

12. Баренблатт Г.И. Математическая теория равновесных трещин, образующихся при хрупком разрушении. – ПМТФ, 1969. - № 4. - С. 3-56.
13. Фролов О.О. Використання ефекту зустрічі детонаційних хвиль для підсилення дії вибуху на рівні підшви уступу // Вісник НДУУ «КПІ» / Гірництво. – Київ: НГУУ «КПІ»: ЗАТ «Техновибух», 2002. – С.63-65.
14. Бичук В.Е. Результаты исследования характера распределения напряжений вокруг зарядов сложной конструкции // Совершенствование буровзрывных работ. М.: Недра, 1977. – С. 89-92.
15. Баранов Е.Г., Фролов В.П. Изыскание эффективной конструкции заряда ВВ // Цветная металлургия. – 1965. – № 22. – С. 23–26.
16. Бетин В.Д. Развитие детонации в скважинных зарядах с полыми цилиндрами // Разработка рудных месторождений. Научно-техн. сб. – Кривой Рог: изд-во КТУ, 2003. – Вып. 83. – С. 68-74.
17. Кашель Н.Я. Результаты промышленной проверки скважинных зарядов с воздушными промежутками / Н.Я. Кашель, П.И. Федоренко, С.Н. Кузьмич // Взрывное дело. – 1964. – № 54/11
- Рукопис подано до редакції 09.11.23

УДК 621.311

Т.М. БЕРІДЗЕ, д-р екон. наук, доц., І.В. КАСАТКІНА, канд. техн. наук, доц.  
Криворізький національний університет  
С.М. БОЙКО, канд.техн. наук, доц.  
Національний університет «Запорізька політехніка»

## ДОСЛІДЖЕННЯ КРИТЕРІЇВ ОЦІНЮВАННЯ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

**Мета.** Метою даної роботи є дослідження підходів щодо оцінки показників якості електричної енергії в розподільчих мережах промислових підприємств.

Впровадження сучасних потужних електротехнічних комплексів до систем електропостачання промислових підприємств змінює властивості енергосистеми. У той же час ефективне їх функціонування потребує виконання ряду вимог, пов'язаних із забезпеченням стійкості і надійності роботи, однією з таких вимог є рівень якості електричної енергії. Для досягнення поставленої мети проаналізовано основні показники якості електричної енергії та визначено найбільш значимі для розподільчих мереж промислових підприємств.

**Методи дослідження.** Для розв'язання поставлених задач і аналізу статистичних даних використано аналітичні методи – для дослідження рівнів відхилень електричної енергії у мережі промислового підприємства.

**Наукова новизна.** Вперше запропоновано методику аналізу рівня якості електричної енергії в розподільчих мережах промислових підприємств, за результатами якої запропоновано шляхи щодо підвищення рівня якості електричної енергії в електричних мережах до 1 кВ.

**Практична значимість.** За результатами проведених досліджень можна зробити висновок про те що, рівень напруги якісно впливає на показники якості електричної енергії розподільчих мереж промислових підприємств що підвищує ефективність функціонування їх електромеханічних комплексів та систем. Проведені дослідження підтвердили необхідність та склали підґрунтя для вирішення проблеми вибору відповідного рівня напруги розподільчих мереж, як до 660В і більше 1000В. Статистичний матеріал, який підтверджує наші висновки.

**Результати.** Впровадження сучасних систем та комплексів в системи технологічних процесів підприємств має базуватися на умовах щодо їх ефективного функціонування, основним з яких перед електрообладнанням постає якість електричної енергії в розподільчих мережах промислових підприємств.

Напруга 600 В має відчутні переваги на промислових підприємствах, серед яких підвищення надійності електропостачання та покращення якості напруги, що надасть можливість підвищити продуктивність промислових електричних машин і механізмів.

**Ключові слова:** система електропостачання, реконфігурація систем електропостачання, електропостачання, надійність електропостачання, якість електричної енергії.

doi: 10.31721/2306-5451-2023-1-57-121-127

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Впровадження сучасних потужних електротехнічних комплексів до систем електропостачання промислових підприємств змінює властивості енергосистеми. У той же час ефективне їх функціонування потребує виконання ряду вимог, пов'язаних із забезпеченням стійкості і надійності роботи, однією з таких вимог є рівень якості електричної енергії.

