

БАЛАНСУВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

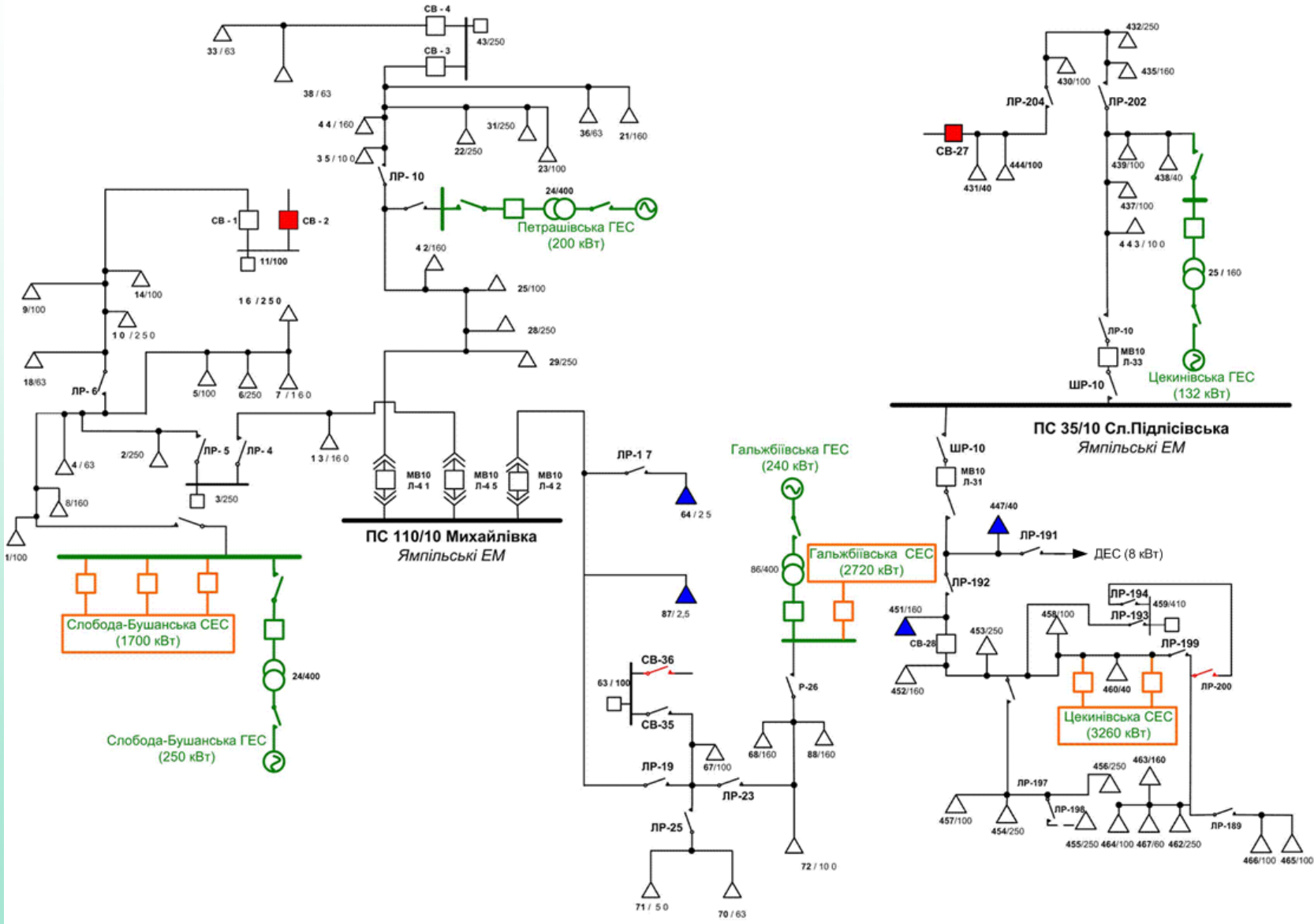
Петро Лежнюк, д.т.н., професор

Вячеслав Комар, к.т.н., доцент

Сергій Кравчук, к.т.н.

Вінницький національний технічний університет,

ФРАГМЕНТ ЯМПІЛЬСЬКИХ РЕМ



ЗАДАЧІ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ГРУПАМИ РДЕ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

1. Для оптимізації функціонування РДЕ у нормальних режимах електричних систем особливо актуальними виявляються питання організації планування і оперативного керування режимами роботи таких станцій з метою **отримання максимального прибутку** від їх експлуатації. Отже найбільш актуальною, враховуючи специфіку забезпечення їх рентабельності, є задача оптимізації добових режимів (на інтервалі часу $[t_0; t_k]$) керування РДЕ $P_i(t)$, $i = 1, 2, \dots, n$ з урахуванням режимів умовно-керування джерел для забезпечення максимальних надходжень від реалізації їх електроенергії за умов багатоступеневого тарифу енергоринку $\varphi(t)$ та технічних обмежень з боку окремих РДЕ:

$$\int_{t_0}^{t_k} \varphi(t) \sum_{i=1}^n P_i(t) dt \rightarrow \max \quad (1)$$

2. У випадку керування розосередженими джерелами електроенергії у станах, пов'язаних з локалізацією нештатних ситуацій у електричній системі, доцільно переходити до розв'язання задачі оптимізації режиму РДЕ з метою **зменшення залежності локальної електричної системи** з сукупним навантаженням $P_{\text{нав}}(t)$ **від централізованого енергопостачання**, тобто мінімізації навантаження локальної системи на основний центр живлення $P_{\text{ЦЖ}}(t)$:

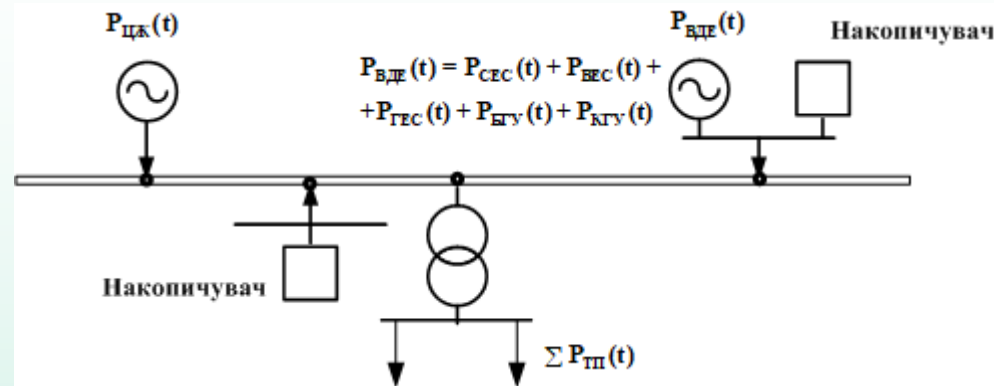
$$\begin{cases} \int_{t_0}^{t_k} P_{\text{ЦЖ}}(t) dt \rightarrow \min; \\ P_{\text{ЦЖ}}(t) + \sum_{i=1}^n P_i(t) - P_{\text{нав}}(t) = 0. \end{cases} \quad (2)$$

3. Для забезпечення стійкості локальної електричної системи у періоди максимального (мінімального) споживання, або обмеженої пропускної здатності централізованої системи електропостачання, коли варіювання параметрів локального генерування може призводити до порушення обмежень на параметри режиму ЕС, актуальною є оптимізація режимів РДЕ з метою **мінімізації відхилень від централізовано заданого графіка сукупного генерування** $P_{\text{РДЕ}}(t)$ за заданих обмежень на первинні енергоресурси та характеристик РДЕ:

$$\int_{t_0}^{t_k} \frac{1}{2} \left(P_{\text{РДЕ}}(t) - \sum_{i=1}^n P_i(t) \right)^2 dt \rightarrow \min \quad (3)$$

