



## «Компенсація небалансів виробниками ВДЕ та аналіз вартості небалансів у разі виходу із балансуючої групи Гарантованого покупця»



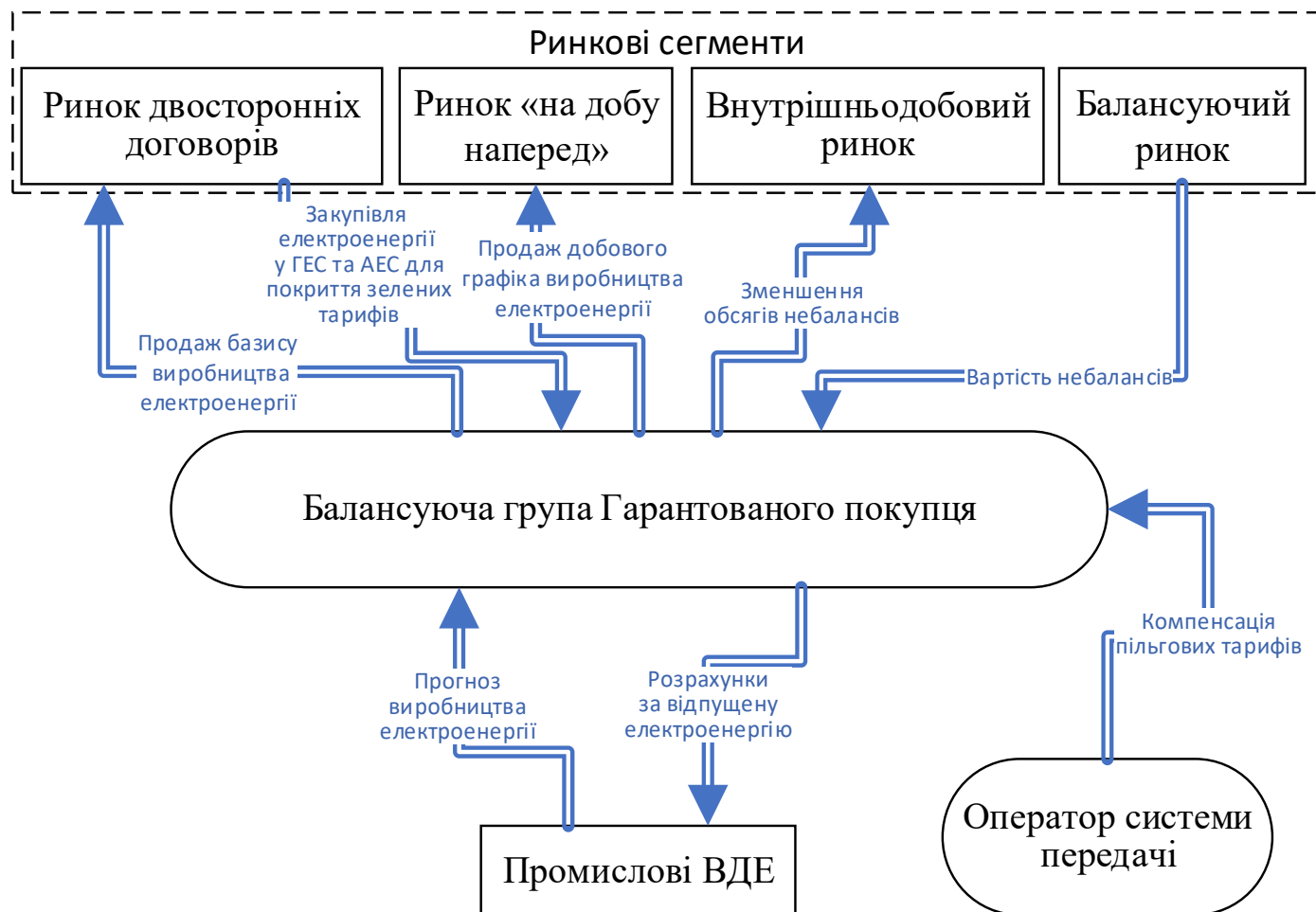
Національна академія наук України  
Інститут електродинаміки

Загальна оцінка впливу ВДЕ на результати роботи ринку «на добу наперед» та процеси ціноутворення в інших сегментах ринку електричної енергії України.

Аналіз особливостей нового механізму компенсації вартості небалансів виробниками ВДЕ в Україні.

**Ігор Блінов,  
Володимир Мірошник**

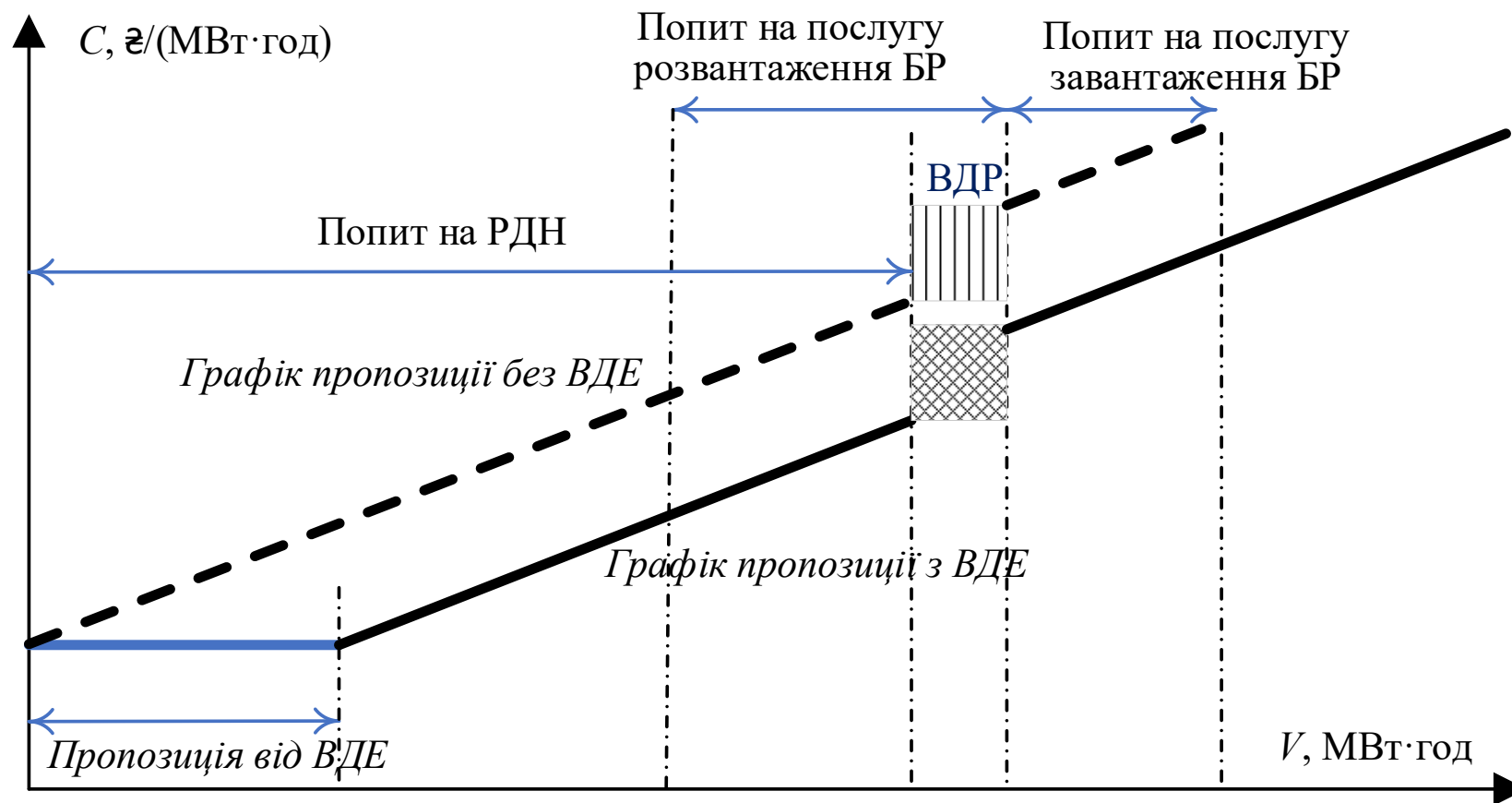
# Вплив збільшення частки відновлюваних джерел енергії на ринкову ціну електричної енергії