Якість електроенергії оцінюється рядом показників [1 - 3]. Стандартні значення кожного з показників не повинні бути перевищені з інтегральною ймовірністю

$P \leq 0,95$ . Для заданих меж зміна  $i$ -го показника остання вимога представляється у вигляді нерівності

$$P = X_{min} \leq [X_i \leq X_{max}] \leq 0,95,$$

де  $X$  – значення параметра  $i$ , який досліджується.

ДСТУ EN 50160:2014 встановлює допустимі значення межі показників.

Значний вплив на якість ЕЕ мають приймачі електричної енергії.

Найбільш поширення отримали шахтні струмоприймачі - асинхронні електродвигуни. При напрузі в ланкових розподільних мережах, відмінному від номінального, кратність максимального моменту  $b_i$ , визначається як

$$b_i = b_{ном} \frac{k_{ui}^2}{k_f^2},$$

$k_{ui}, k_f$  – кратність відповідно діючого значення напруги й частоти відносно номінальних значень;  $b_{ном}$  - кратність максимального перегрузочного моменту при  $M_{ном}$ .

Відхилення частоти визначається алгебраїчною різницею між фактичним і номінальним значенням частоти

$$\Delta f = f_{факт} - f_{ном} \quad \text{або} \quad \Delta f\% = \frac{f_{факт} - f_{ном}}{f_{ном}}.$$

Не приносячи значимість та необхідність досягнення в реаліях експлуатації електричних мереж залізрудних шахт всіх показників якості ЕЕ все ж зазначимо, що одним із головних режимних показників, які найбільш впливають на ефективність роботи шахтного електрообладнання є відхилення напруги [4].

**Аналіз досліджень і публікацій.** Сучасні підходи до модернізації промислових об'єктів змінюють енергетичні властивості розподільчих мереж промислових підприємств. Тож, дослідження ряду вчених вказують на необхідність контролю рівня якості електричної енергії в розподільчих мережах промислових підприємств [1-5].

Відомо, що реалізація такого підходу піднімає питання модернізації та реконфігурації досліджуваної енергосистеми [2]. Між тим, залишається до кінця не вирішеним питання ефективного, з позиції економічного та технічного ефекту, моніторингу та підтримання рівня якості електричної електроенергії як загального показника по підприємству, так і на всіх ділянках розподільчих мереж промислових підприємств [1-10].

**Постановка завдання.** Дослідження підходів щодо оцінки показників якості електричної енергії в розподільчих мережах промислових підприємств.

**Викладення матеріалу та результати.** Відхилення напруги  $\delta U$  відповідає різниці між фактичним  $U(t)$  й номінальним. Відповідний ДСТУ EN 50160:2014 встановлює допустимі межі  $\delta U_i$ , вони не повинні перевищувати межі – 5% - 10 % від  $U_{ном}$  для електродвигунів; для електричних ламп й прожекторів установок підвищення напруги не повинно перевищувати – 5%, а зниження не більше – 2. 5% для освітлення на промислових підприємствах.

Відхилення у мережі залежить від значення та характеру навантаження, параметрів мережі, прийнятої схеми внутрішньошахтних мереж електропередачі й інших факторів.

Норми на коливання напруги  $V_t$  встановлені відповідно гранично допустимої кількості коливань в одиницю часу, що обумовлено насамперед впливом напруги на роботу приладів, найбільш чутливих до коливання напруги

$$V_t = 1 + \frac{6}{n} = 1 + \frac{\Delta t}{10} \%,$$

де  $n$  – частота коливань в годину;  $\Delta t$  - середній інтервал між послідовними коливаннями, мин.

Кількісна оцінка  $V_t$  відповідно амплітудного значення визначається як

$$V_{t\%} = U_{нб} - U_{нм},$$

де  $U_{нб}, U_{нм}$  - відповідно найбільше й найменше значення (сусідні) діючі значення напруги в короткочасному процесі їх змін, %.

Важливим моментом, котрий ускладнює отримання вхідної інформації для оцінювання стану якості ЕЕ в умовах електричних мереж залізрудних шахт є значна і постійно мінлива протяжність цих мереж [5]. Це ускладнює збір інформації в підземних умовах ведення гірничих робіт. Тому суттєве значення має методика, що використовується задля отримання експериментальних даних. Слід зауважити, що при проведенні експериментальних вимірів доцільно визначати обсяг вибірки, який дозволяє отримати адекватні моделі. Встановити тривалість виробництва можна, застосовуючи вибірковий метод, який дозволяє з достатньою достовірністю визна-

чати характеристики генеральної сукупності за відбраною вибірковою відповідно до визначеного збільшення останньої.

