

УДК 621.311

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВІТРОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ НА РЕЖИМИ РОБОТИ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

О.О. Кармазін

Інститут відновлюваної енергетики НАН України
02094 вул. Гната Хоткевича, 20А, м. Київ

Завдяки державній підтримці розвитку відновлюваних джерел енергії, встановлена потужність сонячних (СЕС) та вітрових (ВЕС) електростанцій у другому кварталі 2018 року досягла 1552 МВт. Генерація електричної енергії ВЕС та СЕС протягом доби має непостійний характер. Для надійної роботи енергосистеми генерація активної потужності кожної години повинна відповідати споживанню. Для забезпечення балансу активної потужності електростанції змінюють свою потужність у відповідності до заданого графіку генерації. Збільшення встановленої потужності електростанцій негарантованої потужності (ВЕС та СЕС) потребує збільшення резерву потужності в енергосистемі. Для балансування енергосистеми можуть бути використані гідроелектростанції, теплові електростанції (ТЕС) або системи акумуляування енергії. В умовах України єдиний вид електростанцій, наявний у достатньому обсязі для балансування енергосистеми при зростанні частки ВДЕ, – це ТЕС. Переважна більшість ТЕС була збудована в 60–80-тих роках минулого століття, та потребує реконструкції. З огляду на зростання кількості відмов на ТЕС при зростанні кількості пусків/зупинок енергоблоків, можливість використання ТЕС для балансування ВДЕ вимагає дослідження. У попередніх дослідженнях роботи ВДЕ, наприкладі ВЕС з іншими електростанціями об'єднаної енергосистеми (ОЕС) України, було використано усереднені значення швидкості вітру за місяці. Такий підхід значно зменшував обсяг розрахунків але не дозволяв врахувати більшості режимів роботи ВЕС. Для оцінки впливу ВДЕ на роботу ТЕС необхідно виконати аналіз добових балансів потужності впродовж певного періоду. При цьому, генерація ВЕС повинна бути врахована на підставі статистичних даних роботи вже діючих станцій або фактичних замірів швидкості вітру. Аналіз балансів потужності для рівнів навантаження енергосистеми 2012 року (період стабільної роботи ОЕС України) та різних рівнів інтеграції ВЕС (до 4 ГВт) підтвердив можливість використання ТЕС для балансування ВДЕ. Збільшення встановленої потужності ВЕС не дає збільшення кількості пусків/зупинок енергоблоків ТЕС. Балансування енергосистеми без зменшення складу енергоблоків ТЕС нижче технічного мінімуму вимагає обмеження потужності ВЕС. Для уникнення цього, необхідне впровадження систем акумуляування електричної енергії. Бібл. 18, табл. 3, рис. 4

Ключові слова: баланс активної потужності, вітрова електростанція, графік добового навантаження, об'єднана енергосистема України, сонячна електростанція.

RESEARCH ON INFLUENCE OF WIND ELECTRIC STATIONS ON THE OPERATION MODES OF THERMAL POWER PLANTS

O. Karmazin

Institute of Renewable Energy, NAS of Ukraine
02094, 20A Hnata Khotkevycha, Kyiv, Ukraine

Thanks to state support for the development of renewable energy sources, the installed capacity of solar (SPP) and wind (WPP) power plants in the second quarter of 2018 reached 1552 MW. Generation of electric power of WPP and SPP over the course of the day is inconsistent. For reliable operation of the power system, the generation of active power every hour should be discounted to consumption. In order to balance the active power of the power plant, the power is implemented in accordance with the specified generation schedule. An increase in unprotected power plants (WPP and SPP) requires an increase in power reserve in the grid. Hydroelectric power stations, thermal electric power stations (TEP) or energy storage systems can be used to balance the grid. In Ukraine, the only type of power plant is available in sufficient volume to balance the grid with an increase in the share of RES, which is TEP. The vast majority of TEPs were built in the 60–80s of the last century, and need reconstruction. Given the increase in the number of failures at the TEP with the increase in the number of start-stop units of power units, the possibility of using TEPs to balance the RES requires research. In previous studies of RES work on the example of WPP with other power plants of the Integrated Power System (IPS) of Ukraine, the averaged values of the wind speed were used in the months. Such an approach significantly reduced the volume of calculations but did not allow to take into account most of the modes of WPP operation. In order to assess the impact of RES on the work of the TEP, it is necessary to perform an analysis of daily balance sheets in a given period. At the same time, the generation of WPP should be taken into account on the basis of statistical data of work of existing stations or actual meas-

© О.О. Кармазін, 2018

urements of wind speed. The analysis of power balances for the load levels of the power system in 2012 (the period of stable operation of the IPS of Ukraine) and the different levels of integration of the wind farm (up to 4 GW) confirmed the possibility of using the TPP to balance the RES. An increase of the installed capacity of the wind farm does not increase the number of start-stopping power units of the TPP. To balance the power system without reducing the TPP power units below the technical minimum, it requires a reduction in the power of the wind farm. In order to avoid this, it is necessary to introduce systems of electric energy storage. References 18, tables 3, fig. 4.

Keywords: active power balance, wind power plants, daily load schedule, Integrated Power System of Ukraine, solar power station.



О. Кармазін
O. Karmazin

Відомості про автора: науковий співробітник відділу комплексних енергосистем Інституту відновлюваної енергетики НАН України.

Освіта: Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» за спеціальністю, фізико-технічний факультет «Нетрадиційні джерела енергії».

Наукова сфера: робота відновлюваних джерел енергії в єдиному режимі з іншими електростанціями об'єднаної енергосистеми України.

Публікації: 12.

