

ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

УДК 621. 316

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8\(39\).2.48-57](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8(39).2.48-57)

П.Г. Плешков, проф., канд. техн. наук, В.В. Зінзура, доц., канд. техн. наук,
С.П. Плешков, доц., канд. техн. наук, В.П. Солдатенко, доц., канд. техн. наук
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: vasiliyzinzura@gmail.com

Визначення оптимальної точки приєднання сонячної електростанції до електричної мережі методом комп'ютерного імітаційного моделювання

Метою даного дослідження є мінімізація негативного впливу сонячної електростанції на значення усталеного відхилення напруги та рівень втрат електроенергії шляхом визначення оптимального місця її приєднання до розподільної електричної мережі. В роботі для вирішення задачі оптимального розміщення відновлюваних джерел електроенергії в електричних мережах пропонується застосовувати метод комп'ютерного імітаційного моделювання. Розроблені комп'ютерні імітаційні моделі розподільної електричної мережі з сонячною електростанцією, які дали змогу визначити оптимальне місце приєднання сонячної електростанції виходячи із значень величини втрат потужності в елементах електричної мережі на рівень усталеного відхилення напруги. Результати комп'ютерного моделювання електричної мережі з сонячною електростанцією підтвердили необхідність врахування не лише значень усталеного відхилення напруги, але і величини втрат електричної енергії в елементах мережі в процесі вибору місця встановлення сонячної електростанції.

сонячна електростанція, комп'ютерне імітаційне моделювання, розподільна електрична мережа

Постановка проблеми. Сучасні електричні мережі України характеризуються наявністю в своєму складі значної частки відновлюваних джерел енергії. Зважаючи на кліматичні умови території нашої держави, найбільшого розповсюдження у вітчизняних електричних мережах набули сонячні електростанції (СЕС). В залежності від величини встановленої потужності СЕС відрізняються їх способи приєднання до електричної мережі. Так, СЕС великої потужності (вище 1 МВт) приєднуються до електричної мережі напругою 35 кВ, середньої потужності – переважно до розподільної мережі напругою 0,4 кВ або 10 кВ, а СЕС малої потужності приєднують на напругу 0,4 кВ. Це пов'язано з тим, що більша встановлена потужність генерації електроенергії вимагає більшої пропускної здатності електричних мереж, до яких вони приєднуються. Невиконання цих вимог призводить до ряду негативних наслідків експлуатації електричних мереж, а саме до збільшення втрат електроенергії та до понаднормативного збільшення значень усталеного відхилення напруги в точці приєднання СЕС до електричної мережі. Особливо гостро ця проблема стосується СЕС середньої потужності. Такі СЕС, як правило, встановлюють в розподільних електричних мережах підприємств з метою часткового покриття потреби в електроенергії. В такому випадку місце приєднання СЕС та електроспоживачів до мережі співпадають, і тому питання негативного впливу СЕС на рівень усталеного відхилення напруги на затискачах електроспоживачів є особливо актуальним.

© П.Г. Плешков, В.В. Зінзура, С.П. Плешков, В.П. Солдатенко, 2023

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботі [1] наведено результати досліджень з оптимального розміщення відновлюваних джерел енергії (в тому числі і СЕС) в розподільних електричних мережах з метою підвищення надійності їх роботи. Для вирішення даної задачі авторами запропоновано як аналітичні методики, так і методика, що базується на використанні методу Монте-Карло. Проте в даній роботі не розглядалось питання впливу встановлення СЕС в розподільних електричних мережах на якість електроенергії та на рівень втрат потужності в елементах мережі.

В роботі [2] авторами пропонується для вирішення задачі оптимального розміщення розосереджених джерел енергії в електричних мережах застосовувати оптимізаційний метод DBO. Результати моделювання, що викладені в даній роботі, показують, що при застосуванні запропонованої авторами методики спостерігається одночасне зниження втрат потужності та нормалізація режиму напруги. Проте, описаний авторами підхід до вирішення задачі є досить складним, і його доцільно застосовувати лише у випадку необхідності розміщення значної кількості відновлюваних джерел енергії в електричній мережі.

В роботі [3] авторами запропоновано гібридний підхід для оптимального розміщення відновлюваних джерел енергії в електричних мережах. Цей підхід полягає в суміщенні аналітичного методу та евристичного пошуку розміщення декількох відновлюваних джерел енергії в електричних мережах з метою зниження втрат потужності в її елементах. Проте, запропонований метод не враховує вплив встановлення відновлюваних джерел енергії на рівень напруги у вузлах електричної мережі.

В статті [4] для оптимального розміщення інтелектуальних фотоелектричних інверторів авторами пропонується застосовувати 2-х етапну стохастичну оптимізацію. Метою такої оптимізації є мінімізація витрат на модернізацію електричних мереж з відновлюваними джерелами енергії та забезпечення нормально допустимих значень відхилення напруги в них. Проте, в даній роботі не розглядався вплив встановлення сонячних електростанцій на рівень втрат потужності в електричній мережі.

