

УДК 621.316.1.05

С.В.Казанський, канд.техн.наук, В.В.Михайленко, канд.техн.наук (НТУУ "КПІ", Київ)

Моделювання роботи електричної мережі з джерелами розподіленої генерації

Показано необхідність дослідження особливостей режимів електричних мереж з джерелами розподіленої генерації (РГ). Розроблено модель електричної мережі з двома джерелами РГ та проаналізовано результати моделювання.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, розподілена генерація, модель електричної мережі.

Показана необходимость исследования особенностей режимов электрических сетей с источниками распределенной генерации (РГ). Разработана модель электрической сети с двумя источниками РГ и проанализированы результаты моделирования.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, распределенная генерация, модель электрической сети.

Вступ. У 2003 р. було прийнято Закон України "Про альтернативні джерела енергії" (зі змінами і доповненнями, внесеними Законом України від 25 вересня 2008 року № 601-VI), який визначає правові, економічні, екологічні та організаційні засади використання відновлюваних (альтернативних) джерел енергії (ВДЕ) та сприяння розширенню їх використання у паливно-енергетичному комплексі. Відповідно до цього Закону основними засадами державної політики у сфері ВДЕ є:

- нарощування обсягів виробництва та споживання енергії, виробленої з використанням ВДЕ, з метою зменшення залежності України від імпорту енергоносіїв;
- реструктуризація виробництва і раціонального споживання енергії за рахунок збільшення частки енергії, виробленої з використанням ВДЕ;
- дотримання норм екологічної безпеки та зменшення негативного впливу на стан довкілля під час експлуатації об'єктів ВДЕ.

Інтенсивний розвиток ВДЕ і зокрема вітрової енергетики в Україні обумовлено державною політикою сприяння розвитку ВДЕ. Проте сьогодні є нагальна потреба в частині визначення науково обґрунтованих обсягів вітроенергетичних потужностей, які можливо розмістити в окремих регіонах України, виходячи з наявності вітру, економічної доцільності, екологічної безпеки, збереження стійкої роботи ОЕС України, потреби в електроенергії у даному регіоні тощо. При цьому

обсяги запланованих до введення вітроенергетичних потужностей мають узгоджуватися з існуючим станом та перспективним розвитком електроенергетичної галузі України [1].

Досвід країн ЄС щодо експлуатації електроенергетичних систем із ВДЕ значної потужності показав, що впровадження досить потужних джерел розподіленої генерації (РГ) у діючі енергосистеми є доволі складним завданням і має здійснюватися у три етапи [2]. Перший етап – пристосування РГ до діючих електроенергетичних систем. Цей етап є традиційним і полягає у вирішенні здебільшого проектних завдань. Другий етап – створення децентралізованої електромережі, яка працює разом із основною електроенергетичною системою. На цьому етапі джерела РГ і основна електроенергетична система стають рівноправними учасниками процесу забезпечення споживача електроенергією. Вступають у дію процеси організації взаємодії між основною системою і РГ під час здійснення керування режимом, вирішуються проблеми спільної підтримки параметрів напруги у споживача, оптимізації втрат тощо. Третій етап – створення дисперсної енергосистеми, де більша частина енергії виробляється системами розподіленої генерації.

Основною метою інтеграції джерел РГ в електроенергетичну систему є підвищення надійності електропостачання, зменшення втрат електроенергії та екологічного навантаження на довкілля [3]. Проте поява значної кількості джерел РГ

відносно великої потужності призводить до виникнення технічних проблем щодо організації їх роботи в енергосистемі: забезпечення надійності та стійкості, якості електроенергії, організації диспетчерського керування, у тому числі виведення джерел РГ на паралельну роботу з енергосистемою та контролю відокремлення РГ від енергосистеми. При цьому підлягають вирішенню можливі проблеми в електричних мережах середньої та низької напруги у зв'язку з появою двоспрямованих перетікань електроенергії та необхідності обмеження струмів короткого замикання.

При істотному збільшенні частки вітрових (ВЕС) та сонячних (СЕС) електростанцій постає завдання розвитку надійних і гнучких "розумних" електромереж, що відповідають новим архітектурним рішенням із використанням інноваційних технологій. При цьому особливості режимів роботи зазначених мереж із джерелами РГ потребують

додаткового поглибленого дослідження [4–7].

Складання дослідної моделі. Розглянемо особливості побудови моделі електричної мережі з двома джерелами РГ, у якості яких розглядаються дві ВЕС із довільними добовими графіками вироблення електричної енергії. Як приклад на рис. 1 наведено фактичні добові графіки генерації однієї з вітрових електростанцій України.

