



НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЇ  
Удосконалення роботи ринку електроенергії та інтеграція  
з енергооб'єднанням європейських країн ENTSO-E.  
6-10 вересня 2021 р.  
м. Нова Каховка, Херсонської обл.

# ***Використання малих ГЕС для балансування режимів локальних електричних станцій***

***Лежнюк Петро Дем'янович, д.т.н., професор Вінницького НТУ***

***Ковальчук Олексій Афанасійович, к.т.н., директор ТОВ «Енергоінвест»***

***Комар В'ячеслав Олександрович, д.т.н., професор Вінницького НТУ***



# Резервування ЕЕС з використанням малих ГЕС



Рис. 2.1. Зовнішній вигляд ФЕС та ГЕС «Слобода-Бушанська».

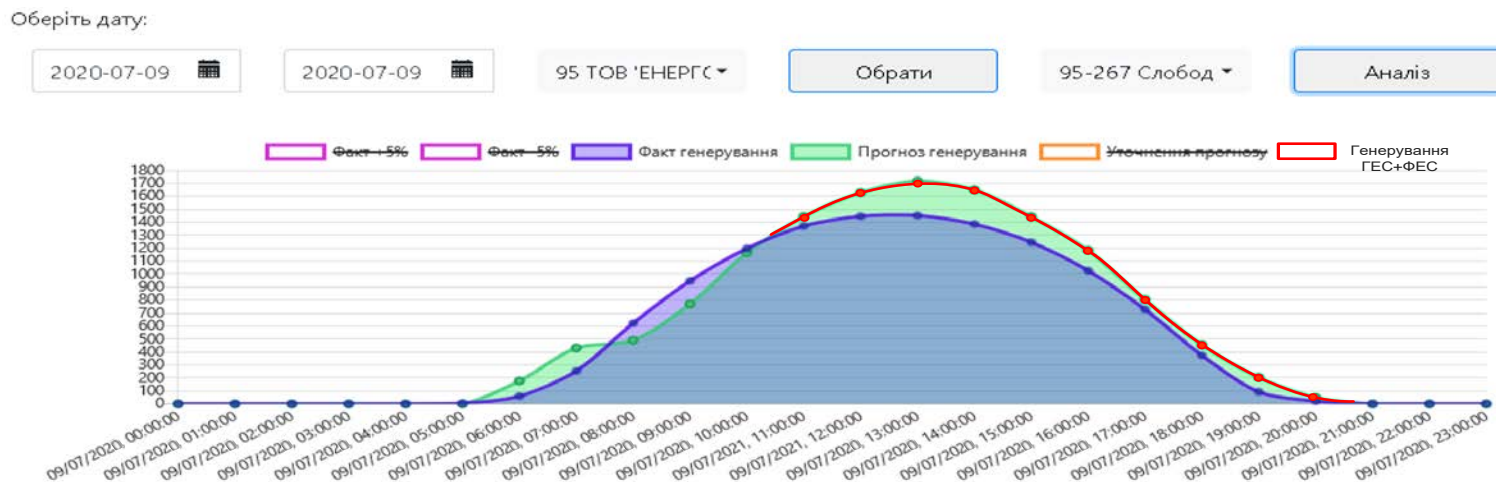


Рис. 2.2. Генерування ГЕС і ФЕС «Слобода-Бушанська» 9 липня 2020 р.: синя крива – фактичне значення генерування ФЕС; зелена – прогнозне значення генерування ФЕС; червона – сумарне значення генерування ГЕС і ФЕС.

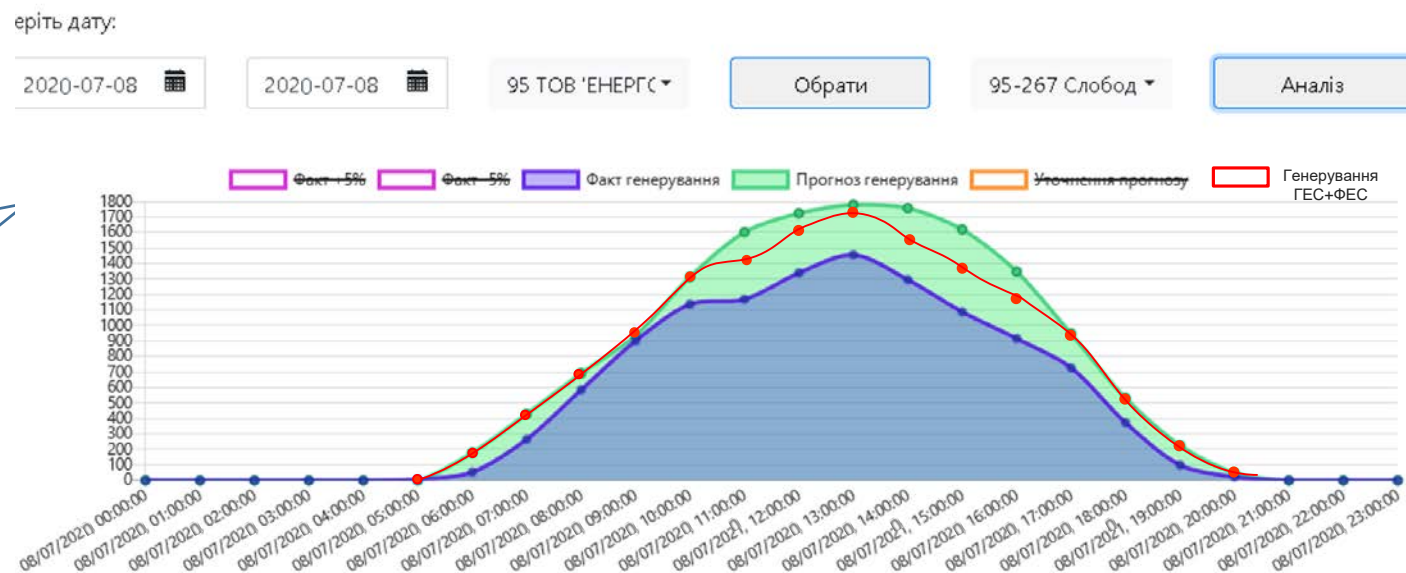


Рис. 2.3. Генерування ГЕС і ФЕС «Слобода-Бушанська» 8 липня 2020 р: синя крива – фактичне значення генерування ФЕС; зелена – прогнозне значення генерування ФЕС; червона – сумарне значення генерування ГЕС і ФЕС.



