

ВПЛИВ ЧАСТОТИ ДІАГНОСТУВАННЯ РЕЗЕРВНОГО ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ НА НАДІЙНІСТЬ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Ця стаття присвячена дослідженню впливу частоти діагностування резервного джерела живлення на надійність електропостачання, оцінці економічного ризику від переривання електропостачання у випадках резервування основного джерела живлення та його відсутності. Дослідження проводилось у контексті створення системи автоматичного діагностування джерел електроенергії на базі двигуна внутрішнього згорання, проте набуло додаткової актуальності у часи енергетичної нестабільності, викликані війною.

В статті розглядається ділянка виробництва, кінцевий продукт якої отримується шляхом виконання послідовних операцій, а переривання будь-якої з них призводить до браку продукції. За вхідними даними оцінюється вартість одиниці продукції та час необхідний на її виготовлення, що дозволяє оцінити середній дохід ділянки за годину. Розраховується час, який втрачається при перериванні електроенергії, економічний ефект такої події та ризик. Далі розглядається аналогічна ситуація але за умови резервування з урахуванням експлуатаційної готовності резервного джерела живлення. Вважається, що технічний стан резервного джерела живлення може змінитись на несправний випадково, і залишатиметься в ньому до фактичного встановлення цього. Розраховуються ймовірність переривання електропостачання і ризик за таких умов. Отримані дані порівнюються та надаються рекомендації щодо підвищення надійності резервування.

Ключові слова: *технічні ризики, електропостачання, резервування, діагностування, надійність, коефіцієнт готовності*

Тематика впливу частоти діагностування на надійність електропостачання досить актуальна і важлива в галузі енергетики та управління мережами. Вона стосується питань ефективного та надійного функціонування електричних мереж і має значення для забезпечення якісного електропостачання для споживачів. Дослідження впливу частоти діагностування на надійність електропостачання може включати в себе аналіз оптимальної стратегії обслуговування, розробку систем моніторингу та діагностики, а також вивчення впливу цих факторів на загальну надійність мережі та витрати на обслуговування[1,2]. Частота діагностування означає, наскільки часто проводяться перевірки, обслуговування та ремонтні роботи на об'єктах енергосистеми. Велика частота діагностування може допомогти виявити і усунути проблеми швидше, що сприяє підвищенню надійності. Однак це також може збільшити витрати і впливати на загальну доступність електроенергії.

Оптимальна частота діагностування може варіюватися в залежності від таких факторів: [3,4]

1. Тип обладнання: Різні типи двигунів внутрішнього згорання (наприклад, дизельні, бензинові, газові) можуть вимагати різного роду діагностики та різної частоти перевірок.

2. Умови експлуатації: Частота діагностування може залежати від умов, в яких працює резервне джерело енергії, таких як температура, вологість, навантаження тощо.

3. Стратегія обслуговування: Вона може включати в себе регулярні планові перевірки, а також реактивну діагностику в разі виявлення аномалій.

4. Вимоги до надійності і безпеки: Вищі вимоги до надійності можуть вимагати частіших перевірок та діагностики.

Для визначення оптимальної частоти діагностування резервного джерела електроенергії, рекомендується проводити аналіз ризиків та враховувати специфіку вашого обладнання та умов його експлуатації.

Надійність і технічний ризик - це два поняття, які пов'язані, але вони можуть розглядатися окремо, оскільки вони охоплюють різні аспекти в управлінні системами та обладнанням. Важливо розрізняти ці два поняття, оскільки підходи до їх управління і мінімізації можуть бути різними. Надійність може бути однією з складових зниження технічного ризику, але вони не обов'язково ідентичні. Управління ризиком передбачає визначення потенційних загроз і розробку стратегій їх мінімізації чи управління ними, включаючи ризики, пов'язані з надійністю системи.