На рис. 2 наведено схему електричної мережі з двома джерелами розподіленої генерації, а саме – з двома ВЕС, які знаходяться на певній відстані одна від одної і характеризуються різними графіками зміни швидкості вітру, а отже і різними графіками видачі потужності. На рис. 2 позначено: ВЕС1, ВЕС2 – асинхронні генератори вітрових електростанцій; К1, К2 – компенсатори реактивної потужності; Т1, Т2 – силові трансформатори; БП – балансувальний пункт; S1, S2 – споживачі; 0-1, 1-3, 1-2, 3-4, 3-5, 5-6, 5-7 – лінії електропередачі.

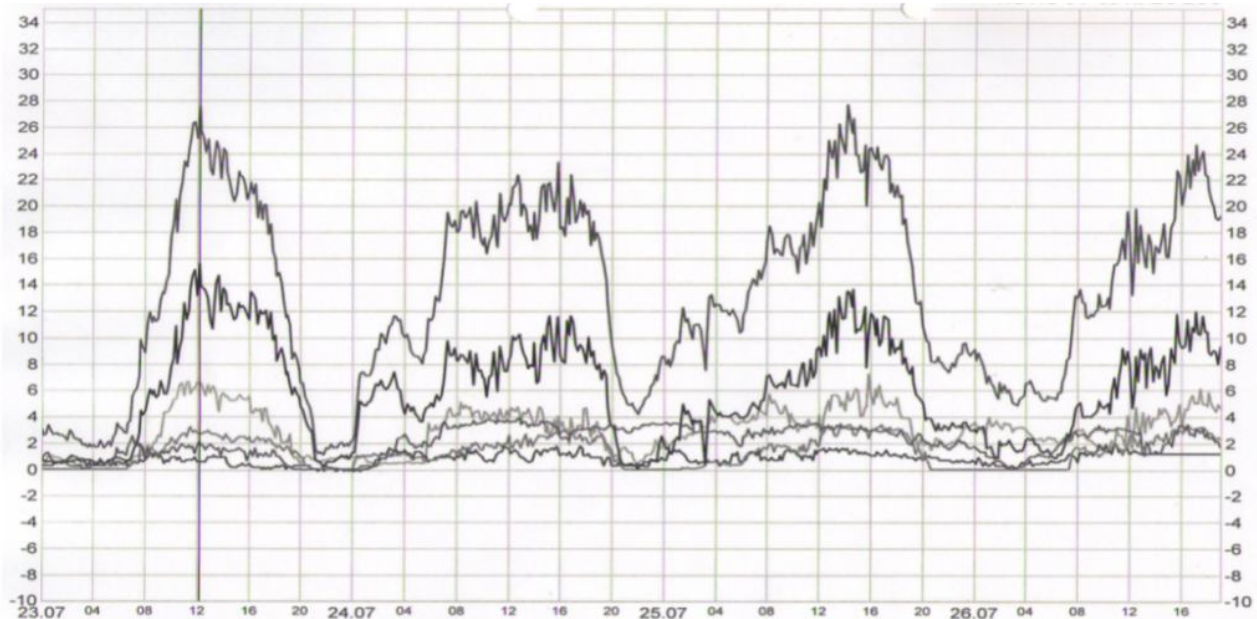


Рис. 1. Фактичні добові графіки зміни генерації ВЕС.

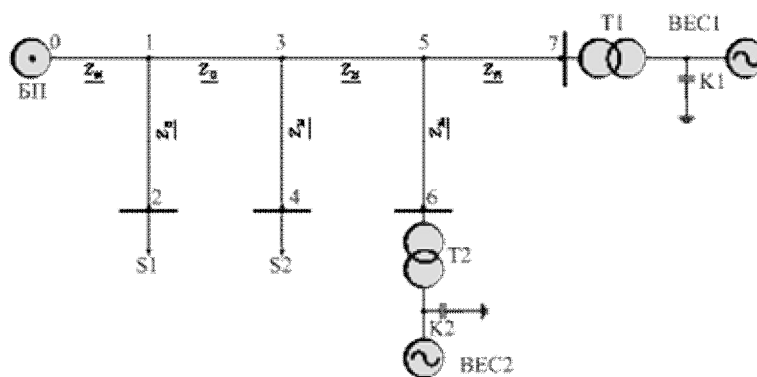


Рис. 2. Схема електричної мережі з двома джерелами розподіленої генерації.

Добові графіки зміни швидкості вітру кожної ВЕС наведено на рис. 3.

