

## ENERGETICS

**Лежнюк Петро Дем'янович**

доктор технічних наук, професор,  
завідувач кафедри електричних станцій і систем  
Вінницький національний технічний університет, Україна

**Прокопенко Ігор Олександрович**

аспірант кафедри електричних станцій і систем  
Вінницький національний технічний університет, Україна

### **ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ГЕНЕРУВАННЯ ВДЕ НА ПОКАЗНИКИ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ МЕРЕЖ ОПЕРАТОРІВ СИСТЕМ РОЗПОДІЛУ**

***Анотація.** В статті проаналізовано нормативні положення по оцінюванню якості електропостачання, що особливо важливо для операторів систем розподілу в умовах впровадження стимулюючого тарифоутворення. Визначено вплив приросту встановленої потужності ВДЕ на нормативний показник тривалості перерв в електропостачанні – SAIDI, а також проаналізовано зміну показника середньої тривалості відмов в електропостачанні (хв) від року та області. Проведено кореляційний аналіз для ряду операторів систем розподілу впливу генерування відновлювальних джерел енергії на SAIDI.  
**Ключові слова:** відновлювальні джерела енергії, електричні мережі, надійність, електропостачання, споживач електроенергії.*

#### **Постановка проблеми**

Згідно з затвердженою Методикою передбачається, що втрати електричної енергії у мережах операторів систем розподілу мають знизитися щонайменше на 1% на першому класі напруги та на 3,5% на другому класі напруги щорічно. Показник SAIDI (середня тривалість перерв у електропостачанні) повинен знизитися рівномірно протягом 13 років з 466 до 150 хвилин в міській місцевості та з 960 до 300 хвилин в сільській місцевості.

На сьогоднішній день, на показник SAIDI також впливає і приєднання відновлювальних джерел енергії (далі - ВДЕ) до електричних мереж. В ряді

робіт проаналізовано, яким чином впливає спосіб та місце приєднання електроустановок ВДЕ до електричних мереж на їх режимні характеристики - втрати потужності, рівні напруг [1,2,3], статичну та динамічну стійкість [4,5], а також надійність електропостачання [6]. Також було проаналізовано оцінювання стабільності генерування сонячних електростанцій у задачі забезпечення балансової надійності [7] та основних складових якості функціонування локальних електричних систем з різнотипними відновлювальними джерелами енергії [8].

У таблиці 1 наведені дані областей із найбільшою по Україні встановленою потужністю ВДЕ на період з 2013 по 2020 рік [1].

Таблиця 1

**Зміна встановленої потужності відновлювальних джерел енергії (МВт)  
від року та області**

Область/рік	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Вінницька	34,56	54,82	56,44	113,05	146,55	195,75	357,89	359,24
Дніпропетровська	13,76	13,76	17,75	21,65	68,63	384,28	1 112,76	1 155,03
Закарпатська	32,38	33,98	39,63	71,87	90,15	111,92	226,79	274,51
Запорізька	222,50	222,50	222,50	226,56	227,40	245,08	763,42	862,02
Кіровоградська	53,73	53,73	53,86	57,74	82,72	123,49	332,92	372,37
Миколаївська	123,72	177,12	177,12	219,97	255,42	284,03	857,31	925,26
Одеська	233,12	233,12	233,12	238,29	266,43	316,66	532,99	553,27
Херсонська	237,03	257,46	257,46	278,55	344,47	553,62	919,09	942,23

Логічно припустити, що в кожному з операторів систем розподілу, умови та одиничні потужності об'єктів ВДЕ, що приєднуються - різні, і визначити яким чином збільшення кількості та встановленої потужності впливає на надійність електропостачання споживачів є складною, техніко-економічною задачею.

У таблиці 2 наведено показники надійності (безперервності) електропостачання розраховані за формулою розрахункового показника якості послуг на перший рік переходу до стимулюючого регулювання, що враховує фактичні значення SAIDI компаній за останні 3 роки та

довгострокові цілі досягнення показників 150 хв для міської території й 300 хв для сільської території [2]. У таблиці використані фактичні значення SAIDI.

