

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**
Кафедра інженерії енергосистем

ЗАТВЕРДЖЕНО
ННІ енергетики, автоматики
та енергозбереження

«19» червня 2026 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Технологічні структури енергетичних спільнот

Галузь знань: G Інженерія, виробництво та будівництво

Спеціальність: G3 - Електрична інженерія

Освітня-наукова програма: Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Факультет (ННІ) ННІ енергетики, автоматики і енергозбереження

Розробники: д.т.н., професор В.В. Каплун; к.т.н., доцент С.С. Макаревич

Київ – 2026 р.

Опис навчальної дисципліни

Технологічні структури енергетичних спільнот

Студент повинен знати основні положення розвитку технологічних структур систем комбінованого енергозабезпечення окремих об'єднаних територіальних громад первинними та похідними енергоресурсами для досягнення економічно-доцільної енергонезалежності та мінімізації негативного впливу на довкілля.

Галузь знань, напрям підготовки, спеціальність, освітньо-кваліфікаційний рівень		
Освітній ступінь	Магістр	
Спеціальність	G3 – Електрична інженерія	
Освітньо-наукова програма	Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка	
Характеристика навчальної дисципліни		
Вид	Вибіркова	
Загальна кількість годин	150	
Кількість кредитів ECTS	5,0	
Кількість змістових модулів	3	
Курсовий проект (робота) (якщо є в робочому навчальному плані)	-	
Форма контролю	Екзамен	
Показники навчальної дисципліни для денної та заочної форм навчання		
	денна форма навчання	заочна форма навчання
Курс (рік підготовки)	2	2
Семестр	3	3
Лекційні заняття	20 год.	-
Практичні, семінарські заняття	20 год.	-
Лабораторні заняття	-	-
Самостійна робота	110 год.	-
Індивідуальні завдання	-	-
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних самостійної роботи студента –	4 год. 11 год.	

1. Мета, компетентності та програмні результати навчальної дисципліни

Метою вивчення дисципліни є оволодіння студентами теоретичних і практичних знань з електричної інженерії для проектування та створення систем комбінованого електрозабезпечення локальних об'єктів і енергетичних спільнот.

Перелік навчальних дисциплін, які передують вивченню

«Енергетична безпека», «Надійність електроенергетичних систем з ВДЕ», «Управління проектами в електроенергетиці», «Інтелектуальні електромеханічні системи».

Набуття компетентностей:

– ***інтегральна компетентність (ІК):*** Здатність розв'язувати складні задачі дослідницького та/або інноваційного характеру у сфері електричної інженерії або у процесі навчання, що передбачає проведення оригінальних наукових досліджень, генерування нових ідей та інтеграцію знань у нових або незнайомих середовищах за умов неповної чи обмеженої інформації та невизначеності вимог.

загальні компетентності (ЗК):

ЗК1 Компетентність Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

ЗК2 Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК3 Здатність до використання інформаційних і комунікаційних технологій.

ЗК4 Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК6 Здатність приймати обґрунтовані рішення.

ЗК8 Здатність виявляти та оцінювати ризики.

фахові (спеціальні) компетентності (СК):

СК2. Здатність застосовувати існуючі та розробляти нові методи, методики, технології та процедури для вирішення інженерних завдань електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

СК4. Здатність розробляти та впроваджувати заходи з підвищення надійності, ефективності та безпеки при проектуванні та експлуатації обладнання та об'єктів електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

СК6. Здатність демонструвати знання і розуміння математичних принципів і методів, необхідних для використання в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці.

СК10. Здатність керувати проектами і оцінювати їх результати.

Програмні результати навчання (ПРН):

ПРН1. Знаходити варіанти підвищення енергоефективності та надійності електроенергетичного, електротехнічного та електромеханічного обладнання й відповідних комплексів і систем.

ПРН5. Аналізувати процеси в електроенергетичному, електротехнічному та електромеханічному обладнанні і відповідних комплексах і системах.

ПРН7. Володіти методами математичного та фізичного моделювання об'єктів та процесів у електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних системах.

ПРН14. Дотримуватися принципів та напрямів стратегії розвитку енергетичної безпеки України.

ПРН17. Демонструвати розуміння нормативно-правових актів, норм, правил та стандартів в області електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

ПРН25. Проектувати, досліджувати та експлуатувати енергоінформаційні системи й інтелектуальні системи керування для оптимізації режимів роботи електротехнічних комплексів.

