

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та природокористування
Навчально-науковий інститут енергетики, автоматики та водного господарства
Кафедра автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих
технологій

04-03-452M

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторної роботи №1 з навчальної дисципліни
«Основи надійності електроенергетичних об'єктів»
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
за освітньо-професійними програмами «Автоматизація, комп'ютерно-
інтегровані технології та робототехніка» спеціальності 174 «Автоматизація,
комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»
та «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
денної та заочної форм навчання

Рекомендовано
науково-методичною радою
з якості ННІЕАВГ
Протокол № 7 від 25.02.2025 р.

Рівне – 2025

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи №1 з навчальної дисципліни «Основи надійності електроенергетичних об'єктів» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійними програмами «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» та «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної та заочної форм навчання. [Електронне видання] / Літковець С. П. – Рівне : НУВГП, 2025. – 15 с.

Укладач: Літковець С. П., доцент кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій, кандидат технічних наук, доцент.

Відповідальний за випуск:

Древецький В. В., завідувач кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій, доктор технічних наук, професор.

Керівник групи забезпечення спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»:

Христюк А. О., доцент кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій, кандидат технічних наук, доцент.

Керівник групи забезпечення спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»:

Літковець С. П., доцент кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій, кандидат технічних наук, доцент.

© С. П. Літковець, 2025

© НУВГП, 2025

ВСТУП

Метою освітньої компоненти «Основи надійності електроенергетичних об'єктів» є засвоєння здобувачами освіти основних методів розрахунку надійності та технічної діагностики на етапі проєктування і експлуатації електричних мереж та електрообладнання.

Основним завданнями дисципліни є:

- засвоєння основних понять теорії надійності технічних систем та показників надійності;
- формування структурно-логічних схем та засвоєння основних методів оцінювання та розрахунку надійності на етапі проєктування і експлуатації електричних мереж та електрообладнання;
- засвоєння основних принципів технічного діагностування електричних мереж та електрообладнання;
- засвоєння методів контролю працездатності та критеріїв пошуку дефектів і способів прогнозування технічного стану електрообладнання.

У методичних вказівках приведено опис лабораторної роботи №1. Вона стосується дослідження надійності систем електропостачання очисних та підготовчих забоїв. Для роботи наведено теоретичні відомості, порядок виконання роботи, вимоги до звіту з даної лабораторної роботи, а також контрольні запитання для підготовки до захисту звіту. Лабораторна робота №1 виконується в програмі Excel.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОЧИСНИХ ТА ПІДГОТОВЧИХ ЗАБОЇВ

Мета роботи: здійснити визначення та нормування показників безвідмовності, ремонтпридатності та тимчасової надлишковості забійних систем електропостачання.

1.1 ДОПУЩЕННЯ, ПРИЙНЯТІ В РОЗРАХУНКАХ

1. Часи безвідмовної роботи та відновлення забійних систем електропостачання (ЗСЕ) є випадковими величинами, що розподілені по показовому закону.

2. Незалежність відмов елементів ЗСЕ та їх відновлюваність.

3. Однакова надійність однотипного та працюючого в однакових режимах експлуатації рудникового електрообладнання ЗСЕ.

4. Бінарність системи, тобто наявність двох імовірних станів – працездатного та непрацездатного (стану відмови).

5. За відмову елементів ЗСЕ приймається не тільки порушення працездатного стану (припинення функціонування), а й порушення Правил безпеки та Правил технічної експлуатації вугільних і сланцевих шахт.

6. Відмови високовольтної частини системи електропостачання до центральної підземної підстанції (ЦПП) не враховуються, тобто вважають її абсолютно надійною.

7. Всі високовольтні кабелі, приєднані до однієї секції шин ЦПП, включаючи резервні, що знаходяться під напругою, вважаються з точки зору надійності з'єднаними послідовно, оскільки внаслідок неселективності максимального струмового захисту та захисту від замикання на землю, аварійні замикання призводять до відключення окремої секції шин ЦПП незалежно від місця виникнення замикання високовольтного кабелю.

8. Резервне електрообладнання, що знаходиться в режимі ненавантаженого відновлюваного резервування з ручним переходом на резерв лише покращує показники ремонтпридатності і при розрахунках безвідмовності ЗСЕ не враховується.

9. Допоміжні електроприймачі, що не здійснюють безпосереднього впливу на функціонування очисних та підготовчих забоїв в розрахунках надійності ЗСЕ можна не враховувати.