Таблиця 2

**Зміна показника середньої тривалості відмов в електропостачанні (хв)  
від року та області**

Область/Рік	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Вінницька	694,8	466	416,2	443,3	360,8	418,6	436,1	685
Дніпропетровська	433,1	657	991,2	777,7	656,8	797,7	626,1	402
Закарпатська	805,1	845	842,5	1014,3	1433,9	892,8	949	1072
Запорізька	75,8	71	97,1	754,3	420,3	614,5	529,3	517
Кіровоградська	1048,9	939	843,8	1185,4	1114,9	1253,1	1131	727
Миколаївська	966,7	1206	926,5	1106	940,8	828,9	1901.12	1901.11
Одеська	625,7	927	958,6	1953	1801	1362,7	1904.1	1168
Херсонська	519,2	1039	936,1	987,5	900,8	1004,8	1183	990

Відповідно до даних таблиць 1 та 2 побудовано графіки залежності встановленої потужності ВДЕ по областях до року введення (рис. 1а) та графік залежності SAIDI по областях до року введення (рис. 1б) відповідно.

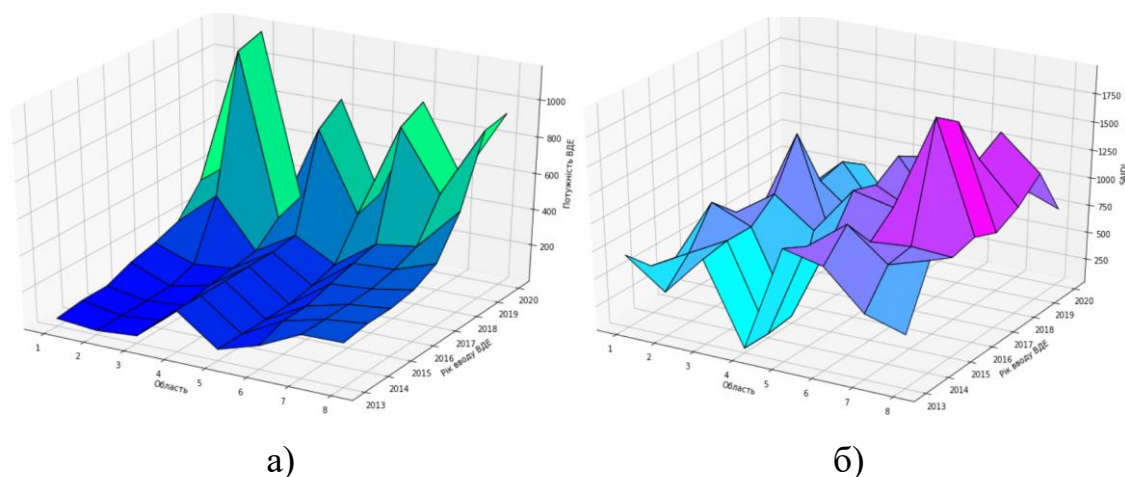


Рис. 1. а) - Приріст встановленої потужності ВДЕ по областях України в період з 2013 до 2020 рік, б) – Показник середньої тривалості відмов в електропостачанні (SAIDI), 1 - Вінницька, 2 - Дніпропетровська, 3 - Закарпатська, 4 - Запорізька, 5 - Кіровоградська, 6 - Миколаївська, 7 - Одеська, 8 - Херсонська області

На рисунку 1 можна чітко видно тенденцію швидкого росту введення потужностей ВДЕ починаючи з 2017 року. Оскільки ріст кількості та встановленої потужності ВДЕ, відбувався фактично після 2017 року, побудовано додатково два графіка по даним таблиці 1 з розділенням на періоди, а саме період 2013-2016 роки (рис. 2а) та 2017-2020 роки (рис. 2б).