# Резервування ЕЕС з використанням малих ГЕС

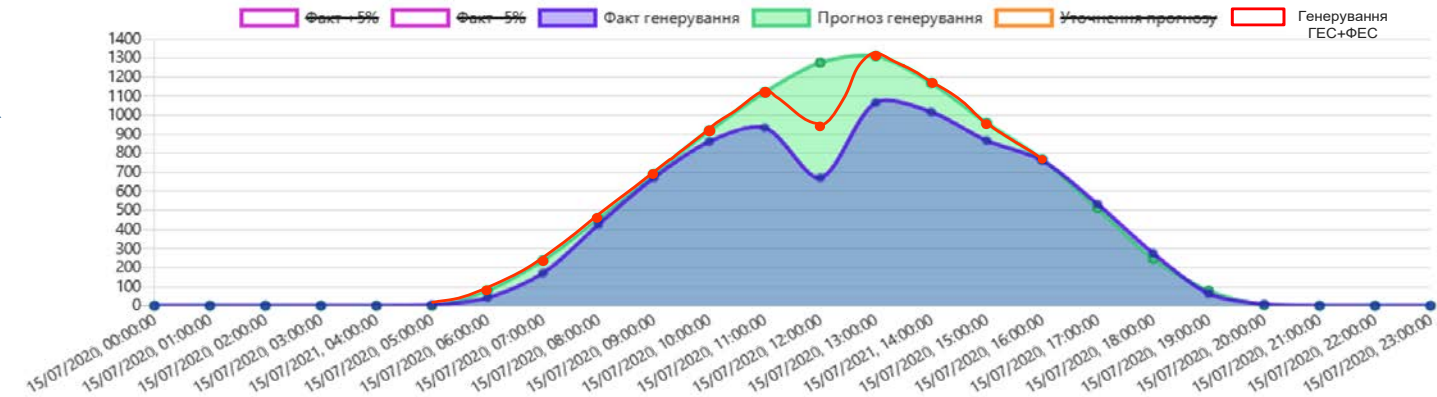


Рис. 3.1. Зовнішній вигляд ФЕС та ГЕС «Гальжбіївська».

Рис. 3.2. Генерування ГЕС і ФЕС «Гальжбіївська» 15 липня 2020 р: синя крива – фактичне значення генерування ФЕС; зелена – прогнозне значення генерування ФЕС; червона – сумарне значення генерування ГЕС і ФЕС.

Оберіть дату:

2020-07-15 2020-07-15 0 ВНТУ  95-266 Гальжбі



# ВИСНОВКИ

- ❑ Якщо ФЕС експлуатуються в складі балансуєчої групи, то на відміну від розглянутих випадків, коли йдеться про індивідуальне використання ФЕС і ГЕС, можливе використання ГЕС групою для компенсації тієї або іншої ФЕС.
- ❑ Отже, експлуатувати ФЕС доцільніше в складі балансуєчої групи. Тут є певні переваги. Проте і ГЕС повинні бути згруповані, особливо ті, що працюють в каскаді. Перевагою роботи в групі є те, що з аналізу чутливості можна вибрати ту ГЕС, регулюванням потужності якої найдоцільніше компенсувати похибку прогнозування заданої ФЕС.
- ❑ Зміна кліматичної ситуації в Україні, посухи та обміління річок в деяких регіонах, де встановлені малі ГЕС, вимагає пошуку нових засобів компенсації нерівномірності генерування ВДЕ, таких як використання водневих технологій і біогазових установок.

# Хімічні накопичувачі електроенергії і біогазові установки як резерв балансування локальних електричних систем

*Лежнюк Петро Дем'янович, д.т.н., професор Вінницького НТУ*

*Комар В'ячеслав Олександрович, д.т.н., професор Вінницького НТУ*

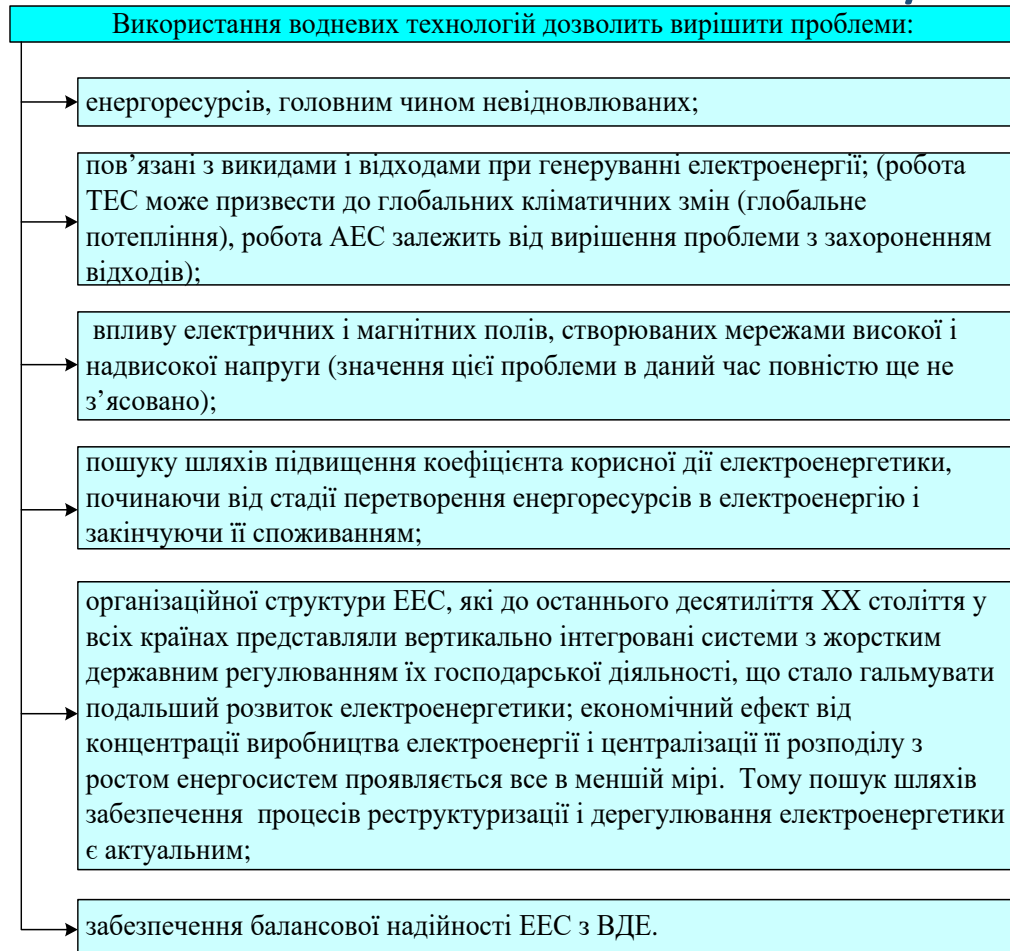
*Рубаненко Олена Олександрівна, докторантка Вінницького НТУ*



