

**Формування інструментарію
для управління попитом та енергозабезпеченням з
використанням гібридних систем малої потужності**

(тема № 2513, № ДР – № 0122U001827)

Доповідач: канд. техн. наук, доцент,
с.н.с. ЯРМОЛЮК Олена

2024

Метою роботи є розробка теоретичних засад і практичних інструментів щодо оптимального функціонування гібридних електроенергетичних систем на основі відновлюваних джерел енергії малої потужності та систем накопичення енергії, для забезпечення надійності та безпеки постачання електроенергії та створення технічної можливості у подальшій декарбонізації української енергетики.

Об'єктом дослідження є процеси генерації, акумулювання та споживання енергії у гібридних відновлюваних енергетичних системах і заходи спрямовані на підвищення ефективності їх функціонування.

Предметом дослідження є методи та засоби оптимізації структури та режимів роботи гібридних відновлюваних енергетичних систем із урахуванням нерівномірності процесів генерації, споживання та накопичення електричної енергії та використанням заходів управління попитом на електричну енергію для забезпечення енергетичної безпеки та гнучкості.

Основні наукові результати

1. Запропоновано механізм ефективного урахування багатокритеріальності, недостатності й обмеженості початкової інформації, можливості гнучкого завдання та зміни пріоритетності цільових функцій й обмежень, зокрема, шляхом застосування лінгвістичних характеристик, що дають змогу отримати оптимальні режими роботи для гібридних енергосистем у масштабах енергетичної спільноти.
2. Запропоновано модифіковану стратегію управління роботою установки зберігання енергії з точки зору підтримання середнього рівня заряду, що дає можливість зменшити час неактивності установки та знизити рівень її деградації.
3. Запропоновано новий підхід при моделювання оптимізації управління попитом в гібридних системах енергозабезпечення за рахунок введення коефіцієнта еластичності попиту споживача, що дає змогу перейти від моделі пасивного забезпечення фіксованого навантаження до гнучкого керування попитом, де активний споживач може економічно доцільно змінювати свій профіль споживання.

1. Введено в експлуатацію системи збору даних про електричне навантаження різнотипних споживачів (побутові, офісні, громадські) із застосуванням сучасних інформаційних засобів, що дає змогу отримати вихідні дані для моделювання та оптимізації режимів роботи систем енергозабезпечення.
2. Створено (наказ ректора КПІ ім. Ігоря Сікорського від 21.12.2023 р.) й частково облаштовано за рахунок фінансування науково-дослідної роботи навчально-наукову лабораторію «Гібридних систем електропостачання» у ННІЕЕ (ауд. 701а-22).
3. Запропоновано архітектуру інформаційно-розрахункового комплексу для моделювання режимів роботи енергетичних спільнот, яка включає комплексні можливості по збору інформації про навантаження споживачів із різних джерел. Розроблено програмне забезпечення яке дає змогу виконувати оптимізацію та моделювання режимів роботи енергетичних спільнот із застосуванням методу багатокритеріального оперативного розподілу навантаження між різними джерелами енергії, які забезпечують споживачів енергією на певній території з метою впровадження найбільш ефективних умов її використання шляхом урахування сукупності факторів технічного, економічного та екологічного характерів. Реалізований інструментарій дає змогу задавати сукупність джерел енергії енергетичної спільноти та їх характеристики, вести базу даних навантажень і виконувати різні сценарії моделювання, вибираючи різнотипні цільові функції.

Опубліковано 5 статей в журналах, що входять до наукометричної бази *Scopus*, 8 статей у журналах, що входять до переліку фахових видань України, 5 статей англійською мовою у матеріалах міжнародних конференцій, що входять до наукометричної бази даних *Scopus*, 6 др.ар. монографії українською мовою, 1,5 др.ар. розділа монографій у закордонних виданнях англійською мовами, 5 свідоцтв про реєстрацію авторського права на твір

Основні практичні результати

1 збір даних

2 Створено (наказ ректора КПІ ім. Ігоря Сікорського від 21.12.2023 р.) й частково облаштовано за рахунок фінансування науково-дослідної роботи навчально-наукову лабораторію «Гібридних систем електропостачання» у ННІЕЕ (ауд. 701а-22).

3 Розглянуто архітектуру інформаційно-розрахункового комплексу для моделювання режимів роботи енергетичних спільнот.

Опубліковано 5 статей в журналах, що входять до наукометричної бази *Scopus*, 8 статей у журналах, що входять до переліку фахових видань України, 5 статей англійською мовою у матеріалах міжнародних конференцій, що входять до наукометричної бази даних *Scopus*, 6 др.ар. монографії українською мовою, 1,5 др.ар. розділа монографій у закордонних виданнях англійською мовами, 5 свідоцтв про реєстрацію авторського права на твір

Результативність виконання дослідження

№ з/п	Назви показників очікуваних результатів	Всього		2022		2023		2024	
		план	факт	план	факт	план	факт	план	факт
1	Статті в журналах, що входять до наукометричної бази <i>Scopus</i>	3	5	1	2	1	1	1	2
2	Статті у журналах, що входять до переліку фахових видань України і мають ISSN, статті у закордонних журналах, доповіді англійською мовою у матеріалах міжнародних конференцій, що входять до наукометричної бази даних <i>Scopus</i>	11	13 (8ф+5к)	3	7 (4ф+3к)	4	4 (3ф+1к)	4	2 (1ф+1к)
3	Монографії українськими видавництвами державною мовою (др.ар.)	4	6	-	-	-	-	6	6
4	Монографії та/або розділи монографій у закордонних виданнях англійською мовами (др.ар.)	1	1,5	-	-	-	-	1	1,5
5	Свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір	5	5	1	1	2	2	2	2

4й Енергетичний Пакет Європейського Союзу (4th *European EU Energy Package*)

Директива про загальні правила для
внутрішнього ринку електроенергії
((ЄС) 2019/944)

Директива щодо відновлюваної
енергії (2018/2001/ЄС)

- Енергетична стратегія України на період до 2035 року “Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність”
- Енергетична стратегія України до 2050 року

Закон України 3220 «Про внесення змін до деяких законів України щодо відновлення та "зеленої" трансформації енергетичної системи України»

КОНЦЕПЦІЯ
впровадження “розумних мереж” в Україні до 2035 року

Постанова НКРЕКП № 1546
«Про затвердження Змін до Кодексу системи передачі»

Функціонування та правила формування для:

- ВДЕ –спільнот;
- Само-споживачів;
- Агрегаторів;
- Енергетичних спільнот громадян;
- Активних клієнтів/споживачів.

- децентралізація генерації електроенергії по всій території країни;
- сприяння розвитку та модернізації електроенергетики на основі технологій “розумних мереж”;
- реалізації пілотних проектів на базі суб’єктів господарювання (операторів установок зберігання енергії, оператора системи передачі, операторів систем розподілу, виробників електричної енергії) та інш.

Модель функціонування гібридних відновлюваних систем

Цільові функції

$$F_{jt}(\mathbf{P}) = \sum_{i=1}^n a_{ji} P_{it}$$

наприклад: віддати перевагу джерелам енергії з більшими питомими капітальними витратами:

$$F_1(\mathbf{P}) = a_{11}P_1 + \dots + a_{1n}P_n \rightarrow \max$$

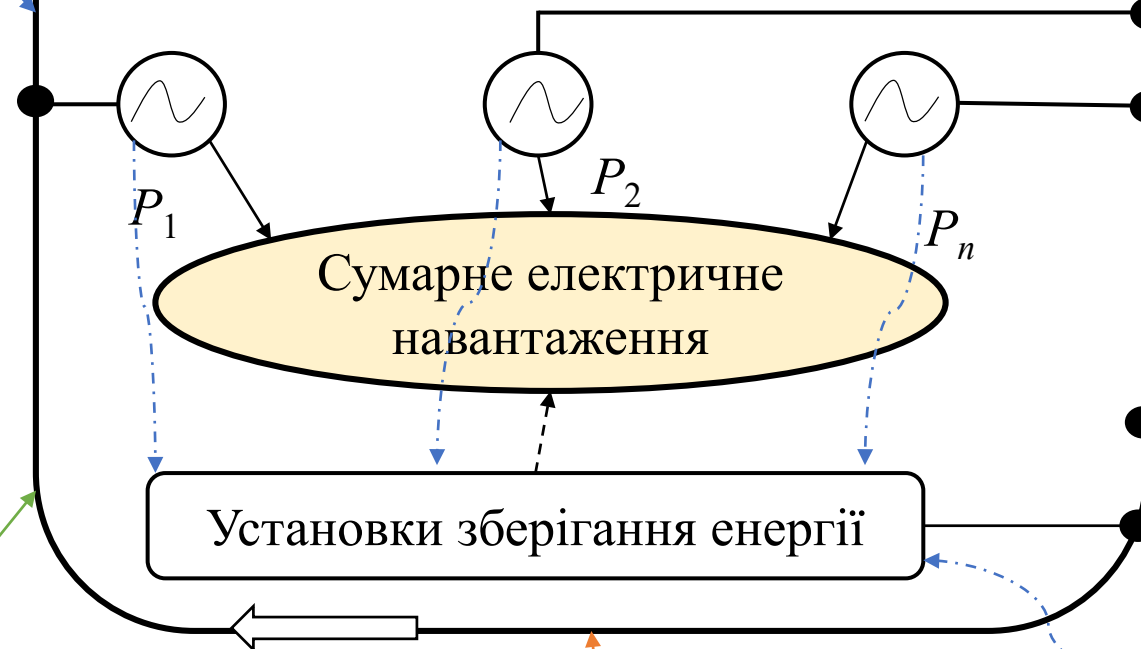
Обмеження

$$P_{it}^{\min} \leq P_{it} \leq P_{it}^{\max} \quad \sum_{i=1}^n P_{it} = A_t$$

добові ресурси відповідних генеруючих джерел;
оперативні умови використання окремих генеруючих джерел

Гібридна відновлювана енергетична система

Відновлювані джерела енергії малої потужності



Оптимальний розподіл генерації між складовими гібридної відновлюваної системи за умов покриття попиту

Мережа

Методи вирішення оптимізаційної задачі

Цільові функції

представляються у лінгвістичній формі:

Структура кожної цільової функції буде мати такий вигляд

$$F_{jt}(\mathbf{P}) = \sum_{i=1}^n a_{ji} P_{it}$$

де $j = 1, \dots, m$ – загальна кількість цільових функцій;

n – кількість генеруючих джерел (факторів); t – конкретний період часу. В окремих цільових функціях коефіцієнт a_{ji} , наприклад, буде приймати питоме значення експлуатаційних витрат, значення числа годин використання максимуму $T_{\max i}$, рівень шкідливих викидів в атмосферу тощо

наприклад: 1) віддати перевагу джерелам енергії з більшими питомими капітальними витратами:

$$F_1(\mathbf{P}) = a_{11}P_1 + a_{12}P_2 + a_{13}P_3 + a_{14}P_4 \rightarrow \max$$

де $a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{14}$ відповідають питомому (на 1 кВт) значенню капітальних витрат генерованої потужності характерне для окремих генеруючих установок;

2) віддати перевагу джерелам енергії з мінімальним значенням T_{\max} :

$$F_2(\mathbf{P}) = a_{21}P_1 + a_{22}P_2 + a_{23}P_3 + a_{24}P_4 \rightarrow \min$$

де $a_{21}, a_{22}, a_{23}, a_{24}$ відповідають значенню T_{\max} , характерному для окремих генеруючих установок;

3) віддати перевагу джерелам енергії з мінімальним рівнем шкідливих викидів в атмосферу; та ін.

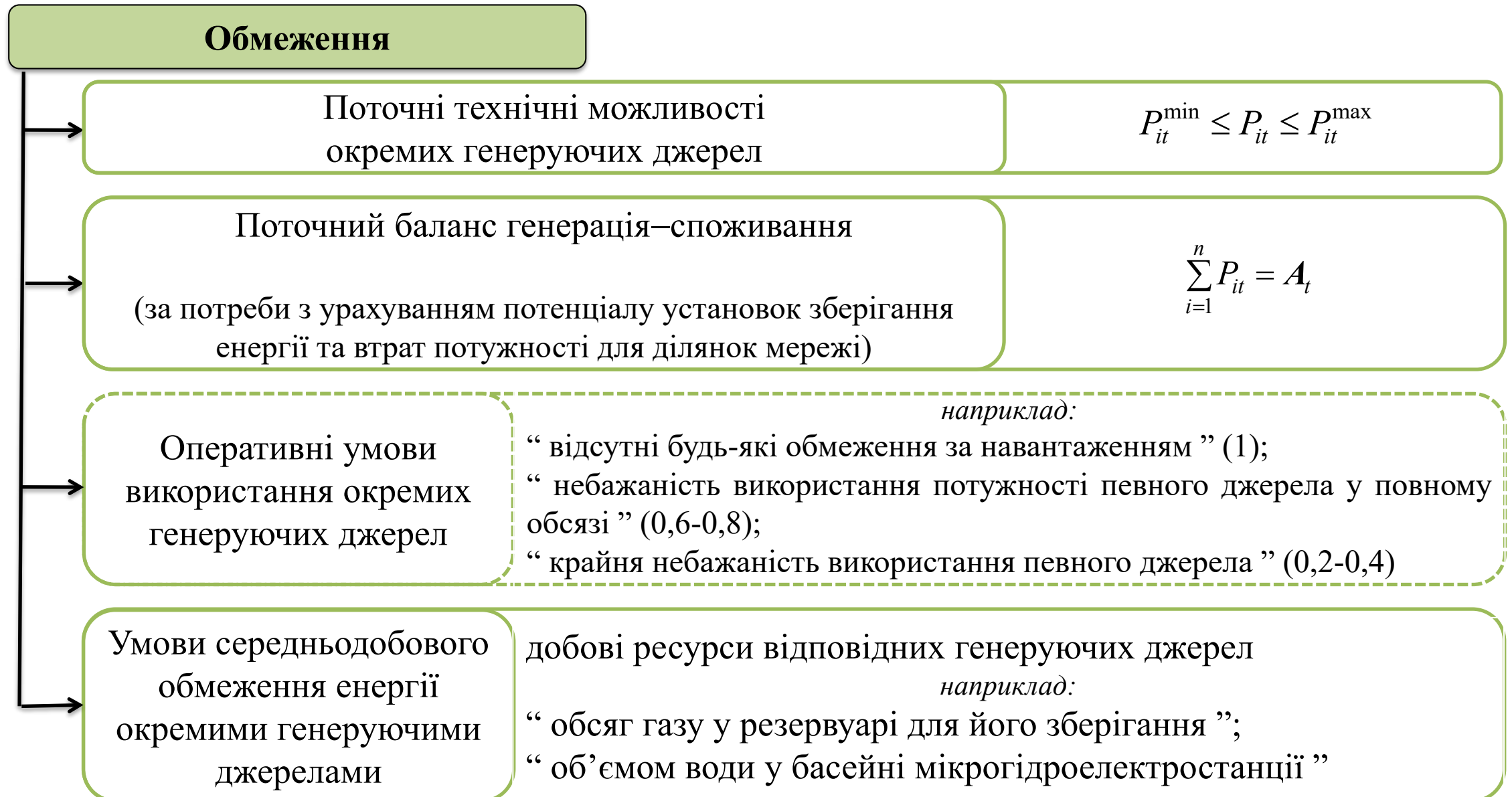
$$F_3(\mathbf{P}) = a_{31}P_1 + a_{32}P_2 + a_{33}P_3 + a_{34}P_4 \rightarrow \min$$

де $a_{31}, a_{32}, a_{33}, a_{34}$ відповідають питомим значенням шкідливих викидів у атмосферу, характерним для окремих генеруючих установок.