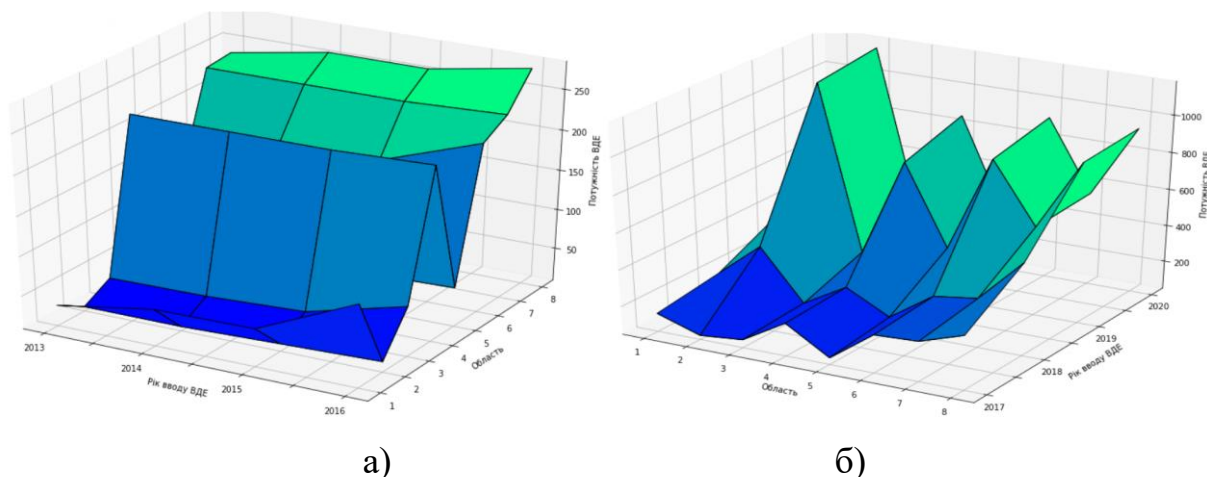


Рис. 2. а) - Приріст встановленої потужності ВДЕ по областях України в період з 2013 до 2016 рік, б) - в період з 2017 до 2020 рік, 1 - Вінницька, 2 - Дніпропетровська, 3 - Закарпатська, 4 - Запорізька, 5 - Кіровоградська, 6 - Миколаївська, 7 - Одеська, 8 - Херсонська області

На рисунках 3 графік залежності SAIDI по областях до року введення розбити на два періоди, а саме 2013-2016 роки (рис.3а) та 2017-2020 роки (рис.3б).

Проаналізувавши таблицю (1) можна чітко побачити, що з 2017 року почалось стрімке збільшення потужностей ВДЕ, тому було проведено розрахунок кореляції між встановленою потужністю та SAIDI в два періоди: 2013-2016 роки та 2017 - 2020 роки.

$$R_{P_{ВДЕ}, SAIDI} = \frac{\sum_{i=1}^m (P_{ВДЕi} - \overline{P_{ВДЕ}})(SAIDI_i - \overline{SAIDI})}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (P_{ВДЕi} - \overline{P_{ВДЕ}})^2 \sum_{i=1}^m (SAIDI_i - \overline{SAIDI})^2}} = \frac{\text{cov}(P_{ВДЕ}, SAIDI)}{\sqrt{S_{P_{ВДЕ}}^2 S_{SAIDI}^2}}, \quad (3)$$

де,  $\overline{P_{ВДЕ}}, \overline{SAIDI}$  - вибіркові середні встановленої потужності ВДЕ та SAIDI відповідно,  $S_{P_{ВДЕ}}^2, S_{SAIDI}^2$  - вибіркові дисперсії;  $R_{P_{ВДЕ}, SAIDI} \in [-1, 1]$ .