В роботі [5] для вирішення задачі оптимізації розміщення відновлюваних джерел енергії пропонується застосовувати метод оптимізації рою частинок (PSO). Такий підхід дозволяє мінімізувати втрати активної потужності в елементах мережі та підвищити надійність її роботи. Недоліком такого підходу є його складність та неврахування впливу відновлюваних джерел енергії на рівні напруги в мережі.

В роботах [6, 7] пропонується досягти нормалізації режиму напруги в розподільних електричних мережах за рахунок удосконалення системи автоматичного керування сонячного інвертора. Недоліком такого підходу є неврахування впливу відновлюваних джерел енергії на рівень втрат потужності в мережі.

Постановка завдання. Метою роботи є мінімізація негативного впливу сонячної електростанції на значення усталеного відхилення напруги та рівень втрат електроенергії шляхом визначення оптимального місця її приєднання до розподільної електричної мережі.

Виклад основного матеріалу. На рис. 1 наведена схема системи електропостачання промислового підприємства, яка містить СЕС встановленою потужністю 200 кВт.

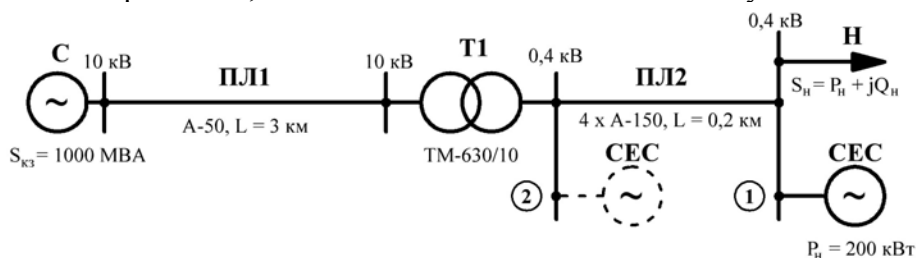


Рисунок 1 – Схема системи електропостачання підприємства з СЕС

Джерело: розроблено авторами

Як можна побачити з рис. 1, система електропостачання підприємства містить повітряну лінію ПЛ1 напругою 10 кВ, знижувальний силовий трансформатор 10/0,4 кВ марки ТМ-630/10, та повітряну лінію напругою 0,4 кВ, що відходить від шин низької напруги трансформаторної підстанції та живить навантаження Н.

Для даної мережі доцільно розглядати два варіанта приєднання СЕС:

- до точки приєднання електричного навантаження Н (точка 1 на рис. 1);
- до шин низької напруги трансформаторної підстанції (точка 2 на рис. 1).

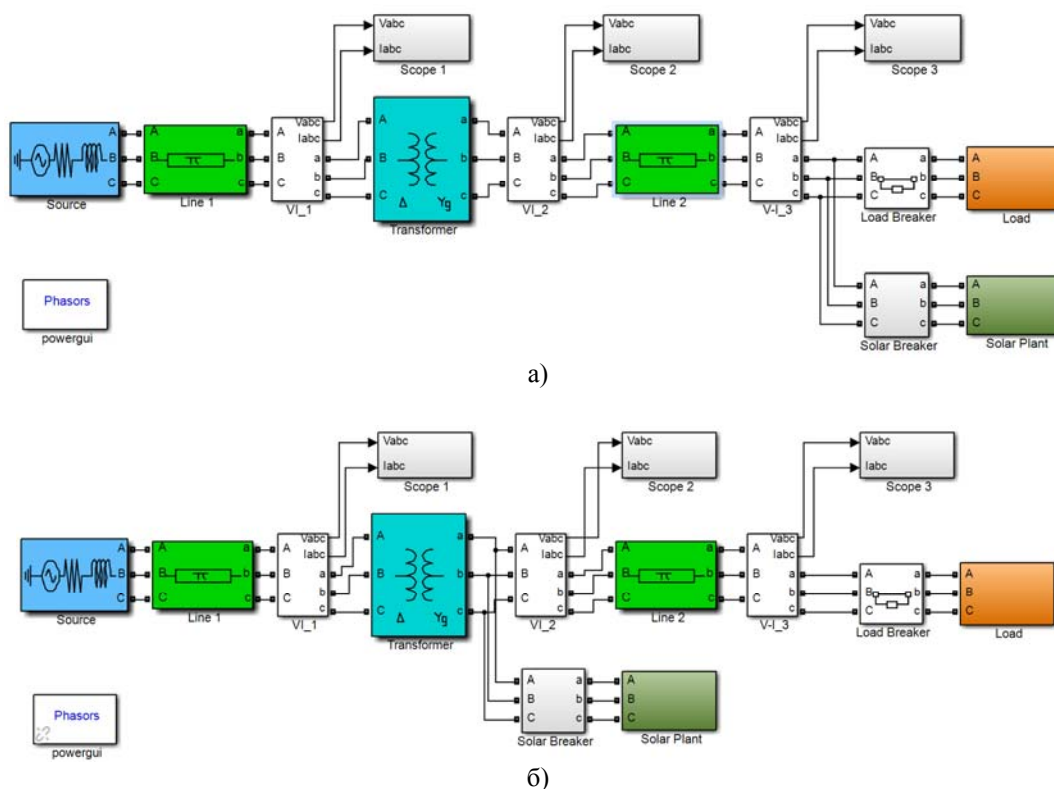
Слід зазначити, що варіант приєднання СЕС до т. 2 можливий лише за умови знаходження повітряної лінії ПЛ2 на балансі підприємства.