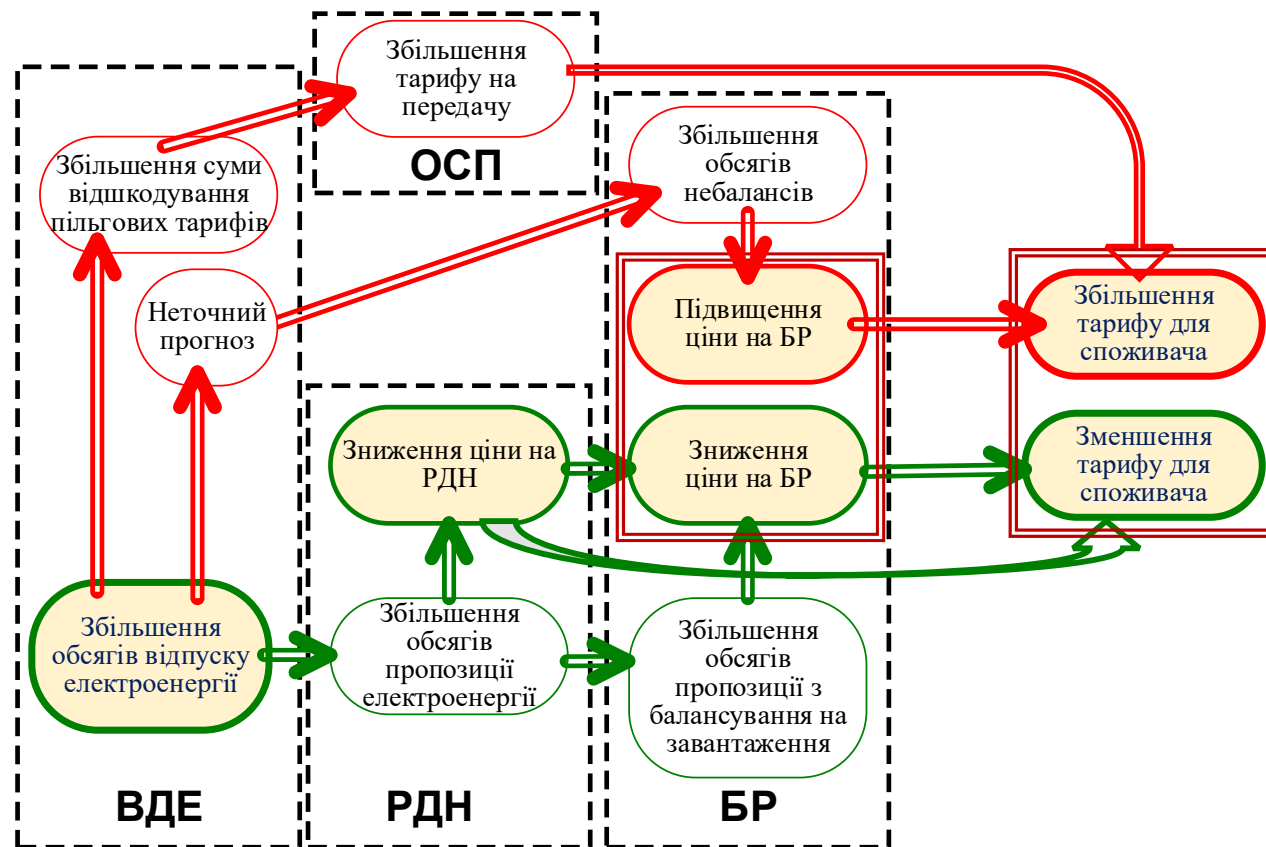
FIP vs FIT

Вихід із групи ГП

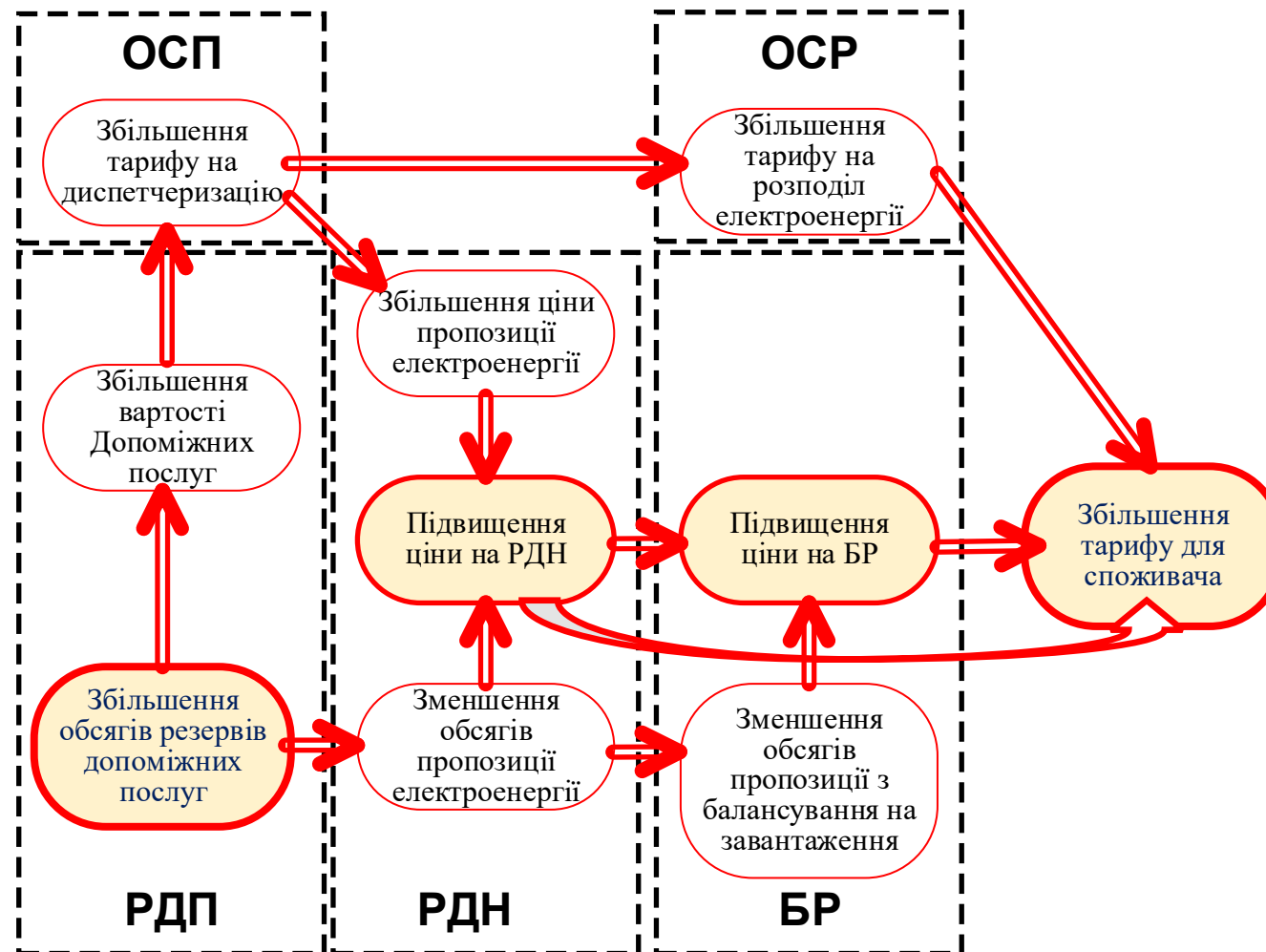
## Вплив збільшення частки відновлюваних джерел енергії на ринкову ціну електричної енергії



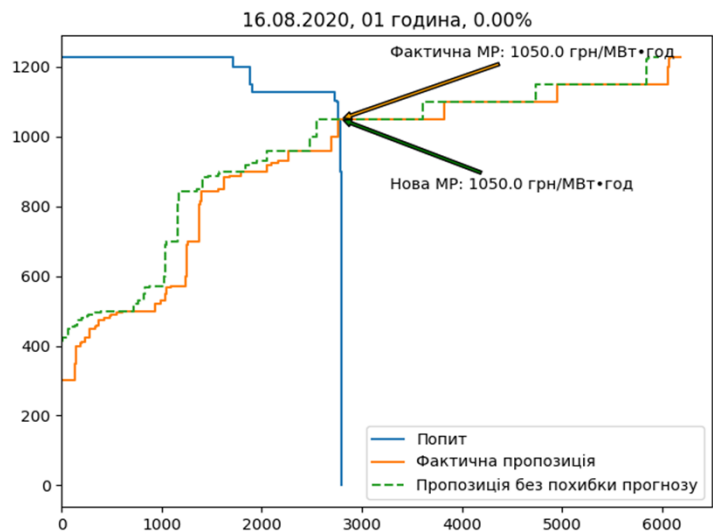
## Вплив збільшення частки відновлюваних джерел енергії на ринкову ціну електричної енергії



## Вплив збільшення частки відновлюваних джерел енергії на ринкову ціну електричної енергії



# Вплив збільшення частки відновлюваних джерел енергії на ринкову ціну електричної енергії



Вплив обсягів відпуску ГП:

