

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних наук
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Аналіз показників стійкості проєктів класу "Розумне місто"

Виконав: студент IV курсу, групи СНЗ-41

спеціальності 122 Комп'ютерні науки

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Семанчук А.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Кунанець Н.Е.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Марценко С.В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Боднарчук І.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Гащин Н.Б.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2023

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних наук
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Боднарчук І.О.
(прізвище та ініціали)

« 13 » червня 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня Бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки
(шифр і назва спеціальності)

Студенту Семанчуку Андрію Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Аналіз показників стійкості проєктів класу "Розумне місто"

Керівник роботи Кунанець Наталія Едуардівна, д.н.с.к., професор кафедри КН
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 7 » лютого 2023 року № 4/7-135

2. Термін подання студентом завершеної роботи 14 червня 2023р.

3. Вихідні дані до роботи Наукові публікації та Інтернет-джерела щодо показників стійкості проєктів класу "Розумне місто".

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1. «Розумні міста» та міська стійкість. Стан та перспективи досліджень.

1.1 Актуальність дослідження. 1.2 «Розумне місто». 1.3 Міська стійкість. 1.4 «Розумне місто» та міська стійкість. 1.5 Вибір підходів до оцінювання стійкості «Розумних міст».

1.6 Методологічна та концептуальна основа процесів оцінювання стійкості «Розумних міст».

2. Оцінювання показників стійкості та «розумності» проєктів класу «Розумне місто».

2.1 Формування системи та вибір рівнів оцінювання показників стійкості проєктів класу «Розумне місто». 2.2 Аналіз змінних та показників оцінювання стійкості проєктів класу «Розумне місто». 2.3 Експертна оцінка показників стійкості проєктів класу «Розумне місто».

2.4 Масштабування змінних та показників стійкості проєктів класу «Розумне місто».

2.5 Зважування та агрегування змінних та показників стійкості проєктів класу «Розумне місто». 2.6 Переоцінка «розумності» проєктів класу «Розумне місто». 2.7 Оцінка стійкості проєктів класу «Розумне місто». 3. Безпека життєдіяльності, основи хорони праці. Висновки. Перелік джерел.

Перелік джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Титульна сторінка. 2. Тема та мета роботи. 3. Завдання роботи. 4. Актуальність роботи.

5. Практичне значення одержаних результатів. 6. Розумні міста. 7. Чинники у визначеннях «розумного міста». 8. «Розумні міста» сприяють. 9. Процес оцінювання... 10. Фактори «розумності». 11. Узагальнена блок-схема процесу переоцінювання ... 12. Стійкість. 13.

Виміри міської стійкості за їх природою. 14. Критерії стійкості міст. 15. Узагальнена блок-схема процесу... 16. Результати зважування... 17. Висновки. 18. Завершальний слайд.

АНОТАЦІЯ

Аналіз показників стійкості проєктів класу «Розумне місто» // Кваліфікаційна робота освітнього рівня «Бакалавр» // Семанчук Андрій Олександрович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедра комп'ютерних наук, група СНз-41 // Тернопіль, 2023 // С. 51, рис. – 2, табл. – 7, кресл. – 18, додат. – 0, бібліогр. – 68.

Ключові слова: водопостачання, інструмент, оцінка, система, стійкість, структура, розумне місто, управління.

Кваліфікаційна робота присв'ячена аналізу показників стійкості проєктів класу «Розумне місто». В першому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Бакалавр» проаналізовано актуальність здійснення аналізу та дослідження. Розкрито зміст сучасного наукового та інформаційно-технологічного концепту «Розумне місто». Подано формулювання терміну «Міська стійкість». Розлого розкрито пов'язаність сутностей «Розумне місто» та міська стійкість. Здійснено вибір підходів до оцінювання стійкості «Розумних міст». Подано методологічні та концептуальні основи процесів оцінювання стійкості «Розумних міст».

В другому розділі кваліфікаційної роботи сформовано систему та здійснено вибір рівнів оцінювання показників стійкості проєктів класу «Розумне місто». Проаналізовано змінні та показники оцінювання стійкості проєктів класу «Розумне місто». Описано процес експертної оцінки показників стійкості проєктів класу «Розумне місто». Проаналізовано масштабування змінних та показників стійкості проєктів класу «Розумне місто». Виконано зважування та агрегування змінних та показників стійкості проєктів класу «Розумне місто». Розглянуто особливості переоцінка «розумності» проєктів класу «Розумне місто». Проведено оцінку стійкості проєктів класу «Розумне місто».

ANNOTATION

The Stability Characteristic Analysis in the "Smart City" Class Projects // The educational level "Bachelor" qualification work // Semanchuk Andrii Oleksandrovysh // Ternopil Ivan Pulyu National Technical University, Computer and Information Systems and Software Engineering Faculty, Computer Sciences Department, group SN-41 // Ternopil, 2023 // P. 51, fig. - 2, tabl. - 7, chair. - 18, annexes. – 0, references - 68.

Keywords: evaluation, management, system, sustainability, structure, smart city, tool, water supply.

The qualification work is devoted to the analysis of sustainability indicators of "Smart City" class projects. In the first section of the qualifying work of the "Bachelor" educational level, the relevance of analysis and research is analyzed. The content of the modern scientific and information technology concept "Smart City" is disclosed. The wording of the term "Urban sustainability" is given. The connection between the entities "Smart City" and urban sustainability is revealed in detail. A selection of approaches to assessing the sustainability of "Smart Cities" was made. The methodological and conceptual foundations of the processes of assessing the sustainability of "Smart Cities" are presented.

In the second section of the qualification work, a system was formed and the selection of levels of assessment of sustainability indicators of projects of the "Smart City" class was made. The variables and indicators for assessing the sustainability of projects of the "Smart City" class have been analyzed. The process of expert assessment of sustainability indicators of "Smart City" class projects is described. The scaling of variables and sustainability indicators of projects of the "Smart City" class is analyzed. Weighing and aggregation of variables and indicators of sustainability of "Smart City" class projects has been carried out. The peculiarities of the reassessment of the "reasonableness" of the "Smart City" projects.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ЄС – Європейський Союз.

ІКТ – Інформаційні та комунікаційні технології.

ІС – Інформаційна система.

ЦСР – Цілями сталого розвитку ООН.

AMI (англ. Advanced Metering Infrastructure) – Розширена вимірювальна інфраструктура.

АНР (англ. Analytic Hierarchy Process) – Метод аналізу ієрархій.

ОСМ (англ. Online Continuous-Monitoring) – Безперервний онлайн-моніторинг.

RSI (англ. Resilient Smart Index) – Розумний індекс стійкості.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. «РОЗУМНІ МІСТА» ТА МІСЬКА СТІЙКІСТЬ. СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ДОСЛІДЖЕНЬ	8
1.1 Актуальність дослідження.....	8
1.2 «Розумне місто».....	9
1.3 Міська стійкість	13
1.4 «Розумне місто» та міська стійкість.....	15
1.5 Вибір підходів до оцінювання стійкості «Розумних міст»	17
1.6 Методологічна та концептуальна основа процесів оцінювання стійкості «Розумних міст»	19
1.7 Висновок до першого розділу	22
РОЗДІЛ 2. ОЦІНЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ СТІЙКОСТІ ТА «РОЗУМНОСТІ» ПРОЄКТІВ КЛАСУ «РОЗУМНЕ МІСТО»	23
2.1 Формування системи та вибір рівнів оцінювання показників стійкості проєктів класу «Розумне місто»	23
2.2 Аналіз змінних та показників оцінювання стійкості проєктів класу «Розумне місто»	25
2.3 Експертна оцінка показників стійкості проєктів класу «Розумне місто»	25
2.4 Масштабування змінних та показників стійкості проєктів класу «Розумне місто»	26
2.5 Зважування та агрегування змінних та показників стійкості проєктів класу «Розумне місто»	27
2.6 Переоцінка «розумності» проєктів класу «Розумне місто»	29
2.7 Оцінка стійкості проєктів класу «Розумне місто»	35
2.8 Висновок до другого розділу	37
РОЗДІЛ 3. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ХОРОНИ ПРАЦІ ...	38

3.1 Характеристика життєдіяльності людини у системі «людина – машина – середовище існування».....	38
3.2 Електробезпека на будівельному майданчику	41
3.3 Висновок до третього розділу	43
ВИСНОВКИ.....	44
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ.....	45

ВСТУП

Актуальність теми. Функції сучасних міст стають «розумнішими». Однак вони не обов'язково є стійкими до впливу катастроф. Інтегроване, «розумне» та стійке місто – це сучасна та перспективна концепція сталого розвитку [1]. На даний час потрібно напрацьовувати комплекс підходів для оцінки показників «розумності» міст та їх стійкості до непередбачених руйнівних подій. Тому аналіз показників стійкості «розумних міст» є актуальним напрямком сучасних досліджень. Дослідження в цій царині сприяє створенню цілісної структури, яка включає компоненти оцінки «розумності» та стійкості, які можна використовувати для забезпечення стійкості «розумних міст» на основі досвіду розвинених країн, які протистоять катастрофам.

Мета і задачі дослідження. Метою даної кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Бакалавр» є підвищення поінформованості громадян та муніципальних органів влади сучасних міст про напрямки та способи підвищення стійкості міст до катастрофічних подій та впливів. Для досягнення поставленої мети потрібно виконати ряд завдань, зокрема:

- Проаналізувати стан досліджень в галузі оцінювання «розумності» та стійкості міст.
- Розглянути процес формування системи та вибору рівнів оцінювання показників стійкості проектів класу «Розумне місто».
- Проаналізувати процес переоцінки «розумності» проектів класу «Розумне місто».
- Здійснити оцінку стійкості проектів класу «Розумне місто».

Практичне значення одержаних результатів. Висвітлено пов'язаність сутностей «Розумне місто» та міська стійкість. Проаналізовано вибір підходів до оцінювання стійкості «Розумних міст». Проаналізовано змінні та показники оцінювання стійкості проектів класу «Розумне місто». Проаналізовано масштабування змінних та показників стійкості проектів класу «Розумне місто».

