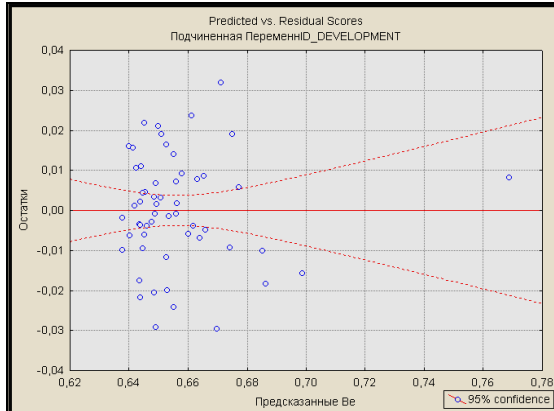


Рисунок 1.25 – Графік залишків

Результат множинної регресії переглядають у графічній інтерпретації завдяки меню «Двовимірна кореляція» (рис. 1.26).

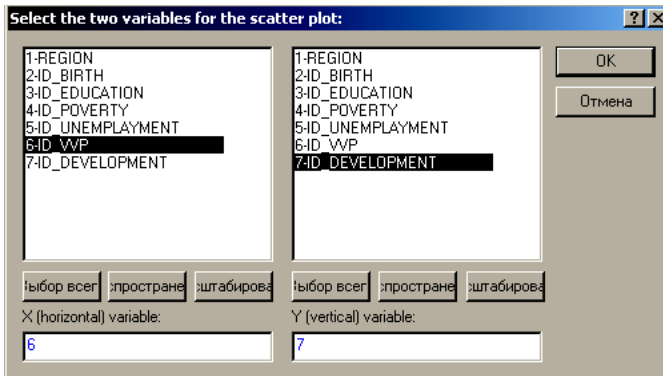


Рисунок 1.26 – Вікно вибору осей для побудови кореляційного поля

У цьому вікні потрібно вибрати змінні для осей, натиснути  і отримати на екрані кореляційне поле. У координатах X – значення залишків змінної ID\_VVP, Y – значення змінної ID\_DEVELOPMENT подано графік із рівняннями регресії для побудованої моделі та величину коефіцієнта кореляції (рис. 1.27).

У даному модулі надано моделі регресії типу  $y = ax_1 + bx_2 + cx_3 + \dots$ , в яких змінна  $y$  залежить не від однієї змінної, а від декількох [6]–[8].

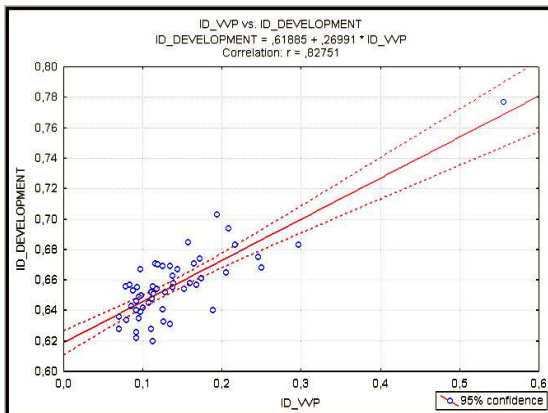


Рисунок 1.27 – Кореляційне поле для змінних ID\_VVP та ID\_DEVELOPMENT

*MathCad®* дозволяє аналізувати рівняння числовими та символічними засобами. Для побудови імітаційної моделі у середовищі *MathCad®* необхідно на верху робочого листа декларувати константи та змінні, а нижче написати вид рівняння, що їх об'єднують. Рівняння повинні мати невідомі величини з лівої сторони, а відомі змінні з правої сторони.

Усі числові та символічні операції на робочому листі виконуються автоматично. Усі змінні у лівих частинах рівнянь повинні бути визначені, тобто мати певні величини вище за розташуванням на аркуші.

*MathCad®* має такі вбудовані засоби, що дозволяють виконати:

- розрахунки та операції з дійсними та комплексними числами, функціями, матрицями;
- ітераційні операції;
- векторні графічні перетворення;
- побудову анімаційних зображень;
- апроксимацію, інтерполяцію, числові інтегрування систем диференціальних рівнянь.

Засоби *MathCad®* дозволяють будувати рисунки, як це зроблено в *Excel®*, а також імпортувати графічні об'єкти інших програм, створювати листи *Excel®* й обмінюватися даними з листами *Excel®*.

Отже, для побудови імітаційної моделі за даними моніторингу дослідженого об'єкта використати засоби *Excel®*, пакету статистичної обробки інформації *STATISTICA*, *MathCad®*, надати аналіз і оцінку отриманих результатів аналітичного виду, графічного виконання щодо адекватності.