Сформувані саме такі цільові функції, які б характеризували різних суб'єктів ринку електроенергії, постачальників, операторів; та їх інтереси

У конкретних умовах перелік цільових функцій може бути **розширений**

Формування обмежень задачі



Методи вирішення оптимізаційної задачі

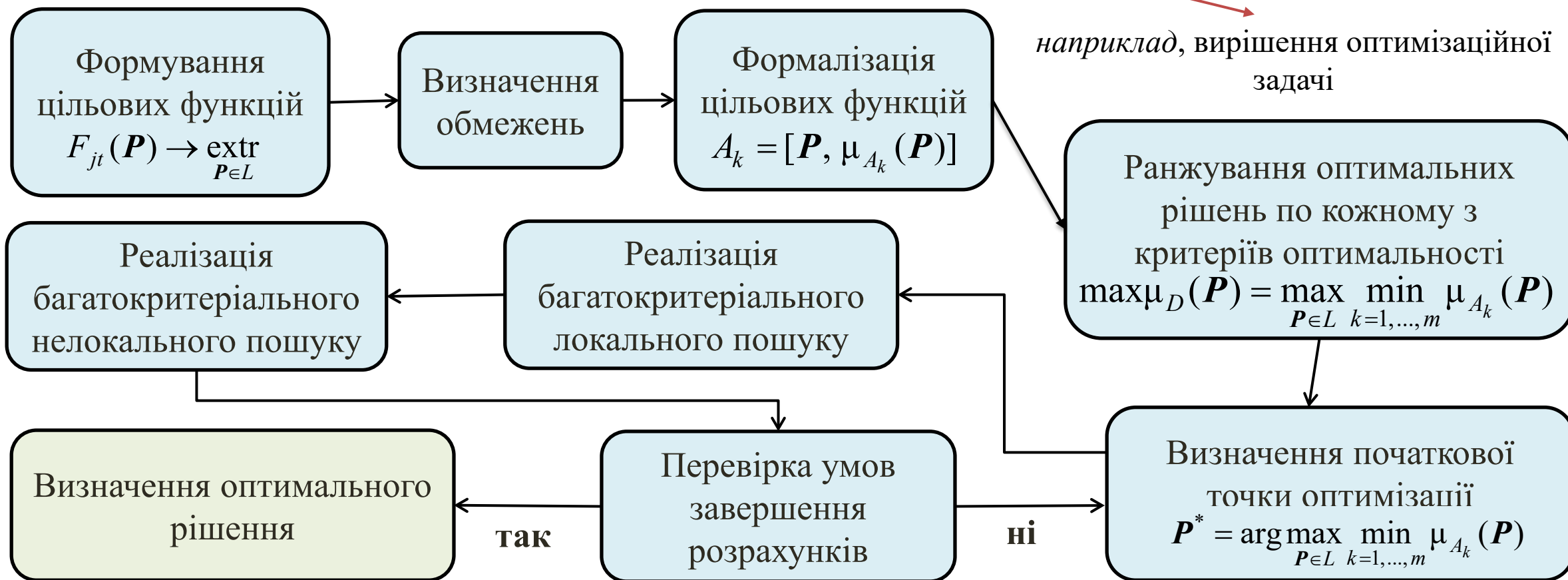
генетичних алгоритмів (*Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm*);

модифікований алгоритм розподілу ресурсів (алгоритм розподілу ресурсів+метод Беллмана-Заде);

weighting sum method (метод зваженої суми); *global criterion approach* (глобальний критеріальний підхід);

TOPSIS (*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*);

VIKOR (*VIekriterijumsko KOmpromisno Rangiranje*)

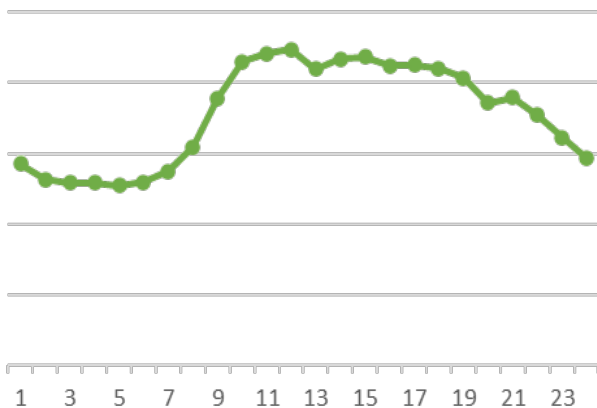


Дж. ген. ел.ен.	Сценарії генерації електроенергії															
Вітрова електростанція (ВЕС)	штиль та/або тихий вітер $V < 0-3$ м/с				легкий вітер $V = 4-6$ м/с				слабкий вітер $V = 7-10$ м/с				помірний та/або свіжий та/або сильний вітри $V = 11-27$ м/с			
	0				0,2				0,5				0,8-1			
	У більшості випадків виділяють чотири сезони року, які не співпадають з календарними, але є однорідними за вітровим режимом (взимку швидкість вітру вища, ніж влітку)															
	зима (груд.-лют.), год				весна (бер.-черв.), год				літо (лип.-вер.), год				осінь (жовт., лист.), год			
	шт	легк	слаб	пом	шт	легк	слаб	пом	шт	легк	слаб	пом	шт	легк	слаб	пом
	86	590	1201	283	172	883	980	173	380	1032	768	28	308	973	805	98
Сонячна електростанція (СЕС)	ясне небо (<i>SKC – sky is clear</i>) та/або незначна хмарність (<i>FEW – few</i>)							хмарне небо (<i>SCT – scattered</i>)				похмуре небо (<i>BKN – broken</i>)				
	0,8-1							0,5-0,7				0,1-0,4				
	Тривалість сонячного дня протягом року різко змінюється, тому виділяють 12 сезонів року тривалістю один місяць															
	січ	лют	бер	квіт	трав	черв	лип	сер	вер	жов	лист	груд				
	0,25	0,36	0,64	0,76	0,9	0,84	0,9	0,86	0,71	0,56	0,32	0,22				
Мікро- та міні гідро-електростанція (МГЕС)	Руслова МГЕС				Дериваційна МГЕС											
	Немає обмежень				Зимова (у разі не повного замерзання річки, орієнтовно груд.-бер.) та літня (лип.-вер.) межені						Весняна повінь (орієнтовно квіт.-чер.) й осінній паводок (орієнтовно жовт.-лист.)					
	1				$\approx P_{\min} = (0,3-0,4)P_H$						$\approx P_H$					
	Руслова МГЕС				Дериваційна МГЕС											
	Немає обмежень				зимова межень				весняна повінь			літня межень			осінній паводок	
	1				груд	січ	лют	бер	квіт	трав	черв	лип	сер	вер	жов	лист
1				0,2	0,14	0,14	0,21	0,9	1	0,78	0,38	0,23	0,18	0,35	0,25	

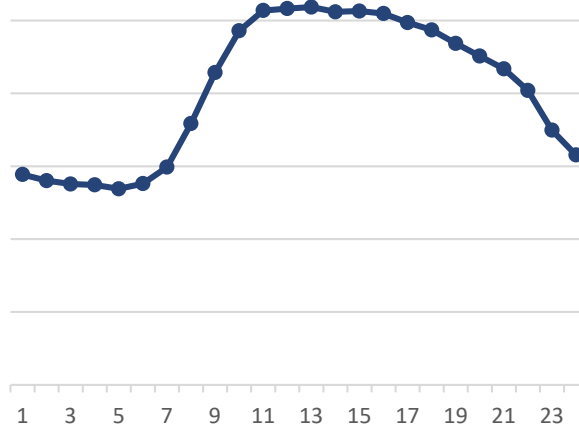
залежно від профілю споживання

1

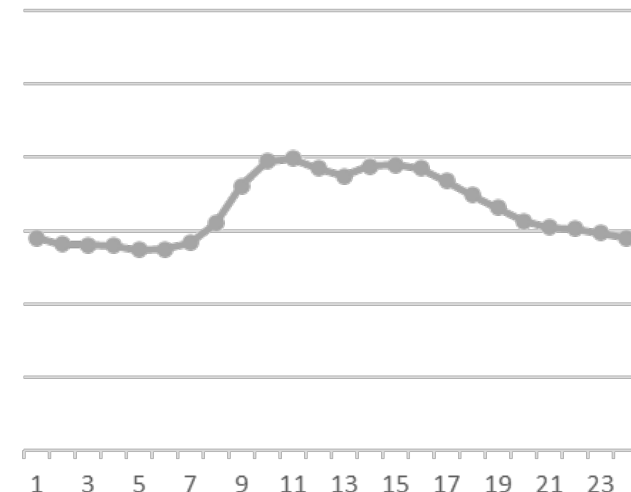
Сценарії були змодельовані для різних типів споживачів з різними щоденними профілями споживання електроенергії: будівництво, комунальні послуги, промисловість, освітлення та побутові споживачі, сільськогосподарські споживачі та транспорт



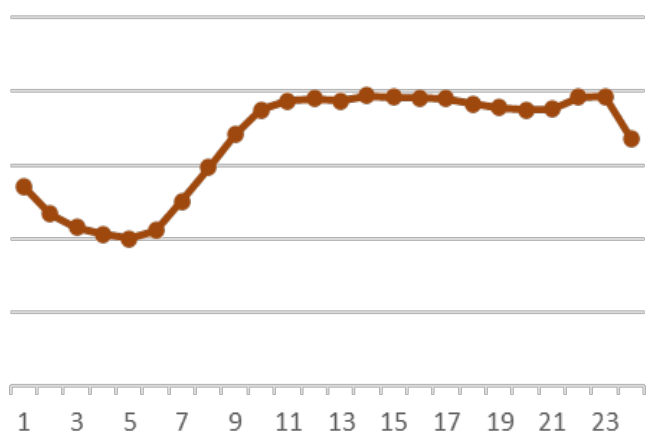
Будівництво



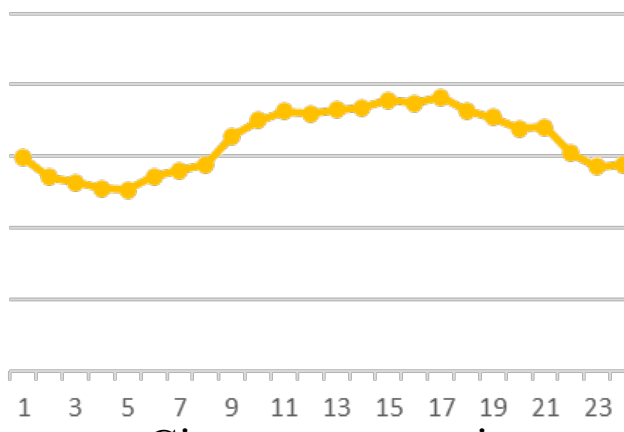
Комунальне господарство



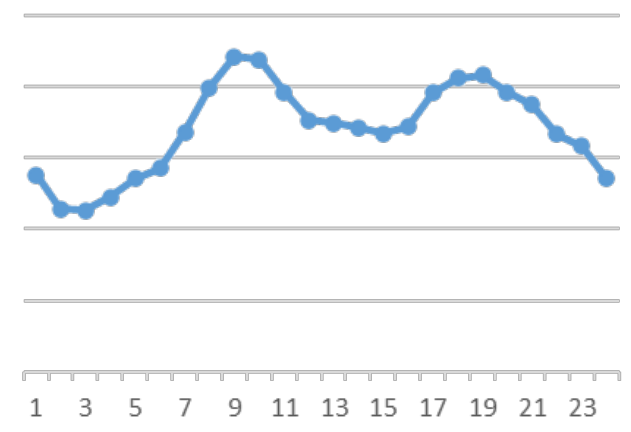
Промисловість



Світло, побутові споживачі



Сільгоспспоживачі



Транспорт

залежно від профілю споживання

1

Цільові функції:

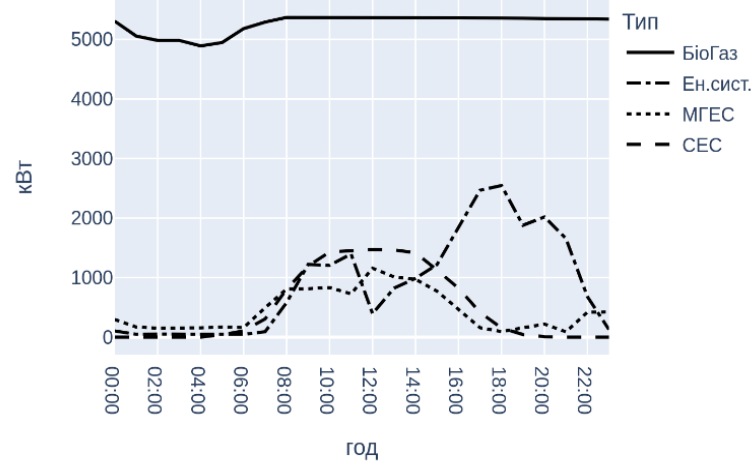
- 1) У першу чергу задіяти генеруючі джерела (фактори) з мінімальним питомим значенням собівартості за 1 МВт·год згенерованої енергії
- 2) Віддати перевагу джерелам енергії з максимальним питомим значенням капітальних витрат на 1 кВт встановленої потужності
- 3) Віддати перевагу джерелам енергії з мінімальним (легким) ступенем керованості (маневреності) станції
- 4) Віддати перевагу джерелам енергії з мінімальним впливом на довкілля (займані корисні площі, затоплення земель тощо)

Джерела енергії	собівартість електроенергії згенерованої ВДЕ, євро/МВт·год	інвестиції/капітальні витрати, дол/кВт	ступінь керованості станцією	вплив на довкілля
БіоГаз1	95	2500	0,2	0,1
СЕС1	100	550	0,05	0,4
СЕС2	97	650	0,5	0,4
СЕС3	105	750	0,05	0,4
МГЕС1	156	650	0,4	0,2
МГЕС2	160	500	0,4	0,2
СЕС4	95	600	0,05	0,4
СЕС5	97	750	0,05	0,4
БіоГаз2	95	3800	0,2	0,1
МГЕС3	164	700	0,4	0,2
Біогаз3	115	2300	0,2	0,1
МГЕС4	168	745	0,4	0,2
МГЕС5	172	745	0,4	0,2

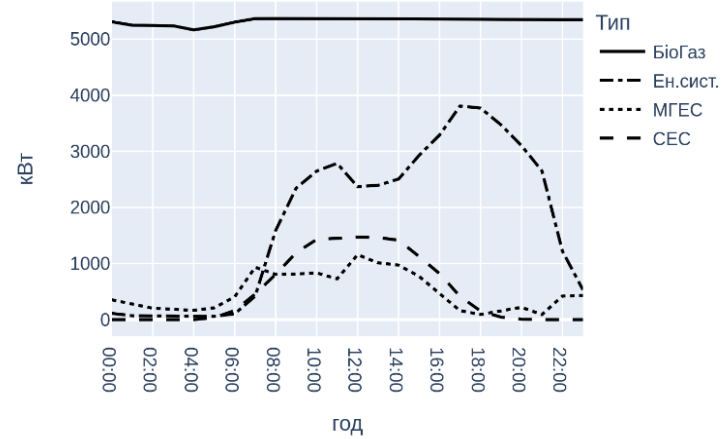
1

Результати оптимізації режимів роботи гібридних відновлюваних систем залежно від профілю споживання

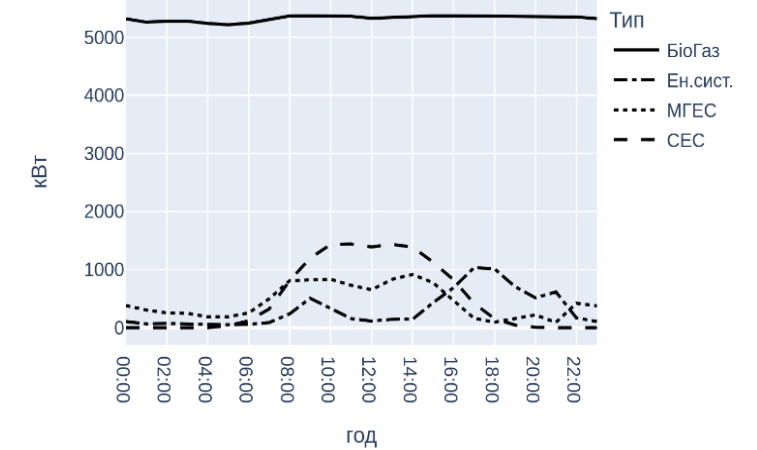
1 – Будівництво



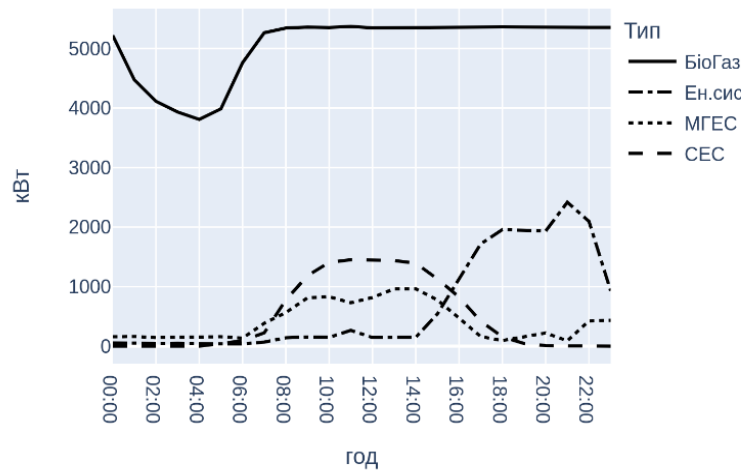
2 – Комунальне господарство



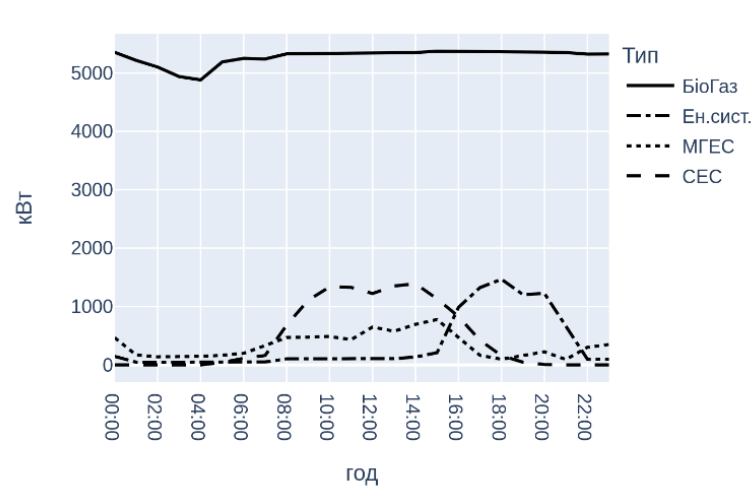
3 – Промисловість



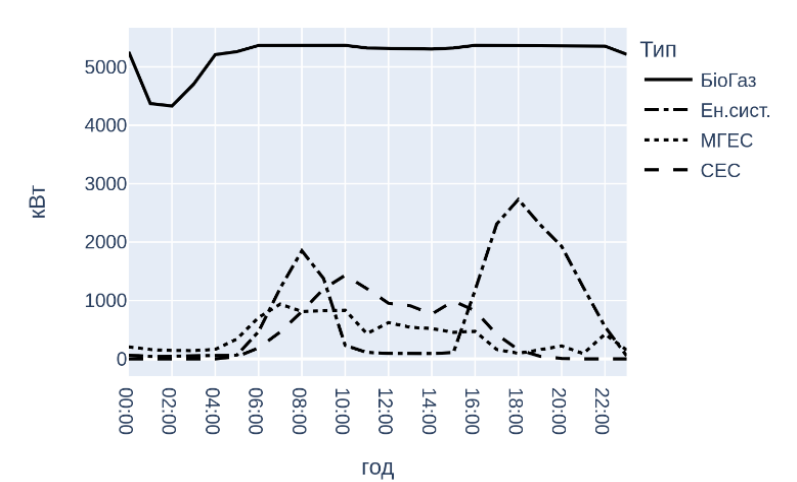
4 – Світло, побутові споживачі



5 – Сільгоспоживачі



6 – Транспорт

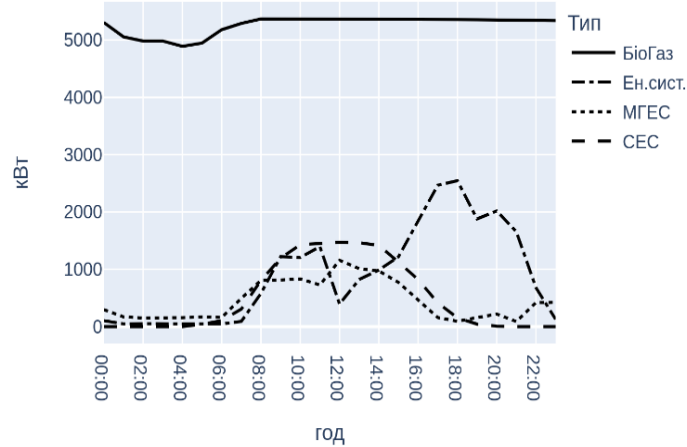


Порівняння результатів оптимізації режимів роботи гібридних відновлюваних систем з добовими обмеженнями

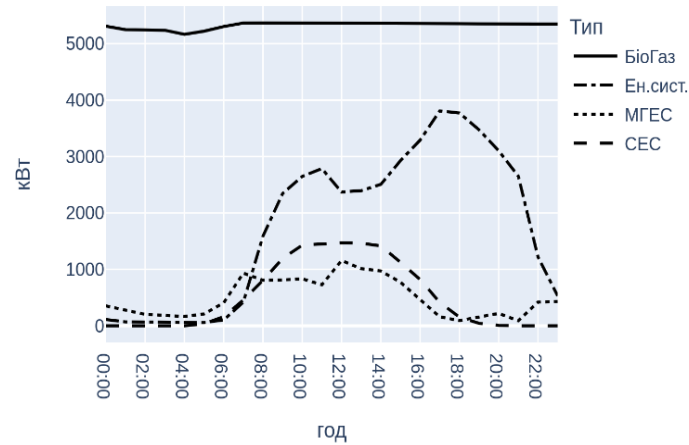
1

Базова модель

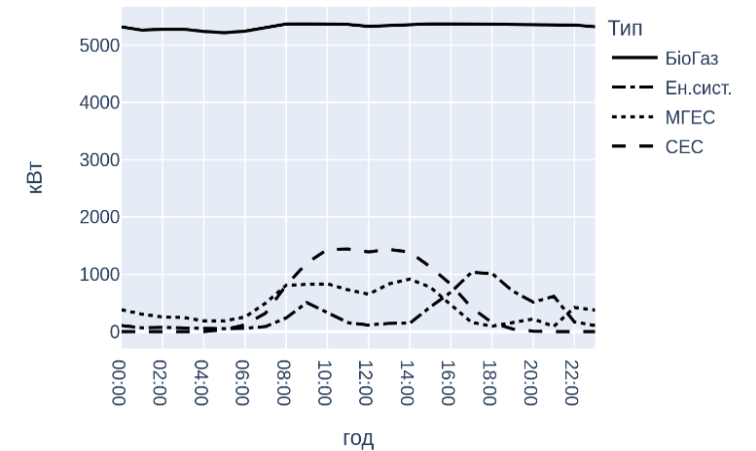
1 – Будівництво



2 – Комунальне господарство

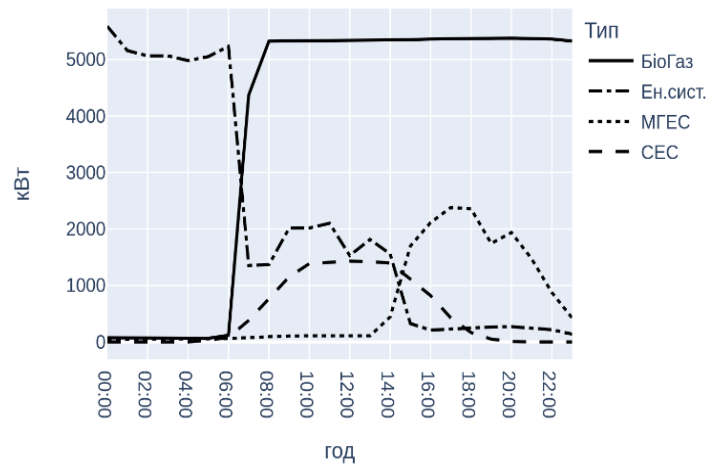


3 – Промисловість

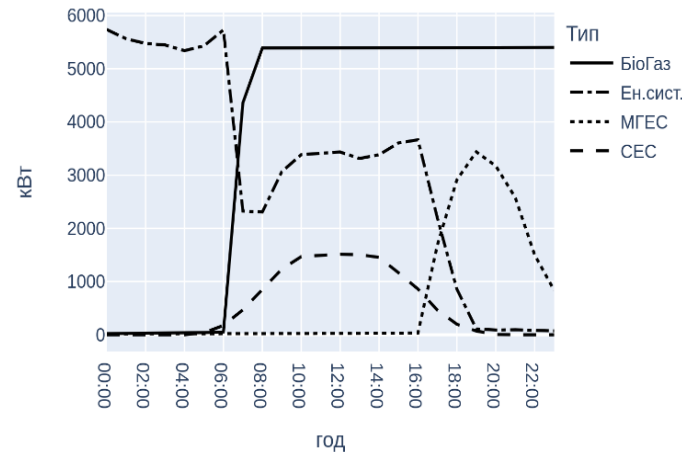


Модифікована модель (задіяти мережу для генерації електричної енергії у нічний час доби)