ORCID: 0000-0002-7628-6880

Контакти: +38 (044) 206-28-09

e-mail: renewable@ukr.net

Author information: Research Associate of the Institute of Renewable Energy of the NAS of Ukraine.

Education: National Technical University Kharkiv Polytechnic Institute, Physical-Technical Faculty, «Non-Conventional Sources of Energy».

Research area: the work of renewable energy sources in a single mode with other power plants of the united power grid of Ukraine.

Publications: 12.

ORCID: 0000-0002-7628-6880

Contacts: +38 (044) 206-28-09

e-mail: renewable@ukr.net

Перелік використаних позначень та скорочень:

АЕС – атомна електростанція;

ВДЕ – відновлювані джерела енергії;

ВЕС – вітроелектрична станція;

ГЕС – гідроелектрична станція;

ГАЕС – гідроакумулююча станція;

ОЕС – об'єднана енергосистема;

ТЕС – теплова електростанція;

ТЕЦ – теплоелектроцентраль;

P – активна потужність;

W – активна енергія;

t – час;

π – втрати активної потужності;

η – коефіцієнт корисної дії.

Вступ. Згідно з офіційною інформацією [1] у другому кварталі 2018 року сумарна потужність сонячних (СЕС) та вітрових (ВЕС) електростанцій досягла 1552 МВт. За даними НЕК «Укренерго» до кінця 2019 року встановлена потужність СЕС та ВЕС (надалі ВДЕ) може досягнути 3000 МВт [2]. Зростання частки ВДЕ в балансі енергосистеми вимагає збільшення резерву потужності на інших електростанціях для швидкого реагування на зміни генерованої потужності. В умовах України на даному етапі для балансування можуть бути задіяні теплові електростанції (ТЕС) або гідроелектростанції (ГЕС). Останнім часом розглядається можливість використання для балансування енергосистеми електрохімічних накопичувачів енергії на основі літій-іонних акумуляторних установок, однак їхнє будівництво в достатніх обсягах може зайняти тривалий час.

Якщо звернути увагу на структуру генеруючих джерел об'єднаної енергосистеми (ОЕС)

України, то можна відзначити, що єдиний наявний в достатньому обсязі тип електростанцій для балансування ОЕС України – це ТЕС (встановлена потужність більше 27 ГВт). Залучення гідроелектростанцій малоімовірно через їхню недостатню потужність в балансі ОЕС України – 11,2% проти 15% необхідних [3].

Переважну більшість ТЕС було збудовано в 60–80-тих роках минулого століття, тому більшість з них вже практично повністю вичерпали свій ресурс та потребують реконструкції [3]. Збільшення в балансі ОЕС частки негарантованої потужності (ВЕС та СЕС) може призвести до зростання нерівномірності добового графіка навантажень, і як наслідок, до збільшення пусків-зупинок енергоблоків ТЕС. Такі режими роботи енергоблоків можуть позначитися на надійності роботи генеруючого обладнання ТЕС [4]. В той же час, навантаження ТЕС під час проходження добового максимуму може бути зменшене на ве-

личину потужності ВДЕ, що є особливо важливим з огляду на проблеми з постачанням палива для ТЕС. Відтак, робота ВЕС та СЕС у енергосистемі вимагає додаткового дослідження для оцінки можливого впливу ВДЕ на режими роботи енергоблоків ТЕС.

Постановка задачі. Вперше дослідження паралельної роботи електростанцій на ВДЕ, які представлені ВЕС, з іншими електростанціями ОЕС України було виконано в роботі [5]. Було досліджено баланси потужності для режимів максимального, мінімального навантаження, паводку та періоду максимальної вітрової активності. Під час виконання досліджень, потужність ВЕС в добових графіках навантажень було враховано як суму потужностей окремих ВЕС, що можуть бу-

ти побудовані в перспективних регіонах. При цьому потужність ВЕС розраховано як математичне очікування для певного періоду року: максимум навантажень ОЕС України – лютий місяць, паводок – квітень, мінімум – липень, період максимальної вітрової активності – листопад [5]. Через відсутність статистичних даних з роботи ВЕС на момент виконання досліджень (2007 рік), в якості даних зі швидкості вітру було використано строкові дані з тригодинним осередненням метеорологічних служб України. Внаслідок цього, графіки добової генерації ВЕС вийшли згладженими, без різких змін потужності та режимів роботи ВЕС з нульовою і максимальною генерацією (рис. 1), що значно спростило балансування енергосистеми.

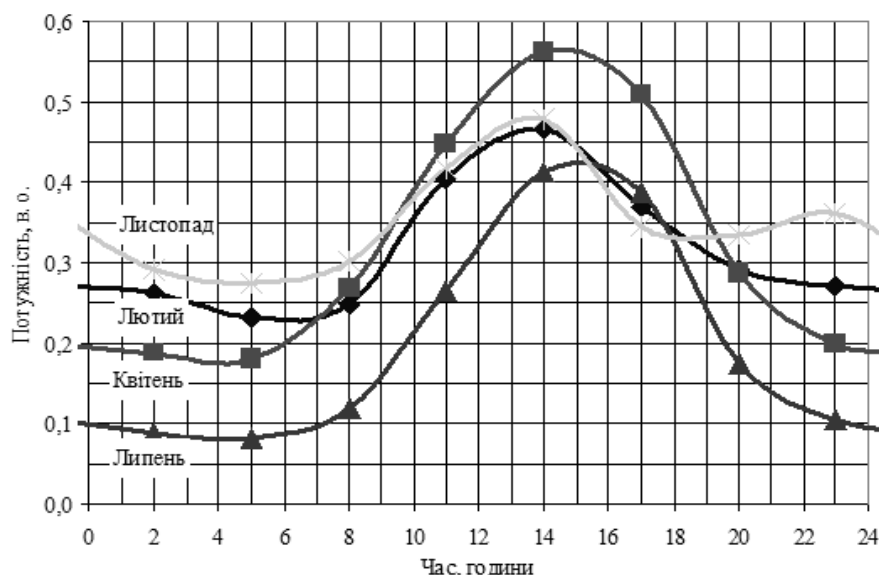


Рис. 1. Характерні графіки добового ходу ВЕС України [5].