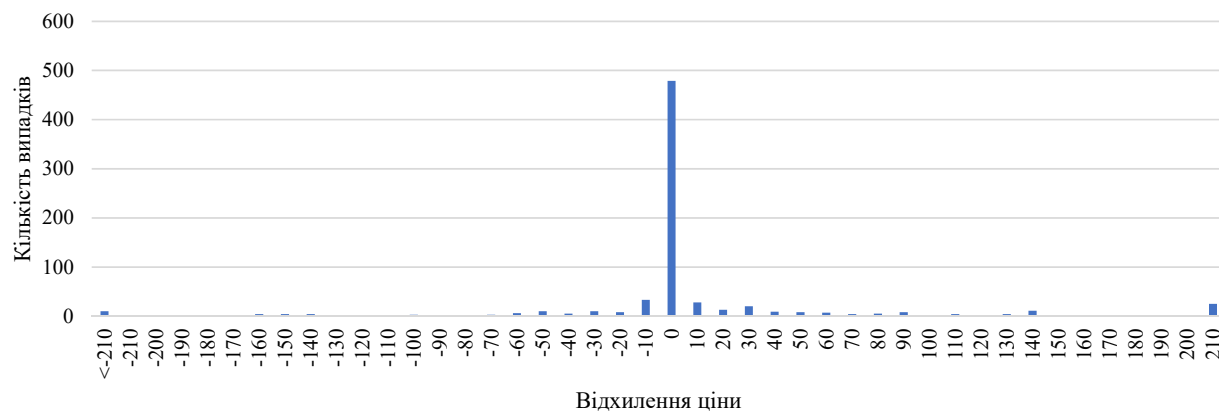
Середньозважена ціна на РДН за серпень **знизилась на 130,89  $\text{€}/(\text{МВт}\cdot\text{год})$  (9,12%)** з 1 427,93  $\text{€}/(\text{МВт}\cdot\text{год})$  без ВДЕ до 1 297,74  $\text{€}/(\text{МВт}\cdot\text{год})$  з ВДЕ.

Вплив похибки прогнозу ГП:

Середньозважена ціна на РДН за серпень **знизилась на 11,7  $\text{€}/(\text{МВт}\cdot\text{год})$  (0,89%)** з 1 309,41  $\text{€}/(\text{МВт}\cdot\text{год})$  без похибки до 1 297,74  $\text{€}/(\text{МВт}\cdot\text{год})$  з похибкою.



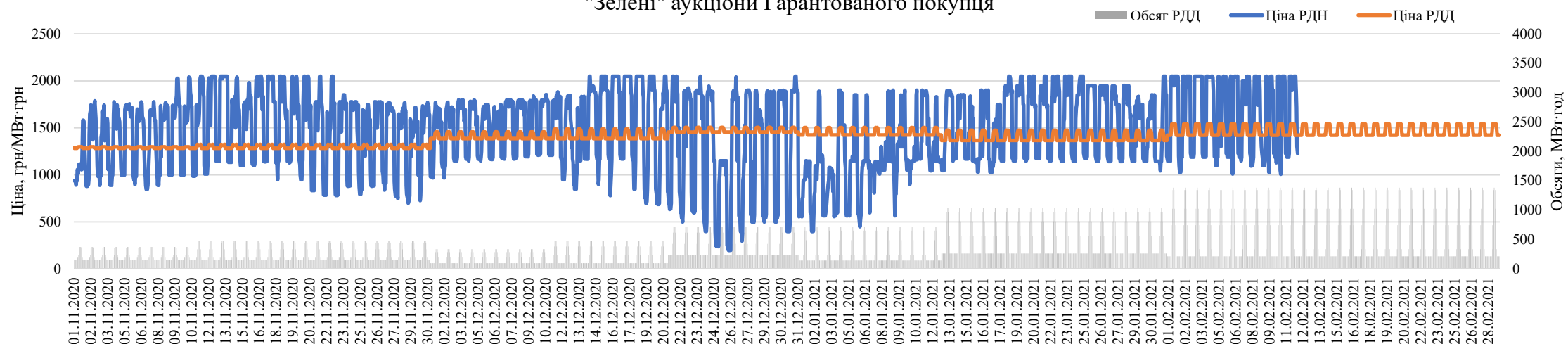
Розподіл відхилень ціни за рахунок похибки прогнозу ГП



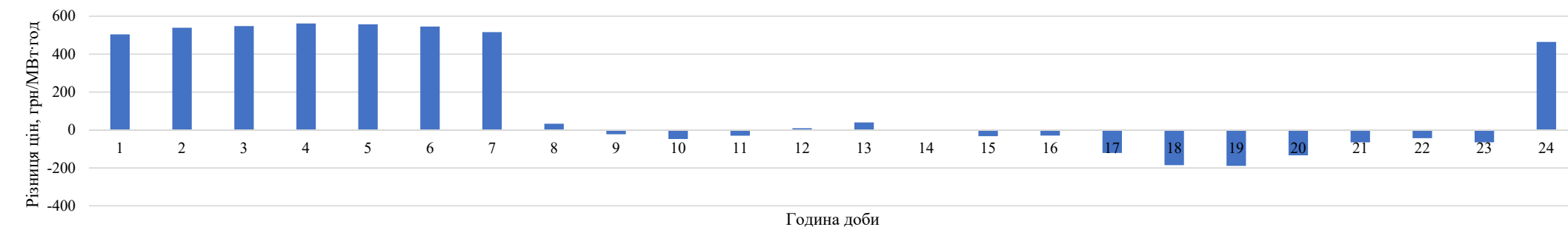
# Вплив збільшення частки відновлюваних джерел енергії на ринкову ціну електричної енергії



"Зелені" аукціони Гарантованого покупця



Середня різниця цін "зелених" аукціонів та РДН по годинам доби



# Особливості роботи балансуючої групи ДП «Гарантований покупець»

Компенсація вартості похибки прогнозу за місяць серпень 2020



## Попередня редакція

Якщо  $\varepsilon_t^{sum} > 0, \varepsilon_t^p > 0$  та  $IMSP_t < P_t^{DAM}$   
то  $CIEQ_t^p = \frac{\varepsilon_t^p}{\sum_{p, \varepsilon_t^{p,s} > 0} \varepsilon_t^{ps}} * \varepsilon_t^{sum} * (P_t^{DAM} - IMSP_t)$ , грн.

Якщо  $\varepsilon_t^{sum} < 0, \varepsilon_t^p < 0$  та  $IMSP_t > P_t^{DAM}$ ,  
то  $CIEQ_t^p = \frac{\varepsilon_t^p}{\sum_{p, \varepsilon_t^{p,s} < 0} \varepsilon_t^{ps}} * \varepsilon_t^{sum} * (P_t^{DAM} - IMSP_t)$ , грн

в іншому випадку  $CIEQ_t^p = 0$  грн.

де  $\varepsilon_t^{sum}$  - сума відхилень фактичних погодинних обсягів відпуску електричної енергії всіх продавців гарантованому покупцю та споживачів за «зеленим» тарифом, що входять до балансуючої групи гарантованого покупця, в розрахунковому періоді, МВт·год, що розраховується за формулою

$$\varepsilon_t^{sum} = \sum_u^p \varepsilon_t^{ps}, \text{ МВт год,}$$

де  $\varepsilon_t^{ps}$  - величина відхилення фактичного обсягу відпуску електричної енергії генеруючими одиницями продавця або споживача за «зеленим» тарифом від його прогнозного погодинного графіка відпуску електричної енергії в розрахунковому періоді, МВт·год, що визначається за формулою

$$\varepsilon_t^p = \sum_{u \in p} \varepsilon_t^u, \text{ МВт год,}$$

де  $\varepsilon_t^u$  - урахована величина відхилення фактичного обсягу відпуску електричної енергії генеруючої одиниці продавця гарантованому покупцю або споживача за «зеленим» тарифом у розрахунковому періоді від його погодинного графіка відпуску електричної енергії:

$$\varepsilon_t^u = \begin{cases} (W_t^u - PR_t^u) \cdot a^u / 100, & PR_t^u > 0 \text{ і } \frac{|W_t^u - PR_t^u|}{PR_t^u} \cdot 100 > K^u \\ 0, & PR_t^u > 0 \text{ і } \frac{|W_t^u - PR_t^u|}{PR_t^u} \cdot 100 \leq K^u \\ W_t^u, & PR_t^u = 0, W_t^u \neq 0 \end{cases}$$

## Діюча редакція

$$CIEQ_{z,t}^p = \frac{CIEQ_{z,t}^{p'}}{\sum_p CIEQ_{z,t}^{p''}} \cdot CIEQ_{GB\ z,t}, \text{ грн, (3)}$$

де  $CIEQ_{z,t}^{p'}$  – витрати, пов'язані з врегулюванням небалансу з урахуванням  $K^e$  і  $a^e$ , що розраховуються за формулами:

$$CIEQ_{z,t}^{p'} = \begin{cases} \varepsilon_{z,t}^p \cdot (PDAM_{z,t} - \min(PDAM_{z,t}, IMSP_{z,t}) \cdot (1 - K^{im})), & \varepsilon_{z,t}^p \geq 0 \\ \varepsilon_{z,t}^p \cdot (\max(PDAM_{z,t}, IMSP_{z,t}) \cdot (1 + K^{im}) - PDAM_{z,t}), & \varepsilon_{z,t}^p < 0 \end{cases}$$

