

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: **Аналіз надійності радіальних та магістральних систем електропостачання промислових підприємств**

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи ЕТм-61
спеціальності 141
електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

	<u>Боденчук С. А.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Керівник	<u>Бабюк С. М.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	<u>Коваль В. П.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	<u>Коваль В. П.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Рецензент	<u>Шелестовський Б. Г.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра Електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Коваль В. П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

« 12 » листопада 2025 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

студенту Боденчуку Сергію Андрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Аналіз надійності радіальних та магістральних систем електропостачання промислових підприємств

Керівник роботи Бабюк Сергій Миколайович, к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 12 » листопада 2025 року № 4/7-966

2. Термін подання студентом завершеної роботи 20 грудня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи Характеристики радіальних та магістральних систем електропостачання промислових підприємств. Державні стандарти для систем електропостачання.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітичний розділ

2. Розрахунково-дослідницький розділ

3. Проектно-конструкторський розділ

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Вступ. Схеми радіальних та магістральних систем електропостачання промислових підприємств. Радіальна схема із 2 ТП. Залежність зменшення шкоди за абсолютної надійності елемента від кількості ТП. Магістральна схема з 2 ТП. Залежність зменшення шкоди за абсолютної надійності елемента від кількості ТП. Загальні збитки при різних схемах електропостачання. Зміна впливу факторів у міру зміни кількості ТП. Збитки у разі абсолютної надійності трансформаторів магістральних мережах та радіальних мережах. Збитки від аварій трансформаторів, шини кабелів. Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Гурик О. Я., к.т.н., доцент		
	Стручок В. С, старший викладач		

7. Дата видачі завдання 12 листопада 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	15.11.2025	
2	Аналітичний розділ	25.11.2025	
3	Розрахунково-дослідницький розділ	05.12.2025	
4	Проектно-конструкторський розділ	15.12.2025	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	20.12.2025	
6	Висновки	20.12.2025	
7	Оформлення пояснювальної записки	20.12.2025	
8	Оформлення графічної частини	20.12.2025	

Студент

(підпис)

Боденчук С. А.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Бабюк С. М.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Боденчук Сергій Андрійович – Аналіз надійності радіальних та магістральних систем електропостачання промислових підприємств.

141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Стор.– 84; рис. - 14; табл. - 90; слайдів - ____; джерел - 31; додатків - _.

Метою роботи є аналіз надійності радіальних та магістральних систем електропостачання промислового підприємства, визначення шкоди, спричиненої відмовою електрообладнання, та визначення найбільш надійного та найменш надійного обладнання.

Об'єкт дослідження - система електропостачання промислового підприємства.

Новизна роботи полягає у проведенні комплексного аналізу надійності системи електропостачання промислового підприємства, з використанням методу поділу системи електропостачання на зони, що характеризуються тим, що цей метод дозволяє легко ідентифікувати схеми захисту від збоїв, які включають усі компоненти енергосистеми та дозволяють оцінити показники надійності точки навантаження.

Результати дослідження дозволять легко проаналізувати надійність енергосистем та визначити найефективніший розподіл ресурсів організації, яка здійснює експлуатацію системи електропостачання

Перелік ключових слів: система електропостачання (СЕП), РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ТА АВТОМАТИКА, ГОЛОВНА ПОНИЖУВАЛЬНА ПІДСТАНЦІЯ, РОЗПОДІЛЬНИЙ ПУНКТ, ТРАНСФОРМАТОРНА ПІДСТАНЦІЯ.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1 Характер та причини несправностей та пошкоджень електричних пристроїв у системах електропостачання промислових підприємств	9
1.2 Основні показники надійності та їх розрахунок	11
1.3 Методи моделювання для аналізу надійності	12
1.4 Види відмов	13
1.5 Збитки від ненадійності електропостачання	14
1.6 Внутрішньозаводські електричні мережі напругою 6-10 кВ	15
1.7 Висновки до розділу 1	17
2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	18
2.1 Методика аналізу надійності	18
2.2 Довідкові дані щодо надійності елементів	19
2.3 Послідовне та паралельне з'єднання елементів	20
2.4 Оцінка збитків споживачеві	22
2.5 Багатофакторний дисперсійний аналіз	22
2.6 Висновки розділу 2	24
3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	25
3.1 Радіальні схеми	25
3.1.1 Радіальна схема із 2 ТП	25
3.1.2 Радіальна схема з 4 ТП	32
3.1.3 Радіальна схема із 6 ТП	35
3.1.4 Радіальна схема з 8 ТП	38
3.1.5 Радіальна схема із 10 ТП	42
3.2 Магістральні схеми	46
3.2.1 Магістральна схема з 2 ТП	46
3.2.2 Магістральна схема з 4 ТП	53

	5
3.2.3 Магістральна схема із 6 ТП	56
3.2.4 Магістральні схеми з 8 ТП	59
3.2.5 Магістральна схема із 10 ТП Схема поділена на такі групи:	62
3.3 Аналіз результатів	66
3.4 Висновки розділу 3	71
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	73
4.1 Безпека праці електромонтера по обслуговуванню трансформаторних підстанцій і розподільних пунктів	73
4.2 Принципи і заходи підвищення стійкості функціонування об'єктів економіки	77
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	80
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	81

ВСТУП

Стан проблеми. Відключення електроенергії небажано і в багатьох випадках призводить до неприємних наслідків: порушення нормальної роботи обладнання, пошкодження обладнання та, в деяких випадках, людських жертв. Тому величезну увагу слід приділити такій характеристиці систем електропостачання, як надійність.

Електрична система складається із системи генерації, системи передачі та системи розподілу. Система розподілу відповідає за забезпечення споживачів надійною електроенергією з високими стандартами якості. Надійність електропостачання можна визначити, як здатність електричної системи забезпечувати споживачів електричною енергією безперервно та з певним рівнем якості та безпеки. Декілька досліджень показали, що близько 80% відключень електроенергії відбувається через несправності в розподільчих мережах, а це означає, що розподільча система робить найбільший внесок у нездатність забезпечити споживачів електричною енергією [1].

Електрообладнання піддається впливу багатьох факторів, що призводять до зміни його основних характеристик, що призводить до руйнування цього обладнання та перебоїв у подачі електроенергії. Це призводить до припинення виробництва та збільшення витрат, знаючи, що є галузі, які не приймають перебої в подачі електроенергії навіть на короткий період, наприклад, у нафтопереробній промисловості, хімічній промисловості та великих комп'ютерних центрах, тому існує гостра необхідність забезпечити надійну роботу електроустаткування, щоб уникнути перебоїв у подачі електроенергії.

Проблема аналізу надійності вирішується з використанням одного із двох методів: або з використанням аналітичних методів, або з використанням методів моделювання [2].

Основні терміни та визначення, що застосовуються для аналізу та синтезу надійності в електроенергетиці, наведено в нормативних документах та рекомендаціях [3-6].

Актуальність дослідження. Надійне електропостачання дає змогу випускати якісну продукцію. При цьому важливо мінімізувати витрати на виробництво продукції. Зокрема, витрати можна знизити при плануванні роботи з експлуатації СЕП.

Метою роботи є створення моделі надійності системи електропостачання промислового підприємства, яка дозволяє визначати збитки від відмов електрообладнання, оцінювати надійність різних схем живлення та виявляти найбільш і найменш надійні елементи для підвищення ефективності експлуатації..

Для досягнення поставленої мети у роботі вирішуються такі **основні задачі**:

1. Проаналізувати сучасний стан проблеми надійності систем електропостачання за даними наукових джерел.
2. Побудувати модель надійності СЕП з урахуванням поділу на зони.
3. Виконати розрахунки показників надійності для різних конфігурацій (радіальних та магістральних) схем електропостачання.
4. Провести факторний аналіз впливу відмов трансформаторів, кабельних ліній та секцій шин.
5. Оцінити економічні збитки від відмов електрообладнання та визначити найбільш критичні елементи.
6. Сформулювати рекомендації щодо оптимізації експлуатації та планування ремонтів систем електропостачання.

Об'єкт дослідження – Система електропостачання промислового підприємства.

Предмет дослідження – Надійність роботи елементів і структурних схем (радіальних та магістральних) системи електропостачання промислового підприємства.

Наукова новизна отриманих результатів:

- Запропоновано комплексний підхід до аналізу надійності систем електропостачання промислового підприємства з використанням зонального

поділу, обґрунтовано методику оцінки надійності, яка враховує як технічні, так і економічні наслідки відмов, визначено найбільш впливові фактори, що формують рівень надійності, на основі багатфакторного аналізу.

Практичне значення

Розроблена модель надійності може бути використана для планування експлуатації та ремонтів електричних мереж промислових підприємств.

Результати дозволяють оптимізувати розподіл ресурсів та зменшити економічні втрати від відмов обладнання.

Отримані рекомендації можуть бути застосовані при проектуванні та модернізації систем електропостачання з метою підвищення їхньої ефективності та надійності.

Апробація. Основні положення та результати досліджень доповідались та обговорювались на науковій конференції „Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій“, присвячена 180-річчю з дня народження Івана Пулюя та 65-річчю з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (2025), на базі Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

Структура роботи. Робота складається із вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань (31 найменування).

Загальний обсяг текстової частини – 84 сторінки.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

Надійність це термін, який означає довговічність та гарну продуктивність. Надійність в електричних системах відноситься до здатності електричної системи функціонувати з високою якістю в умовах експлуатації. Той факт, що перебої в подачі електроенергії завдають значної економічної та соціальної шкоди, викликає зростаючу потребу споживачів енергії у підвищенні надійності електропостачання. Тим самим встановлюється стійка тенденція до підвищення надійності систем промислового електропостачання, збільшення резервів потужності, зниження тривалості відключень електроенергії тощо.

1.1 Характер та причини несправностей та пошкоджень електричних пристроїв у системах електропостачання промислових підприємств

Проаналізуємо причини відмов основного електроустаткування промислових підприємств (генератори, трансформатори, підземні кабелі, комутаційні пристрої, пристрої захисту та автоматики, робочі вимикачі, вимикачі, електродвигуни).

Для окремого електроустаткування та пристроїв СЕП можна виділити такі види відмов:

Основною причиною пошкоджень кабельних ліній (КЛ):

- порушення їх механічної міцності при проведенні земляних робіт;
- старіння ізоляції та перевантаження;
- пошкодження ізоляції гризунами.

Силові трансформатори

Цей вид обладнання пошкоджується значно рідше, ніж лінії електропередачі, проте його відмова веде до тяжких наслідків.

Основні причини пошкодження силових трансформаторів:

- пошкодження ізоляції обвиток трансформатора;
- ушкодження перемикачів;

- пошкодження вводів.

Комутаційні електричні апарати

Відмовлення комутаційних апаратів (автоматичних вимикачів, роз'єднувачів, короткозамикачів, відокремлювачів) відбуваються при вимкненні коротких замикань, виконанні ними інших операцій, а також в стаціонарному стані.

Основною причиною пошкоджень комутаційних апаратів можуть бути механічні пошкодження, пов'язані з недосконалістю конструкції, порушенням правил експлуатації або технології виготовлення. Серед них слід виділити дефекти контактних з'єднань, неполадки в електроприводі, пошкодження через помилкові дії персоналу, а також відмови при виконанні операцій включення через неякісне регулювання, налаштування або внаслідок зледеніння.

Електричні пошкодження комутаційних апаратів відбуваються перекриттям ізоляції при зовнішніх та внутрішніх перенапруженнях, пробоем внутрішньої ізоляції вимикачів та ін.

Слід зазначити велику пошкоджуваність лінійних роз'єднувачів 10 кВ через недоліки їхнього конструктивного виконання.