2. Програма та структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин											
	денна форма						Заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		л	п	лаб	інд	с.р.		л	п	лаб	інд	с.р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Змістовний модуль 1. Принципи ресурсно-процесного моделювання комбінованого енергозабезпечення територіальних громад в контексті запобігання змінам клімату.												
Тема 1. Енергетичні ресурси місцевого походження та ВДЕ як чинники формування енергонезалежності громад.	13	2				11						
Тема 2. Аналіз технологій локального енерговиробництва для підвищення енергетичної незалежності територіальних громад.	15	2		2		11						
Тема 3. Еколого-енергетичні характеристики природно-ресурсних потенціалів територіальних громад.	17	2		4		11						
Тема 4. Формування питомих показників профілів енергоспоживання енергетичних спільнот.	17	2		4		11						
Тема 5. Оцінювання сировинного та виробничого потенціалів для комбінованого енерговиробництва.	13	2				11						
Разом за змістовим модулем 1	75	10		10		55						
Змістовний модуль 2. Методи та моделі формування технологічних структур забезпечення енергетичних спільнот												
Тема 1. Методи ресурсно-процесного аналізу функціонування локальних електромереж.	17	2		4		11						
Тема 2. Завдання оптимізації структурування систем комбінованого енергозабезпечення на основі імовірісно-детермінованих даних.	15	2		2		11						

Тема 3. Моделювання оптимального завантаження агрегатів технологічної структури комбінованого енергозабезпечення.	17	2		4		11						
Тема 4. Структурування енергетичних балансів енергетичної спільноти з локальними інфраструктурними активами.	13	2				11						
Тема 5. Оцінювання ефективності функціонування комбінованих систем енергоживлення на платформі єдиної енергетичної спільноти.	13	2				11						
Разом за змістовим модулем 2	75	10		10		55						
Усього годин	150	20	-	20	-	110						

3. Теми лекцій

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1.	Енергетичні ресурси місцевого походження та ВДЕ як чинники формування енергонезалежності громад.	2
2.	Аналіз технологій локального енерговиробництва для підвищення енергетичної незалежності територіальних громад.	2
3.	Еколого-енергетичні характеристики природно-ресурсних потенціалів територіальних громад.	2
4.	Формування питомих показників профілів енергоспоживання енергетичних спільнот.	2
5.	Оцінювання сировинного та виробничого потенціалів енергетичних спільнот для комбінованого енерговиробництва.	2
6.	Методи ресурсно-процесного аналізу функціонування локальних електромереж.	2
7.	Завдання оптимізації структурування систем комбінованого енергозабезпечення на основі імовірісно-детермінованих даних.	2
8.	Моделювання оптимального завантаження агрегатів технологічної структури комбінованого енергозабезпечення.	2
9.	Структурування енергетичних балансів енергетичної спільноти з локальними інфраструктурними активами.	2
10.	Оцінювання ефективності функціонування комбінованих систем енергоживлення на платформі єдиної енергетичної спільноти.	2
Разом		20

4. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1.	Вивчення будови електромеханічного комплексу газопоршневої електростанції (на прикладі когенераційного агрегату потужністю 2,6 мВт).	2

2.	Дослідження статичних та динамічних характеристик системи керування генератором газопоршневої електростанції при роботі на паралель із зовнішньою мережею та в ізолюваному режимі.	4
3.	Дослідження системи автоматизації електромеханічного комплексу газопоршневої електростанції (на прикладі диспетчеризації оператора системи розподілу).	4
4.	Релейний захист та автоматика в системі диспетчеризації районних розподільних мереж з децентралізованими джерелами та секціонуванням на базі реклоузерів.	4
5.	Дослідження енергетичних характеристик промислових установок зберігання електроенергії (на прикладі УЗЕ потужністю 50 кВт).	2
6.	Дослідження системи диспетчеризації електромереж оператора системи розподілу з децентралізованими джерелами та установками зберігання електроенергії.	4
Разом		20