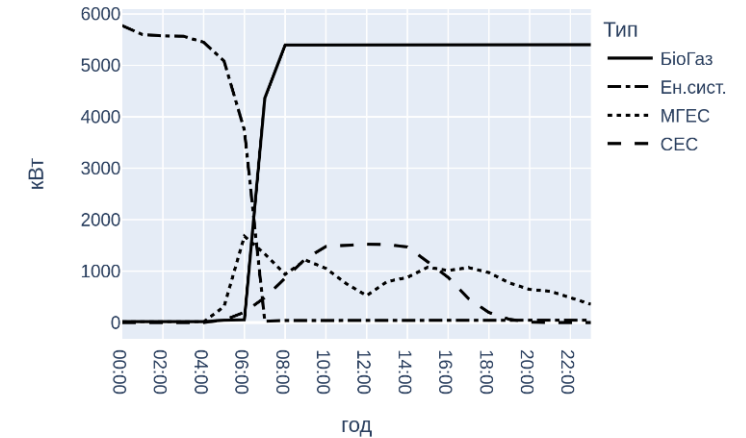
1 – Будівництво

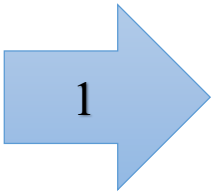


2 – Комунальне господарство



3 – Промисловість

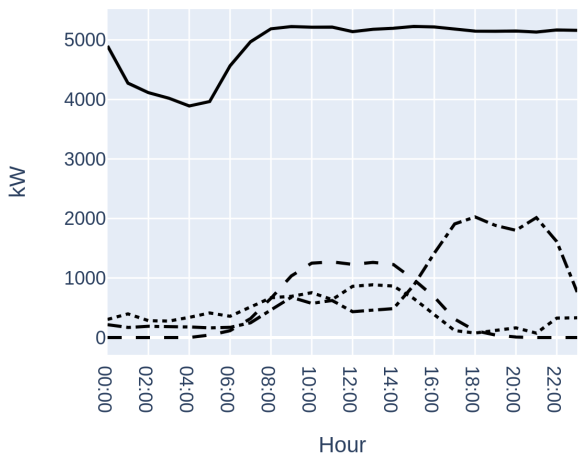




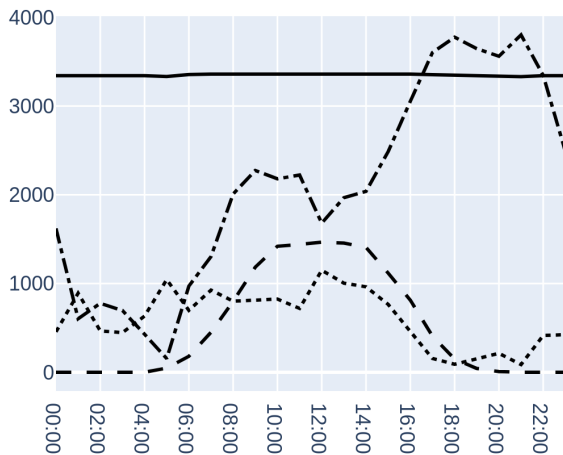
Результати оптимізації режимів роботи гібридних відновлюваних систем для різних сценаріїв використання типів генерації

Базова модель

Перевага БіоГаз

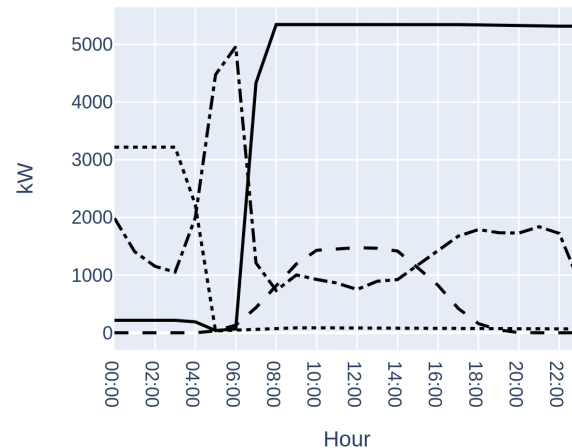


рівномірно

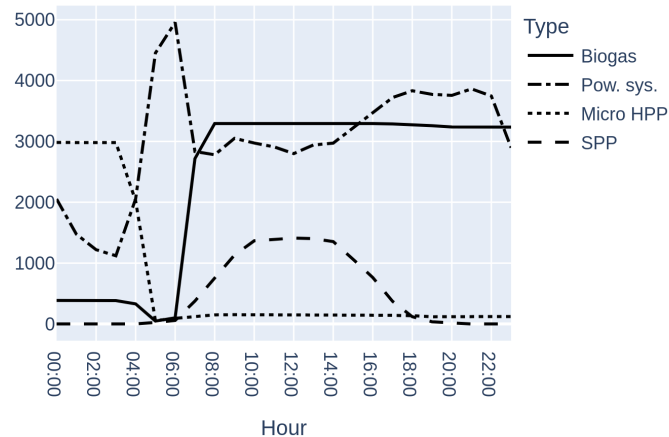


Модифікована модель з добовими обмеженнями

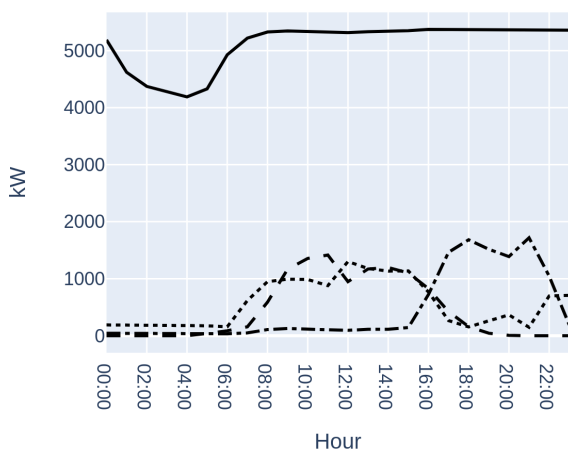
Перевага БіоГаз



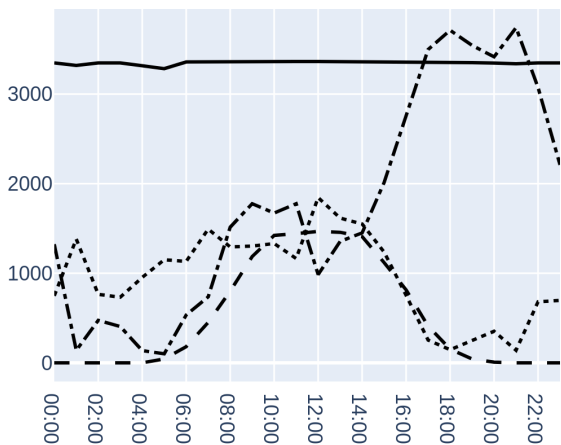
рівномірно



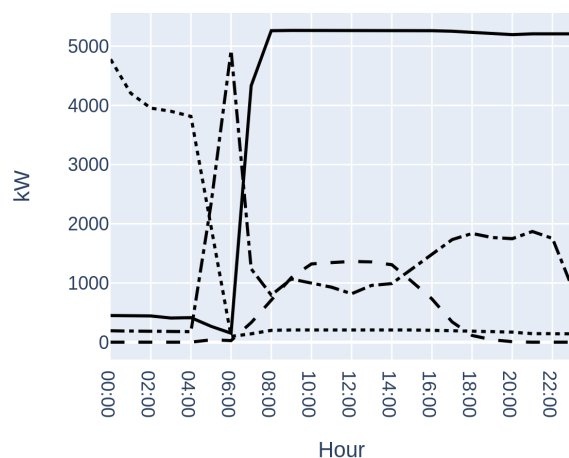
Перевага БіоГаз, МГЕС



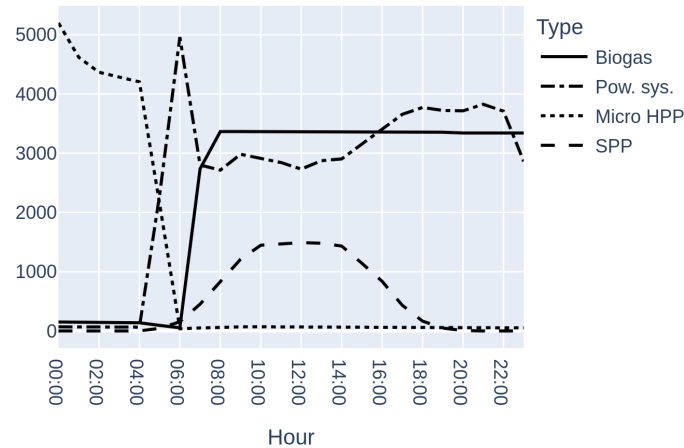
Перевага МГЕС



Перевага БіоГаз, МГЕС



Перевага МГЕС

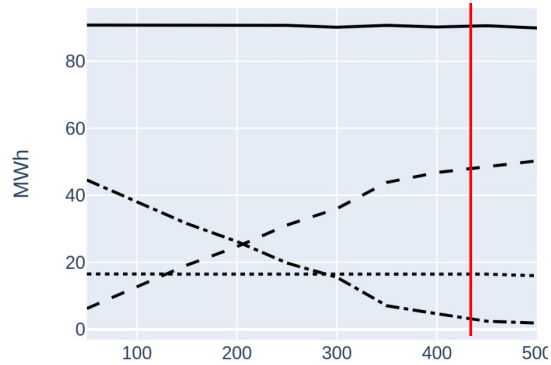


1

Результати застосування алгоритму визначення необхідної частки генерації сонячних електростанцій і біогазових установок для забезпечення автономності під час блекаутів

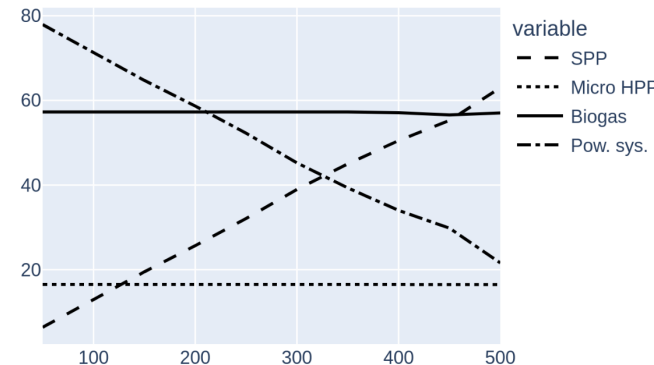
Сонячні електростанції

Сценарій 1

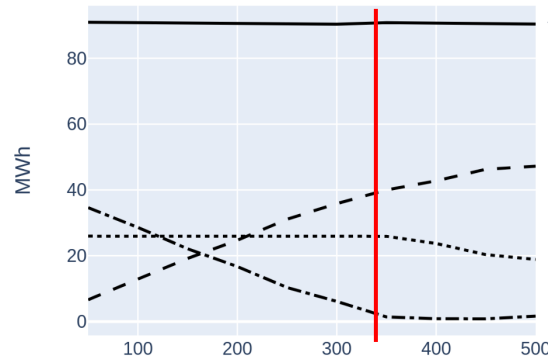


Встановлена потужність по відношенню до базової, %

Сценарій 2

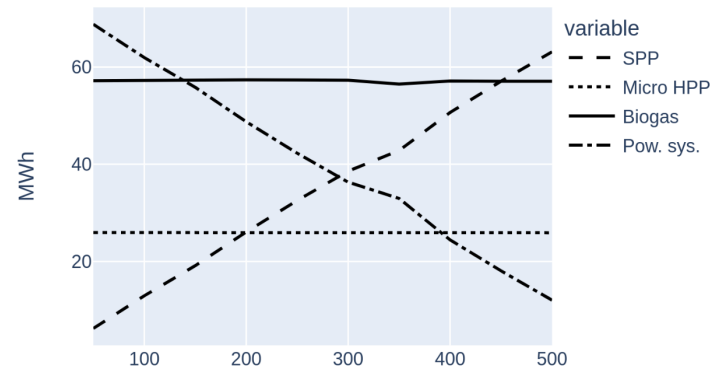


Сценарій 3



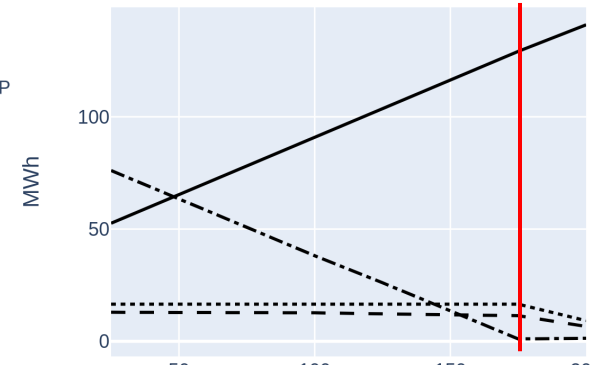
Встановлена потужність по відношенню до базової, %

Сценарій 4



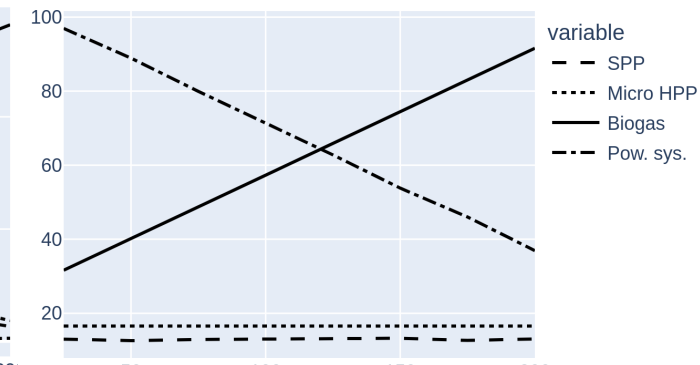
Біогазові установки

Сценарій 1

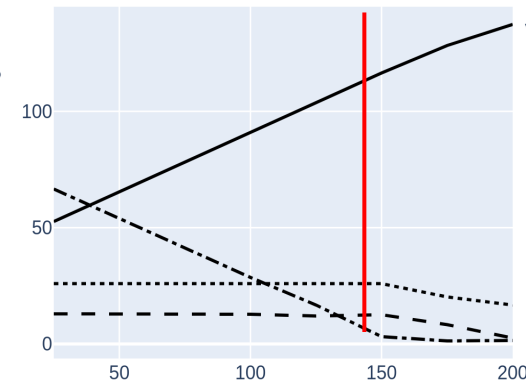


Встановлена потужність по відношенню до базової, %

Сценарій 2

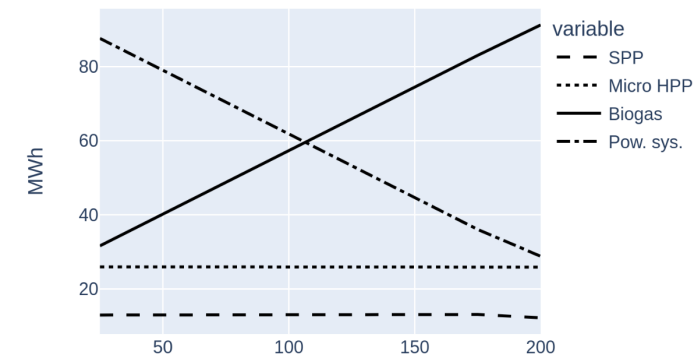


Сценарій 3



Встановлена потужність по відношенню до базової, %

Сценарій 4



Результати оптимізації режимів роботи гібридних відновлюваних систем у випадку неочікуваної зміни умов експлуатації