БАЛАНСУВАННЯ РЕЖИМУ ЛЕС, РЕЖИМНА І БАЛАНСОВА НАДІЙНІСТЬ

4

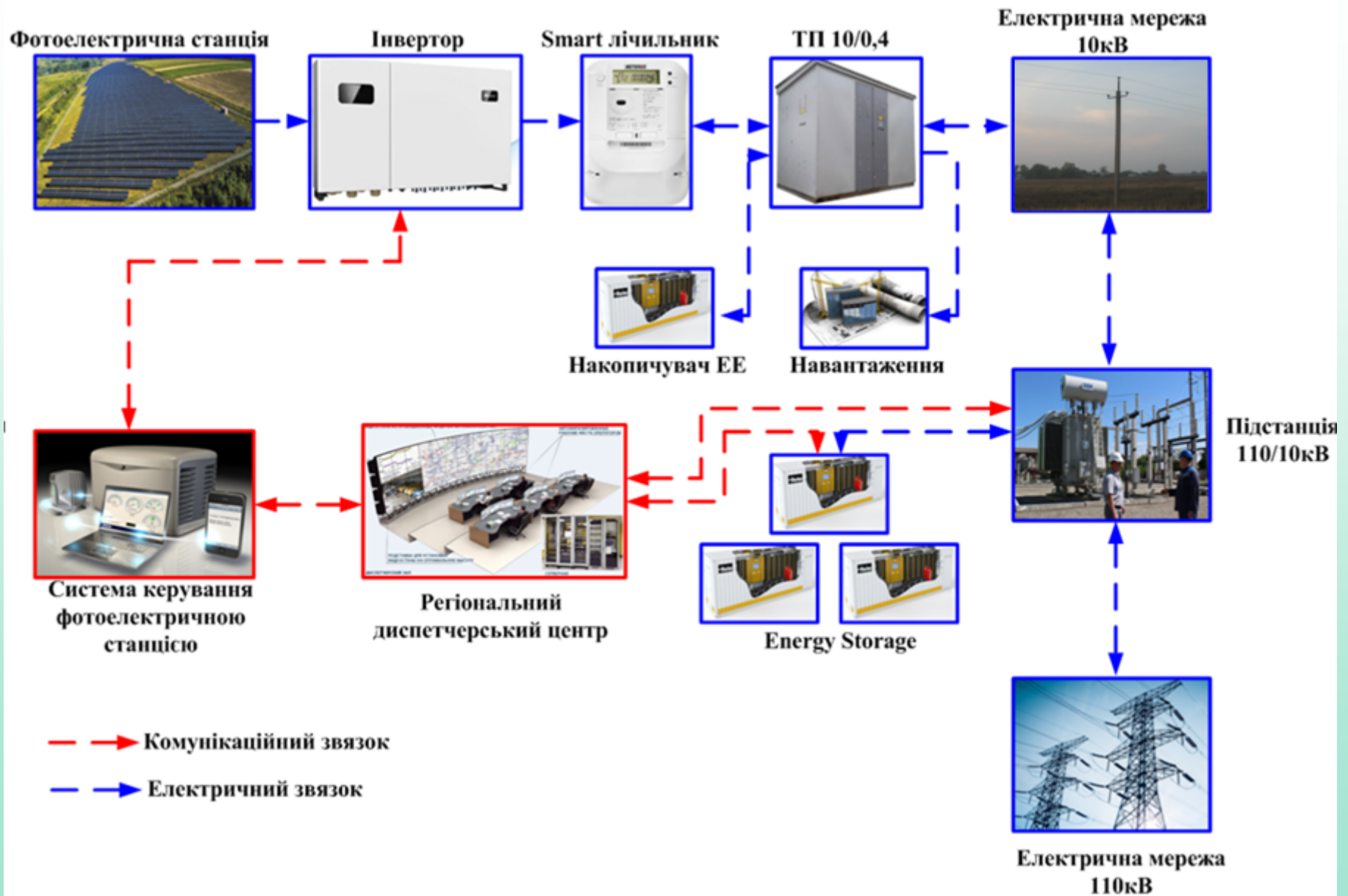


Баланс потужності в локальній електричній системі

$$P_{\text{ЦЖ}}(t) + \sum_{i=1}^n P_i(t) - \sum_{j=1}^m P_{\text{ТП}}(t) - \Delta P(t) \pm P_{\text{Н}} = 0,$$

де $P_{\text{ЦЖ}}(t)$ – потужність, яка передається в ЛЕС від централізованих джерел електроенергії, $\sum_{i=1}^n P_i(t)$ – поточне сумарне генерування ВДЕ, n – кількість керованих ВДЕ в ЛЕС, $P_{\text{ТП}}(t)_i$ – навантаження трансформаторних підстанцій (ТП), m – кількість ТП, $\Delta P(t)$ – ТВЕ в електричних мережах ЛЕС, $P_{\text{Н}}$ – потужність накопичувача електричної енергії.

ФЕС З НАКОПИЧУВЧАМИ В ЛЕС



Задача визначення оптимальної потужності резерву ЛЕС незалежно від принципів керування повинна відповідати мінімуму приведених затрат на підтримання потужності резерву та враховувати затрати, що будуть компенсуватись в разі незабезпечення балансової надійності споживачів ЛЕС. Отже, цільову функцію можна записати:

$$B_{\Sigma} = B(P_P) + B(P_{ПС}) + B(\Delta W) \rightarrow \min, \quad (6.1)$$

$B(P_P) = \epsilon_{P_P}^{num} \cdot P_P$ – витрати на резерв генерувальної потужності P_P

$B(P_{ПС}) = \epsilon_{P_{ПС}}^{num} \cdot P_{ПС}$ – витрати на запас пропускної здатності ЛЕП;

$\epsilon_{P_P}^{num}, \epsilon_{P_{ПС}}^{num}$ – питомі витрати (грн/кВт) на створення резерву генерування для ЛЕС і витрати на підтримання запасу по пропускній спроможності ЛЕП відповідно;

$B(\Delta W) = \epsilon_0 \cdot M[\Delta W]$ – витрати на компенсацію споживачам за недовідпущену електроенергію, ϵ_0 – питома вартість кВт год недовідпущеної електроенергії (грн/кВт год).

На основі ймовірнісних характеристик процесу генерування ФЕС, можна визначити нестабільність покриття ГЕН у вигляді коефіцієнту нестабільності:

$$k_{нестаб.г} = 1 - k_{стаб.г}$$

Даний показник можна пов'язати з економічними показниками цільової функції (9.1)

$$M[\Delta W] = T_p P_n k_{нестаб}$$

де T_p – час для якого оцінюється математичне очікування недовідпущеної електроенергії, P_n – потужність навантаження, а $k_{нестаб}$ – ймовірність появи дефіциту потужності.

Витрати на компенсацію споживачам за недовідпуск запишемо як:

$$B(\Delta W) = \epsilon_0 \cdot T_p P_n k_{нестаб} \quad (6.2)$$

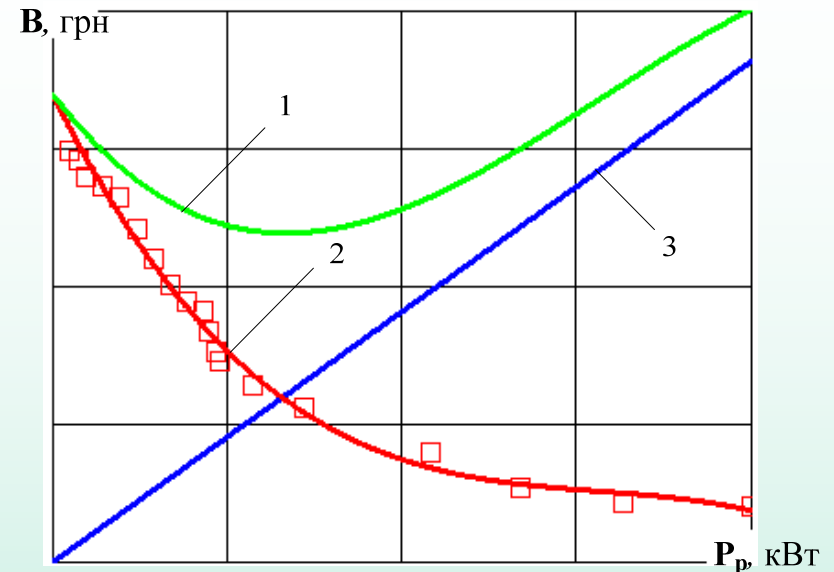


Рисунок 6.1 – Графічне зображення взаємозв'язку іменованих та відносних ПБН в ЛЕС, 1 – загальні приведені витрати на резерв, 2 – зміна коефіцієнта нестабільності при зміні потужності резерву, 3 – залежність витрат від потужності резерву

Для накопичувача електроенергії в ЛЕС цільову функцію можна записати:

$$B_{\Sigma} = B(P_{н.е}) + B(P_{граф}) + B(\Delta W) \rightarrow \min$$

де $B(P_{н.е}) = \epsilon_{н.е}^{num} \cdot P_{н.е}$ – витрати на встановлення накопичувача певної ємності, грн;

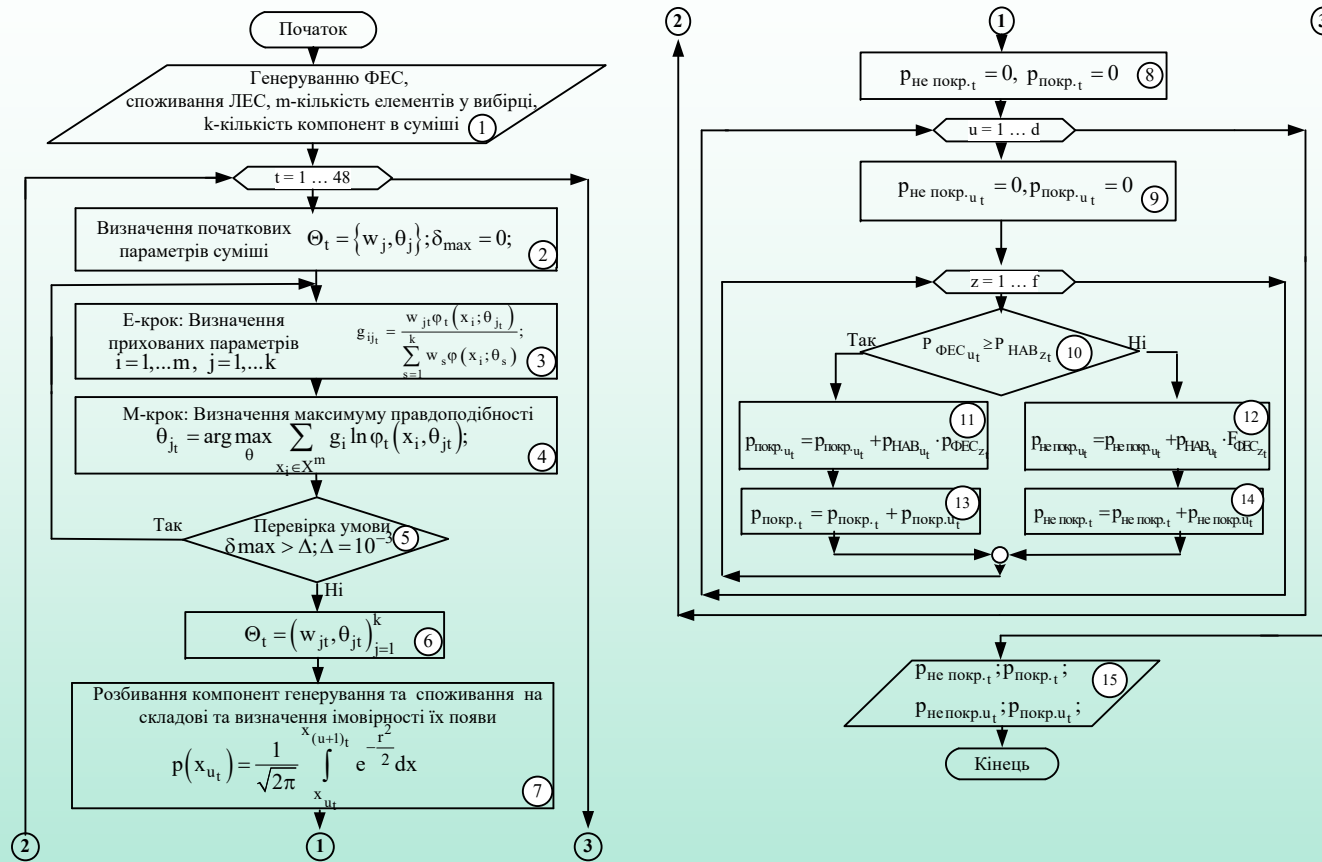
$\epsilon_{н.е}^{num}$ – питомі витрати на накопичувач певної ємності, грн/кА-год;

$P_{н.е}$ – ємність накопичувача, кА-год;

$B(P_{граф})$ – штрафні санкції за недотримання заявленого.