де  $K^{im}$  – коефіцієнт ціни небалансу, визначений згідно з Правилами ринку;

$IMSP_{z,t}$  – ціна небалансу, грн/МВт·год;  $PDAM_{z,t}$  – ціна РДН, грн/МВт·год;

$\varepsilon_{z,t}^p$  – величина врахованого відхилення, що розраховується за формулою:

$$\varepsilon_{z,t}^p = \begin{cases} (W_{z,t}^e - PR_{z,t}^e + \Delta W_{z,t}^e) \cdot a^e / 100, & PR_{z,t}^e \neq 0 \text{ та } \frac{|W_{z,t}^e - PR_{z,t}^e + \Delta W_{z,t}^e|}{|PR_{z,t}^e|} \cdot 100 > K^e \\ (W_{z,t}^e + \Delta W_{z,t}^e) a^e / 100, & PR_{z,t}^e = 0 \end{cases}$$

де  $K^e$  – допустиме відхилення, %;

$a^e$  – частка відшкодування, %;

$\Delta W_{z,t}^e$  – обсяг не відпущеної електричної в результаті виконання команд ОСП;

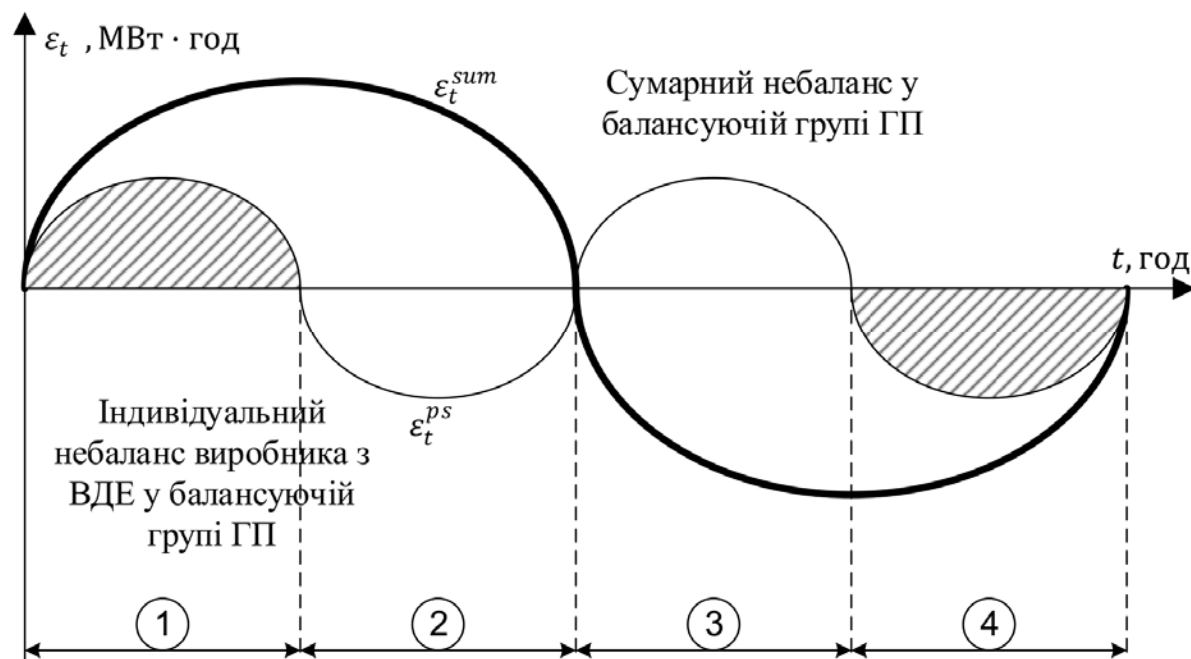
$CIEQ_{z,t}^{p''}$  – витрати, пов'язані з врегулюванням небалансу без урахуванням  $K^e$  і  $a^e$

$$CIEQ_{z,t}^{p''} = \begin{cases} \varepsilon_{z,t}^{p''} \cdot (PDAM_{z,t} - \min(PDAM_{z,t}, IMSP_{z,t}) \cdot (1 - K^{im})), & \varepsilon_{z,t}^{p''} \geq 0 \\ |\varepsilon_{z,t}^{p''}| \cdot (\max(PDAM_{z,t}, IMSP_{z,t}) \cdot (1 + K^{im}) - PDAM_{z,t}), & \varepsilon_{z,t}^{p''} < 0 \end{cases}$$

де  $\varepsilon_{z,t}^{p''} = (W_{z,t}^e - PR_{z,t}^e + \Delta W_{z,t}^e)$



## Особливості роботи балансуючої групи ДП «Гарантований покупець»



Попередня редакція Порядку давала виробникам більш виграшну альтернативну стратегію зниження витрат, не знижуючи при цьому обсяг небалансів.

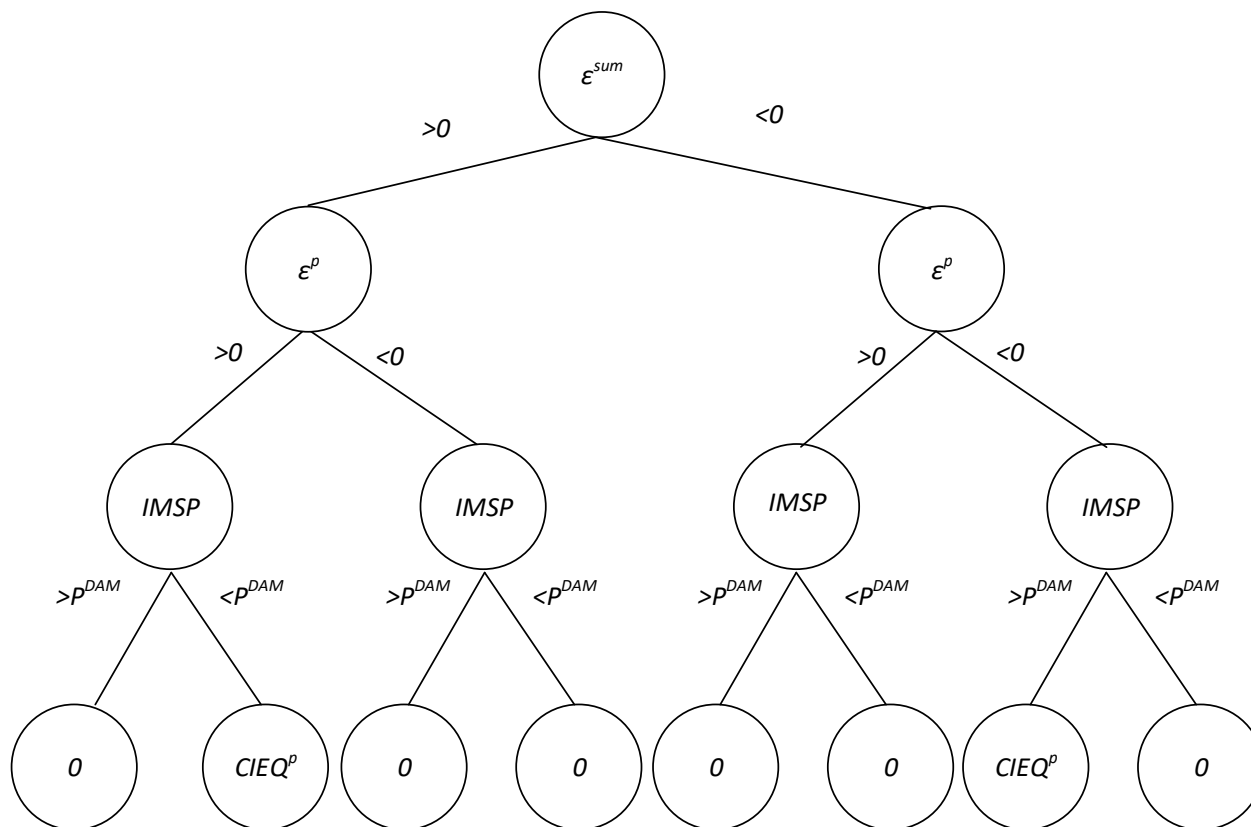
Її суть полягала в оцінюванні знаку небалансу балансуючої групи та відповідним корегуванням власного прогнозу.

Така стратегія надавала можливість знижувати сумарний небаланс, за рахунок зниження кореляції похибок прогнозів, але не вирішувала локальні проблеми пов'язані з мережевими обмеженнями.

## Особливості роботи балансуючої групи ДП «Гарантований покупець»



На відміну від ринкових механізмів компенсації небалансів, в балансуючій групі Гарантованого покупця враховуються лише небаланси, які співпадають за знаком із сумарним небалансом балансуючої групи.