Ще не так давно, у часи масових відключень електроенергії (зима 2022-2023 рік), популярність автономних електростанцій на базі двигуна внутрішнього згорання значно зросла. Через впроваджені

графіки відключення електроенергії, час живлення, що припадав на робочий день суттєво знизився і становив декілька годин на робочу добу. Нерідко траплялись випадки повної відсутності живлення терміном більше 18 годин, а ввімкнення відбувалось у нічний час [5]. В таких умовах значимість електростанцій на базі двигунів внутрішнього згоряння для малих підприємств, громадських закладів, офісів суттєво підвищилась та фактично обумовлювала доступ електричної енергії.

Дизель-генератори (ДГУ) є надійними та довговічними джерелами електроенергії, які застосовуються в різних галузях, включаючи промисловість, комерцію, медицину, будівництво та приватні будинки. Вони відрізняються простою конструкцією, довговічністю та надійністю в різних кліматичних умовах. Дизельні двигуни мають високий коефіцієнт корисної дії та використовуються як резервне джерело енергії у випадку відключення основного джерела живлення. Регулярний технічний сервіс і обслуговування допомагають забезпечити їх надійну роботу.

Частота технічного обслуговування для дизель-генераторів (ДГУ) може відрізнятися в залежності від виробника, моделі, робочих умов і інтенсивності використання. Проте загальні рекомендації щодо обслуговування ДГУ включають щоденну перевірку готовності та виявлення видимих проблем, щомісячні огляди з випробуваннями під навантаженням, щорічне комплексне технічне обслуговування, яке передбачає заміну фільтрів, масла і свічок запалювання, а також перевірку стану двигуна, генератора та системи керування. Крім того, автоматична система запуску та перемикання для резервного живлення потребує регулярного тестування на відключення основного джерела електроенергії. [6]

Час, протягом якого технічний стан генератора залишається близьким до ідеального або не відрізняється від стану, в якому він був на момент перевірки, залежить від кількох факторів:

1. Інтенсивність використання: Якщо генератор використовується регулярно та піддається значним навантаженням, його знос може бути великим, і він може потребувати більш частого обслуговування та технічного догляду.

2. Якість обслуговування: Регулярний та якісний технічний сервіс і заміна експлуатаційних матеріалів, таких як масло, фільтри та свічки запалювання, допомагають підтримувати генератор у хорошому стані протягом тривалого часу.

3. Умови експлуатації: Генератори, що працюють в агресивних умовах навколишнього середовища (наприклад, висока вологість, екстремальні температури, пил), можуть швидше піддаватися зносу і потребувати частішого обслуговування.

4. Вік та якість генератора: Сам генератор також відіграє важливу роль. Нові, якісні генератори, зазвичай, більш тривалі та можуть зберігати свою надійність довше.

Цілком можливо, що після проведення технічного обслуговування генератора (ДГУ), який на перший погляд перебував у працездатному стані, можуть виникнути проблеми або несправності через декілька днів або тижнів. Це може трапитися з кількох причин: [7,8]

1. Приховані дефекти: Деякі дефекти або знос можуть бути невидимими при початковому огляді і виявлятися тільки при більш інтенсивному використанні або при перевірці на більш пізніх етапах експлуатації.

2. Механічні навантаження: Інтенсивне використання або екстремальні умови експлуатації можуть призвести до додаткового зносу та прискореного зносу ключових компонентів.

3. Помилки при обслуговуванні: Якщо технічне обслуговування було виконано неправильно або були допущені помилки при заміні компонентів, це може призвести до проблем.

4. Випадкові фактори: Деякі несправності можуть виникнути через випадкові фактори, такі як коротке замикання або стрибки напруги в електромережі, які можуть пошкодити генератор.

Для мінімізації ризику таких ситуацій важливо дотримуватися рекомендацій виробника щодо обслуговування та регулярно проводити тестування генератора на його працездатність. Також слід уважно відслідковувати умови експлуатації і, за необхідності, коригувати графік технічного обслуговування відповідно до інтенсивності використання і умов роботи генератора.