Для короткозамикачів причиною відмов можуть бути також мимовільні включення, а для відокремлювачів відмови в безглузду паузу.

До відмов запобіжників відносяться їх ушкодження, а також неселективні та хибні спрацьовування.

Релейний захист та автоматика

Відмовами пристроїв релейного захисту та автоматики (РЗА) є:

- відмови у спрацьовуванні за наявності вимоги (команди) на спрацьовування-ня;
- хибні спрацьовування за відсутності вимоги (команди) на спрацьовування-ня;
- спрацьовування за невідповідності командного імпульсу, тобто неселективні спрацьовування.

Причиною цих відмов є ушкодження елементів (резисторів, діодів,

транзисторів, тиристорів, конденсаторів, реле), у тому числі складаються схеми РЗА.

Для резисторів та напівпровідникових приладів характерна відмова типу «обрив» (до 90 %), для конденсаторів - типу «коротке замикання» (до 80 %).

Паяння, друкований монтаж через погане їх виконання мають до 95% відмов типу «обрив».

Основним джерелом відмов реле є контактна система, а причиною відмов розрегулювання контактів, їх зварювання, утворення на поверхні непровідних плівок через корозію, забруднення, ерозію.

Для малопотужних реле характерні відмови через помилкові спрацьовування під дією вібраційних та ударних навантажень [7].

1.2 Основні показники надійності та їх розрахунок

Основні показники надійності систем електропостачання.

Надійність СЕП може бути охарактеризована рядом показників, серед яких можна виділити [11,12]:

- Середній час відновлення T_B ;
- можливість безвідмовної роботи $P(t)$;
- Частоту відмов $a(t)$;
- Параметр потоку відмов $\mathcal{W}(t)$;
- Інтенсивність відмов $I(t)$;
- Напрацювання на відмову T_H ;
- Середнє напрацювання до відмови $T_{H.CEP}$;
- Коефіцієнт готовності K_G ;
- Коефіцієнт вимушеного простою (відновлення) K_B ;
- Коефіцієнт ремонтного режиму K_P ;
- Коефіцієнт технічного використання K_{TH} ;

- Середній ресурс T_p ;
- Середній термін служби, T_c .

Показники надійності є мірою оцінки надійності системи або окремих її елементів.

При аналізі надійності систем електропостачання підприємств враховується частота навмисних відключень, їхня тривалість.

Відмови електрообладнання в СЕП призводять до перерви в електропостачанні електроприймачів, що веде до скорочення випуску та браку продукції, поломки обладнання та, зрештою, до економічної шкоди підприємства. Оцінка надійності СЕП проводиться за розглянутими показниками та, крім того, за кількістю недоотриманої електроенергії та економічної шкоди.

1.3 Методи моделювання для аналізу надійності

Аналітичні методи є швидкими та ефективними при оцінці надійності розподілу для різних частот та часу відмов, але вони не надають жодної інформації про варіативність показників надійності, і вони ґрунтуються на статистичній інформації. Ці технології також можуть показати і уявити рідкісні події. Що стосується методів моделювання, що використовуються при дослідженні надійності, то вони характеризуються [12]:

- вказанням всіх можливих варіантів;
- сумісністю частоти відмов та ремонту;
- оцінкою частоти відмов для всієї системи чи конкретних точок навантаження;
- відповідністю комплексним і використовуваним планам обслуговування для запобігання виходу з експлуатації електрообладнання;
- розрахунком витрат на відключення електроенергії.

1.4 Види відмов

Сукупність критеріїв, конкретних якостей та допустимих меж визначає працездатність пристроїв та систем. Пошкодження або вихід із ладу відбувається, коли змінний параметр перевищує допустимі межі зміни у часі, а його допуски перевищують задані значення [12].

Є два типи відмов: раптові та поступові. Поступові відмови характеризуються поступовою зміною одного або кількох параметрів, що перевищують заданий поріг. Зміна параметра продовжується на значну величину у разі раптових збоїв.

У неробочому електрообладнанні несправності можуть бути таких видів:

- операція не вдалася;
- хибна тривога.

Вихід з ладу обладнання може бути викликаний:

- помилки при розробці електротехнічних пристроїв, а також вибір умов експлуатації цих пристроїв;
- помилки при виготовленні, монтажі та ремонті електроустаткування;
- несправності обладнання через старіння ізоляційних матеріалів, а також зношування;
- непередбачені поломки (пошкодження електрообладнання та приладів через негоду, пошкодження ліній електропередач під час транспортування).

До експлуатаційних збоїв відносяться:

- аварії через складність СЕП, систем релейного захисту та захисту, структур управління;
- відмова через недостатню кваліфікацію обслуговуючого персоналу;
- відмова через недостатню кваліфікацію обслуговуючого персоналу;
- відмови, викликані механічними та кліматичними елементами навколишнього середовища, які не повинні виникати за нормальних умов експлуатації.

1.5 Збитки від ненадійності електропостачання

Ненадійність електропостачання завдає шкоди споживачам електроенергії, присунення єдиним виробництвам і самої СЕП.

Споживач страждає двома способами:

- у зв'язку з раптовим відключенням електроенергії, що спричинив порушення технологічного процесу, пошкодження основного обладнання, псування сировини та готової продукції;
- через простої виробничого персоналу, який варіюється в залежності мости від глибини та тривалості відключення електроенергії.

Витрати на шкоду системі електропостачання, викликаний виходом з ладу окремих елементів, становлять:

- на позаплановий ремонт обладнання;
- за подальші втрати при виробництві та розподілі електроенергії в період розслідування аварії та відновлення оптимального режиму роботи сонячної електростанції. Недовиробництво окремих виробів, зниження їх якості, псування певної кількості сировини та готової продукції, простої окремих механізмів та обслуговуючого їх персоналу - все це наслідки обмежень електропостачання споживачів. Можливі лише грубі розрахунки, що базуються на даних про попередні аварії на аналогічних об'єктах.

Серед відомих систем статистики пошкоджень найкращими є ті, що ґрунтуються на понятті приватної шкоди.

Питома шкода - це кількість шкоди, що завдається на одиницю чогось: на один зупин, на одного працюючого, на одиницю продукції та на одиницю витраченої потужності. Питома шкода розраховується на одиницю недовідпущеної електроенергії (грн. кВт·год) та на одиницю встановленої потужності в електроенергетиці (грн. кВт).

Розмір збитків визначається тривалістю відключення. Питома шкода, заподіяна раптовими відключеннями, більша, ніж шкода, заподіяна запобіжними відключеннями. Часткове обмеження енергоспоживання зазвичай призводить до

менших збитків.

У результаті часткових обмежень конкретну шкоду необхідно помножити на поправочний коефіцієнт, що визначається глибиною обмеження та галуззю [13].

1.6 Внутрішньозаводські електричні мережі напругою 6-10 кВ

Внутрішньозаводський розподіл електроенергії виконується за радіальними, магістральними або змішаними схемами залежно від територіального розміщення навантажень, їх величин, необхідного ступеня надійності живлення та інших особливостей промислового об'єкта, що розглядається. Усі три види схем знайшли широке поширення в СЕП діючих ПП [13-16].

Схеми розподілу електроенергії всередині промислових підприємств, як правило, мають східчасту побудову. Число ступенів залежить від потужності підприємства та розподілу навантажень на його території. У більшості випадків застосовуються одно- або двоступінчасті схеми, тому що більше ступенів ускладнює комутацію, релейний захист і, найголовніше, збільшує капітальні вкладення в електричні мережі. Схеми з числом ступенів більше двох допускається виконувати за їх техніко-економічного обґрунтування.

Радіальні схеми є доцільними, коли споживачі розташовані в різних напрямках від пункту живлення. Найбільш характерні типи радіальних схем наведено на рис 1.1.

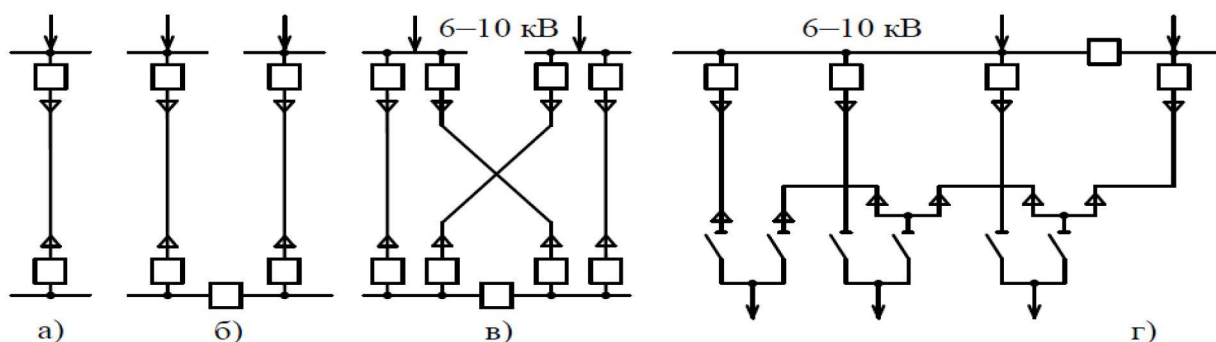


Рисунок 1.1 – Радіальні схеми: а - одноколова; б двоколова; в - перехресна двоколова; г - одиночні радіальні із загальною резервною магістраллю.

Магістральні схеми на багатьох промислових підприємствах, насамперед великих, струми коротких замикань у системі електропостачання мають досить великі значення (5-20 кА) і переріз відходящих кабельних ліній від збірних шин ГПП або РП, доводиться завищувати, виходячи з умов їхньої термічної стійкості. У цих випадках магістральні схеми дозволяють краще, ніж радіальні, використовувати перетин кабелів, вибраний за економічною щільністю струму та перевіреним на термічну стійкість до струмів короткого замикання.

Поодинокі магістралі без резервування (рисунок 1.2, а) можуть бути застосовані лише в тих випадках, коли допустимо перерву живлення не лише на час відшукування та відключення пошкодженої ділянки магістралі, але й її відновлення.

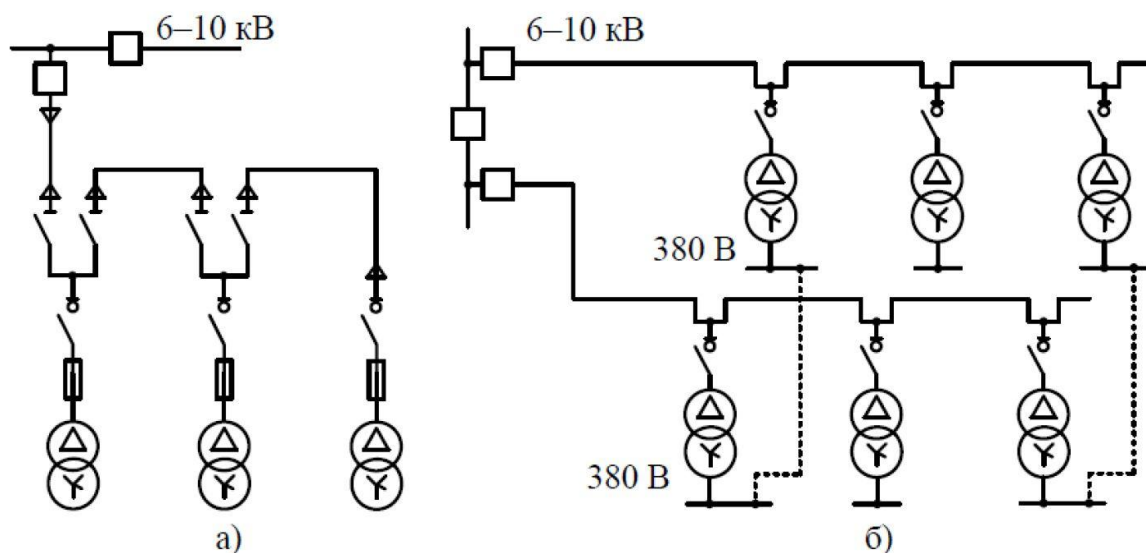


Рисунок 1.2 – Поодинокі магістральні лінії

Такі схеми використовуються для споживачів 3-ї категорії. Недоліком одиничних магістральних схем є неможливість резервування за вторинною напругою сусідніх однострансформаторних підстанцій, тому що вони живляться від однієї магістралі і при відключенні її знеструмлюються одночасно всі ТП. Для усунення цієї нестачі близько розташовані одна трансформаторна підстанція, що живиться від різних одиничних магістралей, можна резервувати по низьковольтній стороні (рисунок 1.2, б).

