

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

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Методи та засоби інформаційно-технологічного супроводу процесів  
теплопостачання "розумних міст"

Виконав: студент VI курсу, групи СНнм-61  
спеціальності 122 Комп'ютерні науки  
(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Дерев'янку В.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Дуда О.М.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Никитюк В.В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Боднарчук І.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Тиш. Є.В.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль  
2024

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.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

« 28 » травня 2024 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня Магістр  
(назва освітнього ступеня)

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

Студенту Дерев'янку Володимиру Сергійовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Методи та засоби інформаційно-технологічного супроводу процесів теплопостачання "розумних міст"

Керівник роботи Дуда Олексій Михайлович к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 24 » листопада 2023 року № 4/7-1100

2. Термін подання студентом завершеної роботи 27 травня 2024р.

3. Вихідні дані до роботи Наукові публікації про енергетичні системи «розумних міст» для зменшення викидів парникових газів, розвиток системи теплопостачання, інформаційні та комунікаційні технології, інформаційно-технологічні проекти «розумних» систем централізованого теплопостачання.

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

Вступ. 1 Системи теплопостачання «розумних міст», стан та перспективи. 2 Мережевий аналіз компонентів «розумних» систем теплопостачання. 3 Взаємозв'язок енергетичних моделей в системах теплопостачання. 4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки.

Додатки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)  
1 Титульна сторінка. 2 Анотація. 3 Актуальність. 4 Задачі. 5. Етапи розвитку систем.

6. Робота систем теплопостачання. 7 «Розумне» теплоенергетичне доповнення

8. Компоненти «розумних» систем теплопостачання. 9. Самоорганізовані системи теплопостачання. 10. Взаємодія та функціонування теплових спільнот. 11 Координація систем теплопостачання. 12. Формування зв'язків складних теплових мереж. 13. Теплові самоорганізовані мережі. 14.Висновки. 15. Завершальний слайд

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Сенчишин В.С., доцент	03.05.2024	07.05.2024
Безпека в надзвичайних ситуаціях	Клепчик В.М., ст. викладач	08.05.2024	10.05.2024

7. Дата видачі завдання 24 листопада 2023 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Ознайомлення з завданням до кваліфікаційної роботи	04.12.2023	
2.	Підбір наукових джерел про методи та засоби інформаційно-технологічного супроводу процесів теплопостачання «розумних міст»	15.12.2023-31.11.2023	
3.	Опрацювання наукових публікацій та збір даних про методи та засоби інформаційно-технологічного супроводу процесів теплопостачання «розумних міст»	15.01.2024-25.02.2024	
4.	Виконання дослідження методів та засобів інформаційно-технологічного супроводу процесів теплопостачання «розумних міст»	26.02.2024-07.04.2024	
5.	Оформлення розділу «Системи теплопостачання «розумних міст», стан та перспективи дослідження»	15.04.2024-18.04.2024	
6.	Оформлення розділу «Мережевий аналіз компонентів «розумних» систем теплопостачання»	19.04.2024-25.04.2024	
7.	Оформлення розділу «Взаємозв'язок енергетичних моделей в системах теплопостачання»	26.04.2024-02.05.2024	
8.	Виконання завдання до підрозділу «Охорона праці»	03.05.2024-07.05.2024	
9.	Виконання завдання до підрозділу «Безпека в надзвичайних ситуаціях»	08.05.2024-10.05.2024	
10.	Оформлення кваліфікаційної роботи	11.05.2024-14.05.2024	
11.	Нормоконтроль	15.05.2024-16.05.2024	
12.	Перевірка на плагіат	17.05.2024	
13.	Попередній захист кваліфікаційної роботи	21.05.2024	
14.	Захист кваліфікаційної роботи	29.05.2024	

Студент

(підпис)

Дерев'яно В.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Дуда О.М.

(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Методи та засоби інформаційно-технологічного супроводу процесів теплопостачання "розумних міст" // Кваліфікаційна робота освітнього рівня «Магістр» // Дерев'янюк Володимир Сергійович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедра комп'ютерних наук, група СНм-61 // Тернопіль, 2024 // С. 83, рис. – 10, табл. – 1, кресл. – 15, додат. – 1, бібліогр. – 153.

**Ключові слова:** розумні міста, розумні соціополіси, тепла енергія, системи теплопостачання, енергетична самоорганізація, розумні енергетичні мережі, самоорганізовані мережі в системах теплопостачання.

Кваліфікаційна робота присвячена аналізу інформаційно-технологічного супроводу систем теплопостачання «розумних міст». В першому розділі кваліфікаційної роботи описані стан та перспективи дослідження систем теплопостачання «розумних міст». Висвітлено компоненти систем теплопостачання «розумних соціополісів». Розглянуто характеристики систем теплопостачання «розумних соціополісів». Проаналізовано дослідження в галузі «розумних» систем теплопостачання. В другому розділі кваліфікаційної роботи описано мережевий аналіз «розумних» систем теплопостачання. Досліджено «розумні» енергетичні системи та соціальні центричні «розумні» мережі. Подано інформаційні мережі «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів».

В третьому розділі кваліфікаційної роботи описано взаємозв'язок енергетичних моделей в системах теплопостачання. Проаналізовано топологічний опис та показники енергетичних спільнот. Описано взаємодію та функціонування теплових енергетичних спільнот. Об'єкт дослідження: інформаційно-технологічний супровід процесів теплопостачання «розумних міст». Предмет дослідження: методи та засоби інформаційно-технологічного супроводу процесів теплопостачання з урахуванням принципів екологічності.

## ANNOTATION

Methods and means of information and technological support of processes of heat supply in "Smart cities" // The educational level "Master" qualification work // Derevianko Volodymyr Serhiyovych // Ternopil Ivan Pulyuy National Technical University, Faculty of Computer Information Systems and Software Engineering, Department of Computer Science, SNnm-61 group // Ternopil, 2024 // P. 83, fig. - 10, tables - 1, posters - 15, annexes - 1, ref. - 153.

**Key words:** smart cities, smart social cities, thermal energy, heat supply systems, energy self-organization, smart energy networks, self-organized networks in heat supply systems..

This thesis is devoted to the development of an information technology support of heat supply systems of "smart cities". The first section of the qualification work describes the state and prospects of research into heat supply systems of "smart cities". The components of heat supply systems of "smart social cities" are highlighted. The characteristics of heat supply systems of "smart social cities" are considered. Research in the field of "smart" heat supply systems is analyzed. The second section of the qualification work describes the network analysis of "smart" heat supply systems. "Smart" energy systems and social centric "smart" networks have been studied. Information networks of "smart communities", "smart cities" and "smart social cities" are presented.

In the third section of the qualification work, the interrelationship of energy models in heat supply systems is described. The topological description and indicators of energy communities were analyzed. Interaction and functioning of thermal energy communities was carried out. The object of the study: information and technological support of the heat supply processes of "smart cities". The subject of research: methods and means of information and technological support of heat supply processes taking into account the principles of environmental friendliness.

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

IoT (англ. Internet of Things) – концепція мережі, що складається із взаємозв'язаних фізичних пристроїв, які мають вбудовані датчики.

Prosumer – система, в якій енергію виробляють її одержувачі, які називаються просьюмерами.

Energy Cell – це сукупність методів, що використовуються для зберігання енергії в межах електричної мережі.

Web of Cells – мережа, в якій оператори розглядаються як контрольне ядро системи.

We-Energy – світове використання енергії в визначений період часу.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	8
1 СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ «РОЗУМНИХ МІСТ», СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	10
1.1 Дослідження та мета .....	10
1.2 Промисловий розвиток системи теплопостачання «розумних міст»	12
1.3 Компоненти систем теплопостачання «розумних соціополісів» .....	14
1.4 Характеристика систем теплопостачання «розумних соціополісів» .	15
1.5 Сучасні дослідження в галузі «розумних» систем теплопостачання	23
1.6 Висновок до першого розділу .....	27
2 МЕРЕЖЕВИЙ АНАЛІЗ КОМПОНЕНТІВ «РОЗУМНИХ» СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ .....	28
2.1 «Розумні» енергетичні мережі .....	28
2.2 Інформаційні мережі «розумних громад», «розумних міст» та «розумних регіонів» .....	32
2.3 Соціально центричні «розумні» мережі.....	33
2.4 Формування зв'язків складних теплових мереж різних типів .....	36
2.5 Теплові та енергетичні мережі «розумних міст» .....	37
2.6 Самоорганізовані мережі в системах теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних регіонів» .....	38
2.7 Висновок до другого розділу .....	45
3 ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК ЕНЕРГЕТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ .....	46
3.1 Топологічний опис та показники теплоенергетичних спільнот .....	46
3.2 Взаємодія та функціонування теплових енергетичних спільнот .....	54
3.3 Висновок до третього розділу .....	59
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....	60
4.1 Синдром професійного вигорання в ІТ .....	60
4.2 Організація оповіщення і зв'язку у надзвичайних ситуаціях техногенного та природного характеру.....	62

4.3 Висновок до четвертого розділу .....	64
ВИСНОВКИ.....	65
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ.....	67
ДОДАТКИ	



## ВСТУП

**Актуальність теми.** Дослідження «розумних» систем теплопостачання є актуальним і важливим питанням. У період розвитку новітніх технологій відкриваються нові можливості для систем теплопостачання «розумних міст». Теплова енергія є актуальною задачею для великої кількості людей та ринків, спільною складовою таких задач є зменшення викидів парникових газів, регулювання цін на ринку теплової енергії та розвиток систем теплопостачання «розумних міст».

**Мета і задачі дослідження.** Метою даної кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Магістр» є підвищення ступеня повноти подання інформації про системи теплопостачання «розумних міст». Для досягнення поставленої мети потрібно виконати ряд завдань, зокрема:

- Проаналізувати стан досліджень в області систем теплової енергії.
- Дослідити існуючі на даний час методи взаємозв'язків енергетичних моделей в системах теплопостачання.
- Проаналізувати методів мережевого аналізу компонентів «розумних» систем теплопостачання.
- Дослідити взаємодію та функціонування теплових енергетичних спільнот.

**Об'єкт дослідження** інформаційно-технологічний супровід процесів теплопостачання «розумних міст».

**Предмет дослідження.** Методи та засоби інформаційно-технологічного супроводу та оптимізації процесів теплопостачання у "розумних містах" з урахуванням принципів енергоефективності та екологічності.

**Наукова новизна одержаних результатів** кваліфікаційної роботи полягає в проведеному аналізі взаємозв'язків енергетичних моделей в системах теплопостачання.

**Практичне значення одержаних результатів.** Сформовано топологічний опис та перелік показників «розумних» теплоенергетичних спільнот.

**Апробація результатів магістерської роботи.** Основні результати проведених досліджень обговорювались на VII науково-технічній конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Іван Пулюй: життя в ім'я науки та України. Матеріали міжнародної наукової конференції, збірник тез доповідей. VI Міжнародній студентській науково – технічній конференції / Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя. XI науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. International scientific-practical conference “Science, education and technology: current issues of theory and practice”. II Міжнародній науковій конференції, м. Ужгород, V Міжнародно науково-практичній конференції RICERCHE SCIENTIFICHE E METODI DELLA LORO REALIZZAZIONE: ESPERIENZA MONDIALE E REALTÀ DOMESTICHE. Міжнародної мультидисциплінарної наукової інтернет-конференції (м. Тернопіль, Україна, м. Ополе, Польща, 23-24 квітня 2024 р.)

**Публікації.** Основні результати кваліфікаційної роботи опубліковано у восьми працях конференції (Див. додаток А).

**Структура й обсяг кваліфікаційної роботи.** Кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури з 153 найменувань та 1 додатка. Загальний обсяг кваліфікаційної роботи складає 83 сторінки, з них 55 сторінки основного тексту, який містить 10 рисунків та 1 таблицю.

# 1 СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ «РОЗУМНИХ МІСТ», СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ДОСЛІДЖЕННЯ

## 1.1 Дослідження та мета

Енергія – це важлива складова міського, національного та глобального розвитку. Енергетичні потреби супроводжуються зростанням вимог до якості навколишнього середовища та сталого розвитку. Наприклад, економічне зростання призведе до різкого збільшення споживання енергії, що призводить до зростання загальносвітової температури внаслідок CO<sub>2</sub> та парникових газів [1]. Крім того, постійне зростання загальної урбанізації та збільшення кількості населення спричиняє серйозніші проблеми для споживання енергії та управління навколишнім середовищем міст [2]. Прогнозується, що до 2025 року міське населення перевищить 8.1 мільярда [3]. Попит на послуги міського транспорту та споживання енергії зазнає безпрецедентних змін, а викиди вуглецю від транспортних систем стануть ключовим фактором, що впливає на міське середовище [4]. Споживання енергії в міському середовищі та викиди вуглецю впливатимуть на вибір транспортних засобів та режимів їх експлуатації. Тому обґрунтовані рекомендації та розумне регулювання – це ефективні способи зменшення викидів вуглецю в міське середовище [5]. За даними Міжнародного енергетичного агентства, транспорт спричинятиме майже третину викидів вуглецю та до 2030 року перевищить 50% глобального споживання енергії [6].

Міста спричиняють понад 70% світових викидів CO<sub>2</sub> та понад дві третини глобального споживання енергії [7]. Зіткнувшись з проблемами глобальної енергетики, клімату та навколишнього середовища, країни всього світу досягли консенсусу спільних зусиль для їх вирішення. При підписанні першого глобального договору про клімат у 2015 році [8], Європейський Союз, США та Китай взяли зобов'язання послідовно скоротити викиди парникових газів та встановити відповідні власні цілі на наступні десятиліття [9]. Енергетичні системи «розумних міст» відіграють важливу роль у зменшенні споживання енергії, викидів CO<sub>2</sub> та покращенні якості навколишнього середовища [10].

Надійне, ефективне та постачання енергії з низькими викидами вуглецю є однією з ключових вимог «розумних міст» наступного покоління [11]. Концепт «розумного міста» що використовує системи теплопостачання [12], засновані на передових інформаційних технологіях, розширює можливості традиційних енергетичних систем [13]. Щоб досягти більшої гнучкості та масштабної інтеграції відновлюваних джерел енергії, «розумні» системи теплопостачання керують декількома енергетичними секторами, зокрема теплопостачання, кондиціонування, використання газу та електроенергії, твердопаливні системи обігріву, тощо. «Розумне» виробництво енергії, її перетворення, передавання, зберігання та використання з використанням інноваційних інформаційних технологій значно підвищує ефективність, продукування та використання енергії, знижуючи загальноміські витрати. Інноваційна модель міського розвитку «розумне місто» є можливим вирішенням обширного переліку для проблем швидкої урбанізації [14]. «Розумні» системи поєднують в собі характеристики

- стійкості;
- захисту;
- низьких викидів вуглецю;
- ефективної переробки [15];
- мобільності [16].

Системи теплопостачання «розумного міста» відповідають тенденціям розумних, чистих, електрифікованих та мережевих міських енергетичних систем і є новим ефективним рішенням для збагачення сталого розвитку «розумних міст» [17]. Системи теплопостачання «розумних міст» інтегруються в системи теплопостачання «розумних соціополісів» та глобальні енергетичні системи. Нові «розумні» міські системи теплопостачання, базуються на кіберфізичних системах та IoT пристроях та об'єднують різні енергетичні мережі, зокрема мережі теплопостачання та кондиціонування, електро та газові мережі [18]. Системи теплопостачання «розумних соціополісів» об'єднує обширну множину фізичних інфраструктурних пристроїв:

- продукування енергії [19];
- перетворення енергії [20];

- передачі енергії [21];
- акумулювання та зберігання енергії [22];
- споживання енергії [23];
- управління процесами в енергетичних мережах [24].

Практичні демонстраційні проекти систем теплопостачання «розумних соціополісів» проводяться по всьому світу, зокрема:

- Hylink (долина Тотара, Нова Зеландія) [25].
- Chilo's Chilo Islands (Ісландія) [26].
- Національна енергетична мережа області Сьонга (Китай) [27].

Системи теплопостачання «розумних соціополісів» походять від розвитку міських енергетичних та промислових систем, які доповнюють один одного та розвиваються паралельно [28]. Тому доцільно дослідити процес розвитку систем теплопостачання «розумних міст», їх особливості та основні характеристики.

## **1.2 Промисловий розвиток системи теплопостачання «розумних міст»**

На рисунку 1.1 показано ключові етапи розвитку систем теплопостачання. Промислова автоматизація та підвищення показників «розумності» невіддільна від процесів продукування та використання тепла.

Завдяки постійному поширенню та вдосконаленню промислової цифровізації традиційні підходи до отримання тепла були повністю замінені «розумними» системами теплопостачання. Це відбувається завдяки глибокій інтеграції енергетичних та інформаційних мереж за допомогою [29]:

- використання IoT пристроїв та датчиків;
- взаємодії інформаційних мереж [30];
- аналітичного опрацювання даних [31];
- системній координації процесів прийняття рішень [32];
- оптимізації процедур контролю що розподілені в часі та просторі.

Глибинна інтеграція «розумних» систем теплопостачання [33] змінила традиційні способи постачання теплової енергії, прискорила процеси

впровадження джерел відновлюваної енергії та покращила продуктивність фізичних систем тепlopостачання.



Рисунок 1.1 – Етапи розвитку систем тепlopостачання

Загалом це підвищило ефективність процесів використання теплової енергії в міському середовищі. Системи тепlopостачання «розумних соціополісів» – це складні фізичні середовища, початковий етап розвитку яких забезпечить технологічні підґрунтя для нового етапу розвитку промисловості [34].



Рисунок 1.2 – Потреби процесів індустріалізації систем теплопостачання.

Керуючись промисловими підходами, системи теплопостачання «розумних соціополісів» поступово охоплюють широке коло підсистем та набувають характеристик:

- взаємозв'язку;
- з'єднання;
- енергетичної взаємодоповненості;
- координованого контролю;
- відкритості та обміну даними.

### 1.3 Компоненти систем теплопостачання «розумних соціополісів»

Для задоволення зростаючих енергетичних потреб міського населення та реалізації безпечніших, надійніших, чистіших та стійкіших процесів використання енергії, інноваційні системи теплопостачання «розумних соціополісів» формуватимуть поглиблені взаємозв'язки між підрядними

системами. Переважна більшість міських енергетичних «розумних» підсистем буде залучатись до формування таких зв'язків [35], зокрема це:

- «розумна» енергетична система;
- «розумні» твердопаливні системи опалення;
- «розумне» охолодження та кондиціювання;
- «розумне» теплопостачання;
- інші «розумні» підсистеми.

На даний момент часу підсистеми теплопостачання «розумних соціополісів» охоплюють широкий спектр різнотипових сценаріїв використання та застосунків, заснованих на міській інфраструктурі та масштабних процесах споживання енергії, а саме:

- «розумні» промислові парки [36];
- «розумні» офісні будівлі [37];
- «розумні» спільноти та громади [38];
- «розумні» резиденційні будівлі [39];
- «розумні» громадські будівлі та локації [40];
- «розумні» паркові та прибережні території міст [41].

Окремі вагомі результати були досягнуті при дослідженні процесів створення множинних систем теплопостачання різних типів [42].

#### **1.4 Характеристика систем теплопостачання «розумних соціополісів»**

Порівняно з традиційними міськими енергетичними системами, системи теплопостачання «розумних соціополісів» мають складніші характеристики (див рисунок 1.3) [43]:

- інтеграції та взаємозв'язку;
- енергетичної взаємодії;
- розподілу та координації процесів [44];
- відкритості та обміну даними.



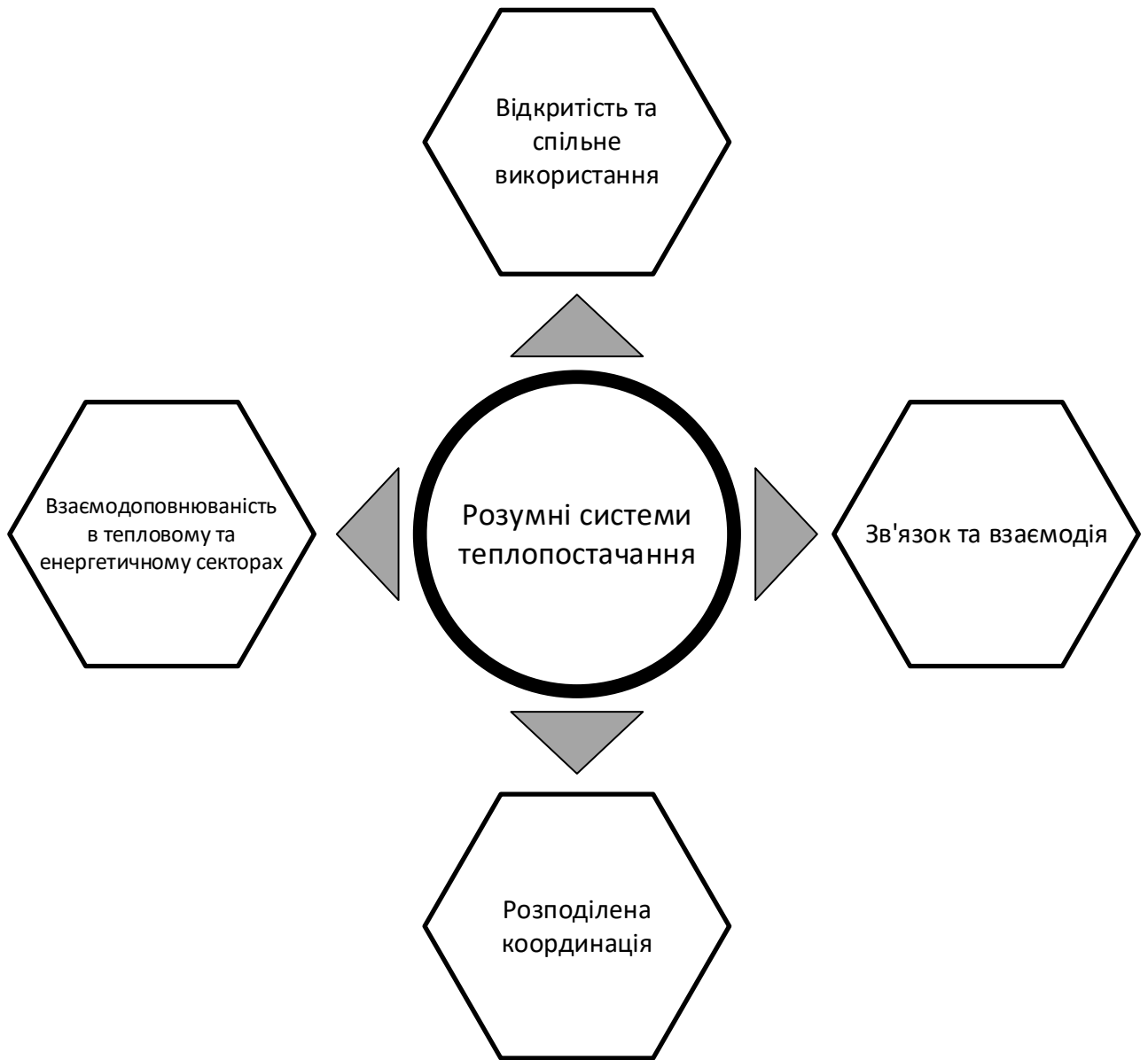


Рисунок 1.3 – Розумні системи тепlopостачання

Інноваційні системи тепlopостачання «розумних міст» інтегруються з джерелами з відновлюваної енергії та базуються на міських інформаційно-технологічних платформах для:

- підвищення ефективності продукування теплової енергії [45];
- передачі тепла [46];
- зберігання теплової енергії [47];
- високоефективного споживання теплової енергії користувачем [48].

Інформаційно-технологічні платформи інтегрують фізичні системи та інформаційні технології для взаємодії інформаційних енергетичних та теплових, мереж (див. рисунок 1.4), а саме:

- охолодження;
- послуги з управління енергією [49];
- теплопостачання;
- твердопаливних систем [50];
- користувачі [51];
- комунікаційні мережі;
- електроенергії.