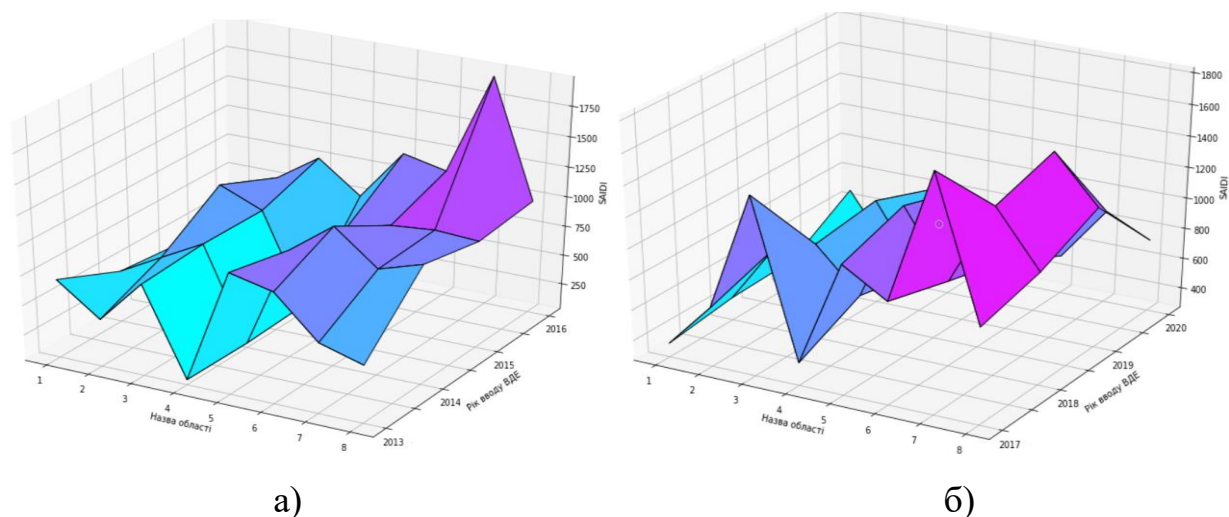


Рис. 3. а) - Щорічний показник середньої тривалості відмов (SAIDI) у хвилинах по областях України в період з 2013 до 2016 рік, б) в період з 2017 до 2020 рік, 1 - Вінницька, 2 - Дніпропетровська, 3 - Закарпатська, 4 - Запорізька, 5 - Кіровоградська, 6 - Миколаївська, 7 - Одеська, 8 - Херсонська області

Розрахунок кореляції наведений у таблиці 3. Завдяки наведеним даним можна спостерігати вплив збільшення потужностей ВДЕ на показник середньої тривалості відмов.

Таблиця 3

Розрахунок кореляції за періоди 2013-2016, 2017-2020 та 2013-2020 роки

Область	$R_{P_{ВДЕ},SAIDI}$ (2013–2016)	$R_{P_{ВДЕ},SAIDI}$ (2017–2020)	$R_{P_{ВДЕ},SAIDI}$ (2013–2020)
Вінницька	-0,5852	0,7091	0,121
Дніпропетровська	0,6044	-0,6634	0,199
Закарпатська	0,9874	-0,3979	0,263
Запорізька	0,9994	0,0553	0,331
Кіровоградська	0,806	-0,6886	-0,299
Миколаївська	0,4511	-0,9229	-0,809
Одеська	0,9657	-0,672	0,103
Херсонська	0,7972	0,7078	0,527

Особливо це добре видно на прикладі Дніпропетровської, Закарпатської, Миколаївської, Кіровоградської та Одеської областей саме в період 2017-2020

років, коли встановлена потужність в Україні почала швидко збільшуватись. Показник кореляції в даних областях складав менше 0, а отже ріст потужностей ВДЕ впливає на тривалість відмов в електропостачанні. В період 2013-2016 років ріст потужності ВДЕ в усіх областях був незначний, а отже практично не впливав на SAIDI в більшості областей (табл. 3). Оцінювання кореляційних залежностей показників росту потужностей генерування відновлювальних джерел енергії на території ведення господарської діяльності операторів систем розподілу АТ «Миколаївобленерго» та ПрАТ «Кіровоградобленерго», а також показника тривалості відмов в електропостачанні в період з 2013 по 2020 рік, дає можливість однозначно зробити висновок, що зі зростом генерування ВДЕ збільшується тривалість відмов в електропостачанні.

