

## ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВІТРОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ З АСИНХРОННИМИ ГЕНЕРАТОРАМИ

<sup>1,2</sup> Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*Досліджено роботу асинхронних генераторів в вітрових установках, що дозволило оцінити розподіл втрат потужності в режимі роботи асинхронного генератора зі споживанням та компенсацією реактивної потужності.*

**Ключові слова:** вітроустановка, асинхронний генератор, синхронний генератор, розосереджені джерела енергії, реактивна потужність.

### *Abstract*

*The asynchronous generators in wind installations were investigated, which allowed us to estimate the distribution of power losses in operation asynchronous generator with power consumption and compensation.*

**Keywords:** wind turbine, asynchronous generator, synchronous generator, distributed energy sources, reactive power.

### **Вступ**

Станом на 01.01.15р. в Україні встановлена потужність вітроелектростанцій (ВЕС) становила 514 МВт (лише 0,93% від загального обсягу генеруючих потужностей), якими вироблено понад 1171 млн. кВт·год електроенергії у 2014 році.

Згідно звіту Світової вітроенергетичної асоціації потужність енергії вітру у світі сягнула 336 327 МВт на кінець червня 2014 р., з них 17 613 МВт були додані у першій половині 2014 р. Таке зростання було суттєвим у першій половині 2013 р. та у 2012 р., коли були додані відповідно 13,9 ГВт та 16,4 ГВт. Загальна встановлена потужність енергії вітру на середину 2014 р. складає близько 4% світової потреби в електроенергії. Світова потужність енергії вітру зросла на 5,5% протягом шести місяців (після 5% у такий же період 2013 р. та 7,3 % у 2012 р.) та на 13,5 % в розрахунку на рік (середина 2014 р. у порівнянні з серединою 2013 р.). Для порівняння варто відзначити, що річні темпи зростання у 2013 р. були нижчими на 12,8 % [1].

Інтенсивний розвиток вітрової енергетики, що спостерігається за останні час, обумовлений державною політикою сприяння розвитку альтернативних джерел енергії (зміни до Закону України «Про електроенергетику» від 01.04.2009, Розпорядження КМУ від 19.02.2009 «Про реалізацію інвестиційних проектів з будівництва вітроелектростанцій в Автономній Республіці Крим та Миколаївській області» тощо). Проте наразі відсутні науково обґрунтовані обсяги 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 в районах розміщення ВЕС тощо. Інститутом відновлюваної енергетики НАН України та ДНПП «Укренергомаш» НКА України були розроблені Обґрунтування доповнення до «Енергетичної стратегії України на період до 2030 року» в частині розвитку вітроенергетики». НЕК «Укренерго» було розглянуте зазначене Обґрунтування доповнення до «Енергетичної стратегії України на період до 2030 року» і наданні пропозиції та зауваження листом від 31.12.2008 № 02/02-1-3/7867, які зводяться до того, що обсяги запланованих до введення вітроенергетичних потужностей мають узгоджуватись з існуючим станом та перспективним розвитком електроенергетичної галузі України.

НЕК «Укренерго» в межах своїх повноважень підтримує розвиток вітроенергетики, проте наполягає на тому, що забезпечення розвитку вітроенергетичної галузі та її роботи з максимальною ефективністю неможливе без завершення розробки Енергетичної стратегії України в частині розвитку вітроенергетики з розробкою схеми розподілу вітрових потужностей по території країни та

нормативних документів, що визначатимуть умови паралельної роботи вітрових електростанцій з ОЕС України [2].

### Результати дослідження

На сьогоднішній день в галузі відновлюваної енергетики широке застосування знайшли асинхронні генератори (АГ). Існує чимало переваг застосування АГ в порівнянні із синхронними. Насамперед, це низька вартість, стійкість до зовнішніх аварій, значний ресурс, простота конструкції та експлуатації в нормальних режимах. Також з позицій підтримки стабільної частоти струму, який віддає в ЕЕС електричний генератор вітрової електричної станції (ВЕС), використання асинхронних машин, як генераторів вітрових електростанцій є найпривабливішим.

Процес будівництва української вітроенергетики почався у 1996 році, коли була запроєктована Новоазовська ВЕС проектною потужністю 50 МВт. У 2000 році працювало 134 турбіни з 3500 запроєктованих та закладено близько 100 фундаментів під турбіни потужністю 100 кВт кожна. Фактична потужність станції при штаті 34 працівників – 14,5 МВт. Саме в той час розпочалися дослідження щодо практичного використання трифазних асинхронних генераторів для перетворення енергії на ВЕС, які були доведені до практичного застосування на кількох установках.

За 2002-2005 роки встановлена потужність кожної із чотирьох найбільших вітроелектростанцій України перевищила 10 МВт, а на Сакській досягла 19 МВт. Промислові ВЕС побудовані на основі серійних вітроелектричних установок USW 56-100 с асинхронними генераторами АГВ280М4ОМ2 з короткозамкненим ротором.

Внаслідок експлуатації асинхронних генераторів, як заміників синхронних, було виявлено ряд суттєвих переваг. Так, в якості АГ для ВЕС можна використовувати серійні асинхронні двигуни без будь-яких доробок, що знижує загальну вартість електричної частини станції. Крім того, асинхронний генератор не має колектора та ковзних контактів, що підвищує його надійність. Імовірність безвідмовної роботи для типових асинхронних двигунів серії АІ, що можуть використовуватися в якості генераторів, складає 0,95 протягом 10 тис. год., або 0,9 – у межах 20 тис. год. експлуатації без капітального ремонту. За рахунок цього зменшуються витрати часу та щорічні відрахування на ремонт і обслуговування електрообладнання ВЕС.

Асинхронний генератор малої потужності має коефіцієнт гармонік напруги та струму на затискачах статорної обмотки менше 2-3%, на відміну від синхронного аналогічної потужності, для якого вказана величина може сягати 15%. Таким чином, наявність асинхронних генераторів позитивно впливає на роботу електричних мереж та споживачів електроенергії [3].

До переваг застосування АГ також можна віднести відсутність потреби у засобах регулювання швидкості обертання гідротурбіни, що працює на приєднаній до енергосистеми асинхронний генератор. У даному випадку, на відміну від автономної роботи АГ, швидкість обертання його ротора практично не впливає на швидкість обертання магнітного поля статора, а отже і на частоту струму та напруги на затискачах генератора. З іншого боку, відсутність автоматичних засобів регулювання швидкості на ВЕС з АГ, зумовлена тим, що зміни навантаження енергосистеми фактично не впливають на режим роботи асинхронного генератора [4]. Керування роботою малої ГЕС спрощується й через те, що не має потреби у регулюванні напруги на затискачах АГ, оскільки остання завдяки великій потужності задається електричною мережею енергосистеми.

Окремо слід зазначити, що за рахунок простоти та надійності конструкції АГ, відсутності систем збудження (у розумінні синхронного генератора), регулювання напруги та швидкості турбіни, а також процесу синхронізації та електричного гальмування у випадку зупинки, спрощується система автоматизації процесу виробництва електроенергії на ВЕС, а також зменшується вартість проекту ВЕС в цілому. Вказані переваги знайшли практичне підтвердження під час експлуатації ряду ВЕС з асинхронними генераторами – Сакської, Мирнівської та інших.

В залежності від параметрів схеми електричної мережі та потужності генерації розосереджені джерела електроенергії (РДЕ) по різному впливають на втрати потужності у електричній системі. При цьому реактивне споживання АГ є достатньо вагомим фактором в задачі забезпечення економічності експлуатації РДЕ [5].

До досліджуваної ЕМ (рис. 1) приєднані чотири ВЕС з асинхронними генераторами. Для оцінювання втрат потужності, зумовлених функціонуванням РДЕ використовувався методика, запропонована в [6]. Моделювання режимів досліджуваної ЕМ виконувався за допомогою програми "ГрафСканер". Було розглянуто два випадки:

- реактивне споживання АГ ВЕС не компенсувалося конденсаторними установками;
- реактивне споживання АГ було цілком скомпенсоване в межах ВЕС.

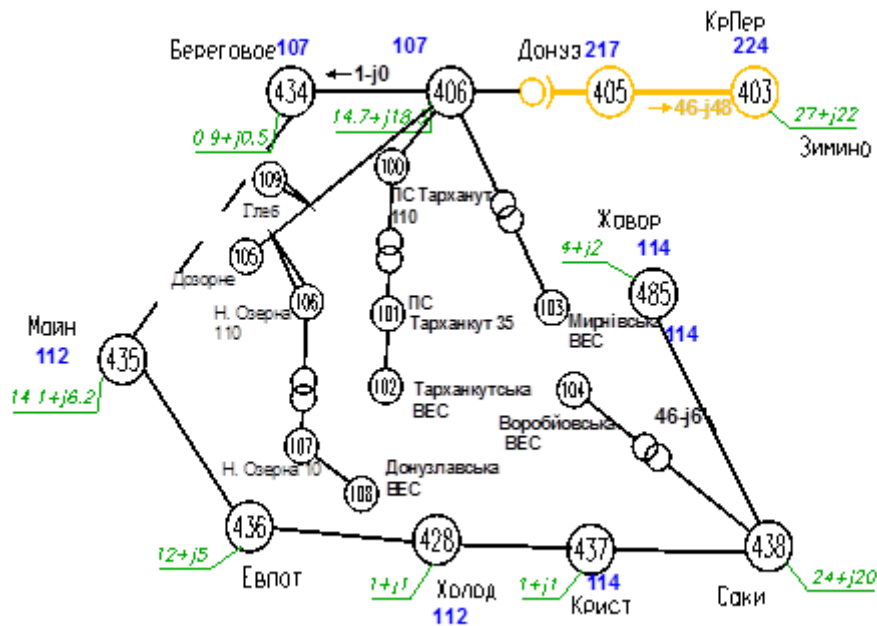


Рис. 1. Фрагмент схеми «Кримської ЕС»

Результати визначення втрат, зумовлених функціонуванням окремих ВЕС зведено до табл. 1 та 2.

Табл. 1. Розподіл втрат потужності у режимі роботи АГ із споживанням реактивної потужності

№ вузла	Розрахункова потужність вузла		Коефіцієнти розподілу втрат потужності	Втрати активної потужності від вузла, МВт
	$P_r$ , МВт	$Q_n$ , МВАр		
108	10,9	8,18	-0.138+0.227j	0,347
104	2,3	1,73	-0.061-0.363j	-0.559
103	16,7	12,52	-0.12+0.136j	-0.306
102	13,8	10,35	-0.123+0.151j	-0.133

Табл. 2. Розподіл втрат потужності у режимі роботи АГ з компенсацією реактивної потужності

№ вузла	Розрахункова потужність вузла		Коефіцієнти матриці розподілу втрат потужності	Втрати активної потужності від вузла, МВт
	$P_r$ , МВт	$Q_n$ , МВАр		
108	10,9	0	-0.009+0.151j	-0.103
104	2,3	0	-0.055-0.326j	0.069
103	16,7	0	-0.032+0.103j	-0.542
102	13,8	0	-0.028+0.112j	-0.387

Сумарні втрати потужності в ЕМ, визначені на підставі коефіцієнтів розподілу, співпадають з результатами розрахунку усталеного режиму даної електричної мережі за допомогою програми «ГрафСканер», що підтверджує адекватність методу [6]. За умов відсутності компенсації реактивного споживання АГ вони складають: 14,516 МВт, а за повної компенсації за рахунок конденсаторної установки з автоматичними регулятором – 13,353 МВт.

Співставлення результатів розрахунків (табл. 1, 2) показує, що практично всі ВЕС забезпечують позитивний вплив на економічність експлуатації ЕМ, зменшуючи втрати потужності в них. При цьому для всіх ВЕС компенсація реактивного споживання призводить до додаткового зменшення складової втрат. За рахунок цього сукупні втрати активної потужності в ЕМ від транспортування по ній потужності розосереджених джерел електроенергії без компенсації реактивного споживання АГ знижуються на 0,124 МВт, а з урахуванням компенсації – на 0,651 МВт.

## Висновки

Широкомасштабне впровадження вітрових електричних станцій з асинхронними генераторами в Україні дозволить зробити суттєвий крок у зменшенні енергетичної залежності країни, охороні довкілля та створенні умов для входження країни до європейської спільноти. Не зважаючи на значний вітровий потенціал, достатньо розвинену науково-технічну та промислову базу, велику кількість прийнятих нормативно-законодавчих актів, частка таких джерел у енергетичному балансі країни залишається незначною. Головними причинами такого стану є відсутність стимулюючої політики держави, недосконалість нормативно-правового забезпечення та невиконання прийнятих рішень, низький рівень фінансування науково-дослідних і конструкторських розробок, недостатній рівень інформування потенційних розробників технологій та споживачів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Режим доступу: <http://sae.gov.ua/uk/ae/windenergy>.
2. Кудря С.О. Структурні тенденції в енергетиці Європи і розвиток відновлюваної енергетики / С.О. Кудря, Б.Г. Тучинський, В.Г. Дресвянніков, З.У. Рамазанова // Відновлюв. енергетика. – 2005. – № 1. – С. 36-40.
3. Васько П.Ф. Узгодження умов компенсації реактивної потужності та електромагнітної сумісності обладнання промислових вітроелектричних станцій з асинхронними генераторами / П.Ф. Васько, В.П. Васько, О.І. Даниленко // Відновлюв. енергетика. – 2006. – № 4. – С. 56-62.
4. Радін В.И. Электрические машины: асинхронные машины / Радін В.И., Брускін Д.Э., Зорохович А.Е.: Под ред. И.П. Копылова. – М.: Высш. шк., 1988. – 328 с.
5. Кулик В.В. Оптимальне керування відновлюваними джерелами електроенергії на підставі *Smart Grid* / В.В. Кулик, О.Б. Бурикін, Ю.В. Малогулко // Відновлювана енергетика ХХІ століття: ХІІ міжнарод. наук.-техн. конф.: матеріали конференції. – АР Крим: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2011.
6. Лежнюк П.Д., Кулик В.В., Бурикін О.Б. Взаємозв'язок електричних мереж в процесі оптимального керування їх режимами: Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 123 с.

**Юлія Володимирівна Малогулко** — асистент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [Juliya\\_Malogulko@ukr.net](mailto:Juliya_Malogulko@ukr.net);

**Яна Валентинівна Пташинська** — студент гр. 2Е-12б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [Yana\\_Ptashynska@mail.ru](mailto:Yana_Ptashynska@mail.ru).

**Juliya V. Malogulko** — assistant of electrical stations and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : [Juliya\\_Malogulko@ukr.net](mailto:Juliya_Malogulko@ukr.net);

**Yana V. Ptashynska** — department of of electrical stations and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : [Yana\\_Ptashynska@mail.ru](mailto:Yana_Ptashynska@mail.ru).