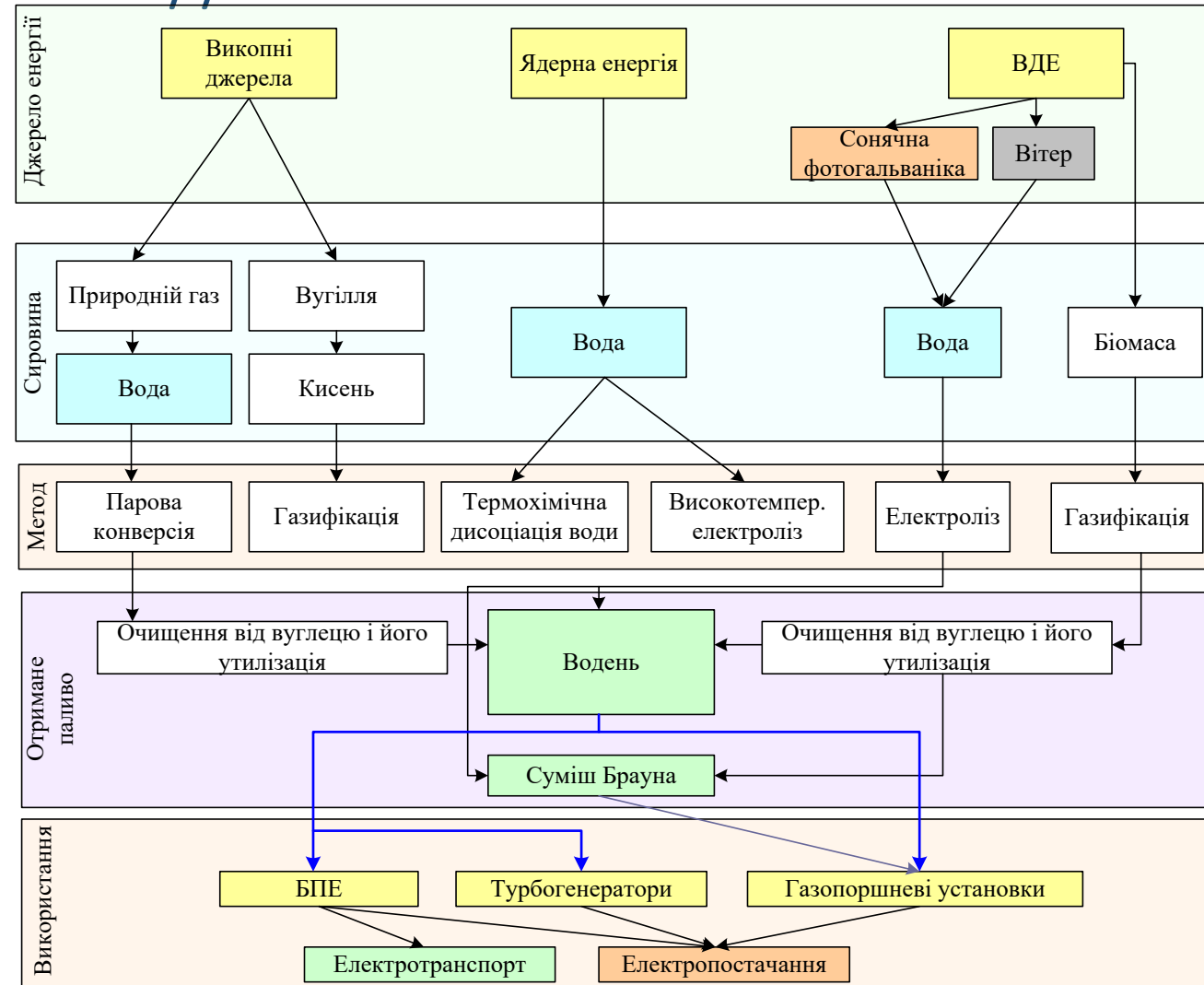
*Кафедра  
електричних станцій  
та систем*

вінницький національний технічний університет

# Проблеми елект роенергет ики, які можна вирішит и шляхом використ ання водневих т ехнологій



Дослідження, проведені International Energy Agency (IEA) виявили, що вартість виробництва водню з ВДЕ може знизитися на 30 % до 2030 року в результаті зменшення витрат на ВДЕ та збільшення виробництва водню.



**Хімічні накопичувачі електроенергії і біогазові установки як резерв балансування локальних електричних систем**

# Резервування з використанням водневих технологій

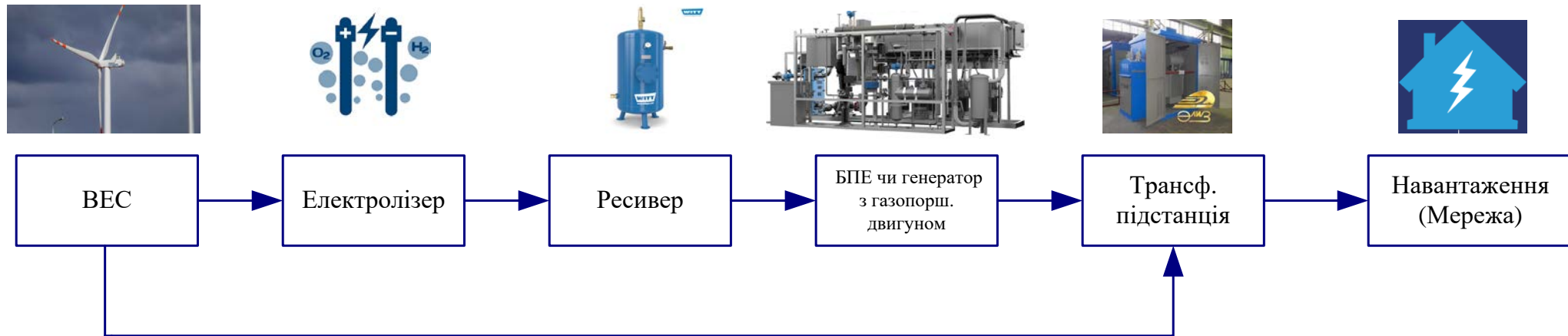


Рис. 3.1. Схема використання водню для підвищення енергоефективності.

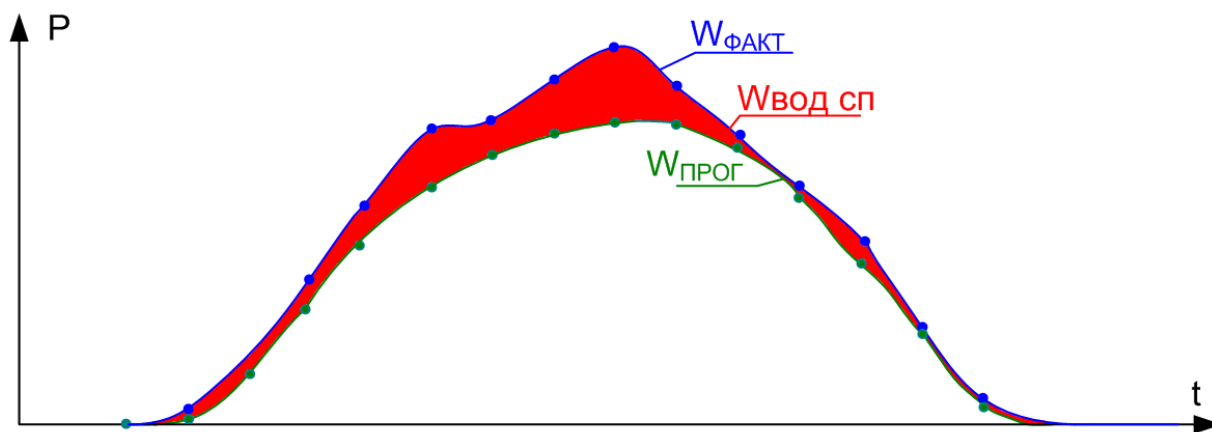


Рис. 3.2. Споживання водневою установкою та генерування ВДЕ з нерівномірним графіком генерування: синя крива – фактичне значення генерування; зелена – прогнозне значення генерування; червона область – електроенергія яку може споживати (акумуляувати) воднева установка.