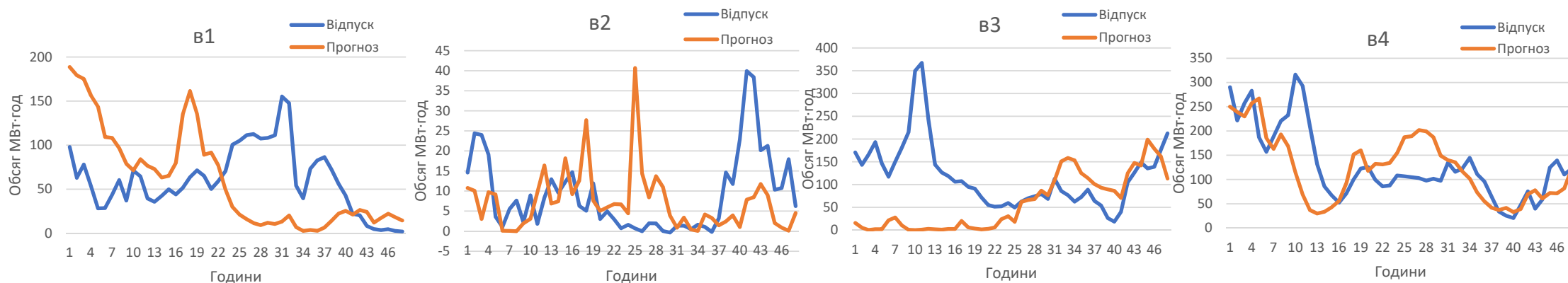


Як видно з діаграми виробник сплачував тільки у двох випадках з шести.

До 31.12.2020 даний механізм не застосовувався, оскільки, виробники були звільнені від сплати небалансів.

# Особливості роботи балансуючої групи ДП «Гарантований покупець»

Компенсація вартості похибки прогнозу за місяць серпень 2020 – модельний приклад



Модель балансуючої групи:

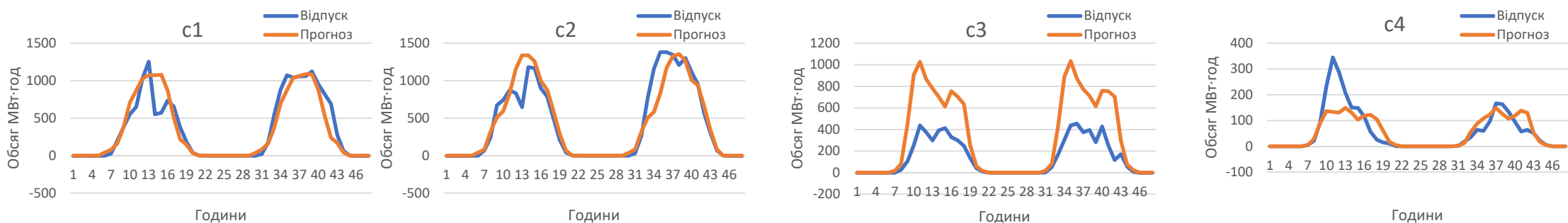
Сумарний відпуск = 1,028 млн МВт·год

Сумарний відпуск ВЕС = 0,214 млн МВт·год

Сумарний відпуск СЕС = 0,814 млн МВт·год

Дані НКРЕКП за 08.2020

| Тип     | Виробництво електроенергії за звітний місяць, млн. кВт·год |
|---------|------------------------------------------------------------|
| Біогаз  | 36,641                                                     |
| Біомаса | 23,588                                                     |
| ВЕС     | 174,137                                                    |
| МГЕС    | 10,151                                                     |
| нСЕС    | 827,166                                                    |
| фСЕС    | 15,616                                                     |
| РАЗОМ   | 1087,299                                                   |



# Особливості роботи балансуючої групи ДП «Гарантований покупець»

Компенсація вартості похибки прогнозу за місяць серпень 2020 – модельний приклад



|                                                                    | в1          | в2           | в3           | в4           | с1            | с2            | с3            | с4           | Σ                    | ГП                   |
|--------------------------------------------------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|--------------|----------------------|----------------------|
| Середньозважений FIT,<br>грн/МВт*год                               | 2973        | 2973         | 2973         | 2973         | 4200          | 4200          | 4200          | 4200         |                      |                      |
| Обсяг відпуску, МВт*год                                            | 89 925      | 9 595        | 42 279       | 72 560       | 289 383       | 353 327       | 129 650       | 41 263       | 1 027 980            |                      |
| Виплати по FIT, грн                                                | 267 312 980 | 28 522 207   | 125 679 171  | 215 692 172  | 1 215 465 428 | 1 484 044 833 | 544 555 242   | 173 311 894  | <b>4 054 583 927</b> |                      |
| <b>Вартість фактичного<br/>графіку на РДН, грн</b>                 | 109 399 970 | 11 191 051   | 50 768 630   | 89 596 465   | 407 879 952   | 497 311 986   | 184 666 098   | 58 053 779   | <b>1 408 867 931</b> | <b>1 408 867 931</b> |
| Вартість прогнозного<br>графіку на РДН, грн                        | 73 571 150  | 19 195 829   | 54 096 309   | 89 003 014   | 368 581 644   | 463 931 576   | 367 182 364   | 60 674 083   | 1 496 235 970        | 1 496 235 970        |
| Вартість небалансів*,грн                                           | 19 075 513  | - 12 288 825 | - 16 431 847 | - 11 222 142 | 16 957 418    | - 2 128 371   | - 213 609 715 | - 10 738 949 | <b>- 230 386 918</b> | <b>- 133 771 071</b> |
| <b>Вартість похибки<br/>прогнозу, грн (CIEQ_E)<br/>(РДН vs БР)</b> | 16 753 307  | 4 284 047    | 13 104 167   | 11 815 593   | 22 340 890    | 35 508 781    | 31 093 448    | 8 118 645    | <b>143 018 878</b>   | <b>- 46 403 031</b>  |
| Компенсація небалансу ГП,<br>грн (CIEQ_1)                          | 3 501 212   | 109 411      | 739 556      | 756 348      | 3 058 281     | 3 421 079     | 36 395        | 726 014      | <b>12 348 297</b>    | - 34 054 735         |
| Компенсація небалансу ГП,<br>грн (CIEQ_2)                          | 2 312 727   | 689 985      | 2 859 634    | 2 147 071    | 2 571 467     | 4 290 511     | 6 677 343     | 1 482 441    | <b>23 031 179</b>    | - 23 371 853         |
| Компенсація небалансу ГП,<br>грн (CIEQ_2')                         | 4 671 644   | 1 382 347    | 5 727 493    | 4 354 817    | 5 208 689     | 8 723 744     | 13 361 220    | 2 973 078    | <b>46 403 031</b>    | -                    |

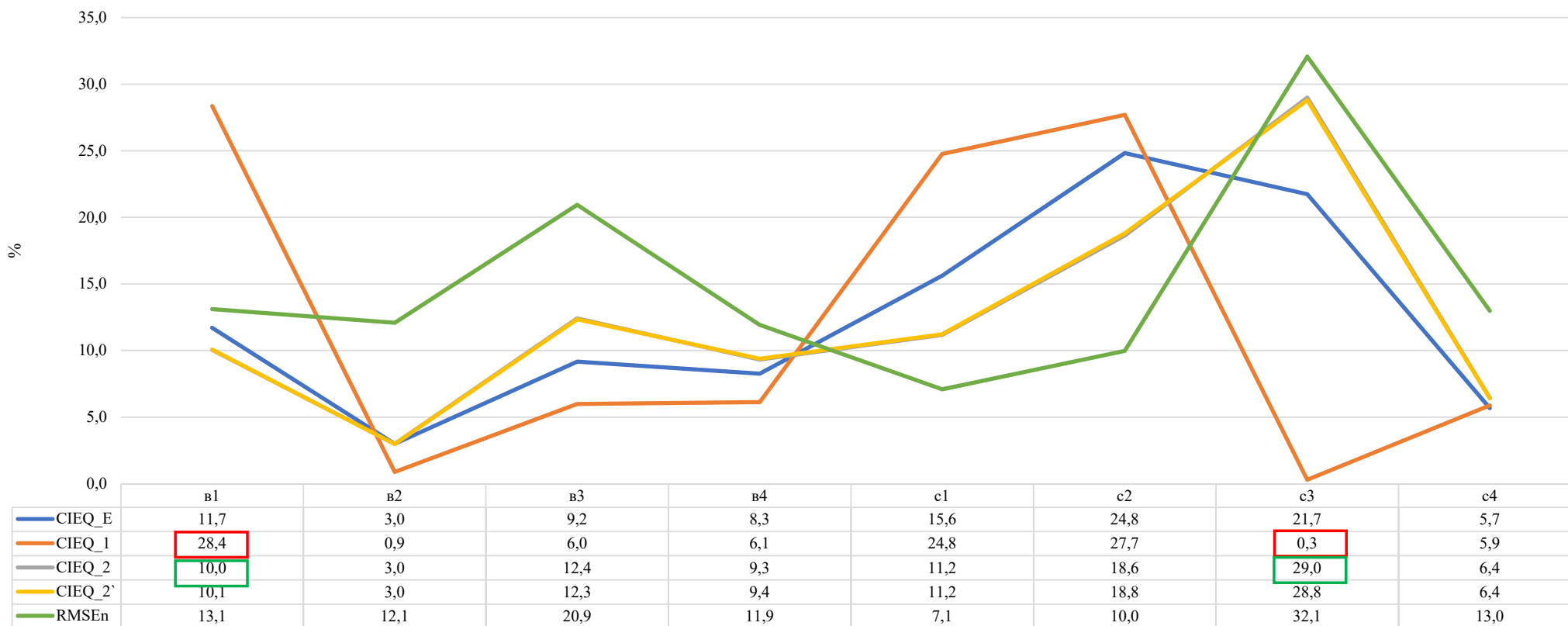
\* Негативні значення – списання для виробника, позитивні - нарахування