1

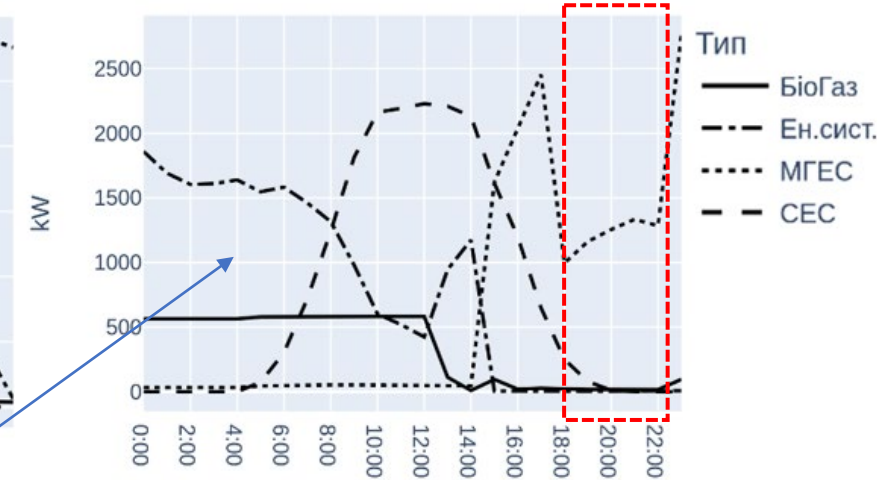
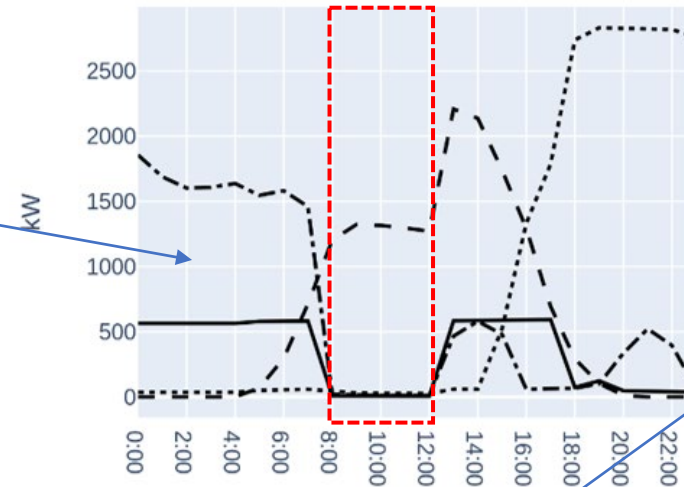
Розглянуто **сценарій** зміни умов експлуатації – зменшення попиту на електроенергію від запланованого обсягу (через відключення ліній живлення споживачів)

Відключення споживачів з 8:00 до 12:00

відомо про планове відключення електроенергії за 24 год до виникнення

відомо про планове відключення електроенергії за 3 год до виникнення

неочікувано (за 0 год до виникнення)

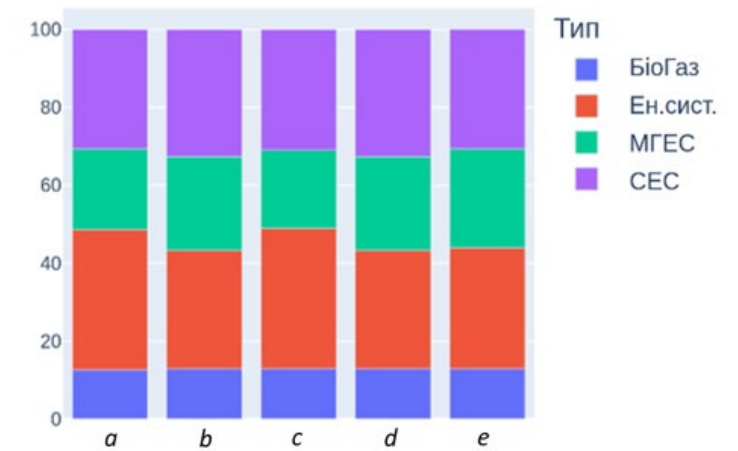
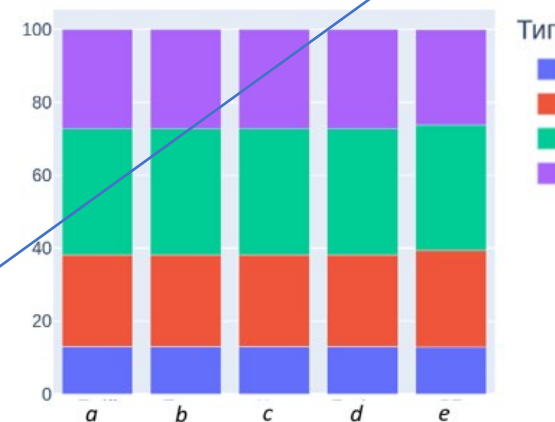


Відключення споживачів з 18:00 до 22:00

відомо про планове відключення електроенергії за 24 год до виникнення

відомо про планове відключення електроенергії за 3 год до виникнення

неочікувано (за 0 год до виникнення)



a – «зелений» тариф; *b* – кількість годин роботи з максимальним навантаженням T_{\max} ; *c* – коефіцієнт використання встановленої потужності; *d* – рівень шкідливих викидів (емісії CO_2); *e* – багатокритеріальний підхід

Результати оптимізації режимів роботи гібридних відновлюваних систем у випадку неочікуваної зміни умов експлуатації

1

Розглянуто **сценарій** зміни умов експлуатації – зменшення можливого споживання енергії з енергосистеми через застосування обмежень зі сторони оператора мережі (дефіцит генерації в основній енергосистемі)

Обмеження споживання з 8:00 до 12:00

відомо про планове відключення електроенергії за 24 год до виникнення

відомо про планове відключення електроенергії за 3 год до виникнення

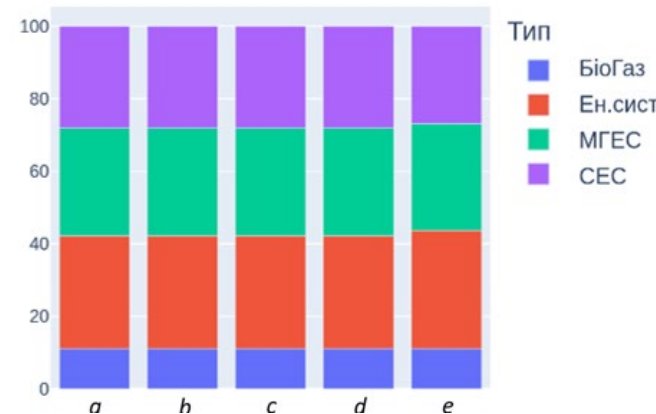
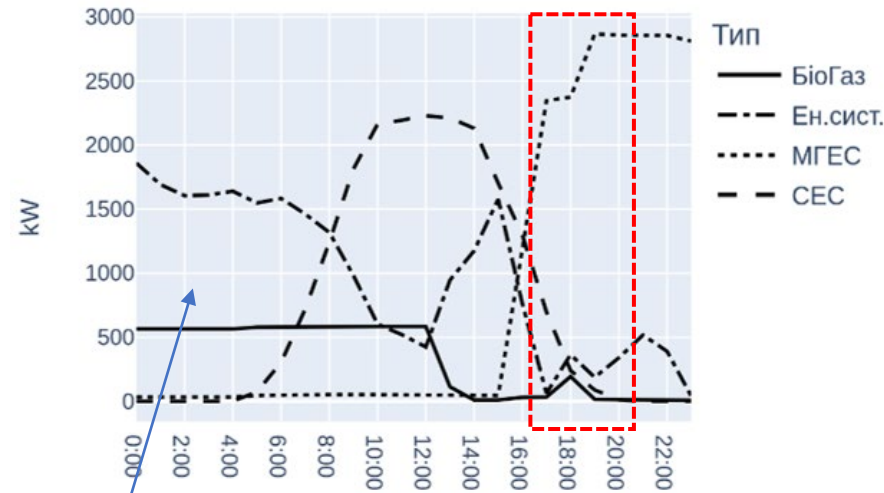
неочікувано (за 0 год до виникнення)

Обмеження споживання з 18:00 до 22:00

відомо про планове відключення електроенергії за 24 год до виникнення

відомо про планове відключення електроенергії за 3 год до виникнення

неочікувано (за 0 год до виникнення)



Оцінювання роботи системи відбувалася за такими критеріями:

наявність необхідності непланового відключення споживачів або джерел електроенергії

втрати потенціалу генерації електроенергії

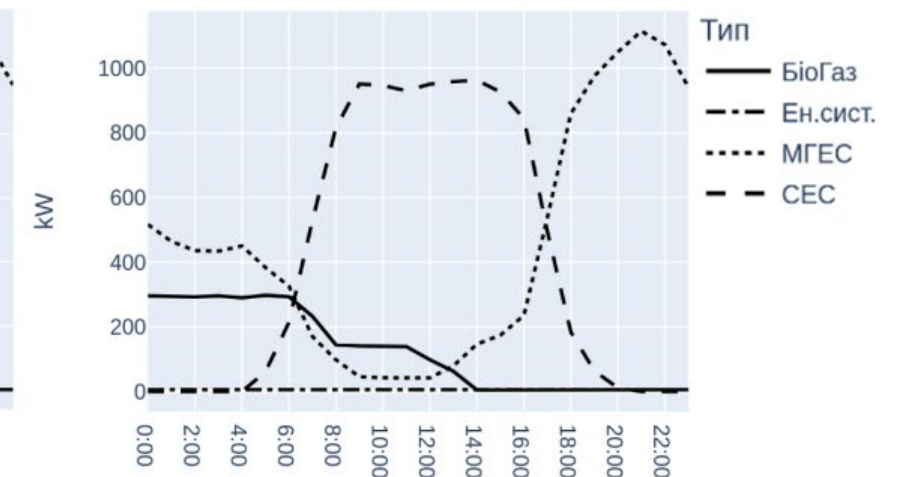
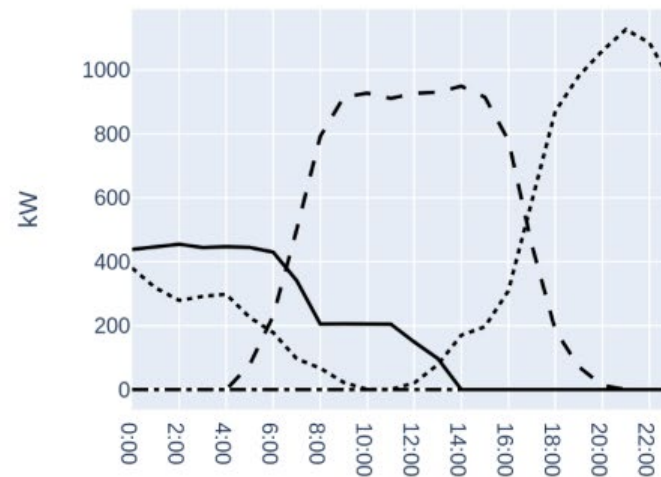
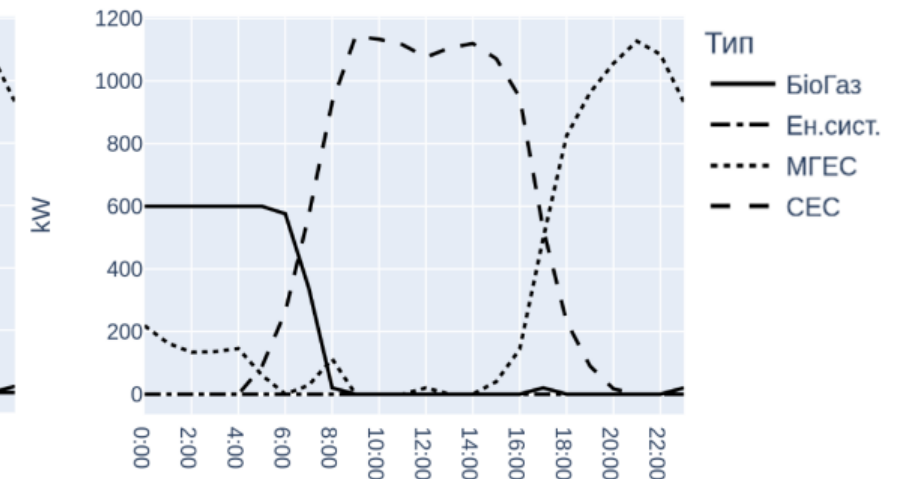
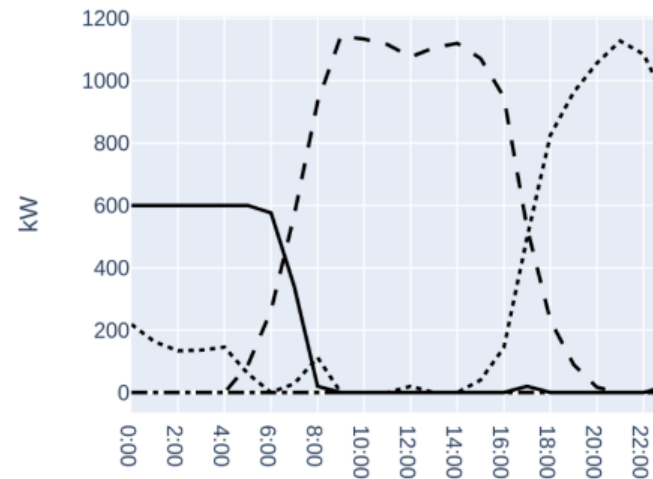
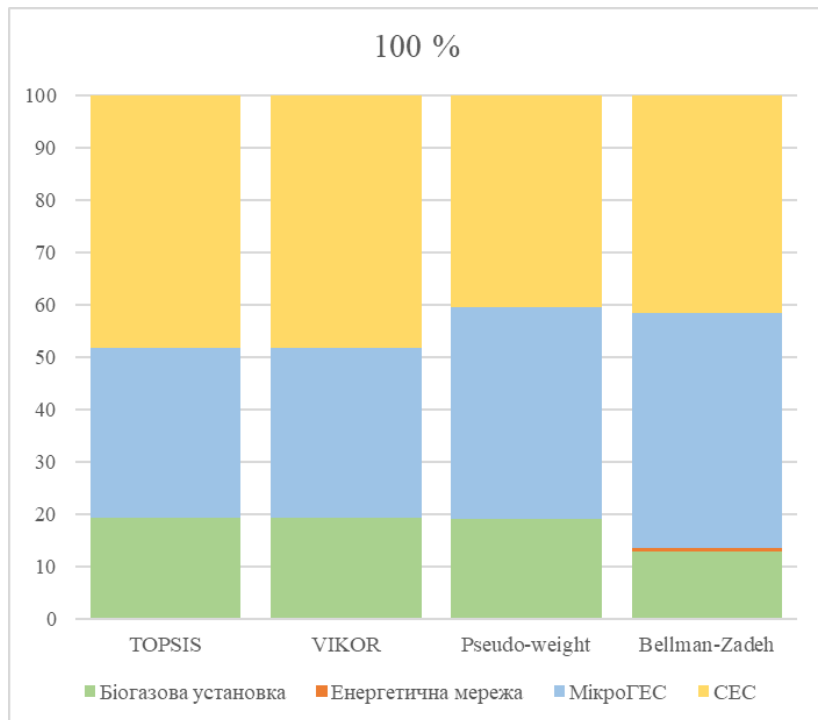
розподіл генерації між джерелами енергії