Зазвичай, бажаним є коефіцієнт готовності (або надійності), що дорівнює або близький до 1, що означає, що генератор повинен бути готовим до включення у будь-який момент без затримок або відмов. Це особливо важливо в критичних сферах, таких як медичні установи, телекомунікації, фінансові установи та інші, де безперебійне електропостачання обов'язкове. Проте в деяких випадках, особливо в менш критичних ситуаціях або з обмеженими бюджетами, можна допустити більш низький коефіцієнт готовності [9,10]. Це може означати, що генератор буде готовим до роботи з затримками або у випадку відмови основного джерела живлення. Але важливо розуміти, що більш низький коефіцієнт готовності може підвищити ризик зупинок та втрати продуктивності і бути неприйнятним у деяких обставинах.

У різних країнах та регіонах можуть діяти різні нормативи та стандарти, що регулюють надійність та доступність електропостачання. Зазвичай постачальники електроенергії зобов'язані дотримуватися певних норм надійності та надавати певні гарантії, але вони можуть відрізнятися в залежності від місцезнаходження. У США, наприклад, компанії, що розподіляють електроенергію, зазвичай підпадають під нагляд і регулювання місцевих установ, таких як комісії з публічних служб. Ці комісії встановлюють

стандарту якості електропостачання, які включають в себе вимоги до мінімальних показників надійності, таких як час простою та частота відмов. Вони також встановлюють процедури для компенсації споживачів у разі порушення цих нормативів. У європейських країнах також існують нормативи та директиви, що регулюють якість та надійність електропостачання. Наприклад, Директива 2009/72/ЄС Європейського Союзу встановлює обов'язки для національних регуляторів у сфері енергетики, спрямовані на забезпечення надійності та якості послуг у секторі енергетики [11]. Показники надійності електропостачання можуть відрізнятися в залежності від конкретної країни, регіону і навіть від постачальника електроенергії. У Європейському Союзі та інших розвинених країнах, як правило, встановлюються досить жорсткі стандарти надійності електропостачання, і показники часу перебоїв (середній час, протягом якого електропостачання відсутнє) зазвичай досить низькі. Наприклад, стандарти надійності електропостачання в Європейському Союзі часто визначають, що середній час перебоїв (SAIDI - System Average Interruption Duration Index) не повинен перевищувати декілька десятків хвилин на рік на одного споживача [12, 13]. В Україні також діє нормативна база, яка регулює надійність електропостачання, і вона може варіюватися в різних регіонах країни. В Україні також використовується показник SAIDI, однак точні значення можуть змінюватися з часом і можуть відрізнятися в залежності від поточної ситуації та регіональних умов.

Мета роботи: оцінити вплив частоти діагностування резервного джерела живлення на надійність електропостачання.

Задачі:

1. Оцінити ризики від переривання електропостачання;
2. Оцінити ризики від несправного стану дизельної електростанції;
3. Оцінити ступінь зменшення ризику переривання електропостачання в залежності від частоти діагностування резервного джерела живлення.

Матеріали і результати досліджень

1. Ризики від переривання електропостачання

1.1. Розрахунок прибутку ділянки виробництва

Розглянемо ділянку виробництва, функція якої – у робочі години виробляти продукцію, яка продається підприємством.

Вважатимемо, що результат роботи розглядуваної ділянки виробництва в середньому приносить дохід підприємству у 400 тис. грн. в місяць.

Для виготовлення одиниці продукції виконуються наступні операції:

Назва операції	Час, необхідний на виконання, хв
A	22 – 32
B	8 – 15
C	12 – 14
	$\Sigma 44 – 61$

Позначимо процес вироблення одиниці продукції **K** таким, що складається з послідовних операцій **A, B і C**.

$$K = A + B + C; \tag{1}$$

Розрахуємо середні затрати часу на виконання цих операцій:

$$T_{KC} = \frac{44 + 61}{2} = 52.5 \text{ хв} = \frac{52.5}{60} \text{ год} = 0.875 \text{ год} \tag{2}$$

Вважаємо процес виготовлення **K** одиниці продукції неперервним, тобто аварійне переривання процесу призводить до браку продукції.