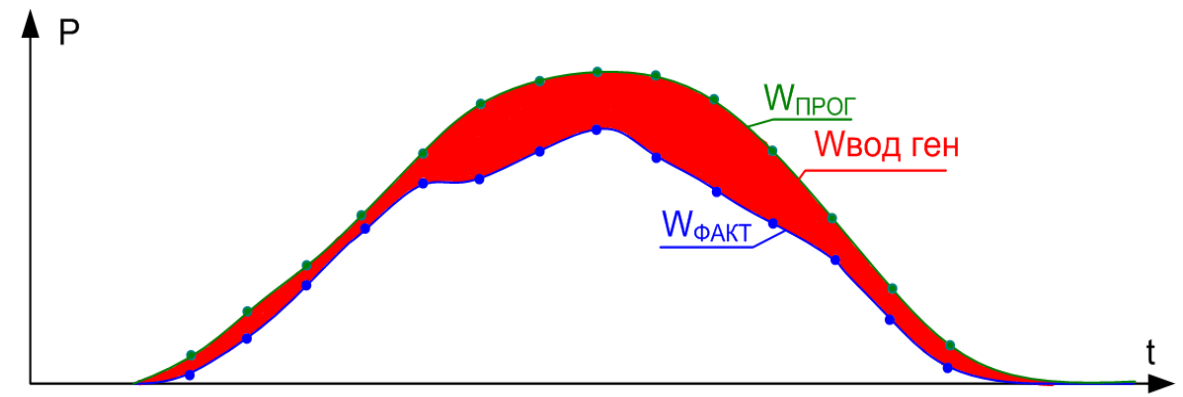


Рис. 3.3. Генерування водневою установкою та ВДЕ з нерівномірним графіком генерування: синя крива – фактичне значення генерування; зелена – прогнозне значення генерування; червона область – електроенергія яку може генерувати воднева установка.



# Балансування потужності в ЕЕС з використанням водневих технологій

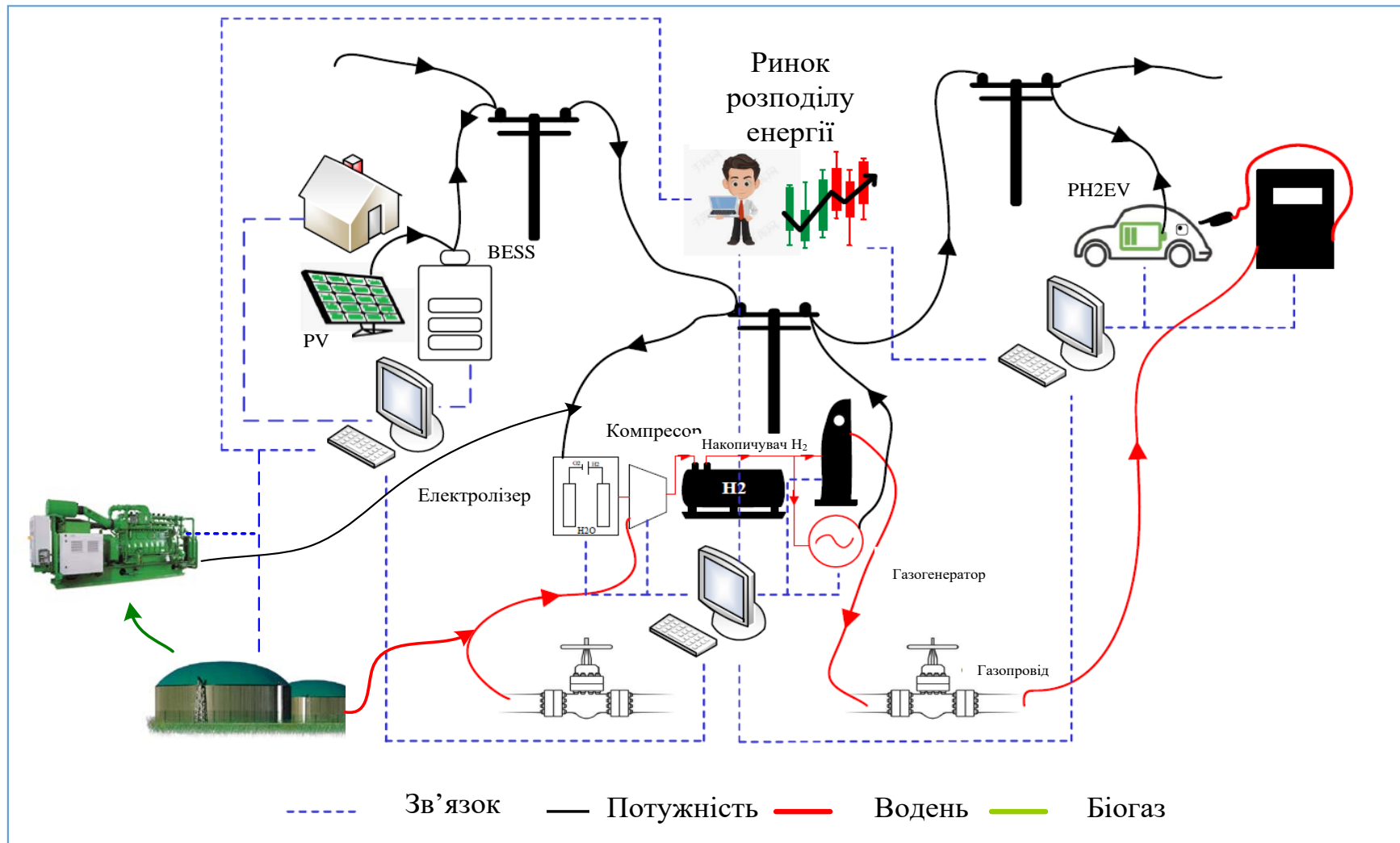


Рис. 4.1. Блок-схема реалізації балансування потужності в ЕЕС з використанням водневих технологій.



# Балансування потужності в ЕЕС з використанням водневих технологій

В інтегрованих ЕЕС різноманітні агрегатори повинні домовитись про координацію для досягнення найвищого загального соціального добробуту шляхом обміну різними видами енергії. У запропонованій математичній моделі розглядається взаємозв'язок електричної мережі та газової мережі. Цільову функцію можна описати як:

$$\begin{aligned}
 \text{Min}(f) = & \sum_{i \in \Omega^{AGG}} \sum_t C_{i,t}^{UG,E} + \sum_{i \in \Omega^{AGG}} \sum_t C_{i,t}^{UG,H} + \sum_{i \in \Omega^{FCV} \cup \Omega^{P2G}} \sum_t C_{i,t}^{H,E} + \sum_{i \in \Omega^{BAT}} \sum_t C_{i,t}^E - \\
 & - \sum_{i \in \Omega^{FCV} \cup \Omega^{P2G}} \sum_t U_{i,t}^{H,E} - \sum_{i \in \Omega^{BAT}} \sum_t U_{i,t}^E - \sum_{i \in \Omega^{PHC}} \sum_t U_{i,t}^H + \sum_{i,j \in \Omega^{EB}} \Upsilon^E(S_{ij,t}) + \sum_{i,j \in \Omega^{GB}} \Upsilon^H(H_{ij,t})
 \end{aligned}
 \tag{5.1}$$

де  $C_{i,t}^{UG,E}$  – витрати на реалізацію електроенергії за допомогою комунальної мережі;

$C_{i,t}^{UG,H}$  – витрати на реалізацію водню за допомогою комунальної мережі;

$C_{i,t}^{H,E}$  – витрати на генерування водню та електроенергії;  $C_{i,t}^E$  – витрати на генерування електроенергії;

$U_{i,t}^{H,E}$  – функція корисності в режимі споживання або генерування водню і електроенергії;

$S_{ij,t}$  – перетік потужності у  $ij$  вітці;

$H_{ij,t}$  – перетік газу у  $ij$  вітці;

$\Upsilon^E$  та  $\Upsilon^H$  – функція витрат розподільної мережі електроенергії та газу;

$\Omega^{AGG}$  – множина всіх агрегаторів;  $\Omega^{FCV}$  – множина всіх агрегаторів обладнані пристроями PH2EV;

$\Omega^{P2G}$  – множина всіх агрегаторів, що обладнані пристроями P2G;  $\Omega^{BAT}$  – множина всіх агрегаторів, оснащени акумуляторними батареями.