5. Теми самостійної роботи

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1.	Умови використання енергетичних ресурсів місцевого походження та ВДЕ для формування енергетичних спільнот.	4
2.	Визначення собівартості електроенергії за життєвий цикл децентралізованих джерел на основі двигунів внутрішнього згорання.	4
3.	Визначення собівартості електроенергії за життєвий цикл децентралізованих джерел на ВДЕ.	4
4.	Визначення собівартості електроенергії за життєвий цикл децентралізованих джерел на основі УЗЕ.	4
5.	Методи статистичного аналізу для визначення сезонних навантажень локальних об'єктів енергетичної спільноти.	6
6.	Особливості балансування мікромереж енергетичної спільноти з розосередженими джерелами у мережевому режимі.	10
7.	Особливості балансування мікромереж енергетичної спільноти з розосередженими джерелами у острівному режимі.	6
8.	Принципи комбінованого енерговиробництва на основі когенераційних установок.	10
9.	Дизель-генераторні установки як джерела локального електрозабезпечення.	12
10.	Системи автоматизації децентралізованих джерел на основі двигунів внутрішнього згорання.	10
11.	Принципи реалізації джерел розподіленої генерації на основі сонячних електростанцій.	12
12.	Принципи реалізації джерел розподіленої генерації на основі вітроелектростанцій.	12
13.	Особливості проектування установок зберігання електроенергії локальних об'єктів.	8
14.	Особливості проектування мережеских установок зберігання електроенергії (на рівні мереж оператора системи розподілу).	8
Разом		110

6. Методи та засоби діагностики результатів навчання:

- екзамен;
- модульні тести;
- захист практичних робіт.

7. Методи навчання

За джерелами знань використовуються такі методи навчання:

- словесний метод (лекція, співбесіда тощо);
- практичний метод (лабораторні, практичні заняття);
- наочний метод (метод ілюстрацій, метод демонстрацій);
- робота з навчально-методичною літературою (конспектування, тезування, анотування, рецензування, складання реферату);
- відеометод (дистанційні, мультимедійні, веб-орієнтовані тощо);
- самостійна робота (виконання завдань);
- індивідуальна науково-дослідна робота здобувачів вищої освіти.

За характером логіки пізнання використовуються такі методи: аналітичний, синтетичний, аналітико-синтетичний, індуктивний, дедуктивний.

За рівнем самостійної розумової діяльності використовуються методи: проблемний, частково-пошуковий, дослідницький.

8. Оцінювання результатів навчання

Оцінювання знань здобувача вищої освіти відбувається за 100-бальною шкалою і переводиться в національну оцінку згідно чинного «Положення про екзамену та заліки у НУБіП України».

8.1. Розподіл балів за видами навчальної діяльності

Вид навчальної діяльності	Результати навчання	Оцінювання
Модуль 1. Принципи ресурсно-процесного моделювання комбінованого енергозабезпечення територіальних громад в контексті запобігання змінам клімату.		
Лекція 1. Енергетичні ресурси місцевого походження та ВДЕ як чинники формування енергонезалежності громад.	Знати особливості формування енергетичного потенціалу децентралізованих джерел для комбінованого енерговиробництва територіальних громад.	-
Самостійна робота 1. Умови використання енергетичних ресурсів місцевого походження та ВДЕ для формування енергетичних спільнот.	Уміти розраховувати енергетичний потенціал енергетичної спільноти на основі місцевих видів палива та ВДЕ.	5
Лекція 2. Аналіз технологій локального енерговиробництва для підвищення енергетичної незалежності територіальних громад.	Знати принципи генерації електроенергії локальними установками на основі двигунів внутрішнього згорання та ВДЕ, їх базові характеристики.	-
Лабораторна робота 1. Вивчення будови електромеханічного комплексу газопоршневої електростанції (на прикладі когенераційного агрегату потужністю 2,6 мВт)	Уміти формувати структури комбінованого електрозабезпечення локальних об'єктів на основі вартісного критерію.	10
Самостійна робота 2. Визначення собівартості електроенергії за життєвий цикл децентралізованих джерел на основі двигунів внутрішнього згорання.		5
Самостійна робота 3. Визначення собівартості електроенергії за життєвий цикл децентралізованих джерел на ВДЕ.		5
Самостійна робота 4. Визначення собівартості		5