Норма на виготовлення складає 10 одиниць продукції на день.

Кількість одиниць продукції, вироблених за місяць: 210.

Визначимо дохід, який припадає на одиницю виробленої продукції:

400 тис. грн. / 210 \approx 1900 грн.

Відповідно, дохід за годину:

$$C_{\max} = \frac{1900}{44 / 60} \approx 2591 \frac{\text{грн}}{\text{год}} \tag{3}$$

$$C_{\min} = \frac{1900}{61 / 60} \approx 1869 \frac{\text{грн}}{\text{год}} \tag{4}$$

Для подальших розрахунків прийємо середній дохід ділянки за годину:

$$C = \frac{C_{\max} + C_{\min}}{2} = \frac{2591 + 1869}{2} = 2230 \frac{\text{грн}}{\text{год}} \quad (5)$$

1.2. Статистика аварій в електропостачанні

Покладемо, що за останні 2 роки на розглядуваній ділянці налічується 6 випадків переривання електропостачання з середнім часом на відновлення $T_{ВДН} = 3$ год. В зв'язку з неперервністю технологічного процесу, аварія, що сталась посеред виготовлення чергової одиниці продукції, призводить до втрат часу на розпочатий елементарний технологічний процес, а також втрат матеріалів, енергії, часу на повторне ввімкнення обладнання (якими знехтуємо в даному прикладі).

$$T_{ВТР} = T_{ВДН} + T_{КР}; \quad T_{ВДН} = 3 \text{ год}; \quad T_{КР} \in (0; T_{КС}) = (0; 0.875) \text{ год} \quad (6)$$

$T_{ВТР}$ - час, який втрачається ділянкою виробництва при виникненні аварії в електропостачанні.

$T_{КР}$ - час виконання технологічного процесу до переривання електропостачання.

Вважаємо, що аварія в електропостачанні настає випадково і рівновірогідно в будь-який час. Тому середній час виконання технологічного процесу до переривання електропостачання складає

$$T_{КР} = \frac{0 + T_{КС}}{2} = \frac{0 + 0.875}{2} \approx 0.44 \text{ год} \quad (7)$$

Отже, визначимо втрати часу виробництва при аварії:

$$T_{ВТР} = T_{ВДН} + T_{КР} = 3 + 0.44 = 3.44 \text{ год} \quad (8)$$

Тоді, втрати від аварій в електропостачанні на ділянці в грошовому еквіваленті складають:

$$C_A = C \cdot T_{ВТР} = 2230 \cdot 3.44 = 7671.2 \text{ грн} \quad (9)$$

Зважаючи на час спостереження - 2 роки, за який сталось 6 випадків, і середньомісячну кількість робочих годин на місяць - 168, то ймовірність перебування мережі в неробочому стані (ймовірність переривання електропостачання) становить:

$$p_E = \frac{6 \cdot T_{ВДН}}{2 \cdot 12 \cdot 168} = \frac{6 \cdot 3}{2 \cdot 12 \cdot 168} = 0.0045 \quad (10)$$

Розрахуємо економічний ризик від аварійного переривання електропостачання:

$$R = p_E \cdot C_A = 0.0045 \cdot 7671.2 \approx 34.5 \text{ грн} \quad (11)$$

Прийнято рішення резервувати електропостачання ділянці за допомогою дизельної електростанції (далі – генератор).

2. Ризики від несправного стану генератора.

Розглянемо випадок, коли стан генератора перевіряється раз на 3 місяці.

