

объединенной энергосистеме Украины, что приводит к пропорциональному уменьшению выбросов CO₂ в атмосферу.

Ключевые слова: электроснабжение, оптимизация, комбинированная энергосистема, возобновляемая энергетика.

УДК 621.311

Н.В.БУСЛОВА, М.О.БАДЕЩЕНКОВА, І.М.ЧАЮН

ВПЛИВ ПОВІТРЯНОЇ ЛІНІЇ НАПРУГОЮ 750 КВ ВІД ПІДСТАНЦІЇ «ЗАПОРІЗЬКА АЕС» ДО ПІДСТАНЦІЇ «КАХОВСЬКА» НА РЕЖИМИ РОБОТИ ОБ'ЄДНОЇ ЕНЕРГОСИСТЕМИ УКРАЇНИ

Одним з головних напрямків розвитку електроенергетики України є розширення магістральних мереж, насамперед мереж напругою 750 кВ. Серед об'єктів напругою 750 кВ, що плануються до спорудження згідно з Енергетичною стратегією України, варто виділити повітряну лінію від підстанції «Запорізька АЕС» до підстанції «Каховська». В роботі зазначено важливість її спорудження та розглянуто вплив цієї лінії на режими роботи Об'єднаної енергосистеми України.

Ключові слова: Повітряна лінія, Режим роботи, ОЕС України, Оптимізація, програмний комплекс «КОСМОС».

Вступ

Основною задачею магістральних електричних мереж є забезпечення функціонування Об'єднаної енергосистеми (ОЕС) України як єдиного комплексу з виробництва електроенергії, її транзиту з регіонів, які характеризуються надлишками генеруючих потужностей, у дефіцитні регіони та постачання в розподільні мережі. Основу магістральних мереж ОЕС України становлять лінії напругою 750 кВ. В перспективі до 2030 р. передбачено інтенсивний розвиток системоутворювальної мережі напругою 750 кВ для підвищення надійності функціонування ОЕС України [1].

Завдання та мета дослідження

Метою дослідження є визначення впливу повітряної лінії (ПЛ) напругою 750 кВ від підстанції (ПС) «Запорізька АЕС» до ПС «Каховська» на режими роботи ОЕС України.

Спорудження цієї лінії планувалось ще за радянських часів. У 80-х роках ХХ століття вона була спроектована та пізніше частково побудована. Незважаючи на те, що для спорудження лінії вже були придбані земельні ділянки, у 1992 році будівництво припинили.

Зараз до ПС «Запорізька АЕС» підключено три ПЛ 750 кВ, через які здійснюється видача потужності Запорізької АЕС до мереж ОЕС України, а саме: ПС «Запорізька АЕС» – ПС «Дніпровська», ПС «Запорізька АЕС» – ПС «Запорізька», ПС «Запорізька АЕС» – «ПС Південнодонбаська» – ПС «Донбаська». Планувалося, що ПЛ «Запорізька АЕС – Каховська» стане однією з чотирьох повітряних ліній для видачі потужності Запорізької АЕС та дасть їй змогу працювати на повну потужність. Однак через зупинку спорудження лінії схема приєднання Запорізької АЕС потужністю 6000 МВт не відповідає Нормам технологічного проектування АЕС, оскільки в діапазоні потужності 5300-6000 МВт не забезпечується динамічна стійкість її енергоблоків при каскадному відключенні двох ПЛ 750 кВ (на ПС «Дніпровська» та ПС «Запорізька»). Це означає, що гранична потужність АЕС при трьох існуючих лініях і автотрансформаторному зв'язку обмежена величиною 5300 МВт. Таким чином, спорудження четвертої лінії напругою 750 кВ від Запорізької АЕС є необхідним.

Наразі спорудження лінії «Запорізька АЕС – Каховська» відновлено, оскільки введення в експлуатацію ПЛ 750 кВ ПС «Запорізька АЕС» – ПС «Каховська» разом з ПС 750/330/220 кВ «Каховська» дозволить зняти обмеження на видачу потужності Запорізької АЕС та підвищити надійність електропостачання споживачів південних регіонів України [2]. Підстанція «Каховська» є надзвичайно важливим об'єктом, адже вона буде фактично джерелом електроенергії для Кримської енергосистеми (ЕС) і дефіцитних частин Дніпровської та Південної ЕС. Також планується, що пізніше вона стане основою для спорудження ПЛ 750 кВ «Каховська – Приморська», яка необхідна для підвищення надійності електропостачання південних районів Одеської області.