на добу наперед графіка генерування, грн

Алгоритм визначення ймовірності покриття графіка навантаження ЛЕС генеруванням ФЕС



Ймовірність покриття та не покриття графіка навантаження, дозволяє визначити математичне очікування надлишку та дефіциту потужності на t-му проміжку часу доби:

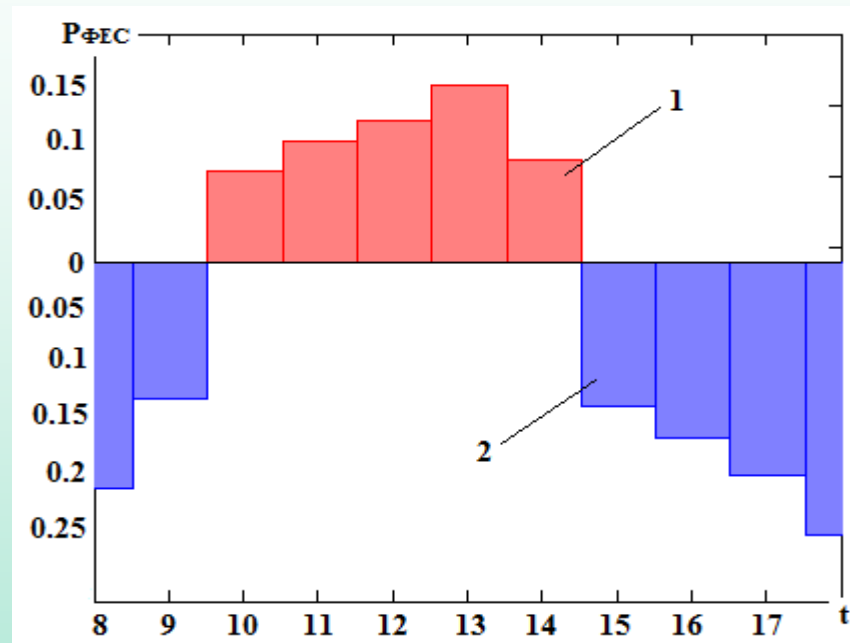
$$M_{над_t} = \sum_u \overrightarrow{P_{покр_{u_t}}} \cdot \overrightarrow{P_{нав_{u_t}}} \quad \text{та} \quad M_{деф_t} = \sum_u \overrightarrow{P_{не\ покр_{u_t}}} \cdot \overrightarrow{P_{нав_{u_t}}}$$

$P_{покр_u}$ – ймовірність покриття графіка навантаження, $P_{не\ покр_u}$ – ймовірність не покриття графіка навантаження, $P_{нав_u}$ – потужність навантаження.

Таким чином, маючи дані щодо надлишку та дефіциту потужності, можна визначити ємність накопичувача та графік його роботи.

Графік роботи накопичувача

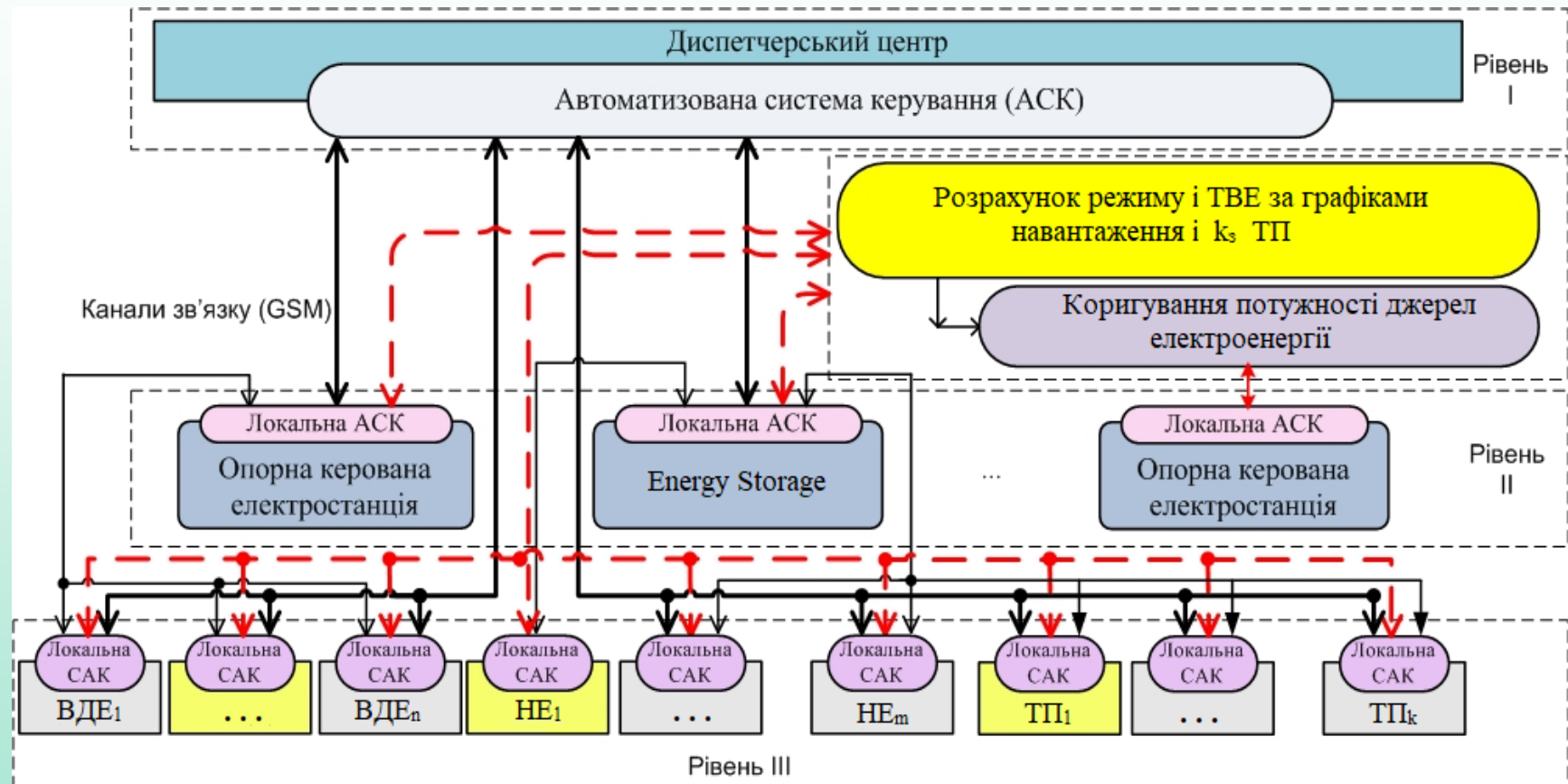
Маючи дані щодо надлишку та дефіциту потужності, можна визначити ємність накопичувача та графік його роботи, які потрібно встановити на ФЕС для дотримання заданого графіка генерування та/або покриття графіка навантаження. Для графіків генерування і навантаження може бути побудований графік роботи накопичувача, типу показаного на рисунку у відносних значеннях.



Графік роботи накопичувача: 1 – години, в які накопичувач працює в режимі акумулювання, 2 – години, в які накопичувач працює в режимі видачі потужності