a – «зелений» тариф; *b* – кількість годин роботи з максимальним навантаженням T_{\max} ; *c* – коефіцієнт використання встановленої потужності; *d* – рівень шкідливих викидів (емісії CO_2); *e* – багатокритеріальний підхід

1

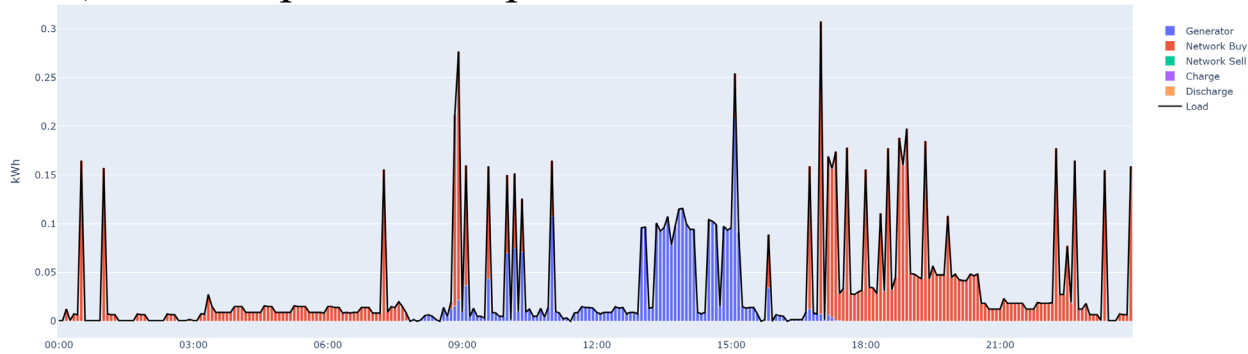
Результати оптимізації режимів роботи гібридних відновлюваних систем при використанні різних методів багатокритеріального прийняття рішень

У якості методів багатокритеріального прийняття рішень можна розглянути такі: *Vikor*, *Topsis*, *Pseudo-weight* і *Bellman-Zadeh*

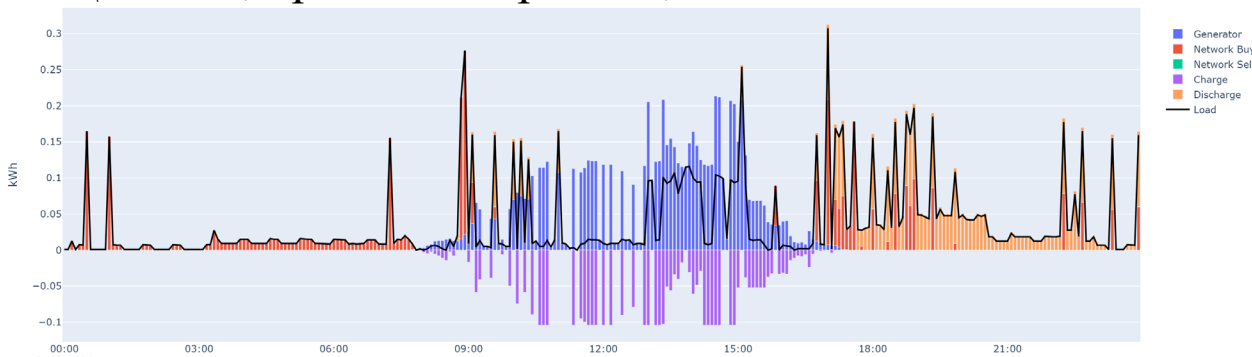


Результати оптимізації режимів роботи в гібридних системах енергозабезпечення з врахуванням зносу УЗЕ й обмежень заряджання для побутового споживача

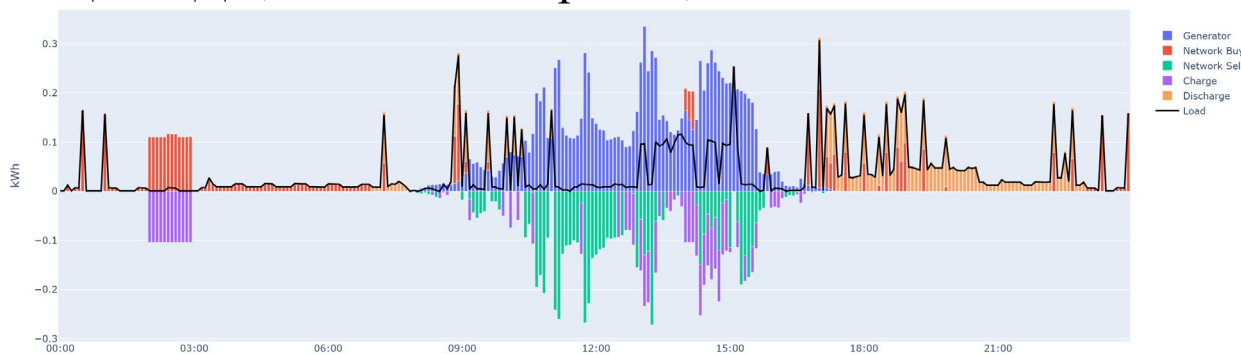
Ціни ПС, продаж заборонено



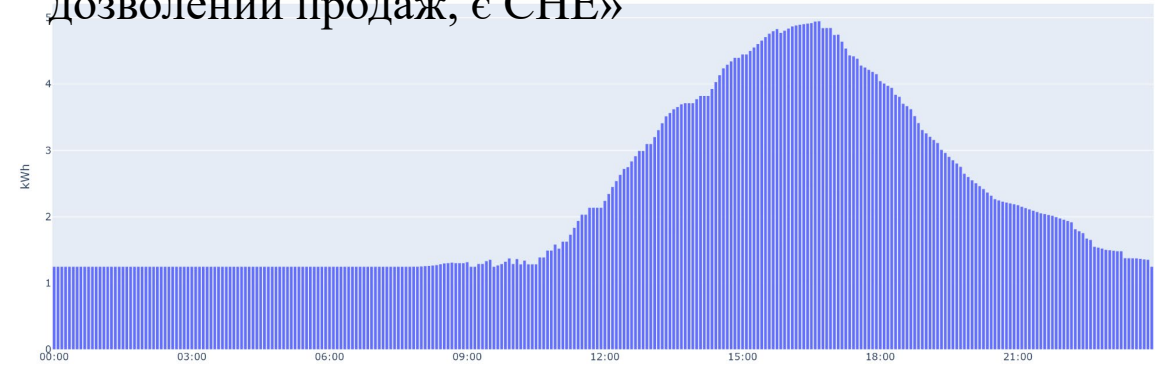
Ціни ПС, продаж заборонено, € УЗЕ



Ціни РДН, дозволений продаж, € УЗЕ



Режим роботи УЗЕ для сценарію «Ціни РДН, дозволений продаж, € СНЕ»

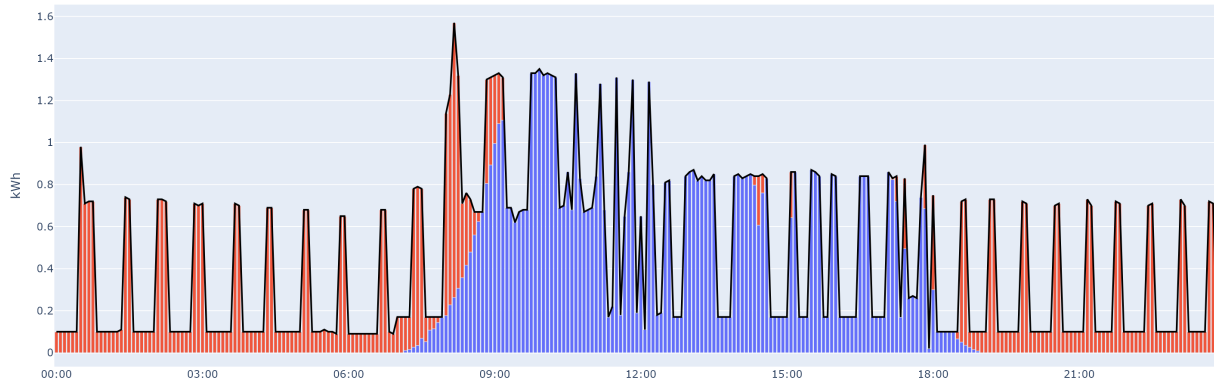


Сценарій	ЦФ	Купівля	Продаж
Ціни РДН, дозволений продаж	22,53 €	45,40 €	- 22,87 €
Ціни РДН, продаж заборонено	45,40 €	45,40 €	- €
Ціни ПС, продаж заборонено	25,56 €	25,56 €	- €
Ціни МНС, продаж заборонено	41,18 €	41,18 €	- €
Ціни РДН, дозволений продаж, € УЗЕ	10,06 €	18,49 €	- 15,27 €
Ціни РДН, продаж заборонено, € УЗЕ	22,83 €	15,35 €	- €
Ціни ПС, продаж заборонено, € УЗЕ	18,25 €	11,82 €	- €
Ціни МНС, продаж заборонено, € УЗЕ	25,33 €	18,85 €	- €

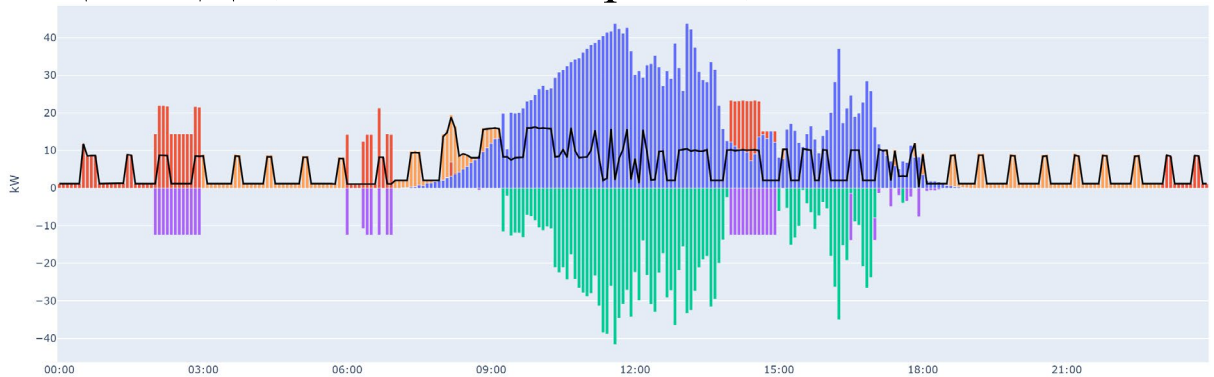
ПС – побутовий споживач, РДН – ринок «на добу наперед»,
МНС – малий непобутовий споживач, УЗЕ – установка зберігання енергії

Результати оптимізації режимів роботи в гібридних системах енергозабезпечення з врахуванням зносу УЗЕ й обмежень заряджання для системи *малої потужності*

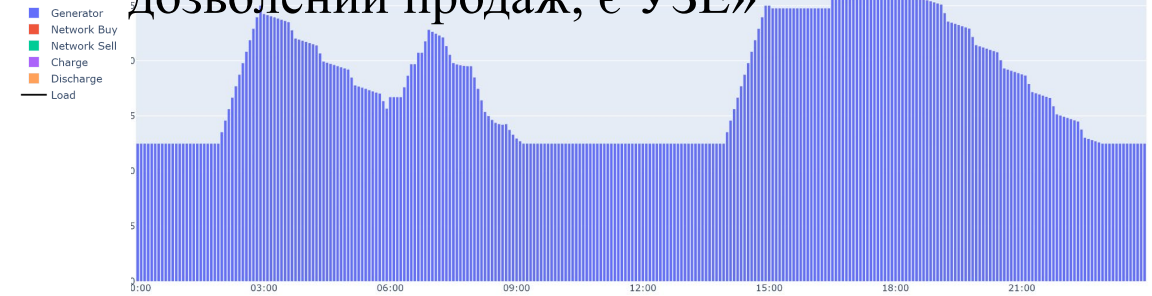
Ціни МНС, продаж заборонено



Ціни РДН, дозволений продаж, € УЗЕ



Режим роботи УЗЕ для сценарію «Ціни РДН, дозволений продаж, € УЗЕ»