РОЗДІЛ 1. «РОЗУМНІ МІСТА» ТА МІСЬКА СТІЙКІСТЬ. СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Актуальність дослідження

Очікується, що до 2050 року в містах проживатиме понад 6,5 мільярдів людей, що становитиме приблизно сімдесят відсотків населення Землі [2]. При цьому виникатимуть різноманітні загрози, спричинені швидким зростанням населення мегаполісів, які вимагають від міст розробки «розумніших» рішень для вирішення обширного переліку проблем. Як наслідок, концепція «розумного міста» нещодавно стала критично-важливим інформаційно-технологічним рішенням для забезпечення довгострокової стійкості міст [3]. На даний час інформаційні та комунікаційні технології (ІКТ) активно використовуються для покращення якості життя та вирішення проблем сталого розвитку шляхом зміни традиційних способів управління міськими системами за допомогою технологічно покращених міських систем та інфраструктур [4]. Дослідники очікують, що кількість «розумних міст» у всьому світі зросте з двадцяти у 2013 році до дев'яносто до 2025 року [5]. Враховуючи зазначені тенденції розвитку подій, критично важливо перевірити стійкість «розумних міст». Щоб переконатися в їх стійкості до катастроф, які становлять значну проблему та ризик для життя сучасних міст. Стихійні лиха та непередбачувані впливи роблять «розумні міста» дуже вразливими, підкреслюючи їхню потребу бути розумнішими та стійкішими. Сучасні «Розумні міста» досягли значного прогресу, особливо в царині міського планування [6]. Але на даний час багато запитань залишаються без відповіді при оцінці «розумних міст» [7]. Як наслідок, потрібно розглянути та проаналізувати:

- Чи є «розумне місто» стійким?
- Як можна оцінити стійкість «розумного міста»?

Потрібно проаналізувати комплексні інструменти оцінки для вирішення задач такого класу. При цьому потрібно проаналізувати «розумність» сучасних «розумних міст», щоб переконатися, що їх все ще можна вважати «розумним». На другому етапі потрібно розглянути критерії стійкості «розумного міста», оскільки стійкість залежить від інтегральних компонент «розумності» [7]. Це дозволить «розумним містам» оцінити можливості протистояння катастрофам.

Потрібно проаналізувати «розумні міста» та міську стійкість, дослідити, як формуються критерії розумності та стійкості, розглянути їхні межі та стан поточних інформаційно-технологічних проєктів. Це потрібно зробити виходячи з міркувань про зв'язки між концепціями «розумності» та стійкості. Завдяки широті концепцій міської стійкості та «розумності» потрібно розглянути робочу методологію, яка може бути використана для сформованої структури.

1.2 «Розумне місто»

«Розумна» концепція міст зародилася в 1990-х роках внаслідок адаптації ІКТ до міської інфраструктури. Каліфорнійський інститут створив першу модель розумних спільнот, яка мала на меті розвиток інтелектуальних суспільств шляхом побудови міст з передовими ІКТ [7]. ЄС схваливши цю концепцію в 2010 році, відкривши при цьому обширний перелік наукових аргументів, що окреслюють сталий розвиток та екологічну підтримку. За даними [8], «розумні» міста централізують ІС та ІКТ у рамках управління взаємопов'язаною інформаційно-технологічною інфраструктурою, щоб:

- надавати інноваційні та креативні послуги міським громадам;
- впливати на засоби існування;
- керувати природними ресурсами.

Однак жодне загальноприйняте визначення «розумного міста» не відображає складність і багаторівневі взаємозв'язки нових цифрових інновацій та швидкозмінних вимог [9]. Воно акцентує увагу на кількості ідей, підходів,

концепцій і «розумних» термінологій. Визначення поділяється на три класи факторів (див. таблицю 1.1):

- компоненти;
- ефективність;
- цілі.

Таблиця 1.1 – Чинники у визначеннях «розумного міста» [9]

Фактор	Галузь міської діяльності
Компоненти	ІКТ інфраструктури
	Людський капітал
	Інституційний капітал
	Соціальний капітал
Продуктивність	Інновації
	Ефективне міське управління
	Залучення громадян
	Співпраця та партнерство
	Демократичне/партиципаторне управління
Цілі	Економічне зростання та конкурентоспроможність
	Сталий (міський) розвиток
	Висока якість життя
	Соціальний розвиток
	Екологічна стійкість

Подані визначення свідчать, що «розумні» міста можуть сприяти [10]:

- інноваціям;
- демократичному управлінню;
- продуктивності;
- участі громадян;

– підключенню за допомогою інфраструктури ІКТ людських, соціальних та інституційних ресурсів.

На даний час не існує конкретних базових семантичних показників та оцінок або стандартизованих критичних аспектів комплексного визначення «розумності» та стійкості [11]. Однак в [12] запропоновано цілісну структуру оцінки проектів розумних міст, включно з їх розмірами та областями застосування.

Автори [13] запропонували структуру мульти-оцінювання, яка поєднує три традиційні методи нормалізації та логарифмічну нормалізацію, щоб зробити дані більш реалістичними та уникнути будь-якої суб'єктивності у використанні єдиної техніки нормалізації. В [14] подано опис процесу створення структури оцінки галузі будівництва «розумного міста», зосереджену на шести факторах «розумності»:

- розумна економіка;
- управління;
- життя;
- люди;
- навколишнє середовище;
- мобільність.

Ці аспекти поділяються на понад тридцять вторинних і понад сімдесят третинних показників. Згідно [14], були розроблені, розширені та визначені для вимірювання «розумності» структури та моделі, зокрема:

- LRSC;
- SSCC;
- GIMI;
- GPCI;
- USCM;
- WWC.

Зазначені межі оцінювання та моделі відіграють ключову роль у розумінні та визначенні потенційних параметрів і аспектів вимірювання «розумності» міст [15].

Як наслідок, великі міста в усьому світі по-різному концептуалізують поняття «розумності», з різним ступенем розумності та технічних можливостей для вирішення різнотипових міських проблем, які в підсумку забезпечують стале міське життя. Наприклад, Барселона інтегрує «розумні» технології, які сприяють інноваційному розвитку на міському рівні [16]. Водночас Лондон використовує метод оптимізації зсуву розділеного циклу «SCOOT», щоб оптимізувати час ввімкнення зеленого світла на транспортних перехрестях.

Сан-Франциско має множину безкоштовних точок доступу Wi-Fi у різних громадських місцях. У ряді великих міст Нової Зеландії випробовано різні інформаційні технології та програмно-алгоритмічні рішення для обробки даних з метою покращення умов життя. У місті Окленд було встановлено давачі для відстеження якості води та прийняття оперативних рішень для усунення заторів, використовуючи дані в режимі реального часу.

Системи відеоспостереження та телебачення «CCTV» з інтегрованими давачами використовуються у Веллінгтоні для відстеження руху транспорту і пішоходів та інформування про потенційні небезпечні ситуації. Районна рада Вайтакі встановила «розумні» давачі та прогресивну технологію фільтрації води для покращення управління водними ресурсами. Інші автори, зокрема [17] запропонували нову структуру інформаційної системи прийняття рішень на основі подвійної ієрархії нечіткої лінгвістичної інформації «DHHFL», щоб визначити пріоритетність заходів для зменшення викидів вуглецю в умовах індійського «розумного міста».

Однак усі розглянуті технократичні рішення не мають уніфікованого підходу до досягнення сталого розвитку міст і це не означає, що вони обов'язково стійкі до катастроф. Таким чином, заходи для підвищення стійкості «розумних» міст, в умовах стихійних лих, повинні розглядатися комплексно,

щоб досягти максимального рівня стійкості, який може бути забезпечено та підтримується ЦСР ООН.

1.3 Міська стійкість

Холлінг [18] подав критерії визначення стійкості зв'язків у складних системах та методи вимірювання здатності систем поглинати зміни ключових змінних і параметрів. З того часу в різних галузях існують різні пояснення стійкості. Термін «стійкість» означає «відновлення», що стосується здатності системи повертатися до нормального стану після катастрофи.

У соціальних науках [19] охарактеризовано стійкість міст як здатність міської системи та соціально-екологічних і соціально-технічних мереж підтримувати або швидко повертатися до бажаних функцій після збою. Вони повинні адаптуватися до змін і швидко трансформувати підсистеми, які впливають на поточну або майбутню здатність до адаптації [20].

Автори [21] вказують, що *«стійкість – це здатність окремих осіб, громад, установ, компаній і систем у місті виживати, адаптуватися та розвиватися незалежно від типу хронічного стресу та гострих потрясінь, яким вони піддаються»*. Рібейро [22] узагальнили міську стійкість як чотири основні складові:

- опір;
- відновлення;
- адаптація;
- трансформація.

Також він виокремив виміри міської стійкості за їх природою:

- природні;
- економічні;
- соціальні;
- фізичні;
- інституційні.

На основі дослідження понад восьмидесяти наукових журналів запропоновано одинадцять характеристик:

- надмірність;
- надійність;
- зв'язок;
- незалежність;
- продуктивність;
- ресурси;
- різноманітність;
- адаптація;
- інновації;
- включення;
- інтеграція.

Таким чином, поняття «стійкість» передбачає, що місто має поглинати, адаптуватися та трансформувати зовнішній тиск і гарантії міської безпеки під час небезпек, катастроф чи криз. Подальший розвиток відбувся в різних областях досліджень, зокрема:

- запропоновано інструмент вимірювання стійкості, розроблений для танзанійських систем водопостачання [23];
- проведено визначення технічних факторів, що впливають на стійкість системи водопостачання [24];
- проаналізовано процеси посилення стійкості завдяки підвищенню розуміння громадою ризиків, систем компенсації, розвитку громади та згуртованості [25].

Оскільки поняття «стійкість» є теоретичною конструкцією, не існує загальновизнаного показника, що створює значні труднощі та обмежує майбутню комплексну оцінку стійкості міст [22]. Крім того, фізичні, соціальні, організаційні та культурні фактори відіграють вагомую роль у визначенні стійкості, оскільки потрібне глибше розуміння несподіваних подій [26]. Однак схеми, які використовуються для вимірювання стійкості міст, зокрема

структура стійкості громади Брюно у відповідь на землетруси, охоплюють технологічні, організаційні, соціальні та економічні аспекти «TOSE».

Фреймворки, побудовані на основі «TOSE», визначають індивідуальні набори відповідностей показників стійкості [27]. Множина аналітичних структур «COde Behavior Framework (CoBRA)», «PEOPLE», «BRIC» та Агентство США з міжнародного розвитку «USAID», надають цінні дані для створення основи для оцінки стійкості міст [28].