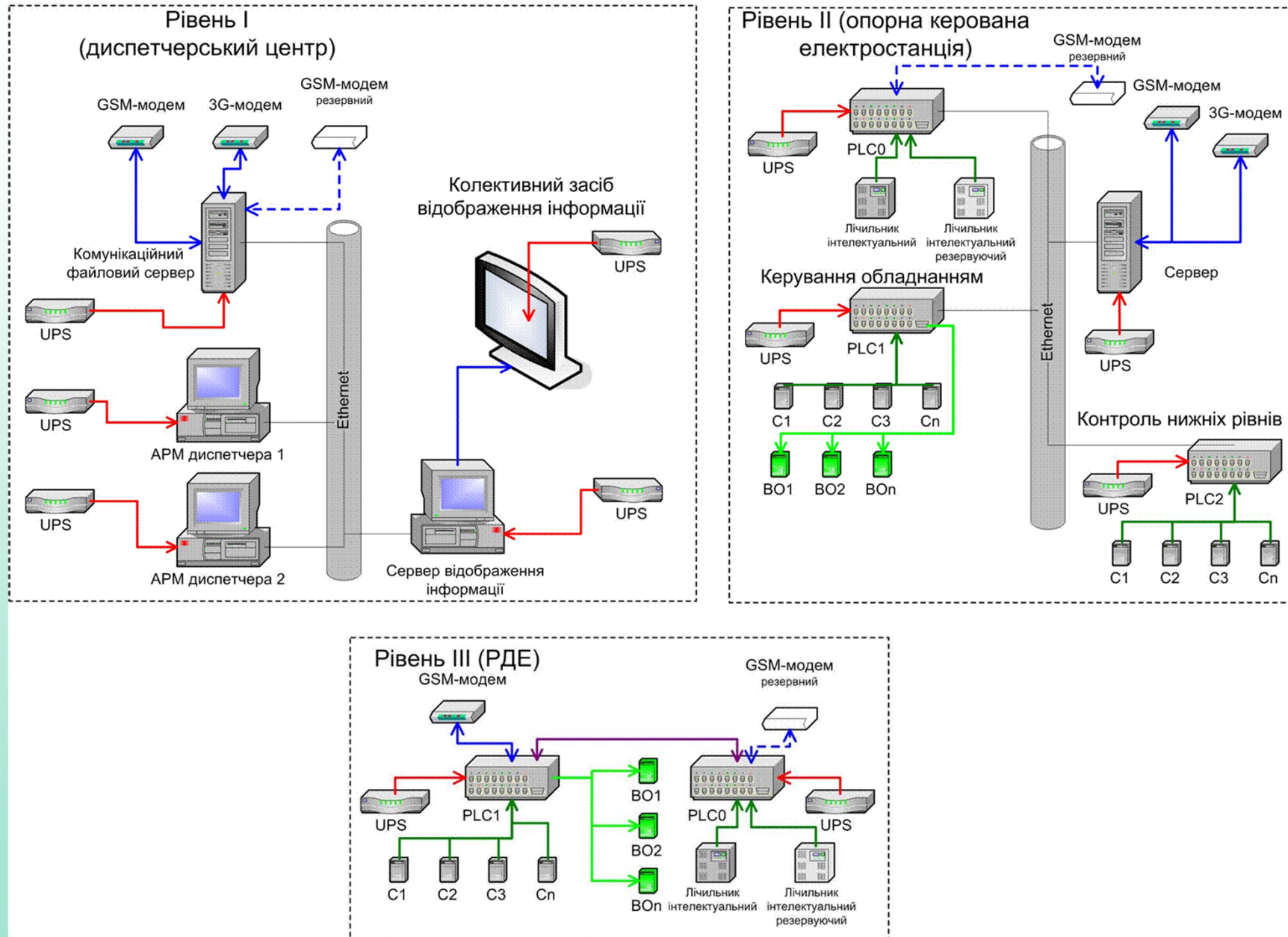
Виходячи з розрахунків потужність накопичувача повинна становити для 25–30 % від встановленої потужності ФЕС. В разі встановлення такого накопичувача, що працюватиме з заданим графіком, можна значно підвищити балансову надійність ЛЕС.

СТРУКТУРНА СХЕМА АСК ЛЕС З ЛОКАЛЬНИМИ САК

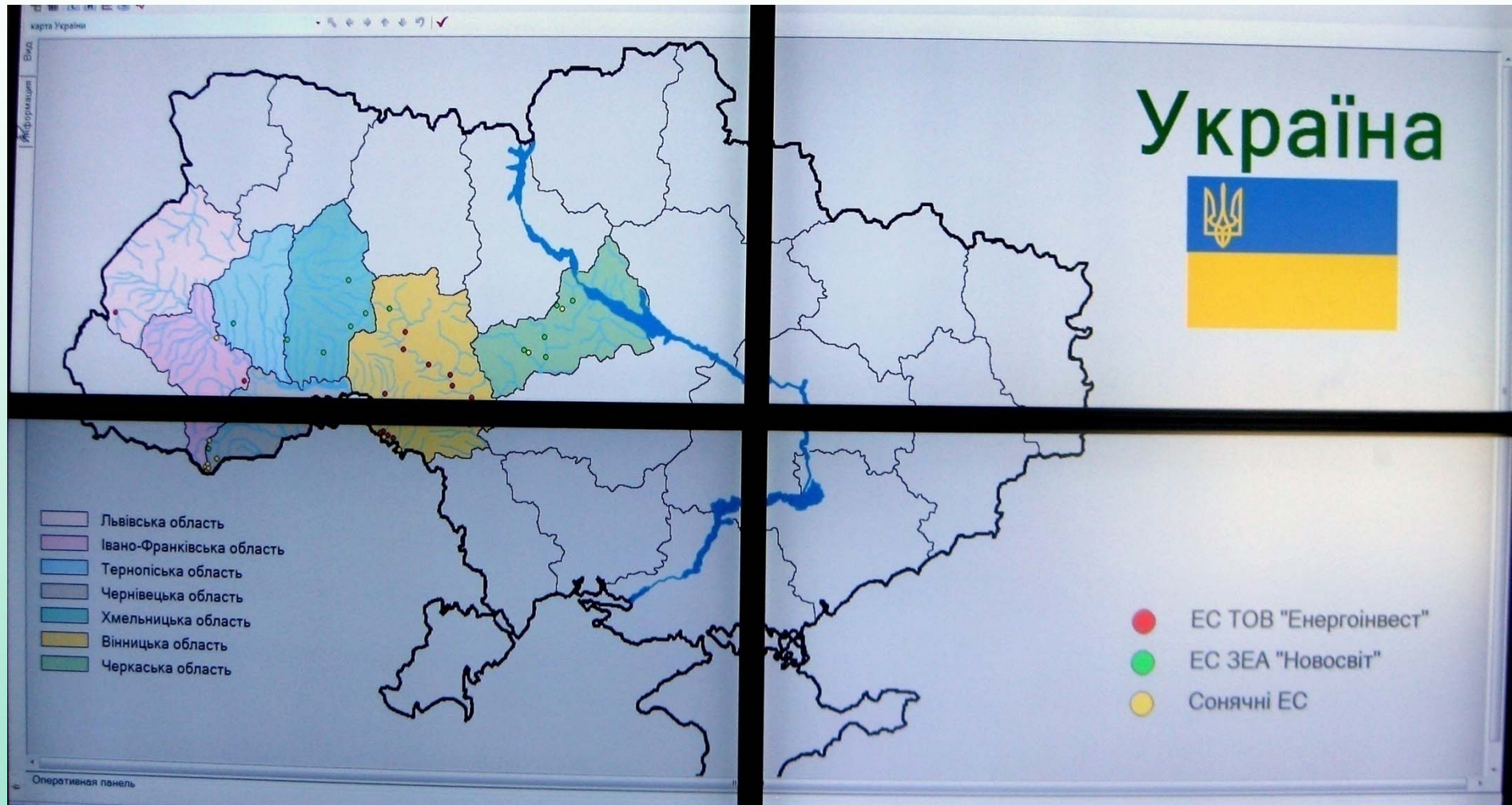


СТРУКТУРНА СХЕМА АПАРАТНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ АСК РДЕ