# Особливості роботи балансуючої групи ДП «Гарантований покупець»

Компенсація вартості похибки прогнозу – модельний приклад



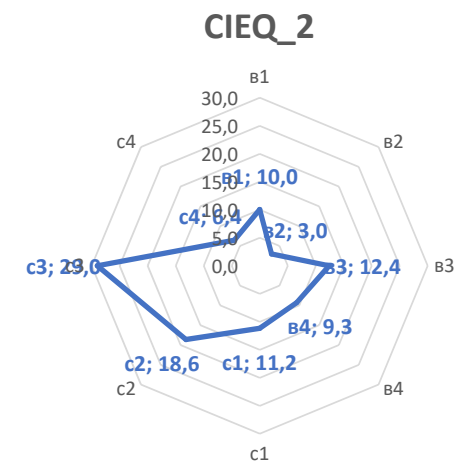
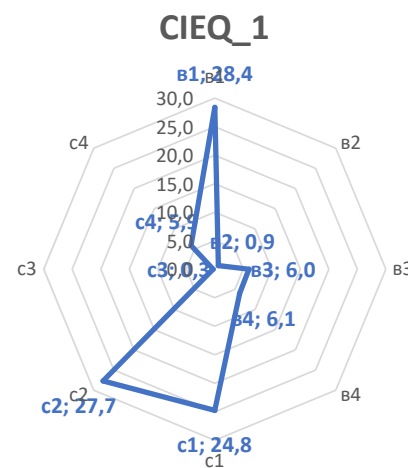
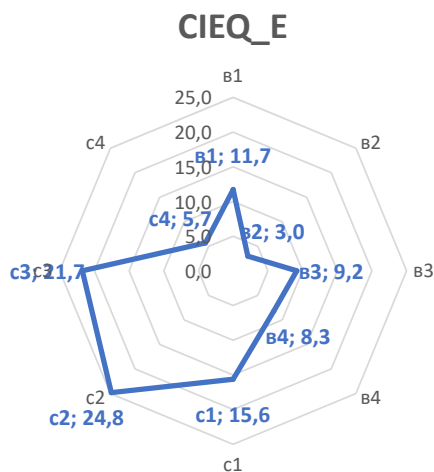
Частка виробника в загальних виплатах групи модельного прикладу



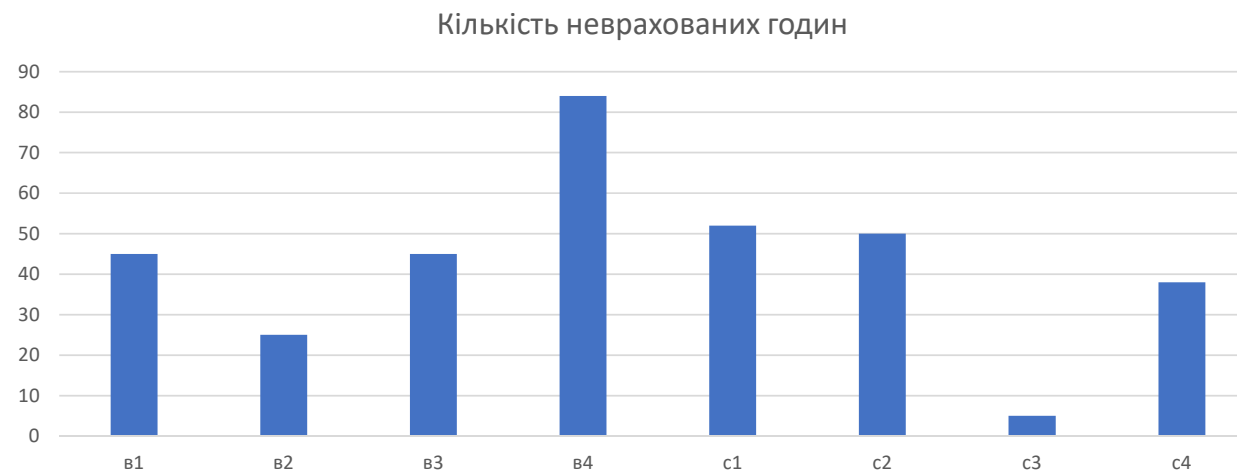
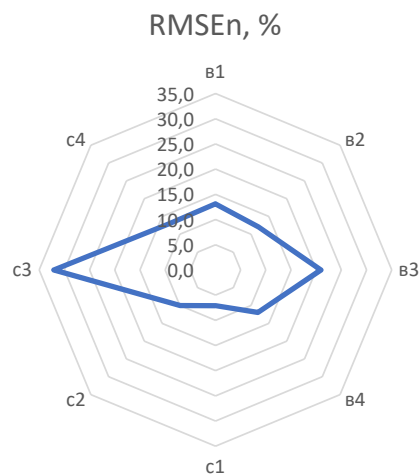
$\Sigma RMSEn \neq 100$ , а інші 100%

# Особливості роботи балансуєчої групи ДП «Гарантований покупець»

Частка виробника в загальних виплатах групи модельного прикладу



Точність прогнозування учасників балансуєчої групи

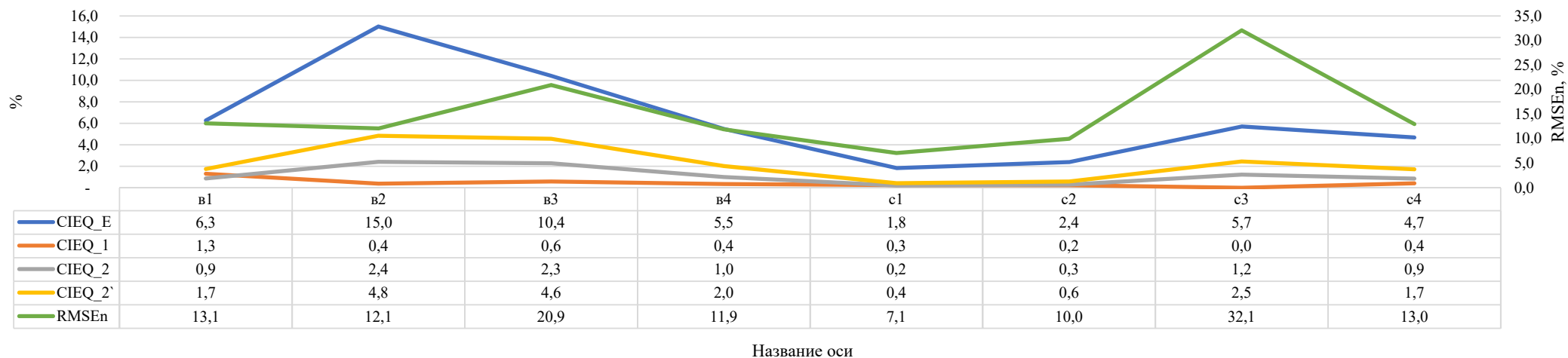


# Особливості роботи балансуючої групи ДП «Гарантований покупець»

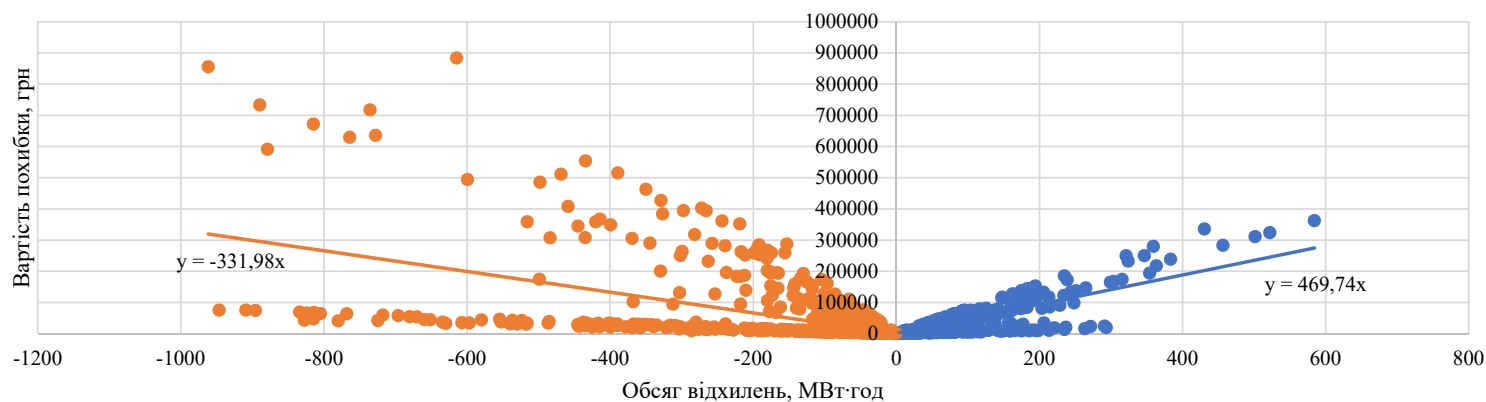
Компенсація вартості похибки прогнозу – модельний приклад