За 2 роки генератор виробничої ділянці пройшов 8 перевірок, в результаті яких було встановлено: 6 справних станів, 2 несправних. Припустимо, що час перебування генератора в несправному стані до фактичного встановлення цього під час перевірки становив 26 днів і 54 дні відповідно. Тоді, розрахункова ймовірність перебування генератора в несправному стані:

$$p_G = \frac{26 + 54}{2 \cdot 365} = 0.1096 \quad (12)$$

Розглянемо подію виникнення аварії в електропостачанні в момент несправного стану дизельної електростанції. Ймовірність якої:

$$p_{\Sigma} = p_E \cdot p_G = 0.0045 \cdot 0.1096 \approx 0.0005 \quad (13)$$

В результаті такої події виникає ситуація переривання електропостачання без резервування, втрати від якої оцінені в п.1.2. та становлять $C_A = 7671.2$ грн.

Співвіднесемо ймовірності переривання електропостачання до і після резервування:

$$\gamma = \frac{P_E}{P_\Sigma} = \frac{0.0045}{0.0005} = 9 \quad (14)$$

тобто ризик у випадку резервування знизився в 9 разів.

Розглянемо ту ж ситуацію але за умови проведення діагностування щомісяця. Для наочності прийемо, що за два роки генератор так само двічі опинився у несправному стані, проте в такому випадку час перебування в ньому буде обмежений періодом діагностування його технічного стану – для даного прикладу прийемо за 26 та 27 діб відповідно. Зважаючи на це:

$$P'_G = \frac{26+27}{2 \cdot 365} = 0.0725 \quad (15)$$

$$\gamma = \frac{P_E}{P'_\Sigma} = \frac{0.00450}{0.00033} \approx 13.79 \quad (16)$$

Слід зауважити, що це співвідношення не залежить від ймовірності виникнення аварії в електропостачанні, а визначається лише ймовірністю перебування резервного джерела живлення в несправному стані.

$$\gamma = \frac{P_E}{P_\Sigma} = \frac{P_E}{P_E \cdot P_G} = \frac{1}{P_G} \quad (17)$$

Якщо представити вираз ймовірності несправного стану генератора в загальному вигляді, отримаємо:

$$P_G = \frac{t_{II}}{t_P + t_{II}} \quad (18)$$

де t_{II} - час вимушених простоїв обладнання; t_P - сумарний час роботи.

В такому разі формула (17) набуває наступного вигляду:

$$\gamma = \frac{1}{P_G} = \frac{t_P + t_{II}}{t_{II}} = \frac{1}{1 - \frac{t_P}{t_P + t_{II}}} = \frac{1}{1 - K_G} \quad (19)$$

де K_G - коефіцієнт готовності об'єкту.

Оскільки ймовірність несправного стану генератора є величиною невизначеною, якщо на основі неї робити припущення щодо поведінки стану обладнання у майбутньому, то коефіцієнт готовності – показник на який можна орієнтуватись чи до якого можна прямувати. Зважаючи на це, формула (19) має більший інтерес у практичному застосуванні. Зобразимо графічно залежність ступеню зменшення ризику при варіюванні коефіцієнту готовності в межах від 0,85 до 0,99 з кроком 0,01.

Тобто якщо розглянути формулу (19) у граничному співвідношенні, отримаємо, що ступінь зменшення ризику переривання електропостачання прямує до нескінченності при наближенні коефіцієнту готовності до одиниці.

$$\lim_{K_G \rightarrow 1} (\gamma(K_G)) = \infty \quad (20)$$

Це означає, що при зменшенні періоду між діагностуваннями резервного джерела живлення, ймовірність виникнення аварії переривання електропостачання знижується, тобто зростає надійність електропостачання об'єкта. При чому, максимальне значення надійності досягається при застосуванні систем автоматичного діагностування (моніторингу) стану дизельної електростанції.

Висновки

Втрати коштів підприємством при виникненні аварії в електропостачанні дільниці з місячним доходом 400 тис. грн. на місяць складають 7671.2 грн. Ймовірність виникнення аварії з електропостачанням $p_E=0,0045$. Ризик від аварійного переривання електропостачання: $R=34,5$ грн. Ймовірність аварії електропостачання при резервуванні $p_\Sigma=0,0005$, що в 9 разів менше ніж при відсутності резервування, і може бути зменшена іще за рахунок зменшення періоду перевірок стану дизельної електростанції. Ступінь зменшення ризику виникнення аварії визначається коефіцієнтом готовності. Максимальне значення надійності досягається при застосуванні систем автоматичного діагностування (моніторингу) стану дизельної електростанції.

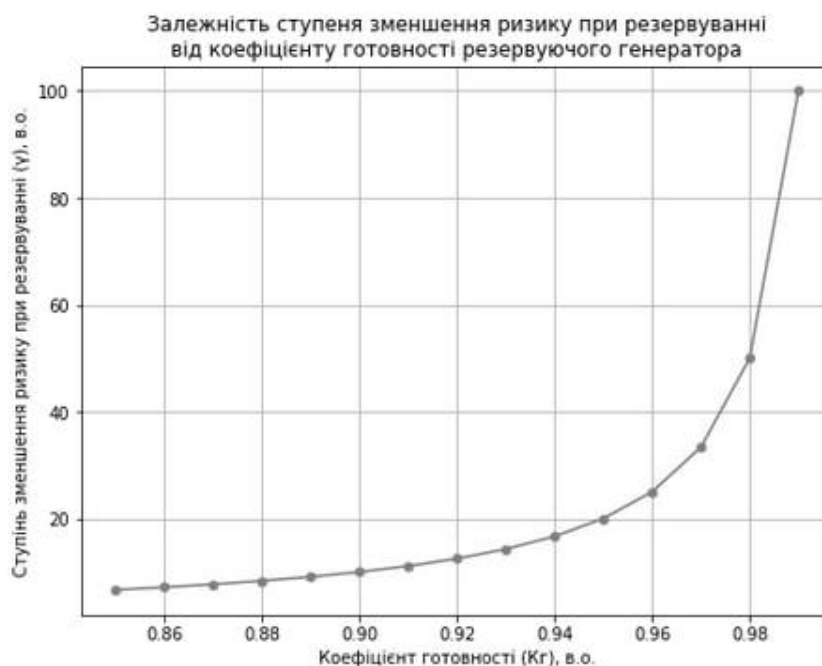


Рисунок 1 – Залежність ступеня зменшення ризику аварії переривання електропостачання при резервуванні, в залежності від коефіцієнту готовності резервуючого генератора

Недоліки

Математичну модель розрахунку ризику побудовано на припущеннях щодо: випадковості виникнення аварій; порівняно низьких коштах матеріалу та енергії по відношенню до вартості одиниці продукту; неперервності процесу виготовлення; порівняно невеликих затратах часу на ввімкнення та налаштування обладнання на роботу після ліквідації аварії.

Список використаної літератури.

1. Удосконалення методології системи технічного обслуговування і ремонту тягових підстанцій [Текст]: монографія / О. О. Матушевич. – Дніпропетровськ: Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2015 – 295 с.
2. Лут М.Т., Мірошник О.В., Трунова І.М.. Основи технічної експлуатації енергетичного обладнання АПК.: Підручник для студентів ВНЗ. – Харків: Факт, 2008. - 438 с. ISBN 978-966-637-575-2
3. Коваленко А. В. Діагностування рухомого складу електричного транспорту : конспект лекцій (для магістрантів 1 курсу всіх форм навчання спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) / А. В. Коваленко, В. М. Шавкун, В. В. Ліньков. – Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 152 с.
4. Основи діагностики автомобіля: Навчально-методичний посібник до практичних та самостійних робіт студентів вищих навчальних закладів України / Укладачі: Люлька В.С., Коньок М.М., Перинський Ю.Є., Клімов О.М. – Чернігів: ЧНПУ імені Т.Г. Шевченка, 2013. – 188 с.
5. Чому струм відключають не за графіком, не всім і так надовго – роз'яснення енергетиків. *MS.DETECTOR.MEDIA*, 2022 : веб-сайт. URL: <https://ms.detector.media/print/30569/> (дата звернення: 12.10.2023)
6. Калкаманов С. А. Конспект лекцій з дисциплін «Технічна діагностика електромеханічних систем», «Діагностування рухомого складу електричного транспорту» (для студентів усіх форм навчання за напрямом підготовки 6.050702 «Електромеханіка» спеціальності "Електричний транспорт") / С. А. Калкаманов, А. В. Коваленко, В. М. Шавкун; Харк. нац. ун-т міськ. госпва ім. О. М. Бекетова – Х.: ХНУМГ, 2014. – 152 с.
7. Cavalcante, Cristiano & Lopes, Rodrigo. Opportunistic Maintenance Policy for a System with Hidden Failures: A Multicriteria Approach Applied to an Emergency Diesel Generator. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014. p. 1-11. DOI: 10.1155/2014/157282.
8. Fehr, Stephen J.. "Emergency Diesel-Electric Generator Set Maintenance and Test Periodicity" (2017). Doctor of Philosophy (PhD), Dissertation, Engineering Management & Systems Engineering, Old Dominion University, DOI: 10.25777/q2nk-n411

9. Кадацький А.Ф. Системи електроживлення підприємств зв'язку: Навчальний посібник з дисципліни «Електроживлення систем зв'язку»: Частина 1. Навчально-методичний посібник; Частина 2. Методичні вказівки / А.Ф. Кадацький, О.П. Русу – Одеса: ОНАЗ ім. О.С.Попова, 2016. – 76 с.

10. Кулик В. В. Оцінювання балансової надійності відновлюваних джерел електроенергії у розподільних мережах з розрахункових графіків генерації та споживання / В.В. В. Кулик, В. ф. Кириченко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. - 2018. - № 1. - С. 72-79.

11. Європейський Парламент і Рада. (2009). Директива 2009/72/ЄС від 13.07.2009 Про спільні правила внутрішнього ринку електроенергії та про скасування Директиви 2003/54/ЄС. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=83431 (дата звернення: 12.10.2023)

12. CEER. (2018). CEER Benchmarking Report 6.1 – Continuity of Electricity and Gas supply. [C18-EQS-86-03]. URL: <https://www.ceer.eu/documents/104400/-/-/963153e6-2f42-78eb-22a4-06f1552dd34c> (дата звернення: 12.10.2023)

13. U.S. Energy Information Administration. (2022). Form EIA-861, Annual Electric Power Industry Report. URL: <https://www.eia.gov/electricity/annual/pdf/epa.pdf> (дата звернення: 12.10.2023)

S. Zaychenko¹, Dr. Sc. (Eng.), Prof., ORCID 0000-0002-8446-5408

R. Kulish¹, Ph. D. student, ORCID 0000-0003-0647-1578

¹National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

INFLUENCE OF DIAGNOSTICS FREQUENCY OF BACKUP POWER SUPPLY ON THE RELIABILITY OF ELECTRICITY SUPPLY

The article is dedicated to studying the impact of the frequency of diagnosing a backup power source on the reliability of electricity supply and assessing the economic risk of power interruptions in cases of backup or its absence. The study was conducted in the context of developing an automatic diagnosis system for power sources based on internal combustion engines, which has gained additional relevance during times of energy instability caused by the war.

To justify the necessity of installing a backup power source and its timely diagnosis, the relationship between the probability of power interruption before and after backup on a production line is analyzed. The final product of the line results from a sequence of operations, and any interruption in any of them leads to defective production. Based on input data, the cost of one unit of the product and the time required for its production are estimated, allowing for an hourly income assessment for the production area. The time lost during a power interruption, the economic impact of such an event, and the associated risks are calculated.

Similarly, the situation is considered, but with backup in place, taking into account the operational readiness of the backup power source. It is assumed that the technical condition of the backup power source may randomly deteriorate and remain in that state until it is actually restored. The probabilities of power interruption and the associated risks under these conditions are calculated. The obtained data is compared, and recommendations are provided for increasing the reliability of backup.

The results of the research reveal that the installation of a backup power source significantly reduces the risk of power interruption. The inspection period for the diesel generator can be reduced to enhance the reliability of backup, with the maximum level achieved through the use of an automatic diagnosis system for the diesel generator's condition.

Keywords: *technical risks, electricity supply, backup, diagnostics, reliability, coefficient of readiness*

References

1. Matushevich, O. O. (2015). Improvement of the methodology of technical maintenance and repair of traction substations. Dnipro: Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan [in Ukrainian].

2. Lut, M. T., Miroshnyk, O. V., Trunova, I. M. (2008). Fundamentals of technical operation of agricultural machinery and equipment: A textbook for university students. Kharkiv: Fact. ISBN 978-966-637-575-2 [in Ukrainian].

3. Kovalenko, A. V., Shavkun, V. M., Lin'kov, V. V. (2019). Diagnostics of the rolling stock of electric transport: Lecture notes (for master's degree students of all forms of training in the specialty 141 – Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics). Kharkiv: O. M. Beketov Kharkiv National University of Municipal Economy [in Ukrainian].

4. Lyulka, V. S., Konok, M. M., Perinskyi, Yu. Ye., Klimov, O. M. (2013). Fundamentals of car diagnostics: Educational and methodical manual for practical and independent work of students of higher

educational institutions of Ukraine. Chernihiv: T.H. Shevchenko Chernihiv National Pedagogical University [in Ukrainian].

5. "Why electricity is disconnected not according to the schedule, not for everyone, and not for long – explanations from the energy sector." MS.DETECTOR.MEDIA, 2022: Website. URL: <https://ms.detector.media/print/30569/> (Accessed: October 12, 2023) [in Ukrainian].

6. Kalkamanov, S. A., Kovalenko, A. V., Shavkun, V. M. (2014). Lecture notes on the disciplines "Technical Diagnostics of Electromechanical Systems" and "Diagnostics of the Rolling Stock of Electric Transport" (for students of all forms of training in the direction of preparation 6.050702 "Electromechanics" in the specialty "Electric Transport"). Kharkiv: O. M. Beketov Kharkiv National University of Municipal Economy [in Ukrainian].

7. Cavalcante, Cristiano & Lopes, Rodrigo. (2014). Opportunistic Maintenance Policy for a System with Hidden Failures: A Multicriteria Approach Applied to an Emergency Diesel Generator. *Mathematical Problems in Engineering*, 1-11. DOI: 10.1155/2014/157282 [in English].

8. Fehr, Stephen J. (2017). "Emergency Diesel-Electric Generator Set Maintenance and Test Periodicity" (Doctoral dissertation, Engineering Management & Systems Engineering, Old Dominion University). DOI: 10.25777/q2nk-n411 [in English].

9. Kadackiy, A. F., Rusu, O. P. (2016). Power supply systems of communication enterprises: Educational manual for the discipline "Power Supply Systems of Communication." Odessa: ONAZ named after O.S. Popov [in Ukrainian].

10. Kulyk, V. V., Kyrychenko, V. F. (2018). Assessment of the balance reliability of renewable energy sources in distribution networks based on generation and consumption schedules. *Bulletin of Vinnytsia Polytechnic Institute*, 1, 72-79 [in Ukrainian].

11. European Parliament and Council. (2009). Directive 2009/72/EC of July 13, 2009, on common rules for the internal market in electricity and repealing Directive 2003/54/EC. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=83431 (Accessed: October 12, 2023) [in English].

12. CEER. (2018). CEER Benchmarking Report 6.1 – Continuity of Electricity and Gas supply. [C18-EQS-86-03]. URL: <https://www.ceer.eu/documents/104400/-/-/963153e6-2f42-78eb-22a4-06f1552dd34c> (Accessed: 12.10.2023) [in English].

13. U.S. Energy Information Administration. (2022). Form EIA-861, Annual Electric Power Industry Report. URL: <https://www.eia.gov/electricity/annual/pdf/epa.pdf> (Accessed: 12.10.2023) [in English].

Надійшла: 18.10.2023

Received: 18.10.2023