1.7 Висновки до розділу 1

У даному розділі проаналізовано сутність поняття надійності електропостачання та визначено її значення для стабільної роботи промислових підприємств. Встановлено основні причини відмов електрообладнання (трансформаторів, кабельних ліній, комутаційних апаратів, релейного захисту та автоматики), а також класифіковано види відмов. Розглянуто показники, які застосовуються для оцінки надійності систем електропостачання, та наведено підходи до їх розрахунку.

Проаналізовано методи моделювання, що дозволяють оцінювати надійність електричних мереж, а також виявлено характерні особливості внутрішньозаводських мереж напругою 6–10 кВ залежно від схеми побудови. Окрему увагу приділено економічним збиткам, які виникають унаслідок ненадійності електропостачання.

Отже, результати проведеного аналізу підтверджують актуальність завдання підвищення надійності систем електропостачання промислових підприємств і створюють основу для подальших розрахунків та проектних рішень у наступних розділах роботи.

2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Методика аналізу надійності

Проектування надійних промислових та комерційних систем електропостачання важливе через високі витрати, пов'язані з відключенням цих об'єктів. Для надійного проектування та експлуатації цих об'єктів дуже важливо мати можливість легко оцінювати частоту та тривалість відключень точок навантаження у цих розподільчих енергосистемах. Існує кілька методів, розроблених за останні 40 років для оцінки надійності мереж енергосистем. Ці методи є систематичними та піддаються ручним чи комп'ютерним обчисленням. Однак може бути особливо складно оцінити вплив несправних схем координації захисту на показники надійності точки навантаження для великих промислових та комерційних енергосистем, які включають складні процедури ізоляції та відновлення. Основна перевага методології зонального відгалуження полягає в тому, що вона дозволяє легко виявляти несправні схеми захисту, які включають усі компоненти промислової енергосистеми, та може оцінювати показники надійності точки навантаження.

Основним компонентом графічного чи цифрового представлення промислової енергосистеми є зв'язок (тобто однорідне з'єднання між будь-якими двома вузлами чи носіями у системі). Лінія зв'язку може бути частиною електричного обладнання, що з'єднує дві точки в ланцюзі, такий як трансформатор або регулятор, або відрізок повітряної лінії, кабель або конвеєрний трубопровід. Захисне обладнання зазвичай встановлюється на початку ланки, відгалуження або ділянки подачі, щоб захистити подальше обладнання від збоїв у цій ланці, відгалуженні чи ділянці фідера.

Деякі з основних засобів захисту, що використовуються у промислових системах:

- автоматичні вимикачі та реле;
- клапани;

- ркклоузери;
- розділювачі;
- автоматичні та ручні роз'єднувачі.

Для оцінки захисних властивостей – узгодженості та надійності конкретної промислової енергосистеми необхідно розділити промислову енергосистему на захисні зони. По суті, захисна зона - це частина енергосистеми, яка може автоматично або вручну ізолювати себе від решти енергосистеми у разі несправності будь-якої з її ланок. Оцінка робочих характеристик обладнання захисту визначає, чи може обладнання захисту ізолювати пошкодження у елементах порушеної частини енергосистеми від решти енергосистеми [17].

2.2 Довідкові дані щодо надійності елементів

Кожен компонент СЕП може перебувати в одному з трьох станів: у робочому стані, у неробочому стані через пошкодження або у неробочому стані через планове технічне обслуговування.

Оцінка надійності проводиться на основі наступних співвідношень при послідовному з'єднанні елементів СЕП [2,18]:

- параметр потоку відмов одного елемента $w(pik^{-1})$, тобто. середня кількість відмов за одиницю часу;
- середній час відновлення (заміни, аварійного ремонту), година на одне відновлення T_B ;
- параметр потоку навмисних вимкнень елемента $w_{пл}(pik^{-1})$;
- середня тривалість одного навмисного відключення елемента (в основному для профілактичних та капітальних ремонтів) $T_{пл}$, годину на одне від- виключення;
- коефіцієнт (ймовірність) вимушеного простою K_B ;
- коефіцієнт (ймовірність) планового ремонту $K_{пл}$.

2.3 Послідовне та паралельне з'єднання елементів

Послідовним називається з'єднання елементів у системі, коли відмова будь-якого елемента призводить до відмови всієї системи [13].

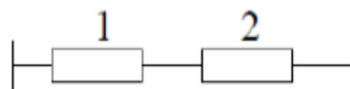


Рисунок 2.1 – Послідовна схема

Два послідовно з'єднані елементи можна замінити еквівалентним елементом з параметрами:

- частота аварійних ремонтів:

$$W_{12} = W_1 + W_2$$

де W_1 – частота аварійних ремонтів для першої групи;

W_2 – частота аварійних ремонтів для другої групи;

- коефіцієнт вимушеного простою:

$$K_{B12} = K_{B1} + K_{B2}$$

де K_{B1} – коефіцієнт вимушеного простою для першої групи;

K_{B2} – коефіцієнт вимушеного простою для другої групи;

- час відновлення:

$$T_{B12} = \frac{8760 \times K_{B12}}{W_{12}}$$

Паралельним називається таке з'єднання елементів у структурній схемі технічної системи, коли відмова системи настає при відмові всіх елементів.

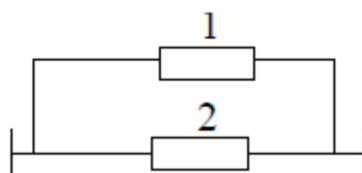


Рисунок 2.2 – Паралельна схема

Два послідовно з'єднані елементи можна замінити еквівалентним елементом з параметрами: частота аварійних ремонтів:

$$K_{B12} = W_1 \times K_{B2} + W_2 \times K_{B1};$$

де W_1 – частота аварійних ремонтів для першої групи;

W_2 – частота аварійних ремонтів для другої групи;

K_{B1} – коефіцієнт вимушеного простою для першої групи;

K_{B2} – коефіцієнт вимушеного простою для другої групи;

- коефіцієнт вимушеного простою:

$$K_{B12} = K_{B1} \times K_{B2}$$

де K_{B1} – коефіцієнт вимушеного простою для першої групи;

K_{B2} – коефіцієнт вимушеного простою для другої групи;

- час відновлення:

$$T_{B12} = \frac{8760 \times K_{B12}}{W_{12}}$$

- частота планових ремонтів аварій під час планових ремонтів:

$$W_{ПЛ12} = W_1 \times K_{ПЛ2} + W_2 \times K_{ПЛ1}$$

де $K_{ПЛ1}$ – коефіцієнт (ймовірність) планового ремонту для першої групи;

$K_{ПЛ2}$ – коефіцієнт (ймовірність) планового ремонту для другої групи;

- коефіцієнт (ймовірність) планового ремонту

$$K_{ПЛ12} = K_{ПЛ1} \times K_{B2} + K_{ПЛ2} \times K_{B1}$$

- середня тривалість одного навмисного відключення елемента:

$$T_{ПЛ12} = \frac{8760 \times K_{ПЛ12}}{W_{ПЛ12}}$$

- загальна частота аварійних ремонтів:

$$W = W_{12} + W_{ПЛ12}$$

2.4 Оцінка збитків споживачеві

У наближених розрахунках вважатимемо, що кількість продукції, що випускається підприємством (і його дохід), пропорційно отриманій електроенергії [13].

- збитки від аварійних простоїв:

$$Z_B = Z_t^B \times K_B \times P_{сер} \times t_{роб}$$

де Z_t^B – питомі збитки, *грн кВт год*

K_B – коефіцієнт вимушеного простою;

$P_{сер}$ – середня споживана потужність, *кВт*;

$t_{роб}$ – нормативний час роботи споживача – 8760 год.

У випадку, коли підприємство та частина СЕП, в якій сталася аварія, належать одному власнику, повна економічна шкода дорівнює сумі всіх складових збитків.

У разі коли власники підприємства та СЕП різні, на стадії оцінки інвестиційного проекту всі складові збитків також доцільно складати. Збитки підприємству та суміжним виробництвам згідно з договором між підприємством та СЕП компенсуватимуться СЕП.

2.5 Багатофакторний дисперсійний аналіз

Особливо ефективно факторне планування у разі, коли необхідно дати якісну оцінку дії низки чинників, тобто. дослідити кожен фактор лише у двох випадках: фактор виключений з експерименту (-1), і експеримент виконано на фоні фактора (+1).

Висновок "фактор є значущим" або "фактор не є значущим" потрібно зробити щодо кожного з факторів.

У нашому випадку ми вивчатимемо 3 фактори (трансформатори – секції – лінії). У цьому випадку мінімальна кількість дослідів становить $m = 2^p$;

де m – кількість рядків;

p – кількість факторів.

Якщо для кожного набору факторів виконаний тільки один експеримент, в цьому випадку для оцінки дисперсії необхідно сформувати розширену матрицю, що складається з m рядків і $m - 1$ стовпців.

Розширена матриця формується за такими правилами:

- останній рядок повністю заповнюється (-1);
- в решті рядків кількість (+1) на один більша за кількість (-1);
- у кожному стовпці кількість (+1) та (-1) однакова.

Усі рядки, крім останнього, виходять із першого рядка шляхом перестановки символів, уникаючи повторення рядків [19].

Використовуючи результати експериментів x_i та елементи розширеної матриці $a_{i,j}$ для кожного стовпця i , обчислюють алгебраїчні суми за формулою:

$$W_i = \sum_{j=1}^m a_{i,j} \times x_j$$

За величинами W_i для додаткових стовпців виконують оцінку вибіркової дисперсії випадкової величини за формулою:

$$D_{\text{вип}} = \frac{\sum_{i=p+1}^m W_i^2}{m - p - 1}$$

За величинами W_i для кожного з факторів A_i обчислюють значення за формулою:

$$T_{\text{експ}}^i = \frac{W_i}{\sqrt{D_{\text{вип}}}} \times \sqrt{\frac{m}{2}}$$

Значимість кожного з факторів оцінюють за критерієм Стюдента. Перевірена статистична гіпотеза у тому, що чинник є значимим, тобто. не впливає на експеримент. Значення критерію Стюдента $T_a(f)$, який залежить

від кількості ступенів свободи $f = m - 2$ і рівня значущості отримують із таблиці.

Якщо для рівня значущості $\alpha = 0,05$ виконується співвідношення

$$T_{експ}^i < T_{0,05}(f);$$

то фактор F_i не є значимим. Якщо для рівня значущості $\alpha = 0,01$ поповнюється співвідношення

$$T_{експ}^i > T_{0,01}(f);$$

то фактор F_i є значимим. При виконанні співвідношення

$$T_{0,05}(f) < T_{експ}^i < T_{0,01}(f).$$

2.6 Висновки розділу 2

У розділі виконано комплексний аналіз надійності елементів системи електропостачання з урахуванням особливостей їх роботи. Розглянуто методику зонального відгалуження, що дає можливість виявляти несправні схеми захисту та оцінювати показники надійності точок навантаження. Наведено довідкові дані щодо параметрів надійності основних елементів, розглянуто вплив послідовного та паралельного з'єднання на загальну роботу системи.