Частка компенсації виробника від FIT



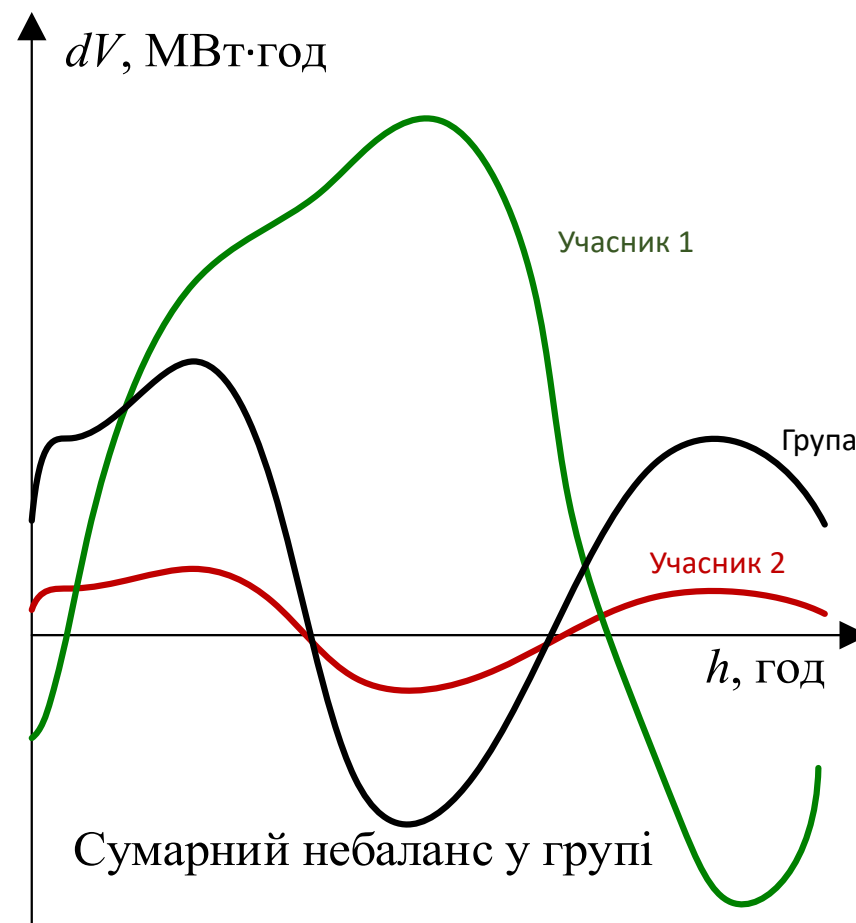
Вартість похибки прогнозу ГП в залежності від відхилень



Кожна додаткова МВт-год відхилення прогнозу вниз коштувала в середньому в **1,42 рази більше**, ніж відхилення прогнозу вгору.

## Оптимальні балансуючі групи

Ефект зниження вартості похибки прогнозу при участі в оптимальній балансуючій групі





# Оптимальні балансуючі групи

Ефект зниження вартості похибки прогнозу при участі в оптимальній балансуючій групі



## Рейтинг найкращих балансуючих груп для кожного виробника

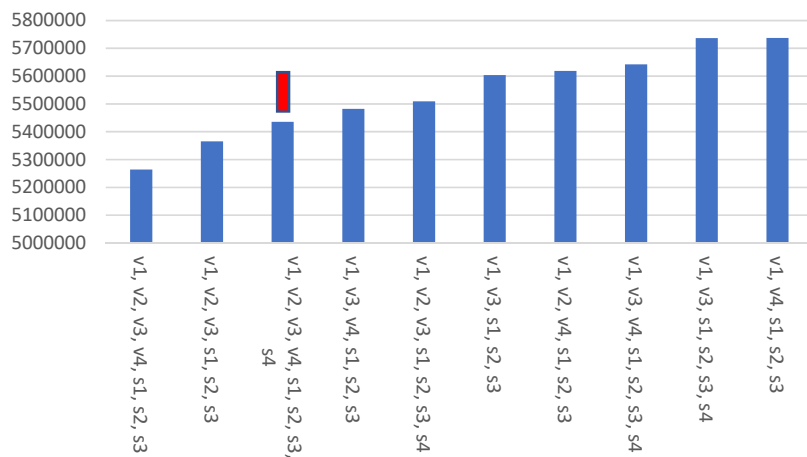
Підвищення вартості похибки

| v1                             | v2                             | v3                             | v4                             | s1                             | s2                             | s3                             | s4                                    |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| v1, v2, v3, v4, s1, s2, s3     | v1, v2, v3, v4, s1, s2, s3     | v1, v2, v3, v4, s1, s2, s3     | v1, v2, v3, v4, s1, s2, s3     | v1, v2, v3, v4, s1, s2, s3     | v1, v2, v3, v4, s1, s2, s3     | v1, v2, v3, v4, s1, s2, s3     | <b>v1, v2, v3, v4, s1, s2, s3, s4</b> |
| v1, v2, v3, s1, s2, s3         | v1, v2, v3, s1, s2, s3         | v1, v2, v3, s1, s2, s3         | v1, v2, v3, v4, s1, s2, s3, s4 | v1, v2, v3, s1, s2, s3         | v1, v2, v3, s1, s2, s3         | v1, v2, v3, s1, s2, s3         | v1, v2, v3, s1, s2, s3, s4            |
| v1, v2, v3, v4, s1, s2, s3, s4 | v1, v2, v3, v4, s1, s2, s3, s4 | v1, v2, v3, v4, s1, s2, s3, s4 | v1, v3, v4, s1, s2, s3         | v1, v2, v3, v4, s1, s2, s3, s4 | v1, v2, v3, v4, s1, s2, s3, s4 | v1, v2, v3, v4, s1, s2, s3, s4 | v1, v3, v4, s1, s2, s3, s4            |
| v1, v3, v4, s1, s2, s3         | v1, v2, v3, s1, s2, s3, s4     | v1, v3, v4, s1, s2, s3         | v1, v2, v4, s1, s2, s3         | v1, v3, v4, s1, s2, s3         | v1, v3, v4, s1, s2, s3         | v1, v3, v4, s1, s2, s3         | v1, v3, s1, s2, s3, s4                |
| v1, v2, v3, s1, s2, s3, s4     | v1, v2, v4, s1, s2, s3         | v1, v2, v3, s1, s2, s3, s4     | v1, v3, v4, s1, s2, s3, s4     | v1, v2, v3, s1, s2, s3, s4     | v1, v2, v3, s1, s2, s3, s4     | v1, v2, v3, s1, s2, s3, s4     | v1, v2, v4, s1, s2, s3, s4            |
| v1, v3, s1, s2, s3             | v1, v2, v4, s1, s2, s3, s4     | v1, v3, s1, s2, s3             | v1, v4, s1, s2, s3             | v1, v3, s1, s2, s3             | v1, v3, s1, s2, s3             | v1, v3, s1, s2, s3             | v1, v4, s1, s2, s3, s4                |
| v1, v2, v4, s1, s2, s3         | v1, v2, s1, s2, s3             | v1, v3, v4, s1, s2, s3, s4     | v1, v2, v4, s1, s2, s3, s4     | v1, v2, v4, s1, s2, s3         | v1, v2, v4, s1, s2, s3         | v1, v2, v4, s1, s2, s3         | v1, v2, s1, s2, s3, s4                |
| v1, v3, v4, s1, s2, s3, s4     | v1, v2, s1, s2, s3, s4         | v1, v3, s1, s2, s3, s4         | v1, v4, s1, s2, s3, s4         | v1, v3, v4, s1, s2, s3, s4     | v1, v3, v4, s1, s2, s3, s4     | v1, v3, v4, s1, s2, s3, s4     | v1, s1, s2, s3, s4                    |
| v1, v3, s1, s2, s3, s4         | v1, v2, v3, v4, s2, s3         | v1, v2, v3, v4, s2, s3         | v1, v2, v3, v4, s2, s3         | v1, v3, s1, s2, s3, s4         | v1, v3, s1, s2, s3, s4         | v1, v3, s1, s2, s3, s4         | v1, v2, v3, v4, s2, s3, s4            |
| v1, v4, s1, s2, s3             | v2, v3, v4, s1, s2, s3         | v2, v3, v4, s1, s2, s3         | v2, v3, v4, s1, s2, s3         | v1, v4, s1, s2, s3             | v1, v4, s1, s2, s3             | v1, v4, s1, s2, s3             | v2, v3, v4, s1, s2, s3, s4            |