### 2.3 Основні вимоги до оформлення лабораторної роботи

1. Обрати *об'єкт дослідження* відповідно до моніторингу природоохоронних територій (грунтове і водне середовище, атмосферне повітря, біомоніторинг, фоновий моніторинг, моніторинг радіоактивного забруднення тощо) з урахуванням **системології дослідження**.

Об'єкт повинен бути за метою дослідження пов'язаний з розв'язанням екологічних задач якості та екологічного управління. Це будь яка система, що може бути надана у вигляді *екосистеми* (інформаційна екосистема, екосистема ПЗ, проект як екосистема, комп'ютерна мережа як екосистема тощо).

2. Надати системологічну модель обраного об'єкта, враховуючи тему лабораторної роботи, визначеної мети дослідження, наявних даних обраної системи моніторингу.

3. Обрати середовище обробки наявних даних про об'єкт, методи обробки спостережень відповідно до необхідних рішень за розв'язком поставлених задач для виконання лабораторної роботи (див. пп. 2.2).

4. Розробити БД згідно з наданим матеріалом для системи «Система моніторингу – обробка даних – аналіз результативної екологічної інформації» відповідно до обраної мети та об'єкта дослідження.

5. Побудувати імітаційну модель для розв'язання задач екологічного аналізу, встановити адекватність отриманої моделі та провести прогнозування розвитку системи відповідно до визначених завдань.

6. Надати оцінку отриманих результатів і їх значення для екологічного управління щодо функціональності обраного об'єкта.

7. Сформулювати загальні висновки до лабораторної роботи, які повинні носити конкретний характер, бути структурованими і узагальнювати результати виконаних досліджень. Висновки слід викладати з чіткою вказівкою того, що саме зроблено автором роботи: «Розглянуто... Проаналізовано... Вибрано... Проведено дослідження та зібрано... Розроблено та наповнено базу даних... Побудовано... Аналіз показав, що... Розроблено рекомендації щодо...», які передано в... для вивчення та використання на практиці».

**Звіт повинен відповідати такій послідовності надання матеріалу:** вибір об'єкта дослідження та його системологічного подання (див. лекції модуля 1); постановка мети та задач роботи; хід виконання лабораторної роботи, що містить методики моніторингових досліджень, розробку програми обробки й аналізу інформації; аналіз отриманих результатів і прогноз стану довкілля; рекомендації поліпшення стану об'єкта; список джерел інформації.

## Список джерел інформації

1. Бордюг Н.С., Рідей Н.М., Алпатова О.М. Соціально-екологічне замовлення суспільства на підготовку фахівців з питань моніторингу довкілля. *Педагогічні науки*. 2017. Випуск 3 (89). С. 27–32.
2. Лекції з систем моніторингу. URL: <https://studfile.net/preview/5706386/page:2/>
3. Боголюбов В.М., Клименко М.О., Мокін В. Б. та ін. Моніторинг довкілля: підручник за ред. проф. В.М. Боголюбова. Київ: НУБіПУ, 2018. 435 с.
4. Гумен В.Ю., Клименко С.В., Лисенко Н.О. Математичні моделі та методи в задачах екологічного моніторингу. Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій. 2021. Том 25. С. 42–54.
5. List of designated reference and equivalent methods // united states environmental protection agency. 2016. URL: <https://www3.epa.gov/ttnamti1/files/ambient/criteria/AMTIC%20List%20Dec%202016-2.pdf>
6. Адаменко М.І., Кацман М.Д., Білецька Є.С. Аналіз існуючих математичних моделей і комп'ютерних програм для прогнозування розповсюдження забруднюючих речовин в атмосфері. *Системи обробки інформації*. 2018. С. 155–162.
7. Неруш В.Б., Курдеча В.В. Імітаційне моделювання систем та процесів: Електронне навчальне видання. Конспект лекцій. К.: НН ІТС НГУУ «КП», 2012. 115 с.
8. Бараннік В.О. Конспект лекцій з дисципліни «Моделювання та прогнозування стану довкілля». Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. 46 с.
9. Кучин О.С. Конспект лекцій з дисципліни «Геоінформаційні системи в маркшейдерській справі». Дніпро 2016. 40 с. URL: [https://marksh.nmu.org.ua/ua/umr/metodichki/GIS/lekcii\\_GIS.pdf](https://marksh.nmu.org.ua/ua/umr/metodichki/GIS/lekcii_GIS.pdf)
10. Principles for Simulation Modeling and Experimentation Last updated. Last updated Mar 5, 2021. URL: [https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Industrial\\_and\\_Systems\\_Engineering/Book:\\_Beyond\\_Lean\\_Simulation\\_in\\_Practice\\_\(Standridge\)/01:\\_Beyond\\_Lean\\_Process\\_and\\_Principles/1.04:\\_Principles\\_for\\_Simulation\\_Modeling\\_and\\_Experimentation](https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Industrial_and_Systems_Engineering/Book:_Beyond_Lean_Simulation_in_Practice_(Standridge)/01:_Beyond_Lean_Process_and_Principles/1.04:_Principles_for_Simulation_Modeling_and_Experimentation)
11. Uehara Takuro , Cordier Mateo, Hamaide Bertrand Fully dynamic input-output/system dynamics modeling for ecological-economic system analysis. *Sustainability*. 2018. 10.1765. 22 p. URL: [www.mdpi.com/journal/sustainability](http://www.mdpi.com/journal/sustainability).