$\Omega^{PHC}$  – множина всіх газових шин;  $\Omega^{EB}$  – множина всіх електричних шин;  $\Omega^{GB}$  – множина всіх газових шин.

В оптимізаційній функції перші два компонента характеризують вартість на реалізацію електроенергії та водню за допомогою існуючих комунальних мереж; третій і четвертий елементи характеризують вартість поширення електроенергії та водню між іншими агрегаторами; п'ятий, шостий, сьомий елементи це корисність споживання енергії спільного користування; останні два компонента це вартість експлуатації мереж.

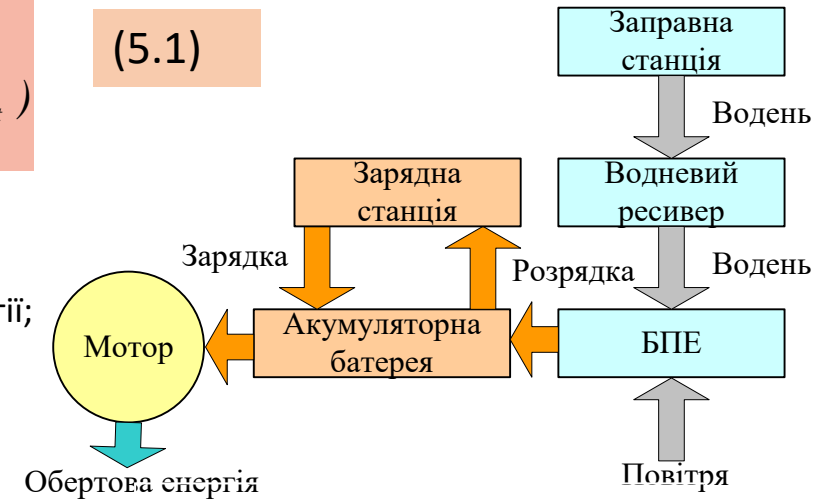


Рис. 5.1. Структура PH2EV.

**Розрахунок за мет одом Р.В. Радченка, А.С. Мокрушина, В.В. Тюльпи генерування елект роенергії БПЕ і ВЕС**

№	Параметр	Од. в-ня	Для гарантованого забезпечення 25 кВт							Для гарантованого забезпечення 1 кВт						
1	Об.теплота згорання Н <sub>2</sub> при Р <sub>0</sub> =101,3 кПа, Т <sub>0</sub> =0°C	кДж/м <sup>3</sup>	10800													
2	Вих.елек. пот. БПЕ	кВт	25							1						
3	ККД БПЕ	%	0,29	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,29	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6
4	Об'ємна витрати водню з ресивера (визначається Р <sub>БПЕ</sub> )	м <sup>3</sup> /год	28,74	23,81	20,83	18,52	16,67	15,15	13,89	1,15	0,95	0,83	0,74	0,69	0,61	0,56
5	Електр.потужність електролізера, що виробляє водень	кВт	112,07	92,86	81,25	72,22	65,00	59,09	54,17	4,48	3,71	3,25	2,89	2,60	2,36	2,17
6	Ном. елек. пот. ВЕС, при факторі пот.:															
6.1	При Ψ =0,4	кВт	280,17	232,14	203,1	180,6	162,5	147,7	135,4	11,21	9,29	8,13	7,22	6,50	5,91	5,42
6.1	При Ψ=0,5	кВт	373,56	309,52	270,8	240,7	216,7	197	180,6	14,94	12,4	10,8	9,63	8,67	7,88	7,22
6.1	При Ψ=0,3	кВт	224,14	185,71	162,5	144,4	130,0	118,2	108,3	8,97	7,43	6,50	5,78	5,20	4,73	4,33
7	ККД електролізера при W <sub>ел</sub> =3,9 кВт·год/нм <sup>3</sup>	в.о.	0,769	0,769	0,769	0,769	0,769	0,769	0,769	0,769	0,769	0,769	0,769	0,769	0,769	0,769
8	Кількість водню, для роботи БПЕ	м <sup>3</sup>														
8.1	8760 годин:	м <sup>3</sup>	251724	208571	182500	162222	146000	132727	121666	10068	8342	7300	6488	5840	5309	4866
8.2	24 години:	м <sup>3</sup>	689,7	571,4	500	444,4	400	363,6	333,3	27,6	22,9	20	17,8	16	14,54	13,33
9	Електроенергія зген. ВЕС для	кВт·год														
9.1	8760 годин роботи електролізера:	кВт·год	981724	813428	711750	632666	569400	517636	474500	39268	32537	28470	25306	22776	20705	18980
9.2	24 годин роботи електролізера:	кВт·год	2689,7	2228,6	1950,0	1733,3	1560,0	1418,2	1300,0	107,6	89,1	78,0	69,3	62,4	56,7	52,0

# Використання біогазових установок як резерву балансування локальних електричних систем

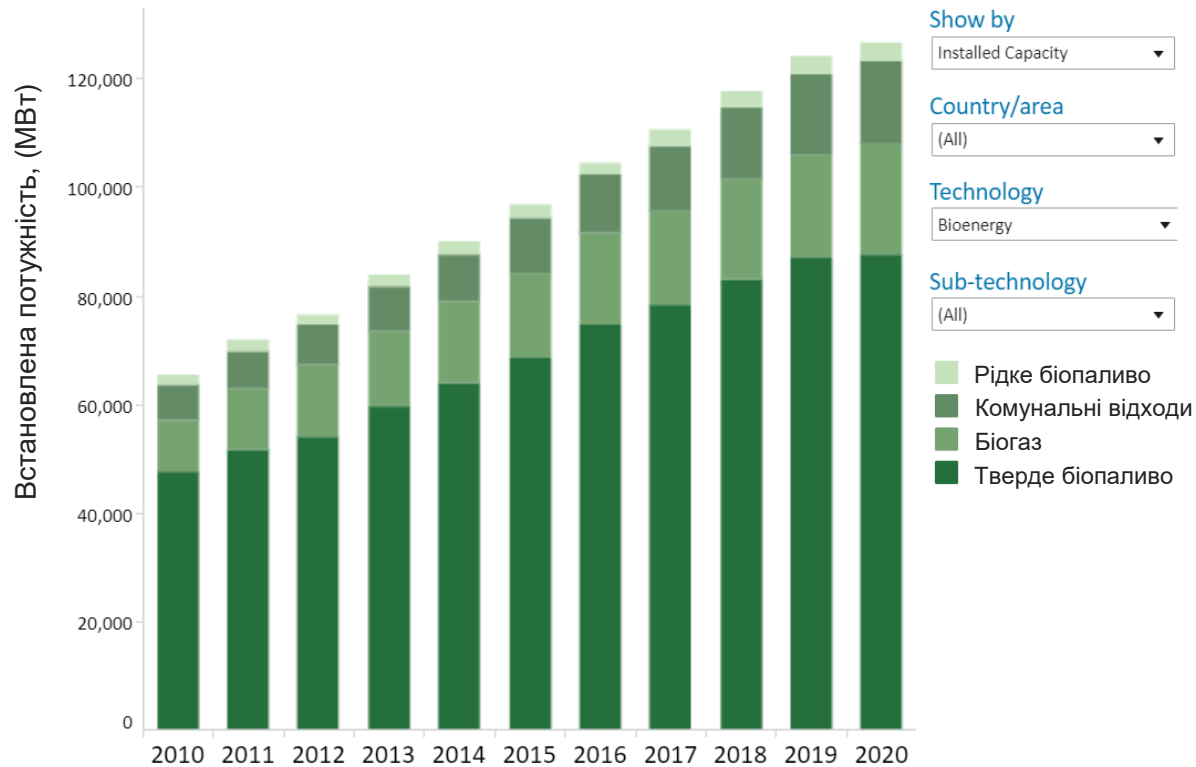


Рис. 7.1. Зміна встановленої потужності енергетичних установок, які генерують електроенергію з рідкого біопалива, комунальних відходів, біогазу, твердого біопалива в світі.