Для визначення оптимального місця приєднання СЕС до електричної мережі необхідно провести розрахунки параметрів режиму мережі для обох цих варіантів з метою визначення рівнів усталеного відхилення напруги та втрат активної потужності в елементах мережі. Ці розрахунки необхідно проводити з урахуванням добових графіків споживання електроенергії та графіків генерації електроенергії від СЕС. Зважаючи на це найбільш доцільним способом визначення зазначених параметрів режиму електричної мережі є комп'ютерне імітаційне моделювання.

Існує досить велика кількість програмних продуктів, які дозволяють здійснювати аналіз параметрів режиму електричної мережі з відновлюваними джерелами енергії: DIgSILENT PowerFactory [8], NEPLAN [9] та ін.

В даній роботі комп'ютерне імітаційне моделювання електричної мережі з СЕС здійснювалось в середовищі Matlab/Simulink із використанням пакету розширення SimPowerSystems [10].

На рис. 2 наведена узагальнена схема моделі Matlab/Simulink електричної мережі підприємства з СЕС.



а) підключення СЕС до т. 1; б) підключення СЕС до т. 2

Рисунок 2 – узагальнена схема моделі Matlab/Simulink електричної мережі підприємства з СЕС
Джерело: розроблено авторами

На рис. 2:

Source – модель електричної мережі;

Line1, Line2 – моделі повітряних ліній ПЛ1, ПЛ2 відповідно;

Transformer – модель силового трансформатора марки ТМ-630/10;

Load Breaker, Solar Breaker – моделі трифазних вимикачів, що комутують струм навантаження та струм СЕС відповідно;

Load – блок моделювання графіка електричного навантаження;

Solar Plant – модель СЕС;

VI_1, VI_2 і *VI_3* – моделі трифазних вимірювачів напруги і струму;

Scope 1, Scope 2 і *Scope 3* – блоки віртуальних осцилографів.

Схема блоку моделювання графіка електричного навантаження *Load* приведена на рис. 3.

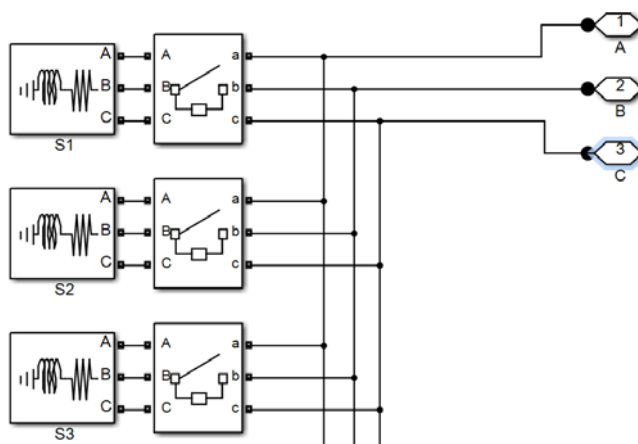


Рисунок 3 – Схема блоку моделювання графіка електричного навантаження Load

Джерело: розроблено авторами

Внутрішня структура блоку *Solar Plant* приведена на рис. 4.

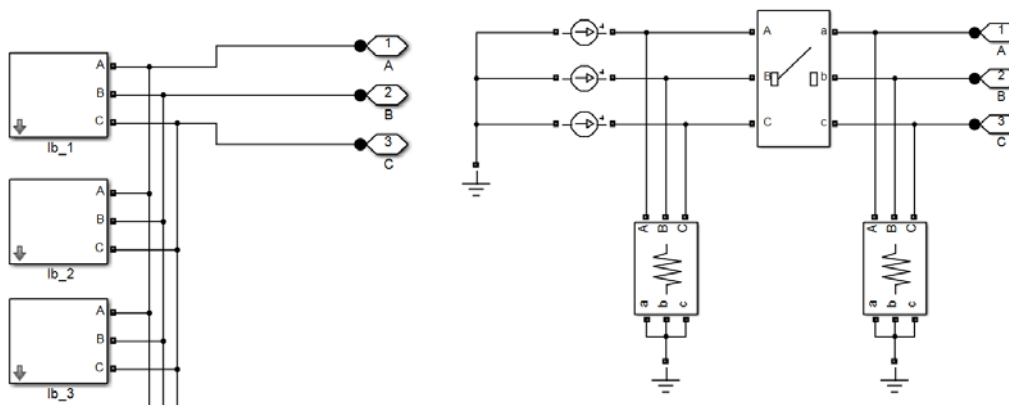


Рисунок 4 – Внутрішня структура блоку Solar Plant

Джерело: розроблено авторами

Слід відмітити, що наведені на рис. 3 і рис. 4 моделі мають таку структуру через відсутність в бібліотеці SimPowerSystems стандартних моделей електричного навантаження та генерації, що змінюється з часом. Зміна величини навантаження та генерації електроенергії моделювалась індивідуальним блоком навантаження та генерації для кожного з інтервалів усереднення, рівних 1 год.