Fig. 1. Characteristic graphs of the daily turnover of the WPP of Ukraine [5].

Незважаючи на ці недоліки, результати роботи підтвердили можливість інтеграції значних потужностей ВЕС до ОЕС України та дозволили сформулювати алгоритм врахування ВДЕ при плануванні розвитку енергосистеми. Подальші дослідження у цьому напрямку [6, 7] базувалися на подібних засадах.

Для оцінки впливу ВДЕ на роботу енергоблоків ТЕС необхідно виконати аналіз балансів потужності ОЕС України в умовах, максимально наближених до реальних режимів роботи ВДЕ, в

єдиному режимі з іншими електростанціями ОЕС України. Для цього необхідно промоделювати роботу енергоблоків електростанцій, що залучаються до покриття навантажень енергосистеми впродовж певного періоду, наприклад одного року. Чим більший період моделювання, тим більше можливих режимів роботи буде враховано.

Математична модель. Покриття навантаження в ОЕС України здійснюється за рахунок атомних електростанцій (АЕС), теплових електростанцій, теплоелектроцентралей (ТЕЦ), гідроелек-

трянцій, гідроаккумуляцій електростанцій (ГАЕС), блокстанцій та ВДЕ [3]. Кожна із цих станцій має свої особливості роботи і, відповідно до цього, покриває певну частину добового графіка навантажень.

Баланс активної потужності в енергосистемі в момент часу t має вигляд [8]:

$$\sum_i P_{ген.it} = \sum_j P_{jt} + \sum_l \pi_{lt}, \quad (1)$$

де $\sum_i P_{ген.it}$ – сумарна генерована активна потужність електростанцій в момент часу t ; $\sum_j P_{jt}$ – сумарне навантаження споживачів у момент часу t ; $\sum_l \pi_{lt}$ – сумарні втрати активної потужності в електричних мережах і власні потреби електростанцій у момент часу t .

Складання добового балансу активної потужності, як правило, починається з ГЕС та ГАЕС. Ці електростанції працюють в піковій частині графіка навантажень, за винятком незначної базової частини $P_{баз.}^{ГЕС}$ для забезпечення обов'язкового пропуску води на господарські потреби та під час паводку [3].

Участь ГЕС в покритті добових навантажень визначається в залежності від заданої базової потужності $P_{баз.}^{ГЕС}$, добового ресурсу енергії $W_{доб.}^{ГЕС}$ та умови максимального вирівнювання добового графіка навантажень ТЕС. Активна потужність ГЕС $P_t^{ГЕС}$ в добовому графіку навантажень має задовольняти умови:

$$\begin{aligned} P_{баз.}^{ГЕС} &\leq P_t^{ГЕС} \leq P_{роб.t}^{ГЕС}, \\ \sum_{t=1}^{24} P_t^{ГЕС} &\leq W_{доб.}^{ГЕС}, \end{aligned} \quad (2)$$

де $P_{роб.t}^{ГЕС}$ – робоча потужність електростанції в момент часу t :

$$P_{роб.t}^{ГЕС} = P_{встан.}^{ГЕС} - P_{рем.}^{ГЕС} - P_{к.}^{ГЕС} - P_{об.}^{ГЕС}, \quad (3)$$

тут $P_{встан.}^{ГЕС}$ – встановлена активна потужність електростанції, $P_{рем.}^{ГЕС}$ – потужність електростанції, що перебуває у плановому [9, 10] або аварійному ремонті; $P_{к.}^{ГЕС}$ – потужність електростанції, що перебуває у консервації; $P_{об.}^{ГЕС}$ – зниження по-

тужності електростанції, не пов'язані з діями персоналу.

У разі наявності в енергосистемі декількох ГЕС, вписування їх в добовий графік виконується у порядку зростання числа годин використання робочої потужності.

Вписування ГАЕС в добовий графік навантажень під час роботи в насосному режимі виконується за аналогічної умови – максимальне вирівнювання добового графіка навантажень ТЕС. Добова генерація електричної енергії ГАЕС $W_{турб.}^{ГАЕС}$ визначається на підставі енергії, спожитої електростанцією у насосному режимі $W_{нас.}^{ГАЕС}$:

$$W_{турб.}^{ГАЕС} = W_{нас.}^{ГАЕС} \cdot \eta, \quad (4)$$

де η – коефіцієнт корисної дії ГАЕС.

Споживання ГАЕС у насосному режимі:

$$W_{нас.}^{ГАЕС} = \frac{P_{роб.}^{ГАЕС} \cdot k}{\eta}, \quad (5)$$

де $P_{роб.}^{ГАЕС}$ – робоча активна потужність ГАЕС, k – кількість годин роботи ГАЕС у насосному режимі.

На наступному етапі визначається погодинне навантаження електростанцій, що працюють в базовій частині добового графіка навантажень – АЕС, ТЕЦ, промстанції.

$$P_{баз.t} = \sum P_t^{АЕС} + \sum P_t^{ТЕЦ} + \sum P_t^{пром.}, \quad (6)$$

де $\sum P_t^{АЕС}$, $\sum P_t^{ТЕЦ}$, $\sum P_t^{пром.}$ – сумарні робочі потужності АЕС, ТЕЦ та промстанцій.