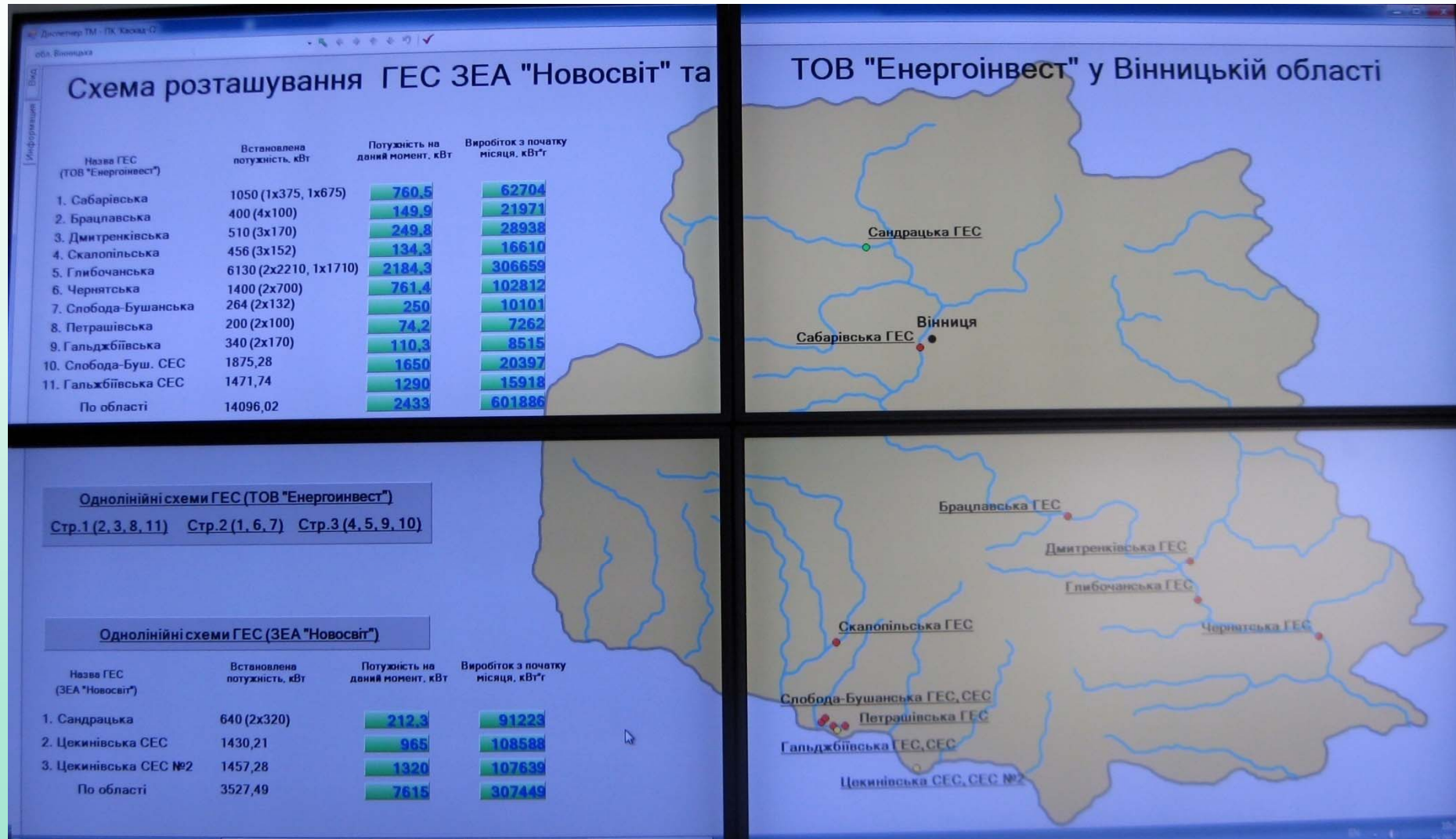
11



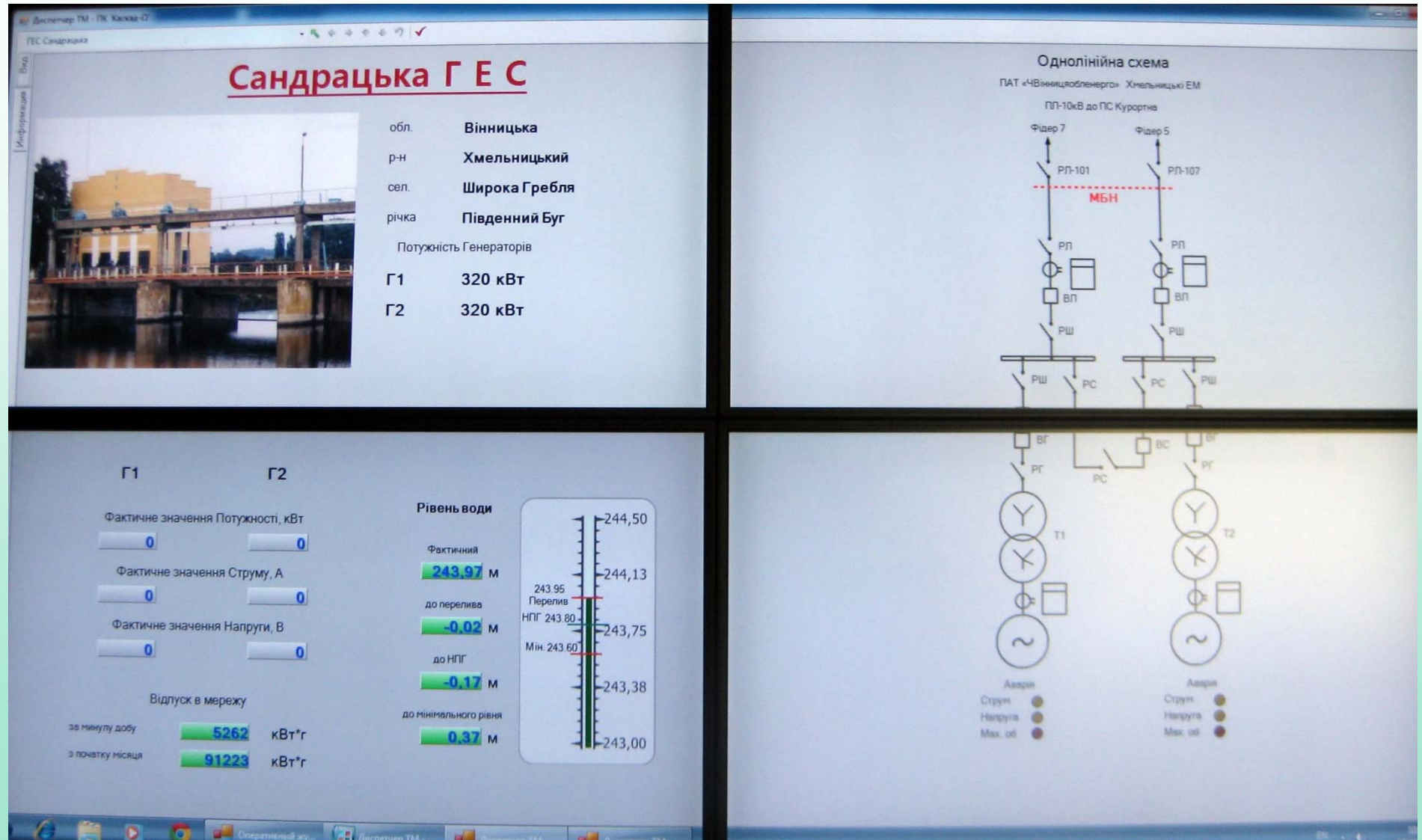
ПЕРШИЙ РІВЕНЬ ВІДОБРАЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ



ДРУГИЙ РІВЕНЬ ВІДОБРАЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ (область)



ТРЕТІЙ РІВЕНЬ ВІДОБРАЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ (мала ГЕС)



ТРЕТІЙ РІВЕНЬ ВІДОБРАЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ (СЕС)

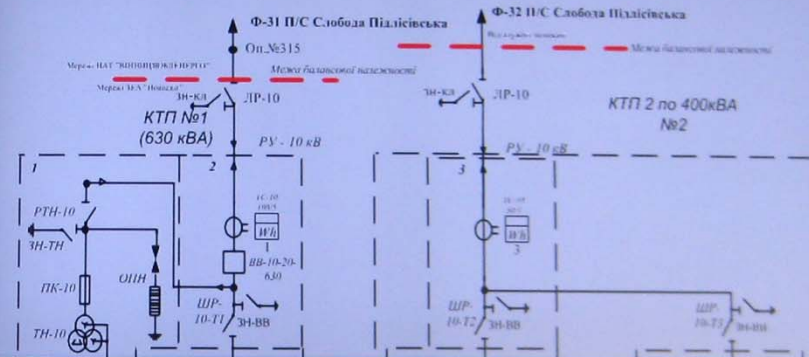
Цекинівська СЕС № 2



обл. **Вінницька**
 р-н **Ямпільський**
 сел. **Цекинівка**

Потужність
1457,28 кВт

Однолінійна схема



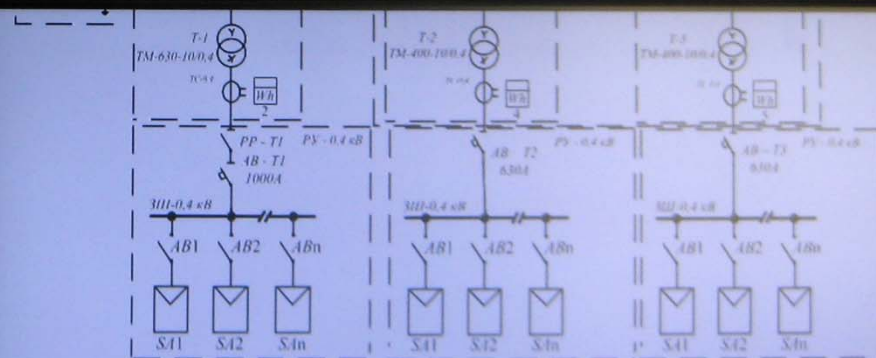
Фактичне значення Струму, А

Фактичне значення Напруги, В

Відлук в мережу

за минулу добу **6836** кВт*г

з початку місяця **107639** кВт*г



ОСНОВНЕ ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕАЛІЗАЦІЇ КОНЦЕПЦІЇ SMART GRID

16

Програмний комплекс (ПК) аналізу режимів розподільних електричних мереж 20(6)-0,4 кВ, оцінювання втрат електроенергії та розроблення заходів щодо їх зменшення (ВТРАТИ)

Основні характеристики, суть розробки. Використовуються авторські алгоритми оцінювання втрат електроенергії, максимально адаптовані до інформаційного забезпечення ЕМ. Втрати електроенергії визначаються за результатами імітації низки режимів. Залучаються вимірні та типові (у разі відсутності) графіки навантаження й генерування, а також диспетчерські перемикання. Оцінюється вірогідність результатів.

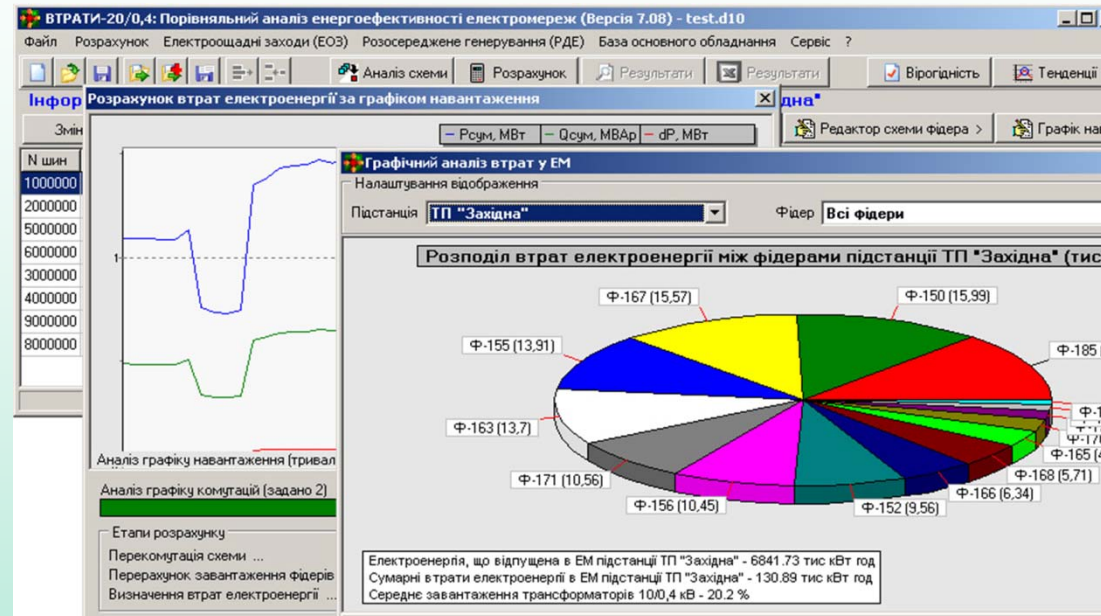


Рисунок 1 – Функціональні можливості ПК „ВТРАТИ”

Порівняння зі світовими аналогами, основні переваги розробки.