10. Всі електроприймачі очисних або підготовчих забоїв зв'язані єдиним технологічним ланцюгом в жорстку систему, в якій відмова будь-якого елемента призводить до припинення процесу вуглевидобутку чи проведення гірничих виробок. Тому структурно-логічна схема розрахунку надійності ЗСЕ приймається послідовною [1] (рис. 1.1).

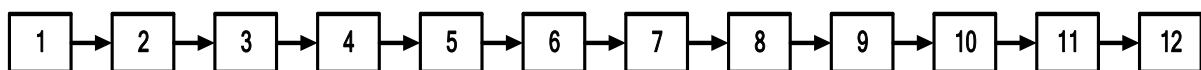


Рисунок 1.1 – Структурно-логічна схема (СЛС) розрахунку надійності забійних систем електропостачання: 1 – фідерна комплектна розподільча установка (КРУ) на ЦПП; 2 – всі високовольтні кабелі, що живляться від однієї секції шин ЦПП; 3 – ввідна КРУ на високовольтному розподільчому пункті (ВРП); 4 – фідерна КРУ на ВРП; 5 – пересувна дільнична понижуюча підстанція (ПДПП); 6 – фідерний низьковольтний кабель від ПДПП до розподільчого пункту (РП) забою; 7 – автоматичний вимикач на РП забою; 8 – всі магнітні пускачі (або станція керування) основних технологічних машин та механізмів забою; 9 – всі гнучкі кабелі від магнітних пускачів до електродвигунів технологічно жорстко зв'язаних забійних машин та механізмів; 10 – електродвигуни всіх технологічно зв'язаних забійних машин та механізмів спільно із вбудованими в машину силовими електричними пристроями; 11 – виносна апаратура керування (пускачами) основних забійних машин та механізмів; 12 – апаратура захисту від ненормальних режимів роботи, припинення функціонування якої призводить до перерв в електропостачанні

1.2 РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ ТА ТИМЧАСОВОЇ НАДЛИШКОВОСТІ ЗАБІЙНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

1) Визначення показників безвідмовності системи електропостачання забою [2].

1. Параметр потоку відмов системи [3, 4]:

$$Z(t)_c = \sum_{i=1}^n z(t)_i, \text{ год}^{-1}.$$

2. Середнє напрацювання між відмовами системи:

$$MTBF = \frac{1}{Z(t)_c} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{MTBF_i}}, \text{ год},$$

де $Z(t)_i$, – параметр потоку відмов i -го елемента системи енергопостачання;

$MTBF_i$ – середнє напрацювання між відмовами i -го елемента системи енергопостачання;

n – кількість послідовно з'єднаних елементів системи.

2) Визначення показників ремонтпридатності забійних систем електропостачання.

1. Середній час відновлення системи:

$$MTTR_c = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{MTBF_i}} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{MTTR_i}{MTBF_i} = MTBF_c \cdot \sum_{i=1}^n \frac{MTTR_i}{MTBF_i}, \text{ год}.$$

2. Інтенсивність відновлення системи [5]:

$$\mu(t)_c = \frac{1}{MTTR_c}, \text{ год}^{-1}.$$

3. Ймовірність відновлення системи за час τ :

$$M(t)_c = 1 - \exp(-\mu(t)_c t).$$

4. Тривалість перерв за рік через відмови системи електропостачання в цілому:

$$T_p = 8760 \sum_{i=1}^n \frac{MTTR_i}{MTBF_i}, \text{ год},$$

де $MTTR_i$ – середній час відновлення i -го елемента системи електропостачання;
8760 год – річне напруцювання системи електропостачання.

3) Визначення показників надлишковості ЗСЕ.

1. Надлишковий час технологічної системи очисного чи підготовчого забою, що використовується для компенсації простоїв по гірничо-геологічним та організаційним причинам, відмовам дільничного електромеханічного обладнання, перервам електропостачання:

$$t_n = t - t_3, \text{ год}.$$

2. Тривалість інтервалу часу, що відводиться на виконання добового завдання по добувним або прохідницьким роботам:

$$t = T_{3M} \cdot n_{3M}, \text{ год}.$$

де $T_{зм}$ – тривалість робочих змін протягом доби, год.;

$n_{зм}$ – кількість робочих змін протягом доби.