Навантаження ТЕС $P_t^{ТЕС}$ визначається як різниця між сумарною генерованою активною потужністю енергосистеми $\sum_i P_{ген.it}$, відповідно до (1), генерацією ГЕС, ГАЕС та базових електростанцій:

$$P_t^{ТЕС} = \sum_i P_{ген.it} - P_t^{ГЕС} - P_t^{ГАЕС} - P_{баз.t}. \quad (7)$$

Умови розподілу потужності між окремими електростанціями та безпосередньо енергоблоками залежать від типу електростанції [8, 11]. Для АЕС це умова максимального використання робочої потужності, навантаження ТЕЦ залежить від графіку теплового навантаження, ГЕС – оп-

тимальне використання водних ресурсів водосховищ, ТЕС – мінімізація втрат активної потужності та витрат палива.

Результати досліджень. За допомогою моделі (1)–(7) на прикладі ВЕС було досліджено вплив ВДЕ на роботу енергоблоків ТЕС.

Оскільки з 2014 року через брак вугілля антрацитної групи, значна кількість енергоблоків ТЕС працює з частими зупинками або перебуває поза роботою, то для уникнення впливу цих обставин на результати досліджень у розрахунках, використано звітні дані про роботу ОЕС

України за 2012 р., надані службами ДП НЕК «Укренерго».

У якості даних зі швидкості використано данні метеорологічних служб аеропортів України [12] в районах перспективного будівництва ВЕС за 2012 рік: Донецьк, Дніпро, Запоріжжя, Кривий Ріг, Луганськ, Одеса, Сімферополь (рис. 2). Дані зі швидкості вітру приведені до висоти осі ротора вітроелектричної установки потужністю 3 МВт (Vestas V112) та перераховано на потужність відповідно до паспортної характеристики вітроелектричної установки.



Рис. 2. Карта-схема розташування метеостанцій аеропортів.

Fig. 2. Map layout of the meteorological stations of the airports.

Розрахунок виконано для різних рівнів інтеграції ВЕС в ОЕС України з рівномірним розподілом між регіонами. За базовий прийнято варіант з нульовим рівнем інтеграції ВЕС. Оцінку виконано за такими показниками:

- зміна кількості пусків /зупинок енергоблоків ТЕС;
- величина потужності ТЕС, що може бути замінена ВЕС в максимумі навантажень;

- величина обмеження потужності ВЕС.

Результати розрахунку наведено в табл. 1–3 та проілюстровано на рис. 3 та рис. 4.

В табл. 1 наведено зміну кількості пусків /зупинок енергоблоків на добу по сезонах в залежності від встановленої потужності ВЕС. Згідно з отриманими результатами, впродовж року спостерігається зменшення кількості пусків блоків.

Таблиця 1. Вплив різних рівнів встановленої потужності ВЕС на число пусків /зупинок енергоблоків ТЕС

Table 1. Influence of different levels of installed capacity of WPP on the number of drives /stops of power units of TPP

| Пусків енергоблоків ТЕС | Потужність ВЕС, МВт | | | | | | | | |
|-------------------------|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 0 | 500 | 1000 | 1500 | 2000 | 2500 | 3000 | 3500 | 4000 |
| <i>Зима</i> | | | | | | | | | |
| Максимально за сезон | 23 | 23 | 23 | 23 | 24 | 24 | 24 | 27 | 28 |
| Сума за сезон | 1158 | 1163 | 1155 | 1180 | 1168 | 1148 | 1137 | 1141 | 1132 |
| <i>Весна</i> | | | | | | | | | |
| Максимально за сезон | 16 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 15 | 16 | 16 |
| Сума за сезон | 433 | 415 | 407 | 391 | 406 | 398 | 395 | 382 | 366 |
| <i>Літо</i> | | | | | | | | | |
| Максимально за сезон | 17 | 17 | 18 | 18 | 18 | 20 | 19 | 20 | 18 |
| Сума за сезон | 619 | 594 | 564 | 528 | 506 | 492 | 476 | 461 | 423 |
| <i>Осінь</i> | | | | | | | | | |
| Максимально за сезон | 22 | 20 | 21 | 19 | 18 | 19 | 19 | 19 | 19 |
| Сума за сезон | 837 | 831 | 808 | 815 | 796 | 787 | 763 | 747 | 739 |
| <i>За рік</i> | | | | | | | | | |
| Сума | 3047 | 3003 | 2934 | 2914 | 2876 | 2825 | 2771 | 2731 | 2660 |

Величину потужності ТЕС, що може бути заміщена в максимумі ВЕС для різних рівнів встановленої потужності ВЕС, наведено в таблиці 2 та на рис. 3.

