

*Я. С. БЕДЕРАК, О. Г. ГРИБ, І. Т. КАРПАЛЮК, О. В. ДЯЧЕНКО, Н. С. ЗАХАРЕНКО*

### ЕКОНОМІЧНІ ЗБИТКИ ВІД НИЗЬКОЇ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Розглядаються проблеми підтримання якісних показників електричної енергії і, зокрема, провали напруги, а також наслідки провалів напруги у електричних мережах промислових підприємств. Наведено класифікацію електроприймачів за критичними ділянками з чутливості до провалів напруги. Описані основні заходи із запобігання технічним наслідкам впливу провалів напруги. Для забезпечення прогнозованого функціонування систем захисту необхідно проводити аналіз та готувати заходи щодо покращення якості електроенергії. Для цього успішно можуть використовуватися реєстратори з високим класом точності, вимірювання мають проводитися в характерних точках мережі, в центрах живлення, в точках загального приєднання споживачів. Наслідки від провалів напруги були розподілені за економічним збитком на підприємствах. Без загального урахування збитків від низької якості електроенергії неможливо коректно підрахувати економічний ефект від підвищення надійності технічних систем як при проектуванні, так і в експлуатації. Тому запропоновано використовувати контекстуальні фактори енергетичної ефективності. Звідси отримано підхід до вибору заходів захисту від провалів напруг, що потребує урахування перевірки економічної ефективності технічних заходів. Таким чином, для вибору будь-якого з заходів захисту від провалів напруг, спочатку необхідно проаналізувати статистичні дані, розібратися з причиною відключення обладнання, а потім прийняти технічно і економічно обґрунтоване рішення щодо підвищення надійності електропостачання. Не виключено, що найбільш просте та ефективне рішення щодо захисту від провалів напруги може виявитися не в електричній, а в технологічній частині або в системі контрольно-вимірювальних приладів.

**Ключові слова:** електрична енергія, показник якості електроенергії, провали напруги, наслідки від провалів напруги, економічні збитки, ефективне рішення, економічний ефект.

*Я. С. БЕДЕРАК, О. Г. ГРИБ, И. Т. КАРПАЛЮК, А. В. ДЯЧЕНКО, Н. С. ЗАХАРЕНКО*

### ЭКОНОМИЧЕСКИЕ УЩЕРБЫ ОТ НИЗКОГО КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Рассматриваются проблемы поддержания качественных показателей электрической энергии и, в частности, провалов напряжения, а также последствия провалов напряжения в электрических сетях промышленных предприятий. Приведена классификация электроприемников по критическим участкам по чувствительности к провалам напряжения. Описаны основные меры по предотвращению технических последствий влияния провалов напряжения. Для обеспечения прогнозируемого функционирования систем защиты необходимо проводить анализ и готовить меры по улучшению качества электроэнергии. Для этого успешно могут использоваться регистраторы с высоким классом точности, измерения должны производиться в характерных точках сети, центрах питания, в точках общего присоединения потребителей. Последствия от провалов напряжения были распределены по экономическому ущербу на предприятиях. Без общего учета ущерба от низкого качества электроэнергии невозможно корректно подсчитать экономический эффект от повышения надежности технических систем как при проектировании, так и в эксплуатации. Поэтому предлагается использовать контекстуальные факторы энергетической эффективности. Отсюда получен подход к выбору мер защиты от провалов напряжений, который требует учета проверки экономической эффективности технических мер. Таким образом, для выбора любой из мер защиты от провалов напряжений сначала необходимо проанализировать статистические данные, разобраться с причиной отключения оборудования, а затем принять технически и экономически обоснованное решение по повышению надежности электроснабжения. Не исключено, что наиболее простое и эффективное решение защиты от провалов напряжения может оказаться не в электрической, а в технологической части или в системе контрольно-измерительных приборов.

**Ключевые слова:** электрическая энергия, показатель качества электроэнергии, провалы напряжения, последствия от провалов напряжения, экономический ущерб.

*Y. S. BEDERAK, O. G. GRIB, I. T. KARPALIUK, O. V. DIACHENKO, N. S. ZAKHARENKO*

### ECONOMIC DAMAGES FROM LOW-QUALITY ELECTRIC ENERGY

The problems of maintaining the quality indicators of electrical energy and, in particular, voltage dips as well as the consequences of voltage dips in electrical networks of industrial enterprises are considered. A classification of electrical consumers according to their sensitivity to voltage dips in critical areas is given. The main measures to prevent technical consequences of voltage dips are described. In order to ensure predictable operation of protection systems, it is necessary to analyse and prepare measures to improve power quality. To this end, high accuracy class recorders can be successfully used and measurements should be made at characteristic points of the network, power centres and at the common connection points of consumers. The consequences of voltage dips have been allocated to economic damage at companies. Without a general account of the damage caused by poor power quality, it is not possible to correctly calculate the economic effect of improving the reliability of technical systems, both in design and in operation. Therefore, it is proposed to use contextual factors of energy efficiency. Hence, an approach to the selection of surge protection measures is derived which requires consideration of the cost-benefit test of the technical measures. Thus, in order to select any of the surge protection measures, it is first necessary to analyse the statistical data, to understand the cause of the equipment outage and then to make a technically and economically sound decision to improve the reliability of the electricity supply. It is possible that the simplest and most effective solution for surge protection may not be in the electrical part but in the process or instrumentation system.