3. Мінімально необхідний час виконання запланованого завдання, що залежить об'єму завдання, продуктивності виїмкової машини, тривалості виконання допоміжних операцій, тривалості технологічних та організаційних регламентних перерв:

$$t_3 = t_{ц} \cdot n_{ц} + (t_{виб} + T_{пз}) \cdot n_{зм}, \text{ год.}$$

де $t_{ц}$ – тривалість виробничих циклів протягом доби, год.;

$n_{ц}$ – кількість виробничих циклів протягом доби;

$t_{виб}$ – тривалість зарядження, вибуху та провітрювання в нішах для однієї зміни, год.;

$T_{пз}$ – тривалість підготовчо-завершальних операцій для однієї зміни, год.

4. Надлишковий час для компенсації перерв електропостачання в загальному випадку:

$$t_n^e = 0,95 \cdot (0,1 \dots 0,15) \cdot t_n, \text{ год.}$$

5. Надлишковий час для компенсації перерв електропостачання комплексно-механізованих лав на шахтах Донецького басейну з добовою продуктивністю 400...1500 т:

$$t_n^e = 0,95 \cdot (1,55 - 0,00072 \cdot D_{доб}), \text{ год.};$$

де 0,95 – коефіцієнт, що враховує перерви зовнішнього енергопостачання (по відношенню до дільничної мережі);

$D_{\text{доб}}$ – добовий видобуток, т.

1.3 НОРМУВАННЯ НАДІЙНОСТІ ЗАБІЙНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

1. Значення ймовірності виконання планового завдання $P_{\text{вз}}$ [0,9 або 0,95], для забійних систем електропостачання, що володіють тимчасовою надлишковістю є ймовірністю того, що сумарний час простою $t_{\text{пр}}$ за час, що відводиться на виконання завдання не перевищує надлишкового $t_{\text{н}}$, тобто $P_{\text{вз}} = P\{t_{\text{пр}} \leq t_{\text{н}}\}$. Співвідношення нормативних значень безвідмовності $MTBF_{\text{н}}$, ремонтпридатності $MTTR_{\text{н}}$ та надлишкового часу $t_{\text{нн}}^{\text{е}}$ приведені на рис. 1.2.

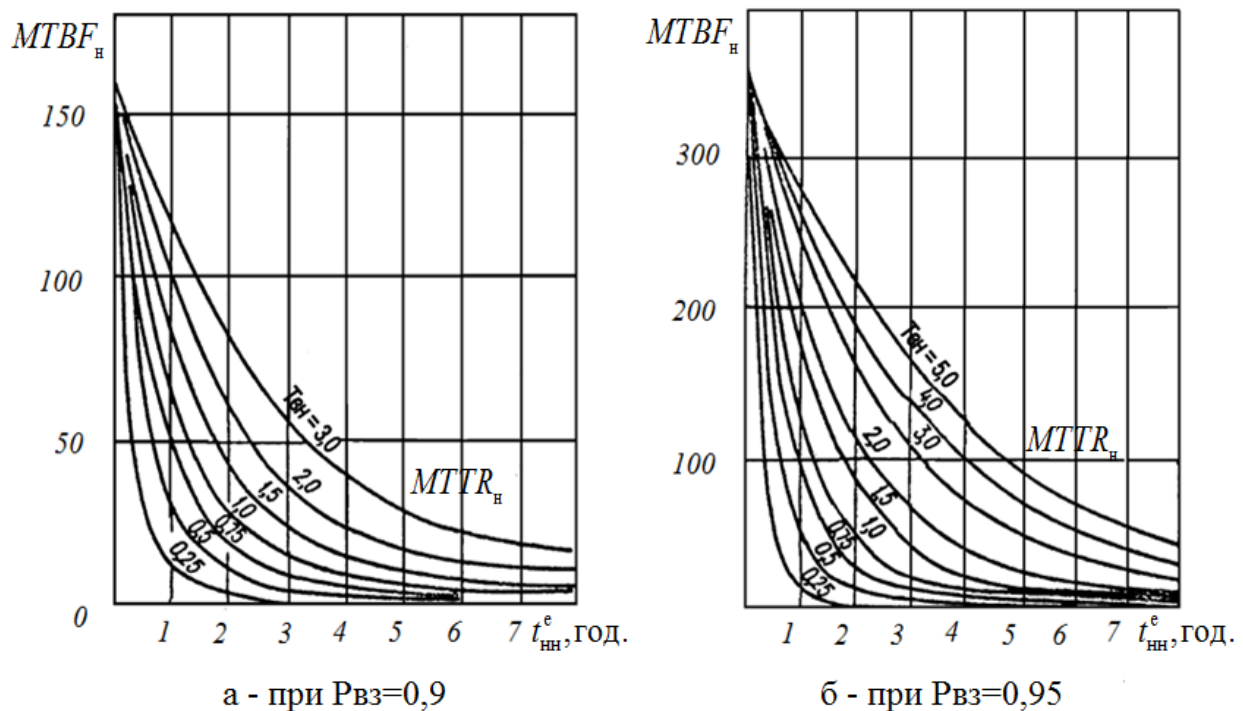


Рисунок 1.2 – Нормативні рівні надійності забійних систем електропостачання:

а – при $P_{\text{вз}} = 0,9$; б – при $P_{\text{вз}} = 0,95$

2. Допущення щодо відповідності розрахункових показників нормативним: 1) $MTTR_c = MTTR_n$, $t_n^e = t_{nn}^e$; 2) $MTBF_c = MTBF_n$, $t_n^e = t_{nn}^e$; 3) $MTTR_c = MTTR_n$, $MTBF_c = MTBF_n$. При цьому, однаково ймовірний будь-який випадок із трьох.

3. За рис. 1.2 шляхом графічних побудов визначається третій нормативний показник, що не входить в склад допущень: 1) $MTBF_n$ – як ордината перетину абсциси t_{nn}^e та кривої $MTTR_n$; 2) $MTTR_n$ – як крива, що проходить через точку перетину ординати $MTBF_n$ та абсциси t_{nn}^e ; 3) t_{nn}^e – як абсциса перетину ординати $MTBF_n$ та кривої $MTTR_n$.

4. Оцінка відповідності розрахункових показників безвідмовності, ремонтпридатності та тимчасової надлишковості нормативним:

$$1) MTBF_c \geq MTBF_n; \quad 2) MTTR_c \leq MTTR_n; \quad 3) t_n^e \geq t_{nn}^e.$$

5. У випадку невиконання умов по п. 3.4 слід розробити заходи:

- по підвищенню безвідмовності;
- по покращенню ремонтпридатності (зниженню середнього часу відновлення забійних систем електропостачання);
- по підвищенню показника тимчасової надлишковості;
- в комплексі всі вищеперераховані.

1.4 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

В лабораторній роботі використовується папка *LAB1_RDPI*, в яку поміщені файли: *LAB1_RDPI.pdf* – опис лабораторної роботи; *REPORT1_RDPI.xls* – розрахункові таблиці, додатки; *SHEMES1_RDPI.xls* –

схеми забійних систем електропостачання; *ELEMENTS1_RDPI.xls* – дані елементів по схемах забійних систем електропостачання.

1. Відкрити папку *LAB1_RDPI* та вибрати задану схему забійної системи електропостачання в файлі *SHEMES1_RDPI.xls*.

2. Вивчити принципову електричну схему електропостачання ділянки з листів **Варіант 1...n** файлу *SHEMES1_RDPI.xls*.

3. Визначити вид структурно-логічної схеми розрахунку надійності забійних систем електропостачання та побудувати її на листі **REPORT** файлу *REPORT1_RDPI.xls* засобами *Excel*.

4. Під час формування табл. 1.1, необхідно використовувати: числові дані файлу *ELEMENTS1_RDPI.xls* шляхом копіювання необхідних величин (графи 1...6) або дані по показниках надійності елементів структурно-логічної схеми з листа **Таблиця п. 1.1** файлу *REPORT1_RDPI.xls*.

Таблиця 1.1 – Розрахунок надійності забійних систем електропостачання

Назва елемента ЗСЕ, що входить в склад елемента СЛС	Тип елемента	Кількість (сума довжин кабелів) однотипних елементів $N_i (\sum l_k, \text{м})$	Напрацювання між відмовами 1000 м кабелю $MTBF_{1000}, \text{год.}$	Напрацювання між відмовами елемента (кабелю довжиною $\sum l_k, \text{м}$) $MTBF_i (MTBF_{\sum l}), \text{год.}$	Середній час відновлення елемента $MTTR_i, \text{год.}$	Параметр потоку відмов елемента (кабелю довжиною 1000 м) $Z(t)_i, Z(t)_{1000}, \text{год.}^{-1}$	Розрахунковий параметр потоку відмов однотипних елементів (кабелю довжиною $\sum l_k, \text{м}$) $Z(t) \cdot N_i(Z(t) \sum l_k), \text{год.}^{-1}$	$\frac{MTTR_i \cdot 100\%}{MTBF_i} \cdot 10^3$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ВСЬОГО:								$\sum Z(t)_i N(t)_i$

5. Обчислити показники надійності та тимчасової надлишковості забійних систем електропостачання, наведені в п. 1.2.