1.4 «Розумне місто» та міська стійкість

«Розумні міста» та міська стійкість реалізуються на основі схожих або навіть однакових систем, які мають подібні траєкторії розвитку та дилеми, які необхідно вирішити, зокрема, зміну клімату. Обидві сутності можуть бути технічними – базові, традиційне розуміння, або суспільними – складні, розуміння. Обидва стосуються міських жителів і муніципальних державних служб, а не окремих осіб або розосереджених мереж [29]. Управління стійким «розумним містом» розглядає різні підходи, які можуть допомогти «розумному місту» стати стійкішим. Таким чином, інтегрований підхід, який включає оперативність і стійкість, є важливим для підвищення міської ефективності та надання стратегій і рішень для множини міських проблем, а «Розумне місто» має використовувати ІКТ для взаємодії [7].

Мешканці, що підтримують та розвивають міські інституції та послуги, покращують міське середовище та підвищуючи стійкість міст. Це означає, що «розумне місто» також має завжди бути стійким, щоб справлятися з непередбаченими проблемами [30]. Тому «розумні міста» повинні мати стійкий план швидкого відновлення своїх систем. І навпаки, основний наведений вище дискурс стосується зв'язку понять «розумного міста» та стійкості в катастрофічних умовах.

Аналіз наукової літератури [7] показує, що значні зусилля були докладені до розробки «розумної» та стійкої системи для вимірювання ефективності.

Однак більшість існуючих поняттєвих та знаннєвих структур і систем показників зосереджені лише на одному понятті, або стійкості, або «розумності». Зокрема, в таблиці 1.2 подано перелік критеріїв розумності міст, сформований на основі фрейморка «Smartcity UCLG» [7].

Таблиця 1.2 – Критерії оцінювання «розумності» міст

Фреймворк	Ключові показники											
	Еконо- міка	Люди	Управ- ління	Мобіль- ність	Життя	Навко- лишне середо- вище	Суспі- льство	Куль- тура	ІКТ	Інститу- ційні	Віднов- лення	Інфра- струк- тура
UCLG	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
MSC-EU	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
Boyd- Cohen	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
UNECE- ITU	+	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	+
City-IQ	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	-	-

А в таблиці 1.3 подано перелік критеріїв стійкості міст, сформований на основі фрейморка «ResilientcityPEOPLES» [7].

Таблиця 1.3 – Критерії оцінювання стійкості міст

Фреймворк	Ключові показники											
	Еконо- міка	Люди	Управ- ління	Мобіль- ність	Життя	Навко- лишне середо- вище	Суспі- льство	Куль- тура	ІКТ	Інститу- ційні	Віднов- лення	Інфра- струк- тура
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
PEOPLES	+	+	-	-	+	+	+	-	-	+	-	+
Nyogo	-	-	+	-	-	-	+	-	-	+	+	+

Продовження таблиці 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
USAID	-	+	+	+	-	+	+	+	-	-	+	+
NIST	+	+	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+
UNISDR	+	-	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+

В процесі аналізу показників стійкості проектів класу «Розумне місто» доцільно комплексно розглянути ключові етапи формування, оцінювання та демонстрації процесів забезпечення стійкості.

1.5 Вибір підходів до оцінювання стійкості «Розумних міст»

Шаріфі [31] оцінив понад тридцять «розумних» схем оцінювання, стандартів та показників з обширною множиною аспектів «розумності». Дослідження підсумувало характеристики інструментів «розумного міста». Зокрема, комплексне оцінювання групи аспектів «розумності»:

- прозорість і співпраця;
- координація з місцевими потребами та цілями;
- застосування підходів до вирішення потенційних невизначеностей;
- урахування взаємозв'язків між ключовими параметрами;
- здатність вимірювати зміни між часовими масштабами;
- адаптація.

Завдяки цим критеріям «розумні міста» здатні:

- вимірювати покращення з часом;
- адаптуватися до різних розмірів і місць;
- враховувати технологічні та фінансові проблеми;
- ефективно подавати та передавати дані;
- керувати створенням рекомендацій щодо політики «розумного міста»

та планів розвитку.

Аналогічно структури стійкості зосереджені на множині подібних характеристик, які зменшують вразливість і підвищують стійкість. У переважній більшості літературних джерел подано два основні підходи до оцінювання [32]:

- кількісне оцінювання;
- якісне оцінювання.

Автори [33] порівняли ці два підходи та резюмували, що кількісні підходи є менш гнучкими, трудомісткими та придатні для вузької оцінки мереж та систем. Крім того, цей підхід потребує обширні набори даних даних і його важко реалізувати. Перрі [34] також вказав, що кількісні підходи обмежуються невеликими теоретичними мережами та є доволі нереалістичними. Їх важко реалізувати у складних мережах та системах.

На основі порівняння проаналізованих наукових публікацій зроблено висновок, що хоча якісні підходи підлягають інтерпретації. Вони є гнучкішими за масштабом і контекстом. Зосереджені на людях – операторах і менеджерах, інформаційних технологіях і об'єктах. Таким чином, забезпечують ширші процеси або організаційні переваги. Якісний підхід відноситься до методів оцінки, які не включають числові описи [7]. Ці методи класифікуються як:

- концептуальні рамки;
- напівкількісні показники.

Перший дає концептуальне розуміння без кількісної оцінки систем. Другий містить набір питань, призначених для оцінки різних системних характеристик за шкалою Лайкерта «0–1» або «0%–100%» або «1–5» [23]. Якщо використовуються напівкількісні підходи, експертні висновки можуть оцінити характеристики, які можуть бути агреговані для створення системного індексу.

Якісний підхід є гнучким і простим, оскільки він базується на сучасній науковій літературі та актуальних дослідженнях існуючих методів оцінки систем. Його можна запровадити в різних містах і подолати дефіцит даних у деяких окремих локаціях. Тому при аналізі показників стійкості проєктів класу «Розумне місто» доцільно використати якісний підхід для формування

«розумної» оцінки та оцінки стійкості на основі адаптації [23] підходу до розробки інструментів з невеликими змінами.

Перш ніж оцінювати стійкість «розумного міста», слід переоцінити його «розумність», як складної інформаційно-технологічної соціо-комунікаційної системи.

1.6 Методологічна та концептуальна основа процесів оцінювання стійкості «Розумних міст»

В процесі аналізу показників стійкості проєктів класу "Розумне місто" доцільно розглянути структуру процесу оцінювання стійкості «розумного міста». Як зазначалося в попередніх параграфах, міста швидко розширюються, а інформаційні та комунікаційні технології постійно оновлюються. Тому сутності, які колись були оцінені та позначені «розумним містом» можуть більше не відповідати вимогам «розумності» згідно з поточними критеріями оцінювання.

Перш ніж оцінювати стійкість «розумного міста», слід переоцінити «розумність міста». Отже, Методологічна основа оцінювання стійкості проєктів класу «Розумне місто» складається з двох частин:

- повторна оцінка «розумності» міста;
- оцінка стійкості «розумного міста».

Процес оцінювання критеріїв «розумності» та стійкості міст можна умовно розділити на два етапи:

1. Переоцінювання критеріїв «розумності» міст.
2. Оцінювання критеріїв стійкості міст.

Узагальнену блок-схему процесу переоцінювання критеріїв «розумності» міста подано на рисунку 1.1. Зокрема, доцільно виділити етапи:

1. Розробка концептуальної основи.
2. Визначення системи та вибір рівнів оцінки.
3. Пропозиція змінних та показників.

4. Експертна оцінка.
5. Масштабування змінних та показників.
6. Зважування змінних та показників.
7. Агрегування змінних та показників.
8. Формування рекомендацій щодо покращення міської інфраструктури.

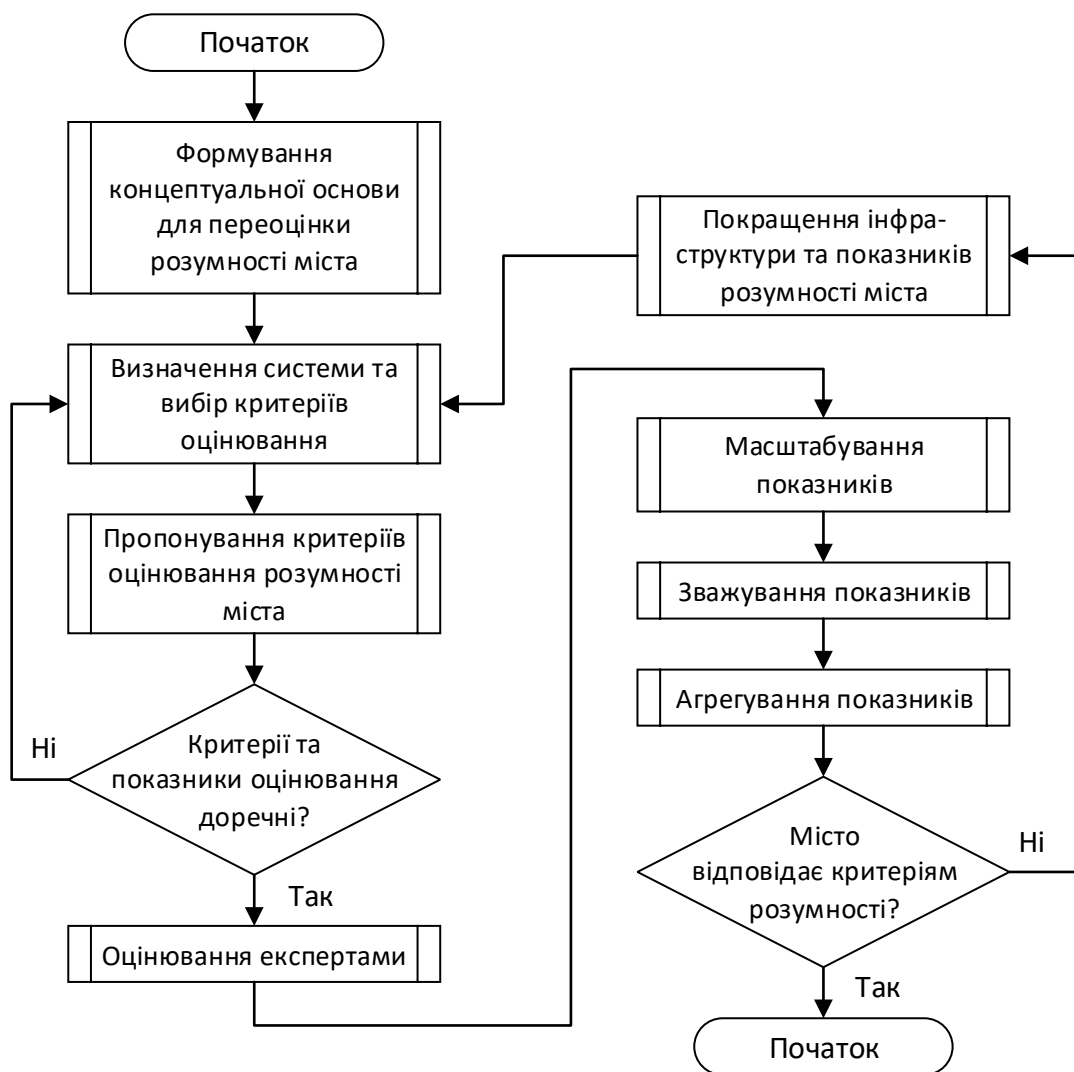


Рисунок 1.1 – Узагальнена блок-схема процесу переоцінювання критеріїв «розумності» міста [7]

Узагальнену блок-схему процесу оцінювання критеріїв стійкості міста подано на рисунку 1.2. За даними [23], переважна більшість сучасних наукових досліджень в царині розробки фреймворків використовують підхід «знизу вгору» або «зверху вниз».