## IV ПРОГРАМИ, ІНСТРУМЕНТИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ СТАТИСТИКИ ПРИ РОЗВ'ЯЗАННІ ЕКОЛОГІЧНИХ ЗАДАЧ

### 4.1 Програми для статистики

Програмне забезпечення для статистики широко використовується там, де інструменти статистичного аналізу – must have у повсякденній роботі дозволяють проводити аналіз, систематизацію, роз'яснення даних.

Статистичне ПЗ запроваджується для виконання робіт, що стосуються обробки великих інформаційних ресурсів: аналіз детальних звітів, виходячи з певних статистичних вибірок, створення зведених таблиць. На даний час виділено 10 програм, інструментів для статистики, які є ефективними і популярними у даній царині наукових знань [1].

**Minitab** – візуалізація, аналіз, порівняння даних для реалізації бізнес-завдань, має високий рейтинг, простотий у використанні та має високу точність виконуваних операцій. Побудова аналітичних звітів виходить інформативною та структурованою. Зручний інтерфейс дозволяє освоїти програму за короткий час і отримати такі навички: складати звіти, проводити аналіз, форматувати таблиці та графіки, якими зручно доповнювати звіт чи наукову статтю. Інженери-технологи відзначають основні переваги програмного пакету Minitab як найкращого статистичного ПЗ:

- завантаження даних із інших програм – імпортувати інформацію з Excel, редагувати таблиці та ін.;
- зручність при роботі з графіками та діаграмами – внесення даних до графіки передбачає автоматичне оновлення готового проекту;
- створення презентації – готова робота легко експортується до програми Power Point або Microsoft Word;
- інтерактивний помічник Minitab Assistant – роз'яснення показників, рекомендації щодо визначення пріоритетних значень.

**StatSoft (STATISTICA)** – програми для статистичного, графічного аналізу, інструментарій прогнозування, data mining, доступне створення своїх додатків, інтеграція та організація інтернет-доступу та ін.

Зручність інтерфейсу та оригінальні опції налаштування; Інтерфейс відповідно до завдань та потреб; аналіз у інтерактивному режимі з поступовим відкриттям діалогових вікон з урахуванням необхідності в спеціалізованих методах і функціях; набір інструментів візуалізації, графічного дизайну – понад 10 000 видів графіків для редагування, інтерактивних дій обертання, збільшення, керування прозорістю; висока швид-

кість і точність обчислень – це переваги STATISTICA. У програмі використані авторські технології підвищення продуктивності з метою максимальної оптимізації під час роботи зі складними прогнозними моделями.

Завдяки програмам STATISTICA здійснюють розвідувальний аналіз даних, визначення кореляцій, побудову діаграм розсіювання, обчислення Т-критерій, створення таблиць частот, заголовків. В інтерактивному калькуляторі визначають ймовірні розподіли. Програми STATISTICA доцільно використовувати в прикладних дослідженнях.

Порівняння Statistica з Minitab щодо відмінності двох додатків для статистичного аналізу даних має такі результати (табл. 4.1) [1].