Таблиця 2. Величина потужності ТЕС, що може бути заміщена ВЕС в максимумі

Table 2. The power of the TPP that can be replaced by the WPP at the maximum

| Навантаження ТЕС, МВт | | Встановлена потужність ВЕС, МВт | | | | | | | | |
|-----------------------|--------------|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 0 | 500 | 1000 | 1500 | 2000 | 2500 | 3000 | 3500 | 4000 |
| Максимальне | | 15060 | 14825 | 14640 | 14545 | 14455 | 14365 | 14275 | 14185 | 14095 |
| Зниження | сумарне | 0 | 235 | 420 | 515 | 605 | 695 | 785 | 875 | 965 |
| | на 1 ГВт ВЕС | – | 469 | 420 | 343 | 302 | 278 | 262 | 250 | 241 |

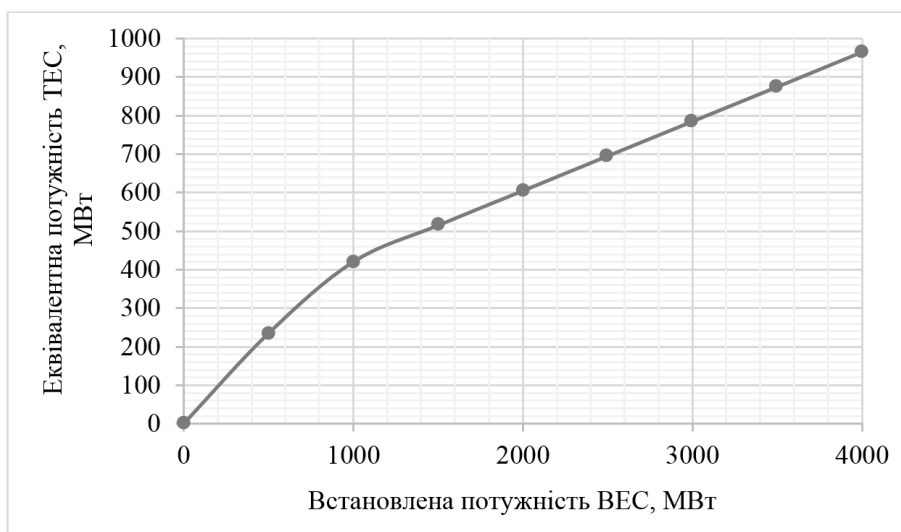


Рис. 3. Величина потужності ТЕС заміщена потужністю ВЕС.

Fig. 3. The power of the TPP is replaced by the power of the WPP.

Режими роботи ТЕС з мінімально допустимою потужністю визначають граничну потужність ВЕС [5]. Згідно з [7] існує висока ймовірність виникнення таких режимів під час весняного паводку, коли ГЕС працюють переважно в базовій частині добового графіку навантажень.

В таблиці 3 та на рис. 4 наведено величину виробленої ВЕС енергії та недовиробіток енергії внаслідок режимних обмежень з боку енергосистеми.

Обмеження потужності можуть спостерігатися навіть при незначній потужності ВЕС (500 МВт). Цей випадок припав саме на паводок 2012 р. В цей день спостерігалось не характерне низьке навантаження в енергосистемі під час нічного мінімуму, тому під час балансування енергосистеми, для уникнення зменшення кількості енергоблоків ТЕС нижче мінімально допустимого складу [9, 10], було необхідно обмежувати потужності ВЕС.

Таблиця 3. Річний виробіток електричної енергії та величина режимних обмежень потужності за різних рівнів встановленої потужності ВЕС

Table 3. Annual production of electric energy and the magnitude of the regime of power constraints at different levels of the installed capacity of the WPP

| Встановлена потужність ВЕС, МВт | 0 | 500 | 1000 | 1500 | 2000 | 2500 | 3000 | 3500 | 4000 | |
|------------------------------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Виробіток ел.ен., тис. МВт·год/рік | 0 | 1147,6 | 2332,9 | 3524,8 | 4715,7 | 5899,3 | 7091,1 | 8281,7 | 9468,4 | |
| Річне обмеження | МВт·год/рік | 0 | 400 | 5415 | 15275 | 32900 | 64665 | 121095 | 198910 | 305810 |
| | % | 0 | 0,03 | 0,23 | 0,43 | 0,70 | 1,10 | 1,71 | 2,40 | 3,23 |

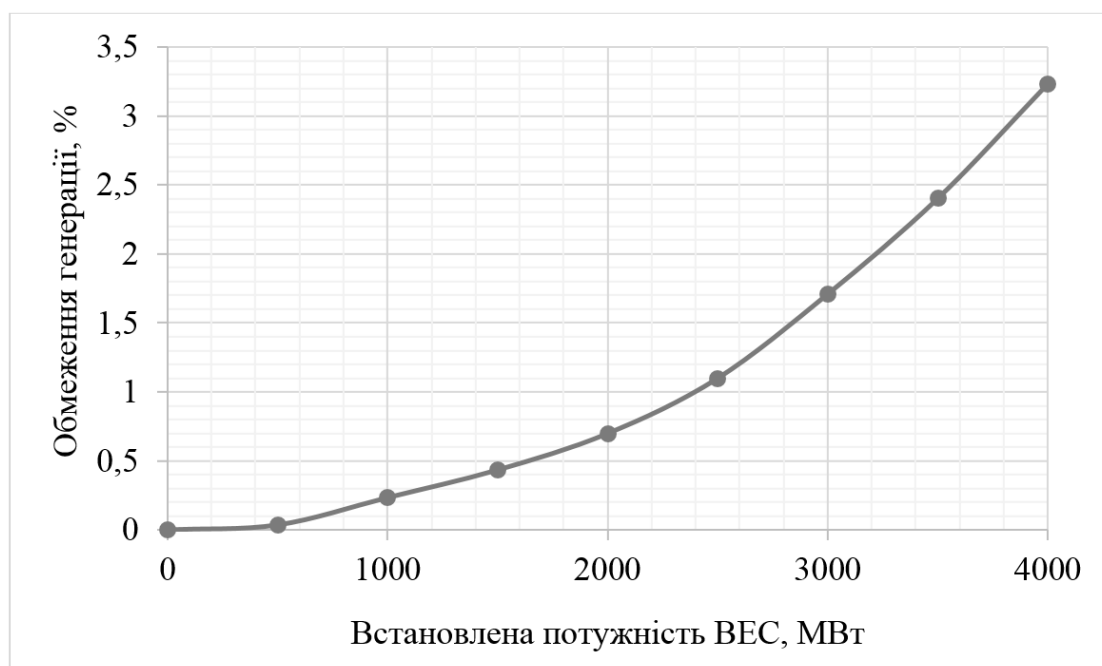


Рис. 4. Відсоток недоотриманої енергії ВЕС внаслідок режимних обмежень.