Загальна довжина ПЛ «Запорізька АЕС – Каховська» становить 186,11 км. Всього на трасі лінії планується встановити 496 опор, з яких 427 проміжних та 69 анкерних. Однією з особливостей лінії є використання посиленних опор, оскільки типові опори не відповідають вимогам діючого ПУЕ [3], а

зменшити відстань прольотів неможливо, бо вже придбані конкретні земельні ділянки для встановлення опор. На ПЛ «Запорізька АЕС – Каховська» прийнято конструкцію фази з п'яти проводів марки АС-400/51 та кроком розщеплення 400 мм. Відстань між фазами лінії складатиме 18 м. [4]

Для визначення впливу ПЛ «Запорізька АЕС – Каховська» на режими роботи ОЕС України були проведені розрахунки ustalених режимів роботи ОЕС України в наступних випадках:

- ПЛ «Запорізька АЕС – Каховська» – відключена;
- ПЛ «Запорізька АЕС – Каховська» – в роботі;
- оптимізація режиму роботи ОЕС України при підключеній ПЛ «Запорізька АЕС – Каховська».

В усіх випадках потужність Запорізької АЕС становила 5300 МВт.

Розрахунки виконані за допомогою програмного комплексу «КОСМОС» [5]. Програмний комплекс КОСМОС – Комплекс Оцінювання Стану, Моделювання та Оптимізації Систем – є багатофункціональним та призначений для оперативних розрахунків режимів енергосистем на основі передчасно заданої оператором чи телеметричної інформації. Серед іншого програмного забезпечення для вирішення аналогічних задач програмний комплекс «КОСМОС» вирізняється можливістю виконання оптимізаційних розрахунків.

Результати дослідження

Оптимізація режимів роботи ОЕС України відбувається за допомогою регулювальних можливостей автотрансформаторів 750/330 кВ при зміні положень регулювальних відгалужень автотрансформатора, а отже, відповідно, і зміні значень його коефіцієнтів трансформації. В таблиці 1 наведено зміну положень регулювальних відгалужень та значень коефіцієнтів трансформації автотрансформаторів 750/330 кВ, що знаходяться у чотирьох ключових вузлах частини схеми ОЕС України, до оптимізації (випадок б) та після оптимізації (випадок в).

Таблиця 1 – Зміна коефіцієнтів трансформації автотрансформаторів 750/330 кВ

| Підстанція | Положення регулювальних відгалужень ¹ | | | | Значення коефіцієнтів трансформації | | | |
|---------------------|--|---------|-------------------|-------|-------------------------------------|---------|-------------------|--------|
| | До оптимізації | | Після оптимізації | | До оптимізації | | Після оптимізації | |
| | N_1^2 | N_2^2 | N_1 | N_2 | K_1^2 | K_2^2 | K_1 | K_2 |
| Запорізька АЕС | 16 | 2 | 12 | 17 | 0,46 | -0,078 | 0,46 | -0,015 |
| Дніпровська | 2 | 10 | 5 | 19 | 0,48 | -0,041 | 0,47 | -0,008 |
| Каховська | 20 | 10 | 19 | 22 | 0,44 | -0,048 | 0,444 | 0,000 |
| Южно-Українська АЕС | 17 | 17 | 24 | 2 | 0,45 | -0,017 | 0,45 | -0,081 |

Примітки: 1. Нейтральному положенню регулювальних відгалужень відповідає положення «22».

2. Нижній індекс «1» у позначеннях N , K показує, що дані параметри відносяться до поздовжнього регулювання автотрансформатора, індекс «2» – до поперечного.

З урахуванням даних в таблиці 1 результати розрахунків раніше зазначених режимів наведено в таблицях 2-4. Вони вміщують значення генерації, споживання, втрат та сальдо потужності для кожної з восьми енергосистем ОЕС України.