Внутрішня структура блоків *Scope 1, Scope 2* і *Scope 3* показана на рис. 5.

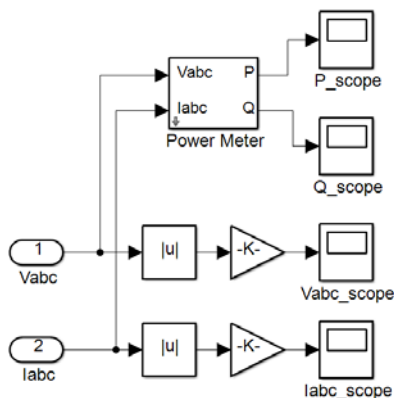


Рисунок 5 – Внутрішня структура блоків Score 1, Score 2 і Score 3

Джерело: розроблено авторами

Описана вище комп’ютерна модель дає змогу здійснювати аналіз параметрів режиму електричної мережі з СЕС.

Задачі аналізу режимів електричної мережі для визначення оптимального місця приєднання СЕС полягали в наступному:

- визначити вплив генерації СЕС на величини напруг для випадків приєднання СЕС до т. 1 та т. 2 мережі;
- провести аналіз величини втрат активної потужності в елементах електричної мережі для випадків приєднання СЕС до т. 1 та т. 2 мережі.

Результати комп’ютерного моделювання параметрів режиму електричної мережі з СЕС показані на рис. 6 – 10.

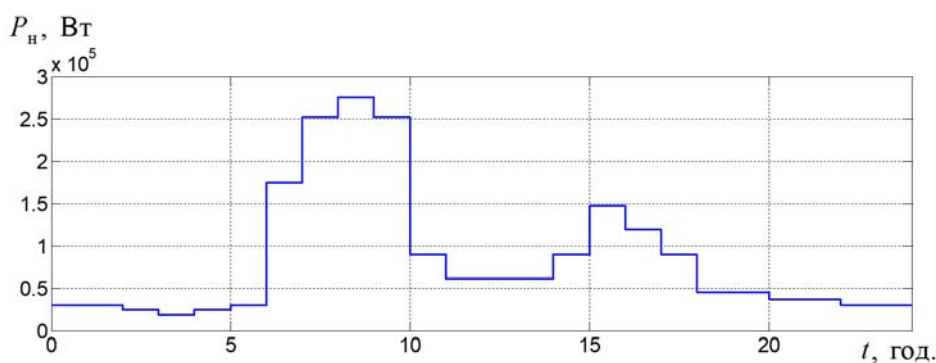


Рисунок 6 – Добовий графік активного навантаження

Джерело: розроблено авторами

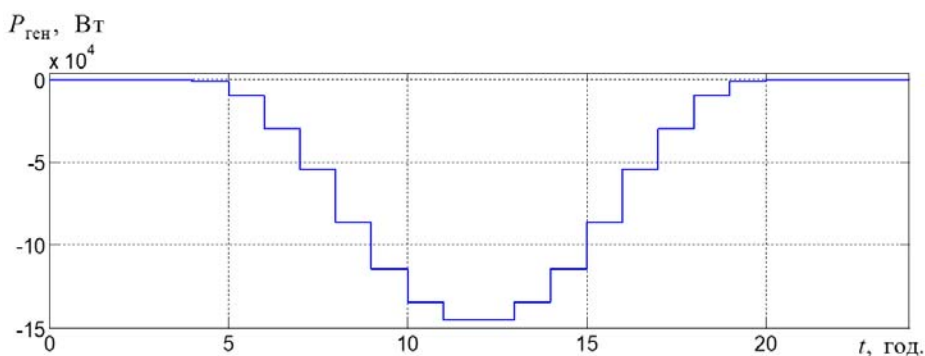
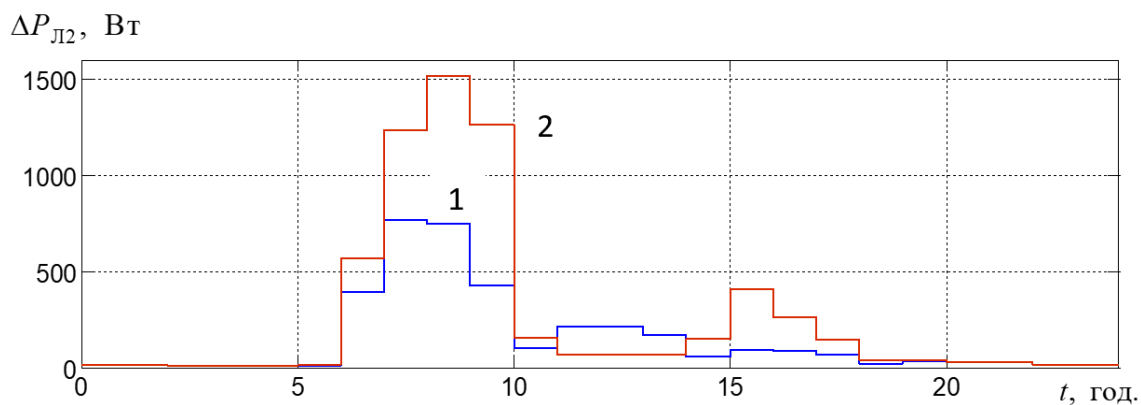