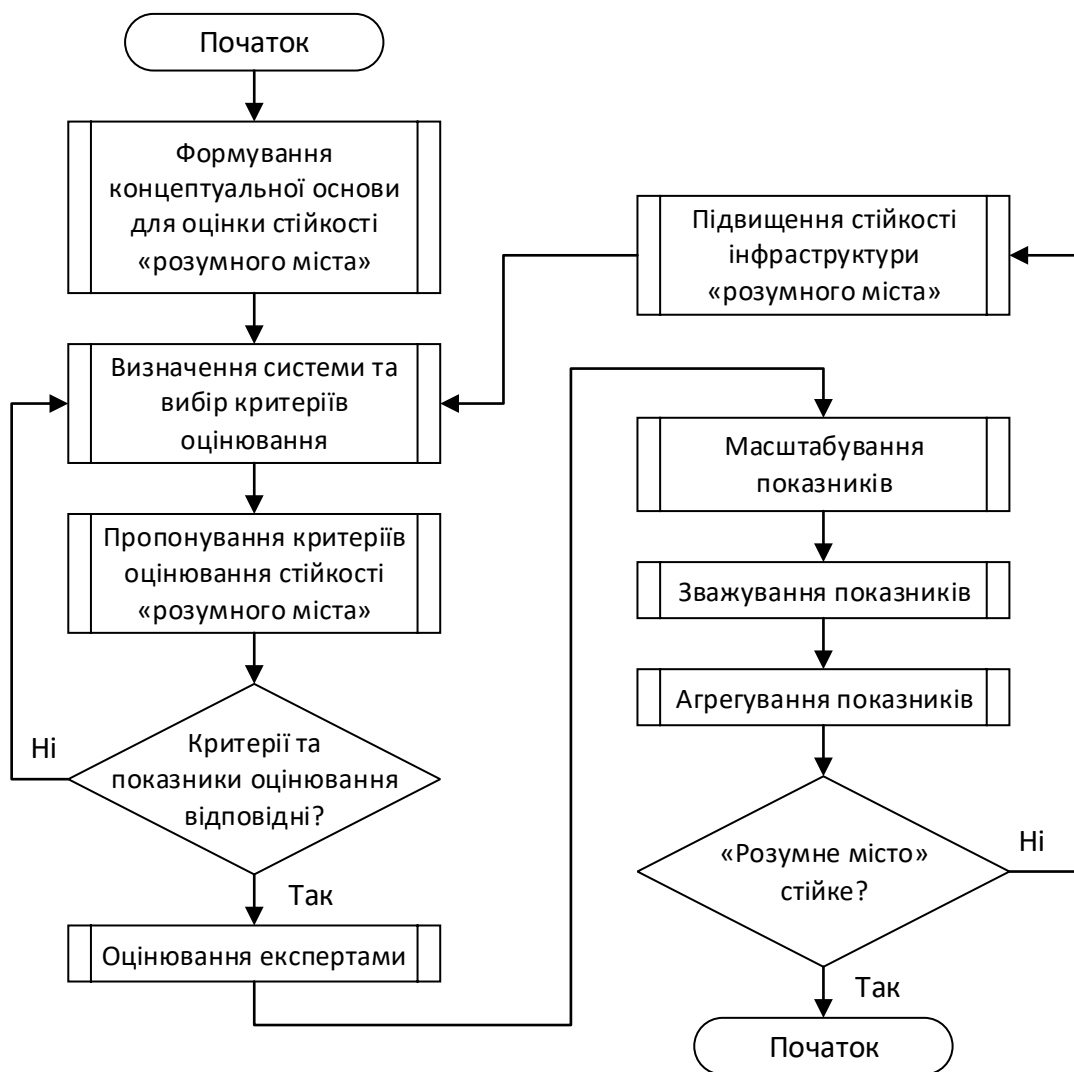


Рисунок 1.2 – Узагальнена блок-схема процесу оцінювання критеріїв стійкості міст [7]

Методи «знизу вгору» часто залучають спільноти або експертів, що призводить до збільшення їх участі. Цей підхід є складним через мінливість даних [35] і не має узагальненого результату [24]. Навпаки, методи «зверху вниз» вимагають детального початкового огляду та аналізу наукової літератури для визначення загальноприйнятих стандартів, якими керуватиметься новий процес оцінювання. Підхід визначає та встановлює досліджувані змінні шляхом визначення аспектів стійкості та «розумності». Після цього експерти повинні визначити змінні, практики та політики які вважають важливими та значими для визначення ключових показників [7].

1.7 Висновок до першого розділу

В першому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Бакалавр» проаналізовано актуальність здійснення аналізу та дослідження. Розкрито зміст сучасного наукового та інформаційно-технологічного концепту «Розумне місто». Подано формулювання терміну «Міська стійкість». Розлого розкрито пов'язаність сутностей «Розумне місто» та міська стійкість. Здійснено вибір підходів до оцінювання стійкості «Розумних міст». Подано методологічні та концептуальні основи процесів оцінювання стійкості «Розумних міст».

РОЗДІЛ 2. ОЦІНЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ СТІЙКОСТІ ТА «РОЗУМНОСТІ» ПРОЄКТІВ КЛАСУ «РОЗУМНЕ МІСТО»

2.1 Формування системи та вибір рівнів оцінювання показників стійкості проєктів класу «Розумне місто»

Коен [36] запропонував «колесо» «розумного міста» з шістьма ключовими компонентами, зокрема:

1. «розумне» середовище;
2. «розумна» економіка.
3. «розумне» урядування.
4. «розумні» люди.
5. «розумне» життя.
6. «розумний» транспорт.

Структура оцінювання показників стійкості проєктів класу «Розумне місто» сформована так, що дозволяє застосовувати її в усіх шести компонентах «розумного міста». Її комплексний дизайн гарантує функціонування на різних платформах. Отже, щоб запровадити структуру в дію необхідно звернути увагу на конкретні системи та випадки [7]. Вибрані рівні оцінювання можуть бути змінені на основі точки зору дослідників та деталей окремого прикладу. Однак, на даний час немає єдиної думки щодо того, як проводити оцінку.

Як зазначалося, структура «TOSE» пропонує чотири виміри для оцінювання стійкості «розумної» громади [27]:

- Технічний.
- Організаційний.
- Соціальний.
- Економічний.

Ряд дослідників згодом змінили його. Наприклад, в [37] подано екологічні аспекти аналізованої моделі. В свою чергу в [33] подано технічні та організаційні аспекти для оцінки стійкості «розумної» транспортної

інфраструктури Нової Зеландії. Шаріфі [31] стверджує, що загальноприйнятними параметрами «розумних міст» є:

- економіка;
- дані;
- мобільність;
- умови життя;
- навколишнє середовище;
- управління;
- люди.

Кожен дослідник модифікував цей перелік відповідно до своїх критеріїв дослідження та практичних прикладів. Тому в різних системах використовувалися різні рівні та критерії оцінювання показників стійкості проєктів класу «Розумне місто» (див. таблицю 2.1).

Таблиця 2.1 – Рівні та критерії оцінювання стійкості «Розумних міст»

Рівні оцінок	Критерії оцінювання
Єдиний рівень оцінювання	Показники
Дворівневі оцінки	1. Виміри / Капітал / Принципи 2. Показники ефективності / Показники / Вимірювання
Трирівневі оцінки	1. Вимір / Домен 2. Принцип / Потужності / Вимір 3. Категорії / Показники / Показник
Чотирирівневі оцінки	1. Система 2. Вимір 3. Кількісне вимірювання 4. Ємності

На основі вибору системи та конкретного прикладу структура може бути скоригована та встановлено конкретний рівень оцінки.

2.2 Аналіз змінних та показників оцінювання стійкості проєктів класу «Розумне місто»

Як було зазначено в попередніх розділах та параграфах, обширний перелік «розумних міст» і «розумних» структур міської стійкості були розроблені на основі:

- фізичних;
- економічних;
- соціальних;
- інституційних;
- екологічних аспектів.

Таким чином, показники стійкості можуть визначати «розумність міста» і навпаки – це і є характерною особливістю та елементом гнучкості [38]. Показники доцільно вибирати на основі їх обґрунтування в сучасній науковій літературі та наявності надійних високоякісних даних із національних джерел даних [39]. Наведемо найважливіші параметри вибору показників, які розглядаються в переважній більшості досліджень [40]:

- Валідність – вказує, чи є показник еталонним для виміру стійкості.
- Чутливість – показує чутливість показника до змін результату.
- Об'єктивність – демонструє актуальність показника в часі – на основі оновлених та відтворених даних.
- Простота – стосується здатності людей, які приймають рішення, та інших користувачів це зрозуміти.

2.3 Експертна оцінка показників стійкості проєктів класу «Розумне місто»

Зазвичай перевірка вмісту виконується за допомогою експертної оцінки. Автори [41] опитали процеси опитування понад двадцяти експертів галузі з десяти різних компаній. В [42] подано результати опитування десяти експертів

з державних, приватних і дослідницьких установ та організацій з принаймні п'ятирічним досвідом роботи на етапі попередньої оцінки досліджень.

Октарі [43] опублікував результати залучення понад дванадцяти експертів для перевірки критеріїв стійкості проєктів класу «Розумне місто». Тому рекомендується залучати від десяти до двадцяти «польових» галузевих експертів з державних і приватних організацій, наукових установ та організацій під час процесу попередньої оцінки стійкості проєктів класу «Розумне місто». Занадто багато експертів негативно вплине на швидкість виконання процесів оцінювання та час відповіді.

Вибрані показники та змінні організуються в напівструктуровані запитання, а потім роздаються експертам. Респондентам пропонується:

- прокоментувати встановлені змінні;
- додати додаткові змінні, які на їхню думку здаються доречними;
- оцінити їх потенціал для включення в дослідження.