### **Висновки**

Джерела розосередженого генерування мають великий потенціал для підвищення енергоефективності розподільної електричної мережі. Однак конструкція системи розподілу і методи її роботи, як правило, на основі радіальних потоків потужності, створюють низку проблем для успішного впровадження розподілених джерел енергії.

В статті проаналізовано зміну показників SAIDI по ряду операторів систем розподілу, а також зміну встановленої потужності відновлювальних джерел енергії.

Визначено, що у період стрімкого зростання генерування ВДЕ, а саме 2017 рік по 2020, по ряду операторів систем розподілу збільшувався показників тривалості відмов в електропостачанні, про що свідчать показані коефіцієнти кореляції. Виходячи з цього, можна зробити висновок, щодо впливу ВДЕ на надійність електропостачання в зазначених ОСР.

### **Список джерел:**

1. Реєстр об'єктів електроенергетики (альтернативні джерела енергії)
2. Обґрунтування прийняття постанови НКРЕКП "Про затвердження Показників надійності (безперервності) електропостачання"

3. Lezhniuk. P.D. The influence of distributed power sources on active power loss in the microgrid // Petro Lezhniuk, Iryna Hunko, Sergiy Kravchuk, Paweł Komada, Konrad Gromaszek, Assel Mussabekova, Nursanat Askarova, Abenar Arman/ Przegląd Elektrotechniczny. – R. 93. – NR 3/2017. – P. 107–112. – ISSN 0033-2097. – doi:10.15199/48.2017.03.25
4. Oleksander B. Burykin, Juliya V. Malogulko, Yuriy V. Tomashevskiy, Paweł Komada, Nurbek A.Orshubekov, Mergul Kozhamberdiyeva, Azhar Sagymbekova - Optimization of the functioning of the renewable energy sources in the local electrical systems // Przegląd Elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, R. 93 NR 3. - 2017 p. 97-102
5. IEEE Standard 1366-2012, “IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices” (revision of IEEE Std. 1366 -2012)
6. Buslavets, O. Evaluation and increase of load capacity of on-load tap changing transformers for improvement of their regulating possibilities / O. Buslavets, P. Legnuk, O. Rubanenko // Eastern-European journal of enterprise technologies – 2015. – No. 2/8 (74). – P. 35-41. – doi: 10.15587/1729-4061.2015.39881
7. Стратегія енергозбереження в Україні: аналітично-довідкові матеріали : у 2-х т. / Національна академія наук України; Інститут газу НАН України; Інститут загальної енергетики НАН України; редколегія: Б. С. Стогній та ін. – К.: Академперіодика, 2006 – 529 с.
8. Лежнюк П. Д. Оцінювання стабільності генерування сонячних електростанцій у задачі забезпечення балансової надійності / П. Д. Лежнюк, В. О. Комар, С. В. Кравчук // Наукові праці ВНТУ. – № 2. – 2016. – С. 1-8. Режим доступу: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/471/469>
9. П. Д. Лежнюк, В. О. Комар, С. В. Кравчук, І. В. Котилко, та І. О. Прокопенко, «Оцінювання якості електропостачання в локальних електричних системах з різномісними відновлювальними джерелами енергії», Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка, Серія: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України, № 195, с. 23-25, 2018.
10. P. D Lezhniuk et al., Optimal integration of photoelectric stations in electric networks, monograph. LAP LAMBERT Academic Publishing. pp. 220, 2019, ISBN-13 - 978-620-0-08225-1.
11. Постанова НКРЕКП № 310 «Про затвердження кодексу систем розподілу» від 14.03.2018.
12. Постанова НКРЕКП № 309 «Про затвердження кодексу систем передачі» від 14.03.2018.