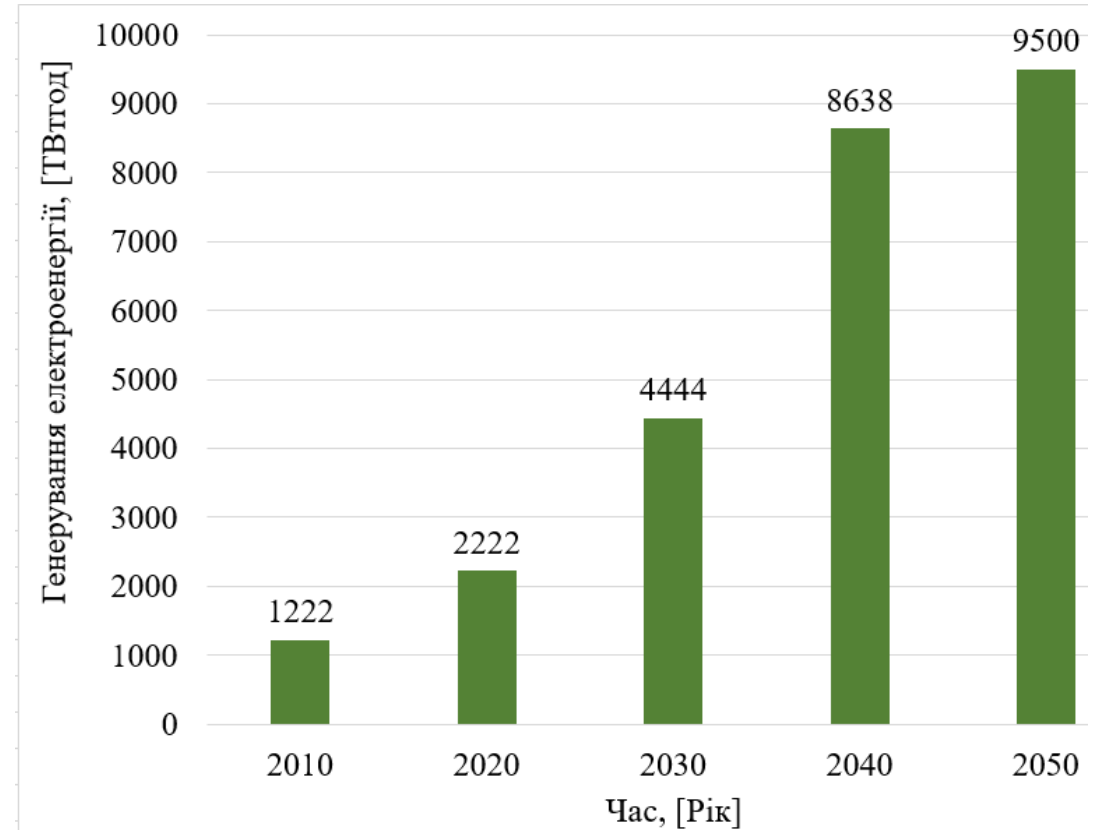


Рис. 7.2. Прогноз генерування електроенергії з використанням біотехнологій в світі.

*Біогазові уст ановки як резерв балансування локальних елект ричних сист ем*



а)



б)

Рис. 8.1. Перша черга біогазової установки на 10 МВт.



Рис. 8.2. Когенераційна установка 10 МВт.

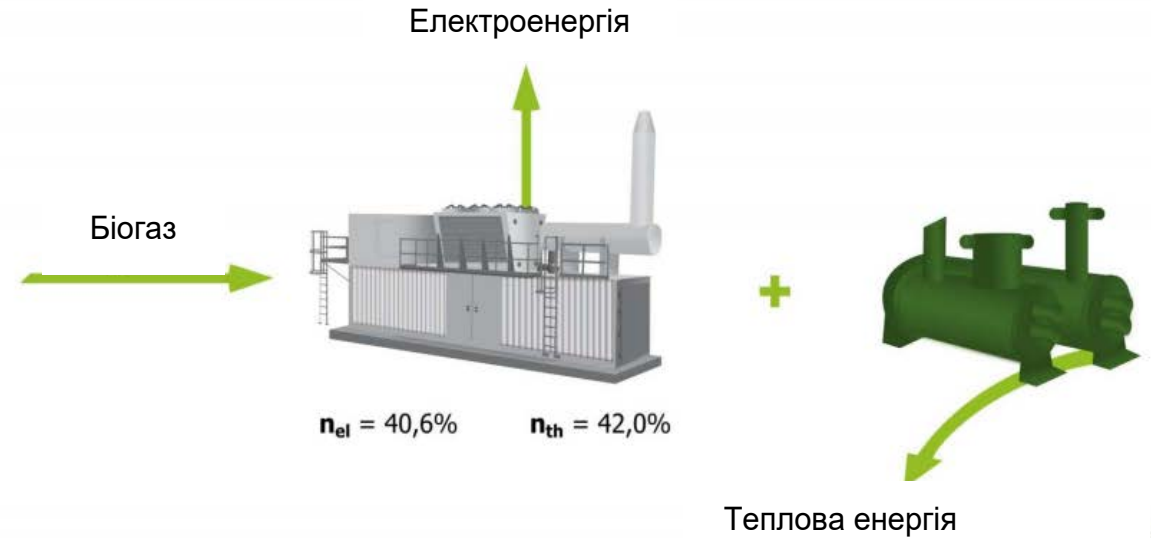


Рис. 8.3. Генерування електроенергії та теплової енергії.



# Резервування з використанням біогазових установок.

$$P_{ЦЖ}(t) = -\sum_{i=1}^n P_i(t) + \sum_{j=1}^m P_{ТПj}(t) + \Delta P(t) \rightarrow \min$$

де  $P_{ЦЖ}(t)$  – потужність, що передається в ЕЕС від централізованих джерел електроенергії;

$P_{ТПi}(t)$  – навантаження трансформаторних підстанцій з врахуванням зарядних станцій для електромобілів;

$\Delta P(t)$  – технологічні втрати електроенергії (ТВЕ) в ЕЕС.