**Keywords:** electrical energy, power quality indicator, voltage dips, consequences of voltage dips, economic damage.

**Постановка проблеми:** Наслідками провалів напруги у мережах промислових підприємств є вихід відповідального обладнання з ладу, розлад технологічних процесів, брак продукції, зниження її якості, недовипуск продукції.

Вплив провалів напруги перебіг технологічного процесу великою мірою залежить від його характеру. Особливо відчутний вплив провали напруги надають так звані «безперервні технологічні процеси» в хімії, нафтохімії, нафтопереробці, машинобудуванні та

© Я. С. Бедерак, О. Г. Гриб, І. Т. Карпалюк, О. В. Дяченко, Н. С. Захаренко, 2021

інших галузях. Такі технологічні процеси для зупинки та повторного пуску вимагають тривалого часу – від кількох годин до кількох діб. Складний технологічний ланцюжок випуску продукції на таких виробництвах зазвичай включає безліч апаратів, у кожному з яких технологічний процес відбувається при певних значеннях температури, тиску, при певних об'ємних або вагових співвідношеннях реагентів, що беруть участь.

Провали напруги є показниками якості електроенергії, що найчастіше зустрічаються, які впливають на роботу промислового обладнання. Як показує накопичена статистика, за рік відбувається 25–30 зупинок виробництва через провали і 2–3 зупинки через відключення [1].

Промислове обладнання вразливе до провалів і результат дії внаслідок провалів може бути не тільки в припиненні роботи обладнання, а наприклад і в так званому «зависанні» і це може статися навіть під час автоматичного швидкодіючого перемикачів з основного на резервне джерело живлення. До того ж обладнання із потужними силовими трансформаторами живлення можуть мати значні пускові струми, що виникають внаслідок зникнення та подальшого відновлення живлення. В такому разі автоматичні вимикачі спрацьовують на відключення такого пристрою електромагнітним розчіплювачем. Такі явища характерні для потужних зарядних пристроїв і іншого обладнання із переважною індуктивною складовою навантаження. Що можна спостерігати в колах власних потреб підстанцій де навіть одиночні провали напруги тривалістю понад 200 мілісекунд призводять до багаторазового спрацьовування на відключення та увімкнення електромагнітних контакторів.

Устаткування для обробки цифрових даних дуже чутливе до провалів напруги, оскільки ця подія може призвести і до втрати даних, і знижує загальну ефективність системи обробки цифрових даних [2–4].

**Класифікація електроприймачів на критичні ділянки з чутливості до провалів напруги.** Устаткування загального призначення, менш чутливе до якості електроенергії в порівнянні з іншими видами електроприймачів, може працювати без збоїв при глибині провалів до 60 %. 0,5 с.

Обладнання можна розподілити за чутливістю до провалів. При такому розподілі найчутливішими можна вважати двигуни з електронним управлінням зокрема такі що підключені до електронних перетворювачів енергії, до яких можна віднести блоки живлення комп'ютерної техніки. Тому різноманітну комп'ютерну техніку також можна віднести до обладнання чутливого до провалів напруги. Величини провалів до якого чутливе таке обладнання становить близько 10% тривалістю менше 0,05. Зазначені величини значно підвищують вимоги до якості електропостачання [5]. За даними Інституту дослідження електроенергетики США (Electric Power Research Institute (EPRI)) розрізняють сім видів

електроприймачів за ступенем чутливості до провалів напруги:

- реле захисту;
- контактори;
- джерела постійного струму (блоки живлення персональних комп'ютерів, контролери);
- трифазні джерела живлення;
- вакуумні насоси;
- турбонасоси;
- електроприводи змінного струму.

Якщо обладнання більш чутливе до провалів напруги, то частота зупинок буде значно більшою, ніж обладнання, яке менш чутливе до зупинок.

Для підготовки заходів з метою покращення якості електроенергії необхідно отримання інформації від систем контролю (які можуть бути встановлені стаціонарно та мобільних систем для визначення небезпечних ділянок та вузлів). В якості систем контролю можуть використовуватися реєстратори з високим класом точності. Збір даних та проведення вимірювань має проводитися в центрах живлення, в точках загального приєднання споживачів тобто в визначених характерних точках мережі.

На основі отриманих даних від систем вимірювань і оцінивши ймовірності збитків приймаються рішення про заходи зменшення впливу провалів, наприклад, забезпечення безперебійності електропостачання шляхом резервування живлення, або встановлення засобів автоматики із підвищеною швидкодією, або використання автономних джерел живлення.

Встановлене обладнання для захисту від провалів напруги необхідно контролювати на правильність спрацювання. Одним із розповсюджених методів контролю є ведення журналів спрацювань і опитування обслуговуючих підрозділів. Ймовірно, що потребує розробки така система контролю провалів та переривань напруги, що буде мати незначну вартість, не буде потребувати високо кваліфікованих спеціалістів для обслуговування і не буде залежати від інших показників якості електричної енергії [6].

В теперішній час дані по провалам напруги обробляються результати сортуються за тривалістю та зображуються в графічному вигляді у просторі параметрів потоку провалів з координатами часу виявлення провалу [7]. Відмічається такі параметри провалу напруги як: тривалість провалу  $t_{np}$  (сек); остаточна напруга під час провалу  $U_{ост}$  (%); кількість провалів за годину  $w$ , (1/год).

Ці дані є характеристикою системи електропостачання.

**Економічні збитки на підприємстві, спричинені провалами напруги.** Економічний збиток на підприємстві, спричинений провалами напруги, визначається за такими критеріями:

1. Визначення зовнішнього браку продукції, виявленого після приймання відділом технічного контролю.

2. Визначення внутрішнього браку продукції, виявленого внаслідок прихованого дефекту в оброблюваному матеріалі.

3. Перевитрата паливо-енергетичних ресурсів при зупиненні та подальшому пуску технологічного процесу.

4. Оплата робочої сили за умов простою технологічного процесу.

5. Витрати ресурсів на ремонт обладнання, що вийшло з ладу під час раптового зупинення.

6. Екологічні збитки.

7. Недовипуск продукції підприємством.

8. Оплата понаднормових робіт, викликаних недовипуском продукції.

9. Розрахунок величини шкоди, викликаний зниженням якості електроенергії внаслідок дії несиметрії, несинусоїдності та відхилень напруги.

Без урахування збитків від низької якості електроенергії неможливо коректно підрахувати економічний ефект від підвищення надійності технічних систем як при проектуванні, так і в експлуатації.

Так, на заводі з випуску високовольтного кабелю зареєстровано 25–30 провалів на рік, які призводять до зупинення виробництва. Під час зупинки лінії щоразу відрізається 300 метрів кабелю, який вважається бракованим. 1 погонний метр кабелю коштує 150 USD. Технологія виготовлення кабелю передбачає завантаження лінії на 1000 м-код (бухта). Це означає, що 700 м, що залишилися, – неликвід, який може бути нереалізованим. Тому втрати через 1 зупинку можуть мати синергетичний ефект.

Наступний приклад. Український машинобудівний завод з виробництва двигунів для авіапромисловості на верстатах з числовим програмним керуванням виточує лопатки двигунів понад місяць. У момент провалу збивається автоматична програма з мікронної обробки, що призводить безповоротно до дефекту продукції.

Вибір технічних рішень, які мінімізують наслідки провалів напруги, повинен ґрунтуватися на розрахунку економічної шкоди, обумовленої провалами напруги для даної технологічної установки або виробничого процесу [8–10]

**Основні заходи, що мінімізують наслідки провалів напруг у мережах промислових підприємств.** Заходи, що мінімізують наслідки провалів напруг систематизовані в роботах [11, 12].

1. Створення схем надійного живлення систем збудження підвищення стійкості роботи синхронного двигуна.

2. Узгодження схем підключення котушок управління магнітними пускачами зі схемою і групою з'єднання обмоток силового трансформатора 10(6)/0,4 кВ для зменшення ймовірності відключення магнітних пускачів відповідальних електродвигунів при найчастіших видах пошкоджень – однофазних КЗ в мережах 110 кВ [13].

3. Застосування контакторів керування із «заскочкою», що утримує їх у включеному положенні незалежно від наявності напруги в ланцюзі управління.

4. Швидке (протягом 10 – 12 мс) відключення контактора живлення власних потреб на підстанціях при зниженні напруги в мережі нижче 160 В та повернення у вихідний стан при відновленні напруги до значення вище 185 В з витримкою часу 5 – 10 с.

5. Застосування схеми керування електродвигунами з додатковим проміжним реле.

6. Використання спеціальних схем, що передбачають повторне включення електродвигунів декількома послідовними чергами.

7. Застосування сучасних мікропроцесорних пристроїв релейних захистів, що дозволяють: збільшувати швидкодію захисту; скорочувати рівні селективності за часом; застосовувати у необхідних випадках принцип логічної селективності, що дозволяє відмовитися від щаблів селективності за часом; здійснювати діагностику стану електрообладнання та цим запобігати можливим аваріям.

8. Використання схеми автоматичного вмикання резерву.

9. Забезпечення рівня напруги відпадання пускачів і контакторів при зниженні напруги (воно має бути в інтервалі 35-60% від номінальної напруги мережі  $U_{ном}$ ).

10. Розробка схеми, що дозволяє виконати видачу загального сигналу з витримкою часу на відключення при самозапуску ланцюга управління електродвигунів 6 і 0,4 кВ.

11. Контроль коефіцієнту завантаження та струму збудження синхронних електродвигунів. [14].

12. Використання спеціальних пристроїв для виконання швидкодіючого автоматичного вмикання резерву на напрузі 10 (6) кВ [13].

13. Підключення потужних високовольтних електродвигунів через пристрої ненаголошеного (плавного) пуску.

**Контекстуальні фактори енергетичної ефективності: інструментальний контроль та верифікація.** Опишемо стан інструментального контролю та верифікації у сфері енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності, визначення базових принципів та цілій вимірювань і верифікації енергетичної ефективності.

Головною вимогою, що ставиться до змісту й структури енергосервісного контракту (ЕнСК), є наявність переліку заходів, спрямованих на енергозаощадження та підвищення енергетичної ефективності. Дотримання встановлених вимог є обов'язковим для Виконавця ЕнСК. Варто зазначити, що в контракті має подаватися докладний технічний опис кожного заходу й термін його виконання. Водночас потрібно звертати увагу на такі моменти:

- досягнення максимальної ефективності енергозберігаючого заходу (ЕЗЗ) передбачає зіставлення кількох альтернативних варіантів технічних рішень в аспекті економічної доцільності;

- рішення про включення тих чи інших заходів до ЕнСК приймається на підставі показників їхньої енергетичної й економічної ефективності;

- ефективність енергозберігаючого заходу має оцінюватися з урахуванням інтересів усіх сторін – учасників енергосервісної послуги: Ініціатор – Замовник – Виконавець – Інвестор – Споживач. У цьому контексті доцільно акцентувати на тому, що досягнення належного рівня енергоефективності кожною стороною визначає ефективність енергосервісної послуги в цілому

Програма енергозбереження містить такі розділи:

1. Паспорт програми із зазначенням:

- назви організації;
- назви програми;
- підстав для розроблення програми;
- цілей і завдань програми;
- термінів та етапів реалізації програми;
- витрат на програму загалом і поетапно;
- джерел фінансування програми;
- основних заходів програми;

- очікуваних результатів виконання програми в натуральному вираженні в цілому і поетапно;

- очікуваних результатів виконання програми у вартісному вираженні в цілому і поетапно.

2. Цільові показники енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності, досягнення яких має забезпечуватися за рахунок втілювання програм, і їхні значення.

Як вихідні приймаються середні фактичні значення за період, що передує початку дії програми енергозбереження.

Основні цільові показники:

- питома витрата води на вироблення теплової енергії;

- питома витрата електричної енергії на вироблення теплової енергії;

- витрата теплової енергії на власні потреби джерела тепла;

- питома витрата палива на відпуск теплової енергії з колектора джерела тепла;

- частка виробництва теплової енергії з використанням відновлюваних джерел енергії та (або) вторинних енергоресурсів у загальному обсязі теплової енергії, що виробляється на регульованому підприємстві;

- частка теплогерел, оснащених приладами обліку теплової енергії на колекторі джерела тепла;

- частка теплогерел, оснащених приладами обліку споживаної електричної енергії для виробництва теплової енергії;

- частка теплогерел, оснащених приладами обліку води, що споживається для виробництва теплової енергії;

- частка споживачів, які отримують теплову енергію через прилади обліку;

- частка теплогерел, оснащених обладнанням для хімоводопідготовки мережної води;

- витрата енергоресурсів у будівлях, будовах, спорудах, що експлуатуються регульованою організацією в процесі виробництва теплової енергії;

- інші цільові показники.

3. Перелік заходів з енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності із зазначенням термінів проведення та джерел фінансування.

Як джерела фінансування можуть бути використані: бюджетні кошти, власні кошти, енергосервісні контракти.

Перелік обов'язкових заходів з енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності:

- організаційні заходи з енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності [15, 16];

- проведення енергетичного обстеження теплогерел;

- оцінювання аварійності систем теплопостачання;

- аналіз якості надання послуг теплопостачання;

- аналіз установленної потужності теплогерел;

- аналіз і оптимізація кількості теплогерел;

- заходи, спрямовані на зниження споживання енергетичних ресурсів на власні потреби при виробництві теплової енергії;

- заходи щодо оснащення споживачів приладами обліку теплової енергії;

- заходи щодо модернізації обладнання, що використовується для вироблення теплової енергії;

- заходи щодо оснащення теплогерел приладами обліку енергоресурсів (палива, води, електроенергії, відпущеної в мережу теплової енергії);

- заходи щодо розширення використання в якості джерел енергії вторинних енергоресурсів та (або) відновлюваних джерел енергії;

- заходи щодо упровадження інноваційних технологій;

- інші заходи.

Організаційними заходами з енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності вважаються:

- розроблення Положення про енергозбереження для регульованої організації;

- проведення в організації нарад з енергозбереження на постійній основі;

- формування відповідальних осіб за дотримання режиму економії та порядку їхньої звітності щодо досягнутої економії;

- розроблення Положення щодо порядку стимулювання працівників за економію енергії й енергоресурсів;

- прийняття Положення про порядок розміщення замовлення на проведення енергоощадних заходів в організації;

- фінансовий облік економічного ефекту від проведення енергоощадних заходів і організація рефінансування частини економії в проведення нових енергозберігаючих заходів;

- контроль за нецільовим використанням енергоносіїв (відбір води із системи опалення тощо);
- організація режиму роботи енергоспоживного обладнання й освітлення (відімкнення або переведення в режим «сну» комп'ютерів у разі простою, виключення роботи обладнання «на холостому ходу» тощо);
- підвищення кваліфікації фахівців організації за програмою «Енергозбереження шлях у майбутнє»;
- проведення гідравлічного регулювання, ручного балансування розподільних систем опалення і стояків у будівлях, будинках, спорудах, не оснащених автоматичними індивідуальними тепловими пунктами;
- зниження опалювального навантаження в будівлях чи окремих приміщеннях у неробочі періоди організацій;
- інші заходи.

Технічними заходами з енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності є такі:

- реконструкція центральних та індивідуальних теплових пунктів із застосуванням енергоефективного обладнання, систем автоматичного регулювання споживання теплової енергії, упровадження комплексного оброблення води, перехід з відкритої на закриту циркуляційну систему гарячого водопостачання;
- застосування сучасних теплоізоляційних матеріалів для теплоізолювання трубопроводів і обладнання, відновлення зруйнованої теплоізоляції;
- гідрохімічне промивання систем опалення, електрогідроімпульсне очищення внутрішньобудинкових систем гарячого та холодного водопостачання й опалювальних радіаторів, заміна опалювальних стояків, що відпрацювали понад 10–15 років;
- установлення радіаторних регуляторів (термостатів) для індивідуального регулювання опалювальної потужності в приміщеннях;
- проведення теплозбережних заходів: утеплення стін, входів, вікон, підвалів, установлення відбивних екранів за опалювальними приладами, ліквідація декоративних конструкцій, що закривають опалювальні прилади, очищення опалювальних приладів від забруднень, фарбування у світлі тони тощо;
- інші заходи.

4. Показники ефективності реалізації програми енергозбереження в натуральному та вартісному вираженні.

Результатом реалізації програми енергозбереження є обсяг економії енергоресурсів.

Результати реалізації програми енергозбереження мають подаватися наростаючим підсумком з початку реалізації програми.

У процесі розроблення енергозберігаючих заходів необхідно:

- розрахунковим шляхом установити фактичні показники енергоефективності виробництва (робіт, послуг) споживача енергетичних ресурсів;

• визначити технічну сутність передбачуваного вдосконалення (варіантів) і принципи отримання економії;

• для кожного запропонованого варіанта на підставі розрахунків з'ясувати прогнозні показники енергоефективності, які планується отримати через упровадження ЕЗЗ;

• розрахувати критерії ефективності та відносний потенціал енергозбереження для кожного ЕЗЗ (варіанти ЕЗЗ);

• на підставі отриманих критеріїв ефективності й величин відносного потенціалу енергозаощадження обрати найбільш ефективний варіант ЕЗЗ;

• розрахувати величину абсолютного потенціалу енергозаощадження пропонованих ЕЗЗ.

Заходи, що реалізуються в межах ЕнСК, можуть бути спрямовані, по-перше, на заощадження енергетичних ресурсів без зміни ефективності їхнього використання; по-друге, на економію окремих видів паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) для різних цілей (наприклад, опалення або освітлення); по-третє, на збільшення потенційної економії споживання енергоресурсів у цілому (наприклад, заходи із пропагування енергозаощадження) [17]. На одному об'єкті можуть одночасно реалізовуватися кілька ЕЗЗ із різними спрямованістю та метою.

Усі рекомендовані заходи поділяють на три різновиди:

- організаційні та маловитратні, що реалізуються в процесі поточної діяльності підприємства чи організації [18];
- середньовитратні, які реалізуються переважно власним коштом підприємства або організації;
- великовитратні, що потребують додаткових інвестицій, які залучаються здебільшого у вигляді позикових коштів.

Основними критеріями добору та визначення послідовності упровадження заходів у межах ЕнСК є:

- величина витрат на реалізацію заходів;
- фінансова й натуральна економія, що має бути отримана внаслідок реалізації заходів;
- термін окупності;
- «сезонність» заходів, тобто можливість реалізації протягом певної пори року, а також під час опалювального періоду.

Ефективність ЕЗЗ, що реалізуються в межах ЕнСК, характеризується низкою критеріїв, які відображають співвідношення витрат на проведення заходів і результатів проекту в аспекті інтересів його учасників.

Залежно від масштабу та значущості заходів (реконструкція, технічне переоснащення, модернізація, організаційно-технічні заходи) застосовують прості (без урахування фактора часу) чи інтегральні (дисконтовані) критерії економічної ефективності.

Прості критерії доцільно застосовувати під час оцінювання ефективності маловитратних і середньовитратних заходів у таких випадках:

- одноразові витрати на реалізацію заходу здійснюються строком до одного року;
- досягнуті внаслідок реалізації заходу техніко-економічні результати й додаткові річні експлуатаційні витрати, спричинені упровадженням заходу, залишаються незмінними протягом наступних років експлуатації.

Простими критеріями є річний економічний ефект від упровадження заходу та термін окупності інвестицій.

У разі упровадження великозатратних заходів рекомендовано застосовувати інтегральні критерії, що ґрунтуються на даних інвестиційного аналізу реалізації проєктів із енергозаощадження та підвищення енергетичної ефективності. Описана методика широко відома у сучасній міжнародній і вітчизняній практиці під назвою методу економічного оцінювання ефективності інвестицій [16, 19].

Диференціальною ознакою розрахунків, що проводяться у межах названої методики, є можливість урахувати:

- надійність та строки служби оцінюваного обладнання, що набуває виняткового значення під час порівняльного оцінювання варіантів технічних засобів;
- ціну капіталу інвестора та зміну цінності грошей протягом часу, що властиво ринковій економіці.

Розрахунок ефективності від реалізації комплексу (групи) ЕЗЗ здійснюється за допомогою методу розрахунку ефекту від упровадження окремого заходу за таким алгоритмом:

- обчислюються значення показників споживання за базовий рік;
- здійснюється розрахунок значень коефіцієнтів порівнюваних умов;
- здійснюється обчислення індикаторів;
- виконується розрахунок показників ефективності програми ЕЗЗ в контексті ЕнСК.

**Перевірка економічної ефективності технічних заходів щодо захисту від провалів напруг.** При виборі заходів захисту від провалів напруг необхідно обов'язково перевіряти економічну ефективність запропонованих технічних заходів. Наведемо приклад. Цех карбаміду, який має встановлену потужність близько 12 МВт і витрати електроенергії близько 4 млн. кВт·год на місяць, піддається провалам напруги в середньому 4 рази на рік. Після кожного порушення електропостачання цех зупиняється через відключення електродвигуна головного компресора асинхронного ходу, а потім цех виходить на режим протягом 3 годин. Щогодини простою цеху призводить до недовипуску 150 т карбаміду вартістю 200 доларів за тону, перевитрати ПЕР. Таким чином, тільки через провали в рік, втрати становлять  $150 \cdot 3 \cdot 200 \cdot 4 = 360$  тис. доларів без урахування вартості неефективно спожитих ПЕР, вартості робочої сили.

Для вирішення цієї проблеми пропонується кілька варіантів зменшення втрат від провалів напруги:

Рішення №1 – встановити активні регулятори напруги або динамічні компенсатори спотворень напруги потужністю 10 МВ·А. Але цей захід матиме великий термін окупності (5 років), хоч і кардинально вирішить проблему.

Рішення №2 – встановити активні регулятори напруги або динамічні компенсатори спотворень напруги потужністю 0,4 МВ·А для забезпечення безперебійного живлення порушення синхронного електродвигуна компресора. Вартість його близько 180 тис. доларів, і цей захід окупиться протягом 6 місяців.

Рішення №3 – виконати доопрацювання схеми збудження так, щоб протягом  $0,5 \div 1$  с при зникненні (або зниженні) напруги в мережі живлення 380 В збудників синхронних електродвигунів, вони б не видавали аварійний сигнал на відключення вимикача 6 кВ і при відновленні робітника рівня напруги продовжили роботу із форсованим струмом збудження. Попередньо необхідно узгодити із заводом-виробником збудника питання здатності елементів його працювати при зниженій напрузі. Вартість вдосконалення схеми живлення збудника становитиме близько 5000 доларів.

Таким чином, для вибору будь-якого з перерахованих вище способів, спочатку необхідно проаналізувати статистичні дані, розібратися з причиною відключення обладнання, а потім прийняти технічно і економічно обґрунтоване рішення щодо підвищення надійності електропостачання цеху. Перед прийняттям рішення необхідно провести тривалі вимірювання для реєстрації глибини та тривалості провалів напруги спеціальними багатифункціональними вимірювальними приладами – аналізаторами параметрів якості електричної мережі, виконати прогноз параметрів потоку провалів та визначити зони сталості технологічної установки чи виробничого процесу. Прийняти технічно та економічно обґрунтоване рішення щодо підвищення надійності електропостачання необхідно, слідуючи від простого та дешевого рішення до складного та дорогого, для кожного окремо взятого технологічного процесу з урахуванням характеру електропостачання, особливостей схеми управління та джерел живлення. Не виключено, що найбільш просте та ефективне рішення щодо захисту від провалів напруги може виявитися не в електричній, а в технологічній частині, або в системі контрольно-вимірювальних приладів.

**Висновки.** Розглянуто питання підтримання якісних параметрів напруги у споживачів за рахунок використання технічних заходів захисту від провалів напруг. Питання розглядалося з точки зору економічних критеріїв а саме економічної ефективності технічних заходів. Такій підхід має певні результати, але виникає необхідність охопити оцінкою економічних критеріїв і інші показники якості електричної енергії.

## Список літератури

- Самойленко І. О., Гриб О. Г., Запорожець А. О. та ін. *Енергетичний менеджмент та енергоефективність: Підручник для студентів зі спеціальності електроенергетика, електротехніка та електромеханіка*. Харків: ФОП Бровін О. В., 2020. 348 с.
- Сокол Є. І., Сендерович Г. А., Гриб О. Г. та ін. *Автоматика протиаварійного управління електроенергетичних систем: Підручник для студентів зі спеціальності електроенергетика, електротехніка та електромеханіка*. Харків: ФОП Бровін О. В., 2020. 216 с.
- Сокол Е. И. и др. *Кибербезопасность и качество электрической энергии в системах электроснабжения медицинских объектов*. Харьков: ФОП Панов О. М., 2019. 259 с.
- Карташѳв И. И. Провалы напряжения. Реальность прогнозов и схемные решения защиты. *Новости ЭлектроТехники*. 2004. № 5 (29).
- Бородин Д. В. Автоматизированный контроль качества электроэнергии на промышленных предприятиях. *Вестник Нац. техн. ун-та «ХПИ»: сб. науч. тр. Темат. вып.: Энергетика: надёжность и энергоэффективность*. 2011. № 3. С. 12–20.
- Арцишевский Я. Л., Задкова Е. А., Кузнецов Ю. П. Расчетная методика определения структуры и параметров РЗА в системах электроснабжения ответственных потребителей. *Релейщик*. 2009. № 2. С. 30–35.
- Гуров А. А., Сергунов Ю. А. Обоснование методики статистического исследования провалов напряжения в системах электроснабжения общего назначения. *Энергобезопасность и энергосбережение*. 2009. № 1. С. 15–20.
- Бедерак Я. С., Бородин Д. В., Михайлов В. П. Сети промпредприятий. Устройства защиты от провалов напряжений. *Новости ЭлектроТехники*. 2012. №1. С. 24–32.
- Бедерак Я. С., Волков В. І. Виявлення і дослідження джерел вищих гармонік «неелектричного походження» в системі електропостачання промислового підприємства. *«Промислова електроенергетика та електротехніка» Промелектро : інформ. зб.*. 2019. №1. С. 8–11.
- Гапон Д. А., Бедерак Я. С. Особенности режима работы питающей сети во время плавного пуска мощных синхронных двигателей. *Промышленная энергетика*. 2014. №2. С. 27–30.
- Фишман В. Провалы напряжения в сетях промпредприятий. Причины и влияние на электрооборудование. *Новости ЭлектроТехники*. 2004. № 5 (29).
- Гуров А. А., Сергунов Ю. А. Обоснование методики статистического исследования провалов напряжения в системах электроснабжения общего назначения. *Энергобезопасность и энергосбережение*. 2009. № 1. С. 15–20.
- Гулага М. А. Средства для повышения надежности электроснабжения промышленных потребителей. *Электрооборудование: эксплуатация и ремонт*. 2010. № 2. С. 52–60.
- Гуревич Ю. Е., Либова Л. Е., Окли А. А. *Расчёты устойчивости и противоаварийной автоматики в энергосистемах*. Москва: Энергоиздат, 1990. 390 с.
- Комеліна О. В., Самойленко І. О. Енергосервісний бізнес у контексті сталого енергетичного розвитку України. *Маркетинг і менеджмент інновацій*. 2017. Вип. 2. С. 306–315. doi: 10.21272/mmi.2017.2-29.
- Коссов В. В., Лившиц В. Н., Шахназаров А. Г. *Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов*. Москва: Экономика, 2000. 421 с.
- EVO 10000–1:2010. International Performance Measurement and Verification Protocol, Concepts and Options for Determining Energy and Water Savings. Volume 1*. Efficiency Valuation Organization, 2010.
- Наказ Міністерства з питань житлово-комунального господарства України №218 від 14.12.2007 р. «Про затвердження Методичних рекомендацій з оцінки ефективності інвестицій в енергозберігаючі проекти на підприємствах житлово-комунального господарства». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0218662-07#Text> (дата звернення: 21.09.2021)
- Гуд Л., Бабаджанян В. 10 шагов для определения осуществимости проектов по энергоэффективности : материалы презентации. *Основы методологии экономического анализа: учебный курс проекта SEMISE*. 2011.

## References (transliterated)

- Samoylenko I. O., Gryb O. H., Zaporozhets' A. O. et al. *Enerhetychnyy menedzhment ta enerhoefektyvnist': Pidruchnyk dlya studentiv zi spetsial'nosti elektroenerhetyka, elektrotekhnika ta elektromekhanika* [Energy management and energy efficiency: textbook for students in electricity, electrical engineering and electromechanics]. Kharkiv, FOP Brovin O. V. Publ., 2020. 348 p.
- Sokol Ye. I., Senderovych H. A., Gryb O. H. et al. *Avtomatyka protyavariynoho upravlinnya elektroenerhetychnykh system: Pidruchnyk dlya studentiv zi spetsial'nosti elektroenerhetyka, elektrotekhnika ta elektromekhanika* [Automation of emergency control of electric power systems: Textbook for students in electricity, electrical engineering and electromechanics]. Kharkiv, FOP Brovin O. V. Publ., 2020. 216 p.
- Sokol E. I., Zharkin A. F., Vasil'chenko V. I., i dr. *Kachestvo elektricheskoy energii. Tom 3. Metody i sredstva povysheniya kachestva elektricheskoy energii* [Quality of electrical energy. Volume 3. Methods and means to improve the quality of electrical energy]. Kharkiv, PP «Graf-Iks» Publ., 2014. 292 p.
- Kartashev I. I. Provaly napryazheniya. Real'nost' prognozov i skhemnye resheniya zashchity [Voltage dips. Reality of predictions and protection schemes]. *Electrical Engineering News*. 2004, no. 5 (29).
- Borodin D. V. Avtomatizirovanny kontrol' kachestva elektroenergii na promyshlennykh predpriyatiyakh [Automated power quality control in industrial plants]. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Energy: Reliability and Energy Efficiency*. 2011, no 3, pp. 12–20.
- Artsishevskiy Ya. L., Zadkova E. A., Kuznetsov Yu. P. Raschetnaya metodika opredeleniya struktury i parametrov RZA v sistemakh elektrosnabzheniya otvetstvennykh potrebiteley [Calculation methodology for determining the structure and parameters of relay protection in power supply systems for critical consumers]. *Releyshchik*. 2009, no. 2, pp. 30–35.
- Gurov A. A., Sergunov Yu. A. Obosnovanie metodiki statisticheskogo issledovaniya provalov napryazheniya v sistemakh elektrosnabzheniya obshchego naznacheniya [Rationale for a statistical study of voltage dips in general-purpose power supply systems]. *Energy security and energy saving*. 2009, no. 1, pp. 15–20.
- Bederak Ya. S., Borodin D. V., Mikhaylov V. P. *Seti prompredpriyatiy. Ustroystva zashchity ot provalov napryazheniy* [Industrial networks. Voltage dips protection devices]. *Electrical Engineering News*. 2012, no. 1, p. 24–32.
- Bederak Ya. S., Volkov V. I. Vyyavlennaya i doslidzhennaya dzherel vyshchey harmonik "neelektrychno pokhodzhennaya" v sistemі elektropostachannya promyslovoho pidpryyemstva [Identification and investigation of sources of higher harmonics of "non-electrical origin" in the power supply system of an industrial enterprise]. *"Industrial Electricity and Electrical Engineering". Promelectro: information bulletin*. 2019, no. 1, pp. 8–11.
- Gapon D. A., Bederak Ya. S. Osobennosti rezhima raboty pitayushchey seti vo vremya plavnogo puskа moshchnykh sinkhronnykh dvigateley [Features of mains operation during soft-start of powerful synchronous motors]. *Industrial Power Engineering*. 2014, no. 2, pp. 27–30.
- Fishman V. Provaly napryazheniya v setyakh prompredpriyatiy. Prichiny i vliyanie na elektrooborudovanie [Voltage dips in industrial networks. Causes and effects on electrical equipment]. *Electrical Engineering News*. 2004, no. 5 (29).
- Gurevich Yu. E., Libova L. E., Okli A. A. *Raschety ustoychivosti i protivoavariynoy avtomatiki v energosistemakh* [Stability and emergency control calculations in power systems]. Moscow, Energoizdat Publ., 1990. 390 p.
- Gulaga M. A. Sredstva dlya povysheniya nadezhnosti elektrosnabzheniya promyshlennykh potrebiteley [Means to improve the reliability of electricity supply to industrial consumers]. *Electrical equipment: Operation and repair*. 2010, no. 2, pp. 52–60.
- Gurevich Yu. E., Libova L. E., Okli A. A. *Raschety ustoychivosti i protivoavariynoy avtomatiki v energosistemakh* [Stability and emergency control calculations in power systems]. Moscow, Energoizdat Publ., 1990. 390 p.

15. Komelina O. V., Samoilenko I. O. Enerhoservisnyy biznes u konteksti staloho enerhetychnoho rozvytku Ukrainy [Energy service business under conditions of stable energy development in Ukraine]. *Marketing and Management of Innovations*. 2017, no. 2, pp. 306–315. doi: 10.21272/mmi.2017.2-29.
16. Kossov V. V., Livshits V. N., Shakhnazarov A. G. *Metodicheskie rekomendatsii po otsenke effektivnosti investitsionnykh proektov* [Methodological guidelines for assessing the effectiveness of investment projects]. Moscow, Ekonomika Publ., 2000. 421 p.
17. *EVO 10000–1:2010. International Performance Measurement and Verification Protocol, Concepts and Options for Determining Energy and Water Savings. Volume 1*. Efficiency Valuation Organization, 2010.
18. *Nakaz Ministerstva z pytan' zhytlovo-komunal'noho hospodarstva Ukrainy #218 vid 14.12.2007 r. «Pro zatverdzhennya Metodichnykh rekomendatsiy z otsinky efektyvnosti investytsiy v enerhozberihayuchi proekty na pidpnyemstvakh zhytlovo-komunal'noho hospodarstva»* [Order of the Ministry of Housing and Communal Economy of Ukraine No. 218 of 14.12.2007 "On Approval of Methodical Recommendations for Assessment of Effectiveness of Investments in Energy Saving Projects at Housing and Communal Economy Enterprises"]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0218662-07#Text> (accessed 21.09.2021)
19. Gud L., Babadzhanyan V. 10 shagov dlya opredeleniya osushchestvymosti proektov po energoeffektivnosti : materialy prezentatsii [10 Steps to Determine Feasibility of EE/RES Projects]. *Fundamentals of Economic Analysis Methodology: SEMISE training course*. 2011.

Надійшла (received) 07.12.2021

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Бедерак Ярослав Семенович (Бедерак Ярослав Семенович, Yaroslav Bederak)** – кандидат технічних наук, Приватне акціонерне товариство «АЗОТ», керівник лабораторії, м. Черкаси, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2669-0965>; e-mail: [yaroslav0768@gmail.com](mailto:yaroslav0768@gmail.com).

**Гриб Олег Герасимович (Гриб Олег Герасимович, Oleg Gryb)** – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», кафедра автоматизації та кібербезпеки енергосистем, м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4758-8350>. e-mail: [oleg47gryb@gmail.com](mailto:oleg47gryb@gmail.com).

**Карпалюк Ігор Тимофійович (Карпалюк Ігор Тимофеевич, Igor Karpaliuk)** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», кафедра автоматизації та кібербезпеки енергосистем, м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5634-6807>. e-mail: [humpway@gmail.com](mailto:humpway@gmail.com).

**Дяченко Олександр Васильович (Дяченко Александр Васильевич, Oleksandr Diachenko)** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», кафедра автоматизації та кібербезпеки енергосистем, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7232-6585>; e-mail: [diachenko.a.v@ukr.net](mailto:diachenko.a.v@ukr.net).

**Захаренко Наталія Сергіївна (Захаренко Наталья Сергеевна, Natalia Zakharenko)** – кандидат економічних наук, доцент, Державний вищий навчальний заклад «Приазовський державний технічний університет», кафедра економіки підприємств, м. Маріуполь, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7963-1080>; e-mail: [zakharenko.natali@gmail.com](mailto:zakharenko.natali@gmail.com).