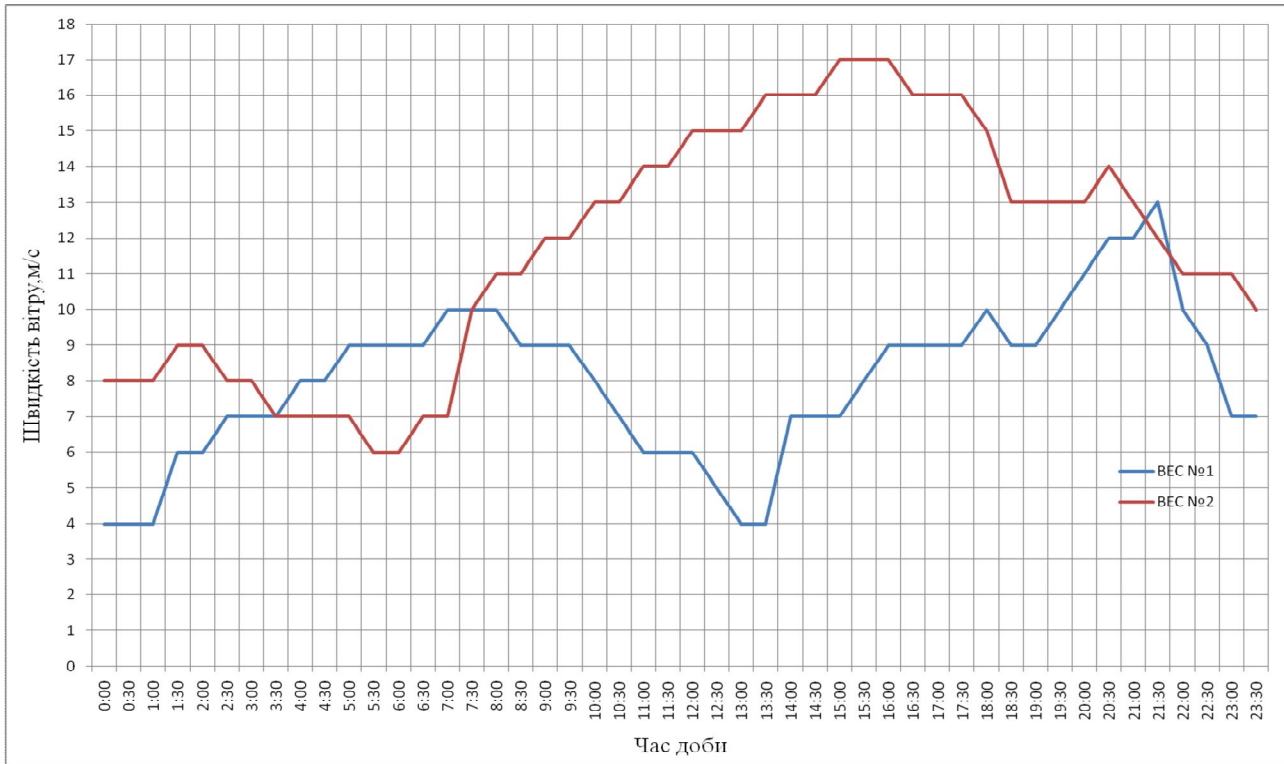


Рис. 3. Добові графіки зміни швидкості вітру ВЕС №1 та ВЕС №2.

Моделювання роботи електричної мережі з двома джерелами РГ виконано із застосуванням програмного комплексу *Matlab*, бібліотеки якого містять усі необхідні елементи: ВЕС з асинхронними генераторами, лінії електропередачі, трансформатори, статичні компенсатори реактивної потужності, вимірювачі струму та напруги тощо.

Модель електричної мережі з двома вузлами на-

вантаження та двома джерелами розподіленої генерації, побудовану у програмному середовищі *Matlab*, наведено на рис. 4 та 5, при цьому на рис. 4 наведено "ліву" частину моделі, яка містить лінії електропередачі та вузли навантаження, а на рис. 5 – "праву" частину, яка містить дві ВЕС (блоки *Wind Farm*), підвищувальні трансформатори та з'єднувальні лінії електропередачі.

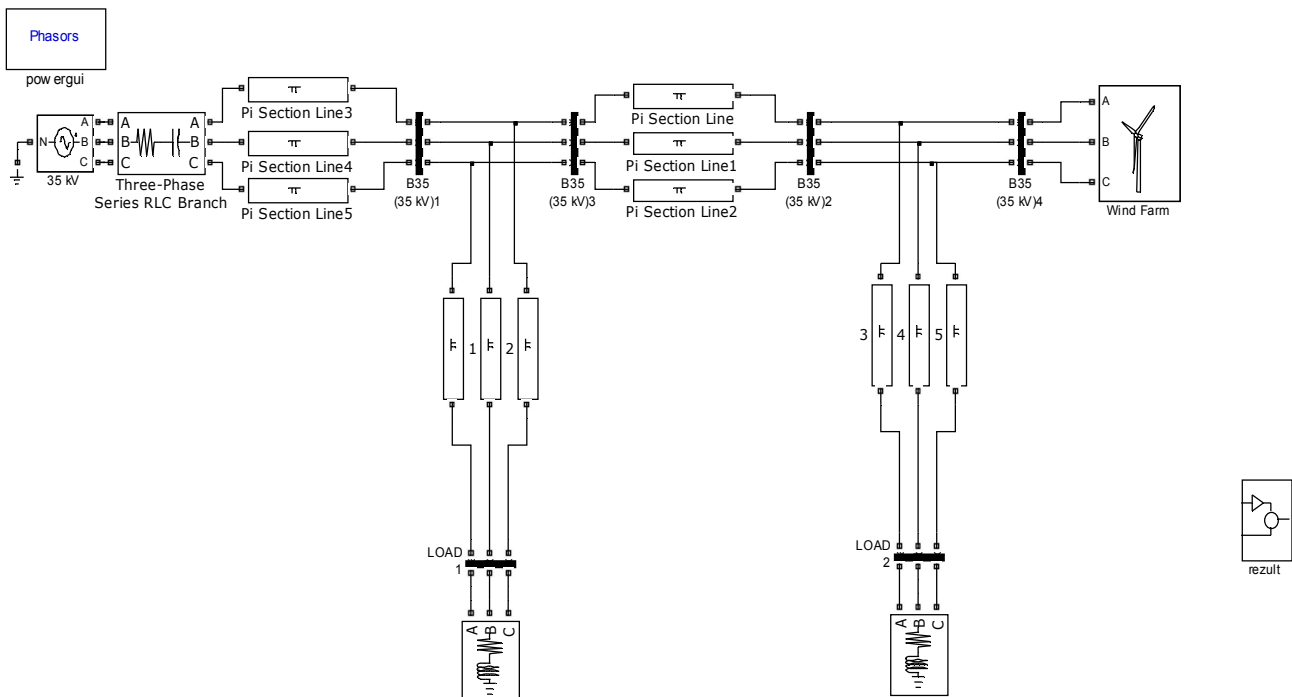


Рис. 4. "Ліва" частина моделі, яка містить лінії електропередачі та вузли навантаження.