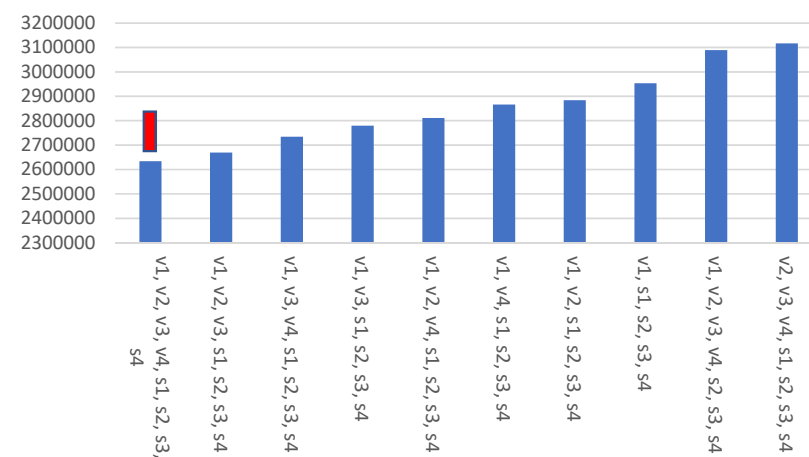
v1

Результат аналізу бізнес-кейсів сьогодні

s4

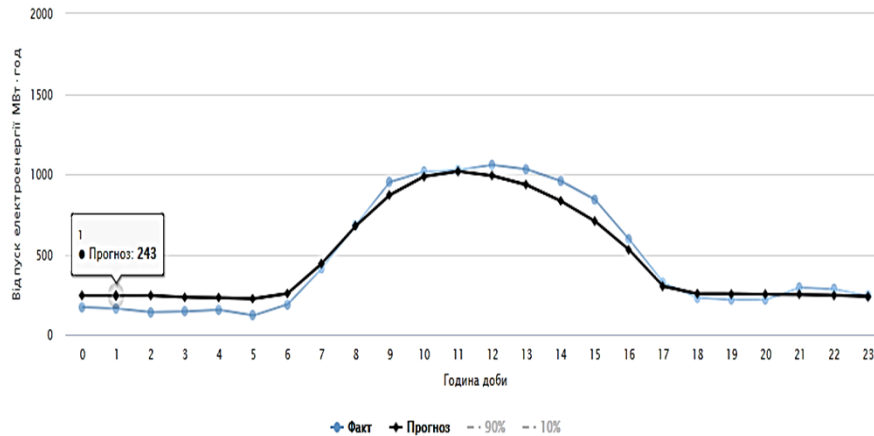


Для v1 вартість похибки прогнозу при участі в БГ ГарПока на 3,3% вища в порівнянні з найкращою БГ



## Прогноз сумарного відпуску електричної енергії

Прогноз добового графіку на 2019-03-29 (похибка 14.7%)



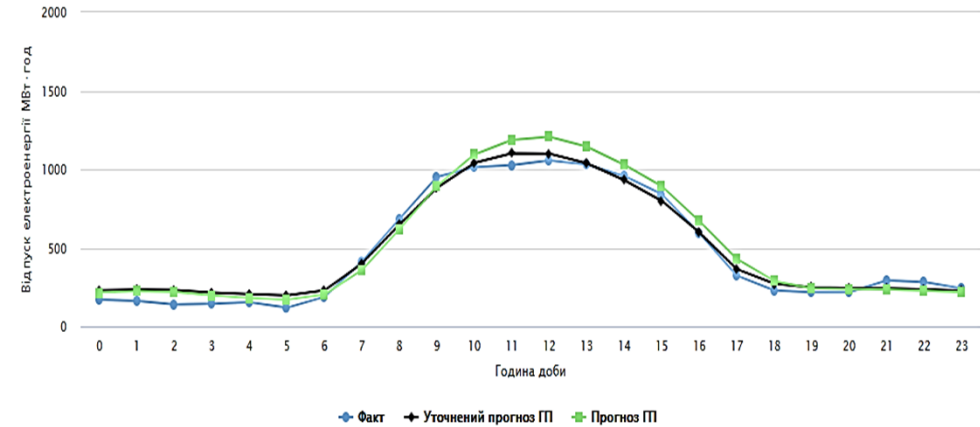
Прогноз сумарного відпуску е/е на основі прогнозів за типами первинних джерел енергії. Середня похибка до 30%.

Об'єднання прогнозів

| Модель             | RMSE            |         | MAX             |         |
|--------------------|-----------------|---------|-----------------|---------|
|                    | % від $P_{ins}$ | МВт·год | % від $P_{ins}$ | МВт·год |
| LinReg             | 4,56            | 158     | 15,22           | 527     |
| $\varepsilon$ -SVR | 4,58            | 159     | 15,51           | 536     |
| MLP                | 4,59            | 160     | 15,35           | 539     |
| SARIMA             | 4,87            | 169     | 16,2            | 559     |
| GEN                | 4,78            | 166     | 21,18           | 732     |
| eResNet            | 4,46            | 155     | 12,81           | 466     |

\* Розробка ІЕД

Уточнення прогнозу на 2019-03-29 (похибка ГП 15.6%, після уточнення 10.3%)



Об'єднання прогнозів різних моделей дозволяє зменшити похибку на 5%.  
Середня похибка до 25%.

| Модель                                                 | RMSE |         | MAX   |         |
|--------------------------------------------------------|------|---------|-------|---------|
|                                                        | %    | МВт·год | %     | МВт·год |
| GEN+SARIMA+eResNet*                                    | 3,84 | 133     | 15,42 | 533     |
| GEN+SARIMA+eResNet <sub>q</sub> *                      | 3,85 | 134     | 15,58 | 538     |
| GEN+SARIMA+eResNet*+eResNet <sub>q</sub> *             | 3,88 | 135     | 14,64 | 506     |
| GEN+LinReg+SARIMA+eResNet*                             | 3,90 | 136     | 14,52 | 502     |
| GEN+ $\varepsilon$ -SVR+SARIMA+eResNet*                | 3,90 | 136     | 14,39 | 497     |
| $\varepsilon$ -SVR+SARIMA+eResNet+eResNet <sub>q</sub> | 4,10 | 142     | 12,41 | 429     |

## Висновки



Нова формула розрахунків компенсації небалансів ГП є більш справедливою та дає стимул виробникам з ВДЕ покращувати власні прогнози, а не використовувати інші стратегії зменшення вартості небалансів, за рахунок інших учасників балансуючої групи.

Попередній аналіз вартості похибки прогнозу окремих виробників та групи ГП на основі модельного прикладу показав, що вихід кожного окремого виробника із групи ГП на даний момент не є вигідним внаслідок суттєвого збільшення вартості похибки прогнозу виробника, як за рахунок позбавлення допустимої похибки ( $K$ ) та рівня відповідальності ( $a$ ), так і через ефект взаємної компенсації похибки. Необхідно змінити нормативну базу, що б гарантований ЗУ «Про ринок електричної енергії» механізм допустимої похибки прогнозу не прив'язувався до постанови 641.

Аналіз показав, що для окремих виробників може існувати «оптимальна балансуюча група», яка відрізняється від групи ГП, в якій вартість похибки прогнозу буде найменшою. Також у випадку утворення нової балансуючої групи можливим є зниження сукупної вартості прогнозів, шляхом координації торгових стратегій учасників. Моделювання роботи такої групи та тактики участі на ринку є окремою задачею.

Поєднання декількох моделей прогнозування дозволяє підвищити точність прогнозу відпуску електричної енергії з ВДЕ, особливо для випадку агрегованого графіку відпуску в межах балансуючої групи.



Національна академія наук України

Інститут  
електродинаміки



**Дякую за увагу!**



Заступник директора інституту з наукової роботи

д-р техн. наук

БЛІНОВ ІГОР ВІКТОРОВИЧ

тел. (044) 366-24-43

[blinovihor@gmail.com](mailto:blinovihor@gmail.com)



Національна академія наук України

Інститут електродинаміки

Україна, 03057, м. Київ, проспект Перемоги, 56

тел.: +38 044 366 2625 факс: +38 044 366 2686

e-mail: [ied1@ied.org.ua](mailto:ied1@ied.org.ua)