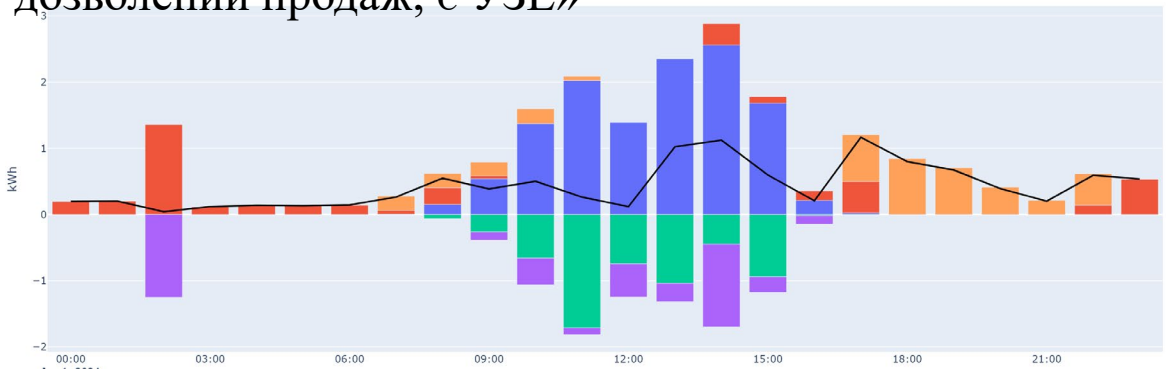


Сценарій	ЦФ	Купівля	Продаж
Ціни РДН, дозволений продаж	- 86,90 €	266,18 €	- 353,08 €
Ціни РДН, продаж заборонено	266,18 €	266,18 €	- €
Ціни ПС, продаж заборонено	184,74 €	184,74 €	- €
Ціни МНС, продаж заборонено	297,64 €	297,64 €	- €
Ціни РДН, дозволений продаж, € УЗЕ	- 209,32 €	122,83 €	- 332,15 €
Ціни РДН, продаж заборонено, € УЗЕ	93,07 €	93,07 €	- €
Ціни ПС, продаж заборонено, € УЗЕ	115,16 €	115,16 €	- €
Ціни МНС, продаж заборонено, € УЗЕ	185,54 €	185,54 €	- €

Новизна полягає у врахуванні затрат на знос УЗЕ та вводить адаптивне обмеження на швидкість заряджання при високому рівні заряду. Це досягається шляхом використання бінарних змінних для визначення стану заряду УЗЕ та врахування коефіцієнта уповільнення заряджання, що дає можливість ефективно керувати процесами енергопостачання, знижувати експлуатаційні витрати та продовжувати термін служби УЗЕ за реальних умов експлуатації

для побутового споживача

Погодинні перетоки енергії для сценарію «Ціни РДН, дозволений продаж, € УЗЕ»



Режим роботи УЗЕ для сценарію «Ціни РДН, дозволений продаж, € УЗЕ»

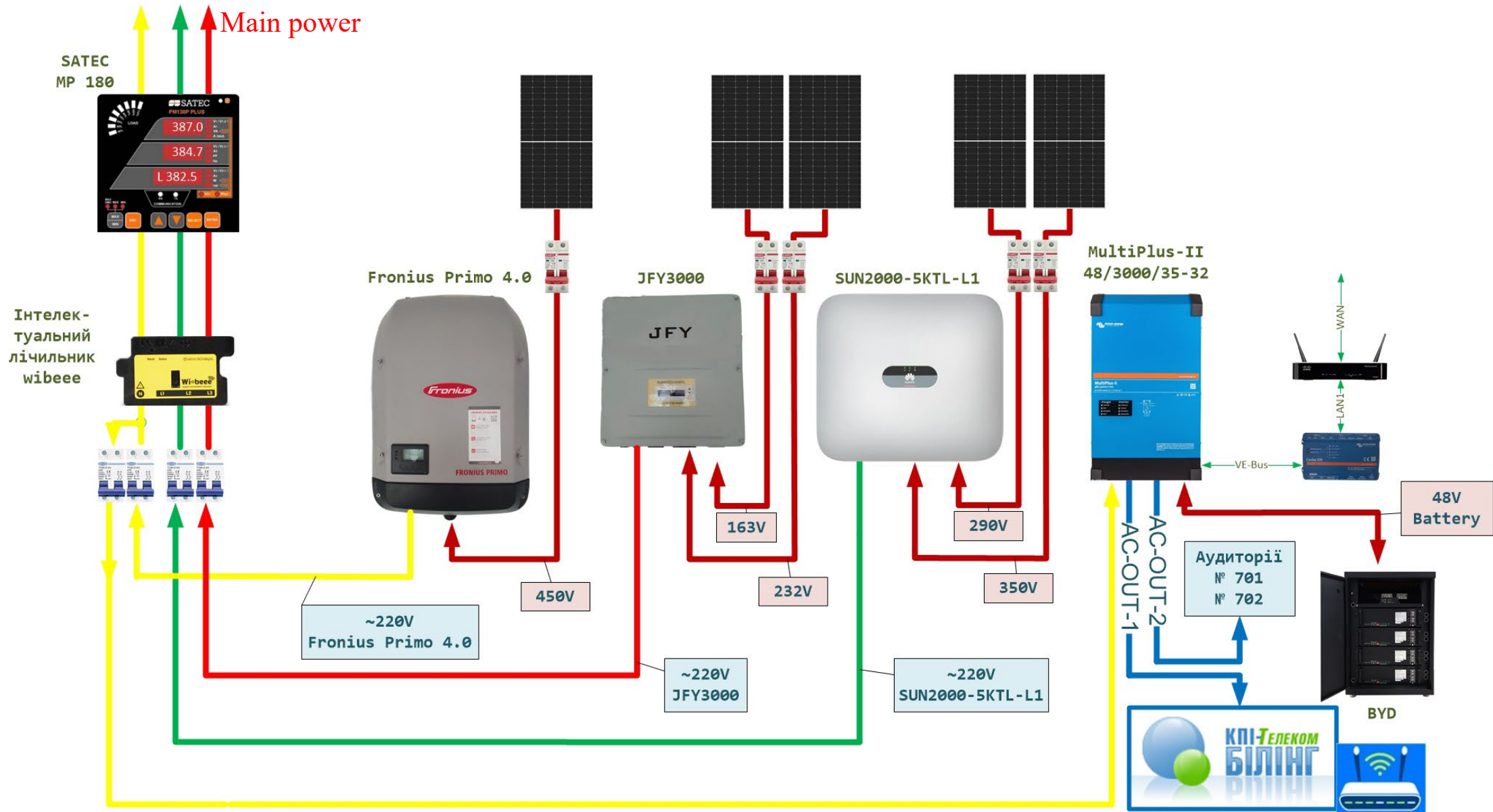


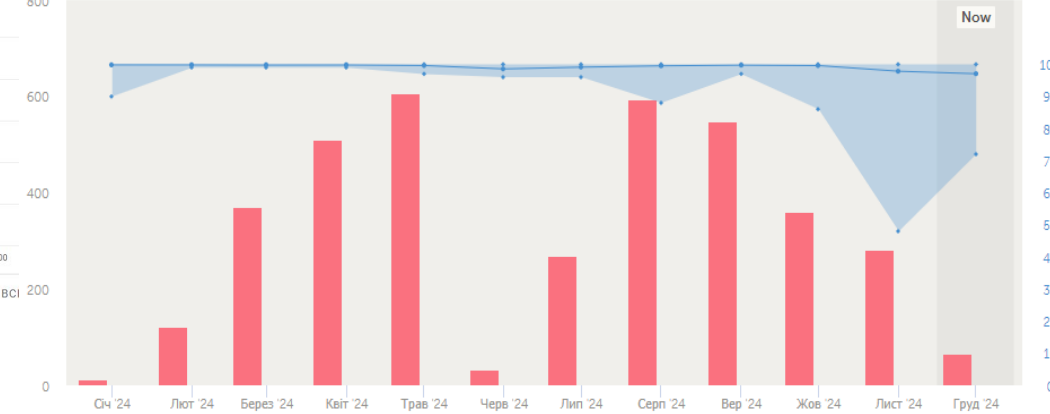
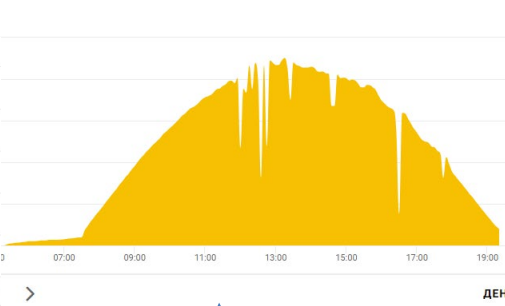
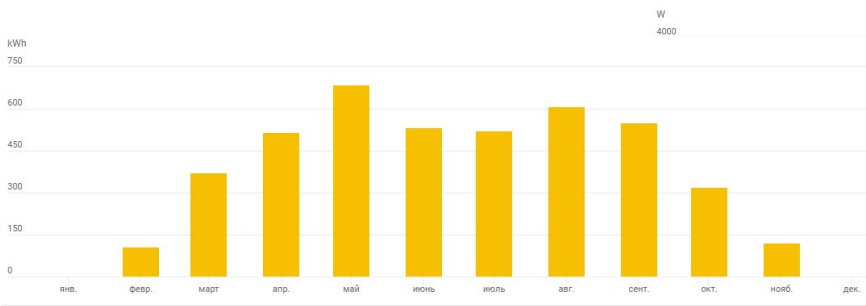
Порівняння результатів оптимізації для періоду часу 24 години



Новизна підходу полягає у введенні **коефіцієнта еластичності попиту споживача**, що дає змогу перейти від моделі пасивного забезпечення фіксованого навантаження до гнучкого керування попитом, де активний споживач може економічно доцільно змінювати свій профіль споживання. Це створює умови для зниження витрат на енергетичні ресурси за рахунок оптимального розподілу ресурсів, зниження пікових навантажень та покращення інтеграції ВДЕ

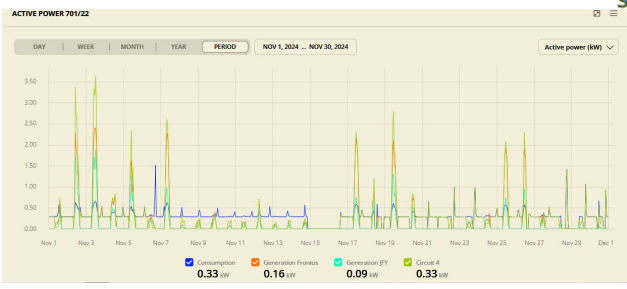
Структурна схема системи електропостачання у навчально-науковій лабораторії «Гібридних систем електропостачання» від альтернативних джерел живлення



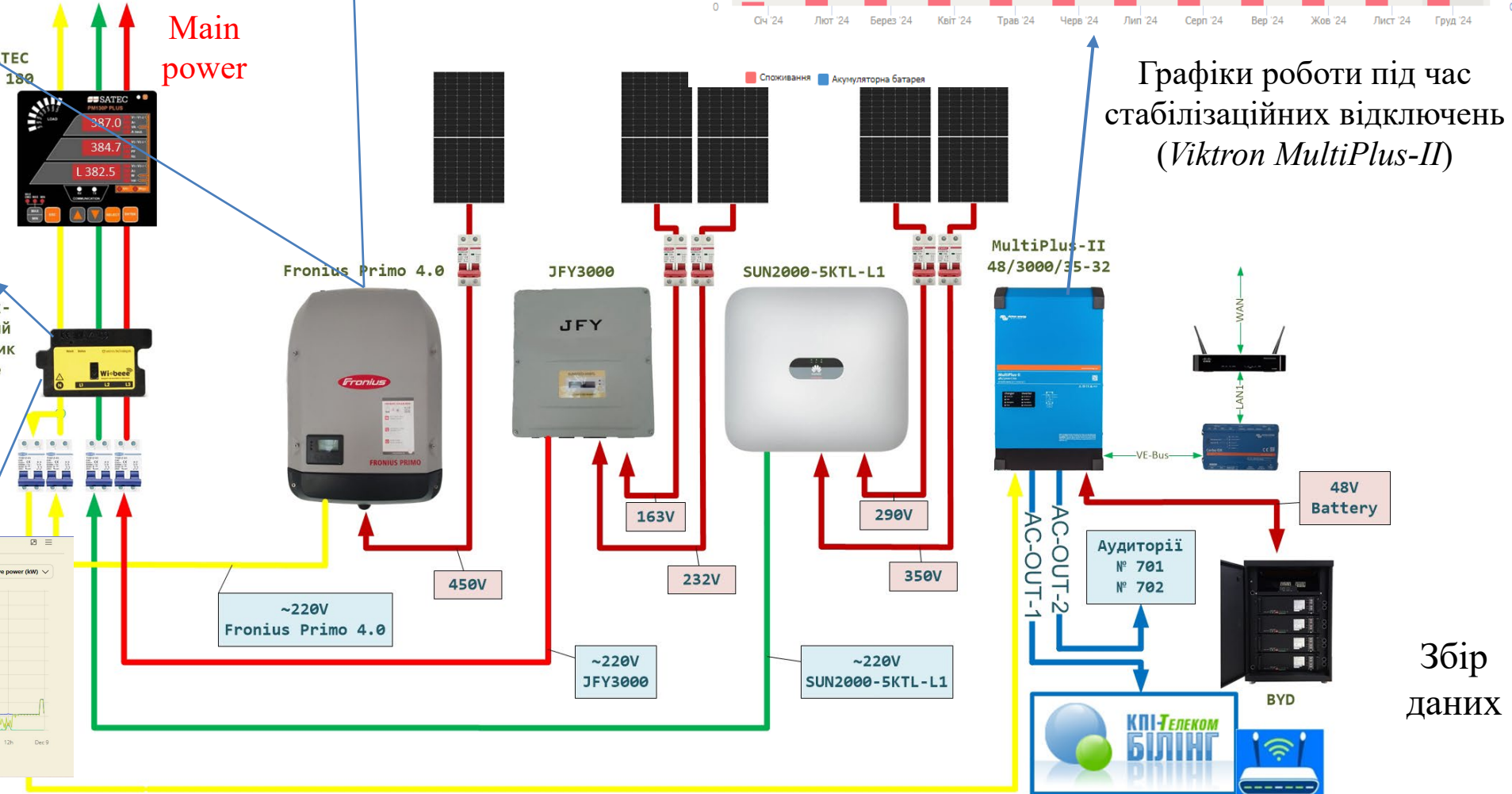
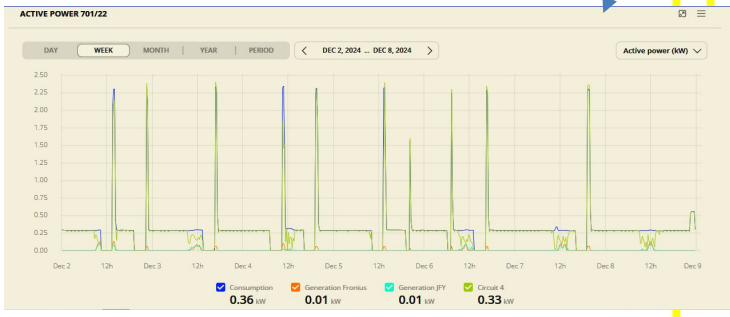