До основних переваг комплексу можна віднести можливість аналізу енергоефективності ЕМ в умовах неповного інформаційного забезпечення. Для підвищення вірогідності результатів ПК дає можливість врахувати у розрахунках оперативні перемикання в ЕМ, графіки навантаження споживачів та генерування РДЕ, а також графіки зміни температури навколишнього середовища. За результатами імітації процесів у ЕМ оцінюється доцільність електроощадних заходів, визначаються їх параметри та діапазони регулювання.

Програмний комплекс впроваджено: у ПАТ «Вінницяобленерго», АК «Харківобленерго», ПАТ «Хмельницькобленерго», ПАТ «Житомиробленерго».

ОСНОВНЕ ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕАЛІЗАЦІЇ КОНЦЕПЦІЇ SMART GRID Solaris Prognostic

17

(програмний засіб прогнозування графіків генерування ФЕС)

Загальний інтерфейс програми складається з 5 основних частин : 1 – модуль зчитування даних з файлу, з розширенням txt, csv. 2- модуль завантаження даних з веб-сайту meteoblue та або локального файлу. 3- вікно виведення результатів прогнозування по заданим метеопараметрам. 4 – модуль обробки та зберігання результатів прогнозування. 5- модуль графічного представлення результатів (див. рис. 1).



Рисунок 1 – Інтерфейс програми „Solaris Prognostic”

Національний план дій з відновлювальної енергетики на період до 2020 р., передбачає що частка генерації з відновлювальних джерел енергії в кінцевому енергоспоживанні має сягнути 11% (у 2017 році цей показник трохи не дотягнув до 6%). Встановлена потужність ВЕС та СЕС сумарно складає 1353 МВт (ВЕС – 512 МВт, СЕС – 841 МВт), що впливає на баланс в рамках локальних електричних систем та компенсується існуючими маневровими потужностями ТЕС ГК, ГЕС та ГАЕС. Відсутність в Україні системи прогнозування виробництва електроенергії з ВДЕ не дозволяє точно передбачати рівень генерації вітрових та сонячних електростанцій.

Розроблений програмний засіб дозволяє прогнозувати погодинний добовий графік генерування ФЕС на наступну добу з високою точністю. Що стосується кількості електроенергії, що прогнозовано має бути згенерована та електроенергії фактично згенерованої за добу, різниця таких даних не перевищує 4%.

Стан готовності розробки. Розробка готова до промислової експлуатації.

Програмний комплекс впроваджено: у ТОВ «KNESS R&D CENTER».

Висновки

- Модернізація електроенергетики України на основі концепції SMART GRID дозволяє суттєво покращити керованість процесу генерування, транспортування, розподілу та споживання електроенергії. Завдяки SMART GRID технологіям електроенергетика адаптується до ринкових умов, виконуються умови інтегрування її в енергосистему Європи.
- Впровадження SMART GRID технологій на рівні локальних електричних систем підтверджує їх техніко-економічну ефективність в умовах України. Перехід на нову технологічну платформу обіцяє піднятися на вищий рівень щодо енергоефективності в країні, підвищити надійність, якість та економічність електропостачання.

Дякую за увагу!

Solaris Prognostic

Інтерфейс програми

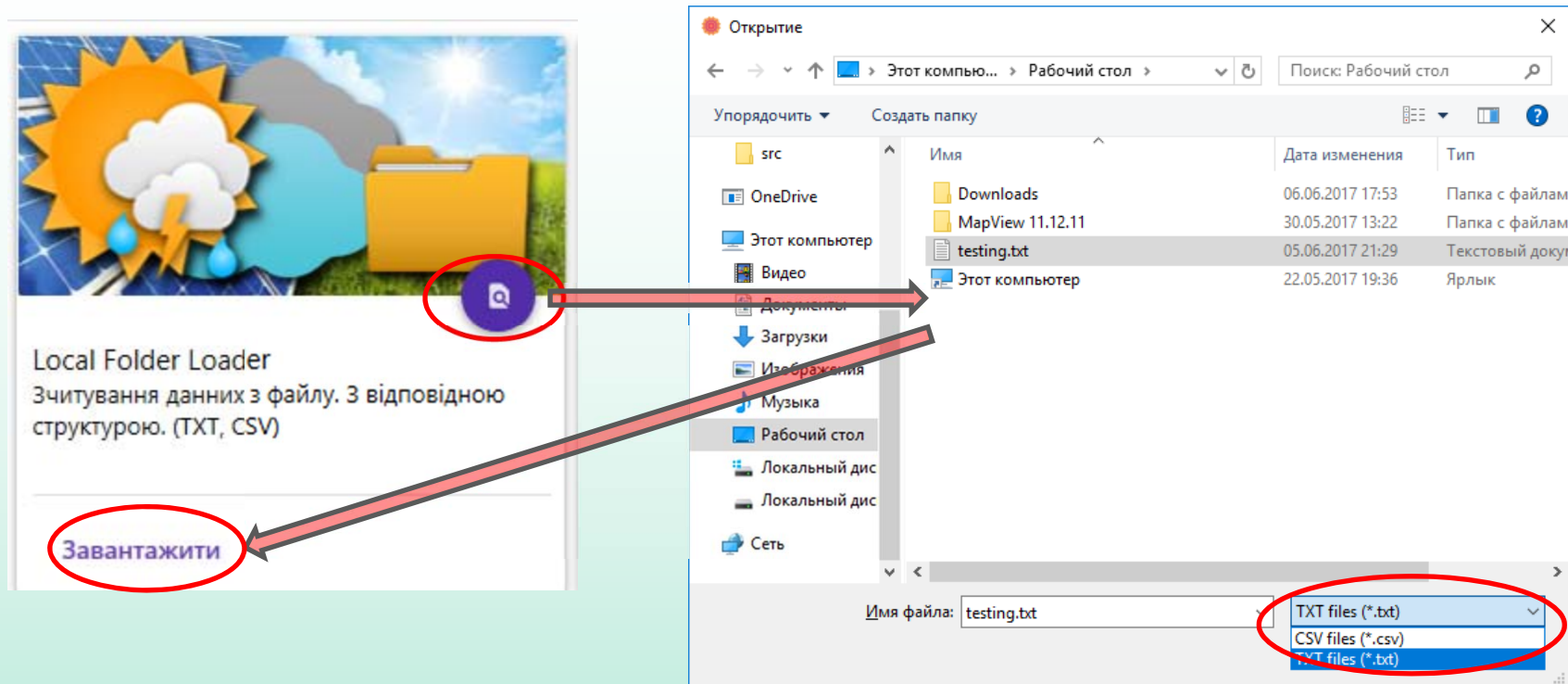
20

Загальний інтерфейс програми складається з **5 основних частин** : **1** – модуль зчитування даних з файлу, з розширенням txt, csv. **2**- модуль завантаження даних з веб-сайту meteoblue та або локального файлу. **3**- вікно виведення результатів прогнозування по заданим метеопараметрам. **4** – модуль обробки та зберігання результатів прогнозування. **5**- модуль графічного представлення результатів.

The screenshot shows the 'Solaris' application window with a purple header 'Панель Адміністрування'. The main content area is divided into several sections:

- Component 1:** 'Local Folder Loader' with a sun and folder icon. Description: 'Зчитування даних з файлу. З відповідною структурою. (TXT, CSV)'. Button: 'Завантажити'.
- Component 2:** 'Meteoblue Api' with a sun and cloud icon. Description: 'Механізм завантаження даних з вебсайту Meteoblue та/або локального файлу.'. Button: 'Завантажити'.
- Component 3:** 'Результати прогнозів' section containing a table with columns: Id, Виробіток, Дата, Джерело, T C*, Вологість, Радіація, Швидкість вітру, Latitude, Longitude, Location.
- Component 4:** 'Обробка Результатів' with a database icon and a line graph. Description: 'Оброблені результати метеорологічного прогнозу вибрані показники можна використати для побудови графіку, зберегти чи завантажити показники із сховища.'. Date: '6/6/2017'. Buttons: '...', 'Завантажити', 'Відправити'.
- Component 5:** 'Графік прогнозів' section.