електроенергії за життєвий цикл децентралізованих джерел на основі УЗЕ.		
Лекція 3. Еколого-енергетичні характеристики природно-ресурсних потенціалів територіальних громад.	Знати еколого-енергетичні характеристики джерел розподіленої генерації на основі двигунів внутрішнього згорання та ВДЕ.	-
Самостійна робота 5. Методи статистичного аналізу для визначення сезонних навантажень локальних об'єктів енергетичної спільноти.	Уміти визначити питомі викиди парникових газів при роботі теплових децентралізованих джерел.	10
Лабораторна робота 2. Дослідження статичних та динамічних характеристик системи керування генератором газопоршневої електростанції при роботі на паралель із зовнішньою мережею.		10
Лекція 4. Формування питомих показників профілів енергоспоживання енергетичних спільнот.	Знати принципи визначення сезонних навантажень та формування питомих профілів локальних об'єктів енергетичних спільнот.	-
Лабораторна робота 3. Дослідження системи автоматизації електромеханічного комплексу газопоршневої електростанції (на прикладі диспетчеризації оператора системи розподілу).	Уміти будувати часові діаграми роботи децентралізованих джерел в системі диспетчеризації оператора системи розподілу.	10
Лекція 5. Оцінювання сировинного та виробничого потенціалів енергетичних спільнот для комбінованого енерговиробництва.	Знати особливості формування сезонних енергетичних балансів громад з економічно-доцільною часткою децентралізованих джерел (ВДЕ, електростанцій з двигунами внутрішнього згорання).	-
Самостійна робота 6. Особливості балансування мікромереж енергетичної спільноти з розосередженими джерелами у мережевому режимі.	Уміти аналізувати структури енергетичних балансів громад з ВДЕ та електростанціями з двигунами внутрішнього згорання.	5
Самостійна робота 7. Особливості балансування мікромереж енергетичної спільноти з розосередженими джерелами у острівному режимі.		5
Модульна контрольна робота 1		30
Всього за модулем 1		100
Модуль 2. Методи та моделі формування технологічних структур забезпечення енергетичних спільнот.		
Лекція 6. Методи ресурсно-процесного аналізу функціонування локальних мереж.	Знати математичне обґрунтування методів ресурсно-процесного аналізу функціонування мереж енергетичних спільнот.	-
Самостійна робота 8. Принципи комбінованого енерговиробництва на основі когенераційних установок.		10
Лабораторна робота 4. Релейний захист та автоматика в системі диспетчеризації районних розподільних мереж з децентралізованими джерелами та секціонуванням на базі реклоузерів.	Уміти визначати технічні та економічні показники структурування комбінованих систем.	10
Лекція 7. Завдання оптимізації структурування систем комбінованого енергозабезпечення на основі імовірно-детермінованих даних.	Знати методи оптимізації технологічних структур комбінованих систем електрозабезпечення.	-
Лабораторна робота 5. Дослідження енергетичних характеристик промислових установок зберігання електроенергії (на прикладі УЗЕ потужністю 50 кВт).		
Самостійна робота 9. Дизель-генераторні установки як джерела локального електрозабезпечення.		5
Самостійна робота 10. Системи автоматизації децентралізованих джерел на основі двигунів внутрішнього згорання.		5
Лекція 8. Моделювання оптимального завантаження агрегатів технологічної структури комбінованого енергозабезпечення.	Уміти моделювати оптимальні режими завантаження агрегатів технологічної структури комбінованого енергозабезпечення за вартісним критерієм.	-
Лабораторна робота 6. Дослідження системи диспетчеризації електромереж оператора системи розподілу з децентралізованими джерелами та установками зберігання електроенергії.		10
Самостійна робота 11. Принципи реалізації джерел розподіленої генерації на основі сонячних електростанцій.		5

Самостійна робота 12. Принципи реалізації джерел розподіленої генерації на основі вітроелектростанцій.		5
Лекція 9. Структурування енергетичних балансів енергетичної спільноти з локальними інфраструктурними активами.	Знати принципи формування енергетичних балансів енергетичної спільноти з локальними інфраструктурними активами.	-
Самостійна робота 13. Особливості проєктування установок зберігання електроенергії локальних об'єктів.		10
Лекція 10. Оцінювання ефективності функціонування комбінованих систем енергоживлення на платформі єдиної енергетичної спільноти.	Уміти визначати показники ефективності функціонування комбінованих систем енергоживлення енергетичної спільноти з декількома різнорідними джерелами.	-
Самостійна робота 14. Особливості проєктування мережевих установок зберігання електроенергії (на рівні мереж оператора системи розподілу).		10
Модульна контрольна робота 2		30
Всього за модулем 2		100
Навчальна робота	$(M1 + M2)/2 \cdot 0,7 \leq 70$	
Екзамен	30	
Всього за семестр	$(\text{Навчальна робота} + \text{екзамен}) \leq 100$	