Таблиця 4.1 – Порівняння додатків Statistica та Minitab

Критерій порівняння	Minitab	Статистика
Інтерфейс	Простий інтерфейс, Minitab's Assistant – допомога в аналізі даних, інтерпретації інструментів. Програма містить інтерактивне дерево рішень, за допомогою якого описується процес аналізу.	Архітектура, інтерфейс складніші. Програма містить окремі модулі, при оновленні кількість модулів збільшується. Аналіз даних має вигляд інтерактивних діалогових вікон. Складні опції розміщені на окремій вкладці, що дозволяє орієнтуватися професіоналам і новачкам.
Графічна візуалізація	Відображення графіків професійне, побудова діаграми розсіювання, графіків ймовірностей, матричних, пухирцевих діаграм, гістограм, контурних і 3D-графіків. При змінах доступне автоматичне оновлення графіків.	Програма дозволяє будувати інтерактивне налаштування графіки. Доступні різні графічні методи – користувальницькі, статистичні, спеціалізовані та ін. Усі графіки та діаграми оновлюються автоматично у реальному часі.
Швидкість обробки даних	Висока продуктивність обробки великих масивів даних. Доступність ПЗ Minitab на ПК на 64-бітних версіях. Монотонні завдання автоматизовані завдяки доступу до командного рядка.	Висока швидкість розрахунків описової статистики, кореляційних матриць. Програма використовує технології оптимізації продуктивності. STATISTICA доступна на пристроях 64-бітної системи
Служба підтримки	На сайті Minitab є посібники з установки, розгортання, описані системні вимоги, цілодобова техпідтримка в телефонному або в онлайн-режимі.	На сайті виробника ПЗ StatSoft є навчальні матеріали, презентації, довідкові матеріали з навчання програм; техпідтримка для виконання завдань.
Інтеграція	Таблиці Excel імпортується окремо, доступні текстові та інші формати. Пакет інтеграції R (MTBR) надає дані з Minitab R і повертає результати R Minitab.	Імпорт даних легко виконувати з Excel, забезпечена інтеграція з базою даних, ERP-системами, є підтримка технологій ActiveX, OLE, DDE

Ці програми ефективні для виконання статистичного аналізу, однак відзначено ПЗ Minitab через простоту у використанні, легкість в освоєнні, розшифруванні графіків і діаграм, доступність служби підтримки протягом доби по e-mail, наявний вибір інструментів завдяки удосконаленню прийняття бізнес-рішень.

**COMSOL** – програмні продукти з набору інструментів для створення чисельних моделей у різних галузях проектування. Універсальною платформою COMSOL Multiphysics користуються у виробництві, наукових дослідженнях, інженерії. Це програмне середовище дозволяє проводити аналіз фізичних процесів, керувати моделями, додатками, створювати геометричні моделі, присвоювати властивості матеріалам до візуального відображення заключного проекту моделювання, використовувати модулі розширення та спеціалізовані інструменти, серед яких модулі в розділах електродинаміки, гідродинаміки та теплопередачі, хімії, механіки та ін. Усі створені моделі зберігаються у базі даних.

Програма COMSOL Multiphysics включає такі основні функціональні можливості: створення моделей, геометричних моделей і групування їх у вибірки, розробка програм та управління моделями. Програма має фізичні інтерфейси у готовому вигляді, що дозволяє створювати фізичні явища та матеріали, формувати описи моделей з урахуванням математичних рівнянь. Спеціальний інтерпретатор допоможе виконати чисельне моделювання, використовуючи точні вхідні дані.

Складовою частиною COMSOL є середовище розробки додатків на основі розрахункових моделей: створення комплексних програм, використання завдяки CAD-моделей геометричних об'єктів. Середовище розробки дозволяє редагувати форми, макроси та проводити тестування створених програм для проектних команд, виробничих підрозділів, випробувальних лабораторій, клієнтів.

Система адміністрування – середовище, у якому зберігаються моделі у базі даних, надані можливості структурування даних, пошук за заданими критеріями, порівняння версій проекту для пошуку відмінностей. Для поширення програм передбачені продукти COMSOL Compiler та COMSOL Server (рис. 4.1) [1].

**Microsoft Excel** – ПЗ, за допомогою якого виконуються розрахунки різного рівня складності, створюються звіти, графіки, діаграми тощо.

*Переваги Excel* визначені колом таких виконуваних робіт: упорядкування бюджетних планів; опції з числовими даними для бухгалтерів та

фінансистів; складання бюджетних календарів, планування завдяки наявним фінансовим функціям; управління текстовими блоками, побудова графіків, діаграм; створення текстових звітів та керування ними, проєктів та презентацій за допомогою бібліотек вбудованих графіків, діаграм різних типів; розробка баз даних завдяки програмі у вигляді рядків та стовпців для формування масивних списків; автоматизація складних обчислень на основі набору команд як макросу; створення власних функцій користувача за допомогою вбудованої мови програмування Visual Basic for Applications (VBA) (рис. 4.2) [1].