Проведено оцінку можливих збитків споживачів у разі аварійних відключень та планових ремонтів, що дозволяє кількісно визначити економічні наслідки перерв в електропостачанні. Крім того, застосовано багатфакторний дисперсійний аналіз для визначення значущості основних факторів (трансформатори, секції, лінії), що впливають на надійність та ефективність роботи системи.

Отримані результати підтверджують доцільність використання обраної методики для оцінки надійності системи електропостачання та створюють підґрунтя для подальшої оптимізації схем і параметрів мережі.

3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

Аналіз надійності промислового підприємства

Надійність СЕП суттєво залежить від схеми СЕП та кількості ТП на промисловому підприємстві. Тому проведемо дослідження окремо для радіальної та магістральної схем при зміні кількості ТП від 2 до 10. Далі докладно викладено аналіз для 2-х ТП.

Аналіз збитків проводився виходячи з довідкових даних про надійність елементів СЕП.

3.1 Радіальні схеми

3.1.1 Радіальна схема із 2 ТП

Розрахунок надійності виконано щодо навантаження. Розділимо можливі аварії на групи:

- група 1 – аварія на трансформаторі Т-1, вимикачах В-1 та В-3;
- група 2 – аварія на трансформаторі Т-2, вимикачах В-2 та В-4;
- група 3 – аварія на секції шин СШ-1 ГПП;
- група 4 – аварія на секції шин СШ-2 ГПП;
- група 5 – аварія на кабельній лінії Л-1, вимикачах В-6 та В-7 та В-8, на трансформаторі Т-3;
- група 6 – аварія на кабельній лінії Л-3, вимикачах В-9 та В-10 та В-11, на трансформаторі Т-4;
- група 7 – аварія на кабельній лінії Л-4, вимикачах В-12 та В-13 та В-14, на трансформаторі Т-5;
- група 8 – аварія на кабельній лінії Л-2, вимикачах В-15 та В-16 та В-17, на трансформаторі Т-6.

Схема досліджуваної системи електропостачання показано на рис. 3.1.

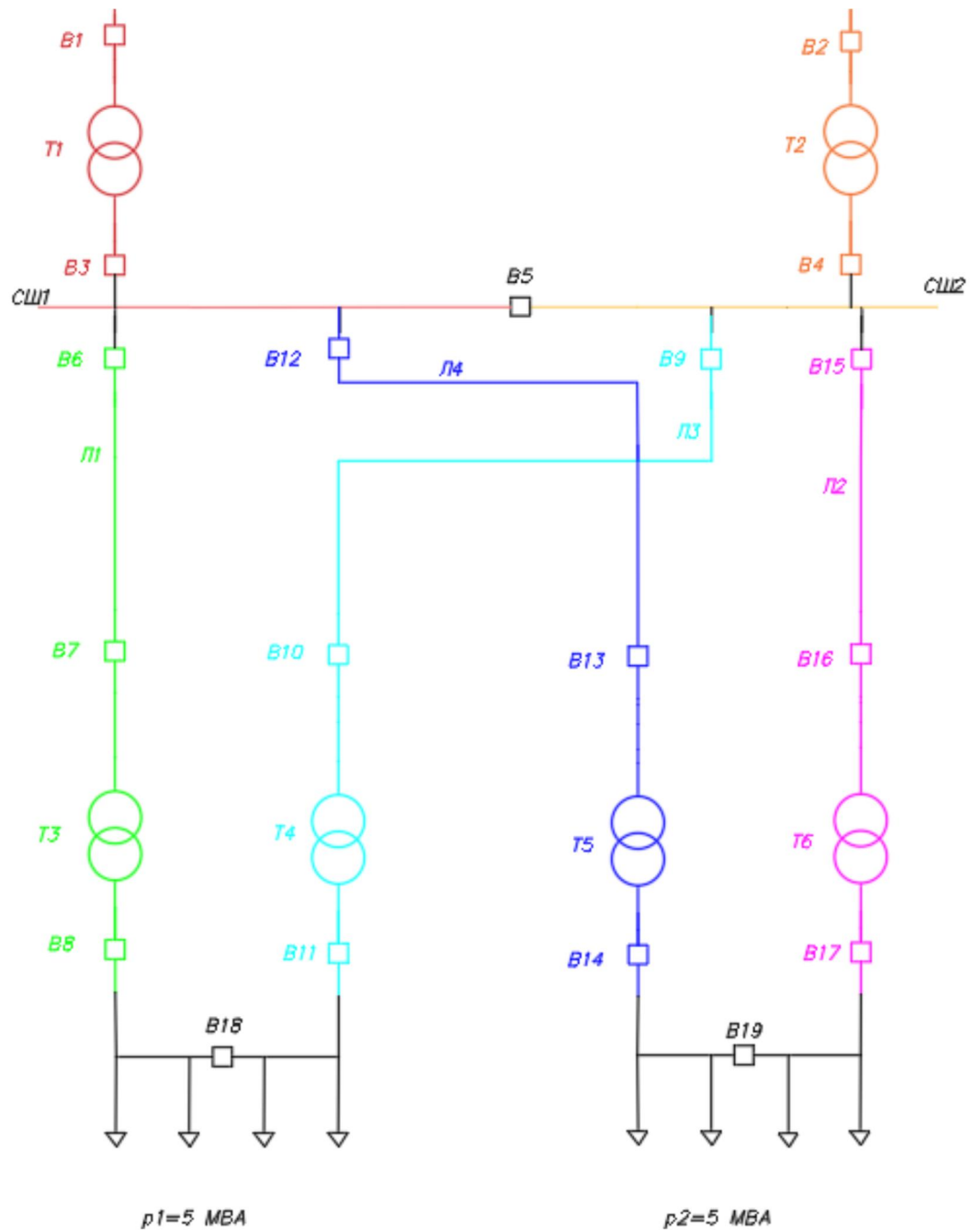


Рисунок 3.1 – Радіальна схема із 2 ТП

Таблиця 3.1 – Критичні відмови

		$p_1 + p_2$				p_1		p_2	
		Гр.1	Гр.2	Гр.3	Гр.4	Гр.5	Гр.6	Гр.7	Гр.8
$p_1 + p_2$	Гр.1	0	+	–	+	–	–		–
	Гр.2	+	0	+	–	–	–	–	–
	Гр.3	–	+	0	+	–	+	–	+
	Гр.4	+	–	+	0	+	–	+	–
p_1	Гр.5	–	–	–	+	0	+	–	–
	Гр.6	–	–	+	–	+	0	–	–
p_2	Гр.7	–	–	–	+	–	–	0	+
	Гр.8	–	–	+	–	–	–	+	0

Проведемо розрахунок надійності, при цьому розрахуємо частоту збігів аварійних ремонтів, а результати обчислень наведені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Частота аварійних ремонтів ($\times 10^{-5}$)

		$p_1 + p_2$				p_1		p_2	
		Гр.1	Гр.2	Гр.3	Гр.4	Гр.5	Гр.6	Гр.7	Гр.8
$p_1 + p_2$	Гр.1	0.00	1.34	–	0.60	–	–	–	–
	Гр.2	1.34	0.00	0.60	–	–	–	–	–
	Гр.3	–	0.60	0.00	0.073	–	0.79	–	0.79
	Гр.4	0.60	–	0.073	0.00	0.79	–	0.79	–
p_1	Гр.5	–	–	–	0.79	0.00	4.46	–	–
	Гр.6	–	–	0.79	–	4.46	0.00	–	–
p_2	Гр.7	–	–	–	0.79	–	–	0.00	4.46
	Гр.8	–	–	0.79	–	–	–	4.46	0.00

Розрахуємо коефіцієнт вимушеного простою для груп, отримані результати зведені у таблиці 3.3

Таблиця 3.3 – Коефіцієнт вимушеного простою ($\times 10^{-8}$)

		$p_1 + p_2$				p_1		p_2	
		Гр.1	Гр.2	Гр.3	Гр.4	Гр.5	Гр.6	Гр.7	Гр.8
$p_1 + p_2$	Гр.1	0.00	1.97	–	0.12	–	–	–	–
	Гр.2	1.97	0.00	0.12	–	–	–	–	–
	Гр.3	–	0.12	0.00	0.00	–	0.15	–	0.15
	Гр.4	0.12	–	0.00	0.00	0.15	–	0.15	–
p_1	Гр.5	–	–	–	0.15	0.00	2.85	–	–
	Гр.6	–	–	0.15	–	2.85	0	–	–
p_2	Гр.7	–	–	–	0.15	–	–	0.00	2.85
	Гр.8	–	–	0.15	–	–	–	2.85	0.00

Розрахуємо час відновлення для груп, а результати обчислень наведені у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Час відновлення

		$p_1 + p_2$				p_1		p_2	
		Гр.1	Гр.2	Гр.3	Гр.4	Гр.5	Гр.6	Гр.7	Гр.8
$p_1 + p_2$	Гр.1	0.00	12.81	–	1.85	–	–		–
	Гр.2	12.81	0.00	1.85	–	–	–	–	–
	Гр.3	–	1.85	0.00	1.00	–	1.69	–	1.69
	Гр.4	1.85	–	1.00	0.00	1.69	–	1.69	–
p_1	Гр.5	–	–	–	1.69	0.00	5.60	–	–
	Гр.6	–	–	1.69	–	5.60	0.00	–	–
p_2	Гр.7	–	–	–	1.69	–	–	0.00	5.60
	Гр.8	–	–	1.69	–	–	–	5.60	0.00

Розрахуємо частоту планових ремонтів аварій під час планових ремонтів груп, отримані результати зведені у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Частоти планових ремонтів ($\times 10^{-5}$)

		$p_1 + p_2$				p_1		p_2	
		Гр.1	Гр.2	Гр.3	Гр.4	Гр.5	Гр.6	Гр.7	Гр.8
$p_1 + p_2$	Гр.1	0.00	29.24	–	13.50	–	–		–
	Гр.2	29.24	0.00	13.50	–	–	–	–	–
	Гр.3	–	13.50	0.00	2.19	–	18.90	–	18.90
	Гр.4	13.50	–	2.19	0.00	18.90	–	18.90	–
p_1	Гр.5	–	–	–	18.90	0.00	100.90	–	–
	Гр.6	–	–	18.90	–	100.90	0.00	–	–
p_2	Гр.7	–	–	–	1.69	–	–	0.00	5.60
	Гр.8	–	–	1.69	–	–	–	5.60	0.00

Розрахуємо коефіцієнт (імовірність) планового ремонту для груп, а результати обчислень наведено у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Коефіцієнт планового ремонту ($\times 10^{-8}$)

		$p_1 + p_2$				p_1		p_2	
		Гр.1	Гр.2	Гр.3	Гр.4	Гр.5	Гр.6	Гр.7	Гр.8
$p_1 + p_2$	Гр.1	0.00	85.53	–	6.62	–	–		–
	Гр.2	85.53	0.00	6.62	–	–	–	–	–
	Гр.3	–	6.62	0.00	0.50	–	8.11	–	8.11
	Гр.4	6.62	–	0.50	0.00	8.11	–	8.11	–
p_1	Гр.5	–	–	–	8.11	0.00	129.10	–	–
	Гр.6	–	–	8.11	–	129.10	0.00	–	–
p_2	Гр.7	–	–	–	8.11	–	–	0.00	129.10
	Гр.8	–	–	8.11	–	–	–	129.10	0.00