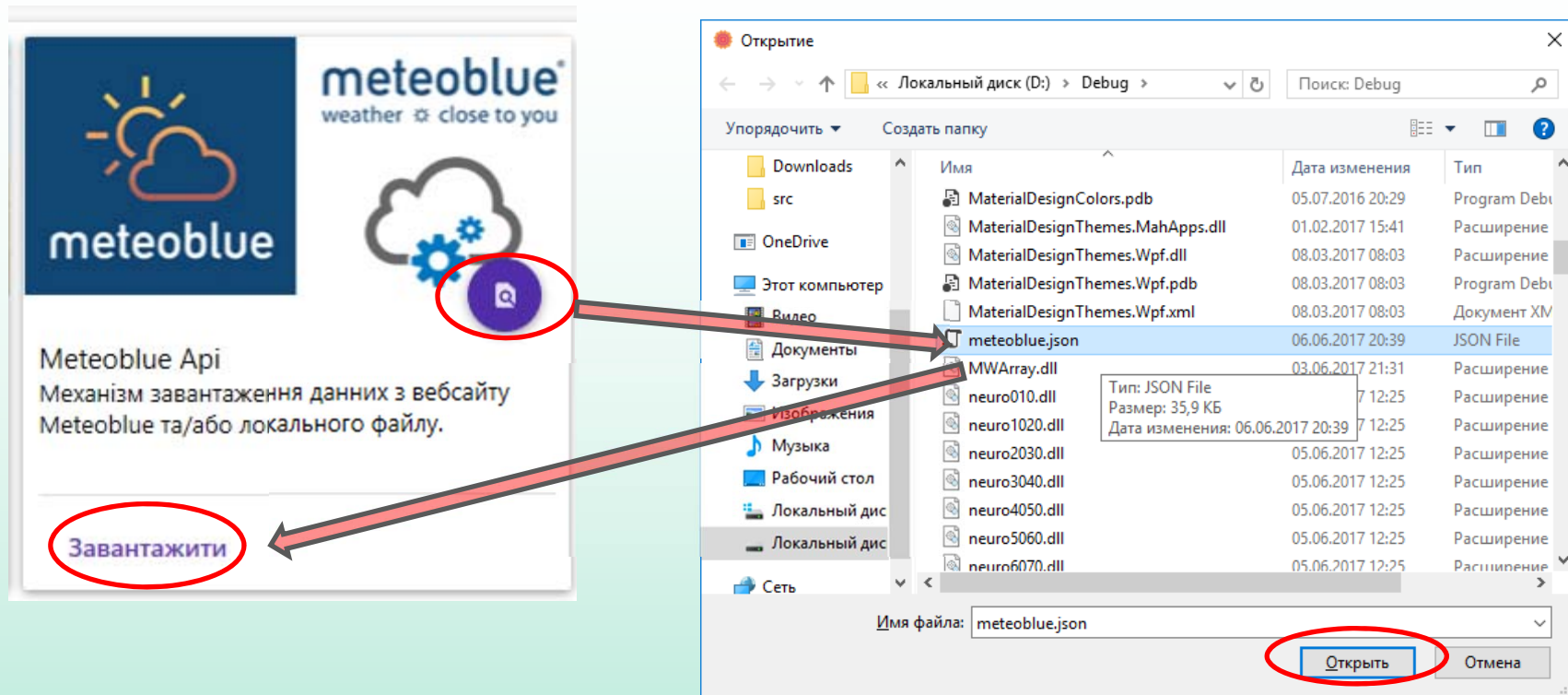
1 Завантаження метеоданих з локальної машини



Завантаження файлів з локальної машини відбувається наступним чином: по натиску кнопки, відбувається відкриття дерева каталогів в якому обираємо файл з заданою структурою та розширенням (txt або csv). Після вибору відповідного файлу натискаємо кнопку “Завантажити”. В результаті завантажені дані формують таблицю по основним метеопараметрам (сонячна радіація, вологість, швидкість вітру та температура) а також інформацію про місце розташування фотовольтаїчної станції (широта та довгота). Також інформацію про дату в форматі (місяць, день, рік та час)

2 Завантаження метеоданих з API METEOBLUE

22



Завантаження файлу з метеоданими отриманими з meteoblue, відбувається наступним чином:: по натиску кнопки, відбувається відкриття дерева каталогів в якому обираємо файл з структурою, що надав сервіс meteoblue розширенням (.json). Після вибору відповідного файлу натискаємо кнопку "Завантажити". В результаті завантажені дані формують таблицю по основним метеопараметрам (сонячна радіація, вологість, швидкість вітру та температура) а також інформацію про місце розташування фотовольтаїчної станції (широта та довогота).

Програма також налаштована на роботу з API meteoblue, для такої роботи потрібно натиснути кнопку "Завантажити". По натиску програма робить запит на відповідний сервіс, та відразу завантажує дані в таблицю результатів.

3 Модуль виведення результатів прогнозування

Результати прогнозів

<input type="checkbox"/>	Id	Виробіток	Дата	Джерело	T C*	Вологість	Радіація	Швидкість вітру	Latitude	Lor
<input type="checkbox"/>	0	1	4/6/2017 3:05:00 AM		11.7	71	0	1	2.3	3.2
<input type="checkbox"/>	0	1	4/6/2017 4:05:00 AM		12.1	69.3	0	0.8	2.3	3.2
<input type="checkbox"/>	0	4	4/6/2017 5:05:00 AM		12.4	68.1	14.1	0.5	2.3	3.2
<input type="checkbox"/>	0	24	4/6/2017 6:05:00 AM		12.6	67.5	67.4	0.4	2.3	3.2
<input type="checkbox"/>	0	159	4/6/2017 7:05:00 AM		15.8	57.6	247.3	1	2.3	3.2
<input type="checkbox"/>	0	261	4/6/2017 8:05:00 AM		17.9	52.1	386.5	1.9	2.3	3.2
<input type="checkbox"/>	0	296	4/6/2017 9:05:00 AM		21	47.8	596.9	2.6	2.3	3.2
<input type="checkbox"/>	0	490	4/6/2017 10:05:00 AM		23.4	42.6	727.9	3.4	2.3	3.2
<input type="checkbox"/>	0	454	4/6/2017 11:05:00 AM		24.6	41.8	766	3.3	2.3	3.2



Кнопка очищення таблиці результатів



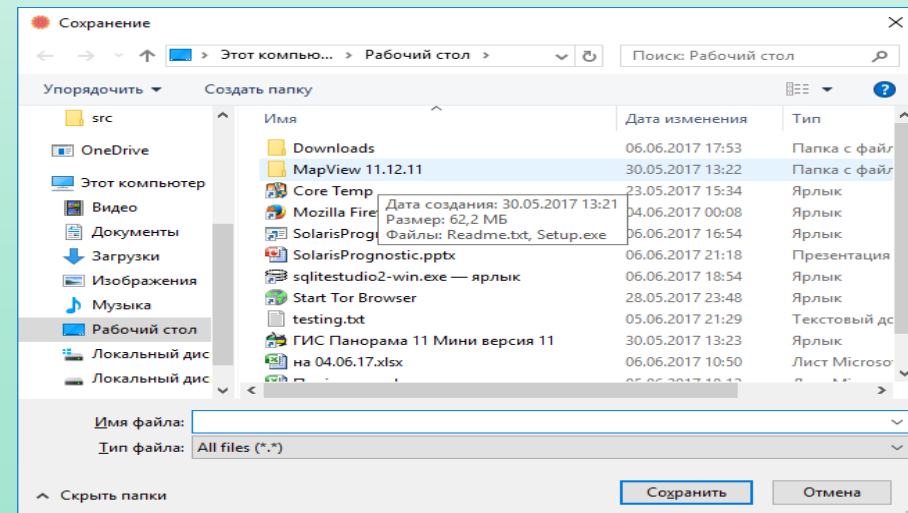
Кнопка збереження таблиці результатів



Кнопка виведення сумарної фактичного та прогнозованого добового генерування електроенергії

Прогнозований добовий виробіток електроенергії = 3868 кВт, Фактичний добовий виробіток електроенергії = 3840,9 кВт

OK



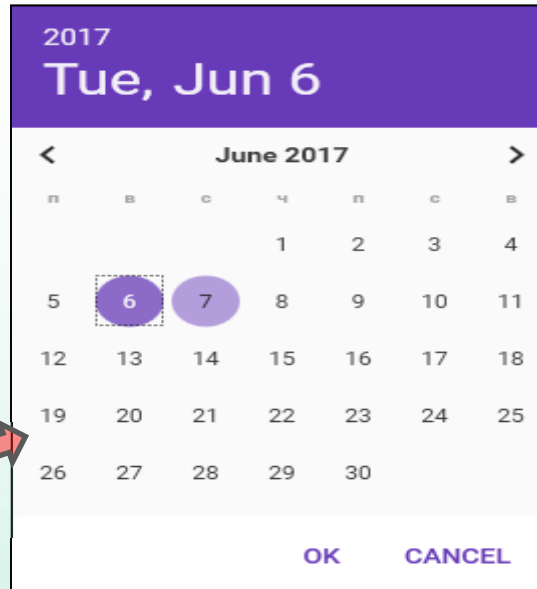
4 Модуль опрацювання результатів прогнозування

24



Обробка Результатів
Оброблені результати метеорологічного прогнозу вибрані показники можна використати для побудови графіку, зберегти чи завантажити показники із сховища.