Якщо принаймні сімдесят відсотків експертів погоджуються щодо змінних, то вони мають право на включення в дослідження [44].

2.4 Масштабування змінних та показників стійкості проєктів класу «Розумне місто»

Змінні вимірюються з плином часу, щоб отримати інформацію про динаміку процесів залежно від конкретного явища [45]. Вони рідко випускаються і використовуються самостійно. Натомість вони розроблені як взаємопов'язані компоненти вимірювання, які перехресно перевіряють тенденції та забезпечують широкий контекст оцінювання показників стійкості проєктів класу «Розумне місто». У «розумних» містах показники служать барометром того, як розкриваються та функціонують різні аспекти та категорії. Їх також можна інтегрувати в множину моделей, щоб проілюструвати поточні тенденції, змодельовати та передбачити, що може статися за різних сценаріїв розвитку подій, і дослідити альтернативні варіанти функціонування

«розумного» міста [46]. Ефективність показників визначається їх здатністю відображати характеристики міської системи на основі заздалегідь визначених цілей.

Змінні, які вимірюють «розумність» і стійкість, мають різні статистичні одиниці та шкали. Деякі показники, наприклад, можна обчислити у відсотках, інші можна виміряти у відношенні на душу населення.

Шкала Лайкерта є одним з найчастіше використовуваних інструментів дослідження експертної думки. Шкала Лайкерта – це n-бальна порядкова шкала. Зазвичай п'ять або сім балів. Яка доволі часто використовується в соціальних наукових дослідженнях. Переваги використання такої шкали в основному прагматичні. Для багатьох цілей це простий і природний масштаб для використання.

В аналізованій системі використовується п'ятибальна шкала. Кожен показник має п'ять критеріїв, які вказують на рівень ефективності від одного до п'яти. Причому оцінка один показує умови, які призводять до низької стійкості та «розумності», а оцінка п'ять вказує умови, які призводять до високої стійкості та «розумності» [23].

Якщо шкала вимірювання недоступна для запропонованого показника, дослідники повинні запропонувати альтернативний показник і отримати пораду експертів, щоб зробити оптимальну модифікацію. Тим не менш, дослідник все одно потребує схвалення експертів перед проведенням експериментів щодо оцінювання показників стійкості проєктів класу «Розумне місто».

2.5 Зважування та агрегування змінних та показників стійкості проєктів класу «Розумне місто»

Основні методи розробки оцінки розумного та стійкого міста включають вибір відповідних змінних, зважування цих змінних і агрегування даних у складений індекс [47].

У кожній «розумній» оцінці та оцінці стійкості процес зважування та агрегування компонентів індексу є вирішальним фактором. Автори [48] не надали жодного теоретичного чи практичного обґрунтування розподілу важливості між показниками.

Призначення вагових коефіцієнтів змінним є важливим, оскільки це допомагає вирішити, які змінні важливіші за інші [33]. Однак вибір методу зважування є складним, оскільки він залежить виключно від змінних і обставин. За даними опублікованими в [49], існує три основні класи методів зважування показників:

1. Справедливе зважування.
2. Зважування на основі статистики.
3. Зважування на основі громадської та експертної думки.

Усі показники вважаються однаково релевантними, або, якщо жодні статистичні чи емпіричні докази не підтверджують унікальну систему, можна використовувати рівноважливий оцінювання «EW» [50]. Вагові коефіцієнти генеруються на основі статистичних характеристик даних у статистичному зважуванні [51]. Статистична структура враховує [49]:

- аналіз основних компонентів «PCA».
- підхід на користь сумнівів «BOD».
- регресійний аналіз «RA».
- модель неспостережуваних компонентів «UCM».

На відміну від справедливого зважування та зважування на основі статистики, зважування на основі думки громадськості та експертів зосереджено на внесках громадськості чи експертів, чий думки визначають вагові коефіцієнти, що застосовуються до окремих показників [51]. Методи на основі залучення громадськості та експертів включають:

- розподіл бюджету «BAL»;
- громадську думку «PO»;
- аналітичний ієрархічний процес «АНР»;
- спільний аналіз «СА».

Процеси агрегації поєднують зважені компоненти в єдиний зведений індекс різних схем класифікації для доступних методів агрегації [49]. Зазвичай, схеми класифікації включають схеми, що базуються на семантиці агрегації [52], і ті, що залежать від ступеня належної компенсації [51]. Технологічні складності включення зважених показників тісно пов'язані з цією схемою класифікації [53]. Поширені методи агрегування:

- Адитивні методи агрегування, наприклад, арифметичні.
- Мультиплікативні методи агрегування, наприклад, геометричні.
- Некомпенсаційні методи агрегування.
- Методи на основі класифікації, наприклад, багатокритеріальний аналіз.

Автор [49] запропонував структуру, орієнтовану на процес, для визначення найкращого методу зважування та агрегування на основі мети та масштабу дослідження. Наукова публікація [49] містить рекомендації щодо вибору найефективніших підходів до зважування та агрегування серед загальнозживаних методів. Результат агрегування, демонструє «розумність» і стійкість. Перша частина структури дала індекс «розумності» «SI», а друга частина згенерувала індекс стійкості «RSI» на основі досліджуваних показників стійкості «розумного міста». Результати подані у вигляді індексу від одного до п'яти за п'ятибальною шкалою Лайкерта. Він визнає перспективні сфери для можливих змін, зокрема, прийняття рішень. Наприклад, оцінка «2.45» означає, що система є помірно стійкою або «розумною» з менш ніж оптимальними результатами та певними модифікаціями, які вимагають негайної уваги. Аналогічно, оцінка «3.66» вказує на високу стійкість або «розумність» і результативність.

2.6 Переоцінка «розумності» проєктів класу «Розумне місто»

Проаналізована структура, подана на рис. 1.1 поділена на дві частини. Спершу вона спрямована на переоцінку «розумності» існуючого «розумного міста», а друга частина оцінює стійкість «розумного міста».

Першим кроком в процесі аналізу є визначення системи. При цьому формується гіпотетичний системний сценарій, щоб продемонструвати, як функціонує досліджувана структура. Застосування гіпотетичних тематичних досліджень є поширеним при використанні інструментів концептуального оцінювання в різних секторах. Згідно з [54], *«сценарії – це гіпотетичні ілюстрації майбутнього, які описують перетин у встановленому контексті, описують шляхи розвитку та служать орієнтиром»*. Харт [55] використав гіпотетичне тематичне дослідження для порівняння різних аналізів ефективності витрат. Стоянович [56] зосередився на методах сценаріїв у міському плануванні, щоб отримати вигоду з їх корисності в часи невизначеності та складності. Автор [24] запропонував теоретичну основу комплексної агрегованої моделі оцінки стійкості. Використовуючи гіпотетичний випадок він продемонстрував, як система функціонує. При цьому гіпотетичний сценарій застосовується для системи оцінювання стійкості «розумного міста», щоб проілюструвати, як вона функціонує.

Гіпотетична система – це комплексна структура систем стійкості «розумного міста» є комплексним інструментом оцінки, який можна впровадити в різних системах і секторах міста. Для цього гіпотетичного прикладу оберемо систему водопостачання [7]. Проблеми, з якими стикаються муніципальні системи водопостачання:

- надмірне використання через зростання населення;
- недооцінка цінності води;
- відсутність співпраці між суб'єктами;
- експлуатаційні проблеми – старіння, витіки, якість;
- підвищення цін на енергоносії;
- необхідність реагувати на проблеми зміни клімату.

На даний час на всіх рівнях влади, від місцевого до національного, оприлюднюються обширні набори екологічних даних, пов'язаних з водою. Проте досі не вистачає системного підходу до оцінки ефективності

використання ресурсів або екологічної ефективності муніципальних систем водопостачання [57].

Гіпотетичне місто дослідженні [7] позначено «HSLMH». Для побудови сценарію «HSLMH» вважається «розумним містом» і, за своїми технічними та організаційними аспектами, відповідало критеріям «розумної» системи водопостачання в 2012 році. «HSLMH» – це гіпотетичне місто з шістьма мільйонами людей та споживанням води приблизно п'ятсот сорок м³ на день. Систему громадського водопостачання [7] утворюють три основні джерела води з умовними назвами:

- Жовтий водоносний горизонт.
- Червона річка.
- Чорна річка.

Використовуючи запропоновану структуру, оцінюється технічна стійкість «HSLMH». Перед оцінкою стійкості «розумної» системи відбувається повторне структурне оцінювання «розумності» системи, щоб переконатися, що система водопостачання ще відповідає поточному еквіваленту «розумності». На першому етапі повторно оцінюються на розумність технічні характеристики системи водопостачання «HSLMH». На наступному етапі відбувається оцінка її стійкості.

При визначенні відповідності рівнів оцінювання розділяються дворівневі оцінки, визначені [27] і [34] та подані в таблиці 2.1:

- виміри;
- показники для використання в гіпотетичному прикладі.

Для прикладу обрано інформаційну технологію. У результаті технічний вимір системи водопостачання «HSLMH» повторно оцінюється з використанням запропонованої основи для визначення поточних показників «розумності» [7].

Пропонування змінних та зустрічі з експертами для внесення змін та підтвердження та рейтингу є важливим етап оцінювання «розумності» та стійкості. Зустріч з експертами повинна проводитися двічі. Першу зустріч

рекомендується проводитись у формі фокус-групи за участю п'ятнадцяти експертів для внесення змін до базової структури. Усі експерти повинні мати щонайменше п'ять років досвіду роботи чи дослідницьких робіт у будівництві «розумних міст» або розвитку «розумної» міської стійкості [7]. Усі вони повинні займати відповідальні чи керівні посади в дослідницьких установах чи муніципальних організаціях.

Друга зустріч повинна проходити під час інтерв'ю для підтвердження рівнів оцінювання, зокрема одиниць вимірювання, показників і процедур рейтингу. Два базові показники були отримані з наукової літератури [7], а потім змінні були попередньо оцінені та протестовані п'ятнадцятьма експертами. Аналіз експертів був використаний для уточнення показників. У результаті було отримано чотири розширені показники.

Інші кроки для формування переліку цільових показників водопостачання були зрозумілі відповідно до міжнародних стандартів та місцевих потреб. Кожна шкала вимірювання показника має п'ять критеріїв, що відображають різний рівень ефективності [7]. Початкові параметри оцінювання тестів базуються на шкалах Лайкерта від одного до п'яти. Причому оцінка один описує стан, що призводить до низького рівня «розумності», а оцінка п'ять – умови, що призводять до високого рівня «розумності». В таблиці 2.2 подано міри та шкали вимірювань технічних показників характеристик «розумності» та стійкості.