Рисунок 7 – Добовий графік генерації потужності СЕС

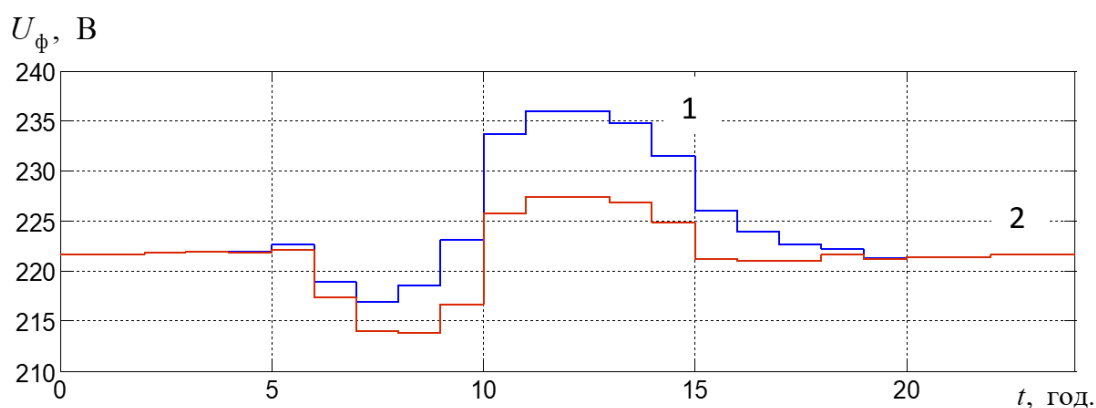
Джерело: розроблено авторами



1 – випадок приєднання СЕС до т. 1; 2 – випадок приєднання СЕС до т. 2

Рисунок 8 – Добовий графік зміни втрат активної потужності $\Delta P_{Л2}$ в лінії ПЛ2

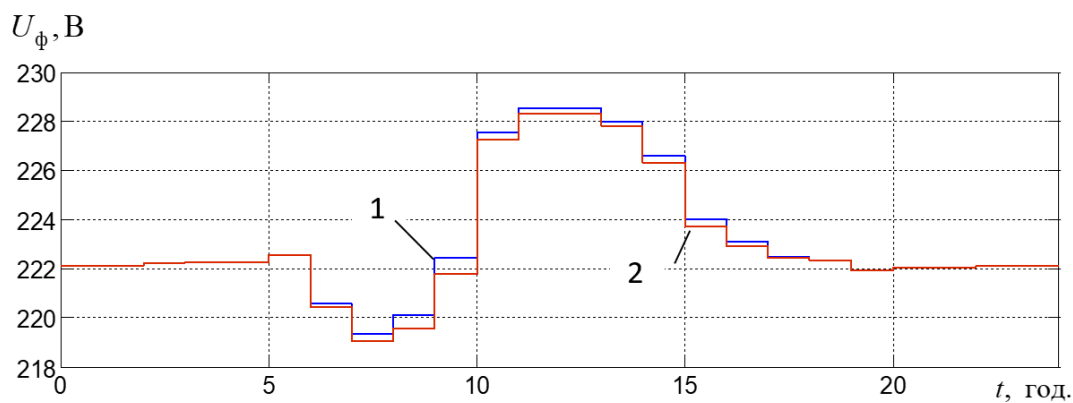
Джерело: розроблено авторами



1 – випадок приєднання СЕС до т. 1; 2 – випадок приєднання СЕС до т. 2

Рисунок 9 – Добовий графік зміни величини фазної напруги U_{ϕ} в т. 1 мережі

Джерело: розроблено авторами



1 – випадок приєднання СЕС до т. 1; 2 – випадок приєднання СЕС до т. 2

Рисунок 10 – Добовий графік зміни величини фазної напруги U_{ϕ} в т. 2 мережі:

Джерело: розроблено авторами

Результати обробки значень напруг в т. 1 і т. 2 мережі для варіантів приєднання СЕС до зазначених точок показані в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати обробки значень напруг в т. 1 і т. 2 мережі для варіантів приєднання СЕС до зазначених точок