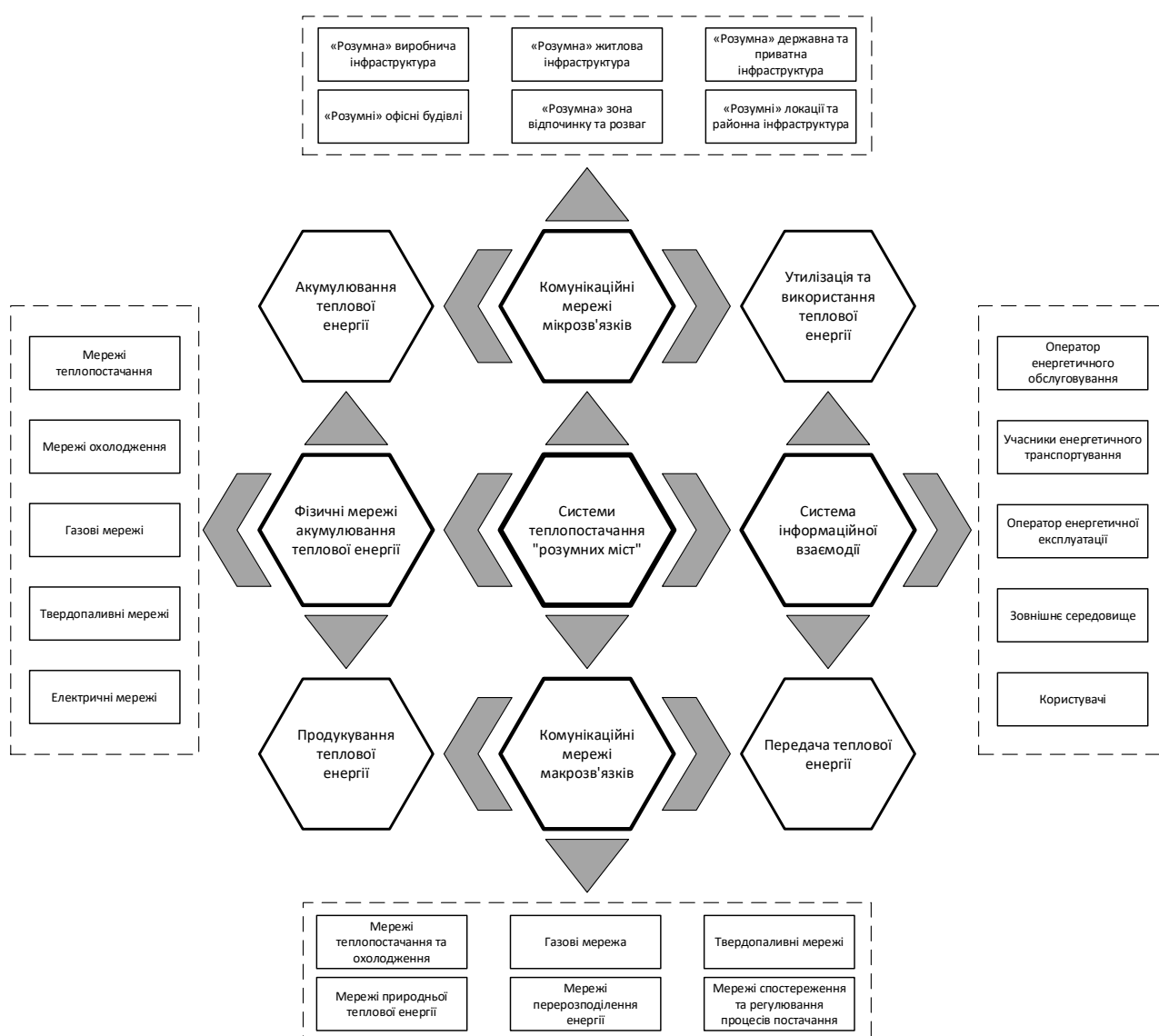


Рисунок 1.4 – Функціонування систем теплопостачання «розумних міст»

З метою інтеграції фізичної інфраструктури, інформаційних та комунікаційних технологій мереж, макро-взаємозв'язки охоплюють взаємодію, з'єднання та інтеграцію [52]:

- «розумних» систем міського кондиціонування та охолодження;
- «розумних» енергетичних мереж;
- «розумних» систем теплопостачання,
- «розумних» твердопаливних систем;
- «розумних» газових систем.

З іншого боку, макрозв'язки формуються на стику фізичних міських систем та комунікаційних мережах.

Мікрозв'язок в основному охоплює відношення між інфраструктурними підрозділами енергетичного продукування «розумних» міст:

- «розумними» фабриками;
- «розумними» фермами;
- «розумними» офісними будівлями;
- «розумними» житловими будівлями;
- «розумними» школами;
- «розумними» лікарнями.

Макрозв'язки та мікрозв'язки «розумних» систем теплопостачання стикаються з низкою питань:

- різнотипові навантаження;
- великі часові відмінності процесів;
- складний просторовий розподіл елементів;
- складна енергетична взаємодія;
- швидкоплинність та неоднорідність даних.

Системи теплопостачання «розумних соціополісів» демонструють наявність сильних зв'язків у всіх напрямках, тобто високе об'єднання:

- індексів енергетичних моделей;
- критеріїв та параметрів оптимізації;
- стратегій управління;
- процедур планування потоків теплової енергії.

Системи теплопостачання «розумних громад» вимагають підключення та інтегровану роботу різнотипових енергетичних джерел та теплових ресурсів. Це супроводжується нелінійністю та випадковістю процесів продукування

відновлюваної енергії, та потребує покращення гнучкості процедур використання теплової енергії, формування гнучких розкладів та планування енергетичних потоків (див. рисунку 1.5). На рисунку 1.5 показано єдність виробництва споживання та гнучкого балансування теплового навантаження. Порівнюючи з традиційними міськими енергетичними системами, кожна одиниця виробництва, перетворення, передачі, зберігання та утилізації в системах теплопостачання «розумних соціополісів» має свої унікальні характеристики [53], такі як:

- незалежність та автономність;
- взаємний вплив;
- паралельна експлуатація;
- двосторонність потоків теплової енергії.

Ці елементи повинні забезпечувати, координувати та контролювати досягнення безпечнішої, надійної та більш економічної енергоефективності «розумних» систем теплопостачання.

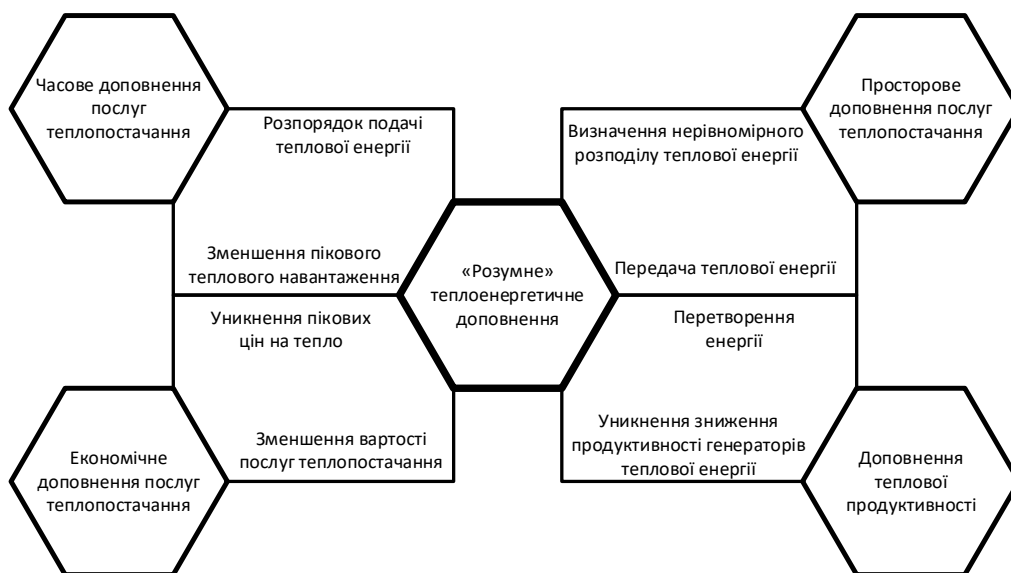


Рисунок 1.5 – Особливості функціонування «розумних» систем теплоенергетичного доповнення

Енергетична взаємодоповнюваність «розумних» міських систем теплопостачання виявляється в основному в аспектах комплементації процесів:

- простору для передачі енергії;

- часу планування витрат тепла;
- показників якості теплової енергії;
- процесів перетворення теплової енергії;
- економічних характеристик;
- пікових навантажень.

Зазначені аспекти актуальні для подолання проблем:

- нерівномірного розподілу теплоносіїв;
- нестабільності джерел відновлюваної енергії;
- низької якості централізованих систем постачання теплової енергії;
- високих споживчих витрат.

Інтеграція інформаційного середовища для передачі різних форм теплової енергії, зокрема в системах охолодження, теплопостачання, електро та газопостачання може забезпечити передавання тепла на великі відстані через лінії електропередач, газові мережі та нагрівальні трубопроводи, щоб компенсувати нерівномірний розподіл теплової енергії в «розумних містах» [54].

Комплементування часу та планування енерговитрат для відновлюваних джерел енергії допоможе згладити пікове навантаження за допомогою інтелектуального прогнозування та інтегрованої реакції на попит. Це дає змогу компенсувати випадковість, переривчастість та невизначеність теплового енергопостачання внаслідок розподіленого використання серед відновлюваної енергії [55].

Газові котли та електричне нагрівання теплоносіїв використовуються для забезпечення ефективної взаємодії «розумних» систем, перетворення теплової енергії між множинами енергетичних ресурсів та подолання малої продуктивності одного окремого енергетичного ресурсу [56]. Багатотарифні ціни на електроенергію, завдяки її нелінійному споживанню в «розумних» системах теплопостачання призводять до зниження витрати та підвищення економічного ефекту комплементу [57].

Координований контроль процесів у «розумних» системах теплопостачання в основному проявляється на етапах виробництва теплової енергії, її перетворення, передавання, зберігання та споживання в середовищі

«розумних соціополісів» [58]. «Розумні» міські системи використовуватимуть теплову енергію лінійно та автономно, співпрацювати та впливати одна на одну, працювати паралельно з тепловою енергією, що передається різними способами. Завдяки місцевій автономності, вона реагує та ініціює прийняття рішень загальної системи для досягнення оптимального розподілу потоків теплової енергії, синхронного контролю, діагностування відмов підсистем, та роботі каскадних систем тепlopостачання «розумних соціополісів» для досягнення високоефективних послуг постачання та управління тепловою енергією енергією [59].

«Розумна» міська координована стратегія контролю процесів тепlopостачання може реалізувати не тільки високоефективне використання теплової енергії, але й забезпечення впровадження оперативних заходів у разі відмови підсистем чи аварій. Стратегія також може допомогти системам тепlopостачання «розумних соціополісів» уникнути каскадних збоїв та забезпечити безпечніші, надійніші, ефективніші та економічно доцільні умови тепlopостачання.

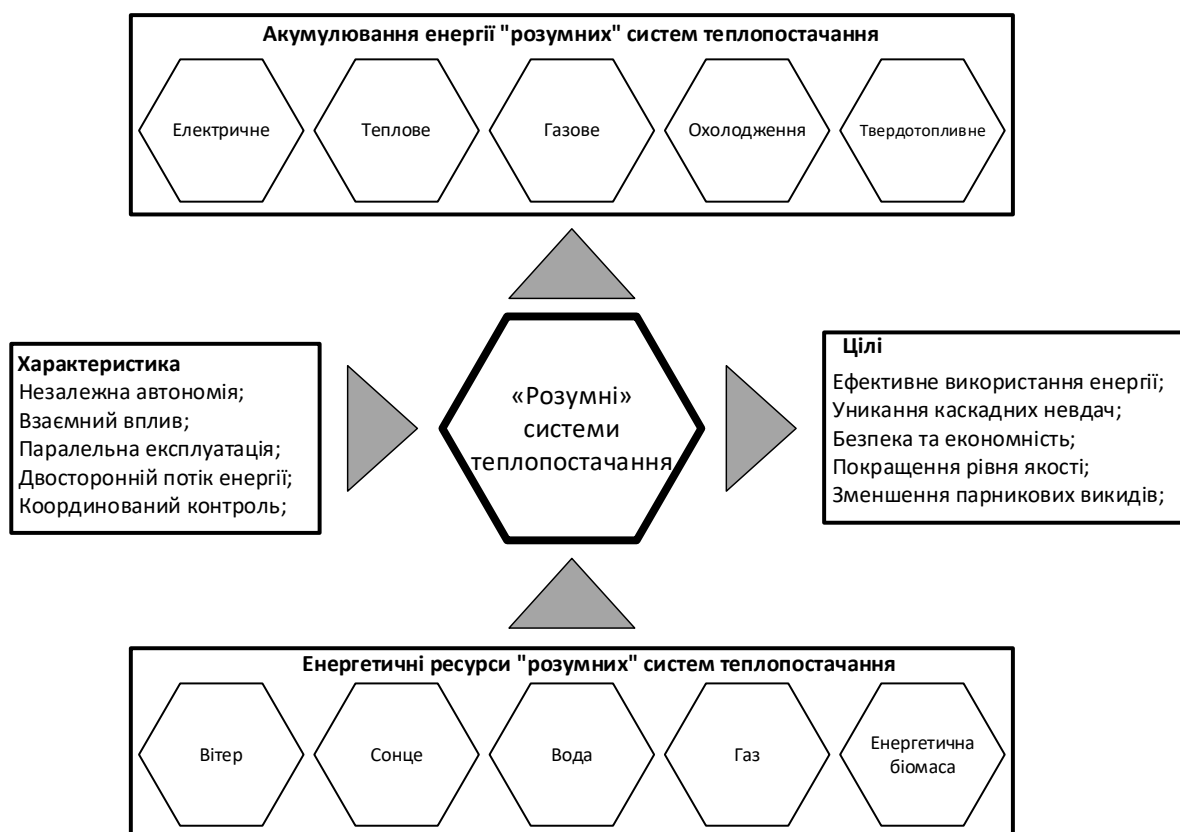


Рисунок 1.6 – Координація «розумних» систем тепlopостачання

Як показано на рисунку 1.6, інформаційна технологія великих за розміром даних в «розумних» системах теплопостачання відіграє важливу роль для підвищення ефективності процесів контролю, планування потоків теплової енергії, балансування між пропозицією та попитом.

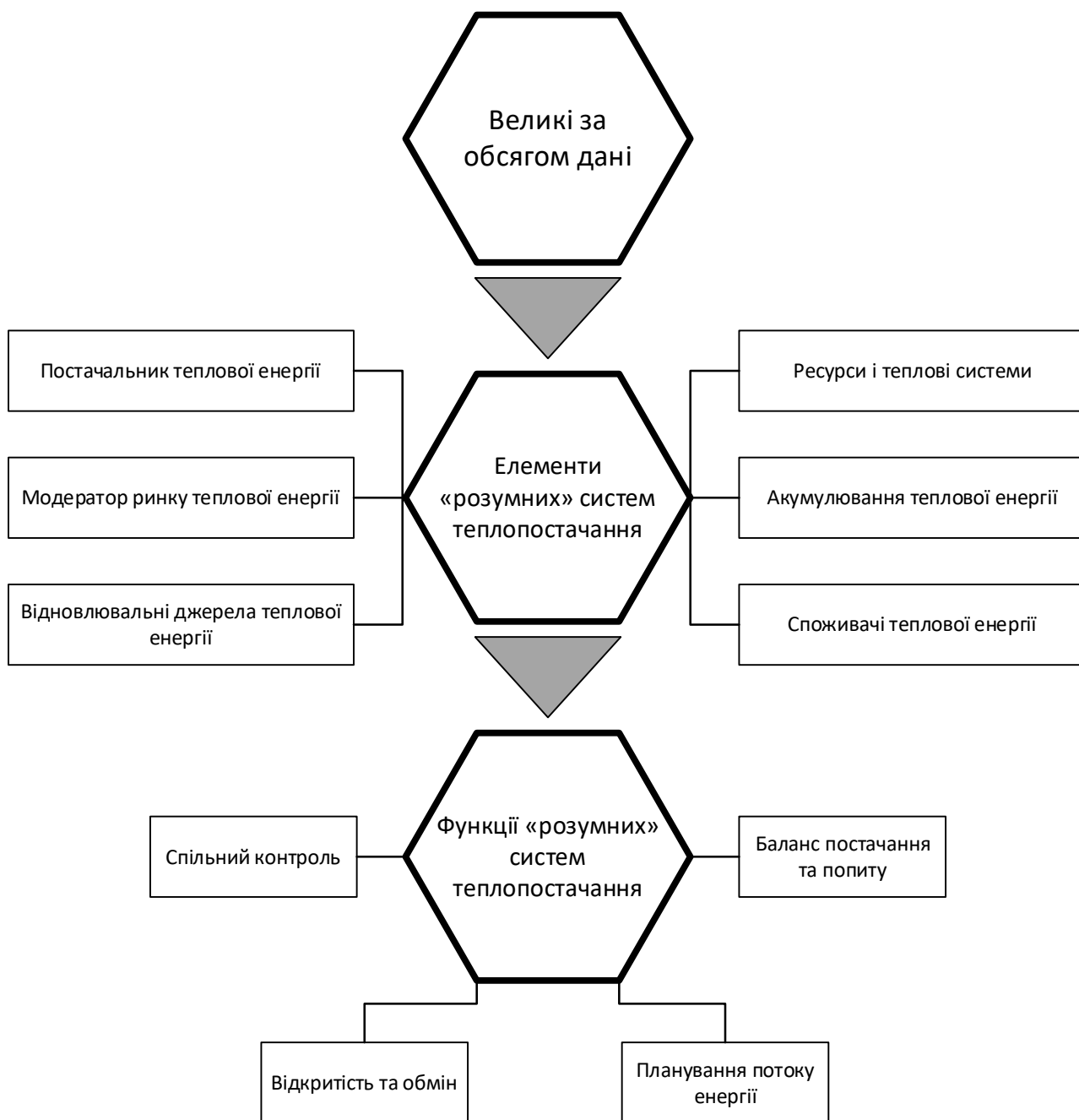


Рисунок 1.7 – Роль великих за обсягом даних в «розумних» системах теплопостачання

Інформаційні системи «розумного теплопостачання» постійно підтримують спільні мережі, які переважно використовуються для обміну щодо

процесів теплопостачання. Системи теплопостачання «розумних соціополісів» підтримують багаторангову, відкриту, вільну та розподілену мережу розподіленої відновлюваної теплової енергії, та множину різних одиниць акумулювання та зберігання теплової енергії, а також засоби гнучкого підключення та відключення від сітки [60]. Безпечний обмін інформацією елементів систем теплопостачання «розумних міст» повинен бути не лише для споживачів енергії, але й для теплових енергетичних генераторів та різнотипових енергетичних потоків [61]. На ринку систем теплопостачання «розумних соціополісів» повинні активно функціонувати:

- енергетичні оператори;
- споживачі енергії;
- постачальники послуг управління тепловою енергією;
- агенції міського та соціального нагляду.

Їм рекомендується приєднатися до інноваційних режимів торгівлі тепловою енергією за умови готовності слідувати власним інтересам максимально відкритих, справедливих та загальноприйнятих норм та правил [62]. Учасники систем теплопостачання «розумних соціополісів» рівні в своїх правах та обов'язках, а їх енергетичні та інформаційні ресурси повинні бути відкриті та загальнодоступні [63]. Водночас вони мають бути досить розподілені та забезпечувати можливість інформаційного обміну [64].

### **1.5 Сучасні дослідження в галузі «розумних» систем теплопостачання**

На даний час системи теплопостачання «розумних соціополісів» – це нова галузь, що перевершує традиційні системи енергопостачання. Вона все ще стикається з багатьма проблемами, які слід вирішити при формуванні взаємозв'язків та оперативної оптимізації між підсистемами в різних галузях. Тому на даний час існує значний потенціал для наукових досліджень [65]. Деякі нові теоретичні методи [66], складний мережевий аналіз [67] та теорія самоорганізації [68] можуть застосовуватися для формування складних енергетичних мереж у міській галузі. Вони також підходять для динамічної



топологічної структури та характеристик складного поєднання майбутніх «розумних» теплових мереж на основі мікро та макропоходів [69].

Теорія графів зародилась в 1736 році, коли швейцарський математик Ейлер опублікував рішення для задачі Конігсберга. Після сотень років розвитку теорії графів дослідники зробили багато захоплюючих досягнень та застосовують для вирішення багатьох питань у різних галузях наук [70]. Як важливу платформу в математиці та ефективний інструмент для опису топології роботи фізичних систем [71] теорія графів широко використовується в моделюванні системи теплопостачання «розумних міст»:

- модель на боці Інтернету речей;
- моделі засновані на можливостях обладнання [72];
- множинні потоки теплової енергії в стаціонарному стані [73];
- динамічні моделі машин та фізичного обладнання [74].

Зазвичай графік складається з колекції вузлів та ліній, які представляють відношення з'єднань між двома вузлами [70]. Вузли можуть бути точками з'єднання для декількох ліній. Графи можуть бути:

- спрямовані;
- неспрямовані;
- зважені.

Кожен граф може бути представлений матрицею випадків між вузлами та лініями [75]. З розвитком теорії графів, фокус досліджень перейшов від аналізу простих графів, що складаються з вузлів та ребер до складних мереж тисяч вузлів і ребер. Мережа малого світу Ватца [76] та мережа без масштабу Барабасі розпочали глобальний бум у дослідженні складних мереж.

Теорія графів – це основа складного мережевого аналізу, а складний мережевий аналіз, як передовий метод може ефективно аналізувати складні теплові системи, чітко візуалізуватиме взаємодію з з'єднанням між різними одиницями або підсистемами у складних міських «розумних» теплових системах [77]. Багато складних систем насправді можуть бути представлені складними мережами, зокрема:

- енергетичні мережі;

- транспортні мережі;
- соціальні мережі.

Пов'язані питання в цих системах можна пояснити та проаналізувати через складні мережі. Складний мережевий аналіз допомагає зрозуміти складність реального світу та забезпечує нову методологію та потужний інструмент для трансформації та управління «розумними» тепловими системами в регіональному світі.

Дослідження системи теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів» на основі складного мережевого аналізу надає можливість знайти відношення серед великої кількості вузлів та ребер, які динамічно розвивалися відповідно до взаємодії різнотипових теплових енергетичних потоків, інформаційних потоків та потоків стану систем теплопостачання на основі характеристик:

- хаотичної випадковості [78];
- волатильності [79];
- самодостатності [80];
- синергії [81];
- подібної поведінки [82];
- конкуренції та кооперування [83].

Енергетичні та інформаційні потоки, та значення їх нелінійних взаємодій гарантуватимуть упорядковане з'єднання та адаптивне управління різнорідними тепловими мережами, які повністю відповідають характеристикам самоорганізаційної системи «розумне місто» [84].

Теорія самоорганізації є важливим методом вивчення внутрішнього механізму адаптивної експлуатації системи теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів». Вона охоплює:

- теорію дисп'ятивної структури [85];
- теорію синергії [86];
- теорію катастроф [87];
- теорію гіперциклів [88].

Серед яких перші дві теорії – це основна ідея та теоретична основа теорії самоорганізації. Дисипативні структури базуються на процесах обміну речовиною та енергією з навколишнім середовищем. «Розумні» системи теплопостачання – це відкриті та спільні система з нелінійними механізмами взаємодії між підсистемами, які є дисипативними та не врівноваженими. Невизначений фактор – це фокус синергетичного дослідження механізму взаємодії між «розумними» системами теплопостачання, він є основою еволюції самоорганізації цих систем, та формує вимоги співпраці між ними.

Різні підсистеми «розумних» систем теплопостачання мають спільні етапи розвитку, впорядковані форми та структури. Упорядкована їхнього структура розвитку спричинена топологічною структурою міських «розумних» систем теплопостачання, яка адаптивно регулює та обмежує розвиток небажаних топологій з низького до високого рівня. Тому ядром «розумних» системи теплопостачання, заснованих на теорії самоорганізації, є вивчення її впорядкованої еволюційної структури.

Для того, щоб розкрити природу впорядкованої еволюційної структури «розумних» систем теплопостачання у спільному розвитку з точки зору складних мереж потрібно вирішити ряд ключових наукових завдань, заснованих на орієнтованій еволюційній структурі. При цьому потрібно проаналізувати останні результати досліджень в царині складного мережевого аналізу. Доцільно розглянути вітчизняний та світовий досвід формування одиночних та часткових теплових мереж та з'єднання через призму складного мережевого аналізу. Зокрема потрібно дослідити:

- енергетичні мережі;
- інформаційні мережі;
- мережі теплопостачання;
- мережі кондиціонування та охолодження.

## 1.6 Висновок до першого розділу

В першому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Магістр» розглянуто системи теплопостачання «розумних міст», стан та перспективи їх досліджень. В даний час усі дослідження використовують складний мережевий аналіз для вивчення різних галузей, пов'язаних з тепловою енергією з різних макроскопічних перспектив – глобальних, національних та муніципальних. Однак існуючі дослідження не розкривають комплексних мереж міської структури нижньої частини систем теплопостачання «розумних міст» та структури впорядкованої загальної макроскопічної системи, а також характер еволюції в процесі спільної еволюції для вирішення ключових задач на основі впорядкованої структури еволюції. Описано, як вивчити спільність еволюції з'єднання між підсистемами в різних галузях в межах систем теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів», щоб вирішити задачі поганої адаптованості існуючих методів дослідження в побудові моделі, контролю оптимізації, каскадних відмов та прийняття рішень щодо транзакції внаслідок прийняття збільшення системної шкали.

## 2 МЕРЕЖЕВИЙ АНАЛІЗ КОМПОНЕНТІВ «РОЗУМНИХ» СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

### 2.1 «Розумні» енергетичні мережі

Застосування складного мережевого аналізу в галузі «розумних» енергетичних мереж можна розділити на одиночні енергетичні мережі та енергетичні мережі з визначеною частиною підсистем. Одиночні енергетичні мережі використовується для передавання традиційної викопної енергії:

- вугілля;
- нафта;
- природний газ.

Або відновлювана енергія:

- енергія вітру;
- енергія припливів та відпливів;
- водяна енергія;
- сонячна енергія, тощо.

Застосування складного мережевого аналізу в галузі мереж викопних енергоносіїв здебільшого містить аналіз вугільних, нафтових та природних газових мереж.

У вугільних мережах, [89] використано складну мережеву модель для опису динамічної еволюції процесів міжнародної торгівлі вугіллям. А автори [90] обговорюють безперервну еволюцію часових рядів торгівлі вугіллям з точки зору складних мереж, виокремлюючи їхні кластерні характеристики. В [91] проаналізовано процеси еволюції використання земель для відкритого видобутку корисних копалин на основі складного мережевого аналізу. При цьому проаналізовано зміну ландшафту на основі індексу рівня ландшафту та індексу рівня типів шляхів.

Для нафтових мереж, сформовано складну мережеву модель процесів міжнародної торгівлі нафтою. Автори [92] використовують складний мережевий аналіз для опису складних мережевих відношень між штаб-квартирою

міжнародної нафтової групи та її дочірніми компаніями. У [93] використано складний мережевий аналіз для пошуку оптимальної структури пропозиції та попиту глобальної сирової нафти. При цьому пропоновано ефективні рішення для оптимізації транзакцій сирової нафти на світовому ринку. Автор [94] встановлює гібридну рамку оцінки, що охоплює складні мережеві показники та традиційні показники глобальної торгівлі нафтою. Дослідження охоплює оцінку безпеки нафтової галузі з 1965 по 2016 рік як на глобальному, так і на національному рівнях. Дослідник [95] оцінює та порівнює безпеку в галузі видобування та постачання сирової нафти з 1997 по 2012 рік на основі моделей міських мереж. При цьому надано суміжні пропозиції для різних міст. Ці дослідження корисні для покращення безпеки в галузі видобування сирової нафти, що включає зміцнення стратегічного резерву, диверсифікуючи джерел постачання, покращення внутрішнього виробництва сирової нафти тощо.