Розрахуємо середню тривалість одного навмисного відключення, отримані результати зведено у таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Середня тривалість одного навмисного відключення

		$p_1 + p_2$				p_1		p_2	
		Гр.1	Гр.2	Гр.3	Гр.4	Гр.5	Гр.6	Гр.7	Гр.8
$p_1 + p_2$	Гр.1	0.00	25.62	–	4.30	–	–		–
	Гр.2	25.62	0.00	4.30	–	–	–	–	–
	Гр.3	–	4.30	0.00	2.00	–	3.76	–	3.76
	Гр.4	4.30	–	2.00	0.00	3.76	–	3.76	–
p_1	Гр.5	–	–	–	3.76	0.00	11.21	–	–
	Гр.6	–	–	3.76	–	11.21	0.00	–	–
p_2	Гр.7	–	–	–	3.76	–	–	0.00	11.21
	Гр.8	–	–	3.76	–	–	–	11.21	0.00

Розрахуємо загальну частота аварійних ремонтів, результати обчислень наведені у таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Загальна частота аварійних ремонтів ($\times 10^{-5}$)

		$p_1 + p_2$				p_1		p_2	
		Гр.1	Гр.2	Гр.3	Гр.4	Гр.5	Гр.6	Гр.7	Гр.8
$p_1 + p_2$	Гр.1	0.00	30.59	–	14.10	–	–		–
	Гр.2	30.59	0.00	14.10	–	–	–	–	–
	Гр.3	–	14.10	0.00	2.26	–	19.7	–	19.70
	Гр.4	14.10	–	2.26	0.00	19.70	–	19.70	–
p_1	Гр.5	–	–	–	19.70	0.00	105.40	–	–
	Гр.6	–	–	19.70	–	105.40	0.00	–	–
p_2	Гр.7	–	–	–	19.70	–	–	0.00	105.40
	Гр.8	–	–	19.70	–	–	–	105.40	0.00

Багатофакторний дисперсійний аналіз, створюється розширена матриця.

У таблиці 3.9 показана розширена матриця для трифакторного експерименту.

Таблиця 3.9 – Матриця для трифакторного експерименту

Номер досвіду	Чинники			Додаткові стовпці				Значення величини
	A_1 трансформатор	A_2 Секції шин	A_3 Кабелі	4	5	6	7	
1	+ 1	+ 1	+ 1	- 1	+ 1	- 1	- 1	$X_1 = 1050,00$
2	- 1	+ 1	+ 1	+ 1	- 1	+ 1	- 1	$X_2 = 232,97$
3	+ 1	- 1	+ 1	- 1	- 1	+ 1	+ 1	$X_3 = 938,51$
4	- 1	- 1	+ 1	+ 1	+ 1	- 1	+ 1	$X_4 = 183,10$
5	+ 1	+ 1	- 1	+ 1	- 1	- 1	+ 1	$X_5 = 786,15$
6	- 1	+ 1	- 1	- 1	+ 1	+ 1	+ 1	$X_6 = 123,19$
7	+ 1	- 1	- 1	+ 1	+ 1	+ 1	- 1	$X_7 = 690,05$
8	- 1	- 1	- 1	- 1	- 1	- 1	- 1	$X_8 = 88,72$

$$W_1 = \frac{x_1 - x_2 + x_3 - x_4 + x_5 - x_6 + x_7 - x_8}{0,5 \times n} = 709,18$$

$$W_2 = \frac{x_1 + x_2 - x_3 - x_4 + x_5 + x_6 - x_7 - x_8}{0,5 \times n} = 72,983$$

$$W_3 = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 - x_5 - x_6 - x_7 - x_8}{0,5 \times n} = 179,117$$

$$W_4 = \frac{-x_1 + x_2 + x_3 + x_4 - x_5 - x_6 - x_7 - x_8}{0,5 \times n} = -77,038$$

$$W_5 = \frac{x_1 - x_2 - x_3 + x_4 - x_5 + x_6 + x_7 - x_8}{0,5 \times n} = 3,75 \times 10^{-3}$$

$$W_6 = \frac{-x_1 + x_2 + x_3 - x_4 - x_5 + x_6 + x_7 - x_8}{0,5 \times n} = -60,11$$

$$W_7 = \frac{-x_1 - x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 - x_7 - x_8}{0,5 \times n} = -7,7$$

Тоді:

$$D_{\text{вин}} = 2402$$

Визначимо експериментальні значення критерію Стюдента для факторів A_1 та A_2 т A_3 :

$$T_{експ}^1 = \frac{709,18}{\sqrt{2402}} \times \sqrt{\frac{8}{2}} = 28,941$$

$$T_{експ}^2 = \frac{72,983}{\sqrt{2402}} \times \sqrt{\frac{8}{2}} = 2,978$$

$$T_{експ}^3 = \frac{179,117}{\sqrt{2402}} \times \sqrt{\frac{8}{2}} = 7,31$$

Значення критерію Стюдента $T_a(f)$ залежить від кількості ступенів свободи $f = m - 2$ та рівня значущості, одержують з таблиці.

$$T_{0,05}(6) = 2,447.$$

$$T_{0,01}(6) = 3,707.$$

Другий фактор незначний. Перший і третій фактори є важливими, але найбільший вплив має перший фактор.

Збитки від аварійних простоїв.

Ненадійність електропостачання призводить до виникнення збитків у споживача електроенергії. Збитки від аварійних простоїв розраховані, а результати обчислень наведені в таблиці 3.11. Для промислового підприємства приймемо збитки $Z_t^B = 3 \text{ грн} \times \text{Вт} \times \text{год}$.

У таблиці 3.10 містяться дані розрахунку середнього споживання потужності.

Таблиця 3.10 – Середнє споживання потужності кВт ($\times 10^3$)

		$p_1 + p_2$				p_1		p_2	
		Гр.1	Гр.2	Гр.3	Гр.4	Гр.5	Гр.6	Гр.7	Гр.8
$p_1 + p_2$	Гр.1	0	10	–	10	–	–		–
	Гр.2	10	0	10	–	–	–	–	–
	Гр.3	–	10	0	10	–	5	–	5
	Гр.4	10	–	10	0	5	–	5	–
p_1	Гр.5	–	–	–	5	0	5	–	–
	Гр.6	–	–	5	–	5	0	–	–
p_2	Гр.7	–	–	–	5	–	–	0	5
	Гр.8	–	–	5	–	–	–	5	0

Таблиця 3.11 – Збитки від аварійних простоїв

z_{12}^B	z_{14}^B	z_{23}^B	z_{34}^B	z_{36}^B	z_{45}^B	z_{56}^B	z_{74}^B	z_{83}^B	z_{78}^B
383.40	24.93	24.93	1.62	15.00	15.00	277.55	15.00	15.00	277.55

В таблиці 3.12 містяться дані розрахунку збитків у різних випадках надійності.

Таблиця 3.12 – Збитки у різних випадках надійності.

Загальні збитки	Загальні збитки у випадку надійності трансформаторів	Загальні збитки у разі надійності шин	Загальні збитки у випадку надійності кабеля
1050.00	232.97	938.50	786.14

Таким чином, можна зробити висновок, що надійні трансформатори в 7.328 рази кращі за надійні шини і в 3.097 разів кращі за надійні кабелі.

3.1.2 Радіальна схема з 4 ТП

Можливі нещасні випадки були поділені на групи:

- група 1 – аварія на трансформаторі Т-1, вимикачах В-1 та В-3;
- група 2 – аварія на трансформаторі Т-2, вимикачах В-2 та В-4;
- група 3 – аварія на секції шин СШ-1 ГПП;
- група 4 – аварія на секції шин СШ-2 ГПП;
- група 5 – аварія на кабельній лінії Л-1, вимикачах В-6 та В-7, на трансформаторі Т3;
- група 6 – аварія на кабельній лінії Л-3, вимикачах В-8 та В-9, на трансформаторі Т-4;
- група 7 – аварія на кабельній лінії Л-4, вимикачах В-10 та В-11, на трансформаторі Т-5;
- група 8 – аварія на кабельній лінії Л-3, вимикачах В-12 та В-13, на трансформаторі Т-6.

Складемо таблицю критичних відмов

Таблиця 3.13 – Критичні відмови

		$p_1 + p_2$				p_1		p_2	
		Гр.1	Гр.2	Гр.3	Гр.4	Гр.5	Гр.6	Гр.7	Гр.8
$p_1 + p_2$	Гр.1	0	+	–	+	–	–		–
	Гр.2	+	0	+	–	–	–	–	–
	Гр.3	–	+	0	+	–	+	–	+
	Гр.4	+	–	+	0	+	–	+	–
p_1	Гр.5	–	–	–	+	0	+	–	–
	Гр.6	–	–	+	–	+	0	–	–
p_2	Гр.7	–	–	–	+	–	–	0	+
	Гр.8	–	–	+	–	–	–	+	0

Результати розрахунків наведено у додатку:

- частота аварійних ремонтів груп у таблиці А-1;
- коефіцієнт вимушеного простою груп у таблиці Б-1;
- час відновлення груп у таблиці В-1;
- частота планових ремонтів аварій під час планових ремонтів груп таблиці Г-1;
- коефіцієнт (ймовірність) планового ремонту груп у таблиці Д-1;
- середня тривалість одного навмисного відключення елемента груп у таблиці Е-1;
- загальна частота аварійних ремонтів.

Частота аварійних ремонтів груп розрахована за формулою (2.10) а результати обчислень наведено у таблиці 3.14.

Таблиця 3.14 – Загальна частота аварійних ремонтів ($\times 10^{-5}$).

		$p_1 + p_2$				p_1		p_2	
		Гр.1	Гр.2	Гр.3	Гр.4	Гр.5	Гр.6	Гр.7	Гр.8
$p_1 + p_2$	Гр.1	0.00	30.59	–	20.50	–	–		–
	Гр.2	30.59	0.00	20.50	–	–	–	–	–
	Гр.3	–	20.50	0.00	3.45	–	27.74	–	27.74
	Гр.4	20.50	–	3.45	0.00	27.74	–	27.74	–
p_1	Гр.5	–	–	–	27.74	0.00	105.40	–	–
	Гр.6	–	–	27.74	–	105.40	0.00	–	–
p_2	Гр.7	–	–	–	27.74	–	–	0.00	105.40
	Гр.8	–	–	27.74	–	–	–	105.40	0.00

Багатофакторний дисперсійний аналіз

У таблиці 3.15 містяться дані розрахунку матриця для трифакторного експерименту.

Таблиця 3.15 – Експериментальні значення величини

X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
784.42	179.85	660.95	124.50	648.64	121.10	536.72	77.32

Обчислюємо суми, а результати обчислень наведено у таблиці 3.16.

Таблиця 3.16 – Розрахунок часткових сум

W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6	W_7
531.98	83.63	91.48	- 38.52	2.5×10^{-4}	- 62.83	- 5.77

За величинами W_i для додаткових стовпців виконують оцінку вибіркової дисперсії випадкової величини.

$$D_{\text{вип}} = 1366$$

Емпіричні значення критерію Стюдента для факторів A_1 та A_2 т A_3 просумовані в таблиці 3.17.

Таблиця 3.17 – Розрахункові значення критерію Стюдента

$T_{\text{експ}}^1$	$T_{\text{експ}}^2$	$T_{\text{експ}}^3$
28.78	4.52	4.95

Так усі фактори значні, але найбільший вплив має перший фактор.

Розрахуємо збитки від аварійних простоїв, а результати обчислень наведені в таблиці 3.19.

У таблиці 3.18 містяться середнє споживання потужності.