8.2. Шкала оцінювання знань здобувача вищої освіти

Рейтинг здобувача вищої освіти, бали	Оцінка національна та результати складання	
	екзаменів	заліків
90-100	відмінно	зараховано
74-89	добре	
60-73	задовільно	
0-59	незадовільно	не зараховано

8.3. Політика оцінювання

Політика щодо термінів та перескладання	Роботи, які здаються із порушенням термінів без поважних причин, оцінюються на нижчу оцінку. Перескладання модулів відбувається із дозволу лектора за наявності поважних причин (наприклад, лікарняний).
Політика щодо академічної доброчесності	Списування під час контрольних робіт та екзаменів заборонені (в т.ч. із використанням мобільних пристроїв). Модульні контрольні роботи, реферати повинні мати коректні текстові посилання на використану літературу
Політика щодо відвідування	Відвідування занять є обов'язковим. За об'єктивних причин (наприклад, хвороба, міжнародне стажування) навчання може відбуватись індивідуально (в он-лайн формі за погодженням із директором інституту)

9. Навчально-методичне забезпечення

- електронний навчальний курс навчальної дисципліни (на навчальному порталі НУБіП України eLearn)
- конспекти лекцій та їх презентації (в електронному вигляді);
- підручники, навчальні посібники, практикуми;

- методичні матеріали щодо вивчення навчальної дисципліни для здобувачів вищої освіти денної форми здобуття вищої освіти.

10. Рекомендовані джерела інформації

1. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2050 року. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 21 квітня 2023 р. № 373-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/373-2023-%D1%80#Textoku>. Дата звернення 18.07.2024.
2. Про затвердження Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року та плану заходів з його виконання. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 13 серпня 2024 р. № 761-р. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-zatverdzhennia-natsionalnoho-planu-dii-z-vidnovliuvanoi-enerhetyky-na-p-a761>. Дата звернення 15.08.2024.
3. Про схвалення Стратегії розвитку розподіленої генерації на період до 2035 року і затвердження операційного плану заходів з її реалізації у 2024 — 2026 роках. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 18 липня 2024 р. № 713-р. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-skhvalennia-strategii-rozvytku-rozpodilenoii-heneratsii-na-period-do-2035-roku-i-zatverdzhennia-s713180724>. Дата звернення 25.07.2024.
4. Kaplun V. Principles of resource-process modeling of territorial communities combined energy supply in the climate change prevention context. . 2023. Вип.4, №75. С.54-64. <https://doi.org/10.15407/srenergy2023.04.055>.
5. Sotskov, Yu.N., Matveychuk, N.M. Measure of uncertainty of the Bellman–Johnson problem with interval durations. Cybernetics and system analysis. 2012. №48(5), Р. 3–16. <https://doi.org/10.1007/s10559-012-9445-4>
6. Заблудський М.М., Шворов С.А., Поліщук В.М., Троханяк В.І., Лендел Т.І. Принципи формування місць розташування біогазових установок з використанням нейромережі. *Енергетика і автоматика*. 2023. №5, С. 31-43.
7. Біометан – газ майбутнього, джерело сталої, відновлюваної та чистої енергії. *Uabio*: веб-сайт. URL: <https://uabio.org/materials/video/15400/> (дата звернення: 23.11.2023)
8. Масдемонт П.Р., Галіндо Д.Г., Угіна А.М., Карампінс М., Драгнєв С., Железна Т. Енергія з агропромислових залишків: Посібник. 2022. 60 с.
9. Polishchuk V.M., Shvorov S.A., Pasichnik N.A., Davidenko T.S., Dvornyk Ye.O. Increasing the Production of Electrical and Thermal Energy in Biogas Plants Through the Optimal Addition of Agricultural Waste. *Problemele energeticii regionale*. 2023. №4(60) Р. 86-97.
10. 5. Kostenko, G., & Zaporozhets, A. (2023). Enhancing of the Power System Resilience Through the Application of Micro Power Systems (microgrid) with Renewable Distributed Generation. *System Research in Energy*, (3 (74), 25-38. <https://doi.org/10.15407/srenergy2023.03.025>.
11. 6. Hotra, O.; Kulyk, M.; Babak, V.; Kovtun, S.; Zgurovets, O.; Mroczka, J.; Kisała, P. Organisation of the Structure and Functioning of Self-Sufficient Distributed Power Generation. *Energies* **2024**, *17*, 27. <https://doi.org/10.3390/en17010027>
12. Hahnel, U. J. J., Herberz, M., Pena-Bello, A., Parra, D., & Brosch, T. (2020). Becoming prosumer: revealing trading preferences and decision-making strategies in