У мережах постачання природного газу, автор [96] аналізує моделювання постачання природного газу через фактичні системні показники для оптимізації відповідності між натуральною інфраструктурою газової мережі та рівняннями управління, забезпечуючи кращі інструменти аналізу природних газових мереж. В [97] розкрито співвідношення між міжнародним ринком торгівлі природним газом та внутрішніми «розумними» регіональними системами. А в [98] описано динамічний розподіл енергетичних потоків в міждержавній мережі природного газу США з макроскопічної точки зору. У [99] запропоновано модель топології мережі природних газових труб на основі теорії графів, де показники вразливості мережевої здатності передачі описуються з точки зору складної ефективності мережі та продуктивності на основі процесів, представляючи метод аналізу вразливості природної мережевої потужності газопроводу на основі потоків трубопроводу. Автор [100] вивчає північноамериканську натуральну ціну газу з 1997 по 2018 рік з рівнів мікро, мезо та макро-мереж, виявляючи фактори та основні причини коливання цін.

Застосування складного мережевого аналізу в мережі відновлюваної енергії в основному охоплює аналіз:

- виробництва вітрової енергії;

- динамічної еволюції використання сонячної енергії;
- промислової енергетики;
- гідроенергетичних мереж.

Потужність вітру тісно пов'язана з прогнозуванням його швидкості вітру, а в [101] здійснено прогнозування швидкості вітру на основі складного мережевого аналізу та рекурсивного графіку. При цьому використовується диференціальний аналіз даних часових рядів для показу запропонованих методів, які підходять для прогнозування швидкості вітру біля вітрогенератора в Греції. У [102] для кращого розуміння внутрішньої структури нестационарних та нелінійних сигналів швидкості вітру, виміряні дані про швидкість вітру від фактичних вітроелектростанцій відображаються у складну мережу для аналізу характеристик комплексу мережі, таких як середній найкоротший шлях, середній коефіцієнт кластеризації та комунальність. У [103] заснована на складному мережевому аналізі, каскадна модель кластерів вітроенергетики, підключеної до мережі зменшить ризики несправностей. У [104] щоб виявити динамічні характеристики вітрових сигналів, для відображення сигналів швидкості вітру з певними правилами часу до складної мережі застосовується динамічна характеристика сигналів вітрового простору. За допомогою аналізу динамічних та сезонних характеристик складних мереж отримано точний опис динамічних та сезонних правил швидкості вітру.

Продуктування сонячної енергії має динамічну еволюційну поведінку. На основі складного мережевого аналізу, Автор [105] описує динамічну еволюційну поведінку в індустрії сонячних панелей шляхом створення складної мережевої моделі взаємодії між багатьма підприємствами, які розробляють нову перспективу досліджень на ринку сонячної енергії. В побудовано модель прогнозування сонячного освітлення на основі складного мережевого аналізу. Модель класифікується відповідно до коливань сонячного освітлення та характеристики часових рядів сонячного освітлення відображаються у складній мережі для реалізації класифікації та прогнозування сонячного освітлення.

Застосування гідроенергетики поширене у всіх сферах людського життя. В [106] визначено відношення між потоком енергії та гідроенергетикою на основі

теорії графів, обговорено планування, проектування та оптимізацію роботи гідроенергетичного співвідношення за допомогою складного мережевого аналізу та пояснено значення застосування досліджень шляхом демонстрації гідроенергетичної системи в різних ключових областях. А в [107] застосовано складний мережевий аналіз для стійкого містобудування та аналізу синергії гідроенергетики, споживання енергії та економічного сектору. Крім того, в [108] на основі теорії підключенні складних мереж, створено мережу доходів та мережевих систем глобальних енергетичних підприємств для вимірювання напрямку та ступеня інформаційного переповнення нових енергетичних підприємств між двома системами. Автор використовує метод оцінки для вивчення характеристик, що змінюють час, механізму переповнення інформації. Результати досліджень можуть надати посилання на інвесторів у новому енергетичному секторі для створення конкретних портфелів та управління ризиками, а також для відповідних політиків.

Складний мережевий аналіз може реалізувати складне моделювання «розумних» мереж, динамічний аналіз потоків теплової енергії та характерний мережевий аналіз складних вбудованих мереж «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів», утворених за допомогою різнотипових енергетичних з'єднань. Щодо складного моделювання «розумних» мереж, в [109] запропоновано взаємозамінну модель енергетичної мережі, засновану на методі аналізу малого світу, надаючи аналітичні інструменти для планування стійкої енергетичної політики за допомогою емпіричного аналізу європейських підприємств. В [110] використано складний мережевий аналіз для вирішення питання моделювання мережі розподілу електроенергії в майбутніх міських «розумних» районах, що включає поєднання електричних, теплопостачальних, газових та інших енергетичних мереж. Автор [111] поєднує складний мережевий аналіз з регіональною моделлю введення та виходу, укладає дві мережеві моделі, що відображають потік енергії з точки зору різних секторів та міських районів. Детальні характеристики складної мережевої моделі також обговорюються шляхом оцінки середньої довжини шляху та середнього коефіцієнта кластеризації. З точки зору аналізу динамічних потоків енергії, в [112]



обговорюються відносини енергетичного потоку між енергією промисловості, засновані на складному мережевому аналізі що показують ключову роль енергетичного потоку в повсякденному житті майбутніх людей та розвитку індустрії, аналізуючи характеристики складної мережевої моделі. У [113] вивчають вироблення енергії та відновлення енергії інтегрованих енергетичних мереж у різні масштаби часу та визначають різні одиниці часового масштабу динамічної еволюції в енергетичних мережах шляхом розробки теорії графів.

Що стосується аналізу характеристик мережі, в [114] розкрито кооперативні відношення між країнами світової торгівлі та енергетикою, обчислено та проаналізовано характеристики складної мережі. В [115] вивчено ефект поєднання електроенергії та природного газу, утвореного за рахунок вразливості складної мережі. На основі моделювання перевірки вузла IEEE 118 та 25 Node Natural Gas Network, посилено застосування сполученої системи електрики та природного газу в практичній інженерії.

## **2.2 Інформаційні мережі «розумних громад», «розумних міст» та «розумних регіонів»**

Безпека інформаційних мереж має вирішальне значення для поєднання та формування зв'язків між єдиною «розумною» тепловою енергетичною мережею та продукуванням тепла різнотипових систем. Складний мережевий аналіз застосовується до інформаційної мережі, головним чином з метою вирішення задач моделювання інформаційної мережі, вразливості зв'язку та каскадних відмов [116].

У моделюванні інформаційної мережі [117] IoT-пристроїв, задіяно маршрутизатори контрольного центру у вузли, бездротові або дротові лінії зв'язку на периферії та інформаційні мережі в спрямованих або непрямої графах численних вузлів та ребер. Автор [118] розглядає систему постачання ресурсів як типову систему сполучення енергетичної інформації, заснована на тому, що механізм роботи з з'єднанням може бути описаний для вирішення нелінійних складних мережевих задач, пов'язаних з обробкою даних.

З точки зору аналізу вразливості комунікації, в [119] використано складний мережевий аналіз для створення складної мережевої моделі системи фізичної інформації та аналіз вразливостей взаємозалежної системи інформаційної та фізичної мережі. У [120] з обмеженою інформацією про систему, пропонується центральний показник вразливості «розумної» мережі, заснованої на топології та теорії графів, і пропонується базовий механізм захисту на основі топологічного індексу виконання. У [121] спрямований на недоліки існуючих досліджень вразливості енергетичних мереж на основі складного мережевого аналізу, просторово-часової кореляційної схеми, що стосується фізичного обладнання, топології системи та характеристик експлуатації та двох рівнів, а саме для підприємства та галузі впливу, ініціюється також для того, щоб простіше та чіткіше відобразити характеристики вразливості потужних мереж.

З точки зору аналізу каскадів комунікаційних мереж, автор [122] досліджує ефект каскадування, спричинений відмовою вузла зв'язку та вузла управління, використовуючи модель мережі комунікації живлення, представлену теорією графів. У [123], Розумні GRID розглядаються як комерційні мережі, в яких комунікаційна та ресурсна мережа взаємозалежні. При формуванні моделі складної мережі, розглянуто каскадний взаємозв'язок між комунікаційною та ресурсною мережами, і причинами несправностей. У [1] для складної динамічної мережі рекомендовано критичний метод ідентифікації вузлів складних систем живлення та ідентифікації вузлів значного впливу на видимість та керованість систем живлення. Автори визначають та контролюють критичні вузли, причини відмов та каскадний ефект, спричинення якою можна ефективно запобігти.

### **2.3 Соціально центричні «розумні» мережі**

Враховуючи енергію та інформацію, у зв'язку з системами теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів», взаємозв'язок та взаємодія мереж стає більш інтенсивною. Для того, щоб повністю відобразити системи теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів» із сервісом як основою концепції

соціального розвитку [124] та для подальшого задоволення попиту громадян у різних соціальних заходах, одночасно вирішуючи серйозні міські завдання, системи теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів» охоплюють соціальний вимір [125] у своєму дослідницькому обов'язі. Комплексна соціальна мережа систем теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів» має такі характеристики:

Соціальна центрованість. Незалежно від ресурсної, інформаційної чи транспортної мережі, всі вони відіграють власну роль на рівні різних елементів соціальної мережі, особливо для послуг, орієнтованих на людину, операції та оптимізації процесів.

Спільна еволюція декількох систем в часовому просторі. Двосторонній потік між енергією та інформацією, виробниками та споживачами, інтелектуальною реакцією на попит, політики різного часу та фактор навколишнього середовища мають підтримку для сприяння взаємодії та еволюції між соціальними мережами, ресурсними, інформаційними та іншими мережами.

Складність та систематичність. Системи теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів» поєднаних у соціальних мережах характеризуються очевидною складністю системи, яка відображається не лише у різночастотному поєднанні та трансфері різних енергетичних потоків у різноманітних мережах, а й на вплив складних, змінних та невизначених факторів систем теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів» в соціальних мережах. На даний момент системи теплопостачання «розумних соціополісів» потрібно аналізувати всебічно, оскільки їх якісний та кількісний аналіз стане надзвичайно складним.

Енергія обслуговує суспільство. Виробники енергії, споживачі, керівники, спостерігачі та постачальники «розумних» послуг відіграють важливу роль у створенні важливої міжособистісної мережі шляхом з'єднання та взаємозв'язків у процесі споживання енергії. Крім того, економічні та політичні мережі також вплинуть на структуру та еволюцію енергетичних мереж. Тому, вивчаючи складні енергетичні мережі, вплив міжособистісних, економічних та політичних мережі не можна ігнорувати.

Міжособистісна мережа. Автор [102] вважає, що люди є ключовим компонентом соціальних мереж. Зважаючи на високу кореляцію між споживанням енергії та соціальною поведінкою людини, модель соціальної мережі орієнтована на людину, для визначення ролі, яку відіграють особи в соціальних мережах та їх внесок у енергозбереження. Дослідник [126] стверджує, що величезний прогрес був досягнутий з точки зору соціальних факторів у вивченні виробництва та споживання енергії, таких як прикладні дослідження в міждисциплінарних сферах складних мереж. Автори [127] пропонують новий метод ефективно ідентифікувати ключові вузли шляхом аналізу складних взаємозв'язків соціальних мереж, а потім успішно застосовують його до поля трафіку, щоб реалізувати моніторинг потоків трафіку.

Економічні мережі. В [128] обговорюються фінансові атрибути енергетики та встановлено глобальну енергетичну мережеву модель, вдосконалюючи глобальний аналіз інвестицій в енергетичні акції за допомогою моделі та аналізу відношення між глобальними компаніями з енергетики та акціонерами. У [129] встановлено складну мережеву модель глобальної торгівлі викопними виробами на світовому ринку та описано роль ключових країн у глобальній торгівлі викопною енергією шляхом аналізу складної структури торгової мережі та шляху потоків енергії між країнами. Автор [130] вивчає складність енергетичних потоків в економічних мережах на основі складного мережевого аналізу та аналізує вплив частот ринкових транзакцій та шкали економічного розвитку на енергетичних потоках.

Політична мережа. Автор [131] аналізує вплив стимулів урядової політики на переваги споживачів ринку електроенергії на основі малої світової комплексної мережевої моделі, що забезпечує основу прийняття рішень для інвестиційних фірм для інвестицій в електроенергію та пов'язаних з ними політиків. А [132] зазначає, що складні мережі можуть бути використані для опису потоків енергії в міжнародній торгівлі та припускають, що при формування глобальної політики з торгівлі енергоресурсами слід приділяти більше уваги динамічній поведінці ключових спільнот, секторів та основних енергетичних потоків.

## 2.4 Формування зв'язків складних теплових мереж різних типів

Оскільки розвиток складного мережевого аналізу в енергетиці, інформації, транспортуванні ресурсів, суспільстві та іншому аналізу мережевих доменів, дослідження декількох доменних мережних формацій також має нові досягнення.

В аналізі формування взаємозв'язків між енергетичною мережею та транспортною мережею автор [133] вивчав всебічне та ефективне управління міським середовищем, теплопостачанням, кондиціонуванням, охолодженням, збором відходів та транспортуванням на основі концепції "міської мережі CO<sub>2</sub>", адаптації палива до енергетичної мережі газу та електроенергії, для вирішення сезонних задач газопостачання Європейського Союзу, спричиненої надлишком парникових викидів, виробленим влітку. В аналізі формування взаємозв'язків між енергетичною та соціальною мережею, Автор [134] поєднує інструменти моделювання на основі агентів та метод глобальної оптимізації, враховуючи взаємодію з зв'язку між соціальними мережами та мережами теплопередачі, вивчаючи планування та оптимізацію процесів введення мереж, і успішно застосовує запропонований метод інтеграції до регіональних систем вироблення електроенергії в Південній Африці.

В аналізі формування взаємозв'язків між енергетичною мережею, мережею теплопостачання та інформаційною мережею, [135] базується на Інтернеті речей та Інтернет технологіях для формування складної моделі інтеграції мереж, а потім реалізує її на практиці для складних мереж, таких як ресурси, енергопостачання та інформація.

## 2.5 Теплові та енергетичні мережі «розумних міст»

Завдяки постійному розширенню міської енергетичної системи та постійним поглибленим вивченням теорії систем теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів» у поєднанні та взаємозв'язку підсистем у різноманітних областях, таких як енергетика, інформаційні технології, транспорт та суспільство, все більше людей починають застосовувати складний мережевий аналіз до аналізу міських енергетичних систем. Наприклад, у [136], для поліпшення гнучкості систем енергопостачання відновлюваної енергії пропонується метод критичної ідентифікації лінії на основі складного мережевого аналізу. Концепція основної скелетної мережі систем енергопостачання пропонує двоступеневу оптимізацію способу до основної мережі Skeleton, яка враховує змінну випуску відновлюваної енергії. Виходячи з цього, поєднуючи з преміальною моделлю та граничним значенням у складного мережевого аналізу, пропонується метод статистичної значущості для ідентифікації критичного ланцюга кожного генератора та пов'язаної з ними системи відновлюваної енергії. Автор [137] використовує складний мережевий аналіз до міської системи розподілу енергії та реалізує оптимальний розподіл міської мережі споживання енергії та максимальне споживання чистої та відновлюваної енергії за допомогою встановлення складної мережевої моделі. Для майбутнього інтегрованого розвитку у [138] описано складну модель мережі енергетичного потоку мегалополісу з абстрактними поняттями міського метаболізму та енергетичним потоком для аналізу процесів динамічної еволюції та для надання теоретичної основи міського інтегрованого розвитку. В [139] розглянуто «розумне» місто як складну систему та вивчено динамічну еволюцію енергетичного потоку на основі складного мережевого аналізу та доведено його до практичного проекту споживання відновлюваної енергії та просування системи спільної генерації. Автор [140] використовує складні мережі для аналізу та вивчення впливу соціальних, економічних та політичних мереж на основі етапів розвитку «розумних міст» на різних рівнях, таких як глобальний, національний та міські «розумні» регіони та локації, що пропонують інновації

щодо майбутньої оптимізації мереж. Автор [141] використовує теорію графів для представлення міста як величезної мережі, і оцінює мережу з такими показниками, як стабільність, складність та ефективність для забезпечення сталого розвитку міст.

## **2.6 Самоорганізовані мережі в системах теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних регіонів»**

У кваліфікаційній роботі освітнього рівня магістр структура та функції систем теплопостачання «розумних громад», «розумних міст», «розумних регіонів» та «розумних соціополісів» розглядається з точки зору складних систем, а механізм еволюції та самостійної організації під впливом невизначених факторів досліджуватимемо на основі теорії самоорганізації. Основна ідея та теоретична основа теорії самоорганізації-це теорія дисипативної структури та синергетики. Перший базується на обміні матерією та енергією з навколишнім середовищем. Системи теплопостачання «розумних громад», «розумних міст», «розумних регіонів» та «розумних соціополісів» мають характеристики дисипативної структури а не стан рівноваги. Це відкриті та спільні системи з нелінійними механізмами взаємодії між різними підсистемами, які пізніше вивчають механізм синергії серед декількох факторів у системах, що є основою процесу їх самоорганізації, а також є потребою в координації між системами. Поєднання цих теорій з розумінням систем теплопостачання «розумних громад», «розумних міст», «розумних регіонів» та «розумних соціополісів» призведе до кращого розуміння їхньої природи.

Енергетична самоорганізація відбувається завдяки взаємозв'язку, поєднанню та обміну ресурсами. Системи теплопостачання «розумних громад», «розумних міст», «розумних регіонів» та «розумних соціополісів» здійснюють обмін енергією та інформацією між структурами нижніх рівнів та структурами верхніх рівнів, які слугують базовими одиницями в стаціонарній структурі систем теплопостачання «розумних громад», «розумних міст», «розумних регіонів» та «розумних соціополісів». Організація відноситься до впорядкованої

структури в системі або формуванню такої організованої структури. Енергетична самоорганізація відноситься до впорядкованої структури, що формується узгодженою еволюцією різних внутрішніх систем, спонтанно дотримуючись певних правил під час роботи систем теплопостачання «розумних громад», «розумних міст», «розумних регіонів» та «розумних соціополісів». Шкала систем теплопостачання «розумних громад», «розумних міст», «розумних регіонів» та «розумних соціополісів» залежить від кількості, типу, часу, простору та розподілу енергетичної самоорганізації.

Самоорганізовані колекції взаємодоповнюваних поєднаних джерел теплової енергії в певному просторі та часі мають прямі або непрямі відношення та зв'язки. Статистично теплоенергетична множина «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів» показує деякі характеристики, яких енергетична самоорганізація не має. Очевидно, що концепція енергетичної множини заснована на енергетичній самоорганізації. Для того, щоб пояснити концепцію енергетичної множини чіткіше, необхідно детально розглянути енергетичну самоорганізацію.

Енергетичні самоорганізації є основними одиницями в системах теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів» та проявляються у двох підсистемах:

- взаємозв'язок;
- незалежна операція.

Для адаптації до особливостей енергетичних операторів та користувачів у конкретному регіоні, розроблена більш «розумна» схема прийняття рішень, керована в режимі реального часу на основі, ефективної та безпечної інформації про взаємозв'язок та споживання наявної теплової енергії для:

- поєднання теплових систем;
- досягнення енергетичного насичення;
- координації;
- доповнення;
- оптимального розподілу теплових потужностей.



Різноманітні енергетичні з'єднання теплових потоків між різними енергетичними самоорганізаціями не лише пов'язані з їх відповідним статусом, але й впливають на щоденні процеси споживання енергії користувачами енергетичних терміналів у нижньому ієрархічному шарі, а також зв'язок між тепловими групами чи спільнотами у верхньому ієрархічному шарі. Щоденні споживчі дії громадян впливають на навколишнє середовище: погода, рух, енергетичні політики, особисті емоції та звички споживання теплової енергії.

Загальна автономна стратегія кооперативної оптимізації систем теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів» реалізується завдяки взаємодії та зв'язку між різними енергетичними самоорганізаціями. Автономія, децентралізація та гнучке впровадження різних енергетичних самоорганізацій мають вирішальне значення для процесів загальної оптимізації та локальної спільної самостійності систем теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів». Завдяки гнучкому, ініціативному, адаптивному зв'язку та взаємозв'язку між різними зацікавленими сторонами у фізичному інфраструктурному шарі, шару інформаційної взаємодії та шару операційних служб, тепла енергетична самоорганізація демонструє автономні, ефективні та децентралізовані синергії, як показано на рис 2.1. При цьому фізичний базовий шар інтегрує твердопаливну та, природню енергію, гідроенергетику, енергію біомаси, природний газ та інші теплові енергетичні ресурси. Об'єднання процесів обігріву, продукування тепла за допомогою природнього газу, добування газу, технологій транспортування тепла та цифрові системи спостереження процесів теплопостачання реалізує стратегію інтеграції різноманітних теплових та енергетичних систем, і зменшить залежність від викопного палива для життєво важливих людських напрямків. Застосовуючи розширені інформаційні та комунікаційні технології збору та контролю даних щодо теплопостачання, рівень інформаційної взаємодії може координувати декілька теплових енергетичних ресурсів, щоб повністю реалізувати передачу теплової енергії, перетворення та гнучкого доповнення в різні періоди часу та зони просторового розподілу з необхідною гнучкістю та ефективністю, а також обслуговує фізичну

інфраструктуру та експлуатацію сервісного шару одночасно. Оперативний рівень обслуговування збалансовує інтереси учасників ринку теплопостачання, використовуючи потенціал зростаючого попиту теплової енергії. Незалежно від фізичного рівня інфраструктури, шару інформаційної взаємодії або шару операційної служби, він слугує з метою підвищення ефективності споживання теплової енергії, зниження загальної вартості та оптимізації екологічно чистого використання енергії в «розумних громадах», «розумних містах» та «розумних соціополісах».

Складні самоорганізовані теплові мережі базуються на різному розподілі часових та просторових характеристик спільнот [142], що може бути виявлено шляхом вивчення питань:

- оптимального розподілу теплової енергії;
- додаткового координованого контролю;
- дефекції несправностей та відновлення;
- теплоенергетичної торгівлі;
- управління середовищем енергетичної спільноти «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів».

Існує обширний перелік джерел та різнотипових систем теплопостачання, комунікації координування, контролю та оптимізації процесів у системах теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів» на основі підсистем або підрозділів, зокрема:

- Prosumer [143].
- Energy Cell [144].
- Web-of Cells.
- We-Energy [145].

Як показано на рисунку 2.1, одна енергетична самоорганізація може незалежно завершити виробництво, конверсію, передачу, зберігання або споживання будь-якого потоку первинної або вторинної теплової енергії.



Рисунок 2.1 – Структура теплових потоків самоорганізованих систем тепlopостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів»

Обладнання для продукування та акумуляції тепла та обладнання для перетворення великого за обсягом теплового потоку незамінні для задоволення енергетичних потреб множини користувачьких терміналів «розумних громад» «розумних міст» та «розумних соціополісів» [145]. Через різнотипову природу теплових потоків декілька енергетичних самоорганізацій утворюють мережеву діаграму з кожним вузлом, що представляє теплова енергетична самоорганізація. Ребро символізує процес обміну енергією між різними енергетичними самоорганізаціями.

Структура «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів» визначається різнотиповими джерелами теплової енергії, які зазвичай наближені до кінцевого користувача, що інтегрує як продукування, так і споживання тепла. Окремі шестикутники символізують одиницю, яка локально працює та керує власним розподіленим генератором теплової енергії, розподілені пристрої для зберігання енергії та заплановані навантаження з точки зору споживачів та постачальників. «Web of Cells» – це абсолютно новий тип «розумної» грядки, ідея контролю якого полягає в тому, що елемент та його оператори можуть розглядатися як контрольне ядро. Послідовність та стабільність загального контролю можуть бути досягнуті за допомогою зв'язку та координації між сусідніми мережами, а також через розподілений контроль

між індивідуальними користувачами теплових систем «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів». Це стосується автономної енергетичної області в системах теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів», яка може реалізувати:

- інтелектуальний контроль;
- автоматичний захист;
- інтелектуальне управління.

У цій кваліфікаційній роботі освітнього рівня магістр концепція енергетичної самоорганізації визначається з дослідження складних систем, заснованих на теорії самоорганізації. На основі складної теорії системи та самостійної організації, це визначення є більш загальним та підходящим для опису характеристик інтеграції інформації, теплоенергетичних, теплоаккумулятивних та соціальних мереж у майбутньому розвитку систем теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів». На даний час більшість досліджень «Prosumer», «Energy Cell», «Web of Cells» та «We-Energy» в основному зосереджуються на індивідуальному рівні. Особливо дослідження основної теплової одиниці ринку все ще знаходиться на індивідуальному рівні та мають базові індивідуальні характеристики. Для отримання найбільшої користі у процесі формування відношень та оптимальних операцій. Однак енергетична самоорганізація не обов'язково демонструє повну раціональність у відношення та взаємодії між базовими сутностями та загальною системою. В експлуатації систем теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів» енергетична самоорганізація може розвиватися в певному напрямку через автономні рішення окремих «розумних громад» чи навіть «розумних міст». Різниця між підсистемами, енергетичними комірками, та «Web of Cells», такого автономного рішення є результатом вибору енергетичної самоорганізації відповідно до власної готовності, таких як раціональна, ірраціональна, егоїстична чи самовіддана, а не результат стимулів (див. рисунок 2.2).