Таблиця 3.18 – Середнє споживання потужності кВт ($\times 10^3$)

		$p_1 + p_2$				p_1		p_2	
		Гр.1	Гр.2	Гр.3	Гр.4	Гр.5	Гр.6	Гр.7	Гр.8
$p_1 + p_2$	Гр.1	0.0	10.0	–	10.0	–	–	–	–
	Гр.2	10.0	0.0	10.0	–	–	–	–	–
	Гр.3	–	10.0	0	10.0	–	2.5	–	2.5
	Гр.4	10.0	–	10.0	0.0	2.5	–	2.5	–
p_1	Гр.5	–	–	–	2.5	0.0	2.5	–	–
	Гр.6	–	–	2.5	–	2.5	0.0	–	–
p_2	Гр.7	–	–	–	2.5	–	–	0.0	2.5
	Гр.8	–	–	2.5	–	–	–	2.5	0.0

Таблиця 3.19 – Збитки від аварійних простоїв

z_{12}^B	z_{14}^B	z_{23}^B	z_{34}^B	z_{36}^B	z_{45}^B	z_{56}^B	z_{74}^B	z_{83}^B	z_{78}^B
383.40	37.40	37.40	3.64	11.25	11.25	138.77	11.25	11.25	138.77

У таблиці 3.20 містяться збитки у різних випадках надійності.

Таблиця 3.20 – Збитки у різних випадках надійності.

Загальні збитки	Загальні збитки у випадку надійності трансформаторів	Загальні збитки у разі надійності шин	Загальні збитки у випадку надійності кабеля
784.42	179.85	660.95	648.64

Таким чином, можна зробити висновок, що надійні трансформатори в 4.897 рази кращі за надійні шини в 4.452 рази кращі за надійні кабелі.

3.1.3 Радіальна схема із 6 ТП

Схема поділена на такі групи:

- група 1 – аварія на трансформаторі Т-1, вимикачах В-1 та В-3;
- група 2 – аварія на трансформаторі Т-2, вимикачах В-2 та В-4;
- група 3 – аварія на секції шин СШ-1 ГПП;
- група 4 – аварія на секції шин СШ-2 ГПП;
- група 5 – аварія на кабельній лінії Л-1, вимикачах В-6 та В-7, на трансформаторі Т-3;
- група 6 – аварія на кабельній лінії Л-3, вимикачах В-8 та В-9, на трансформаторі Т-4;
- група 7 – аварія на кабельній лінії Л-4, вимикачах В-10 та В-11, на трансформаторі Т-5;
- група 8 – аварія на кабельній лінії Л-3, вимикачах В-12 та В-13, на трансформаторі Т-6.

З поділу на групи складемо таблицю критичних відмов. Результати наведено у таблиці 3.21.

Таблиця 3.21 – Критичні відмови

		$p_1 + p_2$				p_1		p_2	
		Гр.1	Гр.2	Гр.3	Гр.4	Гр.5	Гр.6	Гр.7	Гр.8
$p_1 + p_2$	Гр.1	0	+	–	+	–	–		–
	Гр.2	+	0	+	–	–	–	–	–
	Гр.3	–	+	0	+	–	+	–	+
	Гр.4	+	–	+	0	+	–	+	–
p_1	Гр.5	–	–	–	+	0	+	–	–
	Гр.6	–	–	+	–	+	0	–	–
p_2	Гр.7	–	–	–	+	–	–	0	+
	Гр.8	–	–	+	–	–	–	+	0

Результати розрахунків наведено у додатку:

- частота аварійних ремонтів груп у таблиці А-2;
- коефіцієнт вимушеного простою груп у таблиці Б-2;
- час відновлення груп у таблиці В-2;
- частота планових ремонтів аварій під час планових ремонтів груп у таблиці Г-2;
- коефіцієнт (імовірність) планового ремонту груп у таблиці Д-2;
- середня тривалість одного навмисного відключення елемента груп у таблиці Е-2;
- загальна частота аварійних ремонтів

Розрахуємо частоту аварійних ремонтів груп та представимо у табл. 3.22.

Таблиця 3.22 – Загальна частота аварійних ремонтів ($\times 10^{-5}$)

		$p_1 + p_2$				p_1		p_2	
		Гр.1	Гр.2	Гр.3	Гр.4	Гр.5	Гр.6	Гр.7	Гр.8
$p_1 + p_2$	Гр.1	0.00	30.59	–	26.89	–	–		–
	Гр.2	30.59	0.00	26.89	–	–	–	–	–
	Гр.3	–	26.89	0.00	4.67	–	35.78	–	35.78
	Гр.4	26.89	–	4.67	0.00	35.78	–	35.78	–
p_1	Гр.5	–	–	–	35.78	0.00	105.40	–	–
	Гр.6	–	–	35.78	–	105.40	0.00	–	–
p_2	Гр.7	–	–	–	35.78	–	–	0.00	105.40
	Гр.8	–	–	35.78	–	–	–	105.40	0.00

Багатофакторний дисперсійний аналіз

У таблиці 3.23 містяться дані розрахунку матриці для трифакторного експерименту.

Таблиця 3.23 – Експериментальні значення величини.

X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
716.11	171.54	569.57	105.18	622.83	129.73	486.59	73.66

Обчислюємо суми за формулою (2.12), а результати обчислень наведено у таблиці 3.24.

Таблиця 3.24 - Розрахунок часткових сум

W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6	W_7
478.74	101.30	62.39	- 25.73	2.5×10^{-4}	- 71.02	- 5.14

За величинами W_i для додаткових стовпців виконують оцінку вибіркової дисперсії випадкової величини:

$$D_{\text{вип}} = 1433.$$

За величинами W_i для кожного з факторів. Емпіричні значення критерію Стьюдента для факторів A_1 та A_2 т A_3 просумовані в таблиці 3.25.

Таблиця 3.25 – Розрахункові значення критерію Стьюдента

$T_{\text{експ}}^1$	$T_{\text{експ}}^2$	$T_{\text{експ}}^3$
25.29	5.35	3.29

Так вплив третього чинника незначний. Вплив першого та другого факторів має значущий, але найбільший ефект від першого фактора.

Розрахуємо збитки від аварійних простоїв, а результати обчислень наведені в таблиці 3.27

У таблиці 3.26 містяться дані розрахунку середнього споживання потужності кВт.

Таблиця 3.26 – Середнє споживання потужності кВт ($\times 10^3$)

		$p_1 + p_2$				p_1		p_2	
		Гр.1	Гр.2	Гр.3	Гр.4	Гр.5	Гр.6	Гр.7	Гр.8
$p_1 + p_2$	Гр.1	0.00	10.00	–	10.00	–	–	–	–
	Гр.2	10.00	0.00	10.00	–	–	–	–	–
	Гр.3	–	10.00	0.00	10.00	–	1.67	–	1.67
	Гр.4	10.00	–	10.00	0.00	1.67	–	1.67	–
p_1	Гр.5	–	–	–	1.67	0.00	1.67	–	–
	Гр.6	–	–	1.67	–	1.67	0.00	–	–
p_2	Гр.7	–	–	–	1.67	–	–	0.00	1.67
	Гр.8	–	–	1.67	–	–	–	1.67	0.00

Таблиця 3.27 – Збитки від аварійних простоїв

z_{12}^B	z_{14}^B	z_{23}^B	z_{34}^B	z_{36}^B	z_{45}^B	z_{56}^B	z_{74}^B	z_{83}^B	z_{78}^B
383.40	49.97	49.97	6.50	10.02	10.02	92.70	10.02	10.02	92.70

У таблиці 3.28 містяться дані розрахунку збитків у різних випадках надійності.

Таблиця 3.28 - Збитки у різних випадках надійності.

Загальні збитки	Загальні збитки у випадку надійності трансформаторів	Загальні збитки у разі надійності шин	Загальні збитки у випадку надійності кабеля
716.112	171.548	569.577	622.835

Таким чином, можна зробити висновок, що надійні трансформатори в 3.716 рази кращі за надійні шини і в 5.838 рази кращі за надійні кабелі.

3.1.4 Радіальна схема з 8 ТП

Схема поділена на такі групи:

- група 1 – аварія на трансформаторі Т-1, вимикачах В-1 та В-3;
- група 2 – аварія на трансформаторі Т-2, вимикачах В-2 та В-4;
- група 3 – аварія на секції шин СШ-1 ГПП;
- група 4 – аварія на секції шин СШ-2 ГПП;
- група 5 – аварія на кабельній лінії Л-1, вимикачах В-6 та В-7, на трансформаторі ТЗ;

- група 6 – аварія на кабельній лінії Л-3, вимикачах В-8 та В-9, на трансформаторі Т4;
- група 7 – аварія на кабельній лінії Л-4, вимикачах В-10 та В-11, на трансформаторі Т5;
- група 8 – аварія на кабельній лінії Л-3, вимикачах В-12 та В-13, на трансформаторі Т-6.

Складемо таблицю критичних відмов.

Таблиця 3.29 – Критичні відмови

		$p_1 + p_2$				p_1		p_2	
		Гр.1	Гр.2	Гр.3	Гр.4	Гр.5	Гр.6	Гр.7	Гр.8
$p_1 + p_2$	Гр.1	0	+	–	+	–	–		–
	Гр.2	+	0	+	–	–	–	–	–
	Гр.3	–	+	0	+	–	+	–	+
	Гр.4	+	–	+	0	+	–	+	–
p_1	Гр.5	–	–	–	+	0	+	–	–
	Гр.6	–	–	+	–	+	0	–	–
p_2	Гр.7	–	–	–	+	–	–	0	+
	Гр.8	–	–	+	–	–	–	+	0

Результати розрахунків наведено у додатку:

- частота аварійних ремонтів груп у таблиці А-3;
- коефіцієнт вимушеного простою груп у таблиці Б-3;
- час відновлення груп у таблиці В-3;
- частота планових ремонтів аварій під час планових ремонтів груп у таблиці Г-3;
- коефіцієнт (імовірність) планового ремонту груп у таблиці Д-3;
- середня тривалість одного навмисного відключення елемента груп таблиці Е-3;
- загальна частота аварійних ремонтів розрахована представлена в таблиці 3.30.

Таблиця 3.30 – Загальна частота аварійних ремонтів ($\times 10^{-5}$)

		$p_1 + p_2$				p_1		p_2	
		Гр.1	Гр.2	Гр.3	Гр.4	Гр.5	Гр.6	Гр.7	Гр.8
$p_1 + p_2$	Гр.1	0.00	30.59	–	33.29	–	–	–	–
	Гр.2	30.59	0.00	33.29	–	–	–	–	–
	Гр.3	–	33.29	0.00	5.93	–	43.83	–	43.83
	Гр.4	33.29	–	5.93	0.00	43.83	–	43.83	–
p_1	Гр.5	–	–	–	43.83	0.00	105.40	–	–
	Гр.6	–	–	43.83	–	105.40	0.00	–	–
p_2	Гр.7	–	–	–	43.83	–	–	0.00	105.40
	Гр.8	–	–	43.83	–	–	–	105.40	0.00

Багатофакторний дисперсійний аналіз

У таблиці 3.31 містяться дані розрахунку матриці для трифакторного експерименту.

Таблиця 3.31 – Експериментальні значення величини.

X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
694.51	174.28	522.18	95.21	622.76	141.05	460.06	71.61

Обчислимо суми, а результати обчислень наведено у таблиці 3.32.

Таблиця 3.32 – Розрахунок часткових сум

W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6	W_7
454.34	120.88	47.66	- 19.26	2.5×10^{-4}	- 80.39	- 4.81

За величинами W_i для додаткових стовпців виконують оцінку вибіркової дисперсії випадкової величини:

$$D_{\text{вип}} = 1714.$$

За величинами W_i для кожного з факторів. Емпіричні значення критерію Стюдента для факторів A_1 та A_2 т A_3 просумовані в таблиці 3.33.