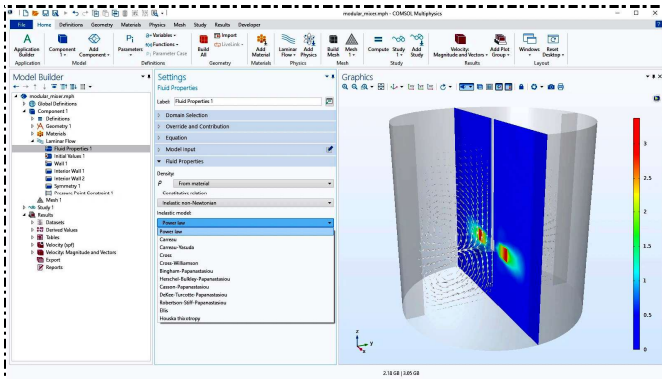


Рисунок 4.1 – Програмні продукти COMSOL

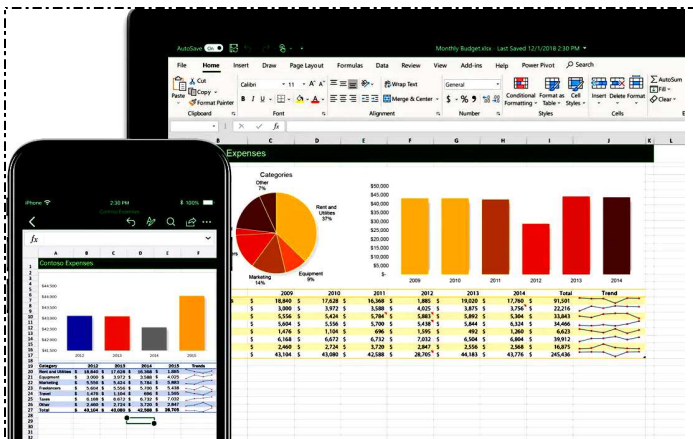


Рисунок 4.2 – Програмне забезпечення Microsoft Office Excel

**SAS** – програмне забезпечення для статистичного аналізу – створення, редагування, керування даними, математичне та графічне оформлення, генерування звітів, бізнес-прогноз, просування програм. Ефективне застосування ПЗ пропонується у таких трьох напрямках:

1. прогнозна аналітика – підготовка даних завдяки програмі інтелектуального аналізу; визначення основних закономірностей на основі динамічних діаграм, графіків; створення точних моделей за допомогою функціонального інтерфейсу; побудова статистичних стратегій відповідно до результатів прогнозного аналізу;

2. бізнес-аналітика – створення інтерактивних звітів; візуалізація закономірностей, виявлення взаємозв'язків і прихованих можливостей; налагоджено інтеграцію програми з пакетом Microsoft Office – обговорення візуальних графіків, ідей, діалогові коментарі;

3. мультिवаріантний аналіз – розпізнавання та аналіз кількох статистичних ознак; визначення впливу конкретних параметрів на підсумковий результат завдяки багатовимірній детальній аналітиці; оцінка факторних спостережень, багатоваріантні рецидиви, двоваріантні оцінки.

Програми SAS включають потужні інструменти для створення масштабної бази даних. Програмне забезпечення має закритий вихідний код – зміни можливі виключно виробником (рис. 4.3) [1].

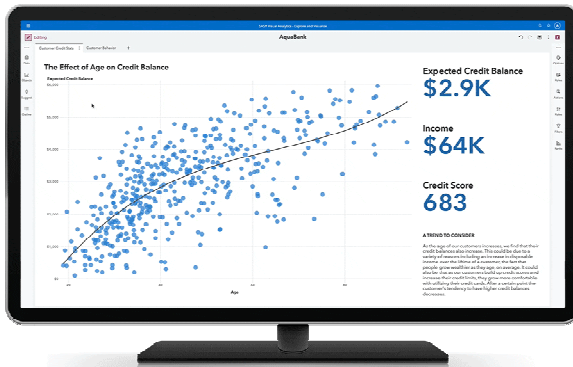


Рисунок 4.3 – Програмне забезпечення SAS

**Matrix Laboratory (MATLAB)** – комплекс інструментів, продуктів у вигляді функцій чи скриптів для програмування, математичних розрахунків, комп'ютерного моделювання. Основні можливості програми становлять такі робочі процеси статистичної аналітики:

- моделювання завдяки готовим функціям статистичного аналізу – матрицям, лінійним рівнянням, векторам, для аналізу даних у сфері кліматології, медичних досліджень, фінансовому секторі;
- відстеження закономірностей на основі візуалізації аналітики даних у вигляді графіків і функцій, що надані в галереї інтегрованих графіків; експортування графіки до форматів PDF, EPS, PNG;
- програмування – Matlab як середовище для програм різного рівня складності, від виконання простих інтерактивних команд до створення масштабних програм: математичні операції з матрицями та масивами, функції для інженерних розрахунків;
- обчислення за диференційними рівняннями: приватні похідні, лінійні, нелінійні рівняння (рис. 4.4) [1].