6. Вибрати і помістити графік нормативних рівнів надійності та тимчасової надлишковості з врахуванням ймовірності виконання планового завдання з листа **Нормативи ЗСЕ** на лист **REPORT** файлу *REPORT1_RDPI.xls*. Виконати нормування показників безвідмовності або ремонтпридатності. У випадку невідповідності розрахункових показників надійності забійних систем електропостачання нормативним, намітити практичні шляхи їх підвищення, враховуючи максимальні значення графі 9 (табл. 1.1). Реалізувати плановані заходи підвищення надійності забійних систем електропостачання і повторним прорахунком досягти нормативних рівнів безвідмовності та ремонтпридатності.

7. Привести висновки щодо результатів розрахунку, оформити звіт про виконану роботу у відповідності до пунктів 1...5.

1.5 ПРОЦЕДУРИ ТА ФУНКЦІЇ EXCEL, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ В ЛАБОРАТОРНІЙ РОБОТІ

1. Здійснити фіксацію заголовку таблиці для того, щоб забезпечити його постійну присутність на екрані та не виходження за границі вікна при переміщенні по таблиці. Для цього необхідно розділити вікно таблиці на дві частини: виділити крайню ліву комірку під заголовком таблиці та вибрати вкладку **Розділити** в меню **Вікно**. Після появи горизонтальної лінії під стрічкою заголовку, встановити курсор в будь-яку комірку заголовка та вибрати: **Вікно/Закріпити області**.

2. У разі роботи з декількома листами та необхідності посилення в формулах на комірки з різних листів необхідно: ввести формулу звичайним способом; натиснути мишею на корінці листа, що містить потрібну комірку, при цьому ім'я вибраного листа відобразиться в формулі; виділити необхідну комірку або інтервал та натиснути клавішу *Enter*, в стрічці формул будуть відображені імена вибраного листа та комірок; використати опцію Спеціальна

вставка, в якій вибрати режими вставки **Всі, Формули, Значення, Формати, Примітки** та потрібну операцію або вставку посилання.

1.6 ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Тема, мета роботи.
2. Схема електропостачання відповідно до варіанту.
3. Вихідні дані для розрахунку надійності забійної системи електропостачання відповідно до варіанту.
4. Структурно-логічна схема розрахунку надійності ЗСЕ.
5. Таблиця 1.1 з результатами розрахунку надійності ЗСЕ.
6. Таблиця 1.2 з оцінкою відповідності розрахункових показників нормативним.
7. Графіки нормативних рівнів надійності ЗСЕ з відміченими знайденими значеннями $MTBF_n$, $MTTR_n$ та t_{nn}^e .
8. Заходи по підвищенню безвідмовності, покращенню ремонтпридатності та підвищенню показника тимчасової надлишковості (у разі їх невідповідності нормативним показникам).
9. Висновки по роботі.

1.7 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Охарактеризуйте тип структурно-логічної схеми для розрахунку надійності забійних систем електропостачання.
2. З яких елементів складається структурно-логічна схема для розрахунку надійності забійних систем електропостачання?

3. Яким чином визначають показники безвідмовності системи електропостачання забою?

4. Які є показники ремонтпридатності забійних систем електропостачання і яким чином їх визначають?

5. Охарактеризуйте методику визначення надлишковості забійних систем електропостачання.

6. Яким чином здійснюється оцінка відповідності розрахункових показників безвідмовності, ремонтпридатності та тимчасової надлишковості нормативним?

7. Яким чином слід реагувати на невідповідність показників безвідмовності, ремонтпридатності або тимчасової надлишковості нормативним?

ЛІТЕРАТУРА

1. Губаревич О. В. Надійність і діагностика електрообладнання : підручник. Сєверодонецьк : СНУ ім. В. Даля, 2016. 248 с.
2. Журахівський А. В., Казанський С. В., Матєєнко Ю. П., Пастух О. Р. Надійність електроенергетичних систем і електричних мереж : підручник. Київ : Видавництво «Політехніка», 2017. 456 с.
3. Казак В. М., Доценко Б. І., Кузьмін В. П., Шепелєв Ю. І., Шевчук Д. О. Надійність та діагностика електрообладнання : навчальний посібник. Київ : НАУ, 2013. 280 с.
4. Ключєв О. В. Надійність і діагностика електрообладнання : конспект лекцій. Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2013. 143 с.
5. Васілевський О. М., Ігнатенко О. Г. Нормування показників надійності технічних засобів : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2013. 160 с.