Оцінювання вірності представлення генеральної сукупності визначається відповідною вибіркою, що заснована на взаємозв'язку кількості вимірювань  $n$ , середньо квадратичного відхилення  $\sigma_u$  та достовірності результатів  $\alpha$ . Достовірністю результатів можемо вважати довірчу ймовірність

$$\alpha = P | U - \varepsilon \leq U_i \leq U + \varepsilon |,$$

де  $\varepsilon$  – значення відносної похибки результатів вимірів.

З ймовірністю, близької до одиниці, при достатньо значному обсязі вимірів, що мають місце в умовах автоматичної реєстрації статистичними вольтметрами та обмеженої дисперсії генеральної сукупності. Різниця між вибірковою середньою  $\bar{U}$  і генеральною середньою  $\bar{U}$  буде скільки завгодно мала. Одночасно, при достатній кількості спостережень розподіл суми незалежних випадкових величин прагне до нормального розподілу ймовірностей. Це дозволяє з урахуванням значення  $\alpha$  оцінити значення кратності середньої помилки  $t_\alpha$ . Так при  $\alpha = 0,95$ ,  $t_\alpha = 1,96$ ; при  $\alpha = 0,997$ ,  $t_\alpha = 3$ .

Похибка методу статистичних випробувань визначається відповідно до виразу

$$\varepsilon = t_\alpha \frac{\bar{\sigma}_u}{\sqrt{n_B}}, \quad (1)$$

де  $\bar{\sigma}_u$  – середнє квадратичне відхилення вибіркової середньої величини напруги.

На основі приведеної залежності (1) визначається мінімальний обсяг вибірки, яка забезпечить необхідну точність

$$n_B = \frac{t_\alpha^2}{\varepsilon^2} \bar{\sigma}_u^2. \quad (2)$$

Комплексне оцінювання рівнів режиму напруги здійснюється шляхом розрахунку кількісних характеристик розподілу, на основі якого здійснюється вибір відповідних засобів регулювання й розробка заходів щодо підтримки напруги в нормативних межах. На основі отриманого статистичного матеріалу визначаються числові характеристики і параметри законів розподілу розподілення ймовірностей зміни напруги.

Однією із числових характеристик відхилень напруги  $\delta U_i$  є математичне сподівання  $\delta \bar{U}$ , що характеризує середню величину відхилення напруги  $U_{\text{ном}}$ . Математичне сподівання відповідає сумі добутків всіх можливих значень  $\delta U_i$  на відповідне значення їх ймовірностей

$$\delta \bar{U} = \sum_{i=1}^k \delta U_i P_i.$$

Якість напруги визначається також числовою характеристикою відповідно величини квадрату середньоквадратичного відхилення напруги за період часу  $T$ , яка називається неоднаковістю напруги

$$N = \sum_{i=1}^k (\delta U_i)^2 P_i.$$

За значеннями математичного сподівання й неординарності напруги визначається дисперсія  $D$ , яка характеризує розсіювання напруги навколо його середнього значення.

$$D = N - \delta \bar{U}^2$$

В першу чергу, після здійснення вимірів, розраховуються значення ймовірностей  $P_i$ ,  $\delta U_i$  в визначених межах. Відповідно до розрахованих значень  $P_i$ , будуються гістограми розподілу, що являють собою графічну форму варіаційного ряду розподілу.

На основі аналізу гістограм, а також інформації щодо характеру зміни напруги на шинах підстанцій визначається зона допустимих значень  $\delta \bar{U}$  протягом повного циклу зміни напруги. При цьому величина втрат напруги складає різниця  $\delta U_i$  на початку й наприкінці мереж електропередачі

$$\Delta U_t = \delta U_n - \delta U_k.$$

В реальних умовах отримані виміри й побудова гістограм демонструють відмінність кривих розподілу від нормальних. Таким чином, для отримання достатньо повного судження про закономірність зміни  $\delta U_i$  в діючих шахтних мережах необхідно визначати всі числові характеристики, які описують ту або іншу ознаку.

Для комплексних досліджень доцільно прийняти параметри моментів двох видів – початковий й центральний. Нами приведена характеристика  $\delta U_i$  є перший початковий момент  $m_1$ ; другий початковий момент  $m_2$  відповідає неоднаковості напруги.