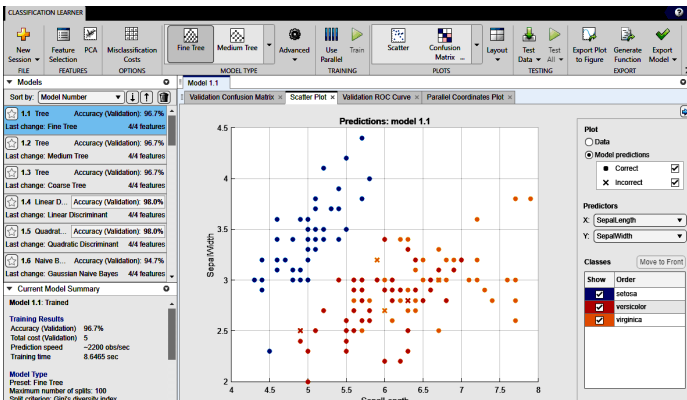


Рисунок 4.4 – Комплекс інструментів, продуктів Matrix Laboratory (MATLAB)

**SPSS (IBM)** – програмне забезпечення для складного статистичного аналізу (підтримка повної і описової статистики, регресійного аналізу), планування, створення бізнес-звітності завдяки функціоналу управління, набору статистичних команд, інструментів для створення звітності, інтегрованих в цілісну систему; не передбачає програмування.

IBM SPSS працює на всіх операційних системах – Windows, MacOS, Linux, Android, iOS для виконання завдань у сфері медицини, маркетингу, державних, освітніх установ.

Програмний пакет має словник метаданих, що дозволяє роботу з документацією; можливості розширення мовами Python і R, що спрощує інтеграцію з програмним ПЗ із відкритим вихідним кодом (рис. 4.5) [1].

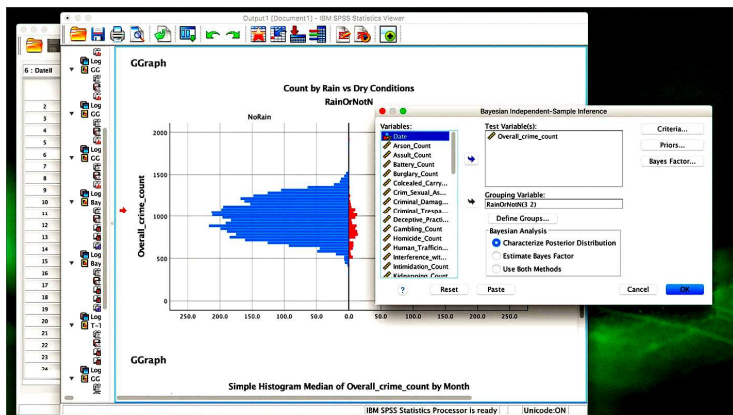


Рисунок 4.5 – Інтегрована цілісна система IBM SPSS

STATA – програмний набір для обробки та візуалізації даних завдяки інтерфейсу на основі методики «point-and-click»; масштабного адміністрування даних і надання автоматизованої звітності в сфері економіки, політології, освіти, соціології, охорони здоров'я.

Програми STATA працюють на всіх платформах. Програма надає можливість створювати детальні діаграми, власні графіки, для яких надають заголовки, примітки, тексти, стрілки та ін.; додавати свої команди, оновлення програмного забезпечення в онлайн-режимі. Управління даними відбувається у фреймах, доступ до яких забезпечує використання Java та Python (рис. 4.6) [1].