Год.	Приєднання СЕС в т. 1				Приєднання СЕС в т. 2			
	$U_{\phi,1}$, В	ΔU_1 , %	$U_{\phi,2}$, В	ΔU_2 , %	$U_{\phi,1}$, В	ΔU_1 , %	$U_{\phi,2}$, В	ΔU_2 , %
1	221,65	0,749	222,1	0,957	221,63	0,741	222,12	0,963
2	221,7	0,771	222,11	0,958	221,63	0,743	222,14	0,971
3	221,85	0,839	222,28	1,034	221,84	0,835	222,26	1,026
4	222,09	0,951	222,31	1,05	222,03	0,925	222,36	1,07
5	222,06	0,936	222,35	1,067	221,91	0,867	222,3	1,047
6	222,78	1,266	222,66	1,21	222,2	0,999	222,66	1,208
7	218,97	-0,469	220,68	0,307	217,34	-1,211	220,48	0,217
8	216,96	-1,383	219,4	-0,271	214,08	-2,692	219,03	-0,441
9	218,52	-0,674	220,13	0,06	213,89	-2,776	219,64	-0,164
10	223,15	1,43	222,41	1,097	216,78	-1,466	221,86	0,843
11	233,78	6,264	227,51	3,416	225,86	2,666	227,37	3,351
12	236,08	7,31	228,57	3,893	227,32	3,329	228,4	3,817
13	236,07	7,305	228,54	3,882	227,35	3,342	228,34	3,792
14	234,84	6,745	228,01	3,639	226,88	3,126	227,88	3,583
15	231,6	5,271	226,61	3,006	224,83	2,197	226,32	2,872
16	226,07	2,758	224,02	1,827	221,11	0,502	223,71	1,686
17	223,97	1,804	223,16	1,437	220,99	0,451	222,97	1,351
18	222,65	1,205	222,59	1,177	221,07	0,486	222,47	1,125
19	222,3	1,043	222,35	1,068	221,61	0,732	222,35	1,067
20	221,31	0,597	221,98	0,901	221,22	0,552	222	0,909
21	221,52	0,689	222,06	0,935	221,55	0,703	222,09	0,949
22	221,5	0,682	222,1	0,955	221,56	0,708	222,01	0,914
23	221,6	0,729	222,1	0,956	221,62	0,735	222,11	0,96
24	221,67	0,761	222,15	0,978	221,62	0,738	222,13	0,969
M	224,33	1,968	223,3	1,5	221,58	0,717	223,2	1,454
P_i , %		0,793		1,0		1,0		1,0

Джерело: розроблено авторами

Результати обробки величин втрат потужності $\Delta P_{Л2}$ в повітряній лінії ПЛ2 для варіантів приєднання СЕС в т. 1 і т. 2 показані в табл. 2.

Таблиця 2 – Результати обробки величин втрат потужності $\Delta P_{Л2}$ в повітряній лінії ПЛ2 для варіантів приєднання СЕС в т. 1 і т. 2

Год.	Приєднання СЕС в т. 1			Приєднання СЕС в т. 2		
	$P_{т1}$, Вт	$P_{т2}$, Вт	$\Delta P_{ПЛ2}$, Вт	$P_{т1}$, Вт	$P_{т2}$, Вт	$\Delta P_{ПЛ2}$, Вт
1	2	3	4	5	6	7
1	30611,89	30628,01	16,12	30611,83	30628,68	16,85
2	30611,36	30628,58	17,22	30611,17	30628,13	16,96
3	24531,52	24542,76	11,24	24531,69	24542,80	11,12
4	18430,52	18436,22	5,70	18430,97	18436,24	5,27
5	23119,97	23129,88	9,92	24545,29	24556,21	10,92
6	20744,30	20751,51	7,21	30736,18	30752,28	16,10
7	147958,84	148347,09	388,25	176136,02	176701,12	565,10
8	206351,38	207121,11	769,74	255928,42	257160,05	1231,63
9	205567,22	206318,59	751,38	283765,80	285281,21	1515,41

Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5	6	7
10	157207,56	157634,75	427,20	262335,42	263597,75	1262,33
11	-36639,09	-36537,25	101,84	95194,58	95347,49	152,91
12	-78869,02	-78658,91	210,11	64376,39	64445,06	68,68
13	-78869,61	-78658,65	210,96	64376,53	64445,45	68,92
14	-68754,76	-68584,31	170,45	64097,26	64165,41	68,15
15	-17651,97	-17593,66	58,32	94406,43	94558,36	151,93
16	69100,21	69192,74	92,54	152090,15	152497,40	407,25
17	69027,60	69110,58	82,98	121482,32	121742,85	260,53
18	62170,53	62236,44	65,91	91190,35	91337,52	147,17
19	35943,63	35965,26	21,63	45899,06	45936,18	37,12
20	44321,72	44355,71	33,99	45740,18	45777,10	36,92
21	36669,17	36693,55	24,39	36669,32	36693,10	23,77
22	36669,55	36693,06	23,50	36669,60	36693,54	23,93
23	30611,84	30628,94	17,10	30611,41	30628,72	17,31
24	30611,26	30628,44	17,19	30611,98	30628,32	16,34
Σ	999475,61	1003010,46	3534,86	2111048,36	2117180,97	6132,60

Джерело: розроблено авторами

Як показали результати моделювання (табл. 1), для випадку приєднання СЕС до т. 1 мережі в деякий період часу мають місце понаднормові значення усталеного відхилення напруги. В результаті якість електроенергії щодо усталеного відхилення напруги виявляється незадовільною ($P_i(\Delta U_{\phi}) = 0,793 < 0,95$). А для випадку приєднання СЕС до т. 2 величина відхилення напруги задовольняє нормативним вимогам.