Таблиця 2 – Показники в різних енергосистемах ОЕС України при відключеній ПЛ

| Енергосистема | Генерація | Споживання | Сальдо | Втрати | |
|------------------|-----------|------------|--------|------------|------------------|
| | МВт | МВт | МВт | МВт | від загальних, % |
| Донбаська | 6440 | 6207 | -95 | 138 | 21,30% |
| Північна | 1775 | 3070 | 1349 | 54 | 8,33% |
| Дніпровська | 9132 | 6099 | -2935 | 98 | 15,12% |
| Кримська | 135 | 1207 | 1114 | 42 | 6,48% |
| Південна | 3383 | 2514 | -777 | 92 | 14,20% |
| Центральна | 3356 | 5066 | 1775 | 65 | 10,03% |
| Південно-Західна | 3015 | 1950 | -995 | 70 | 10,80% |
| Західна | 4895 | 3233 | -1573 | 89 | 13,73% |
| Всього | 32131 | 29346 | -2137 | 648 | 100,00% |

З наведених даних видно, що режим роботи ОЕС України при відключеній ПЛ «Запорізька АЕС – Каховська» характеризується втратами потужності на рівні 648 МВт або 2,02 % від загальної генерованої

потужності.

Таблиця 3 – Показники в різних енергосистемах ОЕС України при включеній ПЛ

| Енергосистема | Генерація | Споживання | Сальдо | Втрати | |
|------------------|-----------|------------|--------|------------|------------------|
| | МВт | МВт | МВт | МВт | від загальних, % |
| Донбаська | 6440 | 6207 | -96 | 137 | 21,88% |
| Північна | 1775 | 3070 | 1348 | 53 | 8,47% |
| Дніпровська | 9119 | 6112 | -2922 | 85 | 13,58% |
| Кримська | 135 | 1207 | 1114 | 42 | 6,71% |
| Південна | 3383 | 2514 | -785 | 84 | 13,42% |
| Центральна | 3356 | 5066 | 1775 | 65 | 10,38% |
| Південно-Західна | 3015 | 1950 | -994 | 71 | 11,34% |
| Західна | 4895 | 3233 | -1573 | 89 | 14,22% |
| Всього | 32118 | 29359 | -2133 | 626 | 100,00% |

Режим роботи ОЕС України при підключеній ПЛ «Запорізька АЕС – Каховська» в порівнянні з попереднім режимом характеризується меншими втратами потужності, а саме 626 МВт або 1,94 % від загальної генерованої потужності. Насамперед відчутне зменшення втрат сталося у Дніпровській та Південній ЕС, оскільки саме ці ЕС поєднуються новою лінією.

Розрахунок оптимізованого режиму дав результати, що зазначені в таблиці 4.

Таблиця 4 – Показники в різних енергосистемах ОЕС України після оптимізації

| Енергосистема | Генерація | Споживання | Сальдо | Втрати | |
|------------------|-----------|------------|--------|------------|------------------|
| | МВт | МВт | МВт | МВт | від загальних, % |
| Донбаська | 6440 | 6207 | -97 | 136 | 22,04% |
| Північна | 1775 | 3070 | 1347 | 52 | 8,43% |
| Дніпровська | 9119 | 6123 | -2909 | 87 | 14,10% |
| Кримська | 135 | 1207 | 1114 | 42 | 6,81% |
| Південна | 3383 | 2514 | -794 | 75 | 12,16% |
| Центральна | 3356 | 5066 | 1775 | 65 | 10,53% |
| Південно-Західна | 3015 | 1950 | -994 | 71 | 11,51% |
| Західна | 4895 | 3233 | -1573 | 89 | 14,42% |
| Всього | 32118 | 29370 | -2131 | 617 | 100,00% |

Таким чином, оптимізація режиму роботи ОЕС України при підключеній ПЛ «Запорізька АЕС – Каховська» призвела до додаткового зниження втрат потужності. Вони склали 617 МВт або 1,92 % від загальної генерованої потужності. При цьому відбувається незначне збільшення втрат потужності в Дніпровській ЕС та зменшення втрат потужності у Південній і деяких сусідніх ЕС завдяки перерозподілу потоків потужності.

З наведених результатів видно, що вже при підключенні ПЛ 750 кВ ПС «Запорізька АЕС» – ПС «Каховська» втрати активної потужності в ОЕС України зменшуються на 22 МВт або на 3,40%, а при оптимізації режиму роботи – на 31 МВт або на 4,78%. Це в середньому дозволить економити близько 15 тис. грн. щогодини або 135,78 млн. грн. щороку.

Підключення розглянутої лінії позитивно впливає не лише на зниження втрат потужності, але і на режим напруги ОЕС України, значення якої у вузлах мережі не виходить за припустимі межі.