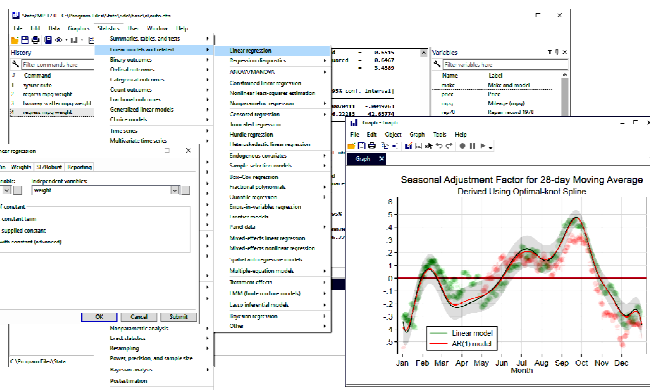


Рисунок 4.6 – Програмний набір STATA



- статистичне багатовимірне моделювання – моделі з перерахунком оцінок регресії під час використання елементів керування; прогнозування поведінки у вигляді використання поліноміального логіту або впроградованого пробіта;
- моментальне статистичне тестування – визначення придатності тесту на підставі певних даних;
- інтерпретація моделі, прогнозування – прогноз, експорт в офісні пакети результатів прогностичного моделювання за допомогою спеціальних кнопок і повзунків;
- імпортування та експортування файлів – система імпорту та експорту в Excel, Access, Numbers на платформах R, SQLite, MySQL, PostgreSQL; імпорт або експорт файлів з програм SPSS, Stata, SAS для версії Pro (рис. 4.8) [1].

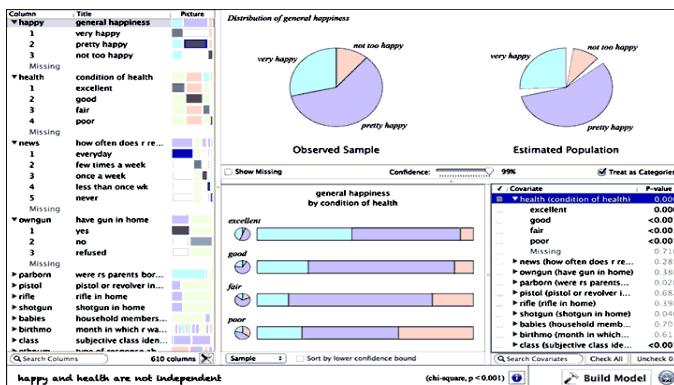


Рисунок 4.8 – Програма Wizard Mac для пристроїв на базі Mac OS

Таким чином, для статистичного аналізу та управління даними при вирішенні поставлених питань до завдань лабораторних робіт доцільно розібратися з можливостями запропонованих програмних пакетів і вибрати таку, що забезпечить розв'язок технічних задач.

## 4.2 Python Pandas – описова статистика, статистичні функції

Pandas – це бібліотека Python з відкритим вихідним кодом, що надає високопродуктивний інструмент для обробки й аналізу даних із використанням його потужних структур даних. Назва Pandas походить від слова Panel Data – економетрика із багатовимірних даних.

Pandas Python дозволяє виконати п'ять типових кроків для обробки та аналізу даних, незалежно від походження даних – завантажити, підготувати, маніпулювати, моделювати та аналізувати. Python з Pandas використовується у широкому спектрі областей, включаючи академічні та комерційні галузі, фінанси, економіку, статистику, аналітику. У таблиці 4.2 надані функції описової статистики у Python Pandas [2].

Таблиця 4.2 – Функції описової статистики

Сг. No	Функція	Опис
1.	<i>кол(-)</i>	Кількість ненульових спостережень
2.	<i>сума ()</i>	Сума значень
3.	<i>маю на увазі()</i>	Середнє значення
4.	<i>медіана ()</i>	Медіана цінностей
5.	<i>Режим()</i>	Режим цінностей
6.	<i>станд ()</i>	Стандартне відхилення значень
7.	<i>мін ()</i>	Мінімальне значення
8.	<i>Максимум()</i>	Максимальне значення
9.	<i>абс ()</i>	Абсолютна величина
10.	<i>прод ()</i>	Продукт цінностей
11.	<i>cumsum ()</i>	Накопичувальна сума
12.	<i>cumprod ()</i>	Накопичувальний продукт

Багато методів спільно обчислює описову статистику та інші пов'язані операції над DataFrame, які є агрегатами, такими як *sum()*, *mean()*, деякі з них, наприклад *cumsum()*, створюють об'єкт однакового розміру. Ці методи приймають аргумент осі, як ndarray. {*Sum, std, ...*}, але вісь може бути вказана на ім'я або ціле число