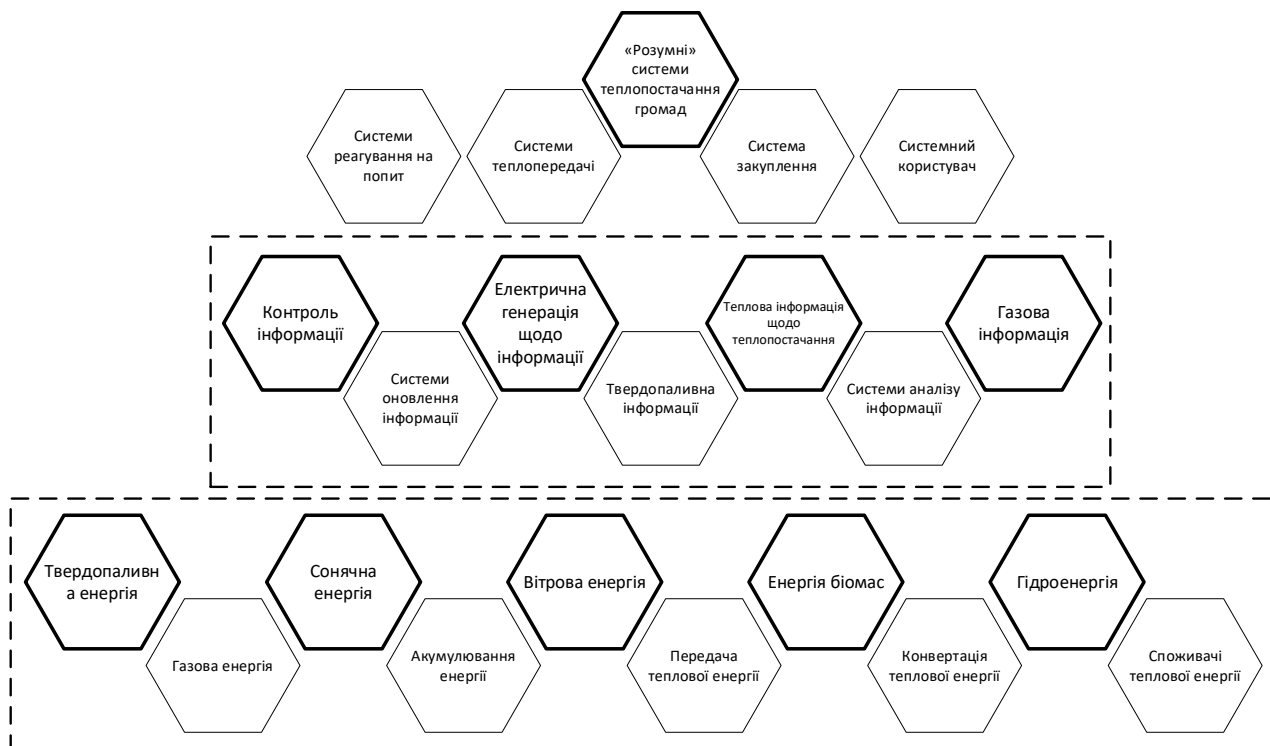


Рисунок 2.2 – Опис ієрархічної рамки теплових систем «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів» зразка енергетичної самоорганізації

Обов'язковий контроль для досягнення встановлених загальних цілей систем тепlopостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів» відображає можливість адаптивного коригування теплоенергетичної самоорганізації.

Виходячи з визначення енергетичної самоорганізації, з точки зору складного мережевого аналізу, складна система, така як системи тепlopостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів», чітко розділена на три рівні: Мікро, мезо та макро. На основі енергетичної самоорганізації та енергетичної спільноти, системи тепlopостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів» поділяються на структуру мікро-енерго самоорганізацію, структуру мезо-енерго спільноту та структуру мережевої мережі теплового макросу.

## 2.7 Висновок до другого розділу

В другому розділі кваліфікаційної роботи досліджено мережевий аналіз компонентів «розумних» систем теплопостачання. Описано основні задачі «розумних» енергетичних мереж та інформаційних мереж «розумних соціополісів». Також розглянуто взаємозв'язок складних мереж різних полів систем теплопостачання «розумних міст», функції систем теплопостачання «розумних громад», «розумних міст», «розумних регіонів» та «розумних соціополісів», які розглядаються з точки зору складних систем. Механізм еволюції та самостійної організації під впливом невизначених факторів досліджується на основі теорії самоорганізації. Досліджено самоорганізовані мережі в системах теплопостачання «розумних соціополісів»

## 3 ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК ЕНЕРГЕТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

### 3.1 Топологічний опис та показники теплоенергетичних спільнот

Процеси формування систем теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів» є поєднанням багат шарових теплоенергетичних самоорганізованих сутностей та спільнот. Тобто кожна енергетична спільнота містить обширний набір щільно об'єднаних теплоенергетичних самоорганізованих елементів, тоді як взаємозв'язок між різними теплоенергетичними спільнотами чи громадами є відносно рідкісним. Збираючи різні теплоенергетичні спільноти у вузли та описуючи їх зв'язки з поєднанням ребер, можна отримати топологію систем теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів», засновану на теплоенергетичній спільноті. Обширна множина енергетичних спільнот з'єднаних між собою вільними ребрами графів. Процеси теплоенергетичного обміну та обміну інформацією між різними енергетичними спільнотами та громадами відбуваються через одне із ребер графа. Інтеграція систем такого класу часто спостерігається серед різних енергетичних спільнот та громад. Виділяючи грані з високою інтеграцією, структура теплоенергетичної спільноти в системі теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів» може бути детально розкрита.

Завдяки абстракції енергетичної самоорганізації та енергетичної спільноти та побудови графів теплових потоків різнотипових енергетичних систем, програмне забезпечення GT Framework може бути використане для аналізу систем теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів». Системи теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів» можна описати простим графом  $G(N, E)$ , який містить  $N$  вузлів, що з'єднані на спрямованому або непрямому краю  $E$  [146]. Системи теплопостачання «розумних соціополісів» абстрактно описуються як графі на основі топології. Основними елементами графа є вузли та ребра. У даній

кваліфікаційній роботі вузли представляють різні підсистеми, розділені на різні масштаби в системі теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів», а саме енергетична самоорганізація або теплова енергетична спільнота, тоді як грані представляють зв'язки з з'єднаннями, встановлені між ними відповідно до певних правил. Граф з великою кількістю вузлів і гранів може розглядатися як складна мережа. Абстрагуючи енергетичну самоорганізацію та енергетичну теплову спільноту, складна задача поєднання між різними підсистемами в системах теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів» може бути еквівалентною динамічній проблемі аналізу спільної еволюції складної теплової мережі.

Автори [147] та [148] дослідили стохастичні мережі та проаналізували стохастичні характеристики складних теплових мереж. В [149] запропоновано мережі малого світу та проаналізовано характеристики малого світу складних мереж. У [150] запропоновано мережу без масштабу та проаналізовано характеристики без масштабу складної мережі. Завдяки неперервному застосуванню стохастичних мереж у складі реальних комплексних систем та аналізу споріднених стохастичних, малих та без масштабів характеристик, загальні показники складних мереж є очевидними взаємними характеристиками, а також їх застосування в практичному аналізі систем [132]. Тому, виходячи з існуючих досліджень, кваліфікаційна робота освітнього рівня магістр переосмислює складний мережевий індекс, придатний для локальних або середніх глобальних показників систем теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів». Як показано в таблиці 3.1, метрика складної мережевої топології систем теплопостачання «розумних соціополісів» на основі теплової енергетичної спільноти досягається шляхом визначення ступеня вузла  $d_{i,un}$  середнього ступеня вузла  $d_{i,un}$  розподілу ступеня  $p(k)$ , коефіцієнта кластеризації  $c(i)$ , середнього коефіцієнта кластеризації  $c(i)$ , довжини шляху  $l$ , середньої довжина шляху  $l$  та ребром  $BC$  серед яких визначено кожен індекс вимірювання, залучені змінні та специфічна формула розрахунку наведені у стовпці "визначення" та "кількісний розрахунок" у таблиці 3.1 відповідно.



Таблиця 3.1 – Метрика складної мережевої топології «розумних» систем теплопостачання [42]

Метрика	Опис	Рівняння
Ступінь вузла $d_{i,un}$	Локальна метрика «розумної» системи теплопостачання	$d_{i,un} = \sum_{j \in i} N_j$
Середній ступінь вузла $\overline{d_{i,un}}$	Глобальна метрика «розумної» системи теплопостачання	$\overline{d_{i,un}} = \frac{E}{N}$
Розподіл ступенів $p(k)$	Ступенева статистика «розумних» систем теплопостачання	$p(k) = \frac{N_{d_{i,un}}}{N}$
Коефіцієнт кластеризації $c(i)$	Локальна метрика варіативності «розумних» систем теплопостачання	$c(i) = \frac{2E_i}{d_{i,un}(d_{i,un} - 1)}$
Середній коефіцієнт кластеризації $\overline{c(i)}$	Глобальна метрика та статистика «розумних» систем теплопостачання	$c(i) \sim \frac{E}{N}$
Довжина шляху $l$	Мінімальна довжина енергопостачання самоорганізацій в «розумній» системі теплопостачання	
Середня довжина шляху $\bar{l}$	Середня довжина енергопостачання самоорганізацій в «розумній» системі теплопостачання	
Пропорція $BC$	Пропорція довжин шляхів теплопостачання	$BC = \sum \frac{l_{st}^{min}}{l_{st}^{sum}}$

Оптимальний розподіл потоків енергії між різними енергетичними спільнотами може бути детально вивчено та досягнуто. Використання теорії

потоків мережі [151] для обґрунтованого розподілу мережевого потоку може покращити продуктивність теплової мережі. На основі аналізу складної мережевої моделі з систем теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів», умови обмеження структури топології виявляються як основа кооперативного оптимального розподілу зв'язаних потоків мережі, і, нарешті, можуть бути досягнуті різні цілі, такі як мінімальні втрати мережі, оптимальний розподіл потужностей та максимальне споживання енергії. Модель зв'язку систем теплопостачання «розумних міст»:

$$\begin{aligned}
 E(x_e, x_h, x_c, x_g, x_t, x_o) &= 0 \\
 H(x_e, x_h, x_c, x_g, x_t, x_o) &= 0 \\
 C(x_e, x_h, x_c, x_g, x_t, x_o) &= 0 \\
 G(x_e, x_h, x_c, x_g, x_t, x_o) &= 0 \\
 T(x_e, x_h, x_c, x_g, x_t, x_o) &= 0 \\
 O(x_e, x_h, x_c, x_g, x_t, x_o) &= 0
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

де  $E$ ,  $H$ ,  $C$ ,  $G$  і  $T$  – це різні моделі потоку субпідробної мережі постачання електроенергії, нагрівання, кондиціювання, охолодження, постачання газу та транспорту відповідно.

$O$  – модель зв'язків з з'єднанням різних мереж.

$x_e$ ,  $x_h$ ,  $x_c$ ,  $x_g$ ,  $x_t$ ,  $x_o$  – змінні статусу електроенергії, нагрівання, охолодження, газу, транспортування та з'єднання відповідно. Об'єктивна функція оптимізації встановлення систем теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів» подана в 3.2.

$$\left\{ \begin{array}{l} \min Y = \sum Y(x_e, x_h, x_c, x_g, x_t, x_o) \\ s. t \left\{ \begin{array}{l} g(x_e, x_h, x_c, x_g, x_t, x_o) = 0 \\ z_{min} \leq z(x_e, x_h, x_c, x_g, x_t, x_o) \leq z_{max} \end{array} \right. \end{array} \right. \tag{3.2}$$

де  $Y$  – об'єктивна функція систем теплопостачання «розумних соціополісів», наприклад мінімальна втрата, оптимальний розподіл потужностей або максимальне споживання координованої роботи різних підсистем, таких як електроенергія, опалення, кондиціонування, охолодження, газ та транспорт відповідно.

$G$  і  $Z$  – це функція обмеження відповідно, а  $Z_{\min}$  і  $Z_{\max}$  – верхня і нижня межа умови обмеження відповідно.

Перетворення теплової енергії, передача та зберігання між різними тепловими енергетичними спільнотами та громадами можуть бути реалізовані найкоротшим шляхом зменшення втрати енергії в процесі споживання на стороні кінцевих користувачів. Наприклад, у транспортній мережі різні типи транспортування теплової енергії можуть не тільки досягти найменшого споживання енергії за найкоротшим шляхом, але й можуть швидше акумулювати теплову енергію, вивільнити енергію та підвищити ефективність споживання поновлювальної теплової енергії.

Виходячи з пропускної спроможності та вартості систем теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів», розрізнена відновлювана тепла енергія може бути поділена на різні енергетичні спільноти, щоб мінімізувати вартість передачі відновлюваної теплової енергії в процесі споживання.

Максимізація потенціалу енергетичної спільноти використовує розподілену відновлювану енергію, що означає повну роботу на максимальну здатність передачі мережі теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів», та дозволяє спростити мережеве навантаження різнотипових теплових потоків. Відповідність стану дає змогу системам теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів» максимізувати розподілене використання ресурсів за допомогою енергетичної спільноти як одиниці.

Теплова енергетична спільнота містить різні величини та характеристики енергетичної самоорганізації, а їх діяльність в процесі синхронної еволюції також є різною. Припущення про рівняння систем теплопостачання «розумних

громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів», що містить  $N$  енергетичних самоорганізацій, подана в 3.3.

$$x_i = f(x_i(t)) + C \sum_{j=1}^N A_{ij} H(x_j(t)) \quad (3.3)$$

де  $i = 1, 2, \dots, N$ ;  $x_i$  – це вимірювальний вектор стану вузла  $I$  в час  $t$  систем теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів».

$C$  – коефіцієнт зв'язку між різними підсистемами, такими як електроенергія, нагрівання, охолодження, газ та транспортування.

$H$  – внутрішні та зовнішні функції з'єднання електроенергії, нагрівання, охолодження, газу та транспорту відповідно.

$A_{ij}$  – це зовнішня зв'язок. Різні енергетичні самоорганізації в межах однієї енергетичної спільноти можуть реалізувати впорядковану синхронізацію поступово від неупорядкованої еволюції в рамках ефективних стратегій контролю.

Для загальної системи теплопостачання синхронізація в енергетичній спільноті поділяє механізм взаємного впливу. Під впливом багаторазового розподілу часу, простору та топології, що змінюється у часі, різнотипові енергетичні потоки спостерігаються в оптимальному стані розподілу потоку теплової енергії, коли система теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів» функціонує плавно. Оптимальний розподіл різнотипового теплового потоку це не лише основа спільної оптимізації систем теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів», а й є важливою причиною її відмови. Коли частина теплоенергетичної спільноти не функціонує, то оптимальний стан розподілу енергії, явище перевантаження пошириться на сусідні теплоенергетичні спільноти разом із перерозподілом різнотипового теплового потоку. Невдача може навіть поширюватися на каскадний механізм, який буде загрожувати

безпечній та стабільній функції систем теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів».

Виходячи з того, що підсистеми впливатимуть на стан теплової мережі та один одного, що працюють разом у системі теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів», початкове навантаження систем теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів» визначається за допомогою розподілу ступеня з'єднання мережі.

$$\begin{aligned} x_1(t) &= x_2(t) = \dots = x_N(t) = s(t) \\ \|x_i(t) - x_j(t)\| &\rightarrow 0 (i, j = 1, 2, \dots, N) \end{aligned} \quad (3.4)$$

Для систем теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів», які абстрактно виражаються у вигляді  $N$  вузлів, в будь-яких початкових умовах, коли  $t \rightarrow \infty$ ,

$S(t)$  вказує на стан синхронізації системи.

$$s(t) = f(s(t)) \quad (3.5)$$

Синхронний контроль енергетичної спільноти в основному включає три аспекти: в межах однієї енергетичної спільноти, серед численних енергетичних спільнот та інтерактивної еволюції між ними.

$$L_{0(i)} = k_i^{(1-\beta)} k_d^\beta, \quad i, j = 1, 2, \dots, N \quad (3.6)$$

де  $K_i$  – ступінь вузла після того, як система теплопостачання «розумних соціополісів» абстрагована у складній мережі.

$K_d$  – ступінь вузла  $D$  у поєднанні з вузлом  $i$ .

$\beta$  – параметр регульованого початкового навантаження, що представляє ступінь впливу вузла  $i$  вузлом  $d$ ,  $0 < \beta < 1$ .

Значення  $\beta$  пропорційне ступеня взаємодії між вузлом  $i$  та  $d$ .

У цей момент, виходячи з початкових символів навантаження вузлів, навантаження вузла системи тепlopостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів» проілюстрована у формулі.

$$C_i = (1 + \alpha)L_{0(i)} \quad (3.7)$$

де  $\alpha$  являє собою параметр регулювання навантажувальної здатності вузлів у системі тепlopостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів», до пропорційно навантажувальних здатностей вузлів.

$C_iMAX$  використовується для представлення межі ємності навантаження вузла. Коли  $C_i < C_iMAX$ , вузол і працює нормально; Коли  $C_i > C_iMAX$ , вузол і не вдається.

$X_a$  при  $X_a > 0$  і  $X_b$  при  $X_b < 0$  – це дві змінні стану співробітництва та неспівробітництва кожної енергетичної спільноти у система тепlopостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів»

$$\begin{aligned} x &= [x_A, x_B]^T \\ &\begin{cases} 0 \leq x_A \leq 1 \\ 0 \leq x_B \leq 1 \\ x_A + x_B = 1 \end{cases} \end{aligned} \quad (3.8)$$

Тим часом змінні статусу  $X_a$  та  $X_b$  в момент  $t$  визначаються як:.

$$\omega(x_A(x_B), t) = \begin{cases} 1, \text{ if } r_{x_A(x_B)}(x, \varphi) \geq 0 \\ 0, \text{ if } r_{x_A(x_B)}(x, \varphi) \leq 0 \end{cases} \quad (3.9)$$

Операції взаємозв'язку та разом з перерозподілом потоку теплової енергії призведуть до більшої кількості виведення відношень енергетичної спільноти або країв з операції взаємозв'язку. Перерозподіл енергії, поступове збільшення кількості взаємопов'язаних теплових енергетичних спільнот в експлуатації та зняття обмежень призведуть зменшення імовірності каскадних відмов.

### 3.2 Взаємодія та функціонування теплових енергетичних спільнот

Для транзакцій на ринку теплової енергії, енергетичні спільноти можуть розглядатися як незалежна та інтерактивна система приймача або учасника. За допомогою динамічної торгової діяльності теплової енергетичної спільноти з динамічної енергетичної торгівлі, керованої ринковими інтересами, торговельні рішення теплових енергетичних спільнот може бути прогнозоване, проаналізоване та сформульоване під впливом зв'язків «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів». З огляду на той факт, що кластер теплопостачання або інші незалежні блоки енергопостачання у фактичних системах «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів» сприятимуть повторному перегляду переваг при проведенні теплоенергетичних транзакцій із зовнішніми системами, необхідно вивчити з точки зору енергетичної спільноти взаємодії, механізм між рішенням енергетичної самоорганізації індивідуальної торгівлі та рішенням енергетичних спільнот.

Різноманітне енергетичне доповнення в системах теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів» – це спільний взаємозв'язок між теплопостачанням та споживанням енергії в природі. Існує спільний взаємозв'язок між енергетичними спільнотами у процесі постачання та споживання енергії. У процесі прийняття рішень транзакції на теплоенергетичному ринку, енергетичні спільноти можуть отримати вищі інтереси завдяки співпраці між собою. Енергетичні спільноти «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів» можуть вирішити, чи співпрацювати один з одним у процесі торгівлі енергетичним ринком шляхом прогнозування доходів.

Під час співпраці між енергетичними спільнотами «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів», енергетична спільнота, як правило, не отримує більше загальних інтересів. Більше того, кожна спільнота хоче досягти власного оптимального розподілу вигод у процесі співпраці. Наприклад, для з'єднання різних секторів «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів», таких як енергія, транспорт та інформація, різні власники акцій у

різних секторах, як правило, отримують максимальні переваги для себе в процесі ринкових операцій. Тому у співпраці енергетична спільнота потребує «розумної» схеми розподілу вигод.



Рисунок 3.1 – Задачі «розумної» теплоенергетичної спільноти

Якщо розподіл інтересів не є «розумним» у процесі транзакцій на ринку теплопостачання, важко задовольнити оптимальні потреби різних зацікавлених сторін у різних секторах «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів», що ускладнює співпрацю теплоенергетичних спільнот. Тому необхідна ефективніша стратегія розподілу інтересів зацікавлених сторін, щоб уникнути вищевказаних умов.

У процесі транзакцій на ринку теплоенергетики «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів» інтереси різних енергетичних спільнот повинні базуватися на стратегії справедливого розподілу. При обчисленні загального доходу та загальної вартості різних зацікавлених сторін у різних секторах можна отримати виплати за співпрацю в межах ринку. Порівнюючи вигоди з тими, хто не співпрацює в рішеннях щодо торгівлі ринком теплоенергетичних спільнот, коли прийняття рішень на енергетичних ринках, встановлюйте відносини з співпрацею, водночас, щоб отримати відповідні



пільги щодо співпраці. Рішення про те, чи брати участь у співпраці та в якій мірі залежить від того, чи є теплоенергетична спільнота «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів» вигіднішою у співпраці з іншими.

Структурний розділ теплоенергетичної самоорганізації та теплоенергетичної спільноти є важливим для абстракції вузлів. Площа споживання енергії, представлена абстрагованими вузлами, занадто велика або характеристики енергетичних одиниць споживання занадто складні. Структура енергетичної спільноти занадто проста, щоб точно описати складні характеристики мережі енергоощадного споживання систем тепlopостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів». Навпаки, якщо область споживання теплової енергії занадто мала або характеристики одиниць набагато менш диверсифіковані, структура теплової енергетичної спільноти буде занадто складною. Швидкість аналізу даної моделі обмежена.

Розподілені ресурси відновлюваної теплової енергії можуть призвести до випадкової, невизначеної та змінюваної часом топології систем тепlopостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів», що ускладнює використання відновлюваних енергетичних ресурсів на місці або в ближніх локаціях, важко визначитись з максимальною або оптимальною тепловою потужністю, а також неможливо досягти оптимального розподілу теплових потоків серед динамічних теплоенергетичних спільнот. Крім того, важливо виявити оптимальний взаємозв'язок розподілу потоків теплової енергії між шарами енергетичної самоорганізації та макрошаром енергетичної спільноти.

Порівняно з традиційною міською енергетичною системою, системи тепlopостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів» мають множинні, просторово-часові, та динамічні характеристики. Тим часом, системи тепlopостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів» стикаються з такими складнощами:

- добування корисних функцій з великих за обсягом даних;
- катастрофи та розмірність;
- кореляційний аналіз інформаційних наборів;
- швидкість реакції.

Більш відкрита та спільна енергетична система «розумного міста», об'єднує обширне коло зацікавлених сторін:

- постачальники теплової енергії;
- споживачі теплової енергії;
- органи прийняття рішень;
- органи нагляду в галузі теплової енергетики;
- транспортний сектор;
- інформаційний сектор.

Який активно беруть участь у роботі систем теплопостачання «розумних соціополісів». Як результат, єдина тепла енергетична спільнота або кілька теплоенергетичних спільнот, як правило, переслідують максимізацію власних інтересів. Дуже важко встановити модель прийняття рішень та управління різнотиповими тепловими енергетичними транзакціями на основі системи теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів» чи енергетичної спільноти та одночасно задовольнити оптимальний план теплопостачання, максимізацію добробуту, соціальні зручності енергії та максимальне задоволення різних зацікавлених сторін. Для того, щоб практично застосувати системи теплопостачання «розумних соціополісів», сучасне дослідження з точки зору теплоенергетичної спільноти потребує поетапного вдосконалення.

Багато енергетичних спільнот в системах теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів», з'єднані між собою через вільні ребра країв. Енергетичний обмін та обмін інформацією між різними енергетичними спільнотами повинні пройти через одну із графів. Тому грані між різними тепловими енергетичними спільнотами мають високу межу. Алгоритм делеції Edge [42] розроблений для виявлення взаємозв'язку між різними енергетичними спільнотами в системі теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів». Тим часом, модульність – це критерій вимірювання ефективності поділу складної структури теплової мережі «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів». Використання

модульності для оцінки ефективності поділу між енергетичними спільнотами все ще потребує подальшого вивчення.

Для витрат теплової енергії на будь-якому краю, які позитивно корелюють з розміром потоку енергії, оптимальна задача розподілу теплової енергії «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів» може бути описана з моделлю мінімальної вартості, встановивши верхню та нижню межі потужності енергії. Коли система теплопостачання «розумних соціополісів» застосовується до практичної інженерії, розроблені параметри роботи, впорядковані та точні математичні моделі опису системи «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів» важко отримати. Порівняно з традиційними методами управління, адаптивний контроль допоможе досягти високоефективного та точного контролю систем теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів». Щодо систем теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів» як колекції теплових енергетичних спільнот, синхронна модель контролю встановлюється на основі статусу енергетичної самоорганізації та зв'язку з з'єднанням, характеристиками теплової енергетичної спільноти та зв'язками з з'єднанням, а також відношенням між тепловими енергетичними самоорганізаціями та тепловими енергетичними спільнотами. Адаптивний контролер вводиться, щоб реалізувати синхронний контроль між різними енергетичними спільнотами в системі теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів».