Але, як показали результати розрахунку втрат активної потужності (табл. 2), для випадку приєднання СЕС до т. 2 мережі величина втрат електроенергії в ПЛ2 виявилась більшою на 42 %.

Таким чином, можна зробити висновок про те, що оптимальним місцем підключення СЕС є т. 1 мережі, але за умови вжиття заходів з нормалізації значень усталеного відхилення напруги в мережі.

Висновки. В результаті проведених наукових досліджень можливо зробити наступні висновки:

1. Розроблена комп'ютерна імітаційна модель розподільної електричної мережі з сонячною електростанцією дозволяє проводити дослідження параметрів режиму мережі, в тому числі дозволяє визначати рівень втрат активної потужності в елементах мережі та рівні усталеного відхилення напруги.

2. Результати комп'ютерного моделювання електричної мережі підтвердили необхідність врахування не лише значень усталеного відхилення напруги, але і величини втрат електричної енергії в елементах мережі в процесі вибору місця встановлення сонячної електростанції.

Список літератури

1. Aderibigbe M., Adoghe A., Agbetuyi F., Airoboman A. (2021). A Review on Optimal Placement of Distributed Generators for Reliability Improvement on Distribution Network. IEEE PES/IAS PowerAfrica, Nairobi, Kenya, pp. 1-5. DOI: 10.1109/PowerAfrica52236.2021.9543266.
2. Khasanov, M., Kamel, S., Jurado, F., Kurbanov, A., and Jalilov, U. (2023) Photovoltaic-based Distributed Generation Allocation in Distribution Network for Energy Loss Minimization. *E3S Web of Conferences*. Vol. 434. DOI:10.1051/e3sconf/202343401015

3. Kansal S., Kumar V., Tyagi B. Hybrid approach for optimal placement of multiple DGs of multiple types in distribution networks. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2016. Vol. 75. P. 226-235 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2015.09.002>.
4. Chen M., Ma S., Soltani Z., Ayyanar R., Vittal V., Khorsand M. Optimal Placement of PV Smart Inverters With Volt-VAr Control in Electric Distribution Systems. *IEEE Systems Journal*. 2023. Vol. 17, No. 3. P. 3436-3446. DOI: 10.1109/JSYST.2023.3256121.
5. Salam I.U., Yousif M., Numan M., Zeb K., Billah M. Optimizing Distributed Generation Placement and Sizing in Distribution Systems: A Multi-Objective Analysis of Power Losses, Reliability, and Operational Constraints. *Energies*. 2023. Vol.16 (16). P. 5907. DOI: 10.3390/en16165907
6. Пleshkov П.Г., Гарасьова Н.Ю., Солдатенко В.П. Оптимальне керування режимом роботи комбінованої електроенергетичної системи з відновлюваними джерелами енергії. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ»*. Серія: Проблеми удосконалювання електричних машин і апаратів. Теорія і практика. 2018. №32 (1308). С. 64-70.
7. Plieshkov P., Soldatenko V., Zinzura V., Plieshkov S. Determining weight coefficients for an optimal system of control over electric energy generation in a combined electric power system. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 103, No 1/2020. P. 77 – 82. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.193362>.
8. Power systems analysis software DIgSILENT PowerFactory. – Режим доступу: http://www.digsilent.de/Software/DIGSILENT_PowerFactory/PFv14_Software.pdf.
9. Akintunde A., Owoicho O., Shomefun T., Olowoleni O., Ignatius O., Abdulkareem A. Power Quality Considerations for Distributed Generation Integration in the Nigerian Distribution Network Using NEPLAN Software. *International Journal of Energy Economics and Policy*. 2021. No. 11. P. 331-342. DOI:10.32479/ijeeep.11145
10. Perelmuter, V. *Advanced Simulation of Alternative Energy* (1st ed.). CRC Press. 2020. 314 p. DOI: <https://doi.org/10.1201/9780429324055>