Висновки

Введення в експлуатацію ПЛ 750 кВ ПС «Запорізька АЕС» – ПС «Каховська» є необхідним заходом, що:

- дозволить Запорізькій АЕС працювати на повну потужність та забезпечить динамічну стійкість її енергоблоків;
- підвищить надійність електропостачання споживачів південних регіонів України, в тому числі Кримської ЕС;
- сприятиме зменшенню втрат активної потужності в ОЕС України;
- покращить режим напруги ОЕС України.

Література

1. Енергетична стратегія України на період до 2030 року та дальшу перспективу (проект) // Міністерство палива та енергетики України, 2003. – 364 с.
2. Оновлення Енергетичної стратегії України на період до 2030 р. // Міністерство енергетики та

вугільної промисловості України, 2012. – 147 с.

3. Правила улаштування електроустановок. Четверте видання, перероблене й доповнене — Х.: Вид-во «Форт», 2011.— 736 с.

4. Проект «ПЛ 750 кВ Запорізька АЕС - Каховська з ПС 750 кВ "Каховська" та заходами ПЛ 330 кВ» // Укренергомережпроект. – Харків, 2009.

5. Прихно В.Л. Программный комплекс КОСМОС оперативных расчетов режимов энергосистем на основе телеметрической информации // Тр. Института электродинамики НАНУ. Энергоэффективность: 36. Киев: ИЭД НАН Украины, 2000. – С. 118-127

N. BUSLOVA, M. BADESHCHENKOVA, I. CHAIUN

750 KV OVERHEAD LINE FROM SUBSTATION “ZAPORIZKA NPP” TO SUBSTATION “KAKHOVSKA” AND ITS INFLUENCE ON THE OPERATING REGIMES OF THE INTEGRATED POWER SYSTEM OF UKRAINE

Trunk transmission lines are very important for every huge power system. Integrated Power System (IPS) of Ukraine is not an exception to the rule. Therefore, the intensive construction of new system-forming 750 kV lines are provided for in the development strategy of Ukrainian electrical power engineering. Expansion and growth of trunk lines will improve the operational reliability of IPS of Ukraine. The main aim of the present article is to determine the influence of 750 kV overhead line from substation “Zaporizka NPP” to substation “Kakhovska” on the operation regimes of the IPS of Ukraine. This line had to be built by the end of the previous century. But the line construction had been stopped in the 1992. The construction of 750 kV overhead line from substation “Zaporizka NPP” to substation “Kakhovska” has been resumed by the present time, because of next benefits. In the first place, this line will remove the restriction of output power level from Zaporizka NPP. In the second place, this line will improve the power supply reliability of Southern regions of Ukraine, essentially of Crimean power system. Also, 750 kV overhead line from substation “Kakhovska” to substation “Prymorska” are to be built for the power supply reliability improvement of Odessa region. All the calculations has been done in software package «КОСМОС». The results have shown that working 750 kV overhead line from substation “Zaporizka NPP” to substation “Kakhovska” reduces power losses by 22 MW or 3,40%. In optimized regime power losses has been reduced by 31 MW or 4,78%. Such a result leads to the economy of about 15 thousand hryvnias per hour or about 135,78 million hryvnias per year. Also, working line improves voltage profile of IPS of Ukraine.

Key words: Overhead line, Operating regimes, IPS of Ukraine, Optimization, Software package «КОСМОС».

6. Power Strategy of Ukraine up to 2030 and further prospect (project) // Ministry of Fuel and Energy of Ukraine, 2003. – 364 p.

7. Update of Power Strategy of Ukraine up to 2030// Ministry of Energy and Coal Industry of Ukraine, 2012. – 147 p.

8. Electrical Installation Arrangement Rules. 4th revised and supplemented edition — Kh.: «Fort», 2011.— 736 p.

9. Project of “750 kV OL Zaporizka NPP – Kakhovska with 750 kV SS " Kakhovska " and entries of 330 kV OL» // Ukrenergomerezhproekt. – Kharkiv, 2009.

10. Prikhno V. Software package “КОСМОС” for operative calculations of power system regimes based on telemetry data // Proc. of Electrodynamics Institute of NASU. Power Efficiency: Coll. Kyiv: EDI NAS of Ukraine, 2000. – P. 118-127.