Для характеристик передачі теплової енергії серед різних енергетичних спільнот, наведені ваги ребер серед теплових енергетичних спільнот та залежність між різними потоками енергії між різними тепловими енергетичними спільнотами доцільно додатково вивчати після коефіцієнта провідності ліній передачі, перехресної області теплопровідної мережі та пропускної здатності передачі. Середній у комунікаційних мережах тепловий потік енергетичних спільнот та краї будуть розглядатися як їх навантаження. Вивчається взаємозв'язок між тепловими навантаженнями та каскадними збоями, а також як уникнути каскадних збоїв, встановлюючи та регулюючи порогові значення.

Теорія систем походить від економіки. Вона вивчає процес, в якому багато зацікавлених сторін співпрацюють, щоб знайти найкращу схему прийняття рішень для максимізації власних інтересів. Теорія систем, як математичний інструмент, може бути використана для опису відношення між різними зацікавленими сторонами в системах теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів». Це співвідношення описує взаємодію з відношенням потоків теплової енергії та інтересів серед енергетичних спільнот «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів». Існують нейронні мережі та деякі інші методи, придатні для прогнозування та аналізу відношення потоків теплової енергії «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів» та коливань взаємодії між різними енергетичними спільнотами. Характеристики систем теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів» можуть забезпечити максимізацію власних інтересів, після аналізу інформації про системи. Інтереси кожної зацікавленої сторони в торгівлі тепловою енергією можуть бути максимізовані за допомогою аналізу роботи серед різних енергетичних спільнот «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів».

### **3.3 Висновок до третього розділу**

В третьому розділі кваліфікаційної роботи описано топологічний та міжзв'язковий інтервал між теплоенергетичними самоорганізаціями. Досліджено основні задачі енергетичних спільнот в системі теплопостачання «розумних соціополісів» а також переваги даних систем над звичайними системами теплопостачання. За допомогою формул описано метричні данні взаємодії та функціонування теплових енергетичних спільнот. Досліджено методи показників самоорганізованих теплових енергетичних спільнот. Подано опис взаємозв'язків енергетичних моделей в системах теплопостачання.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1 Синдром професійного вигорання в ІТ

Тема кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Магістр» присвячена огляду систем теплопостачання «розумного міста». Тому доцільно розглянути питання синдрому професійного вигорання, так як розробка таких систем потребує ретельної роботи над нею.

Професійне вигорання це специфічний вид стресу, що характеризується емоційним, фізичним і ментальним виснаженням. Це стан, що виникає в результаті тривалої роботи в умовах високого стресу або перенавантаження. Характерні ознаки вигорання включають зниження професійної ефективності, відчуття апатії та втрати інтересу до роботи, відчуження емоційного виснаження, а також песимістичне ставлення до роботи і колег. Причини професійного вигорання можуть варіюватися залежно від сфери, професії та особистих обставин [152]. Проте, існують деякі загальні фактори. Надмірне робоче навантаження, тривалі години роботи без достатнього відпочинку та відновлення. Нечіткі вимоги до роботи, невизначеність або постійна зміна очікувань та обов'язків. Відчуття недооціненості, недостатня оплата, відсутність вдячності та визнання зусиль. Конфлікти на роботі, конфлікти або відсутність підтримки від колег чи керівництва. Недостатній баланс, труднощі з поєднанням професійних обов'язків та особистим життям.

Внаслідок професійного вигорання люди можуть зіткнутися з рядом наслідків, таких як зниження якості професійної роботи, втрата інтересу та ентузіазму до щоденних задач, а також посилення психосоматичних симптомів, включно з головними болями, безсонням та виснаженням. Емоційне вигорання також може призвести до проблем у відносинах, та навіть перейти у тяжкий психічний розлад.

Вважається, що найбільш схильними до професійного вигорання є особи віком від 28 до 48 років. Однак, в реаліях сьогодення дана статистика не є вичерпною, оскільки умови робочого середовища є достатньо мінливими. До

того ж, темпи змін стосуються будь-якої сфери діяльності, а надто ІТ-сфери. Відповідно це вимагає від фахівців ще більшої гнучкості в пристосуванні до цих умов та здатності до протистояння руйнівним факторам. Саме тому, побутує думка, що «вигоріти» можна у будь-якому віці, на будь-якій роботі та на будь-якій посаді [153].

Професії в ІТ-сфері часто вважають менш стресовими через типово спокійну робочу атмосферу, щедрю винагороду та низьку ймовірність втрати роботи. Але це лише одна сторона медалі. Фахівці ІТ мають справу зі стислими термінами виконання проєктів, відсутністю чітких вимог та частими помилками. Це все є невід'ємною частиною роботи, але коли цей тиск стає сталим і піддає постійному стресу, емоційному виснаженню та неефективності, то в результаті може призвести до вигорання.

ІТ сфера характеризується безперервною конкуренцією, великими вимогами та неймовірно швидким темпом розвитку. В такому середовищі межа між роботою та особистим життям часто стає розмитою. Тут вигорання і стає реальним ризиком, оскільки надмірне навантаження та стрес постійно накопичуються, а час на відновлення та відпочинок постійно скорочується.

Графік продуктивності в залежності від робочого часу не є лінійним і залежить від купи факторів. Уявлення, що більша тривалість робочого дня автоматично веде до покращення ефективності є помилковим. Дослідження показують, що збільшення робочих годин часто веде до зниження продуктивності та якості роботи. Це особливо актуально для інтелектуальної праці, де концентрація та креативність важливіші за кількість відпрацьованих годин.

Професійні дослідження вказують на складну залежність продуктивності від кількості робочого часу. Одне з них підтверджує, що продуктивність різко падає після 50 годин робочого тижня та обривається після 55 годин. Не взяття хоча б одного повного вихідного веде до зниження годинної продуктивності в цілому. Також виявлено, що в розвинених промислових країнах рівень продуктивності вищий при меншій кількості робочих годин, тоді як на ринках,

що розвиваються, спостерігається нижча продуктивність працівників при збільшенні кількості робочих годин.

Інше дослідження розглядає зв'язок між робочими годинами та продуктивністю, використовуючи щоденну інформацію про робочий час і ефективність роботи групи операторів кол-центру, використовуючи змінність у цих показниках. Окрім того, дослідження показують особливість зв'язку між кількістю робочих годин, залученістю в роботу та продуктивністю праці.

#### **4.2 Організація оповіщення і зв'язку у надзвичайних ситуаціях техногенного та природного характеру**

Тема кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Магістр» присвячена системам теплопостачання «розумних міст, тому доцільно розглянути питання організації оповіщення та зв'язку у надзвичайних ситуаціях техногенного та природного характеру.

Одним із головних заходів захисту населення від надзвичайних ситуацій є його своєчасне оповіщення про небезпеку, обстановку, яка склалася внаслідок її реалізації, а також інформування про порядок і правила поведінки в умовах надзвичайної ситуації. Під час організації оповіщення і доведення інформації до населення необхідно керуватися вимогами Положення про організацію оповіщення і зв'язку у надзвичайних ситуаціях. Кожний громадянин повинен знати порядок подавання сигналу "Увага всім", діяти за ним та іншими сигналами цивільного захисту в умовах надзвичайної ситуації та особливого періоду [152].

Системи оповіщення населення мають державний, регіональний, місцевий і об'єктовий рівні. Управління системою оповіщення кожного рівня організовується безпосередньо відповідними органами повсякденного управління системи цивільного захисту. Рішення на застосування системи оповіщення приймає відповідний голова державної адміністрації. Відповідальність за організацію і практичне здійснення оповіщення несуть керівники органів виконавчої влади, місцевого самоврядування, підприємств,

установ і організацій. Система оповіщення населення передбачає спочатку, за будь-якого характеру небезпеки, включення електричних сирен, переривчастий звук яких означає єдиний сигнал небезпеки "Увага всім". Системою оповіщення будь-якого рівня є організаційно-технічне об'єднання чергових служб органів управління цивільного захисту, спеціальної апаратури управління і засобів оповіщення, а також ліній зв'язку, які забезпечують передачу команд управління і мовної інформації у надзвичайних ситуаціях.

Система оповіщення регіонального рівня є основною ланкою системи оповіщення в цілому. Саме з цього рівня планується організація централізованого оповіщення. Завданням системи оповіщення регіонального рівня є оповіщення посадових осіб і сил даного рівня, органів управління, сил місцевого і об'єктового рівнів та їх посадових осіб, а також населення, яке проживає на території, на яку поширюється дія системи оповіщення цього рівня. Інформація, яка доводиться до органів управління і посадових осіб, має оперативний характер, а до населення доводиться інформація про характер і масштаби загрози та про дії в умовах які склалися.

Системи оповіщення об'єктового рівня поділяються на локальні, які створюються на об'єктах підвищеної небезпеки, і системи оповіщення, які створюються на інших об'єктах економіки, не віднесених до потенційно небезпечних. У разі виникнення на потенційно небезпечному об'єкті аварії чи катастрофи оповіщення населення, яке проживає поблизу нього, шляхом залучення територіальної системи є дуже проблематичним. Адже в територіальній системі майже неможливо виділити необхідну ділянку, яка потрібна для оповіщення безпосередньо в зоні небезпечного об'єкта. У цьому випадку оповіщається весь район або місто. В цих умовах найбільш ефективною, є організація оповіщення населення безпосередньо черговим диспетчером об'єкта самого підприємства. Особливістю організації оповіщення у разі аварій на хімічно небезпечних об'єктах є надзвичайно жорсткі вимоги до оперативності проведення захисних заходів, оскільки перебування людей упродовж навіть декількох хвилин у зараженій хмарі може призвести до тяжких отруєнь з летальними наслідками. Зона відповідальності в локальній системі оповіщення



для техногенних небезпек становить 2,5 км. Якщо такий об'єкт побудовано за межами населеного пункту, то для приоб'єктового селища оповіщення здійснюється засобами радіовузла самого об'єкта. А, якщо об'єкт знаходиться в межах житлового масиву, застосовується система оповіщення міста.

Основним способом оповіщення населення про надзвичайні ситуації в умовах мирного та воєнного часу є передача інформації з використанням державних мереж проводового, радіо і телевізійного мовлення. Для зосередження уваги населення перед передачею інформації вмикаються сирени, виробничі гудки та інші сигнальні засоби, що буде означати подання попереджувального сигналу "Увага всім!", після якого негайно приводяться в готовність радіотрансляційні вузли, радіомовні і телевізійні станції, вмикаються мережі зовнішньої звукофікації. За сигналом населення зобов'язане увімкнути радіотрансляційні та телевізійні приймачі для прослуховування нагального повідомлення. У всіх випадках використання систем оповіщення, з увімкненням сирен, негайно доводиться до населення відповідне повідомлення засобами проводового, радіо та телевізійного мовлення. Тексти повідомлень передаються протягом 5 хвилин державною мовою і мовою, якою користується більшість населення в регіоні з припиненням іншої передачі.

### **4.3 Висновок до четвертого розділу**

В четвертому розділі кваліфікаційної роботи описано проблеми синдрому вигорання в ІТ інфраструктурі а також важливість передчасного запобігання даної проблематики. Синдром вигорання являється однією з ключових проблем в різних інфраструктурах, так як дана проблематика знижує не тільки ефективність виробництва в цілому, а й також перешкоджає подальшому емоційному розвитку працівника. В другому підрозділі описана поетапна система оповіщення громад в випадку надзвичайних ситуацій техногенного та природнього характеру. Основною задачею систем оповіщення при надзвичайних ситуаціях є запобігання небезпечних факторів для життєдіяльності людини та громади у випадку катастроф техногенного та природнього характеру.

## ВИСНОВКИ

Надійне, ефективне та постачання енергії з низькими викидами вуглецю є однією з ключових вимог «розумних міст» наступного покоління. Концепт «розумного міста» що використовує системи теплопостачання, засновані на передових інформаційних технологіях, розширює можливості традиційних енергетичних систем. Щоб досягти більшої гнучкості та масштабної інтеграції відновлюваних джерел енергії, «розумні» системи теплопостачання керують декількома енергетичними секторами, зокрема теплопостачання, кондиціонування, використання газу та електроенергії, твердопаливні системи обігріву.

В першому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Магістр»:

- Описано системи теплопостачання «розумних міст».
- Розглянуто стан та перспективи «розумних» систем теплопостачання.
- Висвітлено промисловий розвиток систем теплопостачання «розумних міст».

– Проаналізовано компоненти систем теплопостачання «розумних соціополісів».

- Досліджено характеристики «розумних» систем теплопостачання.
- Обґрунтовано сучасні дослідження в галузі систем теплопостачання.
- Сформовано задачі «розумних» систем теплопостачання.

В другому розділі кваліфікаційної роботи:

– Описано мережевий аналіз компонентів «розумних» систем теплопостачання.

– Досліджено «розумні» енергетичні системи та мережу міської енергетики.

– Подано порівняльний опис самоорганізованих мереж в системі теплопостачання «розумних громад», «розумних міст» та «розумних соціополісів».

В третьому розділі кваліфікаційної роботи:

– Описано взаємозв'язок енергетичних моделей в системах теплопостачання.

– Запропоновано топологічних опис та показники енергетичних спільнот.

– Спроектовано взаємодію теплових енергетичних спільнот.

– Протестовано функціонування теплових енергетичних самоорганізацій.

У розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» проаналізовано синдром професійного вигорання та описано способи побороти його. Описано організацію оповіщення і зв'язку у надзвичайних ситуаціях техногенного та природнього характеру.

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ**

- 1 Chen, S., Kharrazi, A., Liang, S., Fath, B., Lenzen, M., Yan, J., 2020. Advanced approaches and applications of energy footprints toward the promotion of global sustainability. *Appl. Energy* 261, 114415.
- 2 Zhu, Q., Leibowicz, B.D., 2020. Vehicle efficiency improvements, urban form, and energy use impacts. *Cities* 97, 102486.
- 3 Liu, S., Huang, S., Chi, Y., Feng, S., Li, Y., Sun, Q., 2020b. Three-level network analysis of the North American natural gas price: A multiscale perspective. *Int. Rev. Financ. Anal.* 67, 101420.
- 4 Zhao, P., Diao, J., Li, S., 2017. The influence of urban structure on individual transport energy consumption in China's growing cities. *Habitat Int.* 66, 95–105.
- 5 Gupta, M., Bandyopadhyay, K.R., Singh, S.K., 2019. Measuring effectiveness of carbon tax on Indian road passenger transport: A system dynamics approach. *Energy Econ.* 81, 341–354.
- 6 Sun, L., Wang, S., Liu, S., Yao, L., Luo, W., Shukla, A., 2018b. A complete research on the feasibility and adaptation of shared transportation in mega-cities—A case study in Beijing. *Appl. Energy* 230, 1014–1033.
- 7 Hong, B., Zhang, W., Zhou, Y., Chen, J., Xiang, Y., Mu, Y., 2018. Energy- internet-oriented microgrid energy management system architecture and its application in China. *Appl. Energy* 228, 2153–2164.
- 8 Bačeković, I., Østergaard, P.A., 2018. Local smart energy systems and cross-system integration. *Energy* 151, 812–825.
- 9 Lin, W., Jin, X., Mu, Y., Jia, H., Xu, X., Yu, X., Zhao, B., 2018. A two-stage multi- objective scheduling method for integrated community energy system. *Appl. Energy* 216, 428–441.
- 10 Wang, S.J., Moriarty, P., 2019. Energy savings from smart cities: A critical analysis. *Energy Proc.* 158, 3271–3276.
- 11 Thellufsen, J.Z., Lund, H., Sorknæs, P., Østergaard, P., Chang, M., Drysdale, D., Nielsen, S., Djørup, S., Sperling, K., 2020. Smart energy cities

in a 100% renewable energy context. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 129, 109922.

12 Sun, H., Guo, Q., Zhang, B., Wu, W., Wang, B., Shen, X., Wang, J., 2018a. Integrated energy management system: concept, design, and demonstration in China. *IEEE Electr. Mag.* 6 (2), 42–50.

13 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.

14 Sharma, M., Joshi, S., Kannan, D., Govindan, K., Singh, R., Purohit, H., 2020. Internet of things (IoT) adoption barriers of smart cities' waste management: An Indian context. *J. Clean. Prod.* 270, 122047.

15 Використання систем інтернет речей для контролю параметрів кліматичних умов житлових приміщень / Р. Золотий, Д. Батошний, Д. Стухляк, В. Наумов, В. Дерев'янка // ІМСТ, 11-12 грудня 2019 року. – Т. : ТНТУ, 2019. – С. 7. – (Математичне моделювання).

16 Ahad, M.A., Paiva, S., Tripathi, G., Feroz, N., 2020. Enabling technologies and sustainable smart cities. *Sustain. Cities Soc.* 61, 102301.

17 Hu, Y., Wang, Z., Li, X., 2020b. Impact of policies on electric vehicle diffusion: An evolutionary game of small world network analysis. *J. Clean. Prod.* 265, 121703.

18 Chang, X., Xu, Y., Gu, W., Sun, H., Chow, M.-Y., Yi, Z., 2020. Accelerated distributed hybrid stochastic/robust energy management of smart grids. *IEEE T. Ind. Inform.* 17 (8), 5335–5347.

19 Xie, S., Hu, Z., Wang, J., Chen, Y., 2020. The optimal planning of smart multi-energy systems incorporating transportation, natural gas and active distribution networks. *Appl. Energy* 269, 115006.

20 Algieri, A., Morrone, P., Perrone, D., Bova, S., Castiglione, T., 2020. Analysis of multi-source energy system for small-scale domestic applications. Integration of biodiesel, solar and wind energy. *Energy Rep.* 6, 652–659.

21 Shi, J., Li, H., Guan, J., Sun, X., Guan, Q., Liu, X., 2017. Evolutionary features of global embodied energy flow between sectors: A complex network approach. *Energy* 140, 395–405.

22 Ding, Y., Xu, Q., Yang, B., 2020. Optimal configuration of hybrid energy storage in integrated energy system. *Energy Rep.* 6, 739–744.

23 Wang, W.C., Zhang, Y., Li, Y., Liu, C.S., Han, S., 2020c. Vulnerability analysis of a natural gas pipeline network based on network flow. *Int. J. Pres. Ves. Pip.* 188, 104236.

24 Kumar, A., Sharma, S., Verma, A., 2019. Optimal sizing and multi-energy management strategy for PV-biofuel-based off-grid systems. *IET Smart Grid* 3 (1), 83–97.

25 Sudol, P., 2009. Modelling and Analysis of Hydrogen-Based Wind Energy Transmission and Storage Systems: HyLink System At Totara Valley: A Thesis Presented in Partial Fulfilment of the Requirements for the Degree of Master of Technology in Energy Management At Massey University. Massey University, Palmerston North, New Zealand, <http://hdl.handle.net/10179/786>.

26 Wu, J., Yan, J., Jia, H., Hatziargyriou, N., Djilali, N., Sun, H., 2016. Integrated energy systems. *Appl. Energy* 167, 155–157.

27 Cheng, L., Yu, T., 2018. Exploration and exploitation of new knowledge emergence to improve the collective intelligent decision-making level of web-of-cells with cyber–physical-social systems based on complex network modeling. *IEEE Access* 6, 74204–74239.

28 Вивчення стійкості до спрацювання епоксикомпозитних матеріалів / Р. З. Золотий, А. Г. Микитишин, Т. О. Маєвський, В. С. Дерев'янка // Матеріали міжнародної наукової конференції „Іван Пулюй: життя в ім'я науки та України“ (до 175-ліття від дня народження), 28-30 вересня 2020 року. – Т. : ФОП Паляниця В. А., 2020. – С. 66–67. – (Важливі аспекти практичного застосування здобутків сучасної науки і новітніх технологій).

29 Meje, K., Bokopane, L., Kusakana, K., Siti, M., 2020. Optimal power dispatch in a multisource system using fuzzy logic control. *Energy Rep.* 6, 1443–1449.

30 Song, K., Anderson, K., Lee, S.H., 2020. An energy-cyber-physical system for personalized normative messaging interventions: Identification and classification of behavioral reference groups. *Appl. Energy* 260, 114237.

31 Zhang, G., Zhang, F., Meng, K., Zhang, X., Dong, Z.Y., 2020d. A fixed-point based distributed method for energy flow calculation in multi-energy systems. *IEEE T. Sustain. Energy* 11 (4), 2567–2580.

32 Yang, W., Liu, W., Chung, C.Y., Wen, F., 2019. Coordinated planning strategy for integrated energy systems in a district energy sector. *IEEE T. Sustain. Energy* 11 (3), 1807–1819.

33 Yu, X., Xue, Y., 2016. Smart grids: A cyber-physical systems perspective. *Proc. IEEE* 104 (5), 1058–1070.

34 Zhang, D., Chan, C.C., Zhou, G.Y., 2018a. Enabling industrial internet of things (IIoT) towards an emerging smart energy system. *Glob. Energy Interconnect.* 1 (1), 39–47.

35 Li, M., Wang, Y., Jia, L., Cui, Y., 2020a. Risk propagation analysis of urban rail transit based on network model. *Alex. Eng. J.* 59 (3), 1319–1331.

36 Tabaa, M., Monteiro, F., Bensag, H., Dandache, A., 2020. Green industrial internet of things from a smart industry perspectives. *Energy Rep.* 6, 430–446.

37 Farahani, S.S., Bleeker, C., Wijk, A.van., Lukszo, Z., 2020. Hydrogen-based integrated energy and mobility system for a real-life office environment. *Appl. Energy* 264, 114695.

38 Soeiro, S., Dias, M.F., 2020. Community renewable energy: Benefits and drivers.

39 Liu, Z., Zhang, Y., Xu, W., Yang, X., Liu, Y., Jin, G., 2020e. Suitability and feasibility study on the application of groundwater source heat

pump (GWSHP) system in residential buildings for different climate zones in China. *Energy Rep.* 6, 2587–2603.

40 Talebi, B., Haghghat, F., Tuohy, P., Mirzaei, P.A., 2018. Validation of a community district energy system model using field measured data. *Energy* 144, 694–706.

41 Feng, J.C., Zeng, X.L., Yu, Z., Bian, Y., Li, W.-C., Wang, Y., 2019. Decoupling and driving forces of industrial carbon emission in a coastal city of Zhuhai, China. *Energy Rep.* 5, 1589–1602.

42 Guo M., Xia M., Chen Q. A review of regional energy internet in smart city from the perspective of energy community. *Energy Reports*. 2022. Vol. 8. P. 161–182. URL: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.11.286>.

43 Zhou, Y., Shan, Y., Liu, G., Guan, D., 2018. Emissions and low-carbon development in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area cities and their surroundings. *Appl. Energy* 228, 1683–1692.

44 Дерев'янюк В. Побудова чисельного розв'язку першої крайової задачі для рінання теплопровідності / Дерев'янюк В. // VI Міжнародна студентська науково-технічна конференція „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання“, 27-28 квітня 2023. – Т. : ТНТУ, 2023. – С. 200–201. – (Математика та статистика).

45 Mohammed, N.A., Al-Bazi, A., 2021. Management of renewable energy production and distribution planning using agent-based modelling. *Renew. Energy* 164, 509–520.

46 Moradi-Sepahvand, M., Amraee, T., 2021. Integrated expansion planning of electric energy generation, transmission, and storage for handling high shares of wind and solar power generation. *Appl. Energy* 298, 117137.

47 Meng, Y., Zhou, R., Dinçer, H., Yüksel, S., Wang, C., 2021. Analysis of inventive problem-solving capacities for renewable energy storage investments. *Energy Rep.* 7, 4779–4791.

48 Hannan, M., Al-Shetwi, A., Begum, R., Ker, P., Mansor, M., Rahman, S., Dong, Z., Tiong, S., Mahlia, T., Muttaqi, K., 2021. Impact of renewable



energy utilization and artificial intelligence in achieving sustainable development goals. *Energy Rep.* 7, 5359–5373.

49 Wu, Y., Zhang, X., Sun, H., 2021b. A multi-time-scale autonomous energy trading framework within distribution networks based on blockchain. *Appl. Energy* 287, 116560.

50 Wu, Y., Wu, Y., Guerrero, J.M., Vasquez, J.C., 2021a. A comprehensive overview of framework for developing sustainable energy internet: From things-based energy network to services-based management system. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 150, 111409.

51 Ren, H., Huang, H., Li, Q., Wu, Q., Yang, Y., 2020. Operation optimization of multi-participants in a regional energy system based on evolutionary game theory. *Energy Rep.* 6, 1041–1045.

52 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.

53 Yang, T., Guo, Q., Xu, L., Sun, H., 2021. Dynamic pricing for integrated energy- traffic systems from a cyber–physical-human perspective. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 136, 110419.

54 Hermann, A., Jensen, T.V., Østergaard, J., Kazempour, J., 2021. A complementar- ity model for electric power transmission-distribution coordination under uncertainty. *European J. Oper. Res.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2021.08.018>. 018.

55 Zhuang, W., Zhou, S., Gu, W., Chen, X., 2021. Optimized dispatching of city-scale integrated energy system considering the flexibilities of city gas gate station and line packing. *Appl. Energy* 290, 116689.

56 Jurasz, J., Canales, F., Kies, A., Guezgouz, M., Beluco, A., 2020. A review on the complementarity of renewable energy sources: Concept, metrics, application and future research directions. *Solar Energy* 195, 703–724.

57 Si, F., Wang, J., Han, Y., Zhao, Q., Han, P., Li, Y., 2018. Cost-efficient multi-energy management with flexible complementarity strategy for energy internet. *Appl. Energy* 231, 803–815.

58 Дерев'янку В. С. Спостереження та моделювання процесів теплопостачання в розумних будівлях / Дерев'янку В. С., Скалецький П. О., Кунанець Н. Е. // ІМСТТ, 13-14 грудня 2023 року. – Т. : ТНТУ, 2023. – С. 39–40. – (Інформаційні системи та технології, кібербезпека).

59 Huang, P., Lovati, M., Zhang, X., Bales, C., 2020a. A coordinated control to improve performance for a building cluster with energy storage, electric vehicles, and energy sharing considered. *Appl. Energy* 268, 114983.