Графіки генерації сонячної енергії (Fronius Primo 4.0)

Графіки роботи під час стабілізаційних відключень (Victron MultiPlus-II)



Графіки споживання лабороторії (лічильник wibeer)



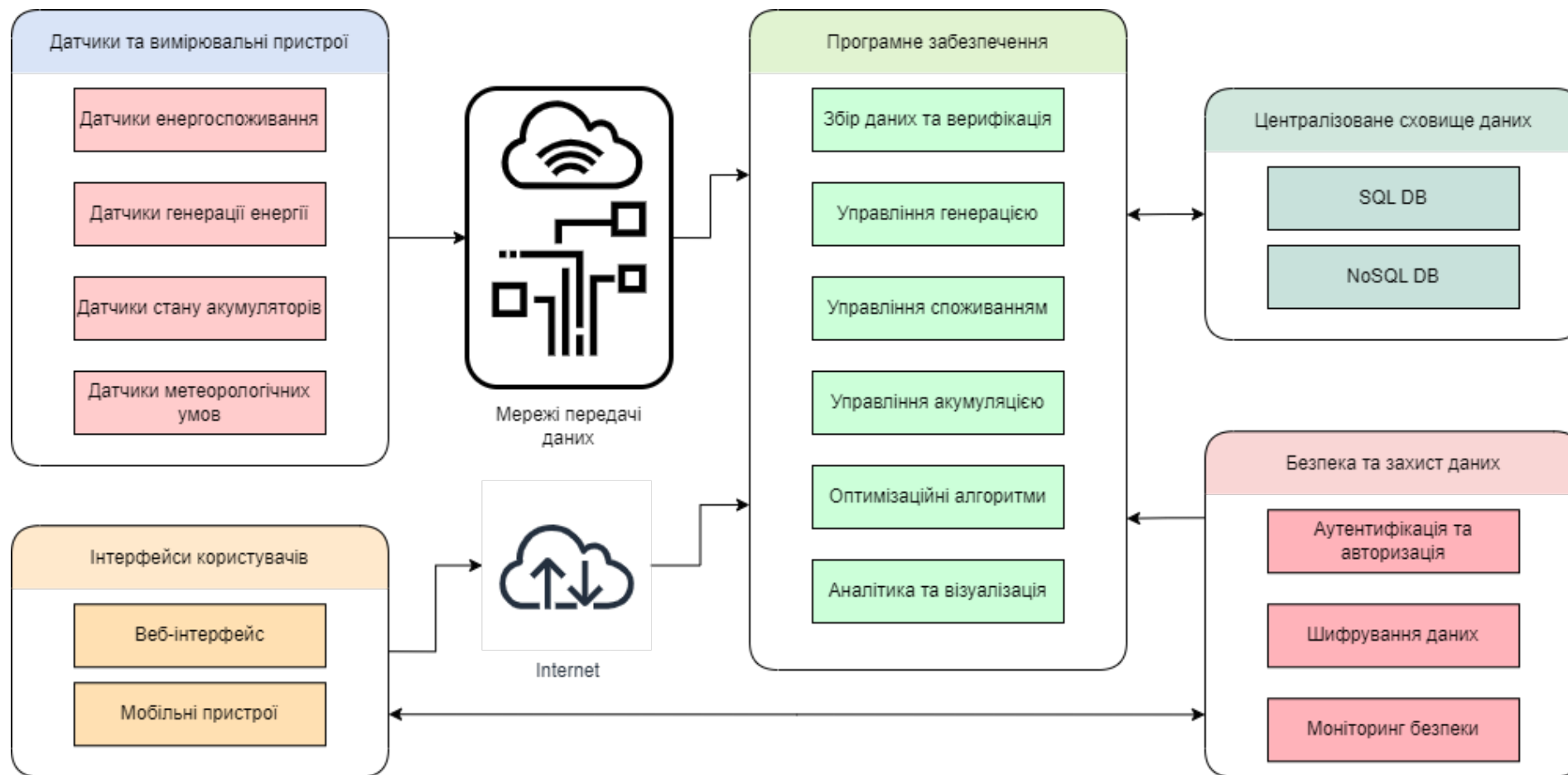
Збір даних



Інформаційно-розрахунковий комплекс моделювання режимів роботи енергетичних спільнот

Інформаційний комплекс надає можливості досягнення максимальної ефективності та мінімізації витрат в енергетичних спільнотах за рахунок оптимізації процесів генерації, споживання та розподілу енергії

Перспективна структура інформаційно-розрахункового комплексу моделювання ЕнС

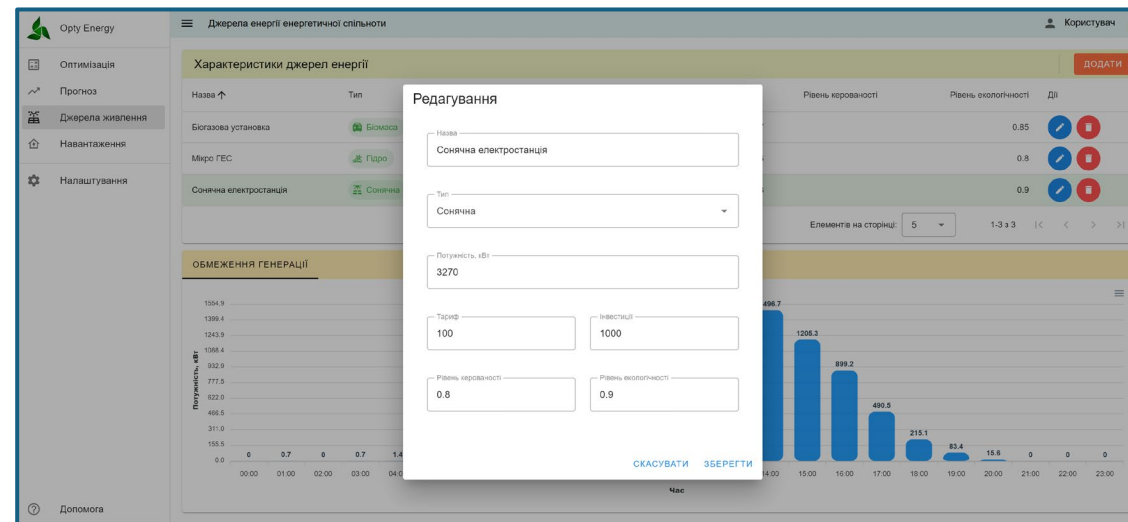


Інформаційно-розрахунковий комплекс моделювання режимів роботи енергетичних спільнот

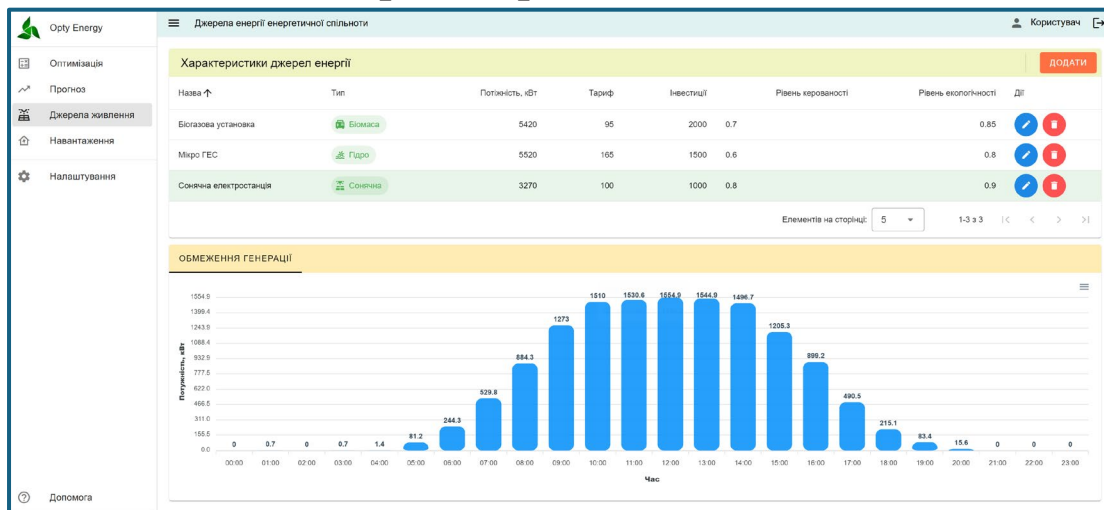
Дані про навантаження енергетичної спільноти



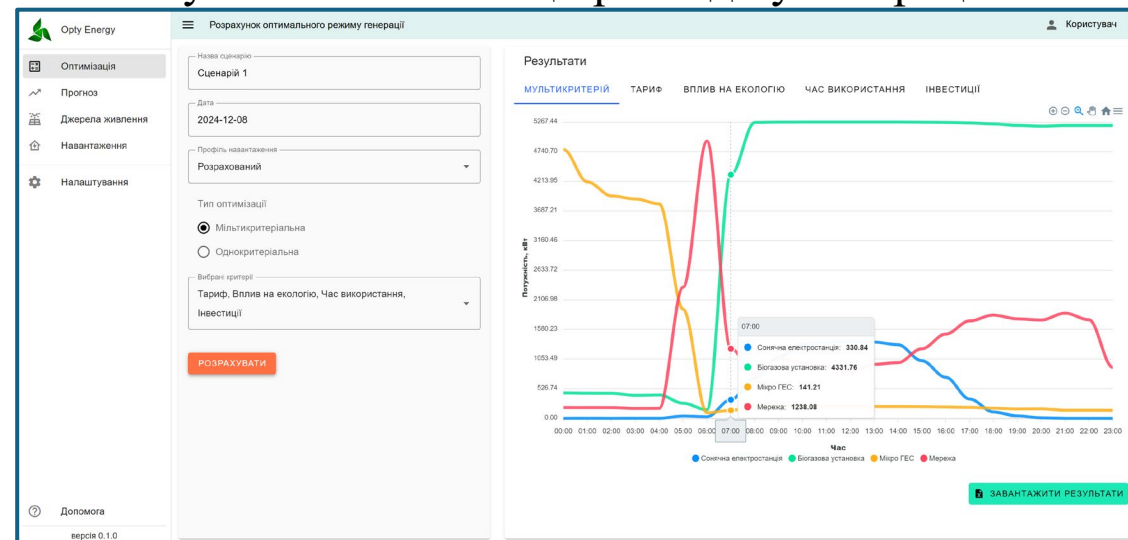
Введення характеристик джерела живлення



Дані про джерела живлення



Результати оптимізації розподілу генерації



Висновки

1. У результаті виконання проєкту розроблено й апробовано метод багатокритеріального оперативного розподілу навантаження в електроенергетичних спільнотах між різними джерелами енергії, які забезпечують споживачів енергією на певній території з метою впровадження найбільш ефективних умов її використання шляхом урахування сукупності факторів технічного, економічного та соціального характерів. Цей підхід дає змогу за необхідності віддавати перевагу окремим критеріям залежно від режиму роботи складових електроенергетичних спільнот.
2. Запропоновано математичні моделі стратегій управління установками зберігання енергії та доведено їх доцільність під час моделювання й оптимізації роботи установки зберігання енергії з погляду економічної доцільності та зменшення рівня деградації. Встановлено, що використання модифікованої стратегії управління, яка забезпечує підтримання середнього рівня заряду протягом процесу участі установок зберігання енергії в підтриманні частоти, дає змогу зменшити час знаходження у стані розряду до нуля та зменшити деградацію батареї в процесі її експлуатації.
3. Запропоновано новий підхід при моделювання оптимізації управління попитом в гібридних системах енергозабезпечення за рахунок введення коефіцієнта еластичності попиту споживача, що дає змогу перейти від моделі пасивного забезпечення фіксованого навантаження до гнучкого керування попитом, де активний споживач може економічно доцільно змінювати свій профіль споживання.

Висновки

4. У рамках виконання проєкту реалізовано комплекс засобів для накопичення експериментальних даних про режими функціонування енергетичних спільнот із використанням сучасної технічної бази: створено наукову лабораторію «Гібридних систем електропостачання» та розгорнути системи збору даних про електричне навантаження різнотипних споживачів (побутові, офісні, громадські).
5. Розроблено програмне забезпечення, яке дає змогу виконувати оптимізацію та моделювання режимів роботи енергетичних спільнот із застосуванням методу багатокритеріального оперативного розподілу навантаження між різними джерелами енергії, які забезпечують споживачів енергією на певній території з метою впровадження найбільш ефективних умов її використання шляхом урахування сукупності факторів технічного, економічного та екологічного характерів.
6. Отримані результати можуть бути використані для покращення спроможності енергетичної системи щодо інтеграції нових потужностей із відновлюваними джерелами енергії та, таким чином, створення технічної можливості для подальшої гнучкості енергосистем, забезпечення енергетичної безпеки та декарбонізації економіки України.