Показники взято з опублікованої в [58] та [59] інформації про «ARUP» з деякими змінами. Потім можна визначити середньозважену та сукупну оцінку технічних параметрів. А потім слід визначити середні оцінки для кожного показника. Початкові бали, які відображали незважений предиктор «розумності», потрібно використати для початку процесу оцінювання.

Базуючись на дискусії [49], цей аналіз слід модифікувати для зважування та агрегування показників. Для зважування показників обрано АНР.

Таблиця 2.2 – Технічні показники «розумності», показники та шкали вимірювань для переоцінки «розумного міста» [7]

Запропоновані показники	Вимір	Шкала вимірювання
«Розумний» лічильник води	Відсоток населення, яке має доступ до «розумних» лічильників води	1. До 20% 2. До 40% 3. До 60% 4. До 80% 5. Більше 80%
ІКТ моніторинг водопостачання	Відсоток систем, які можна контролювати за допомогою ІКТ	1. 0%–20% 2. 20%–40% 3. 40%–60% 4. 60%–80% 5. 80%–100%
Нанотехнологічні системи	Різні види впровадження нанотехнологій у системах водопостачання «HSLM». Тип 1: Видалення промислового забруднення води з підземних вод. Тип 2: Видалення солей або металів з води.	1. Нереалізовано 2. Лише один тип 3. Два види 4. Три види 5. Більше трьох типів
Дані споживання в режимі реального часу	Відсоток клієнтів водопостачання, які використовують застосунки для отримання інформації про споживання води, її наявність та ціни	1. 0%–20% 2. 20%–40% 3. 40%–60% 4. 60%–80% 5. 80%–100%

Основна перевага АНР перед іншими підходами «MCDM» полягає в тому, що йому не потрібен статистично значущий та великий розмір вибірки, щоб забезпечити надійні результати. Згідно з оглядом наукових літературних джерел, немає конкретних вимог щодо мінімального розміру вибірки для аналізу за допомогою АНР. Інші вагомі причини використовувати АНР:

- простота встановлення;

– наявність зручного програмного забезпечення для АНР-аналізу даних, наприклад «Expert Choice».

Для агрегації вибрано адитивний метод. Для адитивної агрегації було використано рівняння [60].

$$SI = \omega_1 I_1 + \omega_2 I_2 + \dots + \omega_m I_m = \sum_{i=1}^m \omega_i I_i \quad (2.1)$$

де SI – «розумний» індекс;

ω_i – вага i^{th} -го показника;

I_i – нормалізована оцінка i^{th} -го показника.

Результати оцінки, нормалізованої оцінки та зважених показників наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Оцінка, зважування та агрегування показників

Показники	Оцінка(I_i)	Вага (ω_i)	$\omega_i I_i$
Розумні лічильники води	4.47	0.32	1.43
ІКТ моніторингу водопостачання	3.47	0.18	0.62
Нанотехнології	3.53	0.15	0.53
Дані клієнта в режимі реального часу	4.87	0.35	1.70

Тому SI розраховується:

$$SI = \omega_1 I_1 + \omega_2 I_2 + \dots + \omega_m I_m = \sum_{i=1}^m \omega_i I_i$$

$$SI = 1.43 + 0.62 + 0.53 + 1.70 = 4.28 \quad (2.2)$$

Технічний вимір системи водопостачання «HSLMH» все ще «розумний» і готовий до оцінки стійкості, оскільки $SI=4.28$ за п'ятибальною шкалою Лайкерта [7]. Тому можемо перейти до наступного етапу оцінювання.

2.7 Оцінка стійкості проєктів класу «Розумне місто»

На початку другого етапу оцінювання проведемо визначення відповідних рівнів оцінювання. Трирівневе оцінювання було вибрано для оцінки стійкості «розумної» інформаційно-технологічної системи та виконання другої частини сформованої розрахункової інфраструктури [7]. Відповідно поданої в попередньому параграфі таблиці першим рівнем обрано «розмірність», а другим – «принцип». Третій шар – «показники». Оскільки термін «розумний» асоціюється з ІКТ, будемо оцінювати технічні виміри стійкості «розумної» системи водопостачання «HSLMH». Отже, автори [7] визначають два принципи:

- ІКТ
- Не ІКТ.

Наступний крок – вибір показників стійкості «розумної» системи. У дослідженні [61] використано показники принципів ІКТ під час видобування [62] показників для принципів, не пов'язаних з ІКТ.

На етапі пропонування змінних і зустрічі з експертами для внесення змін, підтвердження та масштабування з сектору антропогенного середовища було обрано п'ятнадцять експертів у різних сферах дослідження міської стійкості. Їхні поради було запропоновано щодо двох принципів і восьми показників. В результаті додатково-проведених інтерв'ю було задокументовано два принципи та шість показників. Кожен показник на першому етапі має п'ять критеріїв, які відображають оцінений рівень ефективності проєктів класу «розумне місто». Початкові критерії оцінки показників базуються на шкалах Лайкерта від одного до п'яти, причому оцінка один вказує на стан низької стійкості, так само п'ять балів вказує на умови, які призводять до високих стандартів стійкості. Технічний аспект стійких «розумних» систем містить принципи, показники, міри та шкали подані в [7].

На етапі зважування та агрегування показників, згідно [24], відбулося присвоєння різних ваг принципам призводить до ситуації, в якій найважливіша

змінна принципу другого рангу є важливішою за найменш важливу змінну принципу першого рангу. Таким чином, для визначення ваги принципів використовується довільно визначений підхід. Надання однакої ваги принципам дозволяє уникнути подвійного зважування принципів і показників, що призводить до низького рейтингу. Тому для принципів у цьому аналізі використовується однакова вага.

Базуючись на попередньому обговоренні, цей аналіз досліджень дотримується модифікованого процесно-орієнтованого підходу, запропонованого автором [49] для зважування та агрегування показників. Подібно до першої частини, для зважування показників обрано метод АНР, а для агрегації – адитивний метод. У таблиці 2.4 подано результати зважування принципів і показників, їх оцінка та агрегування.

Таблиця 2.4 – Результати зважування принципів та показників, оцінка та агрегування

Принципи	Вага принципу (ω'_p)	Показник	Оцінка показника (I_i)	Вага показника (ω_i)	$\omega'_p \omega_i I_i$
ІКТ	0.5	Повідомлення клієнтів за допомогою SCADA	3.47	0.4	0.694
		Дані про використання води АМІ	4.47	0.3	0.671
		Використовувати дані ОСМ-давачів	3.53	0.3	0.530
Не-ІКТ	0.5	Можливість майбутнього розширення системи	3.34	0.35	0.585
		Наявність найважливіших запчастин і обладнання	4.29	0.40	0.858
		Зв'язність системи	3.75	0.25	0.469

Розумний індекс стійкості (RSI) отримано за допомогою адитивного методу:

$$RSI = \omega'_1\omega_1I_1 + \omega'_2\omega_2I_2 + \dots + \omega'_m\omega_mI_m = \sum_{i=1}^m \omega_iI_i$$

$$RSI = 0.694 + 0.671 + 0.530 + 0.585 + 0.858 + 0.469 = 3.807$$

Обчислене значення RSI свідчить про високу стійкість і «розумну» продуктивність вимірювань. Тому систему водопостачання «HSLMH» можна вважати стійкою «розумною» системою [7].

Продуктивність обчислювальних інструментів показує стійкий «розумний» рівень системи водопостачання [7]. Він підкреслює сфери, де необхідно прийняти рішення для покращення. Наприклад, якщо технічний аспект отримав два бали – це вказує що «розумна» система має значну відмовостійкість, але все ж меншу ніж доцільна.

2.8 Висновок до другого розділу

В другому розділі кваліфікаційної роботи сформовано систему та здійснено вибір рівнів оцінювання показників стійкості проєктів класу «Розумне місто». Проаналізовано змінні та показники оцінювання стійкості проєктів класу «Розумне місто». Описано процес експертної оцінки показників стійкості проєктів класу «Розумне місто». Проаналізовано масштабування змінних та показників стійкості проєктів класу «Розумне місто». Виконано зважування та агрегування змінних та показників стійкості проєктів класу «Розумне місто». Розглянуто особливості переоцінка «розумності» проєктів класу «Розумне місто». Проведено оцінку стійкості проєктів класу «Розумне місто».

РОЗДІЛ 3. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ХОРОНИ ПРАЦІ

3.1 Характеристика життєдіяльності людини у системі «людина – машина – середовище існування»

Кваліфікаційна робота освітнього рівня «Бакалавр» присв'ячена аналізу показників стійкості проєктів класу «Розумне місто». Сучані міста є складними системами, сформованими завдяки людській діяльності на основі складної багатогранної взаємодії «людина – машина – середовище існування». Тому в контексті підвищення стійкості міських систем та безпеки диттєдіяльності доцільно розглянути характеристика життєдіяльності людини у системі «людина – машина – середовище існування». В історичному аспекті розвитку трудової діяльності людини можна виділити три основні стадії праці: ручна, механізована та автоматизована.

Протягом тривалого часу, майже до початку нашого століття, функції людини стосовно техніки залишались в основному енергетичними, тобто для керування технікою людина користувалась своєю м'язовою силою. Ця праця характеризується складними руховими процесами, які вимагають значних затрат фізичної сили, високої координації рухів, спритності. Узгодження людини з технікою зводилось лише до врахування анатомічних та фізіологічних особливостей [63].

З появою на початку ХХ ст. нових видів діяльності, автомобіль, літак тощо, виникла потреба врахування психологічних можливостей людини, зокрема, швидкість реакції, особливості пам'яті та уваги, емоційний стан та ін. З широким впровадженням автоматичних систем керування, комплексної механізації та автоматизації виробничих процесів з'явилися зміни у фаховій структурі праці, пов'язані з появою операторської діяльності.

Оператором стали називати людину, яка керувала елементами автоматики та обчислювальної техніки, іншими технічними системами. Під «людиною-оператором» в ергономіці розуміють людину, котра виконує трудову

діяльність, основу якої становить взаємодія з предметом праці, машиною та зовнішнім середовищем завдяки інформаційній моделі та органам керування.