УДК 621.311

Н. В. БУСЛОВА, М. А. БАДЕЩЕНКОВА, И. М. ЧАЮН

ВЛИЯНИЕ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ НАПРЯЖЕНИЕМ 750 КВ ОТ ПОДСТАНЦИИ «ЗАПОРОЖСКАЯ АЭС» ДО ПОДСТАНЦИИ «КАХОВСКАЯ» НА РЕЖИМЫ РАБОТЫ ОБЪЕДИНЁННОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ УКРАИНЫ

Одним из главных направлений развития электроэнергетики Украины есть расширение магистральных сетей, в первую очередь сетей напряжением 750 кВ. Среди объектов напряжением 750 кВ, которые планируется соорудить согласно Энергетической стратегии Украины, следует выделить воздушную линию от подстанции «Запорожская АЭС» к подстанции «Каховская». В работе указано важность её сооружения и рассмотрено влияние этой линии на режимы работы Объединённой энергосистемы Украины.

Ключевые слова: Воздушная линия, Режим работы, ОЭС Украины, Оптимизация, программный комплекс «КОСМОС».

ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТА ОЦІНКИ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Стаття присвячена питанню застосування інструментів вейвлет-перетворення для визначення та оцінки показників якості електричної енергії. Визначено недоліки застосування перетворення Фур'є для проведення гармонійного аналізу сигналу напруги. Проведено аналіз існуючих методів обробки сигналів, визначено їх недоліки при проведенні аналізу сигналу напруги. Представлено основні положення та переваги застосування вейвлет-перетворення для проведення гармонійного аналізу напруги перед іншими методами, зокрема перетворенням Фур'є. Проаналізовано результати досліджень з питання застосування вейвлет-перетворення для визначення параметрів якості електричної енергії. Надано рекомендації щодо можливості та переваги у застосуванні вейвлет-перетворення перед іншими методами при проведенні визначення та аналізу параметрів якості електроенергії. Рекомендовано в інженерній практиці, зокрема при застосуванні положень Методики для проведення вимірювань якості електричної енергії, застосовувати саме вейвлет-перетворення для проведення гармонійного аналізу напруги.

Ключові слова: гармонійний аналіз, перетворення Фур'є, частотно-часове представлення сигналу, пакетне вейвлет-перетворення.

Вступ

Проблема забезпечення якості електричної енергії (ЯЕЕ) набрала за останнє десятиліття особливу актуальність в усіх розвинутих країнах світу. Численні дослідження режимних параметрів в електричних мережах України свідчать, що основні параметри якості електричної енергії (ПЯЕЕ) не тільки не відповідають нормам ГОСТ 13109-97, але й не забезпечують безпеку сталого режиму електропостачання. За експертними оцінками спеціалістів прогнозований збиток від зниження ПЯЕЕ загалом в країні становить близько 10 млрд. грн. щорічно.

В останні роки питанню забезпечення якості електроенергії в Україні приділяється все більше уваги. Зокрема розроблено керівні документи з питань проведення вимірювань параметрів якості електричної енергії в системах електропостачання та розподілу відповідальності за недотримання ПЯЕЕ.

Слід відзначити, що «Методика вимірювання якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення» (далі – Методика) [1] регламентує проведення гармонійного аналізу сигналу напруги з використанням алгоритму перетворення Фур'є (ПФ), як це було визначено в ГОСТ 13109-97, а також міжнародними стандартами IEC 61000-4-7:2002 та IEC 61000-4-30:2008.

Методикою також передбачена можливість застосування інших методів проведення гармонійного аналізу сигналу напруги для визначення гармонійних складових, зокрема застосування вейвлет-перетворення.

В даній статті розглянемо методи проведення гармонійного аналізу та визначимо найбільш прийнятний метод з огляду на особливості аналізу сигналу напруги з метою вдосконалення математичної бази розрахунку ПЯЕЕ.

Основна частина

Як було зазначено, на сьогоднішній день Методика регламентує для проведення гармонійного аналізу сигналу напруги використовувати перетворення Фур'є. Проведення гармонійного аналізу з використанням перетворення Фур'є базується на тому, що будь-яку функцію $S(t)$ можна представити у вигляді суми гармонійних складових з різними амплітудами та частотою:

$$S(t) = \frac{a_0}{2} + a_n \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \cos(n\omega t) + b_n \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \sin(n\omega t), \quad (1)$$

де n – порядок гармоніки;

ω – частота основної гармоніки;

a_i, b_i – коефіцієнти ряду (коефіцієнти Фур'є).

Амплітуди гармонійних складових при цьому можна розрахувати наступним чином: