

УДК 621.316

Грицюк Ю.В., к.т.н.

Грицюк І.В., к.т.н.

Оксенюк М.А., аспірант

Луцький національний технічний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РОЗОСЕРЕДЖЕНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ВТРАТИ ПОТУЖНОСТІ ТА РЕЖИМ НАПРУГ В РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖАХ

**Грицюк Ю.В., Грицюк І.В., Оксенюк М.А.** Дослідження впливу розосереджених джерел електроенергії на втрати потужності та режим напруг в розподільних електромережах. В роботі засобами імітаційного моделювання здійснено оцінку взаємного впливу різнотипних розосереджених джерел енергії та розподільних електричних мереж. Виявлено позитивний вплив від функціонування цих джерел на величину втрат та рівень напруги.

**Ключові слова:** розосереджені джерела енергії, локальна електрична система, гідроелектростанція, сонячна електростанція.

**Грицюк Ю.В., Грицюк І.В., Оксенюк М.А.** Исследование влияния рассредоточенных источников электроэнергии на потери мощности и режим напряжений в распределительных электросетях. В работе средствами имитационного моделирования осуществлена оценка взаимного влияния разнотипных рассредоточенных источников энергии и распределительных электрических сетей. Выявлено положительное влияние от функционирования этих источников на величину потерь и уровень напряжения.

**Ключевые слова:** рассредоточенные источники энергии, локальная электрическая система, гидроэлектростанция, солнечная электростанция.

**Hrytsiuk Y.V., Hrytsiuk I.V., Oksenjuk M.A.** The influence of dispersed energy sources to power loss and mode voltages in distribution networks. In this paper, a simulator assesses the relative impact of different types of dispersed energy sources and electricity distribution networks. The positive impact on the functioning of these sources by the amount of losses and voltage levels.

**Keywords:** dispersed energy sources, the local electrical system, power plant, solar power.

**Постановка наукової проблеми.** В останні роки світові тенденції, спрямовані на підвищення енергозбереження і раціонального використання природних ресурсів, призвели до інтеграції відновлювальних джерел енергії в наявні розподільні електричні мережі у вигляді розосереджених джерел енергії (РДЕ). Причому частка останніх в енергобалансі енергосистем зростає і в деяких електричних мережах вже сьогодні досягає 20–30% і більше. До РДЕ, що працюють безпосередньо в мережах 10–6–0,4 кВ, відносяться як традиційні джерела невеликої потужності, так і альтернативні. Таким чином, розподільна електрична мережа поступово перетворюється в мережу з характерними особливостями локальної електричної системи (ЛЕС), яка отримує живлення як від власних РДЕ, так і від централізованого джерела – електроенергетичної системи.

Разом з тим, розподільні електромережі енергосистем проектувалися і споруджувалися за умов централізованого електропостачання, виходячи з чого розбудова в них розосереджених джерел електроенергії породжує нові проблеми та задачі. Основними з технічної точки зору тут є задачі підтримання балансу активної і реактивної потужностей в ЛЕС та оптимізації розосередженого генерування активної та реактивної енергії.

**Аналіз досліджень.** Питання дослідження взаємного впливу РДЕ та розподільних електромереж розглянуте в ряді наукових праць [1 – 3]. Результатом попередніх досліджень є формування математичних моделей, що описують вплив РДЕ та централізованого генерування на формування поточкорозподілу потужності електроенергетичних систем.

**Формулювання цілі статті.** Дослідження характерних режимів роботи розподільних електричних мереж сумісно з різнотипними РДЕ на основі імітаційних розрахунків.

**Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.** Залежно від типу розосереджених джерел електроенергії (РДЕ), їх вплив на режими роботи електромереж є різним. Для фотовольтаїчних установок характерними є значні встановлені потужності (від сотень кіловат до десятків мегават для розподільних електромереж), що у поєднанні з істотною залежністю генерування від випадкового впливу навколишнього середовища, створює принципово нові умови функціонування розподільних електричних мереж (ЕМ). Крім того, застосування потужних інверторів може спричинити спотворення форми кривої напруги ЕМ та появу вищих гармонік. У випадку використання для перетворення енергії синхронних генераторів, технологічною необхідністю є генерування реактивної потужності. Тобто, крім активної потужності, що є предметом договорів на постачання електроенергії, на

користування електричними мережами, на функціонування в межах енергетичного ринку України, такі РДЕ генерують і реактивну потужність. Виходячи з цього, синхронні генератори (СГ) працюють з коефіцієнтом потужності ( $\cos\phi = 0.8-0.85$ ). Залежно від співвідношення такого генерування та суміжного споживання їх вплив може бути позитивним, або негативним. Останній проявляється у зростанні струмів у лініях електропередачі (ЛЕП) та трансформаторах, а також підвищення рівня втрат електроенергії в ЕМ. Однак, у обох випадках локальне генерування реактивної потужності РДЕ сприяє підвищенню рівнів напруги у вузлах ЕМ, що є позитивним моментом для забезпечення якості електропостачання електрично-віддалених споживачів. Крім того, цей аспект треба враховувати, визначаючи економічні еквіваленти реактивної потужності в ЕМ та необхідні рівні компенсації реактивної потужності. Важливою перевагою РДЕ з асинхронними генераторами є мінімальний вплив на режими розподільних електромереж, що зумовлено практично повною компенсацією реактивного споживання у межах балансової приналежності. Виходячи з цього, коефіцієнти потужності на шинах таких джерел є достатньо високими ( $\cos\phi = 0.98-1$ ).

Для підтвердження наведеного вище, в роботі було виконано ряд натурно-обчислювальних експериментів для аналізу впливу генерування реактивної потужності РДЕ на режими роботи розподільних електромереж і баланс реактивної потужності в них. В якості прикладу наведено результати вимірювань та обчислень для електричної мережі 10 кВ Ф-45 підстанції «Михайлівка», в яку віддають електроенергію РДЕ Слобода-Бушанського комплексу – гідроелектростанція (ГЕС) встановленою потужністю 250 кВт та сонячна електростанція (СЕС) встановленою потужністю 500 кВт (рис. 1). Слобода-Бушанська ГЕС оснащена асинхронними генераторами і, відповідно, практично не видає реактивну потужність в мережу 10 кВ Ф-45. Основні результати, що характеризують її вплив на втрати електроенергії в електричній мережі, подані у табл. 1. З них видно, що генерування ГЕС позитивно впливає на потекорозподіл в ЕМ, зменшуючи втрати електроенергії в ЛЕП на 40%. Вся електроенергія, яка генерується Слобода-Бушанською ГЕС споживається у межах електричної мережі 10 кВ Ф-45 і не передається до розподільних мереж 110 кВ.

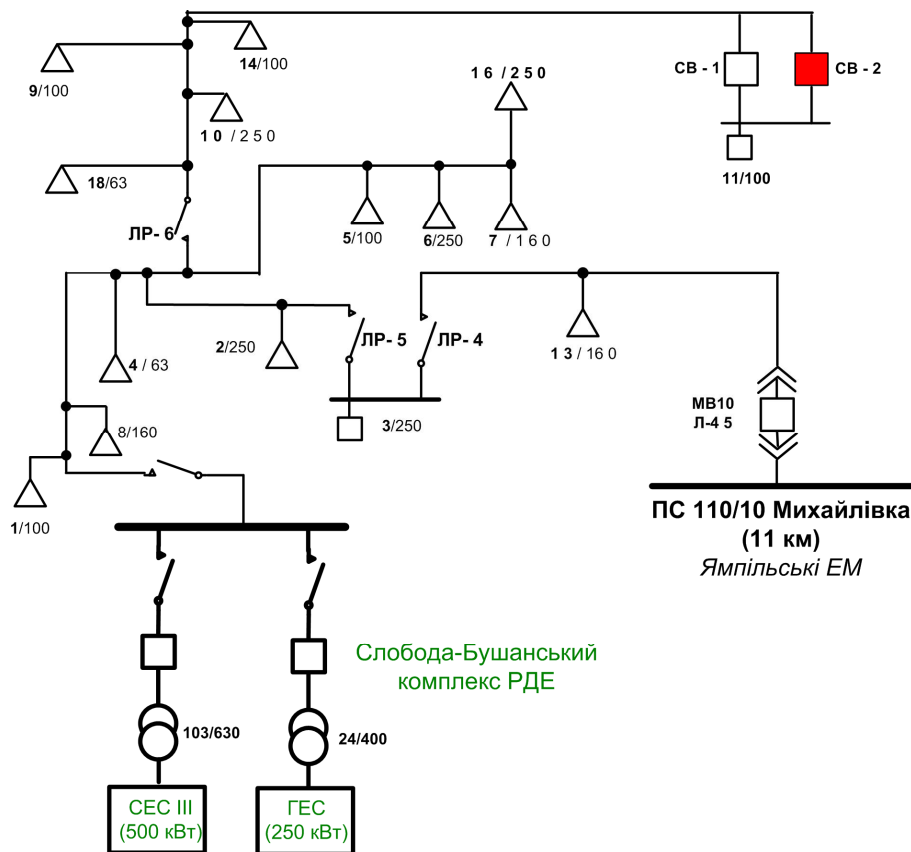
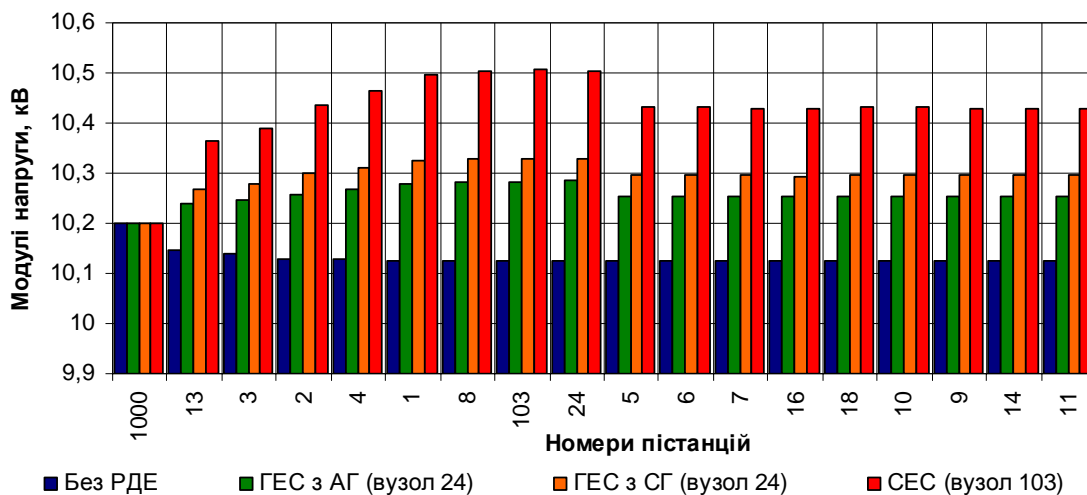
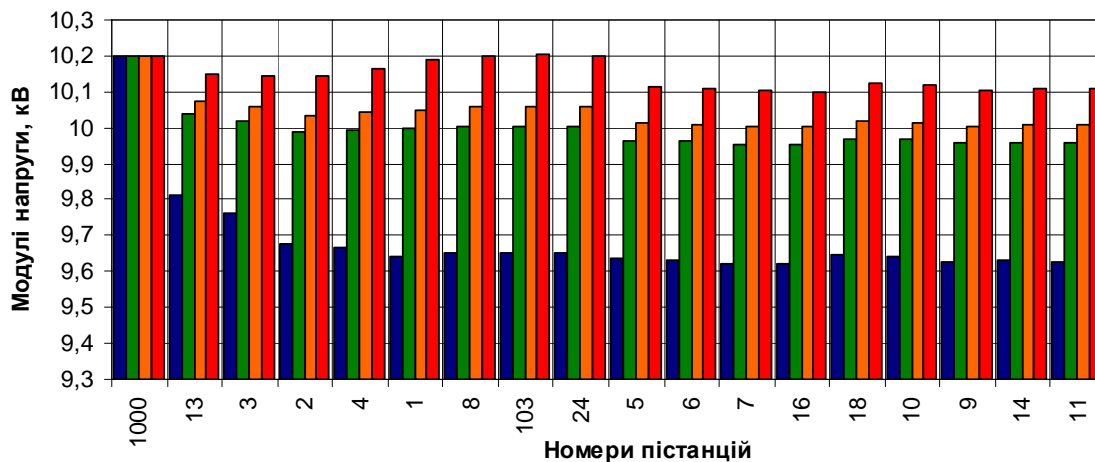


Рис. 1. Схема приєднання Слобода-Бушанського комплексу РДЕ до електричної мережі.

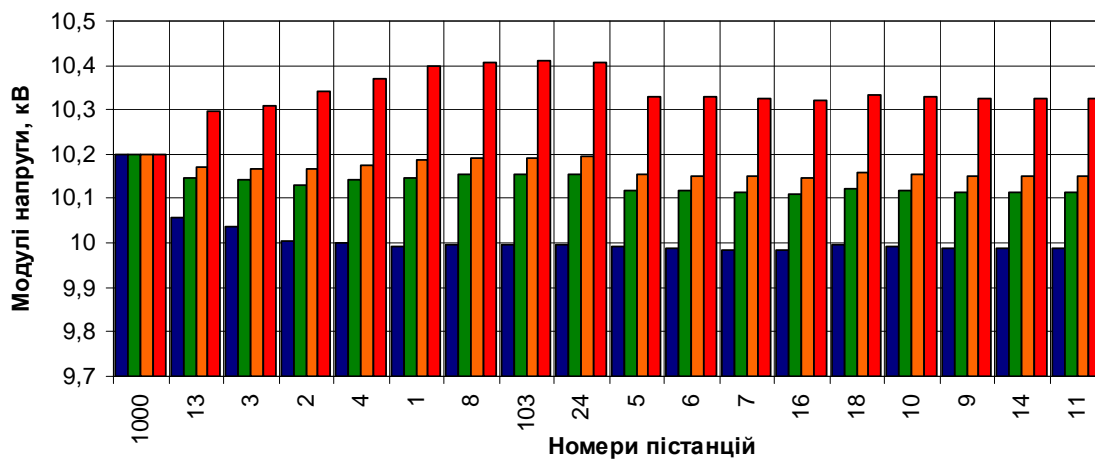
Результати розрахунку характерних режимів роботи ЕМ 10 кВ Ф-45 показують позитивний ефект Слобода-Бушанської ГЕС: для всіх режимів спостерігається зменшення втрат потужності за рахунок розвантаження окремих ЛЕП магістралі фідера Ф-45. Наприклад, у режимі максимальних навантажень, струм головної ділянки Ф-45 за рахунок роботи ГЕС зменшується на 26%, а на окремих ділянках ЛЕП – до 50 %. Крім того, спостерігаються зміни в режимі напруг (рис. 2) – електромережа набуває жорсткості за напругою, що зумовлено вищезазначеними причинами. Ця обставина має враховуватися на етапі математичного моделювання критерію оптимальності задач компенсації реактивної потужності.



а)



б)



в)

Рис. 2. Розподіл напруги по вузлах електромережі з РДЕ у режимах мінімальних (а), максимальних (б) та середніх (в) навантажень.

Для дослідження впливу реактивної потужності даної ГЕС на режими роботи ЕМ було зімітовано встановлення на ній двох синхронних генераторів аналогічної активної потужності з  $\cos\phi = 0.85$ . Після цього, розраховано три характерних режими роботи мережі (з урахуванням генерування реактивної потужності малою ГЕС): режим максимальних навантажень, режим середніх навантажень з визначенням втрат електроенергії, а також мінімальних навантажень (рис. 2).

Таблиця 1

Результати розрахунку втрат електроенергії в електричній мережі 10 кВ Ф-45 з РДЕ (асинхронні генератори)

Вид розрахунку	Надходження електроенергії з системи, кВт·год	Втрати в ЛЕП, кВт·год/%	Втрати в трансформаторах, кВт·год/%			Сумарні втрати, кВт·год/%
			Сумарні	Холостого ходу	Навант.	
Без врахування РДЕ	167154,8	6381,8	7572,0	7168,4	403,5	13953,8
		3,8	4,5	4,3	0,2	8,3
З врахуванням ГЕС	669,6	3794,8	7624,0	7168,4	455,6	11418,8
		2,3	4,6	4,3	0,3	6,8
Оцінка впливу ГЕС	-166485,2	-2587,0	52,0	-	52,1	-2535,0
	-99,6 %	-40,5 %	0,7 %	-	12,9 %	-18,2 %

Основні результати, що характеризують вплив генерування реактивної потужності малою ГЕС на втрати електроенергії в електричній мережі, подані у табл. 2.

З результатів розрахунків видно, що за рахунок генерування ГЕС з синхронними генераторами споживачі мережі 10 кВ Ф-45 фактично не споживають електроенергію від централізованого електропостачання. Таким чином, в окремих режимах електромережі за рахунок дії РДЕ може змінюватися основне джерело живлення, що має враховуватися під час формування ЕЕРП та постановки задачі групової компенсації реактивної потужності в ЕМ. Незначний надлишок електроенергії ГЕС видається на шини живильної підстанції, споживаючись у електромережах інших фідерів підстанції 110/10 «Михайлівка». Таким чином, за рахунок РДЕ забезпечується розвантаження розподільних мереж 110 кВ та зменшення втрат електроенергії в них.

Таблиця 2

Результати розрахунку втрат електроенергії у ЕМ 10 кВ Ф-45 з малою ГЕС (синхронні генератори)

Вид розрахунку	Надходження електроенергії з системи, кВт·год	Втрати в ЛЕП, кВт·год/%	Втрати в трансформаторах, кВт·год/%			Сумарні втрати, кВт·год/%
			Сумарні	Холостого ходу	Навант.	
Без врахування ГЕС	167154,8	6381,8	7572,0	7168,4	403,5	13953,8
		3,8	4,5	4,3	0,2	8,3
З врахуванням ГЕС	-5654,4	1414,1	7499,9	7168,4	331,4	8914,0
		0,8	4,5	4,3	0,2	5,3
Оцінка впливу ГЕС	-172809,2	-4967,7	-72,1	-	-72,1	-5039,8
	-103,4 %	-77,8 %	-1,0 %	-	-17,9 %	-36,1 %

Генерування СЕС відрізняється незначною реактивною складовою та істотною, для даної електромережі, активною потужністю. В режимах максимального генерування сонячна електростанція повністю забезпечує споживачів ЕМ Ф-45, а надлишок електроенергії видається на шини ПС «Михайлівка» та споживається у суміжних фідерах. Результати, що характеризують вплив РДЕ на втрати електроенергії в електричній мережі, подані у табл. 3. З них видно, що за рахунок зміни напрямку перетікання активної потужності в головній ділянці спостерігаються додаткові втрати електроенергії. Крім того неспівпадіння напрямків перетоків активних та реактивних потужностей призводить до додаткового завантаження ЛЕП без підвищення рівнів напруг, що супроводжується підвищенням втрат електроенергії. Внаслідок зазначеного втрати електроенергії в ЛЕП зростають на 95 %, у мережі в цілому на 42 %.

Позитивним моментом є вплив СЕС на рівні напруги в ЕМ (рис. 2). Так, для режиму максимальних навантажень, для якого питання регулювання напруги є найбільш критичним забезпечується мінімальне відхилення по всій мережі від напруги на шинах живильної підстанції. Однак у режимі мінімальних навантажень, на який переважно припадає максимум генерування СЕС (денний мінімум навантаження) спостерігається перевищення граничних рівнів напруги на шинах РДЕ. Це потребує застосування додаткових заходів з регулювання напруги, в тому числі за рахунок компенсації реактивної потужності.

Таблиця 3

Результати розрахунку втрат електроенергії у ЕМ 10 кВ Ф-45 з СЕС

Вид розрахунку	Поступлення електроенергії з системи, кВт·год	Втрати в ЛЕП, кВт·год/%	Втрати в трансформаторах, кВт·год/%			Сумарні втрати, кВт·год/%
			Сумарні	Холостого ходу	Навант.	
Без врахування РДЕ	167154,8	6381,8	7572,0	7168,4	403,5	13953,8
		3,8	4,5	4,3	0,2	8,3
З врахуванням СЕС	-282868,8	12448,2	7472,9	7168,4	304,4	19921,1
		7,4	4,5	4,3	0,2	11,9
Оцінка впливу СЕС	-450023,6	6066,4	-99,1	-	-99,1	5967,3
	-269,2 %	95,1 %	-1,3 %	-	-24,6 %	42,8 %

#### Висновки та перспективи подальшого дослідження.

1. З аналізу результатів можна стверджувати, що робота РДЕ позитивно впливає на режими електричної мережі 10 кВ, до якої вони приєднані. У режимах, близьких до мінімальних навантажень, такі джерела істотно впливають на режим напруг. Це робить неприпустимим використання припущення щодо номінальних напруг в ЕМ на стадії визначення критеріїв оптимальності в задачах КРП, що є поширеним у експлуатаційній практиці розподільних електромереж.

2. За рахунок дії РДЕ в окремих режимах електромережі може ситуаційно змінюватися основне джерело живлення, що має враховуватися під час формування задачі групової компенсації реактивної потужності в ЕМ.

3. Неврахування розосередженого генерування у процесі моделювання КРП, коефіцієнтів чутливості втрат та напруги до зміни реактивних перетікань (які використовуються для визначення місць приєднання КУ та формування оптимальних керувальних впливів), може призводити до зниження ефективності компенсації реактивної потужності в електромережах.

#### Список використаних джерел.

1. Лежнюк, П. Д. Оптимізація режимів електричних мереж з малими ГЕС в умовах адресного електропостачання [Текст] / П. Д. Лежнюк, В. В. Кулик, О. Б. Бурикін, О. А. Ковальчук // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск : Проблеми сучасної електротехніки. Ч. 3. – 2010. – С. 31–34. – ISSN 0204–3599.
2. Лежнюк, П. Д. Розосереджені джерела електроенергії в електричних мережах [Текст] / П. Д. Лежнюк, В. В. Кулик, О. А. Ковальчук, В. О. Хоменко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – 2011. – №1. – С. 104–108.
3. Кулик, В. В. Ідентифікація коефіцієнта форми графіка групового навантаження для визначення втрат електроенергії в розподільних мережах [Текст] / В. В. Кулик, Д. С. Писляров // Вісник Приазовського державного технічного університету. – 2008. – Вип. № 18. – С. 92–95.