Fig. 4. Percentage of undersupplied WPP due to regime restrictions.

Станом на 2018 рік встановлена потужність ВДЕ складає більше 500 МВт, однак через брак палива на ТЕС ці електростанції працюють зі складом генеруючого обладнання нижче нормативного [15, 16], тому потреба у обмеженні потужності станцій не виникає. Після стабілізації

ситуації така потреба може виникнути. Альтернативою обмеженням потужності може слугувати будівництво нових балансуєчих потужностей на базі акумуляторних установок.

Висновки. Результати моделювання роботи енергосистеми з різними значеннями встановле-

ної потужності ВЕС (від 0 до 4000 МВт) для рівня навантажень 2012 р. свідчать, що інтеграція ВЕС не веде до збільшення кількості пусків енергоблоків ТЕС. При цьому інтеграція ВЕС дозволяє замінити певну частку потужностей ТЕС під час проходження максимуму навантажень енергосистеми. Питомий показник потужності ТЕС, що може бути замінена ВЕС, зменшується у разі зростання встановленої потужності ВЕС – від 469 МВт (при 0,5 МВт ВЕС) до 241 МВт (4 ГВт ВЕС). Для забезпечення збалансованої роботи ОЕС за умов збереження наявної структури генерації, у разі досягнення мінімально допустимого складу генеруючого обладнання на ТЕС, виникне необхідність у обмеженні потужності ВЕС та відповідній втраті екологічно чистої генерації. Для запобігання цьому необхідне будівництво установок акумулювання електричної енергії.

1. Савчук С.Д. Відновлювана енергетика: досягнення та перспективи: матеріали XIX міжнародної науково-практичної конференції «Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті», (Київ, 26–28 вересня 2018 р.) / НТУУ «КПІ».

2. Залучення сонячних та вітрових електростанцій до покриття навантаження ОЕС України. URL: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/04/Zaluchennyua-VDE.pdf>

3. Кармазін О.О. Проблеми вписування ВЕС в загальний баланс ОЕС України // Відновлювана енергетика. – 2014. – №3. – С. 70–76.

4. Черноусенко О.Ю., Пешко В.А. Вплив роботи енергоблоків ТЕС в маневровому режимі на надійність та аварійність енергетичного обладнання // Вісник НТУ «ХПІ», 2016. – №8 (1180). – С. 100–106.

5. Дослідження впливу режимів генерації вітроелектричних станцій значної потужності з агрегатами нового покоління на роботу окремих електроенергетичних систем та ОЕС України в цілому на перспективу до 2020 року, ДПВ НДІ «Укренергомережпроект», 2007 р., №16461 ТМ-Т1.

6. Розробка наукових основ інтеграції вітроенергетики до об'єднаної енергосистеми України та методів підвищення енерговіддачі в електромеханічних перетворювачах ВЕУ локальних систем. Етап 2: Звіт про науково-дослідну роботу / Інститут відновлюваної енергетики НАНУ. – Київ, 2010. – 65 с.

7. Нейман В. А., Кармазін А.А. Предельная величина мощности ВЭС в ОЭС // Электрические сети и системы. – 2008. – №3. – С. 15–17.

8. Веников В.А., Журавлев В.Г., Филиппова Т.А. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем. 2-е издание, переработанное и дополненное. – Москва: Энергоатомиздат, 1990. – 352 с.

9. Максимальні та мінімальні навантаження енергоблоків ТЕС, блочних ТЕЦ, ТЕЦ і промстанцій на осінньо-зимовий період 2013/2014 рр./ інформація НЕК «Укренерго».

10. Максимальні та мінімальні навантаження енергоблоків ТЕС, блочних ТЕЦ, ТЕЦ і блок-станцій на весняно-літній період 2013 р./ інформація НЕК «Укренерго».

11. Горнштейн Б.П., Мирошниченко А.В. Методы оптимизации режимов энергосистем / Москва: Энергия, 1981, – 336 с.

12. Погода в Україні у 22544 населених пунктах. Режим доступу: http://tp5.ua/Погода_в_Україні

13. Результати щоденного аналізу режиму роботи ОЕС України.

URL: http://www.er.gov.ua/graphic/graphicw_dfcm.php?action=behavior&st_id=all_behavior

14. Про підготовку обладнання електростанцій і теплових мереж до надійної та ефективної роботи у 2017 році та в осінньо-зимовий період 2017/2018 року. / Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. Наказ від 31.10.2016 №684.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ НА РЕЖИМЫ РАБОТЫ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

А.А. Кармазін

Інститут возобновляемой энергетики НАН Украины
02094 ул. Гната Хоткевича, 20А, г. Киев