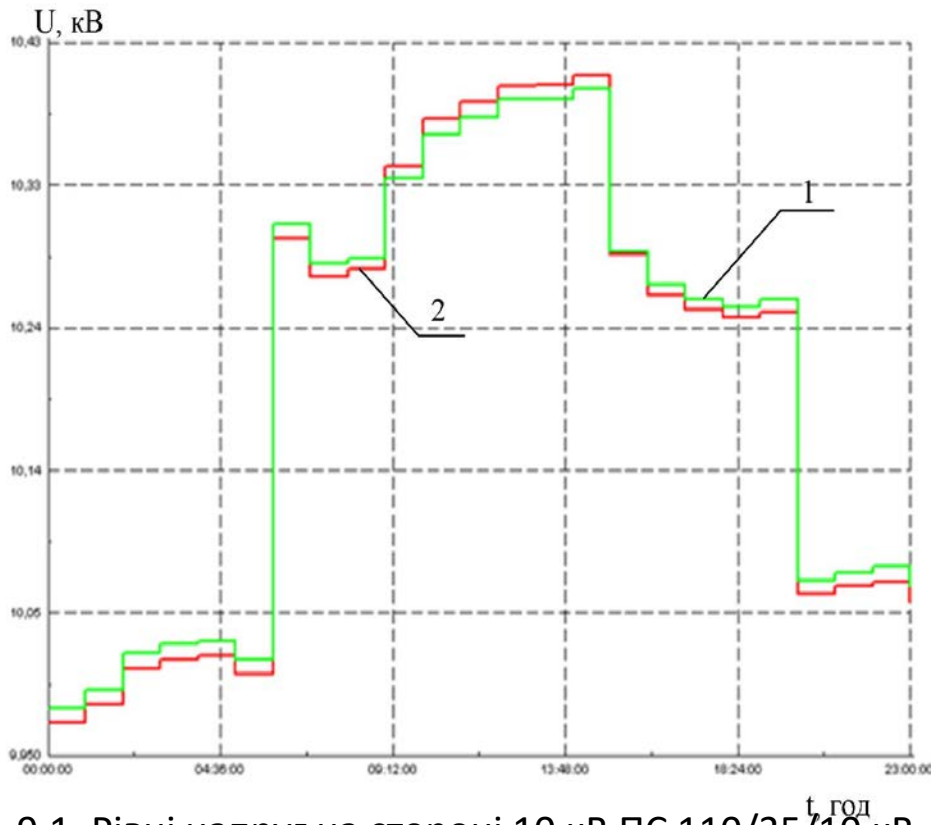


Рис. 9.1. Рівні напруг на стороні 10 кВ ПС 110/35/10 кВ, коли працюють дві черги КУ 20 МВт і ФЕС 5 МВт.

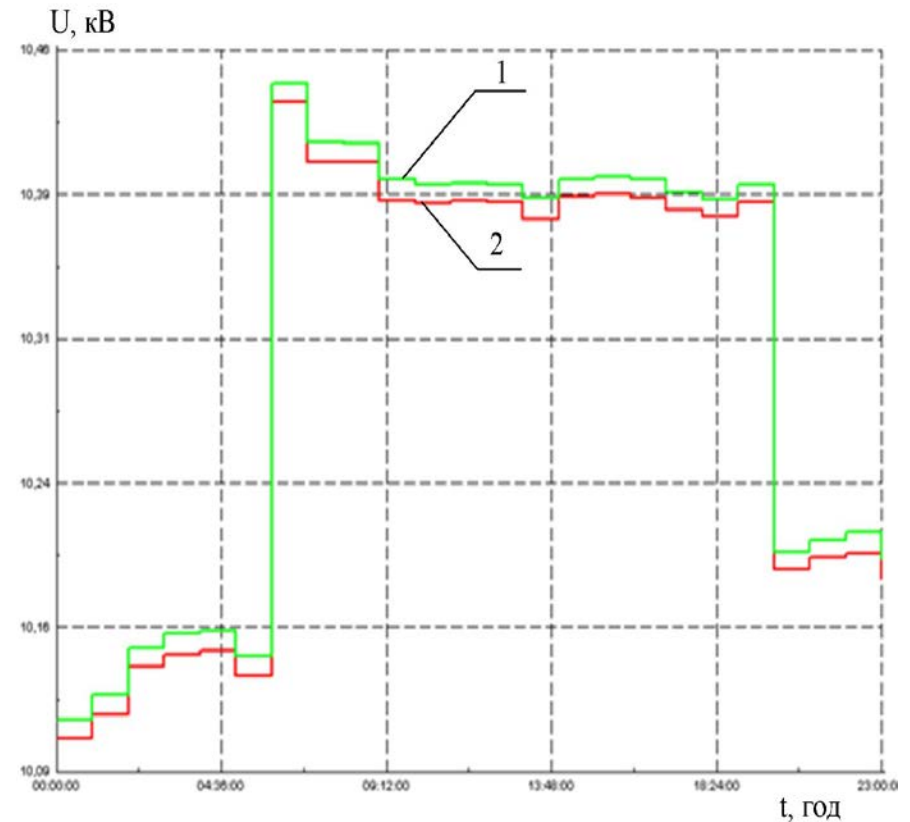


Рис. 9.2. Рівні напруг на стороні 10 кВ ПС 110/35/10 кВ, коли працюють дві черги КУ 20 МВт і ФЕС 12 МВт.

# Резервування з використанням біогазових установок.

U, кВ

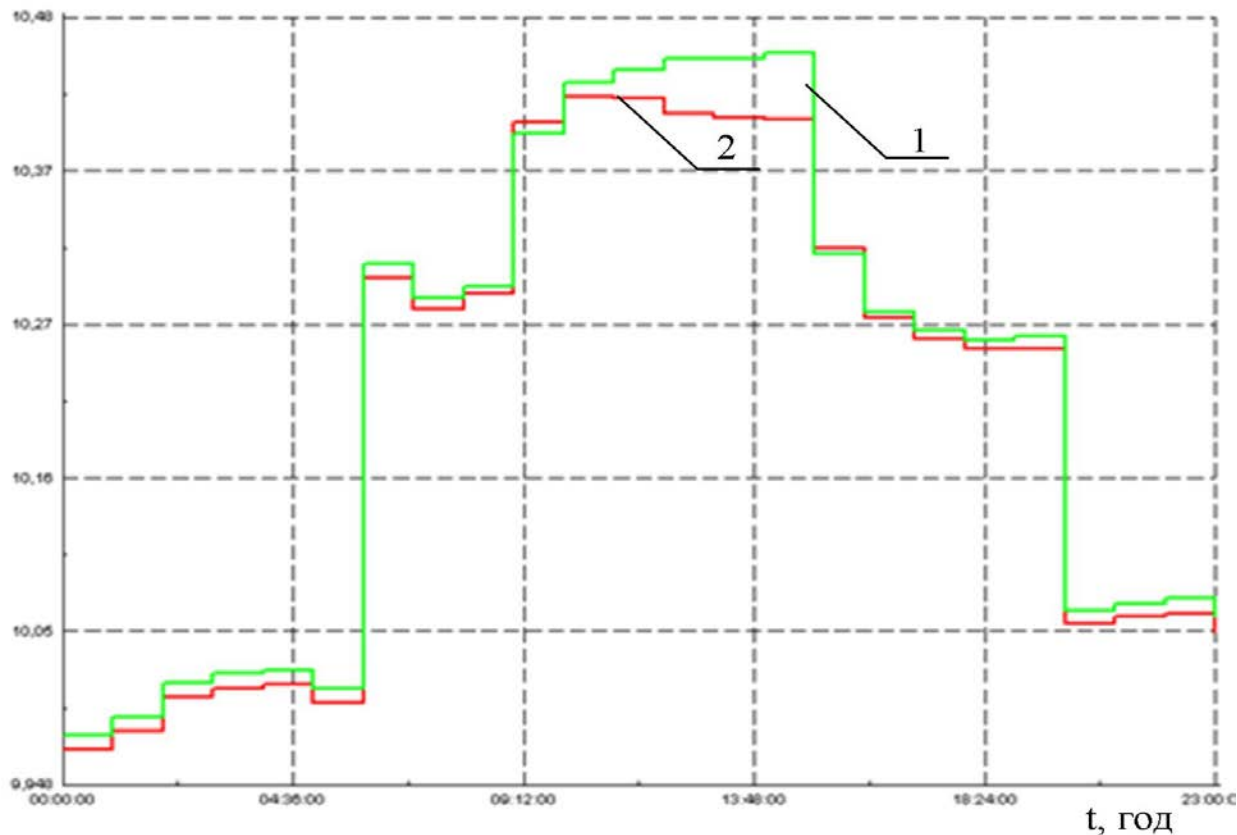


Рис. 10.1. Рівні напруг на стороні 10 кВ ПС 110/35/10 кВ, коли працюють дві черги КУ 20 МВт і ФЕС 19 МВт.