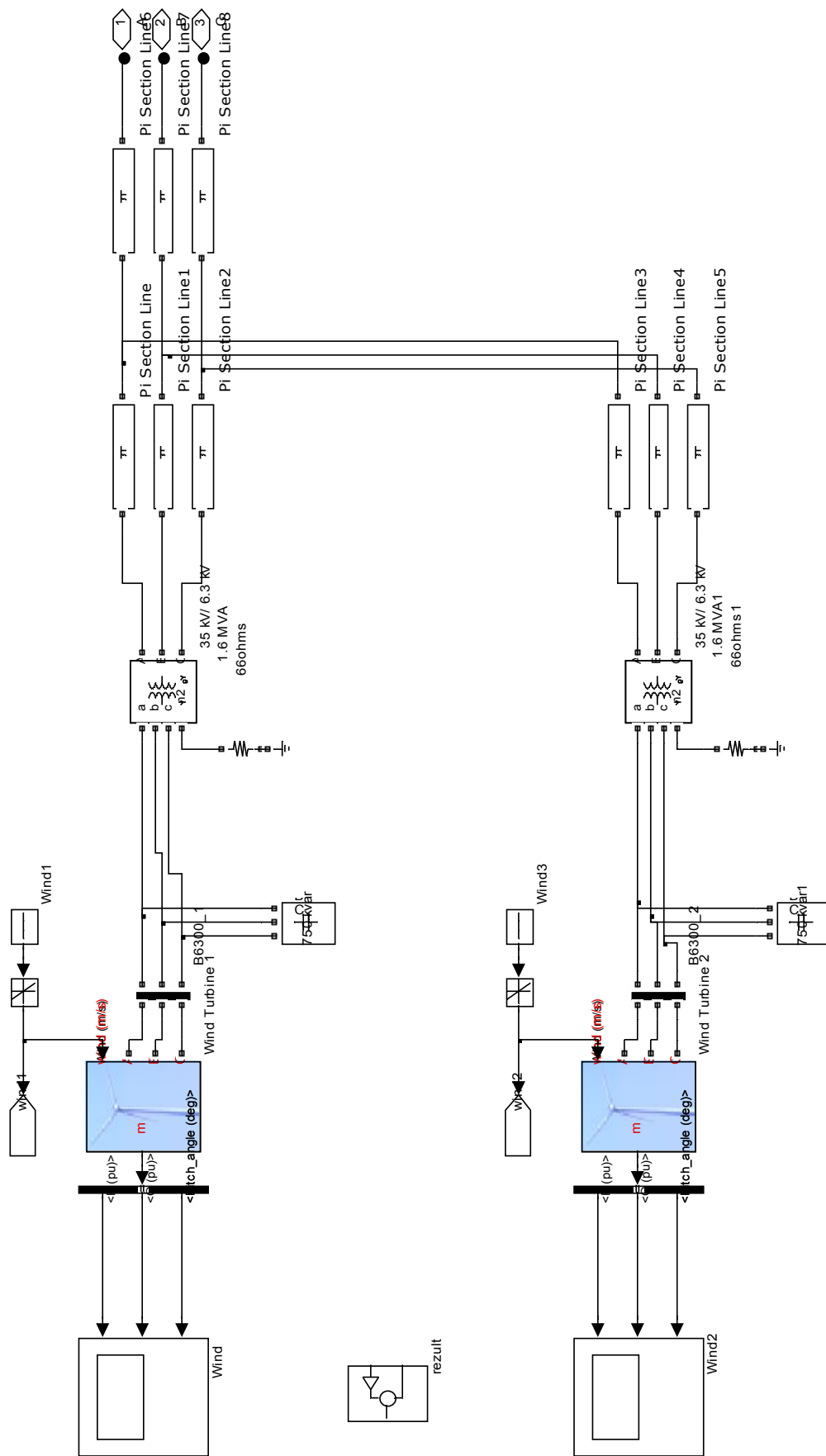


Рис. 5. "Права" частина моделі, яка містить дві ВЕС (блоки *Wind Farm*), підвищувальні трансформатори та з'єднувальні лінії електропередачі.

Обраний інтервал моделювання, упродовж якого швидкість вітру є незмінною, складає 30 секунд. Загалом у результаті моделювання, змінюючи швидкість вітру, за добу отримуємо 48 значень параметрів режиму, зокрема, значення потужності на виході ВЕС, напруги на шинах генераторів, параметри активної та реактивної потужності на ділянках мережі тощо.

Аналіз результатів моделювання. Як приклад, на рис. 6-9 наведено деякі результати моделю-

вання, а саме: на рис. 6 та 7 наведено відповідно добові графіки видачі активної та реактивної потужності ВЕС, а на рис. 8 і 9 – добові графіки напруги у вузлах навантаження.

За результатами моделювання режиму роботи електричної мережі з двома джерелами РГ треба зазначити, що загалом джерела РГ по-різному впливають на режим роботи мережі залежно від того, де саме їх буде під'єднано, а також зазначені джерела можуть повністю змінити напрямок потоків потужності.

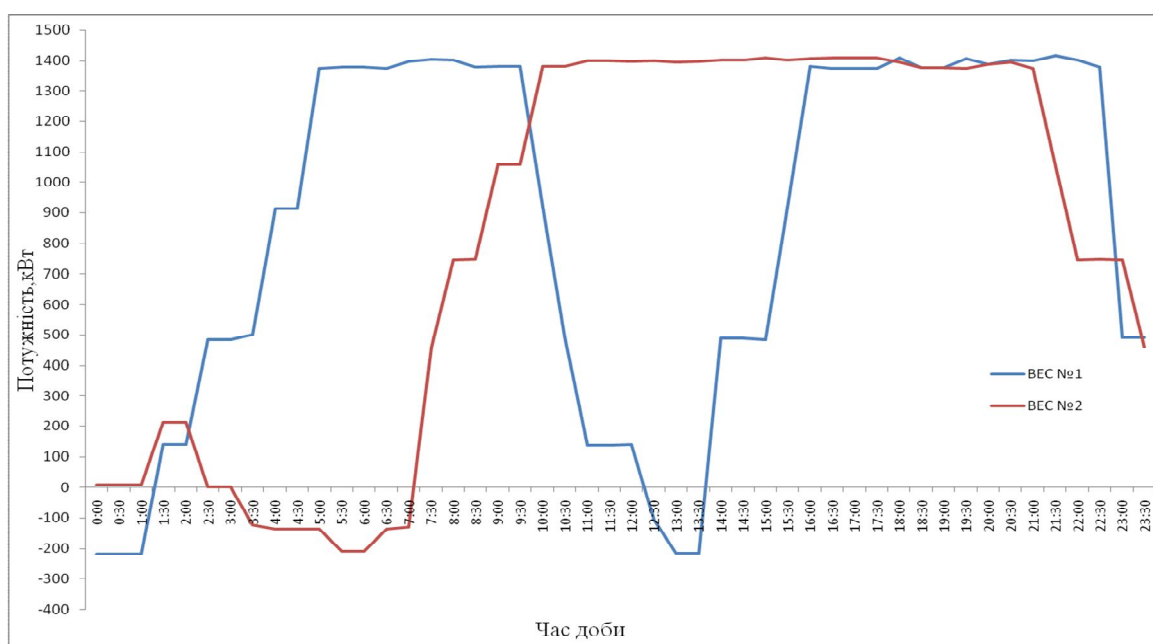


Рис. 6. Добові графіки видачі активної потужності ВЕС.