Операторська діяльність значно змінила працю людини. Збільшилась напруга у праці тому, що перед оператором постає завдання керувати все більшою кількістю об'єктів та параметрів. Людина має справу не з прямим спостереженням, а з інформаційним відображенням. Зростають вимоги до точності, швидкості та надійності дій людини, до швидкості психологічних процесів. Трудова діяльність супроводжується значними витратами нервово-емоційної та розумової енергії.

Комп'ютеризація та роботизація, з одного боку, розширили можливості людини, а з іншого – значним чином змінили вимоги до її діяльності [64]. Вже не потрібна примітивна праця з виконанням монотонних фізичних операцій, з шаблонною розумовою діяльністю. Збільшилась потреба у творчій висококваліфікованій праці. Ускладнилась проблема узгодження умов праці, конструкції машин з психологічними та фізіологічними можливостями людини. Людина стала невід'ємною і найважливішою складовою частиною системи ЛМС.

Для того, щоб керувати технологічним процесом, спостерігати та контролювати роботу, оператору необхідні дані, котрі характеризують як хід процесу, так і відповідні органи керування. При керуванні процесом оператору доводиться переробляти великий обсяг інформації. При цьому він зазнає нервового перенапруження. Для розв'язання проблем психологічного характеру конструктори намагаються пристосувати машину до людини так, щоб забезпечити найсприятливіший режим роботи.

Всі зміни керованого об'єкта вловлюються за допомогою давачів. Сигнали від давачів перетворюються і подаються до приладів, за котрими спостерігає людина. Вона сприймає показання приладів, розшифровує їх, приймає рішення, виконує відповідні дії. Сигнал, що виникає внаслідок дій людини, перетворюється і надходить до керованого об'єкта, змінюючи його стан.

Основною формою діяльністю людини-оператора є використання та опрацювання інформації [65].

На рисунку 3.1 подано одноконтурні схеми замкненої системи «людина-машина». При простій одноконтурній схемі людина сприймає сигнали органами зору та слуху і зворотною реакцією впливає на машину.



Рисунок 3.1 – Одноконтурні схеми замкненої системи «людина-машина»

При напівавтоматизованому виробництві сигнали від датчиків у машині передаються на інформаційну панель. Людина сприймає інформацію, переробляє і через пульт керування впливає на машину.

При високомеханізованому виробництві сигнали від давачів надходять на пристрій, котрий змінює вихідні параметри, що передаються на регулятор виходу програми. Людина-оператор сприймає сигнали і зворотною реакцією впливає на регулятор виходу програми, котрий через пристрій, що керує вхідними програмами, впливає на машину.

Оскільки сучасне міске середовище є ковергенцією людей, механізмів, машин та навколишнього середовища, було розглянуто характеристики життєдіяльності людини у системі «людина – машина – середовище існування».

3.2 Електробезпека на будівельному майданчику

Кваліфікаційна робота присвячена аналізу показників стійкості проєктів класу «Розумне місто». Впродовж усієї історії людства маста були осередками інновацій та технологій. Сучані інформаційно-технологічні концепти «Розумних міст» формуються шляхом вдосконалення та розширення існуючих міст та міських агломерацій. Це пов'язано з обширним переліком різнотипових будівельних робіт. Тому в параграфі «охорона праці» доцільно розглянути питання електробезпеки на будівельному майданчику.

Електрифіковані, пневматичні та інші інструменти, що видають робітникам, мають бути справними, відповідати вимогам, зазначеним в інструкції чи паспорті заводу-виготовлювача, і застосовуватися відповідно до виконуваної роботи. Забороняється працювати механізованими інструментами з приставних, розсувних і навісних драбин. До роботи на електрифікованих і пневматичних інструментах допускають осіб, які досягли 18 років, пройшли медичний огляд, вивчили правила користування інструментами, техніки безпеки та штучного дихання [66].

Не рідше ніж один раз на квартал ізоляцію струмопровідних частин електрифікованих інструментів треба перевіряти мегометром і наслідки записувати в спеціальний журнал. Забороняється користуватися електрифікованим інструментом під час дощу і снігопаду, якщо над робочим місцем немає покрівлі. Працювати цим інструментом слід у спецодязі (комбінезон і головний убір). Потрібно також користуватись діелектричними гумовими рукавицями, килимками і захисними окулярами. Під час роботи в обмежених умовах, лежачи чи на колінах, слід надівати налокітники, наколінники та діелектричні шоломи. В усіх випадках не можна працювати в рукавицях з тканини. Потрібно запобігати пошкодженню струмопровідного проводу робочим інструментом.

Електропроводку в приміщеннях, які фарбують водними розчинами, на час оздоблювальних робіт вимикають. Тимчасова переносна електропроводка

для зовнішніх і внутрішніх робіт на відкритому повітрі і в особливо небезпечних приміщеннях повинна мати напругу не вище 12В, а у приміщеннях з підвищеною безпекою ураження електричним струмом – не вище 36 В.

У процесі організації будівельного майданчика, розміщення дільниць, робочих місць, проїздів будівельних машин і транспортних засобів, проходів для людей визначають небезпечні для людей зони, у межах яких постійно діють чи можуть потенційно діяти небезпечні виробничі фактори, тобто дільниці, на яких людям перебувати небезпечно. Небезпечні зони помічають знаками безпеки, відповідними написами, встановленої форми; вони бувають постійними і тимчасовими [67]. До зон постійно діючих небезпечних виробничих факторів належать:

- поблизу неізольованих струмопровідних частин електроустановок;
- поблизу необгороджених перепадів заввишки 1,3 м і більше;
- у місцях переміщення машин і обладнання або їхніх частин і робочих органів;
- у місцях, де є шкідливі речовини, що перевищують граничнодопустимі концентрації або діє шум, що перевищує гранично допустиму інтенсивність;
- у місцях, над якими переміщують вантажі вантажопідіймальними кранами.

До зон потенціально діючих небезпечних виробничих факторів належать:

- дільниці території поблизу споруджуваних будинків;
- поверхи, яруси та частини будівель, над якими проходить монтаж (демонтаж) конструкцій чи обладнання.

Тимчасовими вважають небезпечні зони, що виникають під час проведення робіт протягом однієї робочої зміни (вибухові роботи, монтаж крана). Небезпечні зони і їхні межі визначають проектами організації будівництва і проектами виконання робіт, їх можна уточнювати безпосередньо на об'єктах у процесі будівництва.

Установлення меж небезпечних зон при різних видах і умовах робіт має велике значення, бо, як показує аналіз виробничого травматизму в будівництві,

майже 20% нещасних випадків трапляється з робітниками, які перебувають у небезпечних зонах. На умови роботи в цих зонах треба звернути особливу увагу інженерно-технічним працівникам будівельних організацій.

Якщо окремі робочі місця розміщені на висоті (монтажники, покрівельники, оздоблювальники), то небезпечною зоною вважається ділянка, розташована внизу під робочим майданчиком, межі якого визначають горизонтальною проекцією майданчика, збільшеною по своєму контуру на безпечну величину $0,3H$, де H — висота, на якій ведуть роботи.

Межі небезпечних зон, де бувають ураження електричним струмом, залежать від напруги в електроустановках [68]. При земляних роботах небезпечною вважається зона в межах призми обвалення ґрунту плюс 1 м.

Під час підривних робіт найбільший радіус небезпечної зони визначають дією повітряної хвилі. Межі небезпечних зон поблизу частин і робочих органів машин, що рухаються, становлять до 5 м, якщо інших підвищених вимог немає в паспорті чи інструкції заводу-виготовлювача. Усі входи в будівлю мають бути захищені зверху щільним навісом завширшки не менше ширини входу з відстанню не ближче ніж 2 м від стіни будівлі. Захисні огорожі розраховують на міцність, вони повинні мати висоту не менш як 1,1 м, а відстань між горизонтальними елементами – не більш як 0,45 м.

3.3 Висновок до третього розділу

В третьому розділі кваліфікаційної роботи подано характеристику життєдіяльності людини у системі «людина – машина – середовище існування». Окремо розглянуто питання електробезпеки на будівельному майданчику.

ВИСНОВКИ

В першому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Бакалавр»:

- Проаналізовано актуальність здійснення аналізу та дослідження.
- Розкрито зміст сучасного наукового та інформаційно-технологічного концепту «Розумне місто».
- Подано формулювання терміну «Міська стійкість».
- Розлого розкрито пов'язаність сутностей «Розумне місто» та міська стійкість.
- Здійснено вибір підходів до оцінювання стійкості «Розумних міст».
- Подано методологічні та концептуальні основи процесів оцінювання стійкості «Розумних міст».

В другому розділі кваліфікаційної роботи:

- Сформовано систему та здійснено вибір рівнів оцінювання показників стійкості проєктів класу «Розумне місто».
- Проаналізовано змінні та показники оцінювання стійкості проєктів класу «Розумне місто».
- Описано процес експертної оцінки показників стійкості проєктів класу «Розумне місто».
- Проаналізовано масштабування змінних та показників стійкості проєктів класу «Розумне місто».
- Виконано зважування та агрегування змінних та показників стійкості проєктів класу «Розумне місто».
- Розглянуто особливості переоцінка «розумності» проєктів класу «Розумне місто».
- Проведено оцінку стійкості проєктів класу «Розумне місто».

У розділі «Безпека життєдіяльності, основи хорони праці» подано характеристику життєдіяльності людини у системі «людина – машина – середовище існування». Окремо розглянуто питання електробезпеки на будівельному майданчику.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

- 1 Duda, O., Palka, O., Pasichnyk, V., Matsiuk, O., Kunanets, N., & Tabachyshyn, D. (2020, September). Existing City Assessment Systems. In 2020 IEEE 15th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT) (Vol. 2, pp. 238-241). IEEE.
- 2 UNDESA (2020) World Social Report 2020: Inequality in a Rapidly Changing World. New York, UN: United Nations, Department of Economic and Social Affairs.
- 3 Deveci M, Pekaslan D and Canitez F (2020) The assessment of smart city projects using zSlice type-2 fuzzy sets based interval agreement method. Sustainable Cities and Society 53: 101889.
- 4 Duda O., Matsiuk O., Kunanets N., Pasichnyk V., Rzhеuskyi A., Bilak Y., Formation of Hypercubes Based on Data Obtained from Systems of IoT Devices of Urban Resource Networks, International Journal of Sensors, Wireless Communications and Control (2020) 10: 1. ISSN 2210-3287.
- 5 Council SC (2015) Dissecting ISO 37120: Why This New Smart City Standard Is Good News for Cities. Australia & New Zealand: The Smart Cities Council.
- 6 Duda, O., Pasichnyk, V., Kunanets, N., Antonii, R., Matsiuk, O. Multidimensional Representation of COVID-19 Data Using OLAP Information Technology. International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies, 2020, 2, pp. 277–280, 9321889.
- 7 Khatibi, Hamed, et al. "An integrated framework for assessment of smart city resilience." Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science 49.5 (2022): 1556-1577.
- 8 Duda, O., et al, Selection of Effective Methods of Big Data Analytical Processing in Information Systems of Smart Cities. CEUR Workshop Proceedings 2631, pp. 68-78. 2020.