Таблиця 3.33 – Розрахункові значення критерію Стюдента

$T_{\text{експ}}^1$	$T_{\text{експ}}^2$	$T_{\text{експ}}^3$
21.94	5.83	2.30

Так вплив третього чинника незначний. Вплив першого та другого факторів має значущий, але найбільший ефект від першого фактора.

Розрахуємо збитки від аварійних простоїв розраховані, а результати обчислень наведені в таблиці 3.35

У таблиці 3.34 містяться дані розрахунку середнього споживання потужності.

Таблиця 3.34 – Середнє споживання потужності кВт ($\times 10^3$)

		$p_1 + p_2$				p_1		p_2	
		Гр.1	Гр.2	Гр.3	Гр.4	Гр.5	Гр.6	Гр.7	Гр.8
$p_1 + p_2$	Гр.1	0.00	10.00	–	10.00	–	–	–	–
	Гр.2	10.00	0.00	10.00	–	–	–	–	–
	Гр.3	–	10.00	0.00	10.00	–	1.25	–	1.25
	Гр.4	10.00	–	10.00	0.00	1.25	–	1.25	–
p_1	Гр.5	–	–	–	1.25	0.00	1.25	–	–
	Гр.6	–	–	1.25	–	1.25	0.00	–	–
p_2	Гр.7	–	–	–	1.25	–	–	0.00	1.25
	Гр.8	–	–	1.25	–	–	–	1.25	0.00

Таблиця 3.35 – Збитки від аварійних простоїв

z_{12}^B	z_{14}^B	z_{23}^B	z_{34}^B	z_{36}^B	z_{45}^B	z_{56}^B	z_{74}^B	z_{83}^B	z_{78}^B
383.00	62.34	62.34	10.13	9.37	9.37	69.38	9.37	9.37	69.38

У таблиці 3.36 містяться дані розрахунку збитків у різних випадках надійності.

Таблиця 3.36 – Збитки у різних випадках надійності.

Загальні збитки	Загальні збитки у випадку надійності трансформаторів	Загальні збитки у разі надійності шин	Загальні збитки у випадку надійності кабеля
694.51	174.28	522.18	622.76

Таким чином, можна зробити висновок, що надійні трансформатори в 3.019 рази кращі за надійні шини і в 7.251 рази кращі за надійні кабелі.

3.1.5 Радіальна схема із 10 ТП

Схема поділена на такі групи:

- група 1 – аварія на трансформаторі Т-1, вимикачах В-1 та В-3;
- група 2 – аварія на трансформаторі Т-2, вимикачах В-2 та В-4;
- група 3 – аварія на секції шин СШ-1 ГПП;
- група 4 – аварія на секції шин СШ-2 ГПП;
- група 5 – аварія на кабельній лінії Л-1, вимикачах В-6 та В-7, на трансформаторі Т3;
- група 6 – аварія на кабельній лінії Л-3, вимикачах В-8 та В-9, на трансформаторі Т-4;
- група 7 – аварія на кабельній лінії Л-4, вимикачах В-10 та В-11, на трансформаторі Т5;
- група 8 – аварія на кабельній лінії Л-3, вимикачах В-12 та В-13, на трансформаторі Т-6.

Складемо таблицю критичних відмов.

Таблиця 3.37 – Критичні відмови

		$p_1 + p_2$				p_1		p_2	
		Гр.1	Гр.2	Гр.3	Гр.4	Гр.5	Гр.6	Гр.7	Гр.8
$p_1 + p_2$	Гр.1	0	+	–	+	–	–		–
	Гр.2	+	0	+	–	–	–	–	–
	Гр.3	–	+	0	+	–	+	–	+
	Гр.4	+	–	+	0	+	–	+	–
p_1	Гр.5	–	–	–	+	0	+	–	–
	Гр.6	–	–	+	–	+	0	–	–
p_2	Гр.7	–	–	–	+	–	–	0	+
	Гр.8	–	–	+	–	–	–	+	0

Результати розрахунків наведено у додатку:

- Частота аварійних ремонтів груп у таблиці А-4;
- Коефіцієнт вимушеного простою груп у таблиці Б-4;
- Час відновлення груп у таблиці В-4;
- частота планових ремонтів аварій під час планових ремонтів груп таблиці Г-4;

- Коефіцієнт (ймовірність) планового ремонту груп у таблиці Д-4;
- Середня тривалість одного навмисного відключення елемента груп у таблиці Е-4;
- загальна частота аварійних ремонтів

Розрахуємо частоту аварійних ремонтів груп та наведемо у таблиці 3.38.

Таблиця 3.38 – Загальна частота аварійних ремонтів

		$p_1 + p_2$				p_1		p_2	
		Гр.1	Гр.2	Гр.3	Гр.4	Гр.5	Гр.6	Гр.7	Гр.8
$p_1 + p_2$	Гр.1	0.00	30.59	–	39.68	–	–		–
	Гр.2	30.59	0.00	39.68	–	–	–	–	–
	Гр.3	–	39.68	0.00	7.23	–	51.87	–	51.87
	Гр.4	39.68	–	7.23	0.00	51.87	–	51.87	–
p_1	Гр.5	–	–	–	51.87	0.00	105.40	–	–
	Гр.6	–	–	51.87	–	105.40	0.00	–	–
p_2	Гр.7	–	–	–	51.87	–	–	0.00	105.40
	Гр.8	–	–	51.87	–	–	–	105.40	0.00

Багатофакторний дисперсійний аналіз

У таблиці 3.39 містяться дані розрахунку матриця для трифакторного експерименту.

Таблиця 3.39 – Експериментальні значення величини.

X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
694.65	182.53	494.42	89.35	635.71	154.41	444.73	70.47

Обчислюємо суми, а результати обчислень наведено у таблиці 3.40.

Таблиця 3.40 – Розрахунок часткових сум

W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6	W_7
443,18	142,08	38,90	- 15,408	2.5×10^{-4}	- 90,62	- 4,62

За величинами W_i для додаткових стовпців виконують оцінку вибіркової дисперсії випадкової величини:

$$D_{\text{вип}} = 2118.$$

За величинами W_i для кожного з факторів. Емпіричні значення критерію Стьюдента для факторів A_1 та A_2 та A_3 просумовані в таблиці 3.41.

Таблиця 3.41 – Розрахункові значення критерію Стьюдента

$T_{експ}^1$	$T_{експ}^2$	$T_{експ}^3$
19.26	6.17	1.69

Так вплив третього чинника незначний. Вплив першого та другого факторів має значущий, але найбільший ефект від першого фактора.

Розрахуємо збитки від аварійних простоїв, а результати обчислень наведені в таблиці 3.43

У таблиці 3.42 містяться дані розрахунку середнього споживання потужності.

Таблиця 3.42 – Середнє споживання потужності кВт ($\times 10^3$)

		$P_1 + P_2$				P_1		P_2	
		Гр.1	Гр.2	Гр.3	Гр.4	Гр.5	Гр.6	Гр.7	Гр.8
$P_1 + P_2$	Гр.1	0	10	–	10	–	–	–	–
	Гр.2	10	0	10	–	–	–	–	–
	Гр.3	–	10	0	10	–	1	–	1
	Гр.4	10	–	10	0	1	–	1	–
P_1	Гр.5	–	–	–	1	0	1	–	–
	Гр.6	–	–	1	–	1	0	–	–
P_2	Гр.7	–	–	–	1	–	–	0	1
	Гр.8	–	–	1	–	–	–	1	0

Таблиця 3.43 – Збитки від аварійних простоїв

z_{12}^B	z_{14}^B	z_{23}^B	z_{34}^B	z_{36}^B	z_{45}^B	z_{56}^B	z_{74}^B	z_{83}^B	z_{78}^B
383.40	74.81	74.81	14.59	9.00	9.00	55.51	9.00	9.00	55.51

У таблиці 3.44 є дані розрахунку збитків у різних випадках надійності.

Таблиця 3.44 – Збитки у різних випадках надійності.

Загальні збитки	Загальні збитки у випадку надійності трансформаторів	Загальні збитки у разі надійності шин	Загальні збитки у випадку надійності кабеля
694.65	182.53	494.42	635.71

Таким чином, можна зробити висновок, що надійні трансформатори в 2.558 рази кращі за надійні шини і в 8.689 разів кращі за надійні кабелі.

З попередніх таблиць робимо висновок, що дані для груп аварій, в яких аварія секції шин є одним із компонентів, змінюються зі збільшенням числа ТП. Спостерігається зменшення зі збільшенням числа ТП.

Вплив аварій секцій шин збільшується зі збільшенням кількості ТП та зменшується відношення надійності трансформатора до шинної надійності.

На рис. 3.2 показано взаємозв'язок між зменшенням збитків та кількістю ТП при поточній надійності трансформаторів та шин та кабелів.

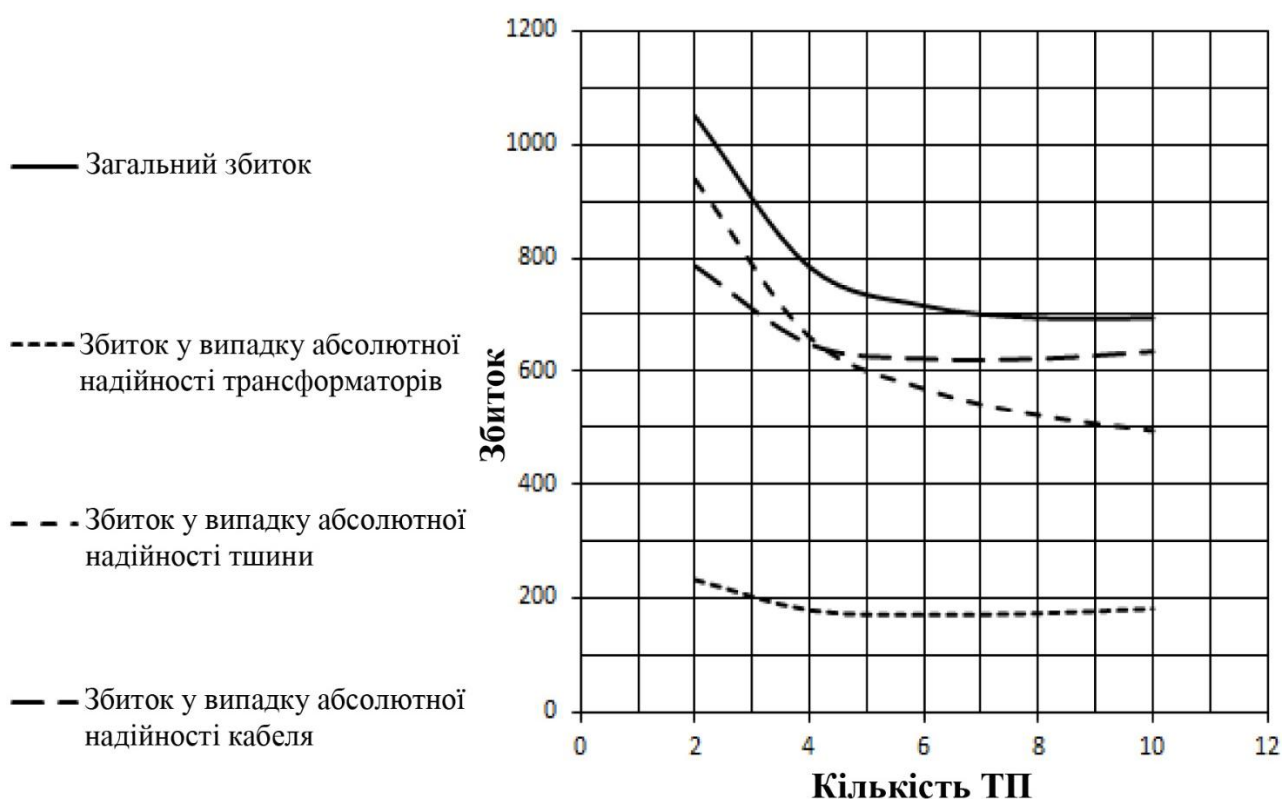


Рисунок 3.2 – Залежність зменшення шкоди за абсолютної надійності елемента від кількості ТП

Збитки у разі абсолютної надійності трансформаторів менші, ніж збитки, заподіяні абсолютною надійністю кабелів і секції шини. За рис.3.2 можна зробити висновок, що загальна шкода зменшується зі збільшенням кількості трансформаторних підстанцій.