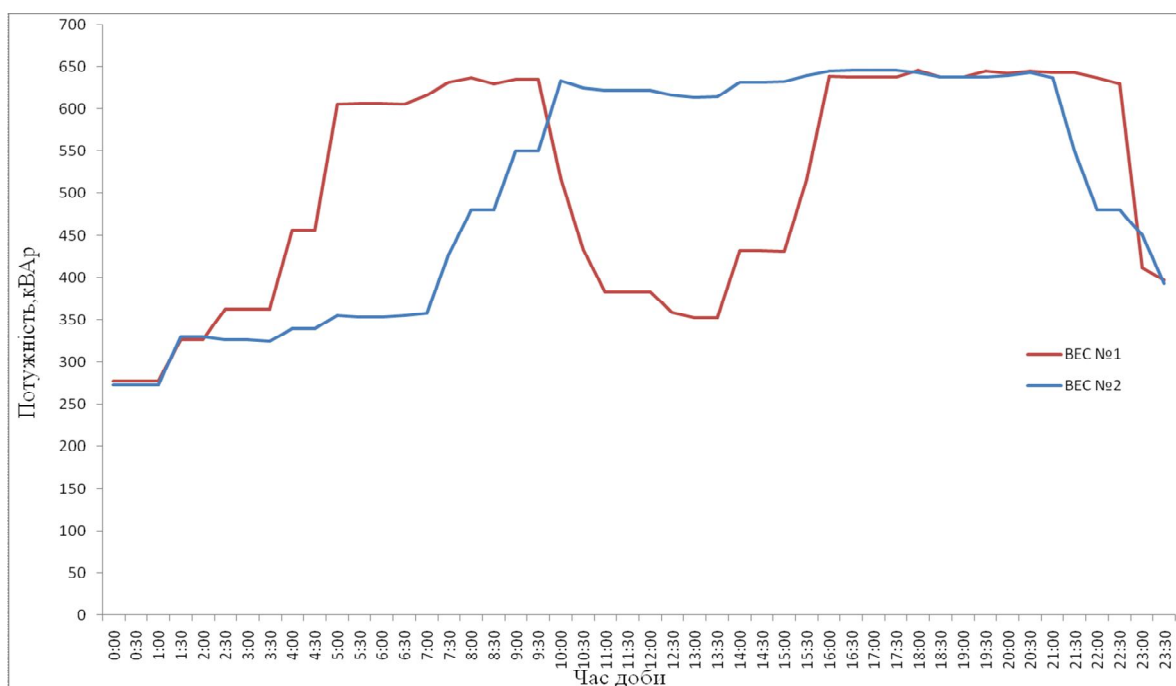


Рис. 7. Добові графіки видачі реактивної потужності ВЕС.