6/6/2017



2017
Tue, Jun 6

June 2017

OK CANCEL

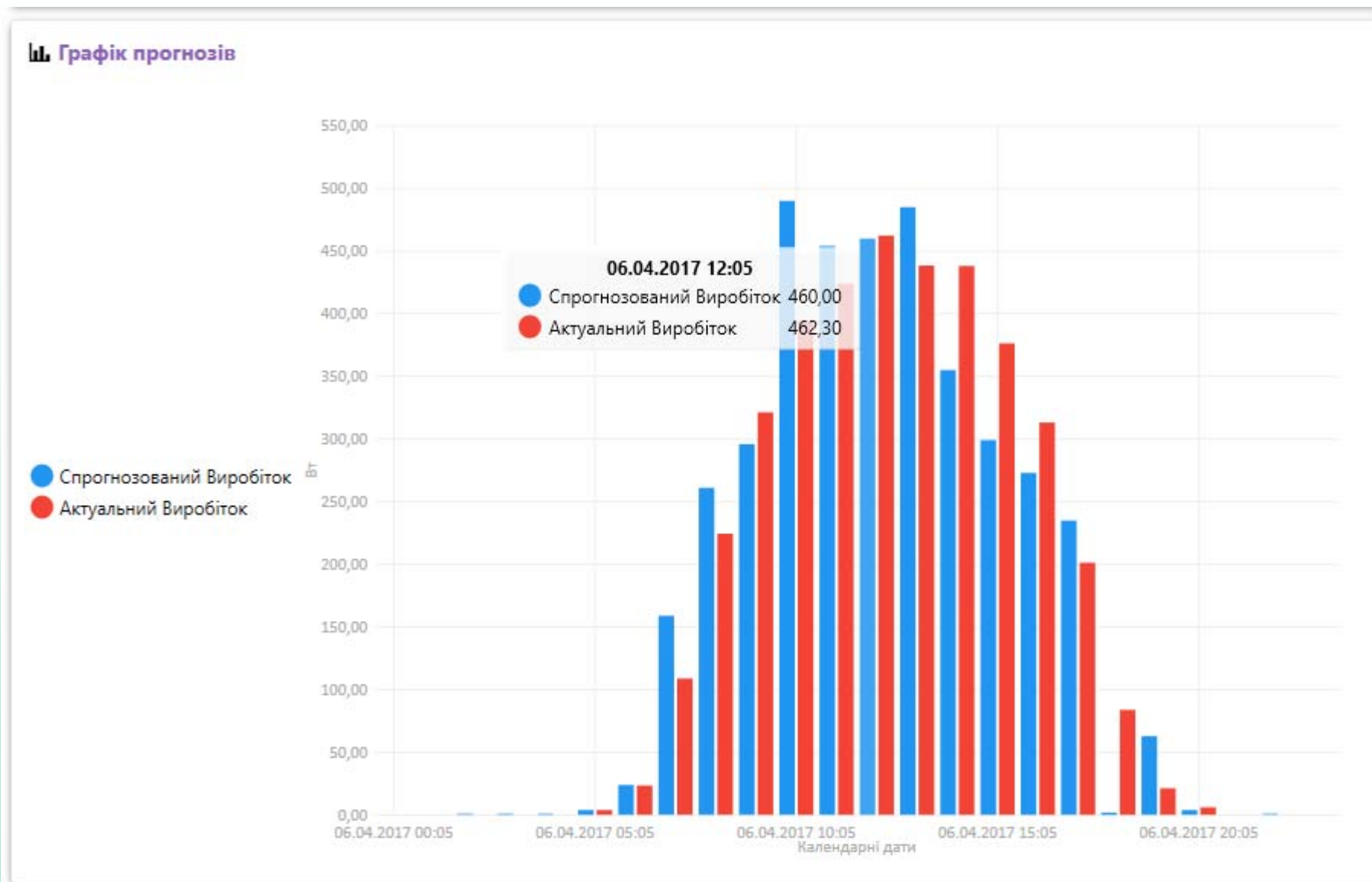
-  Кнопка побудови прогнозованого добового графіка генерування
-  Очищення графіка генерування
-  Очищення бази даних
-  Збереження відмічених годин в БД
-  Вивантаження добового графіка генерування з БД по вказані на календарі даті

Результати прогнозів

<input type="checkbox"/>	Id	Виробіток	Дата	Джерело	Т С*	Вологість	Радіація	Швидкість вітру	Latitude	Log
<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	4/6/2017 1:05:00 AM		13	69.6	0	1.4	2.3	3.2
<input checked="" type="checkbox"/>	0	1	4/6/2017 2:05:00 AM		12	72.7	0	1.1	2.3	3.2
<input checked="" type="checkbox"/>	0	1	4/6/2017 3:05:00 AM		11.7	71	0	1	2.3	3.2
<input checked="" type="checkbox"/>	0	1	4/6/2017 4:05:00 AM		12.1	69.3	0	0.8	2.3	3.2
<input checked="" type="checkbox"/>	0	4	4/6/2017 5:05:00 AM		12.4	68.1	14.1	0.5	2.3	3.2
<input checked="" type="checkbox"/>	0	24	4/6/2017 6:05:00 AM		12.6	67.5	67.4	0.4	2.3	3.2
<input checked="" type="checkbox"/>	0	159	4/6/2017 7:05:00 AM		15.8	57.6	247.3	1	2.3	3.2
<input checked="" type="checkbox"/>	0	261	4/6/2017 8:05:00 AM		17.9	52.1	386.5	1.9	2.3	3.2
<input checked="" type="checkbox"/>	0	296	4/6/2017 9:05:00 AM		21	47.8	596.9	2.6	2.3	3.2

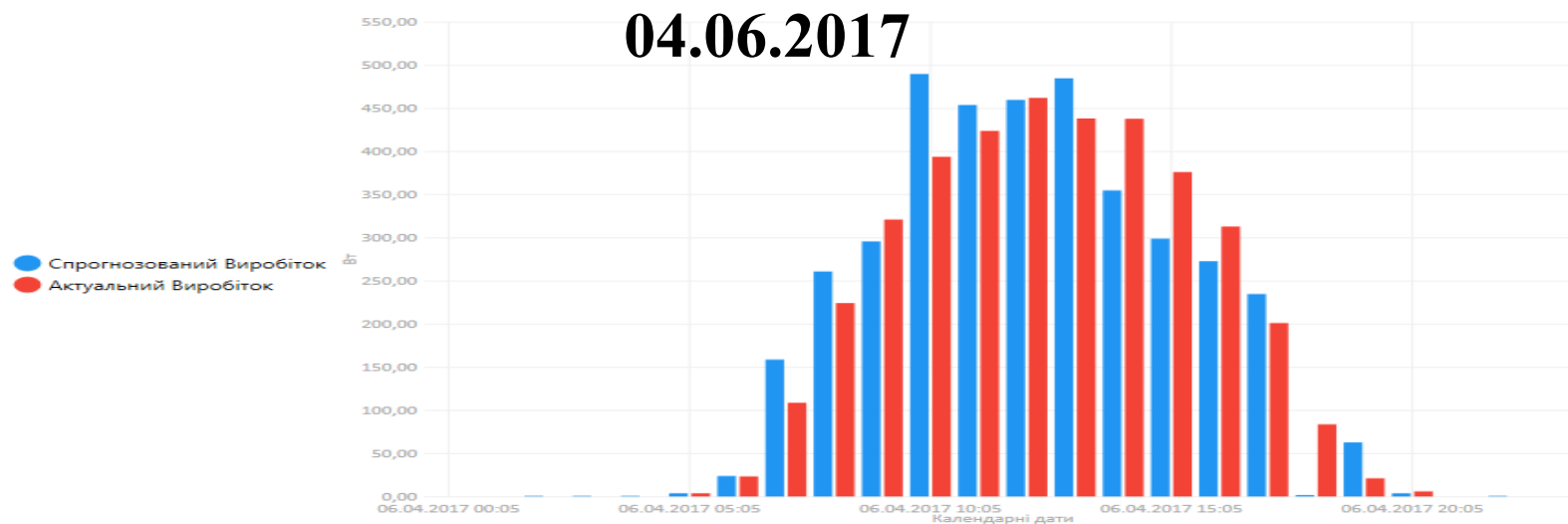
5 Модуль графічного представлення результатів прогнозування

25

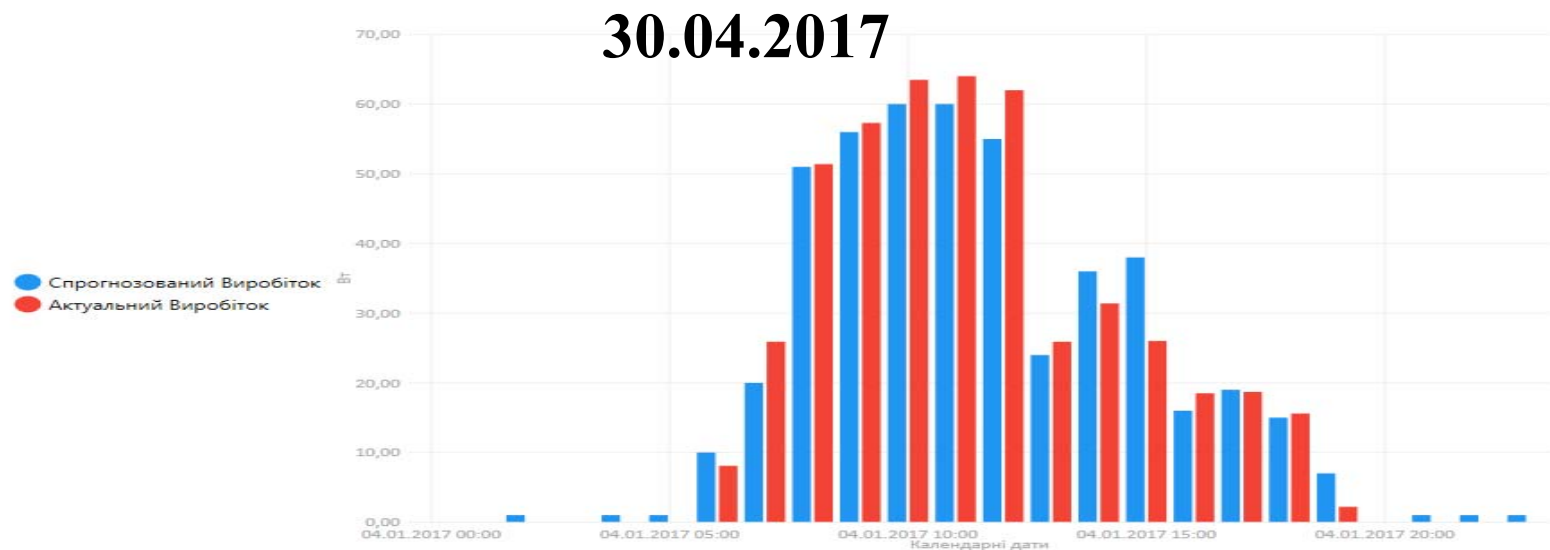


Оцінювання точності результатів прогнозування по прогнозним метеопараметрам (Пороги)

III. Графік прогнозів



III. Графік прогнозів



Стан готовності розробки. Розробка готова до промислової експлуатації.

Програмний комплекс впроваджено: у ТОВ «KNESS R&D CENTER».

Координати для зв'язку. 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ, кафедра електричних станцій та систем, Лежнюк П.Д., Комар В.О., Кравчук С. В.

Телефон: (093)93-519-29, E-Mail: lezhpd@gmail.com, kvo1976@ukr.net
Sv.kravchuk@ukr.net