References

1. Aderibigbe M., Adoghe A., Agbetuyi F., Airoboman A. (2021). A Review on Optimal Placement of Distributed Generators for Reliability Improvement on Distribution Network. IEEE PES/IAS PowerAfrica, Nairobi, Kenya, pp. 1-5. DOI: 10.1109/PowerAfrica52236.2021.9543266 [in English].
2. Khasanov, M., Kamel, S., Jurado, F., Kurbanov, A., and Jalilov, U. (2023) Photovoltaic-based Distributed Generation Allocation in Distribution Network for Energy Loss Minimization. *E3S Web of Conferences, Vol. 434*. DOI:10.1051/e3sconf/202343401015 [in English].
3. Kansal, S., Kumar, V. & Tyagi B. (2016). Hybrid approach for optimal placement of multiple DGs of multiple types in distribution networks. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 75*, P. 226-235 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2015.09.002> [in English].
4. Chen, M., Ma, S., Soltani, Z., Ayyanar, R., Vittal, V. & Khorsand M. (2023). Optimal Placement of PV Smart Inverters With Volt-VAr Control in Electric Distribution Systems. *IEEE Systems Journal, Vol. 17, No.3*, P. 3436-3446. DOI: 10.1109/JSYST.2023.3256121 [in English].
5. Salam I.U., Yousif M., Numan M., Zeb K., Billah M. (2023) Optimizing Distributed Generation Placement and Sizing in Distribution Systems: A Multi-Objective Analysis of Power Losses, Reliability, and Operational Constraints. *Energies*, vol.16 (16), 5907; DOI: 10.3390/en16165907 [in English].
6. Plieshkov, P.H., Haras'ova, N.Yu. & Soldatenko, V.P. (2018). Optymal'ne keruvannia rezhymom roboty kombinovanoi elektroenerhetychnoi systemy z vidnovliuvanymy dzherelamy enerhii [Optimal Control of the Work of the Hybrid Electric Energy System With Renevable Sources of Energy]. *Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu «KhPI»*. Serii: Problemy udoskonaliuvannia elektrychnykh mashyn i aparativ. Teoriia i praktyka - Bulletin of the National Technical University "KhPI". Collection of scientific works. Series: Problems of Improvement of Electric Machines and Apparatus, 32(1308), 64–70. DOI: 10.20998/2079-3944.2018.32 [in Ukrainian].
7. Plieshkov, P., Soldatenko, V., Zinzura, V. & Plieshkov S. (2020). Determining weight coefficients for an optimal system of control over electric energy generation in a combined electric power system. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Vol. 103, No 1/2020*, P. 77 – 82. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.193362> [in English].
8. Power systems analysis software DIgSILENT PowerFactory. Retrieved from: http://www.digsilent.de/Software/DIGSILENT_PowerFactory/PFv14_Software.pdf.
9. Akintunde, A. et al. (2021). Power Quality Considerations for Distributed Generation Integration in the Nigerian Distribution Network Using NEPLAN Software. *International Journal of Energy Economics and Policy, No. 11*, P. 331-342. DOI:10.32479/ijeeep.11145 [in English].

10. Perelmuter, V. (2020). *Advanced Simulation of Alternative Energy* (1st ed.). CRC Press. 314 p. DOI: <https://doi.org/10.1201/9780429324055> [in English].

Petro Plieshkov, Prof., PhD tech. sci., **Vasyl Zinzura**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Serhii Plieshkov**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Valentyn Soldatenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.
Central Ukrainian Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Determination of the optimal point of connection of the solar power plant to the electrical network by computer simulation

The purpose of this study is to minimize the negative impact of the solar power plant on the value of the steady voltage deviation and the level of electricity losses by determining the optimal place for its connection to the distribution network.

Currently, quite a large number of methods of optimal placement of renewable sources of electricity in electrical networks have been developed. However, most of them either do not fully take into account the multifunctional influence of renewable energy sources on the parameters of the electric network regime, or are quite difficult to use. In order to solve the problem of optimal placement of renewable sources of electricity in electric networks, it is proposed to use the method of computer simulation modeling. The essence of this method is to determine the optimal place for connecting a renewable energy source to the electrical network based on the analysis of the results of computer simulation modeling of network mode parameters. This approach is the most acceptable in the case of connecting a solar power plant of average power to the electrical network of an industrial enterprise. The developed computer simulation model of a distribution electric network with a solar power plant allows for the research of network mode parameters, including the determination of the level of active power loss in network elements and the level of steady voltage deviation. The specified computer simulation models of the distribution electric network with a solar power plant made it possible to determine the optimal place for connecting the solar power plant based on the values of power losses in the elements of the electric network at the level of the established voltage deviation.

The results of computer modeling of an electrical network with a solar power plant confirmed the need to take into account not only the values of the established voltage deviation, but also the amount of electrical energy losses in the network elements in the process of choosing a place to install a solar power plant.

The results of the research can be used in solving the problems of determining the place of connection of a medium-power solar power plant to the electrical network of an industrial enterprise.

solar power plant, computer modeling, distribution network

Одержано (Received) 23.10.2023

Прорецензовано (Reviewed) 27.11.2023

Прийнято до друку (Approved) 27.12.2023

УДК 621. 31:658.26

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8\(39\).2.57-64](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8(39).2.57-64)

В.В. Третяк, здобувач вищої освіти, **В.В. Яцун**, доц., канд. техн. наук, **К.Г. Петрова**, доц., канд. техн. наук, **І.В. Савеленко**, доц., канд. техн. наук, **А.І. Котиш**, доц., канд. техн. наук
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: kateflash27@gmail.com

Побудова моделі електроспоживання компресорної станції підприємства з виробництва молочної продукції

Робота присвячена створенню моделі електроспоживання компресорної станції підприємства з виробництва молочної продукції задля оцінювання фактичного рівня її енергоефективності. Розглянуті підходи до моделювання та аналізу електроспоживання на основі математичного моделювання та статистичних методів підтверджують актуальність й потенційну ефективність таких стратегій. Результати аналізу електричного балансу та використання методів статистичного аналізу, зокрема

© В.В. Третяк, В.В. Яцун, К.Г. Петрова, І.В. Савеленко, А.І. Котиш, 2023