60 Mehrjerdi, Y.Z., Shafiee, M., 2021. A resilient and sustainable closed-loop supply chain using multiple sourcing and information sharing strategies. *J. Clean. Prod.* 289, 125141.

61 Ableitner, L., Tiefenbeck, V., Meeuw, A., Wörner, A., Fleisch, E., Wortmann, F., 2020. User behavior in a real-world peer-to-peer electricity market. *Appl. Energy* 270, 115061.

62 Paiho, S., Kiljander, J., Sarala, R., Siikavirta, H., Kilkki, O., Bajpai, A., Duchon, M., Pahl, M.-O., Wüstrich, L., Lübben, C., 2021. Towards cross-commodity energy-sharing communities—A review of the market, regulatory, and technical situation. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 151, 111568.

63 Дерев'янку В.С., Дуда О.М., Скалецький П.О. Енергетичні системи «розумних міст» для зменшення викидів парникових газів. Ужгород, Україна: 2 Міжнародна наукова конференція «теорія модернізації в контекстісучасної світової науки». 143-144.

64 Chen, L., Liu, N., Li, C., Zhang, S., Yan, X., 2021. Peer-to-peer energy sharing with dynamic network structures. *Appl. Energy* 291, 116831.

65 Guo, J., Zhang, P., Wu, D., Liu, Z., Ge, H., Zhang, S., Yang, X., 2021. A new col- laborative optimization method for a distributed energy system combining hybrid energy storage. *Sustain. Cities Soc.* 75, 103330.

66 Patel, A.K., Selvaganesh, L., Pandey, S.K., 2021. Energy and inertia of the eccentricity matrix of coalescence of graphs. *Discrete Math.* 344 (12), 112591.

67 Imtiaz, Z.B., Manzoor, A., Islam, S.ul., Judge, M.A., Choo, K.-K.R., Rodrigues, J.J., 2021. Discovering communities from disjoint complex

networks using multi-layer ant colony optimization. *Future Gener. Comput. Syst.* 115, 659–670.

68 Dobson, S., Hutchison, D., Mauthe, A., Schaeffer-Filho, A., Smith, P., Sterbenz, J.P., 2019. Self-organization and resilience for networked systems: Design principles and open research issues. *Proc. IEEE* 107 (4), 819–834.

69 Liang, X., Ma, L., Chong, C., Li, Z., Ni, W., 2020. Development of smart energy towns in China: Concept and practices. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 119, 109507.

70 Boccaletti, S., Latora, V., Moreno, Y., Chavez, M., Hwang, D.U., 2006. Complex networks: Structure and dynamics. *Phys. Rep.* 424 (4–5), 175–308.

71 Qin, C., Wang, L., Han, Z., Zhao, J., Liu, Q., 2021. Weighted directed graph based matrix modeling of integrated energy systems. *Energy* 214, 118886.

72 Godquin, T., Barbier, M., Gaber, C., Grimault, J.L., Le Bars, J.M., 2020. Applied graph theory to security: A qualitative placement of security solutions within IoT networks. *J. Inf. Secur. Appl.* 55, 102640.

73 Ma, T., Wu, J., Hao, L., Li, D., 2019. Energy flow matrix modeling and optimal operation analysis of multi energy systems based on graph theory. *Appl. Therm. Eng.* 146, 648–663.

74 Liu, W., Li, L., Cai, W., Li, C., Li, L., Chen, X., Sutherland, J.W., 2020c. Dynamic characteristics and energy consumption modelling of machine tools based on bond graph theory. *Energy* 212, 118767.

75 Дерев'янюк В.С., Дуда О.М., Скалецкий П.О., Моделювання теплових навантажень для потреб. International scientific-practical conference “Science, education and technology: current issues of theory and practice”: conference proceedings (Tampere, Finland, February 23, 2024). Tampere, Finland: Scholarly Publisher ICSSH, 2024. 70–71 pages.

76 Han, W., Feng, Y., Qian, X., Yang, Q., Huang, C., 2020. Clusters and the entropy in opinion dynamics on complex networks. *Phys. A* 559, 125033.

77 Hu, C., He, H., Jiang, H., 2020a. Synchronization of complex-valued dynamic networks with intermittently adaptive coupling: A direct error method. *Automatica* 112, 108675.

78 Mandal, S., Mandal, K.K., 2020. Optimal energy management of microgrids under environmental constraints using chaos enhanced differential evolution. *Renew. Energy Focus* 34, 129–141.

79 Dutta, A., Bouri, E., Saeed, T., Vo, X.V., 2020. Impact of energy sector volatility on clean energy assets. *Energy* 212, 118657.

80 Zhang, X., Shan, C., Jin, Z., Zhu, H., 2019. Complex dynamics of epidemic models on adaptive networks. *J. Differential Equations* 266 (1), 803–832.

81 Zhang, T., Tan, Q., Yu, X., Zhang, S., 2020a. Synergy assessment and optimization for water-energy-food nexus: Modeling and application. *Renew. Sustain. Energ Rev.* 134, 110059.

82 Liu, S., Fang, W., Gao, X., Wang, Z., An, F., Wen, S., 2020a. Self-similar behaviors in the crude oil market. *Energy* 211, 118682.

83 Cui, S., Xiao, J.W., 2020. Game-based peer-to-peer energy sharing management for a community of energy buildings. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* 123, 106204.

84 Derevianko V.S., Duda O.M., Skaletskyi P.O. Development of heat supply systems, information and communication technologies. International conference 2021 - II International Scientific and Practical Conference «Ricerche scientifiche e metodi della loro realizzazione: esperienza mondiale e realtà domestiche» 131-132.

85 Liu, Q., Guo, P., Lei, Y., Feng, Y., 2017. Research on foreign capital R & D ecosystem in China based on dissipative structure theory. In: 2017 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, IEEM, Singapore.

86 Lazarević, M.P., 2015. Elements of mathematical phenomenology of self- organization nonlinear dynamical systems: Synergetics and fractional calculus approach. *Int. J. Non-Linear Mech.* 73, 31–42.

87 Kenari, M.T., Sepasian, M.S., Nazar, M.S.J.I.G., Distribution, Transmission, 2019. Probabilistic assessment of static voltage stability in distribution systems considering wind generation using catastrophe theory. *IET Gener. Transm. Dis.* 13 (13), 2856–2865.

88 Bratus, A.S., Drozhzhin, S., Yakushkina, T., 2018. On the evolution of hypercycles. *Math. Biosci.* 306, 119–125.

89 Lv, K., Wang, F., Che, J., Wang, W., Zhen, Z., 2019. A novel solar irradiance forecast model using complex network analysis and classification modeling. In: 2019 IEEE Innovative Smart Grid Technologies-Asia, ISGT Asia, Chengdu, China.

90 Wang, W., Li, Z., Cheng, X., 2019. Evolution of the global coal trade network: A complex network analysis. *Resour. Pol.* 62, 496–506.

91 Zhang, M., Wang, J., Li, S., Feng, D., Cao, E., 2020b. Dynamic changes in landscape pattern in a large-scale opencast coal mine area from 1986 to 2015: A complex network approach. *CATENA* 194, 104738.

92 Ji, X., Wang, B., Liu, D., Dong, Z., Chen, G., Zhu, Z., Zhu, X., Wang, X., 2016. Will electrical cyber–physical interdependent networks undergo first-order transition under random attacks? *Phys. A* 460, 235–245.

93 Dong, G., Qing, T., Du, R., Wang, C., Li, R., Wang, M., Tian, L., Chen, L., Vilela, A.L., Stanley, H.E., 2020. Complex network approach for the structural optimization of global crude oil trade system. *J. Clean. Prod.* 251, 119366.

94 Liu, L., Senjyu, T., Kato, T., Howlader, A.M., Mandal, P., Lotfy, M.E., 2020d. Load frequency control for renewable energy sources for isolated power system by introducing large scale PV and storage battery. *Energy Rep.* 6, 1597–1603.

95 Su, M., Zhang, M., Chen, B., Hao, Y., Zhang, Y., Liu, G., 2017. Assessment and regulation of urban crude oil supply security: A network perspective. *J. Clean. Prod.* 165, 93–102.

96 Vaccariello, E., Leone, P., Canavero, F.G., Stievano, I.S., 2021. Topological modelling of gas networks for co-simulation applications in multi-energy systems. *Math. Comput. Simulate* 183, 244–253.

97 Geng, J.B., Ji, Q., Fan, Y., 2014. A dynamic analysis on global natural gas trade network. *Appl. Energy* 132, 23–33.

98 Liu, J., Shi, B., 2012. Towards understanding the robustness of energy distribution networks based on macroscopic and microscopic evaluations. *Energy Pol.* 49, 318–327.

99 Zhang, J., Wang, Z., Liu, P., Zhang, Z., 2020c. Energy consumption analysis and prediction of electric vehicles based on real-world driving data. *Appl. Energy* 275, 115408.

100 Huang, H.J., Xia, T., Tian, Q., Liu, T.L., Wang, C.L., Li, D., 2020b. Transportation issues in developing China's urban agglomerations. *Transp. Pol.* 85, A1–A22.

101 Charakopoulos, A., Karakasidis, T., 2019. Pattern identification for wind power forecasting via complex network and recurrence plot time series analysis. *Energy Pol.* 133, 110934.

102 Du, F., Zhang, J., Li, H., Yan, J., Galloway, S., Lo, K.L., 2016. Modelling the impact of social network on energy savings. *Appl. Energy* 178, 56–65.

103 Sun, Y., Tang, X., 2014. Cascading failure analysis of power flow on wind power based on complex network theory. *J. Mod. Power Syst. Clean Energy* 2 (4), 411–421.

104 Ma, J., Zeng, M., Wu, Y., Zhao, C., Meng, Q., 2018. Multiscale complex network for analyzing the wind field from different heights and seasons. In: 2018 13th World Congress on Intelligent Control and Automation, WCICA, Changsha, China..

105 Cheng, L., Yu, T., Zhang, X., Yang, B., 2018. Parallel cyber–physical-social systems based smart energy robotic dispatcher and knowledge automation: Concepts, architectures, and challenges. *IEEE Intel. Syst.* 34 (2), 54–64.

106 Tsolas, S.D., Karim, M.N., Hasan, M.F., 2018. Optimization of water-energy nexus: a network representation-based graphical approach. *Appl. Energy* 224, 230–250.

107 Fang, D., Chen, B., 2017. Linkage analysis for the water–energy nexus of city. *Appl. Energy* 189, 770–779.

108 Geng, J.B., Du, Y.J., Ji, Q., Zhang, D., 2021. Modeling return and volatility spillover networks of global new energy companies. *Renew. Sustain. Energ Rev.* 135, 110214.

109 Dassisti, M., Carnimeo, L., 2013. A small-world methodology of analysis of interchange energy-networks: The European behaviour in the economical crisis. *Energy Pol.* 63, 887–899.

110 De Durana, J.M.G., Barambones, O., Kremers, E., Varga, L., 2014. Agent based modeling of energy networks. *Energy Convers. Manag.* 82, 308–319.

111 Hong, J., Tang, M., Wu, Z., Miao, Z., Shen, G.Q., 2019. The evolution of patterns within embodied energy flows in the Chinese economy: A multi-regional-based complex network approach. *Sustain. Cities Soc.* 47, 101500.

112 Fichera, A., Frasca, M., Palermo, V., Volpe, R., 2016. Application of the complex network theory in urban environments. a case study in Catania. *Energy Proc.* 101, 345–351.

113 Jogwar, S.S., Rangarajan, S., Daoutidis, P., 2011. Multi-time scale dynamics in energy-integrated networks: A graph theoretic analysis. *IFAC Proc.*

114 Hao, X., An, H., Hai, Qi., 2014. Evolution of fossil energy international trade pattern based on complex network. *Energy Proc.* 61, 476–479.

115 Beyza, J., Ruiz-Paredes, H.F., Garcia-Paricio, E., Yusta, J.M., 2020. Assessing the criticality of interdependent power and gas systems using complex networks and load flow techniques. *Phys. A* 540, 123169.

116 Bodnarchuk I., Duda O., Kharchenko A., Kunanets N., Matsiuk O., Pasichnyk V. Choice method of analytical information-technology platform for projects associated to the smart city class. *ICTERI 2020 ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer Proceedings of the 14th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer. Volume I: Main Conference* p.317-330.

117 Wang, Y., Lin, Z., Liang, X., Xu, W., Yang, Q., Yan, G., 2016. On modeling of electrical cyber–physical systems considering cyber security. *Front. Inf. Technol. Elec. Eng.* 17 (5), 465–478. <http://dx.doi.org/10.1631/FITEE.1500446>.

118 Xin, S., Guo, Q., Sun, H., Chen, C., Wang, J., Zhang, B., 2017. Information–energy flow computation and cyber–physical sensitivity analysis for power systems. *IEEE J. Emerg. Sel. Top. Circuits Syst.* 7 (2), 329–341.

119 Ji, Q., Zhang, H.Y., Fan, Y., 2014. Identification of global oil trade patterns: An empirical research based on complex network theory. *Energy Convers. Manag.* 85, 856–865.

120 Srivastava, A.K., Ernster, T.A., Liu, R., Krishnan, V.G., 2018. Graph-theoretic algorithms for cyber–physical vulnerability analysis of power grid with incomplete information. *J. Mod. Power Syst. Clean Energy* 6 (5), 887–899.

121 Wei, X., Gao, S., Huang, T., Wang, T., Zang, T., 2019. Electrical network operational vulnerability evaluation based on small-world and scale-free properties. *IEEE Access* 7, 181072-181082.

122 Parandehgheibi, M., Modiano, E., Hay, D., 2014. Mitigating cascading failures in interdependent power grids and communication networks. In: 2014 IEEE



123 Huang, Z., Wang, C., Ruj, S., Stojmenovic, M., Nayak, A., 2013. Modeling cascading failures in smart power grid using interdependent complex networks and percolation theory. In: 2013 IEEE 8th Conference on Industrial Electronics and Applications, ICIEA, Melbourne, VIC, Australia.

124 Wei, X., Gao, S., Zang, T., Huang, T., Wang, T., Li, D., 2018. Social energy internet: concept, architecture and outlook. *Proc. CSEE* 38 (17), 4969–4986, 5295.

125 Xue, Y., Yu, X., 2017. Beyond smart grid—Cyber–physical–social system in energy future [point of view]. *Proc. IEEE* 105 (12), 2290–2292.

126 Wong, C.M.L., 2016. Assembling interdisciplinary energy research through an actor network theory (ANT) frame. *Energy Res. Soc. Sci.* 12, 106–110.

127 Jain, S., Sinha, A., 2019. Social network sustainability for transport planning with complex interconnections. *Sustain. Comput. Inform. Syst.* 24, 100351.

128 Li, H., An, H., Fang, W., Wang, Y., Zhong, W., Yan, L., 2017. Global energy investment structure from the energy stock market perspective based on a Heterogeneous Complex Network Model. *Appl. Energy* 194, 648–657.

129 Hao, X., An, H., Qi, H., Gao, X., 2016. Evolution of the exergy flow network embodied in the global fossil energy trade: Based on complex network. *Appl. Energy* 162, 1515–1522.

130 Tang, M., Hong, J., Liu, G., Shen, G.Q., 2019. Exploring energy flows embodied in China's economy from the regional and sectoral perspectives via combination of multi-regional input–output analysis and a complex network approach. *Energy* 170, 1191–1201.

131 Fang, Y., Wei, W., Mei, S., Chen, L., Zhang, X., Huang, S., 2020. Promoting electric vehicle charging infrastructure considering policy incentives and user preferences: An evolutionary game model in a small-world network. *J. Clean. Prod.* 258, 120753.

132 Chu, C.C., Iu, H.H.C., 2017. Complex networks theory for modern smart grid applications: A survey. *IEEE J. Emerg. Sel. Top. Circuits Syst.* 7 (2), 177–191.

133 Suciu, R., Girardin, L., Maréchal, F., 2018. Energy integration of CO<sub>2</sub> networks and power to gas for emerging energy autonomous cities in Europe. *Energy* 157, 830–842.

134 Beck, J., Kempener, R., Cohen, B., Petrie, J., 2008. A complex systems approach to planning, optimization and decision making for energy networks. *Energy Pol.* 36 (8), 2795–2805.

135 Wu, T., Liu, S., Ni, M., Zhao, Y., Shen, P., Rafique, S.F., 2018. Model design and structure research for integration system of energy, information and transportation networks based on ANP-fuzzy comprehensive evaluation. *Glob. Energy Interconnect.* 1 (2), 137–144.

136 Zhao, Y., Liu, S., Lin, Z., Yang, L., Gao, Q., Chen, Y., 2020. Identification of critical lines for enhancing disaster resilience of power systems with renewables based on complex network theory. *IET Gener. Transm. Dis.* 14 (20), 4459–4467.

137 Fichera, A., Frasca, M., Volpe, R., 2017. Complex networks for the integration of distributed energy systems in urban areas. *Appl. Energy* 193, 336–345.

138 Zeng, M., Zhao, M., Meng, Q., Wang, J., 2016. Community structure detection in complex networks for characterizing atmospheric boundary-layer wind speed time series. In: 2016 12th World Congress on Intelligent Control and Automation, WCICA, Guilin, China.

139 Volpe, R., 2015. Urban energy mapping through the implementation on complex networks. *Energy Proc.* 82, 863–869.

140 Palomo-Navarro, A., Navío-Marco, J., 2018. Smart city networks' governance: The spanish smart city network case study. *Telecommun. Pol.* 42 (10), 872–880.

141 Marull, J., Font, C., Boix, R., 2015. Modelling urban networks at mega-regional scale: Are increasingly complex urban systems sustainable? *Land Use Pol.* 43, 15–27.

142 Hetti, R.K., Karunathilake, H., Chhipi-Shrestha, G., Sadiq, R., Hewage, K., 2020. Prospects of integrating carbon capturing into community scale energy systems. *Renew. Sustain. Energ Rev.* 133, 110193.

143 Zhou, B., Meng, Y., Huang, W., Wang, H., Deng, L., Huang, S., Wei, J., 2021a. Multi-energy net load forecasting for integrated local energy systems with heterogeneous prosumers. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* 126, 106542.

144 Su, W., Huang, A.Q., 2014. A game theoretic framework for a next-generation retail electricity market with high penetration of distributed residential electricity suppliers. *Appl. Energy* 119, 341–350.

145 Zhang, N., Sun, Q., Yang, L., 2021. A two-stage multi-objective optimal scheduling in the integrated energy system with We-Energy modeling. *Energy* 215, 119121.

146 Derevianko V.S., Duda O.M., Skaletskyi P.O., Information technology projects of "smart" systems of centralized heat supply. *Світ наукових досліджень. Випуск 29: матеріали Міжнародної мультидисциплінарної наукової інтернет-конференції (м. Тернопіль, Україна, м. Ополе, Польща, 23-24 квітня 2024 р.) / за ред. : О. Патряк та ін. ГО "Наукова спільнота", WSZIA w Opolu. Тернопіль: ФО- ПШПак В.Б. 2024. 170-171 с.*

147 Saurabh, S., Madria, S., Mondal, A., Sairam, A.S., Mishra, S., 2020. An analytical model for information gathering and propagation in social networks using random graphs. *Data Knowl. Eng.* 129, 101852.

148 Waldorp, L., Kossakowski, J., 2020. Mean field dynamics of stochastic cellular automata for random and small-world graphs. *J. Math. Psychol.* 97, 102380.

149 Li, L., Zheng, Y., Zheng, S., Ke, H., 2020b. The new smart city programme: Evaluating the effect of the internet of energy on air quality in China. *Sci. Total Environ.* 714, 136380.

150 Zhu, W., Milanović, J.V., 2021. Assessment of the robustness of cyber–physical systems using small-worldness of weighted complex networks. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* 125, 106486.

151 Li, G., Chen, X., Tang, P., Xiao, G., Wen, C., Shi, L., 2019a. Target control of directed networks based on network flow problems. *IEEE T. Contr. Netw. Syst.* 7 (2), 673–685.

152 Голінько, В. І., М. Ю. Іконніков, and Я. Я. Лебедев. "Охорона праці в галузі інформаційних технологій." (2015).

153 Bulakh V. P. СИНДРОМ ПРОФЕСІЙНОГО ВИГОРАННЯ ЯК СКЛАДНИЙ ПСИХОФІЗІОЛОГІЧНИЙ ФЕНОМЕН. *Медсестринство.* 2016. № 4.

# ДОДАТКИ

**Тези конференцій**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ**

**МАТЕРІАЛИ**

**VII НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ**

**«ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ,  
СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»**



**11–12 грудня 2019 року**

**ТЕРНОПІЛЬ  
2019**

УДК 004.67

**Р. Золотий, Д. Батошний, Д. Стухляк, В. Наумов, В. Дерев'янюк**  
(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя)

### **ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ КЛІМАТИЧНИХ УМОВ ЖИТЛОВИХ ПРИМІЩЕНЬ**

UDC 004.67

**R. Zoloty, D. Batozhnyi, D. Stukhliak, V. Naumov, V. Derevianko**  
(Ternopil I.Pulyu National Technical University, Ukraine)

### **USING INTERNET OF THINGS SYSTEMS FOR CONTROLLING CLIMATE CONDITIONS OF ROOMS**

На сучасному етапі розвитку науки і техніки популярним є використання засобів автоматизації для контролю мікроклімату в приміщеннях. При цьому актуальним є вивчення методів управління засобами автоматичного контролю на основі аналізу даних роботи системи протягом тривалого періоду. Це дозволяє розробляти системи які зможуть адаптуватися до зовнішнього середовища проводити адекватний контроль та управління об'єктом залежно від зовнішніх умов та збурень. Це у свою чергу дозволяє більш ефективно використовувати енергоресурси та економити енергоносії.

Зокрема це стосується систем автоматизованого збору інформації про мікроклімат житлових приміщень. На даний момент такі системи вигідно організувати у вигляді програмованих логічних контролерів до яких під'єднані датчики збір даних використовується з використанням механізму інтернет речей використання таких технологій надає можливість простота реалізації подібних систем та зниженої їхньої вартості це обумовлено тим що ціни на мікроконтролер системи значно знизилися з використанням таких екземплярів як Arduino esp8266 та інших аналогів при цьому досить зручним є з'єднання таких мікроконтролерів з використанням протоколу MQTT.

На даний момент MQTT є передовим і найбільш популярним протоколом передачі даних між окремими пристроями в рамках систем «Розумного будинку». Він має низку переваг по відношенню до інших протоколів:

- низьке споживання трафіку;
- з'єднання між клієнтом і сервером завжди відкрито;
- не навантажує інтернет канал;
- відсутність затримок у передачі даних;
- зручна система підписок на топіки;

Все це дає можливість моніторингу і управління в режимі реального часу. Однак MQTT вимагає наявності свого власного сервера, який виконує роль посередника між клієнтами мережі. Тут є два виходи або створювати свій сервер або використовувати сторонні сервіси.

Описувана система управління складається з двох основних частин: сервера MQTT (він як правило один) і клієнтів, яких може бути досить багато. У нашому випадку в якості клієнтів будуть виступати додаток на Android і сам модуль esp8266.

Алгоритм роботи системи наступний. Клієнти підключаються до сервера і відразу після підключення кожен з них здійснює підписку на і цікавлять його топіки. Все спілкування між клієнтами проходить транзитом через сервер, який перенаправляє дані іншим клієнтам з урахуванням їх підписок.