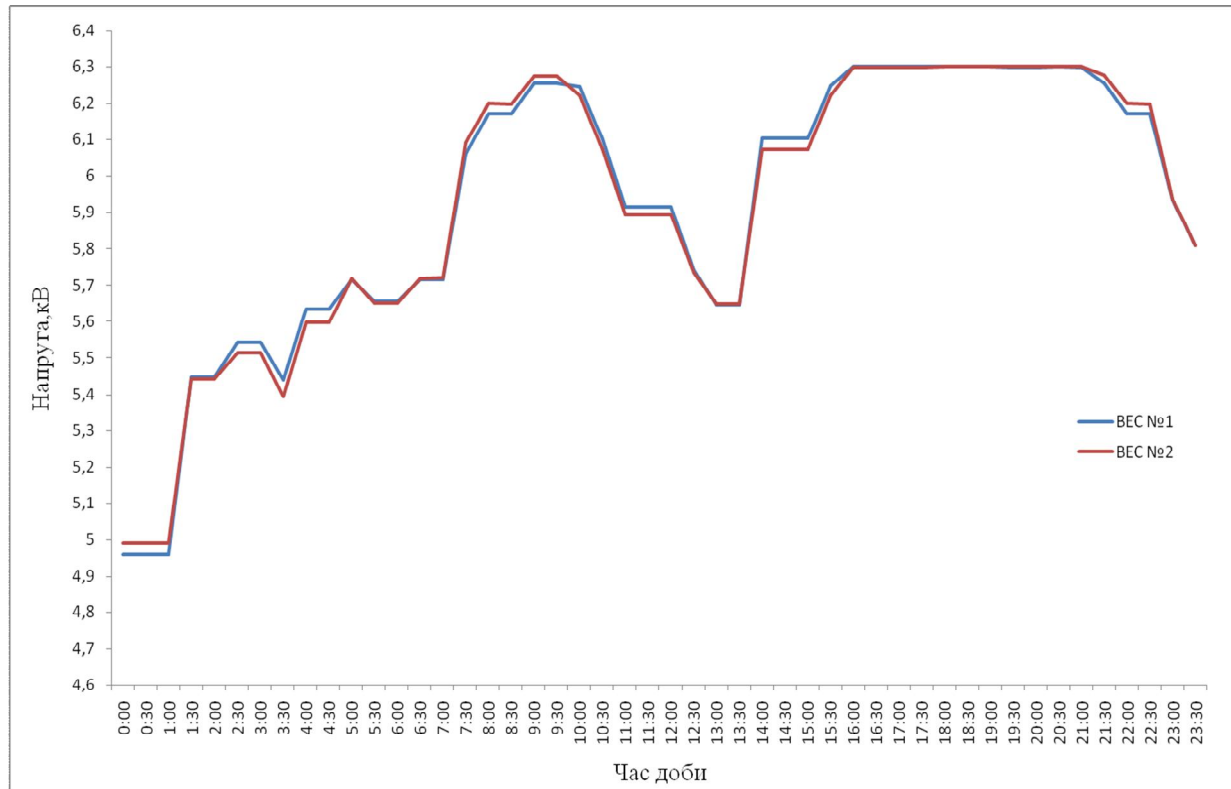


Рис. 8. Добові графіки напруги на вихідних шинах ВЕС.

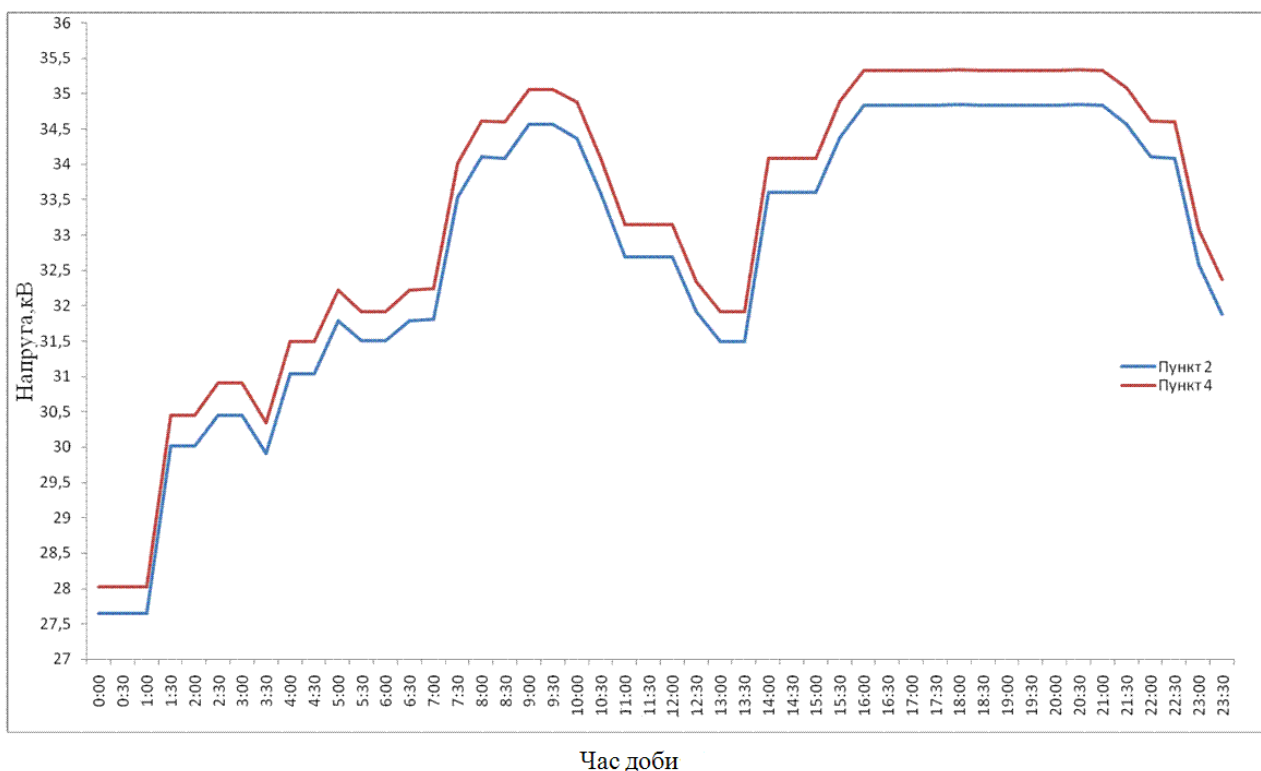


Рис. 9. Добові графіки напруги у вузлах навантаження.