- 9 Lim Y, Edelenbos J and Gianoli A (2019) Identifying the results of smart city development: findings from systematic literature review. *Cities* 95: 102397.
- 10 Duda, O., Kunanets, N., Martsenko, S., Matsiuk, O., Pasichnyk, V., Building secure Urban information systems based on IoT technologies. *CEUR Workshop Proceedings* 2623, pp. 317-328. 2020.
- 11 FG-SSC I. (2014) Smart sustainable cities: an analysis of definitions. ITU-T, Technical report.
- 12 Canitez F and Deveci M (2018) A Smart City Assessment Framework: The Case Of Istanbul's Smart City Project. *Economic Social Development: Book of Proceedings*, 369–380.
- 13 Torkayesh AE and Deveci M (2021) A multi-normalization multi-distance assessment (TRUST) approach for locating a battery swapping station for electric scooters. *Sustainable Cities and Society* 74: 103243.
- 14 Giffinger R and Pichler-Milanovic N (2007) *Smart Cities: Ranking of European Medium-Sized Cities*: Centre of Regional Science. Vienna. University of Technology.
- 15 Sharifi A (2020) A typology of smart city assessment tools and indicator sets. *Sustainable Cities and Society* 53: 101936.
- 16 Bakıcı T, Almirall E and Wareham J (2013) A smart city initiative: the case of Barcelona. *Journal of the Knowledge Economy* 4: 135–148.
- 17 Krishankumar R, Pamucar D, Deveci M, et al. (2021) Prioritization of zero-carbon measures for sustainable urban mobility using integrated double hierarchy decision framework and EDAS approach. *Science of The Total Environment* 797: 149068.
- 18 Holling CS (1973) Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics* 4: 1–23.
- 19 Meerow S, Newell JP and Stults M (2016) Defining urban resilience: a review. *Landscape and Urban Planning* 147: 38–49.

20 Lim HW, Zhang F, Fang D, et al. (2021) Corporate social responsibility on disaster resilience issues by international contractors. *Journal of Management in Engineering* 37: 04020089.

21 Spaans M and Waterhout B (2017) Building up resilience in cities worldwide - Rotterdam as participant in the 100 resilient cities programme. *Cities* 61: 109–116.

22 Ribeiro PJG and Gonçalves LAPJ (2019) Urban resilience: a conceptual framework. *Sustainable Cities and Society* 50: 101625.

23 Sweya LN, Wilkinson S, Mayunga J, et al. (2020a) Development of a tool to measure resilience against floods for water supply systems in Tanzania. *Journal of Management in Engineering* 36: 05020007.

24 Balaei B, Wilkinson S, Potangaroa R, et al. (2018) Developing a framework for measuring water supply resilience. *Natural Hazards Review* 19:04018013.

25 Odiase O, Wilkinson S and Neef A (2020) Disaster risk and the prospect of enhancing the resilience of the African community in Auckland. *Risk, Hazards & Crisis in Public Policy* 11: 188–203.

26 Dianat H, Wilkinson S, Williams P, et al. (2022) Choosing a holistic urban resilience assessment tool. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 71: 102789.

27 Bruneau M, Chang SE, Eguchi RT, et al. (2003) A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities. *Earthquake Spectra* 19: 733–752.

28 Dianat H, Wilkinson S, Williams P, et al. (2021) Planning the resilient city: investigations into using “causal loop diagram” in combination with “UNISDR scorecard” for making cities more resilient. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 65: 102561.

29 Khatibi H, Wilkinson S, Dianat H, et al. (2022) Indicators bank for smart and resilient cities: design of excellence. *Built Environment Project and Asset Management*, 12: 5–19.

30 Khatibi H, Wilkinson S, Baghersad M, et al. (2021) The resilient - smart city development: a literature review and novel frameworks exploration. *Built Environment Project and Asset Management* 11: 493–510.

31 Sharifi A (2019) A critical review of selected smart city assessment tools and indicator sets. *Journal of Cleaner Production* 233: 1269–1283.

32 Hosseini S, Barker K and Ramirez-Marquez JE (2016) A review of definitions and measures of system resilience. *Reliability Engineering & System Safety* 145: 47–61.

33 Hughes JF and Healy K (2014) *Measuring the Resilience of Transport Infrastructure*. Wellington, New Zealand: NZ Transport Agency.

34 Perry H (2013) *An Approach to Assessing the Resilience of the Water Service in England and Wales—Can We Answer the Question: Is the Service Resilient or Brittle?* Birmingham: University of Birmingham.

35 Cutter SL (2016) The landscape of disaster resilience indicators in the USA. *Natural Hazards* 80: 741–758.

36 Cohen B (2014) *The Smartest Cities in the World 2015: Methodology*. United States: Retrieved from Fast Company.

37 Vugrin ED, Warren DE, Ehlen MA, et al. (2010) A framework for assessing the resilience of infrastructure and economic systems. *Sustainable and Resilient Critical Infrastructure Systems*. Switzerland: Springer, 77–116.

38 Zhu S, Li D and Feng H (2019) Is smart city resilient? Evidence from China. *Sustainable Cities and Society* 50: 101636.

39 Zhu S, Li D, Feng H, et al. (2020) Smart city and resilient city: differences and connections. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining Knowledge Discovery* 10: e1388.

40 Briguglio L (2003) Methodological and practical considerations for constructing socio-economic indicators to evaluate disaster risk. In: *BID/IDEA Programa de Indicadores para la Gestión de Riesgos*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia. <http://idea.unalmzl.edu.co>.

41 Seo Wand Kang Y (2020) Performance indicators for the claim management of general contractors. *Journal of Management in Engineering* 36: 04020070.

42 Sweya LN, Wilkinson S, Kassenga G, et al. (2020b) Developing a tool to measure the organizational resilience of Tanzania's water supply systems. *Global Business and Organizational Excellence* 39: 6–19.

43 Oktari RS, Comfort LK, Syamsidik P, et al. (2020) Measuring coastal cities' resilience toward coastal hazards: instrument development and validation. *Progress in Disaster Science* 5: 100057.

44 Zhong S, Clark M, Hou X-Y, et al. (2015) Development of key indicators of hospital resilience: a modified Delphi study. *Journal of Health Services Research & Policy* 20: 74–82.

45 Godin B (2003) The emergence of S&T indicators: why did governments supplement statistics with indicators? *Research Policy* 32: 679–691.

46 Kitchin R, Lauriault TP and McArdle G (2015) Knowing and governing cities through urban indicators, city benchmarking and real-time dashboards. *Regional Studies, Regional Science* 2: 6–28.

47 Juwana I, Muttill N and Perera BJC (2012) Indicator-based water sustainability assessment - A review. *Science of The Total Environment* 438: 357–371.

48 Cutter BCG and Emrich CT (2010) Disaster resilience indicators for benchmarking baseline conditions. *Journal of Homeland Security Emergency Management* 7: 1–22.

49 Gan X, Fernandez IC, Guo J, et al. (2017) When to use what: methods for weighting and aggregating sustainability indicators. *Ecological Indicators* 81: 491–502.

50 Nardo M, Saisana M, Saltelli A, et al. (2005) Tools for composite indicators building. *J European Commission, Ispra* 15: 19–20.

51 OECD (2008) Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide. Paris: European Union, Joint Research Centre - European Commission.

52 Grabisch M, Marichal J-L, Mesiar R, et al. (2009) Aggregation Functions. Cambridge: Cambridge University Press.

53 Wilson MV and Wilson E (2017) Authentic performance in the instrumental analysis laboratory: building a visible spectrophotometer prototype. *Journal of Chemical Education* 94: 44–51.

54 Pillkahn U (2008) Using Trends and Scenarios as Tools for Strategy Development: Shaping the Future of Your Enterprise. Germany: John Wiley & Sons.

55 Hart R, Burns D, Ramaekers B, et al. (2020) R and Shiny for cost-effectiveness analyses: why and when? A hypothetical case study. *Pharmacoeconomics* 38: 765–776.

56 Stojanovic M, Mitkovic P and Mitkovic M (2014) The scenario method in urban planning. *Facta Universitatis Series: Architecture and Civil Engineering* 12: 81–95.

57 Helmbrecht J, Pastor J and Moya C (2017) Smart solution to improve water-energy nexus for water supply systems. *Procedia Engineering* 186: 101–109.

58 ARUP (2015) The Future Of Urban Water: Scenarios For Urban Water Utilities In 2040. Sydney: ARUP firm.

59 Baghersad M, Wilkinson S and Khatibi H (2021) Comprehensive indicator bank for resilience of water supply systems. *Advances in Civil Engineering* 2021: 2360759.

60 Esty DC, Levy MA, Srebotnjak T, et al. (2006) Pilot 2006 Environmental Performance Index. New Haven: Yale Center for Environmental Law Policy, 367.

61 Marchese D, Jin A, Fox-Lent C, et al. (2020) Resilience for smart water systems. *Journal of Water Resources Planning and Management* 146: 02519002.

62 Sweya LN, Wilkinson S, Kassenga G, et al. (2021) Development of a tool for measuring resilience of water supply systems in tanzania: technical dimension. *Journal of Water Resources Planning and Management* 147: 04020107.

63 Бедрій, Я. І. Безпека життєдіяльності [Текст] : навч. посіб. : рек. МОН України як навч. посібник для студ. ВНЗ / Я. І. Бедрій. – К. : Кондор, 2009. – 284, [2] с. : іл., табл. – Бібліогр.: с. 285.

64 Дейнека, Людмила Панасівна. "Безпека життєдіяльності та охорона праці." (2019).

65 Гринюк, Т. Ю. "Безпека людини як комплексний підхід до питань охорони праці, безпеки життєдіяльності, цивільного захисту та пожежної безпеки." (2013).

66 Березуцький, Вячеслав Володимирович. "Ризик орієнтований підхід в охороні праці." (2019).

67 Курепін, Вячеслав Миколайович, and Валерій Миколайович Курепін. "Актуальні питання охорони праці в енергетичній галузі України." (2019).

68 Левченко, Олег Григорович, et al. "Охорона праці та цивільний захист." Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського (2019).