#### **Література.**

1. А.Г. Микитишин, М.М. Митник, П.Д. Стухляк, В.В. Пасічник Комп'ютерні мережі. Книга 1. [навчальний посібник] (Лист МОНУ №1/11-8052 від 28.05.12р.) - Львів, «Магнолія 2006», 2013. – 256 с.
2. <https://habr.com/ru/post/393277/>

## ЗМІСТ

## СЕКЦІЯ 1. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

<b>В. Баліхін, Н. Карпович</b> ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ СФІГМОГРАФІЧНОГО СИГНАЛУ	3
<b>О. Вітровий, Н. Шинкарик</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВІДХИЛЕНЬ НЕСУЧОЇ ПЛАТФОРМИ НА ЗМІЩЕННЯ ДІАГРАМИ НАПРАВЛЕНОСТІ АНТЕНИ	4
<b>Ю. Гладь, Б. Хоміцький</b> РОЗРАХУНОК ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПРИ ПУСКУ ШНЕКОВОГО ТРАНСПОРТЕРА ІЗ ЗАПОБІЖНОЮ МУФТО	5
<b>С. Дячук, М. Михайлишин</b> ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ З МІНІМАЛЬНОЮ ЕНЕРГІЄЮ	6
<b>Р. Золотий, Д. Батожний, Д. Стухляк, В. Наумов, В. Дерев'яно</b> ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ КЛІМАТИЧНИХ УМОВ ЖИТЛОВИХ ПРИМІЩЕНЬ	7
<b>А. Іскра, Р. Небожук, Л. Дедів</b> МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ПЕРІОДУ ОСНОВНОГО ТОНУ ГОЛОСОВИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ МЕДИЧНИХ ДІАГНОСТИЧНИХ СИСТЕМ	8
<b>В. Каретін, А. Курко, М. Михайлишин</b> АВТОМАТИЗОВАНИЙ ОБРОБІТОК ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ В СЕРЕДОВИЩІ EXEL	9
<b>В. Косик</b> ОПРАЦЮВАННЯ ЕЛЕКТРОКАРДІОСИГНАЛУ МЕТОДОМ СТАЦІОНАРНИХ КОМПОНЕНТІВ	10
<b>Т. Лечаченко</b> МОДЕЛЬ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ СТУДЕНТА В СИСТЕМІ ДУАЛЬНОЇ ОСВІТИ	11
<b>Н. Лещук</b> МЕТОДИ МОНІТОРИНГУ ПОЛОЖЕННЯ ШТУЧНИХ СУПУТНИКІВ ЗЕМЛІ	12
<b>М. Махніцький</b> ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ РИТМІЧНИХ БІОСИГНАЛІВ	13
<b>М. Михайлишин, В. Михайлишин</b> ОПТИМІЗАЦІЯ ІНДУКЦІЙНОГО НАГРІВУ ЦИЛІНДРИЧНИХ ОБОЛОНОК	14
<b>Г. Семеншин, Н. Гацин</b> ОЦІНКА ЕКОНОМІЇ ЕНЕРГІЇ ПРИ ТЕРМІЧНОМУ З'ЄДНАН	15
<b>І. Форись, А. Луцків</b> МАТЕМАТИЧНЕ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ТРАНСПОРТНИМ ЗАСОБОМ	16
<b>І. Чихіра, А. Микитшин, П. Стухляк</b> ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЛОГІЧНОЇ ТА ФІЗИЧНОЇ ЦІЛІСНОСТІ БАЗ ДАНИХ	17
<b>С. Шиндін, А. Згуровський</b> ОЦІНЮВАННЯ РОЗБІРЛИВОСТІ МОВИ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ	18



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
Національна академія наук України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя  
Західний науковий центр НАН України і МОН України  
Тернопільська державна обласна адміністрація  
Тернопільська обласна рада  
Тернопільська міська рада  
Наукове товариство імені Шевченка  
Віденський університет (Австрія)  
Чеський технічний університет (Чехія)  
Університет імені П'єра і Марії Кюрі Сорбона Париж (Франція)  
Університет прикладних наук Шмалькайдена (Німеччина)  
Технічний університет у Кошице (Словаччина)  
Опольський технологічний університет (Польща)  
Науково-технічне товариство (Тернопіль)

**Матеріали міжнародної наукової конференції  
«ІВАН ПУЛЮЙ: ЖИТТЯ В ІМ'Я НАУКИ ТА  
УКРАЇНИ»**

*(до 175-ліття від дня народження)*

**28–30 вересня 2020 року**



**ТЕРНОПІЛЬ, 2020**

УДК 004.853

Р.З. Золотий, канд. техн. наук, А.Г. Микитишин, канд. техн. наук, доц.,

Т.О. Масевський, В.С. Дерев'яно

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

### ВИВЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ДО СПРАЦЮВАННЯ ЕПОКСИКОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ

R. Zoloty, Ph.D., Assoc. Prof., A. Mikitishin, Assoc. Prof., T. Mayevs'kyu,

V. Derevlyanko

### STUDY OF RESISTANCE TO THE WORK OF EPOXY COMPOSITE MATERIALS

Відомо [1], що необхідною умовою покращення експлуатаційних характеристик КМ на епоксидній основі є вивчення механізму їх формування під впливом зовнішніх факторів. Одним із факторів, що значно знижує експлуатаційну надійність КМ є накопичення тріщин та дефектів у поверхневих шарах в результаті спрацювання, в тому числі і гідроабразивного. Однак, відсутність даних про природу, основні закономірності гідроабразивного зношування, характер зміни зносостійкості покриттів при зміні режимів впливу абразивного потоку стримує широке використання цих матеріалів.

У зв'язку з цим, було досліджено вплив концентрації та способу модифікування твердої поверхні дисперсних часток на стійкість до спрацювання (табл. 1) композитних матеріалів (КМ).

Таблиця 1

Вплив способу модифікування і вмісту наповнювача та кута гідроабразивного потоку на відносну стійкість до спрацювання КМ (по відношенні до матриці)

Наповнювач	Концентрація наповнювача q, мас.ч	Відносна стійкість до спрацювання $\epsilon$ , %							
		Кут атаки, град							
		30		45		60		90	
		M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
Червоний шлам	10	–	0	–	25	–	25,9	–	20
	20	33,3	22,2	31,25	25	48,15	51,9	10,2	30,8
	40	5,6	–	-6,25	–	7,4	–	-53	–
	60	-11	–	-25	–	18,5	–	-15,2	–
	80	-11,1	–	-25	–	11,1	–	-69	–
Карбід бору	10	–	44,4	–	50	–	63	–	-30,7
	20	16,7	55,6	22,8	50	85,2	55,6	18	20
	40	83,8	–	50	–	70,4	–	-31	–
	60	-16,7	–	18,8	–	63	–	-61,5	–
	80	27,8	–	12,5	–	63	–	-77	–
Графіт	10	–	72,2	–	50	–	63	–	10,5
	20	44,4	–	25	–	48,2	–	61,5	–
	40	-22,2	–	-84,2	–	-14,8	–	-46,2	–

Колективом авторів [2,3] запропоновано два випадки взаємодії абразиву з матеріалом, а саме удар при прямому куті атаки ( $\alpha=90^\circ$ ) і косий удар ( $0<\alpha<90^\circ$ ). Встановлено, що на поверхні зношування при прямому куті атаки може виникати пружна або пластична деформація, крихке руйнування, відділення матеріалу у вигляді лусочок, що залежить від маси часток, швидкості атаки, різальних властивостей абразиву і фізико-механічних характеристик КМ. При косому ударі визначальним фактором, що впливає на пошкодження поверхні, є дотична складова імпульсу та опір матеріалу до впливу дотичних навантажень. Залежно від співвідношення твердостей абразиву і поверхні КМ швидкість зношування зменшується зі збільшенням кута атаки до прямого, а згодом стає постійною або, навпаки, швидкість зношування може зростати і досягати максимуму при деякому куті атаки, а потім зменшуватись.

Аналіз залежностей інтенсивності спрацювання досліджуваних КМ від кута атаки гідроабразивної суміші дозволяє стверджувати, що в усіх, без винятку, зразках зносостійкість зменшується при косому ударі ( $0<\alpha<90^\circ$ ) часток абразиву. Мінімальну інтенсивність спрацювання КМ спостерігали при куті атаки гідроабразивної суміші  $\alpha=30^\circ$ , де вирішальне значення у мікроруйнуванні мають дотичні напруження (рис.1).

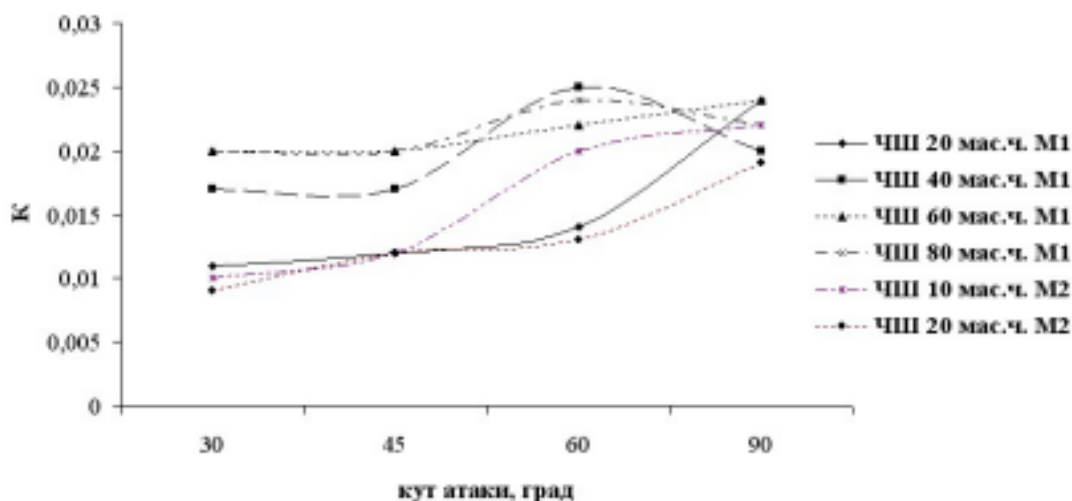


Рис. 1. Вплив концентрації наповнювача червоного шламу та способу модифікування поверхні часток на інтенсивність спрацювання

В деяких випадках найменшими показниками зносостійкості характеризуються КМ при куті атаки суміші  $\alpha=60^\circ$ . Це можна пояснити виникненням на поверхні КМ водночас дотичних напружень, які спричиняють мікро- і макрорізання матеріалу, та нормальних напружень, які призводять до пластичних деформацій поверхневого шару. При куті атаки гідроабразивної суміші  $\alpha=90^\circ$  спостерігали підвищення показників зносостійкості епоксикомпозитів порівняно з КМ, які досліджували при куті атаки  $\alpha=60^\circ$ . Підвищення зносостійкості КМ у цьому випадку можна пояснити впливом лише нормальної складової зовнішніх сил, внаслідок чого на поверхні матеріалів виникають пружні, а потім пластичні деформації.

#### Література.

1. Сухарева Л.А. Долговечность полимерных покрытий.- М.: Химия, 1984.- 368с.
2. Трибология: підруч./ М.В.Кіндрачук, В.Ф.Лабунець, М.І.Пашечко, Є.В.Корбут.-К.: В-во Нац. авіац. ун-ту "НАУ-друк".-2009.-392с.
3. Богданович П.Н. Особенности изнашивания эпоксидных полимеров // П.Н.Богданович // Трение и износ.-1988.-Т.9, №6.-С.1000-1006.



**Секція: ВАЖЛИВІ АСПЕКТИ ПРАКТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ  
ЗДОБУТКІВ СУЧАСНОЇ НАУКИ І НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ..... 50**

<b>В.Л. Алексєнко., А.В. Букетов, В.Г. Кулініч, С.А. Сметанкін, В.В. Соценко, К.Ю. Юренін .....</b>	<b>50</b>
ВПЛИВ БЕТОНУ НА РОБОТУ РОЗТЯГНУТОЇ АРМАТУРИ ПРИ ЗАГАЛЬНОМУ ЗГІНІ КОМПОЗИТНОГО ДОКА .....	50
<b>В.О. Бондар, О.П. Конончук, канд. тех. наук, доц. ....</b>	<b>52</b>
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НА МІЦНІСТЬ БЕТОНУ ПЛАСТИФІКАТОРІВ, ЩО СПОВІЛЬНЮЮТЬ ТУЖАВІННЯ .....	52
<b>А.В. Букетов, д-р. техн. наук, проф., Т.В. Чернявська, Д.В. Житник, М.В. Танська, канд. техн. наук, доцент.....</b>	<b>54</b>
КОРОЗІЙНА СТІЙКІСТЬ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТНИХ ПОКРИТТІВ У АГРЕСИВНИХ СЕРЕДОВИЩАХ .....	54
<b>Т. М. Вітєнько, д-р. техн. наук., проф., Н. М. Зварич, канд. техн. наук, доц., В.В. Лазарюк, канд. техн. наук, доц., О.М. Пилипець, канд. техн. наук, доц., Р.І Комаревич.....</b>	<b>56</b>
АЛЬТЕРНАТИВНИЙ ШЛЯХ ПЕРЕРОБКИ ПЛАСТИКОВОЇ УПАКОВКИ ДЛЯ НАПОЇВ .....	56
<b>С.М. Данильченко, Н.Ю. Черномаз .....</b>	<b>57</b>
МОДЕРНІЗАЦІЯ БАЛКОНІВ ПІД ЧАС РЕКОНСТРУКЦІЇ БУДІВЛІ .....	57
<b>В. Д. Дідух, канд. фіз.-мат. наук, доц., Ю.А. Рудяк, д-р. техн. наук, доц., О.А. Багрій-Заяць, канд. техн. наук, доц. ....</b>	<b>58</b>
X - ВИПРОМІНЮВАННЯ І КОМП'ЮТЕРНА ТОМОГРАФІЯ .....	58
<b>Д.В.Дмитрів, канд. техн. наук, доц., О.Р. Дмитрів, канд. техн. наук, доц., Н.М. Гарматій, канд. екон. наук, доц., С.В. Гарматій.....</b>	<b>60</b>
МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ПРЯМИХ ІНВЕСТИЦІЙ В УКРАЇНУ НА ДОХІД НАСЕЛЕННЯ .....	60
<b>І.Г. Добротвор, д-р. техн. наук, доц.....</b>	<b>62</b>
ПРОГНОЗУВАННЯ ЧАСОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК МДЖФАЗНИХ СТРУКТУР ЕПОКСИДНИХ КОМПОЗИТІВ.....	62
<b>А. О. Дубчак, Я.В. Литвиненко, д-р. техн. наук, проф. ....</b>	<b>64</b>
НАПРЯМКИ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В СУЧАСНИХ УМОВАХ .....	64
<b>Р.З. Золотий, канд. техн. наук, А.Г. Микитишин, канд. техн. наук, доц., Т.О. Масєвський, В.С. Дерев'яно .....</b>	<b>66</b>
ВИВЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ДО СПРАЦЮВАННЯ ЕПОКСИКОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ .....	66
<b>Р.М. Карабін, Я.В. Литвиненко, д-р. техн. наук, проф.....</b>	<b>68</b>
ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ.....	68

Міністерство освіти і науки України,  
 Тернопільський національний технічний університет  
 імені Івана Пулюя  
 Маріборський університет (Словенія)  
 Технічний університет в Кошице (Словаччина)  
 Каунаський технологічний університет (Литва)  
 Львівський національний університет  
 імені Івана Франка,  
 Гірничо-металургійна академія ім. Станіслава Сташиця (Польща)  
 Луцький національний технічний університет,  
 Чернівецький національний університет  
 імені Юрія Федьковича,  
 Вроцлавський економічний університет (Польща)  
 Університет технологій та економіки  
 імені Хелени Ходковської (Польща)  
 Донбаська державна машинобудівна академія



*Студентське наукове  
товариство*



**VI МІЖНАРОДНА**  
**студентська науково - технічна конференція**  
**"ПРИРОДНИЧІ ТА ГУМАНІТАРНІ**  
**НАУКИ.**

**АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ"**

27-28 квітня 2023 р.

*(збірник тез конференції)*

*Тернопіль 2023*

Секція:

Математика та статистика

УДК 517.9

Дерев'яно В. – ст. гр. СНім-51

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

### ПОБУДОВА ЧИСЕЛЬНОГО РОЗВ'ЯЗКУ ПЕРШОЇ КРАЙОВОЇ ЗАДАЧІ ДЛЯ РІВНЯННЯ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ

Науковий керівник: к.ф.-м.н., доц. Габрусев Г. В.

Derevianko V.

Ternopil Ivan Puluj National Technical University

### NUMERICAL SOLUTION OF THE FIRST BOUNDARY VALUE PROBLEM FOR THE HEAT EQUATION

Supervisor: Habrusiev H. V.

**Ключові слова:** рівняння теплопровідності, стержень, апроксимація, рівняння гіперболічного типу.

**Keywords:** heat equation, rod, approximation, hyperbolic partial differential equation

Розглянемо задачу про розподіл тепла в однорідному стержні довжиною 1, на кінцях якого підтримуються стала температура  $t_1 = 10$  та  $t_2 = 20$ , а функція

$$f(x) = \begin{cases} 10 - 20x, & 0 \leq x \leq 0.5, \\ 40x - 20, & 0.5 \leq x \leq 1; \end{cases}$$

Описує розподіл температури всередині стержня у початковий момент часу  $t = 0$ .

Як відомо, процес теплообміну стержня описується рівнянням параболічного типу [1]. Отже в математичному плані одержуємо наступну крайову задачу

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, \quad 0 \leq x \leq 1, \quad 0 \leq t \leq T,$$

із початковою умовою

$$u(x, 0) = f(x), \quad 0 \leq x \leq 1$$

та граничними умовами

$$u(0, t) = 10, \quad u(1, t) = 20 \quad 0 \leq t \leq T.$$

Розв'язок задачі будемо проводити наближено із застосування системи комп'ютерної алгебри Mathcad [2].

Для розв'язання поставленої задачі в області виберемо крок розбиття по осі  $x$   $h = 0.1$ , а крок розбиття часового інтервалу  $\tau = 0.02$ . Для прикладу виберемо сітку розміром  $10 \times 60$ . На рисунку 1 зображено основні блоки програми. Функція  $pr(n, \tau, h, u, y1, j)$  реалізує метод прогонки, тобто розв'язуючи СЛАР обчислює значення функції  $u(x, t)$  певного часового шару на основі даних попереднього (масив значень  $y1$ ). Функція  $ж P(m1, n, \tau, h, u, f)$  дозволяє розв'язати поставлену задачу шляхом циклічного виклику функції  $pr(n, \tau, h, u, y1, j)$ .

У результаті виконання програми  $P(m1, n, \tau, h, u, f)$  ми одержуємо значення шуканої функції  $u(x, t)$  та будуємо її у вигляді поверхні та ліній рівня (рисунк 2).

```

pr(n, \tau, h, u, y1, j) :=
  \alpha_1 \leftarrow 0
  \beta_1 \leftarrow u_{0,j}
  \gamma \leftarrow \frac{\tau}{h^2}
  for i \in 1, 2.. n
    \alpha_{i+1} \leftarrow \frac{\gamma}{(1 + 2 \cdot \gamma - \gamma \cdot \alpha_i)}
    \beta_{i+1} \leftarrow \frac{\gamma \cdot \beta_i + y1_i}{(1 + 2 \cdot \gamma - \gamma \cdot \alpha_i)}
  \alpha
  \beta
  y_n \leftarrow u_{n,j}
  for k \in n-1, n-2.. 0
    y_k \leftarrow \alpha_{k+1} \cdot y_{k+1} + \beta_{k+1}
  y
  y

P(m1, n, \tau, h, u, f) :=
  t \leftarrow 0
  for i \in 0, 1.. n
    y1_i \leftarrow f(x_i)
  y1
  for k \in 0, 1.. m1
    for i \in 0, 1.. n
      u_{i,k} \leftarrow y1_i
    us
    for j \in 0, 1.. 9
      y1 \leftarrow pr(n, \tau, h, u, y1, j)
      t \leftarrow t + \tau
    y1
  us
  us
  
```

Рис. 1. Програма в середовищі Mathcad.

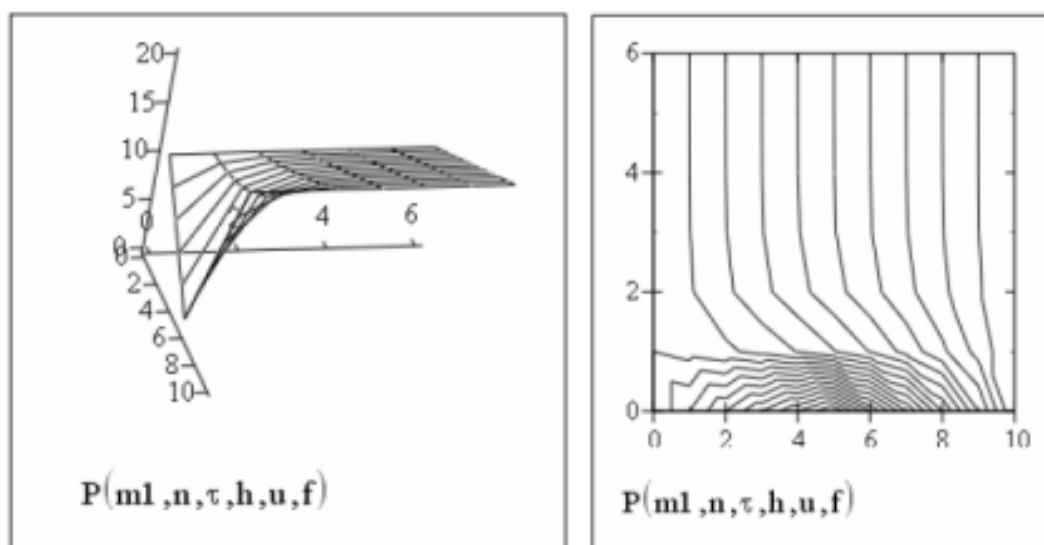


Рис. 2. Функція  $u(x, t)$ .

### Література

1. Габрусев Григорій. Рівняння математичної фізики. Навчальний посібник / Г.В. Габрусев. – Тернопіль: Видавництво ТНТУ ім. Івана Пулюя; 2014 – 84 ст.
2. Habrusiev H. Contact interaction of a predeformed plate which lies without friction on rigid base with a parabolic indenter / Hryhorii Habrusiev, Iryna Habrusieva // Scientific Journal of TNTU. — Tern. : TNTU, 2021. — Vol 102. — P. 87–95.



Скалецький П., Ставицька А., Дуда В. <b>ІННОВАЦІЙНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ «РОЗУМНИХ» МІСТ</b>	<b>176</b>
Стебельський М., Букатка С. <b>ЗАГАЛЬНОСИСТЕМНІ КРИПТОГРАФІЧНІ ПОЛІТИКИ ОС LINUX. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ</b>	<b>177</b>
Стефанюк О. <b>АНАЛІЗ КОНЦЕПЦІЇ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ</b>	<b>179</b>
Тененський М., Галюк М. <b>АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ VRM ЗАСТОСУНКІВ</b>	<b>181</b>
Тимошук В., Стебельський М. <b>ШИФРУВАННЯ ДАНИХ В ОПЕРАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ</b>	<b>183</b>
Федорович І. <b>ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ РОЗРОБЛЕНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБРОБКИ ПРИРОДНОЇ МОВИ ДЛЯ ПОТОКІВ ТЕКСТОВИХ ДАНИХ</b>	<b>185</b>
Федорович І. <b>ПРОЦЕС ОНОВЛЕННЯ СЛОВНИКА УКРАЇНСЬКОЇ МОВИ ДЛЯ МОРФОЛОГІЧНОГО АНАЛІЗАТОРА RUMORPHU2</b>	<b>187</b>
Хараджян М. <b>ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У СТВОРЕННІ ДИСТАНЦІЙНИХ ПІДРИВНИКІВ</b>	<b>189</b>
Хома С.-З. <b>СМАРТ-КОНТРАКТИ НА ОСНОВІ RUST ДЛЯ РОЗВИТКУ ЦИФРОВОЇ ЕКОНОМІКИ</b>	<b>191</b>
Хом'як А. <b>КЛАСИФІКАЦІЯ ПІДХОДІВ ДО ІНТЕРФЕЙСІВ МОЗОК-КОМП'ЮТЕР</b>	<b>193</b>
Шаповалов В. <b>РОЗРОБКА WEB СЕРВЕРІВ В СЕРЕДОВИЩІ ОС LINUX</b>	<b>195</b>
Шишкіна В. <b>ОСНОВНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ЧАТ-БОТІВ</b>	<b>197</b>
Юзьків О. <b>ЗАСТОСУВАННЯ ПАСИВНИХ ОПТИЧНИХ МЕРЕЖ (PON) В УМОВАХ ВІДКЛЮЧЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ</b>	<b>199</b>
Дерев'янку В. <b>ПОБУДОВА ЧИСЕЛЬНОГО РОЗВ'ЯЗКУ ПЕРШОЇ КРАЙОВОЇ ЗАДАЧІ ДЛЯ РІННЯ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ</b>	<b>200</b>
Мимрик У. <b>МЕТОДИКА НАБЛИЖЕНОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ РІВНЯНЬ ПАРАБОЛІЧНОГО ТИПУ</b>	<b>202</b>
Островський О. <b>РОЗВ'ЯЗОК ЗАДАЧІ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ДЛЯ ПРЯМОКУТНОГО БРУСА</b>	<b>204</b>



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ**

**МАТЕРІАЛИ**

**XI НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ**

**«ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ,  
СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»**



**13-14 грудня 2023 року**

**ТЕРНОПІЛЬ  
2023**

УДК 004.9

Дерев'яно В.С., Скалецький П.О., Куванець Н.Е.

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

## СПОСТЕРЕЖЕННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ В РОЗУМНИХ БУДІВЛЯХ

Derevianko V.S., Skaletskyi P.O., Kunanets N.E.

### OBSERVATION AND SIMULATION OF HEAT SUPPLY PROCESSES IN SMART BUILDINGS

Ключовим аспектом ефективного функціонування систем теплопостачання є точна характеристика та оперативне прогнозування теплових витрат та навантажень у будівлях. Висока варіативність процесів продумування тепла в мережах теплопостачання з низькими температурами характеристики теплоносіїв формує потребу розроблення ефективних моделей прогнозування.

Споживання енергії в будівлях становить до 40% від загальних показників споживання енергії за даними Європейського Союзу (ЄС) [1]. Тому, підвищення енергоефективності систем обігріву будівель є однією з ключових цілей стратегії ЄС щодо зменшення викидів вуглецю [2].

Мережі централізованого теплопостачання забезпечують 13% загального попиту на теплову енергію в ЄС [3]. В процесі розвитку мереж теплопостачання відбувалось зменшення температури теплоносіїв, що привело до поступового впровадження так званих мереж теплопостачання 4-го покоління (4GDH) [4], які використовують тепло з ультранизькими температурами близько 45°C. Це дало можливість збільшити показники інтеграції джерел теплової енергії низького класу, зокрема, сонячних теплових систем або потоків відпрацьованого теплоносія у виробничих теплових мережах.

Теплові лічильники активно запроваджуються в будівлях та приватних приміщеннях, що дає можливість вимірювати індивідуальні показники споживання теплової енергії. Сучасні IoT пристрої дають змогу збирати похвилинні, погодинні або подобові дані, включаючи споживання тепла в системах теплопостачання. Пристрої такого класу активно впроваджуються в ЄС згідно з Директивою 2018/2002 [5], яка регламентує споживання теплової енергії та зобов'язує запровадження функцій оперативного дистанційного передавання даних до січня 2027 року. Організація процесів дистанційного відбору даних дає змогу формувати системи енергетичного менеджменту, та генерації тепла в мережах теплопостачання, що базуються на опрацюванні показників «розумних» теплових лічильників. Такі системи зазвичай виконують короткострокове прогнозування в діапазонах від кількох годин до декількох днів.