Як видно з результатів моделювання, напруга на затискачах споживачів при номінальній видачі потужності задовільна і не виходить за межі допустимих значень. Коли змінюється швидкість

вітру, відповідно змінюються видача потужності та значення напруги на затискачах генераторів. Рівень напруги залишається задовільним для обох споживачів. При зменшенні швидкості вітру

буде спостерігатися різке падіння видачі потужності і відповідно рівня напруги на затискачах генераторів. Відповідно будемо мати зміну потоків потужності на ділянках мережі та зниження напруги на затискачах споживачів. При цьому падіння напруги уздовж ділянок мережі є невеликим, що обумовлюється тільки втратами в лініях електропередачі.

Що стосується реактивної потужності, то встановлення автоматичних конденсаторних установок з мікропроцесорним регулятором дозволяє забезпечити якісне регулювання.

Висновки. З метою забезпечення надійної роботи ОЕС України за умов істотного збільшення потужності, що виробляється із застосуванням ВДЕ, необхідно вдосконалити чинну законодавчу і нормативно-технічну базу, а також державні стандарти України, які встановлюють вимоги до схем приєднання ВЕС і СЕС, норми технологічного проектування схем видачі потужності, а також регулюють їх впровадження та функціонування у складі ОЕС України. Для цього треба провести відповідні науково-технічні дослідження особливостей роботи мережі, яка містить значну кількість джерел РГ з метою визначення

достатнього обсягу та найбільш ефективних місць їх розміщення із забезпеченням дотримання вимог стандартів із якості електроенергії.

1. Луцик О.В. Приєднання вітрових електростанцій до магістральних електричних мереж ОЕС України // Електропанорама. – 2010. – № 6. – С. 50–53.
2. *Европейская Комиссия: приоритеты в энергетической инфраструктуре до 2020 г. и после. Концепция интегрированной европейской энергосистемы, сообщение КОМ-2010, № 677 от 17.11.2010 г.*
3. Зайченко В.Б., Олефір Д.О., Тихенко В.І. Забезпечення надійної роботи ОЕС України за умов істотного збільшення частки генерації ВЕС та СЕС // Електропанорама. – 2012. – № 12. – С. 40–44.
4. Вороний Н.І. Распределенная генерация в электроэнергетических системах // Международная научно-практическая конференция "Малая энергетика-2005".
5. Ньюшлос Дж., Рятин И. Развитие распределенной генерации // Энергетический центр Московской школы управления "Сколково", 2012.
6. Бартоломей П.И., Паниковская Т.Ю., Чечушков Д.А. Анализ влияния распределенной генерации на свойства ЭЭС – <http://sei.irk.ru/symp2010>.
7. Стогній Б.С. Інтелектуальні електричні мережі електроенергетичних систем та їхнє технологічне забезпечення / Б.С. Стогній, О.В. Кириленко, С.П. Денисюк // Технічна електродинаміка. – 2010. – № 6. – С. 44–50.

**XIV МІЖНАРОДНА СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА
ЕНЕРГЕТИКА В ПРОМИСЛОВІСТІ-2016**
ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНЕ, ЕНЕРГЕТИЧНЕ ОБЛАДНАННЯ, ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ, КАБЕЛІ, ПРОВІДИ,
ПРОМИСЛОВА СВІЛОТЕХНІКА, ГІРНИЧІ МАШИНИ ТА ОБЛАДНАННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ, КВПІА

**XIV МІЖНАРОДНИЙ ФОРУМ
ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ КОМПЛЕКС УКРАЇНИ:
СЬОГОДЕННЯ ТА МАЙБУТНЄ**

МІЖНАРОДНИЙ ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР
Україна, 02660
Київ, Броварський пр-т, 15
"Лівобережна"
тел./факс: (044) 201-11-57
e-mail: lyudmila@iec-expo.com.ua
www.iec-expo.com.ua
www.tech-expo.com.ua

ОРГАНІЗАТОРИ:
Міністерство енергетики
та вугільної промисловості України
Міжнародний виставковий центр

Технічний партнер: *Rand Media*

**8–10
листопада**