Другий центральний момент

$$\alpha_2 = \sum_{i=1}^k (\delta U_i - m_1)^2 P_i = m_2 - m_1^2 = N - \delta \bar{U}^2.$$

Таким чином, другий центральний момент характеризує дисперсію випадкової величини  $\delta U_i$

$$\alpha_1 = D = N \cdot \delta \bar{U}^2.$$

Залежність між третім центральним й початковим моментами отримуємо із співвідношення

$$\alpha_3 = \sum_{i=1}^k (\delta U_i - m_1)^3 P_i = m_3 - 3N\delta \bar{U} - 2\delta \bar{U}^3.$$

Для кількісного оцінювання відмінності розподілу, що досліджується від нормального по основним моментам статистичного ряду розраховуються значення асиметрії й ексцесу. Коефіцієнт асиметрії  $A_s$  визначається через середнє квадратичне відхилення  $\sigma$

$$A_s = \frac{\alpha_3}{\sigma^3} = \frac{\sum (\delta U_i - m_1)^3 P_i}{\sigma^3} = \frac{m_3 - 3N\delta \bar{U} - 2\delta \bar{U}^3}{\sigma^3}.$$

Коефіцієнтом асиметрії  $A_s$  характеризується тіснота розміщення значень навколо  $\delta \bar{U}_i$ . Для розподілу  $A_s \geq 0$  (додатна асиметрія) найбільше число даних розподілу розташовано зліва від математичного сподівання; при  $A_s < 0$  (від'ємна асиметрія) - справа від  $\delta \bar{U}$ . асиметрія визначає міру зношеності кривої розподілу.

Четвертий центральний момент здійснює оцінювання крутості (гостровершинність) кривої розподілу. Кількісне значення виміру крутизни або ексцесу  $E_k$  визначається залежністю

$$E_k = \frac{\alpha_4}{\sigma^4} - 3 = \frac{\sum (\delta U_i - m_1)^4 P_i}{\sigma^4} - 3 = \frac{m_4 - m_3 \delta \bar{U} + 6N\delta \bar{U} - 3\delta \bar{U}^4}{\sigma^4} - 3.$$

При  $E_k \geq 0$  крива є гостро вершиною, при  $E_k < 0$  - плоско вершина в порівнянні із кривою нормального закону розподілу.

Визначення закону розподілу зміни напруги вузлу навантаження шахтної мережі здійснюється з використанням кривих Пірсона. Слід враховувати збереження практично незмінних параметрів перших чотирьох моментів статистичного розподілу й аналіз одномірних сукупностей шляхом вибору теоретичних розподілів, які найбільш часто зустрічаються і відповідних параметрів теоретичного ряду розподілу.

Проведені експериментальні дослідження в шахтних мережах, в межах електромережі однієї ступені трансформації, значення напруги змінюється в досить вузьких межах. Тому, вважаємо за доцільне використовувати не абсолютні значення напруги  $U_i$ , а параметри відхилень напруги  $\delta U_i$ , яке виражається в відсотках номінального значення. При цьому, слід обґрунтовано вважати номінальну напругу оптимальною.

Відхилення напруги, що відповідає різниці між фактичним (поточним) значенням напруги  $U(t)$  та його номінальним значенням для даної мережі  $U_{ном}$ , при швидкості зміни напруги менш ніж 1% в секунду, визначається як

$$\delta U_i = \frac{U(t) - U_{ном}}{U_{ном}} \%,$$

де  $U(t)$  – діюче значення між фазної напруги вузла навантаження.

Відхилення напруги при  $U(t) \geq U_{ном}$  приймають додатні значення, при

$$U(t) < U_{ном} - \text{від'ємні.}$$

Оцінювання показників якості напруги засновано на статичних даних, отриманих в процесі проведення експерименту. При проведенні експерименту були прийняті наступні допущення: відповідно до ДСТУ EN 50160:2014 найбільший діапазон відхилень напруги нормований на затисках електродвигунів та пристроїв для їх пуску і керування, тобто  $5\% \pm 10\%$  номінального.

З урахуванням після аварійних значень величини що досліджується, можемо прийняти загальну ширину діапазону  $U_{діап} = 20\% U_{ном}$ .

Звідси оптимальна ширина розряду становить

$$\Delta U_{раз} = \frac{\sum \Delta U_{діап}}{k_{\Sigma}} = 2,5\% \text{ від } U_{ном}.$$

Крива розподілу або закон розподілу – це залежність, що відображає щільність розподілу випадкової величини. Для практичних досліджень доцільно відобразити результати розрахунків у вигляді гістограми. Весь діапазон зміни випадкової величини розбивається на відповідний ряд розрядів; потім визначається ймовірність влучення випадкової величини в кожен із цих розрядів.

Обробка результатів вимірів міститься в наступному.

Визначається значення проміжної величини

$$\bar{A} = \frac{\sum_1^k n_i k_i}{n_{\Sigma}},$$

де  $n_i$  - кількість влучень в  $i$ -й розряд;  $k_i$  - номер інтервалу, од.;  $n_{\Sigma}$  - сума всіх можливих значень, од.

Дисперсія проміжної величини визначиться, як

$$D_{\bar{A}} = \frac{\sum_1^k n_i k_i^2}{n_{\Sigma}} - \bar{A}^2.$$

Математичне сподівання відхилень напруги по кожному циклу реалізації, що характеризує положення випадкової величини на числової осі (середнє значення), розраховується наступним чином

$$\overline{\delta U}_i = \delta U_0 + \Delta U \bar{A},$$

де  $\delta U_0$  - значення середини інтервалу при  $k_i=0$ ;  $\Delta U$  - ширина розряду.

Стандартне відхилення й дисперсія розподілу розраховуються як

$$\sigma_i = \Delta U \sqrt{D_{\bar{A}}} \quad D = \sigma_i^2.$$

Неоднаковість напруги

$$N = \sigma_i^2 + \delta \overline{U}_i^2 \quad N(\%)^2 = \frac{N100^2}{N_{\text{ном}}^2} (100\%)^2.$$

Експериментальні дослідження щодо визначення основних показників ефективності системи електропостачання ланки, яка переведена на підвищену напругу 660 В.

Результати досліджень надані в розрахунково-аналітичних табл.1, 2; рис. 1, 2.

Таблиця 1

Розрахунково-аналітична таблиця результатів замірів відхилень напруги підстанції «Північна», гор. -1390 ш. «Козацька», (зрушення діапазону - 3,75%). Початок ланки

Дата/ лічильник	1	2	3	4	5	6	7	8
15.06.2021	6739	2125	1331	0657	9603	5093	2580	9078
15.06.2021	6739	2125	1331	0681	7647	6567	2580	9078
$\Delta$				24	1956	1474		
20.06.2021	6740	2175	1331	0769	9087	8712	2580	9078
$\Delta$	1	50		88	1440	2145		
21.06.2021	6740	2183	1331	0769	6422	9417	2580	9078
$\Delta$	0	8			7335	705		
22.06.2021	6741	2187	1331	0769	3756	0509	2580	9078
$\Delta$	1	4			7334	1092		
23.06.2021	6741	2188	1331	0890	2004	1230	2580	9078
$\Delta$		1		121	8248	721		
24.06.2021	6741	2188	1331	0991	0026	2082	2580	9078
$\Delta$				101	8022	852		
27.06.2021	6741	2190	1331	1006	539	9223	2586	9078
$\Delta$		2		15	513	7141	6	
28.06.2021	6741	2193	1331	1006	2931	5597	2736	9080
$\Delta$		3			2392	6374	150	2
29.06.2021	6742	2197	1331	1006	5720	1573	2832	9080
$\Delta$		4			2789	5976	96	
30.06.2021	6742	2197	1331	1006	7133	9284	2837	9080
$\Delta$					1413	7711	5	
Сума $\sum n_{\Delta}$	2	72	0	349	471442	34191	257	2
Значення $K_i$	-2	-1	0	1	2	3	4	5

Сума усіх можливих значень  $\Delta$ ,  $n_{\Sigma} = 76315$  од.

Нумерація  $K_i$  здійснюється з урахуванням здвигу діапазону в сторону додатних та від'ємних номерів. Розраховуємо проміжну величину

$$\bar{A} = 2,35.$$

Дисперсія

$$D_{\bar{A}} = 0,262.$$

Математичне сподівання напруги

$$\delta \overline{U} = \delta U_0 + \Delta U \bar{A} = 14,25 \text{ В.}$$

Стандартне відхилення напруги

$$\sigma = \Delta U \sqrt{D_{\bar{A}}} = 2,56 \text{ В.}$$

Неоднаковість напруги

$$N = \sigma_i^2 + \delta \overline{U}_i^2 = 209,6 \text{ В}^2.$$

## Відхилення напруги

$$\delta U = 6,58\% \text{ від } U_{\text{ном.}}$$

Таблиця 2

Розрахунково-аналітична таблиця результатів замірів відхилень напруги підстанції «Північна», гор. –1390 ш. «Казацька» (зрушення діапазону – 3,75%). Кінець ланки

Дата/ лічильник	1	2	3	4	5	6	7	8
21.06.2021	6740	2183	1331	0769	6422	8908	2580	9078
22.06.2021	6741	2187	1331	0769	3756	0509	2580	9078
Δ	1	4			7334	1092		
23.06.2021	6741	2188	1331	0890	2004	8712	2580	9078
Δ		1		121	8248	2145		
24.06.2021	6741	2188	1331	0991	0026	9417	2580	9078
Δ				101	8022	705		
27.06.2021	6741	2190	1331	1006	0539	0509	2580	9078
Δ		2		15	513	1092		
28.06.2021	6741	2193	1331	1006	2931	1230	2580	9078
Δ		3			2392	721		
29.06.2021	6742	2197	1331	1006	5720	2082	2580	9078
Δ		4			2789	852		
30.06.2021	6742	2197	1331	1006	7133	9223	2586	9078
Δ					1413	7141	6	
Сума $\sum n_{\Delta}$	1	14		237	23377,00	12656,00	6,00	
Значення Кі	-2	-1	0	1	2	3	4	5



**Рис. 1.** Розподіл відхилень напруги підстанції «Північна», гор. – 1390 ш. «Казацька», (зрушення діапазону – 3,75%). Початок ланки

Сума усіх можливих значень  $\Delta$ ,  $n_{\Sigma} = 36292$  од.

Нумерація Кі здійснюється з урахуванням здвигу діапазону в сторону додатних та від'ємних номерів. Розраховуємо проміжну величину

$$\bar{A} = 2,49.$$

Дисперсія

$$D_{\bar{A}} = 0,284.$$

Математичне сподівання напруги

$$\delta \bar{U} = \delta U_0 + \Delta U \bar{A} = 14,25 \text{ В}$$

Стандартне відхилення напруги

$$\sigma = \Delta U \sqrt{D_{\bar{A}}} = 2,66 \text{ В.}$$

Неоднаковість напруги

$$N = \sigma_i^2 + \delta \bar{U}_i^2 = 230,57 \text{ В}^2;$$

$$N(\%)^2 = 47,63 (\%)^2.$$

Відхилення напруги

$$\delta U = 6,9\% \text{ від } U_{\text{ном.}}$$

Аналіз табличної розрахунково-аналітичної інформації та візуальний аналіз графічного представлення отриманих результатів дають підстави стверджувати, що відхилення напруги уповдовж всієї мережі змінюються в допустимих межах. При цьому мають місце від'ємні значення  $\delta U$ . Однак, якість напруги на конкретному приєднанні мають не значний розкид параметрів (близько 5%  $U_{\text{ном.}}$ ).

Зсув параметрів напруги в область від'ємних значень вказує на необхідність централізованого регулювання процесу електропостачання - електроспоживання. Тобто розподіл сформований переважно за рахунок величини математичного сподівання  $\delta U_i$ , при відносно не значній



**Рис. 2.** Розподіл відхилень напруги підстанції «Північна», гор. –1390 ш. «Казацька», (зрушення діапазону – 3,75%). На кінці ланки

зміни значення величини дисперсії. Тому, вважаємо за доцільне акцентувати увагу на тому, що виправлення значень математичного сподівання, пов'язане з технічними рішеннями, значно дешевше порівняно зі штучним зменшенням дисперсії. Зауважимо, значення величини дисперсії пов'язано з витратами на реконструкцію мереж.

Таким чином, вочевидь, що в цілому існуючий рівень напруги протягом 5 – 6 діб характеризується відносною стаціонарністю процесу та знаходиться в межах  $2,5 \div 7,5\%$  від Уном. Проте для повного пояснення оцінювання цих висновків потребується конкретизація з математичним наближенням до реальності.

Проведені дослідження підтвердили необхідність та склали підґрунтя для вирішення проблеми вибору відповідного рівня напруги розподільчих мереж, як до 660В і більше 1000В. Статистичний матеріал, який підтверджує наші висновки, надано в додатках.

Вважаємо, що вирішення такої проблеми дозволить в повному обсязі й на довгий період забезпечити якісне електропостачання високопродуктивних машин і механізмів з урахуванням підвищення потужності електроприводу. Тому вирішення завдання переведення шахтних мереж ланок з напругою 380 В на підвищену напругу 660 В є, на нашу думку, складовою загальною проблемою підвищення ефективності системи електропостачання залізничних шахт.

Економічність використання напруги 660В визначається практично однаковою вартістю трьох фазних двигунів й апаратури управління при 380 В і 660 В. Разом з тим пропускна здатність мережі при нарузі 660 В зростає в  $\sqrt{3}$  рази. Втрати електроенергії зменшуються в 3 рази при однаковій витраті кольорових металів.

Поряд із зменшенням втрат в електричних мережах до 1000 В, напруга 660 В має істотні переваги. Крім економічних переваг, переклад мереж ланок на підвищені рівні напруги має і технічні аспекти. Серед яких спрощення схем, підвищення надійності електропостачання, покращення якості напруги. Формується перспектива розвитку електроприводу гірничого обладнання, що в кінцевому підсумку надасть можливість підвищити продуктивність гірничих машин і механізмів.

Подальші дослідження мають на меті означити технічні напрями реалізації проведеного аналізу.

**Висновки та напрямки подальших досліджень.** Впровадження сучасних систем та комплексів в системи технологічних процесів підприємств має базуватися на умовах щодо їх ефективного функціонування, основним з яких перед електрообладнанням постає якість електричної енергії в розподільчих мережах промислових підприємств.

Напруга 600 В має відчутні переваги на промислових підприємствах, серед яких підвищення надійності електропостачання та покращення якості напруги, що надасть можливість підвищити продуктивність промислових електричних машин і механізмів.

### Список літератури

1. Енергоефективність та відновлювальні джерела енергії / Під заг. ред. **А. К. Шидловського**. – К.: Українські енциклопедичні знання, 2007 – 560 с.
2. **Бойко С.М.** Теоретичні засади формування електроенергетичних систем з джерелами розосередженої генерації гірничорудних підприємств. Монографія, під редакцією доктора техн. наук, професора **О.М. Сінчука**. – Кременчук, 2020. – 263с.
3. **Бойко С.М., Касаткіна І.В., Данілін О.В.** Вплив на якість електричної енергії впровадження джерел розосередженої генерації Вісник Криворізького національного Університету Збірник наукових праць Випуск 54 – Кривий Ріг, 2022. – С. 37-41.
4. **Akagi, H.** Active harmonic filters / Proceedings of the IEEE, vol. 93, no. 12, December 2005, pp. 2128-2141.
5. **Stognii B., Kyrylenko O., Prakhovnyk A., Denysiuk S.** The evolution of intelligent electrical networks and their prospects in Ukraine // Tekhnichna elektrodynamika. – 2012. – № 5. – pp. 52–67.
6. **Кириленко, В.В. Павловський, Л.М. Лук'яненко.** Технічні аспекти впровадження джерел розподільної генерації в електричних мережах. – Технічна електродинаміка. 2011. № 1. – С. 46-53
7. **Жежеленко І.В., Саенко Ю.Л.** Качество электроэнергии на промышленных предприятиях. – М.: Энергоатомиздат, 2005. – 261 с.
8. **Papaika Y.** Normalization of voltage quality as the way to ensure energy saving in power supply systems / **G. Pivnyak, I. Zhezhelenko, Y. Papaika** // CRC Press/Balkema – Taylor & Francis Group: Power Engineering Control and Information Technologies in Geotechnical Systems. – Leiden, The Netherlands, 2013 annual publication. – P. 11-18.
9. Аналіз споживання електроенергії з контролем якості в розподільних мережах / **О. Г. Гриб, Ю. О. Сиротин, Д. А. Гапон, А. В. Дяченко, Т. С. Иерусалимова, О. В. Бортніков** // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Технічні науки. – Харків : ХНТУГС, 2015. – С. 9–10.
10. **Janik P.** Photovoltaic Power Generation Assessment Based on Advanced Signal Processing and Optimisation Techniques. Wrocław: Publishing house of Wrocław University of Science and Technology Wrocław, 2014

Рукопис подано до редакції 10.11.23