Інформаційні моделі, керовані даними, базуються на обширному переліку методів машинного навчання, що зосереджуються на процесах споживання теплової енергії. Вони широко використовуються в продовж останнього періоду часу. При цьому можуть застосовуватися різні типи керованих даними моделей, які можна умовно розмітити на дві основні групи: моделі сірої скриньки та моделі чорної скриньки. Моделі сірої скриньки об'єднують попередні знання про фізичний світ та зазвичай позиціонуються у вигляді простору станів через набір стохастичних лінійних диференціальних рівнянь у дискретному або безперервному часовому вимірі. Моделі сірої скриньки вимагають глибокого розуміння всіх фізичних процесів у будівлі, які впливають на миттєві чи кумулятивні зміни теплового споживання чи навантаження. Через складність окремих моделей сірої скриньки потрібно враховувати обширний спектр характеристик для окремих компонентів будівель. Оскільки взаємодія між різними елементами та

параметрами не завжди відома або надто складна для чіткого формулювання, то складно підібрати відповідні моделі сірого ящика для таких багатоелементних систем будівлі.

Керовані даними моделі чорної скриньки теплових процесів «розумних» будівель не потребують глибокого розуміння та використання складних диференціальних перетворень. Такі моделі базуються виключно на даних, тому їх можна навчити виводити залежності між вхідними наборами даних та результатами за допомогою статистичних методів без фізичної інтерпретації. Більшість опублікованих результатів досліджень щодо прогнозування процесів споживання теплової енергії застосовуються з метою визначення попиту [6]. Водночас опубліковані результати досліджень, щодо керованими даними моделей прогнозування попиту тепlopостачання, зазвичай обмежуються їх застосуванням до конкретної будівлі [7], а загальні моделі здебільшого застосовуються для прогнозування з низькою часовою роздільною здатністю впродовж тижня або місяця [8].

Багатоступна модель, заснована на керованому навчанні кластеризації та багатфакторній регресії дозволяє охарактеризувати короткостроковий та середньостроковий прогноз теплового навантаження для різних будівель на основі даних погоди та календарної інформації. При цьому формуються залежності між різними змінними та виконується ідентифікація параметрів для відповідних підмножин значень. Поведінка користувача та її вплив на попит на опалення корелюють із часовими або календарними змінними в «розумних» будівлях та приміщеннях. Цей ефект, хоч і з різними коефіцієнтами кореляції, також можна відтворити для житлових та інших типів будівель.

### Література

1. Perez-Lombard Luis, Ortiz Jos e, Pout Christine. A review on buildings energy consumption information. *Energy Build* 2008;40(Issue 3):394e8. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.03.007>. ISSN 0378-7788.
2. Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency.
3. Werner Sven. International review of district heating and cooling. *Energy* 2017;137:617e31. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.045>. ISSN 03605442.
4. Gjoka, Kristian, Behzad Rismanchi, and Robert H. Crawford. "Fifth-generation district heating and cooling: Opportunities and implementation challenges in a mild climate." *Energy* 286 (2024): 129525.
5. Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency.
6. Cholewa Tomasz, Siuta-Olcha Alicja, Smolarz Andrzej, Muryjas Piotr, Wolszczak Piotr, Guz Łukasz, Constantinos A. Balaras, on the short term forecasting of heat power for heating of building. *J Clean Prod* 2021;307: 127232. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127232>. ISSN 0959-6526.
7. Ciulla G, D'Amico A. Building energy performance forecasting: a multiple linear regression approach. *Appl Energy* 2019;253:113500. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113500>. ISSN 0306-2619.
8. Catalina Tiberiu, Joseph Virgone, Blanco Eric. Development and validation of regression models to predict monthly heating demand for residential buildings. *Energy Build* 2008;40(Issue 10):1825e32. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.04.001>. ISSN 0378-7788.



<b>Л.П. Дмитроца, С.В.Датик</b> ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ТА ПРОТИДІІ ДЕЗІНФОРМАЦІЇ У FACEBOOK <b>L.P. Dmytrotsa Ph.D, S.V. Datsyk</b> APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS TO DETECT AND COUNTERACT DISINFORMATION ON FACEBOOK	37
<b>Дерев'яно В.С., Скалецький П.О., Купаєць Н.Е.</b> СПОСТЕРЕЖЕННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ В РОЗУМНИХ БУДІВЛЯХ <b>Derevianko V.S., Skaletskyi P.O., Kupanets N.E.</b> OBSERVATION AND SIMULATION OF HEAT SUPPLY PROCESSES IN SMART BUILDINGS	39
<b>Д.О. Дісевич, В. І. Козак, А .Д. Головка, С. Т. Гапрись</b> ХМАРНА ІНФРАСТРУКТУРА ДЛЯ СИСТЕМИ ПЛАТЕЖНИХ ШЛЮЗІВ <b>D. O. Dysevuch, V. I. Kozak, A. D. Holovko, S. T. Havrus</b> CLOUD INFRASTRUCTURE FOR THE SYSTEM OF PAYMENT GATEWAYS	41
<b>Марта Дубик</b> ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ВЕЛИКИХ ДАНИХ НА ОСНОВІ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ МОДЕЛЕЙ <b>Marta Dubyk</b> IMPROVING THE ACCURACY OF CLUSTERING LARGE DATA BASED ON NEURAL NETWORK MODELS	43
<b>Дмитро Дюг</b> МЕТОД ІНТЕГРАЦІЇ CHATGPT ДО TELEGRAM-БОТА <b>Dmytro Diuh</b> CHATGPT INTEGRATION METHOD TO TELEGRAM BOT	44
<b>Діачук К.Г., Нападій В.Р., Карлун М.О.</b> «РОЗУМНІ МІСТА» ТА СТАЛІЙ РОЗВИТОК <b>Diachuk K.H., Napadii V.R., Karlun M.O.</b> SMART CITIES AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT	45
<b>Діачук К.Г., Нападій В.Р., Карлун М.О.</b> ІНФОРМАЦІЙНІ ТА КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ЦИФРОВІЗАЦІЇ МІСТ <b>Diachuk K.H., Napadii V.R., Karlun M.O.</b> INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES FOR DIGITALIZATION OF CITIES	46
<b>Задорожний С.Ю., Скарга-Бандурова І.С.</b> МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ОПЕРАЦІЙНОМУ ЦЕНТРІ БЕЗПЕКИ <b>S. Yu. Zadorozhnyi, I.S. Skarga-Bandurova</b> HARNESSING ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR SECURITY OPERATIONS CENTRES	47
<b>К.К. Зеленьський, Я.В. Литвиненко</b> ДАВАЧІ ЯКІ ЗАСТОСОВУЮТЬ В РОЗУМНОМУ БУДИНКУ <b>K.K. Zelensky, Ia.V. Lytvynenko</b> SENSORS USED IN A SMART HOME	48
<b>К.К. Зеленьський, Я.В. Литвиненко</b> ОГЛЯД МІКРОКОНТРОЛЕРІВ ДЛЯ ПОБУДОВИ РОЗУМНОГО БУДИНКУ <b>K.K. Zelensky, Ia.V. Lytvynenko</b> OVERVIEW OF MICROCONTROLLERS FOR BUILDING A SMART HOUSE	49



**INTERNATIONAL SCIENTIFIC-PRACTICAL  
CONFERENCE**

**SCIENCE, EDUCATION AND TECHNOLOGY:  
CURRENT ISSUES OF THEORY AND PRACTICE**

**Book of abstracts**



**February 23, 2024**

**Tampere,  
Finland**



***Хапченко О. В.***

РОЗРОБКА СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ  
ТИФЛОТЕХНІЧНОЇ НАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ 62  
СМАРТФОНУ.....

**SECTION 10. PRODUCTION AND TECHNOLOGY..... 67**

***Billishchuk V. B.***

PROPERTIES OF SURFACTANTS..... 67

**SECTION 11. ELECTRONICS, AUTOMATION AND ELECTRONIC  
COMMUNICATIONS ..... 69**

***Rudnytska S.***

USING OWN LIBRARY OF LANGUAGE C FOR PROGRAMMING AVR  
MICROCONTROLLERS ..... 69

**SECTION 12. INFORMATION TECHNOLOGIES..... 70**

***Дерев'янко В. С., Дуда О. М., Скалецький П. О.***

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ ДЛЯ ПОТРЕБ  
"РОЗУМНИХ БУДІВЕЛЬ" ..... 70



**SECTION 12****INFORMATION TECHNOLOGIES****УДК 004.03****Дерев'янюк В. С.**

магістрант кафедри комп'ютерних наук,  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

**Дуда О. М.**

канд. техн. наук, доцент,  
доцент кафедри комп'ютерних наук,  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

**Скалецький П. О.**

аспірант кафедри комп'ютерних наук,  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

**МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ  
ДЛЯ ПОТРЕБ "РОЗУМНИХ БУДІВЕЛЬ"**

На даний час у наукових та виробничих колах набув поширення широкий спектр керованих даними моделей прогнозування попиту теплового споживання на основі результатів опрацьованих даних, що сформовані на основі показів витратомірів. Зокрема, моделі чорного ящика [1], при формуванні яких не потрібно задавати попередні атрибути та характеристики будівель, наприклад, їхні базові енергетичні сигнатури. Складніші моделі сірого ящика формулюються на основі диференціальних рівнянь, що поєднують виміряні показники витрат тепла з попередніми знаннями щодо фізичних характеристик будівель та приміщень для забезпечення ефективного масштабування моделей, систем та "розумних" послуг. Автори [2] розробили модель сірого ящика, для визначення продуктивності систем тепlopостачання в умовах дискретного часу, а в [3] описано часове моделювання динаміки теплових процесів "розумних" будівель з використанням стохастичних диференціальних рівнянь.

Оскільки "розумні" будівлі споживають теплову енергію не лише для опалення приміщень, то ключовим мірилом витрат енергії є загальне споживання тепла будівлею. Необхідна для забезпечення опалення приміщень теплова енергія, залежить від кліматичних умов та фізичних характеристик будівлі, зокрема її геометричних розмірів та характеристик теплової оболонки. Завдяки ефективним моделям теплових процесів, можна передбачити, що коли зменшиться зовнішня температура або сонячне освітлення, то зросте попит споживання опалення "розумного" приміщення. Однак процеси споживання

гарячої води практично не залежать від кліматичних змін і здебільшого залежать від моделей її використання, регіональних та сезонних особливостей.

В окремих "розумних" будівлях може бути нічний спад або зменшення попиту, а моделі споживання теплової енергії здебільшого відрізняються в різний час доби, незалежно від кліматичних змін. Водночас, календарні показники витрат тепла та змінні потреби в опаленні певним чином корелюються. Нічне зниження витрат тепла може використовуватись оператором мережі тепlopостачання для зменшення виробництва теплової енергії, незалежно від кліматичних умов. Водночас, висока теплова інерція мережі тепlopостачання може бути використана для задоволення потенційного нічного попиту на теплову енергію. Великі будівлі мають більшу теплову інерцію, що дозволяє підтримувати температуру в "розумних" приміщеннях впродовж декількох годин. Особливості теплової інертності будівель та мереж дають змогу контролювати та згладжувати піки попиту в системах тепlopостачання. Споживання енергії в "розумних" будівлях досить суттєво залежить від погодних факторів та від поведінки конкретного споживача. Це здебільшого не враховується в інструментах моделювання через випадковий характер, що значно ускладнює задачі моделювання теплових процесів окремих "розумних" будівель та приміщень.

#### **Список літератури**

1. Ferbar Tratar Liljana, Strmcnik Ervin. The comparison of HolteWinters method and Multiple regression method: a case study. *Energy* 2016;109: 266e76. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.04.115>. ISSN 0360-5442.
2. Madsen, H., & Holst, J. (1995). Estimation of continuous-time models for the heat dynamics of a building. *Energy and Buildings*, 22(1), 67-79. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(94\)00904-X](https://doi.org/10.1016/0378-7788(94)00904-X).
3. Andersen, K. K., Madsen, H., & Hansen, L. H. (2000). Modelling the heat dynamics of a building using stochastic differential equations. *Energy and Buildings*, 31(1), 13-24.



МАТЕРІАЛИ ІІ МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

**1 БЕРЕЗНЯ 2024 РІК**

М. УЖГОРОД, УКРАЇНА

**«ТЕОРІЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ В КОНТЕКСТІ  
СУЧАСНОЇ СВІТОВОЇ НАУКИ»**



### **СЕКЦІЯ XIII. ЕЛЕКТРОНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ**

МЕТОДИ ЗМЕНШЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ВИРОБІВ ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ Часник Д.В.....	130
---	-----

### **СЕКЦІЯ XIV. ЕКОЛОГІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

ЗАГАЛЬНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ВОДНИХ РЕСУРСІВ У СУМСЬКІЙ ОБЛАСТІ Мартиненко О.В., Клименко С.І. ....	133
ПЕРЕВАГИ, НЕДОЛІКИ ТА ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ НИЗЬКО- ТА ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ Дорошенко А.А.....	138

### **СЕКЦІЯ XV. ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СИСТЕМИ**

АВТОМАТИЗОВАНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНКИ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ AWS СЕРВІСІВ ЗА ДОПОМОГОЮ PYTHON ТА "CIS BENCHMARK" Волотовський О.В.....	141
ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ «РОЗУМНИХ МІСТ» ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ВИКИДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ Дерев'яно В.С., Дуда О.М., Скалецький П.О. ....	143
ПРОБЛЕМАТИКА ВИКОРИСТАННЯ ВІДКРИТИХ ДЖЕРЕЛ ДАНИХ У РОЗСЛІДУВАНІ КІБЕРЗЛОЧИНІВ У МЕРЕЖАХ СТАНДАРТУ IEEE 802.11 Банах Р.І. ....	145

### **СЕКЦІЯ XVI. ТРАНСПОРТ ТА ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ**

МОДЕЛЮВАННЯ КРУТКИ НЕПЛОСКОГО КРИЛА ЛІТАКА ТРАНСПОРТНОЇ КАТЕГОРІЇ Капітанова Л.В., Рябков В.І., Кірносів Д.С. ....	148
ПІДВИЩЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЛЕГКИХ СПЛАВІВ Гвоздецький В.М., Посувайло В.М. ....	151

## ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ «РОЗУМНИХ МІСТ» ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ВИКИДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ

**Дерев'яно Володимир Сергійович**

здобувач вищої освіти факультету

комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна*

**Дуда Олексій Михайлович**

ORCID ID: 0000-0003-2007-1271

канд. техн. наук, доцент кафедри комп'ютерних наук

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна*

**Скалецький Петро Олегович**

аспірант 2-го курсу кафедри комп'ютерних наук

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна*

Збільшення викидів парникових газів, зростання залежності від імпортової енергії, високі та мінливі ціни на енергоносії – це лише деякі з ключових складнощів, з якими на даний час стикаються сучасні міста [1]. Для зменшення залежності від імпорту енергоносіїв розширення енергетичного різноманіття та зменшення викидів парникових газів в «розумних громадах» та «розумних містах» активніше використовуються відновлювані джерела енергії. Наприклад у США до 2030 року буде впроваджено високоефективну енергетичну систему «Ленд-Айлендс», що базуватиметься на електричних транспортних засобах [2]. Завдяки цьому будуть зменшені річні витрати на транспортну енергосистему. Із збільшенням кількості електричних транспортних засобів це призведе до збільшення зайнятості місцевого населення та зростання міжнародної співпраці загалом. Для впровадження систем без викидів парникових газів потрібно запровадити різноманітні технології з використанням відновлюваних джерел енергії та підвищення енергоефективності «розумних» міських систем. Збільшення частки використання джерел відновлюваної енергії до 30% покращить безпеку системи енергопостачання загалом.

Автори [3] досліджують доцільність використання сонячної енергії в ряді «розумних» локацій. При цьому основні вхідні набори даних містять інформацію про споживання палива та енергії, потужність відновлюваних джерел енергії, інформацію про інвестиційні та експлуатаційні витрати, а також відомості про різні типи обладнання для керування системами енергопостачання. Результати дослідження містять дані щодо споживання палива, імпорту та експорту електроенергії та показники викидів вуглекислого газу. Зазначена модель може бути використана для аналізу з метою формування «розумних» послуг, застосунків та програм. У [3] проведено аналіз складних «розумних» енергетичних систем, які працюють на декількох територіальних рівнях, зокрема на національному, регіональному та муніципальному. Кожна з систем такого типу має власний набір інформаційно-технологічних елементів, що враховують додаткові витрати, пов'язані з викидами вуглекислого газу кожним підприємством чи виробництвом в «розумній громаді».

Енергетичне моделювання використовується для оцінки попиту та пропозиції. Створення застосунків для впровадження «розумного» енергетичного планування призведе до зменшення використання викопного палива та максимізації споживання

відновлюваної енергії та зменшення наслідків глобального потепління.

**Список використаних джерел:**

1. Kim, Hakyeong, et al. "A systematic review of the smart energy conservation system: From smart homes to sustainable smart cities." *Renewable and sustainable energy reviews* 140 (2021): 110755.
2. Mahesha, C. R., et al. "Sustainable cooling and heating in smart cities using solar energy system planning." *Energy Reports* 8 (2022): 826-835.
3. Tan, Zhongfu, et al. "Combined electricity-heat-cooling-gas load forecasting model for integrated energy system based on multi-task learning and least square support vector machine." *Journal of cleaner production* 248 (2020): 119252.



МІЖНАРОДНІ МУЛЬТИДИСЦИПЛІНАРНІ  
НАУКОВІ ІНТЕРНЕТ-КОНФЕРЕНЦІЇ

[www.economy-confer.com.ua](http://www.economy-confer.com.ua)

# Світ наукових досліджень

Збірник наукових  
публікації міжнародної  
мультимідисциплінарної наукової  
інтернет-конференції

## Випуск 29

*23-24 квітня 2024 р.*

ISSN 2786-6823 (print)



**AKADEMIA NAUK STOSOWANYCH**  
WYŻSZA SZKOŁA ZARZĄDZANIA I ADMINISTRACJI  
W OPOLU

Тернопіль, Україна – Ополе, Польща  
2024

<i>Гарнага Володимир Анатолійович</i> <b>ВИКОРИСТАННЯ ГЕНЕРАТИВНОГО ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У КІБЕРБЕЗПЕЦІ: НОВІ МОЖЛИВОСТІ ДЛЯ ЗАХИСТУ ТА НАПАДУ.....</b>	<b>69</b>
<i>Дерев'яно Володимир Сергійович, Дуда Олексій Михайлович, Скалецький Петро Олегович</i> <b>ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЕКТИ «РОЗУМНИХ» СИСТЕМ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ.....</b>	<b>71</b>
<i>Дутчак Назар Юрійович, Белей Оксана Ігорівна, Штаєр Лідія Омелянівна</i> <b>МЕТОДОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ САМООБСЛУГОВУВАННЯ У СФЕРІ ТОРГОВЕЛЬНИХ ПОСЛУГ.....</b>	<b>73</b>
<i>Захаренко Володимир Олександрович</i> <b>ВИЗНАЧЕННЯ ПРЕДМЕТНОЇ ГАЛУЗІ ТА ОСНОВНИХ ВИМОГ СХОВИЩА ДАНИХ ПРОЇЗДІВ МІСЬКОГО ТРАНСПОРТУ.....</b>	<b>75</b>
<i>Лазебний Валентин Миколайович</i> <b>ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ У ПРАВНИЧІЙ ДІЯЛЬНОСТІ.....</b>	<b>78</b>
<i>Рібій Віталій Володимирович</i> <b>ПРОБЛЕМАТИКА ПЛАНУВАННЯ СТРУКТУРИ БАЗ ДАНИХ.....</b>	<b>80</b>
<i>Турчина Валентина Андріївна, Антонов Володимир Станіславович</i> <b>ОДИН ПІДХІД ДО РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ ТЕОРІЇ РОЗКЛАДІВ З ЦИКЛІЧНИМ ПОРЯДКОМ ПОДІЙ.....</b>	<b>83</b>
<i>Черепашук Григорій Олександрович, Друзякін Владислав Володимирович</i> <b>ДОДАТКОВІ ПОХИБКИ ЯКІ ВИНИКАЮТЬ ЧЕРЕЗ МЕХАНІЧНІ ВЕЛИЧИНИ.....</b>	<b>85</b>
<i>Шкарупило Вадим Вікторович, Зайко Тетяна Анатоліївна, Шкарупило Віктор Вікторович, Тіменко Артур Валентинович</i> <b>ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ФОРМАЛІЗАЦІЇ АРТЕФАКТІВ ПРОЦЕСУ РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ.....</b>	<b>88</b>

## ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЕКТИ «РОЗУМНИХ» СИСТЕМ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

**Дерев'яно Володимир Сергійович**

здобувач вищої освіти факультету  
комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії,  
Тернопільський національний технічний  
університет імені Івана Пулюя

**Дуда Олексій Михайлович**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри комп'ютерних наук;  
Тернопільський національний технічний  
університет імені Івана Пулюя  
ORCID: 0000-0003-2007-1271

**Скалецький Петро Олегович**

аспірант 2-го курсу кафедри комп'ютерних наук,  
Тернопільський національний технічний  
університет імені Івана Пулюя Україна

Інтернет-адреса публікації на сайті:

<https://www.economy-confer.com.ua/full-article/5518/>

Впродовж останнього періоду часу Європейський Союз виділив значну кількість коштів на дослідження, інновації та наукові проекти, спрямовані на підвищення енергоефективності та зменшення шкідливого впливу на навколишнє середовище [1]. Серед проектів у сфері централізованого теплопостачання можна відзначити: «FLEXYNETS» [2], «InDeal» [3], «OPTi» [4] та «STORM» [5].

Реалізований у проекті «FLEXYNETS» підхід полягає в об'єднанні низькотемпературних джерел тепла, низькотемпературних засобів використання тепла та відновлювальних джерел енергії з мережею централізованого теплопостачання, яка працює при температурі 15 °C до 30 °C [2]. При цьому зменшуються втрати тепла завдяки зменшенню різниці між температурою навколишнього середовища та тепломережі, адже зі зменшенням різниці температур зменшується теплообмін. Теплоносій з низькою робочою температурою може бути одночасно джерелом тепла та джерелом прохолоди, що відповідає концепту систем централізованого теплопостачання та охолодження п'ятого покоління 5-Generation District heating and cooling systems («5G DHCS»). Реверсивні «розумні» теплові насоси використовуються для забезпечення теплообміну між внутрішнім обладнанням «розумних» будівель та тепловими мережами.

Міждисциплінарний інноваційний проект «InDeal» [3], спрямований на:

- розробку інструментів короткострокового прогнозування погоди;



- створення нових теплоізоляційних матеріалів;
- формування «розумних» інструментів керування процесами продукування для спостереження, зберігання, постачання та контролю тепла.

Інформаційна система «InDeal» була запущена з впровадженням інтелектуалізованої веб-платформи та протестована в реальних умовах на двох пілотних майданчиках, а саме мереж торговельних центрів «Вранско», (Словенія), та мережі централізованого тепlopостачання у місті Монпельє, (Франція).

Інноваційний проект «OPTi» призначений для створення, інформаційно-технологічної архітектури для експлуатації та контролю систем централізованого тепlopостачання [4]. При цьому розроблено процедури для зменшення пікового попиту теплової енергії, зниженні температури теплоносія, оптимізації роботи теплових мереж з урахуванням географічних обмежень «розумних» локацій. Водночас було створено інструменти моделювання теплових мереж, прогнозування погодних умов та потреби в тепловій енергії, а також запропоновано «розумний» механізм віртуального клапана, що дає користувачам можливість контролю теплового комфорту. Даний інформаційно-технологічний концепт протестовано на двох демонстраційних майданчиках в місті Лулео (Швеція) та на острові Майорка (Іспанія).

У проекті «STORM» розроблено та впроваджено спеціальні інтелектуальні контролери для збільшення використання відхідного тепла, відновлювальних джерела теплової енергії та підвищення енергоефективності «розумного» району [5]. Інформаційно-технологічний проект «STORM» використовує алгоритми машинного навчання у спеціалізованих «розумних» контролерах тепlopостачання.

На даний час в містах виникла необхідність розробляти інформаційно-технологічні інструменти для супроводу процесів прийняття рішень органами влади, оскільки зростає попит на «розумні» послуги та застосунки для зниження експлуатаційних міських витрат. Централізоване тепlopостачання є актуальною сферою у якій створення інформаційно-технологічних та програмно-алгоритмічних засобів для впровадження «розумних» послуг має значний потенціал для цифрової трансформації та підвищення показників енергоефективності. Варто зазначити, що відсутність конкурентного середовища та жорсткі монополії спричинили стагнацію в галузі централізованого тепlopостачання на відміну від європейського та світового досвіду створення ринків електроенергії [6].

Не зважаючи на те, що на даний час впроваджено окремі комерційні рішення, «розумні» системи у сфері тепlopостачання перебувають не лише на стадії досліджень та концептуальних розробок. Тому доцільно продовжити дослідження з впровадженням сучасних інформаційних та комунікаційних технологій.



**Список літератури:**

1. Loureiro, T., Rãmã, M., Sterling, R., Cozzini, M., Vinyals, M., Descamps, M., Birk, W., Unkaya, G., Fuligni, F., Dorac'ic', B., et al. (2018). District Energy Systems: A Collaborative Exchange of Results on Planning, Operation and Modelling for Energy Efficiency. *Proceedings*, 2(15), 1127.
2. Flexynets. [Електронний ресурс]. Доступно за адресою: <http://www.flexynets.eu/en/>
3. InDeal. [Електронний ресурс]. Доступно за адресою: <http://www.indeal-project.eu/>
4. OPTi. [Електронний ресурс]. Доступно за адресою: <http://www.opti2020.eu/>
5. STORM. [Електронний ресурс]. Доступно за адресою: <https://storm-dhc.eu/en>
6. Kinelski, G., et al. (2021). Application of Smart Technologies in Metropolis GZM to Reduce Harmful Emissions in District Heating Systems. *Energies*, 14(22), 7665.