**DataFrame** – "індекс" (вісь = 0, за замовчуванням), "стовпці" (вісь = 1).

DataFrame є гетерогенною структурою даних, тому загальні операції не працюють із усіма функціями. Функції *sum()*, *cumsum()* працюють з числовими і з символьними (або) рядковими елементами даних без будь-яких помилок. На практиці агрегації не використовуються, ці функції не видають жодних винятків. Функції, як *abs()*, *cumprod()* видають виняток, коли DataFrame містить символьні або рядкові дані, оскільки такі операції не можуть бути виконані. Функція *description()* обчислює зведену статистику, що відноситься до стовпців DataFrame (рис. 4.9) [2]. Ця функція дає середнє, стандартне та IQR значення. Функція виключає символьні стовпці та дані про числові стовпці. Аргумент "*include*" використовується для передачі необхідної інформації про те, які стовпці необхідно враховувати для узагальнення. Приймає перелік значень; за замовчуванням "число".

```

import pandas as pd
import numpy as np

#Create a Dictionary of series
d = {'Name':pd.Series(['Tom','James','Ricky','Vin','Steve','Smith','Jack',
'Lee','David','Gasper','Betina','Andres']),
'Age':pd.Series([25,26,25,23,30,29,23,34,40,30,51,46]),
'Rating':pd.Series([4.23,3.24,3.98,2.56,3.20,4.6,3.8,3.78,2.98,4.00,4.10,3.65])
}

#Create a DataFrame
df = pd.DataFrame(d)
print df.describe()

```

	Age	Rating
count	12.000000	12.000000
mean	31.833333	3.743333
std	9.232682	0.661628
min	23.000000	2.560000
25%	25.000000	3.230000
50%	29.500000	3.790000
75%	35.500000	4.132500
max	51.000000	4.800000

Рисунок 4.9 – Загальні дані описової статистики

Статистичні функції, які застосовують до об'єктів Pandas:

- Percent\_change – Series, DataFrames і Panel, усі мають функцію pct\_change(); функція порівнює кожен елемент з попереднім елементом і обчислює відсоток змін;

- Cov Series – коваріація застосовується до низки даних; об'єкт Series має метод cov для обчислення коваріації між об'єктами серії, NA буде виключено автоматично;

- кореляція показує лінійні відносини між будь-якими двома масивами значень (рядами); для обчислення кореляції визначені Pearson (за замовчуванням), Spearman та Kendall;

- ранжування даних стосується кожного елемента в масиві елементів: у разі зв'язків надає середній ранг; ранг необов'язково приймає параметр зростання, який за умовчанням має значення true; коли невірнo, дані ранжуються у порядку, з більшими значеннями присвоюється менший ранг; ранг підтримує різні методи розриву зв'язків, вказані параметром методу: середній – середній ранг пов'язаної групи; min – найнижчий ранг у групі; max – вищий ранг у групі; first – ранги надаються в порядку їх появи в масиві.

### Список джерел інформації

1. 10 кращих програм та інструментів для статистики у 2022 році. URL: <https://ua.softlist.com.ua/articles/10-luchshikh-programm-i-instrumentov-dlia-statisiki-v-2022-godu/>

2. Підручник з Python Pandas. Лютий 5, 2019. URL: <https://coderlessons.com/tutorials/python-technologies/vyuchit-python-panda/uchebnik-po-python-pandas>

## ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

### **А**

Атмосфера 29, 83, 88, 122, 128, 159

Атмосферне повітря 88, 91, 121, 158

Атмосферний моніторинг 118, 128

### **В**

Відходи 15–51

Відходи утилізація 53

Відходи утворення 59, 88

Викид (емісія) 26, 29, 34–39, 41, 128, 131

### **Г**

Геоінформаційна система (ГІС) 88

Геоінформаційна технологія 97

Гранично допустима концентрація 147

### **Е**

Екоефективність 49–59

Екологічна стійкість 21

Екологічне маркування 11–14

### **І**

Інформаційно-аналітична система 95

Інформаційно-вимірювальні системи 84

### **М**

Методи ОЕЕ 21–45

Моделі статистичних методів 128

Моніторинг 83, 93

### **Н**

Нормування даних 94

### **О**

Оцінка екологічної ефективності (ОЕЕ) 8–11, 24, 55

### **П**

Показники екологічної стійкості 21–23

Прогнозування стану 96, 141

Прогнозування забруднення 132, 142

### **Р**

Регіонально-інформаційний аналітичний центр (РІАЦ) 85

### **С**

Системологічна модель 59, 61, 83

Навчальне видання

КОЗУЛЯ Тетяна Володимирівна  
КОЗУЛЯ Марія Михайлівна

## **ГРІН-КОМП'ЮТІНГ**

Лабораторний практикум  
з навчальної дисципліни  
«Green computing (дисципліна загальної підготовки)»  
Частина перша

Відповідальний за випуск Гамаюн І. П., Шестопалов О.В.  
Роботу до видання рекомендував Гамаюн І.П.

В авторській редакції

План 2022 р., поз. 102

Підп. до друку \_\_.\_\_.2022. Гарнітура Times New Roman.  
Ум. друк. арк. Ум. друк. арк. .

---

Видавничий центр НТУ «ХП».  
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017 р.  
61002, Харків, вул. Кирпичова, 2

---

Самостійне електронне видання