На рис. 5.22 проілюстровано випадок, коли не узгоджено графіки навантаження ЛЕС і її генерування. Навіть коли потужність КУ 20 МВт і ФЕС 19 МВт, то не весь час вдається видавати електроенергію в ЕЕС.

U, кВ

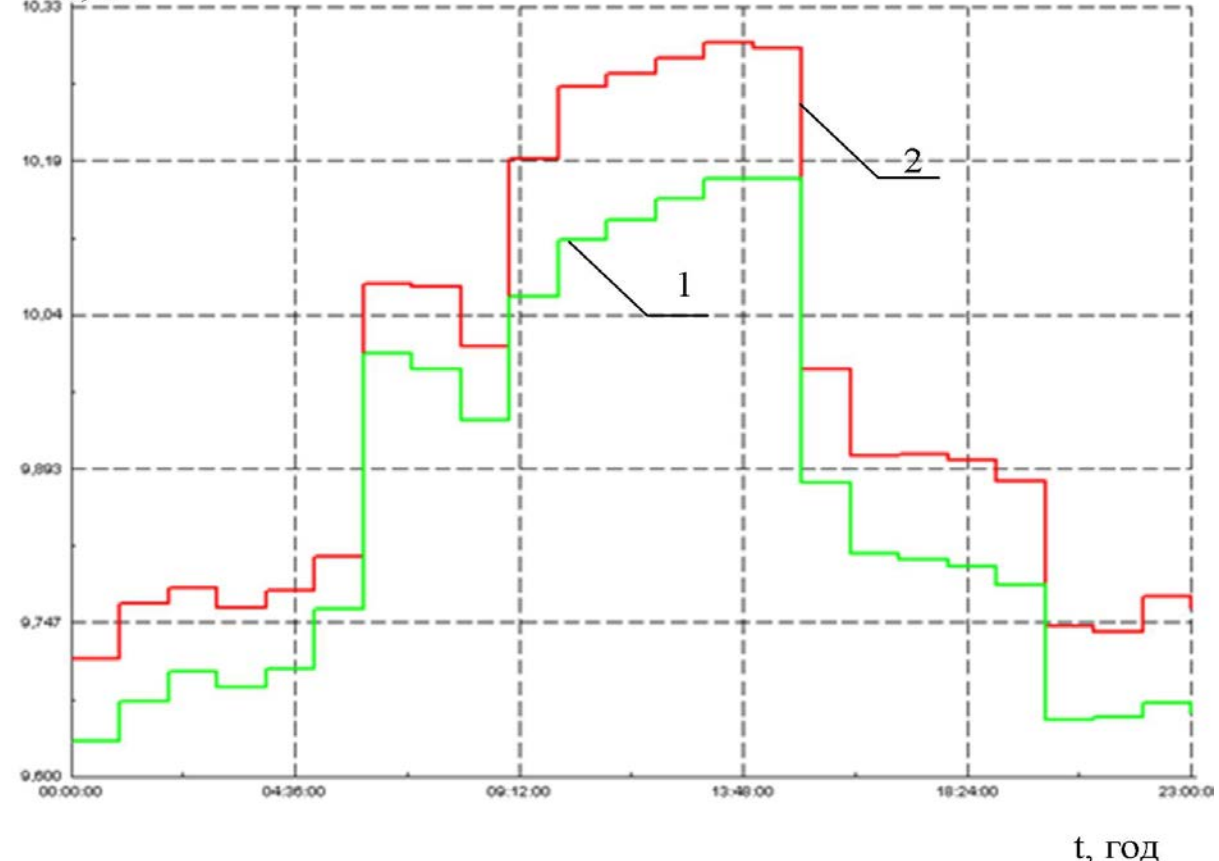


Рис. 10.2. Рівні напруг на стороні 10 кВ ПС 110/35/10 кВ, коли працюють дві черги КУ 20 МВт і ФЕС 19 МВт.

В режимі максимального навантаження, як показано на рис. 5.23, при увімкнених в ЛЕС всіх генеруючих джерел ЛЕС споживає електроенергію з ЕЕС. КУ в цьому випадку працює в режимі підтримки відповідності поточного графіка навантаження заявленому графіку.

## Висновки

- Збільшення частки ВЕС та ФЕС, які є електростанціями з нерівномірним графіком генерування, в балансі електроенергії потребує вирішення низки задач, пов'язаних з забезпеченням надійної та стабільної роботи електричних мереж з ВДЕ, а також підвищення енергоефективності власне і ВДЕ. Перспективним в цьому напрямку є використання малих ГЕС, за умови вдосконалення їх будови та оптимізації алгоритмів керування ними. Аналіз експериментальних даних та розраховані показники кореляції генерування міні-ГЕС» дозволили зробити висновок, що генерування ГЕС не залежить в значній мірі від зміни метеорологічних факторів, а тому може бути використана для компенсації нестабільності генерування електроенергії негарантованими ВДЕ. Використання каскадних ГЕС замість одиничних міні-ГЕС призведе до кращих показників з точки зору стратегій компенсації нестабільності.
- У роботі запропоновано модель розподілу водню та електроенергії в інтегрованих енергетичних системах. Агрегатори з пристроями P2G та агрегати PH2EV розглядаються як точка з'єднання газової мережі та електричної мережі. Порівняно з існуючими моделями, запропонована модель є динамічною, оскільки враховує фізичні та законодавчі обмеження мережі (балансування). Алгоритм визначення оптимального значення ціни електроенергії та водню є прозорим та базується на відомому субградієнтному методі.
- Перспективним є використання когенераційних установок, які працюють на біогазі, для наближення поточних графіків споживання або генерування до заявлених системному оператору по розподілу електроенергії. Досвід свідчить, що особливо корисними є когенераційні установки в локальних електричних системах, де крім об'єктів споживання електроенергії є також ВДЕ різних типів, а також виробляється біогаз в достатній кількості для балансування режиму ЛЕС. Когенераційні установки, як незалежні від погодних умов, можуть приймати участь як для внутрішнього балансування електроенергії в ЛЕС, так і при балансуванні електроенергії в складі балансуючої групи в ЕЕС.
- Якщо в енергосистемі з ВДЕ виникає питання балансування її режимів, то виникає питання щодо вибору резервних джерел електроенергії. Це можуть бути водневі технології, біогаз, який спрацьовується на електростанціях, системний резерв у вигляді ТЕС і ГЕС. Виникає необхідність вибрати оптимальний склад способів резервування ВДЕ. Для цього необхідно розробити метод оцінювання і порівняння між собою способів резервування ВДЕ

**Дякую за увагу!**