- peer-to-peer energy communities. *Energy Policy*, 137, 111098. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111098>
13. Ghiani, E., Giordano, A., Nieddu, A., Rosetti, L., & Fabrizio, P. (2019). Planning of a smart local energy community: the case of Berchidda Municipality (Italy). *Energies*, 12(24), 4629. <https://doi.org/10.3390/en12244629>
 14. Koratz, Y., & Gabbar, A. (2017). Risk analysis and self-healing approach for resilient interconnect micro energy grids. *Sustainable Cities and Society*, 32, 638–653. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.05.010>
 15. Johnson, M. (2017). Controlling and optimizing resilient distributed energy resources and microgrids with a demand-side operation platform. *The Electricity Journal*, 30(4), 12–15. <https://doi.org/10.1016/j.tej.2017.03.010>
 16. Bertheau, P., & Blechinger, P. (2018). Resilient solar energy island supply to support SDG7 on the Philippines: techno-economic optimized electrification strategy for small islands. *Utilities Policy*, 54, 55–77. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2018.07.005>
 17. Soren, A., & Shastri, Y. (2019). Resilient design of biomass to energy system considering uncertainty in biomass supply. *Computers & Chemical Engineering*, 131, 106593. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2019.106593>
 18. Luthander, R., Nilsson, A.M., Widén, J., & Åberg, M. (2019). Graphical analysis of photovoltaic generation and load matching in buildings: a novel way of studying self-consumption and self-sufficiency. *Applied Energy*, 250, 748–759. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.05.058>
 19. Kaplun, V., Shtepa, V., & Makarevych, S. (2020). Neural Network Modelling of Intelligent Energy Efficiency Control in Local Polygeneration Microgrid with Renewable Sources [Conference Proceedings]. *2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology*, 98–102.
 20. Kaplun, V., & Osypenko, V. (2020). Energy Efficiency Analyses in Polygeneration Microgrids with Renewable Sources 2020 [Conference Proceedings]. *IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems, ESS 2020*, 139–143.
 21. Osypenko, V., & Kaplun, V. (2022, November 10–12). Inverse Conversion of Transition Matrices Method for Polygeneration Microgrid Dynamic Electricity Cost Prediction [Proceedings]. *International Workshop on Inductive Modeling – IWIM'2022*. Lviv, Ukraine, 568–572.
 22. Shabanpour-Haghighi, A., & Seifi, A. R. (2015). Multi-objective operation management of a multi-carrier energy system. *Energy*, 88, 430–442. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.05.063>
 23. Maroufmashat, A., Elkamel, A., Fowler, M., Sattari, S., Roshandel, R., Hajimiragha, A., Walker, S., & Entchev, E. (2015). Modeling and optimization of a network of energy hubs to improve economic and emission considerations. *Energy*, 93, 2546–2558. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.10.079>
 24. Qin, X., Shen, X., Wan, G., Sheng, T., Sun, H., Guo, Q., & Tang, L. (2017, November 26–28). Heating network quasi-dynamic model of multi-energy flow system based on forward method. *2017 IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2)*. <https://doi.org/10.1109/EI2.2017.8245604>
 25. Pan, Z., Guo, Q., & Sun, H. (2016). Interactions of district electricity and heating systems considering timescale characteristics based on quasi-steady multi-energy flow. *Applied Energy*, 167, 230–243.

<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.095>

26. Geidl, M., & Andersson, G. (2007). Optimal power flow of multiple energy carriers. *IEEE Transactions on power systems*, 22(1), 145–155.
<https://doi.org/10.1109/TPWRS.2006.888988>