Благодаря государственной поддержке развития возобновляемых источников энергии, установленная мощность солнечных (СЭС) и ветровых (ВЭС) электростанций во втором квартале 2018 достигла 1552 МВт. Генерация электрической энергии ВЭС и СЭС в течение суток имеет непостоянный характер. Для надежной работы энергосистемы генерация активной мощности в каждый час суток должна соответствовать потреблению. Для обеспечения баланса активной мощности электростанции меняют свою мощность в соответствии с заданным графиком генерации. Увеличение установленной мощности электростанций негарантированной мощности (ВЭС и СЭС) требует увеличения резервов мощности в энергосистеме. Для балансирования энергосистемы могут быть использованы гидроэлектростанции, тепловые электростанции (ТЭС) или системы аккумулирования энергии. В условиях Украины единственный вид электростанций, имеющийся в достаточном объеме для балансирования энергосистемы при росте доли ВИЭ - это ТЭС. Большинство ТЭС было построено в 60-80-х годах прошлого века, и требует реконструкции. Учитывая рост числа отказов на ТЭС при увеличении количества пусков / остановок энергоблоков, возможность использования ТЭС для балансировки ВИЭ требует исследования. В предыдущих исследованиях работы ВИЭ на примере ВЭС с другими электростанциями объединенной энергосистемы (ОЭС) Украины, были использованы усредненные за месяц значения скорости ветра. Такой подход значительно уменьшал объем расчетов но не позволял учесть большинство режимов ра-

боты ВЭС. Для оценки влияния ВИЭ на работу ТЭС необходимо выполнить анализ суточных балансов мощности в течение определенного периода. При этом, генерация ВЭС должна быть учтена на основании статистических данных работы уже действующих станций или фактических замеров скорости ветра. Анализ балансов мощности для уровней нагрузки энергосистемы 2012 года (период стабильной работы ОЭС Украины) и различных уровней интеграции ВЭС (до 4 ГВт) подтвердил возможность использования ТЭС для балансировки ВИЭ. Увеличение установленной мощности ВЭС не ведет к увеличению количества пусков / остановок энергоблоков ТЭС. Балансирование энергосистемы без уменьшения состава энергоблоков ТЭС ниже технического минимума требует ограничения мощности ВЭС. Во избежание этого, необходимо внедрение систем аккумуляции электрической энергии. Библ. 18, табл. 3, рис. 4.

Ключевые слова: баланс активной мощности, ветровая электростанция, график суточной нагрузки, объединенная энергосистема Украины, солнечная электростанция.

REFERENCES

1. Savchuk S.D. Vidnovliuvana enerhetyka: dosiahnennia ta perspektyvy [Renewable energy: achievements and prospects]. Materialy XIX mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii Vidnovliuvana enerhetyka ta enerhoefektyvnist XIX stolitti, (Kyiv, 26–28 Sep 2018) NTUU KPI. (Ukr.)
2. Zaluchennia soniachnykh ta vitrovykh elektrostantsii do pokryttia navantazhennia OES Ukrainy [Involvement of solar and wind power plants to cover the loading of UES of Ukraine]. URL: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/04/Zaluchennya-VDE.pdf> (Ukr.)
3. Karmazin O.O. Problemy vpysuvannia VES v zahalnyi balans OES Ukrainy [Problems of Writing WES into the overall balance of the UES of Ukraine] Vidnovliuvana enerhetyka, 2014, No. 3, P. 70–76. (Ukr.)
4. Chernousenko O.Iu, Peshko V.A. Vplyv roboty enerhoblokov TES v manevrovomu rezhymy na nadiinist ta avariinist enerhetychnoho obladnannia [Influence of power units functioning in shunting mode on the reliability and accident rate of power equipment] Visnyk NTU KhPI, 2016, No. 8 (1180), P. 100–106. (Ukr.)
5. Doslidzhennia vplyvu rezhymiv heneratsii vitroelektrychnykh stantsii znachnoi potuzhnosti z ahrehatamy novoho pokolinnia na robotu okremykh elektroenerhetychnykh system ta OES Ukrainy v tsilomu na perspektyvu do 2020 roku, [Investigation of the effects of regimes of generation of wind power plants of significant power with the new generation units on the work of individual power systems and the UES of Ukraine as a whole for the future by 2020] DPV NDI Ukrenerhomerezhproekt, 2007, No. 16461 TM-T1. (Ukr.)
6. Rozrobka naukovykh osnov intehratsii vitroenerhetyky do obiednanoi enerhosystemy Ukrainy ta metodiv pidvyshchennia enerhoviddachi v elektromekhanichnykh peretvoriuvachakh VEU lokalnykh system [Development of scientific bases of integration of wind power to the united power grid of Ukraine and methods of increasing energy efficiency in electromechanical converters of local power systems]. Etap 2: Zvit pro naukovo-doslidnu robotu Instytut vidnovliuvanoi enerhetyky NANU. Kyiv, 2010. 65 p. (Ukr.)
7. Neiman V.A., Karmazin A.A. Predelnaia velichina moshchnosti VES v OES [Limit Value of the Power Plant of the Wind Power Plant In the UES of Ukraine]. Elektricheskie seti i sistemy, 2008, No. 3, P. 15–17. (Rus.)
8. Venikov V.A., Zhuravlev V.G., Filippova T.A. Optimizatsiia rezhimov elektrostantsii i energosistem [Optimization of regimes of power stations and power systems]. 2-e izdanie, pererabotannoe i dopolnennoe. Moskva: Energo-atomizdat, 1990, 352 p. [in Russian]
9. Maksymalni ta minimalni navantazhennia enerhoblokov TES, blochnykh TETs, TETs i promstantsii na osinnozhyvnyi period 2013-2014 [Maximum and Minimum Loads of Power Units of TPP, Block CHPP, CHPP and Industrial Plants in the Autumn-Winter Period of 2013–2014]. Informatsiia NEK Ukrenerho. (Ukr.)
10. Maksymalni ta minimalni navantazhennia enerhoblokov TES, blochnykh TETs, TETs i blok-stantsii na vesnianolitnyi period 2013 r. [Maximum and minimum loads of power units of thermal power plants, block CHPP, CHPP and block stations in the spring-summer 2013 period] informatsiia NEK Ukrenerho. (Ukr.)
11. Gornshstein B.P., Miroshnichenko A.V. Metody optimizatsii rezhimov energosistem [Methods of optimizing regimes of power systems] Moskva: Energiia, 1981, 336 p. (Rus)
12. Pohoda v Ukraini u 22544 naselenykh punktakh [Weather for 22544 locations in Ukraine]. URL: http://tr5.ua/Погода_в_Україні
13. Rezultaty shchodennoho analizu rezhymu roboty OES Ukrainy [Results of daily analysis of the operating conditions of the UES of Ukraine]. URL: http://www.er.gov.ua/graphic/graphicw_dfcrn.php?action=behavior&st_id=all_behavior (Ukr.)
14. Pro pidgotovku obladnannia elektrostantsii i teplovykh merezh do nadiinoi ta efektyvnoi roboty u 2017 rotsi ta v osinnozhyvnyi period 2017–2018 roku [On the preparation of equipment for power plants and heating networks for reliable and efficient operation in 2017 and autumn-winter 2017–2018]. Ministerstvo enerhetyky ta vuhilnoipromyslovosti Ukrainy. Nakaz vid 31.10.2016 No. 684 (Ukr.)

SYNOPSIS

Thanks to state support for the development of renewable energy sources, the installed capacity of solar (SPP) and wind (WPP) power plants in the second quarter of 2018 reached 1552 MW. Generation of electric power of WPP and SPP over the course of the day is inconsistent. For reliable operation of the power system, the generation of active power every hour should be discounted to consumption. In order to balance the active power of the power plant, the power is implemented in accordance with the specified generation schedule. An increase in unprotected power plants (WPP and SPP) requires an increase in power reserve in the grid. Hydroelectric power stations, thermal electric power stations (TPP) or energy storage systems can be used to balance the grid. In Ukraine, the only type of power plant

is available in sufficient volume to balance the grid with an increase in the share of RES, which is TPP. The vast majority of TPPs were built in the 60–80s of the last century, and need reconstruction. Given the increase in the number of failures at the TPP with the increase in the number of start-stop units of power units, the possibility of using TPPs to balance the RES requires research. In previous studies of RES work on the example of WPP with other power plants of the Integrated Power System (IPS) of Ukraine, the averaged values of the wind speed were used in the months. Such an approach significantly reduced the volume of calculations but did not allow to take into account most of the modes of WPP operation. In order to assess the impact of RES on the work of the TPP, it is necessary to perform an analysis of daily balance sheets in a given period. At the same time, the generation of WPP should be taken into account on the basis of statistical data of work of existing stations or actual measurements of wind speed. The analysis of power balances for the load levels of the power system in 2012 (the period of stable operation of the IPS of Ukraine) and the different levels of integration of the wind farm (up to 4 GW) confirmed the possibility of using the TPP to balance the RES. An increase of the installed capacity of the wind farm does not increase the number of start-stopping power units of the TPP. To balance the power system without reducing the TPP power units below the technical minimum, it requires a reduction in the power of the wind farm. In order to avoid this, it is necessary to introduce systems of electric energy storage.

РЕФЕРАТ

Завдяки державній підтримці розвитку відновлюваних джерел енергії, встановлена потужність сонячних (СЕС) та вітрових (ВЕС) електростанцій у другому кварталі 2018 року досягла 1552 МВт. Генерація електричної енергії ВЕС та СЕС протягом доби має непостійний характер. Для надійної роботи енергосистеми генерація активної потужності

кожної години повинна відповідати споживанню. Для забезпечення балансу активної потужності електростанції змінюють свою потужність у відповідності до заданого графіку генерації. Збільшення встановленої потужності електростанцій негарантованої потужності (ВЕС та СЕС) потребує збільшення резерву потужності в енергосистемі. Для балансування енергосистеми можуть бути використані гідроелектростанції, теплові електростанції (ТЕС) або системи акумулювання енергії. В умовах України єдиний вид електростанцій, наявний у достатньому обсязі для балансування енергосистеми при зростанні частки ВДЕ, – це ТЕС. Переважна більшість ТЕС була збудована в 60–80-тих роках минулого століття, та потребує реконструкції. З огляду на зростання кількості відмов на ТЕС при зростанні кількості пусків/зупинок енергоблоків, можливість використання ТЕС для балансування ВДЕ вимагає дослідження. У попередніх дослідженнях роботи ВДЕ, на прикладі ВЕС з іншими електростанціями об'єднаної енергосистеми (ОЕС) України, було використано усереднені значення швидкості вітру за місяці. Такий підхід значно зменшував обсяг розрахунків але не дозволяв врахувати більшості режимів роботи ВЕС. Для оцінки впливу ВДЕ на роботу ТЕС необхідно виконати аналіз добових балансів потужності впродовж певного періоду. При цьому, генерація ВЕС повинна бути врахована на підставі статистичних даних роботи вже діючих станцій або фактичних замірів швидкості вітру. Аналіз балансів потужності для рівнів навантаження енергосистеми 2012 року (період стабільної роботи ОЕС України) та різних рівнів інтеграції ВЕС (до 4 ГВт) підтвердив можливість використання ТЕС для балансування ВДЕ. Збільшення встановленої потужності ВЕС не дає збільшення кількості пусків/зупинок енергоблоків ТЕС. Балансування енергосистеми без зменшення складу енергоблоків ТЕС нижче технічного мінімуму вимагає обмеження потужності ВЕС. Для уникнення цього, необхідне впровадження систем акумулювання електричної енергії.

Стаття надійшла до редакції 23.10.18

Остаточна версія 13.11.18