Розділимо можливі аварії на групи:

- група 1 – аварія на трансформаторі Т-1, вимикачах В-1 та В-3;
- група 2 – аварія на трансформаторі Т-2, вимикачах В-2 та В-4;
- група 3 – аварія на секції шин СШ-1 ГПП;
- група 4 – аварія на секції шин СШ-2 ГПП;
- група 5 – аварія на кабельній лінії Л-1, вимикачах В-6;
- група 6 – аварія на кабельній лінії Л-2, вимикачах В-7;
- група 7 – аварія на вимикачах В-8 та В-9, на трансформаторі Т-3;
- група 8 – аварія на вимикачах В-10 та В-11, на трансформаторі Т-4;
- група 9 – аварія на вимикачах В-12 та В-13, на трансформаторі Т-5.
лінії Л-3;
- група 10 – аварія на вимикачах В-14 та В-15, на трансформаторі Т-6,
лінії Л-4.

Складемо таблицю критичних відмов

Таблиця 3.45 – Критичні відмови

		$p_1 + p_2$				$p_1 + p_2$		p_1		p_2	
		Гр.1	Гр.2	Гр.3	Гр.4	Гр.5	Гр.6	Гр.7	Гр.8	Гр.9	Гр.10
$p_1 + p_2$	Гр.1	0	+	–	+	–	–	–	–	–	–
	Гр.2	+	0	+	–	–	–	–	–	–	–
	Гр.3	–	+	0	+	–	+	–	+	–	+
	Гр.4	+	–	+	0	+	–	+	–	+	
$p_1 + p_2$	Гр.5	–	–	–	+	0	+	–	+	–	+
	Гр.6	–	–	+	–	+	0	+	–	+	–
p_1	Гр.7	–	–	–	+	–	+	0	+	–	–
	Гр.8	–	–	+	–	+	–	+	0	–	–
p_2	Гр.9	–	–	–	–	–	+	–	–	0	+
	Гр.10	–	–	–	–	+	–	–	–	+	0

Проведемо розрахунок надійності, при цьому розрахуємо частоту збігів аварійних ремонтів, а результати обчислень наведені у таблиці 3.46.

Таблиця 3.46 – Частота аварійних ремонтів ($\times 10^{-5}$)

		$p_1 + p_2$				$p_1 + p_2$		p_1		p_2	
		Гр.1	Гр.2	Гр.3	Гр.4	Гр.5	Гр.6	Гр.7	Гр.8	Гр.9	Гр.10
$p_1 + p_2$	Гр.1	0.00	1.34	–	0.45	–	–	–	–	–	–
	Гр.2	1.34	0.00	0.45	–	–	–	–	–	–	–
	Гр.3	–	0.45	0.00	0.04	–	0.22	–	0.37	–	0.55
	Гр.4	0.45	–	0.04	0.00	0.22	–	0.37	–	0.55	
$p_1 + p_2$	Гр.5	–	–	–	0.22	0.00	0.96	–	1.22	–	2.027
	Гр.6	–	–	0.22	–	0.96	0.00	1.22	–	2.027	–
p_1	Гр.7	–	–	–	0.37	–	1.22	0.00	1.04	–	–
	Гр.8	–	–	0.37	–	1.22	–	1.04	0.00	–	–
p_2	Гр.9	–	–	–	0.55	–	2.027	–	–	0.00	3.816
	Гр.10	–	–	0.55	–	2.027	–	–	–	3.816	0.00

Розрахуємо коефіцієнт вимушеного простою для груп, отримані результати зведені у таблиці 3.47

Таблиця 3.47 – Коефіцієнт вимушеного простою ($\times 10^{-8}$)

		$p_1 + p_2$				$p_1 + p_2$		p_1		p_2	
		Гр.1	Гр.2	Гр.3	Гр.4	Гр.5	Гр.6	Гр.7	Гр.8	Гр.9	Гр.10
$p_1 + p_2$	Гр.1	0.00	1.97	–	0.09	–	–	–	–	–	–
	Гр.2	1.97	0.00	0.09	–	–	–	–	–	–	–
	Гр.3	–	0.09	0.00	0.00	–	0.03	–	0.07	–	0.10
	Гр.4	0.09	–	0.00	0.00	0.03	–	0.07	–	0.10	
$p_1 + p_2$	Гр.5	–	–	–	0.03	0.00	0.31	–	0.63	–	0.87
	Гр.6	–	–	0.03	–	0.31	0.00	0.63	–	0.87	–
p_1	Гр.7	–	–	–	0.07	–	0.63	0.00	1.27	–	–
	Гр.8	–	–	0.07	–	0.63	–	1.27	0.00	–	–
p_2	Гр.9	–	–	–	0.10	–	0.87	–	–	0.00	2.44
	Гр.10	–	–	0.10	–	0.87	–	–	–	2.44	0.00

Розрахуємо час відновлення для груп, а результати обчислень наведені у таблиці 3.48.

Таблиця 3.48 – Час відновлення

		$p_1 + p_2$				$p_1 + p_2$		p_1		p_2	
		Гр.1	Гр.2	Гр.3	Гр.4	Гр.5	Гр.6	Гр.7	Гр.8	Гр.9	Гр.10
$p_1 + p_2$	Гр.1	0.00	12.81	–	1.85	–	–	–	–	–	–
	Гр.2	12.81	0.00	1.85	–	–	–	–	–	–	–
	Гр.3	–	1.85	0.00	1.00	–	1.48	–	1.83	–	0.24
	Гр.4	1.85	–	1.00	0.00	1.48	–	1.83	–	0.24	
$p_1 + p_2$	Гр.5	–	–	–	1.48	0.00	2.84	–	4.50	–	3.78
	Гр.6	–	–	1.48	–	2.84	0.00	4.50	–	3.78	–
p_1	Гр.7	–	–	–	1.83	–	4.50	0.00	10.76	–	–
	Гр.8	–	–	1.83	–	4.50	–	10.76	0.00	–	–
p_2	Гр.9	–	–	–	0.41	–	3.78	–	–	0.00	5.61
	Гр.10	–	–	0.41	–	3.78	–	–	–	5.61	0.00

Розрахуємо частоту планових ремонтів аварій під час планових ремонтів груп, отримані результати зведені у таблиці 3.49.

Таблиця 3.49 – Частоти планових ремонтів ($\times 10^{-5}$)

		$p_1 + p_2$				$p_1 + p_2$		p_1		p_2	
		Гр.1	Гр.2	Гр.3	Гр.4	Гр.5	Гр.6	Гр.7	Гр.8	Гр.9	Гр.10
$p_1 + p_2$	Гр.1	0.00	29.24	–	10.45	–	–	–	–	–	–
	Гр.2	29.24	0.00	10.45	–	–	–	–	–	–	–
	Гр.3	–	10.45	0.00	1.64	–	7.08	–	7.99	–	10.42
	Гр.4	10.45	–	1.64	0.00	7.08	–	7.99	–	10.42	
$p_1 + p_2$	Гр.5	–	–	–	7.08	0.00	27.14	–	26.56	–	39.55
	Гр.6	–	–	7.08	–	27.14	0.00	26.56	–	39.55	–
p_1	Гр.7	–	–	–	7.99	–	26.56	0.00	20.65	–	–
	Гр.8	–	–	7.99	–	26.56	–	20.65	0.00	–	–
p_2	Гр.9	–	–	–	10.42	–	39.55	–	–	0.00	57.60
	Гр.10	–	–	10.42	–	39.55	–	–	–	57.60	0.00

Розрахуємо коефіцієнт (імовірність) планового ремонту для груп, а результати обчислень наведено у таблиці 3.50.

Таблиця 3.50 – Коефіцієнт планового ремонту ($\times 10^{-8}$)

		$p_1 + p_2$				$p_1 + p_2$		p_1		p_2	
		Гр.1	Гр.2	Гр.3	Гр.4	Гр.5	Гр.6	Гр.7	Гр.8	Гр.9	Гр.10
$p_1 + p_2$	Гр.1	0.00	85.53	–	5.93	–	–	–	–	–	–
	Гр.2	85.53	0.00	5.93	–	–	–	–	–	–	–
	Гр.3	–	5.93	0.00	0.37	–	2.61	–	4.63	–	5.90
	Гр.4	5.93	–	0.37	0.00	2.61	–	4.63	–	5.90	
$p_1 + p_2$	Гр.5	–	–	–	2.61	0.00	17.65	–	30.38	–	37.88
	Гр.6	–	–	2.61	–	17.65	0.00	30.38	–	37.88	–
p_1	Гр.7	–	–	–	4.63	–	30.38	0.00	50.73	–	–
	Гр.8	–	–	4.63	–	30.38	–	50.73	0.00	–	–
p_2	Гр.9	–	–	–	5.90	–	37.88	–	–	0.00	73.84
	Гр.10	–	–	5.90	–	37.88	–	–	–	73.84	0.00

Розрахуємо середню тривалість одного навмисного відключення, отримані результати зведено у таблиці 3.51.

Таблиця 3.51 – Середня тривалість одного навмисного відключення

		$p_1 + p_2$				$p_1 + p_2$		p_1		p_2	
		Гр.1	Гр.2	Гр.3	Гр.4	Гр.5	Гр.6	Гр.7	Гр.8	Гр.9	Гр.10
$p_1 + p_2$	Гр.1	0.00	25.62	–	4.97	–	–	–	–	–	–
	Гр.2	25.62	0.00	4.97	–	–	–	–	–	–	–
	Гр.3	–	4.97	0.00	2.00	–	3.22	–	5.07	–	4.95
	Гр.4	4.97	–	2.00	0.00	3.22	–	5.07	–	4.95	
$p_1 + p_2$	Гр.5	–	–	–	3.22	0.00	5.698	–	10.02	–	8.39
	Гр.6	–	–	3.22	–	5.698	0.00	10.02	–	8.39	–
p_1	Гр.7	–	–	–	5.07	–	10.02	0.00	21.52	–	–
	Гр.8	–	–	5.07	–	10.02	–	21.52	0.00	–	–
p_2	Гр.9	–	–	–	4.95	–	10.02	–	–	0.00	11.2
	Гр.10	–	–	4.95	–	10.02	–	–	–	11.2	0.00

Розрахуємо загальну частота аварійних ремонтів, результати обчислень наведені у таблиці 3.52.

Таблиця 3.52 – Загальна частота аварійних ремонтів ($\times 10^{-5}$)

		$p_1 + p_2$				$p_1 + p_2$		p_1		p_2	
		Гр.1	Гр.2	Гр.3	Гр.4	Гр.5	Гр.6	Гр.7	Гр.8	Гр.9	Гр.10
$p_1 + p_2$	Гр.1	0.00	30.59	–	10.91	–	–	–	–	–	–
	Гр.2	30.59	0.00	10.91	–	–	–	–	–	–	–
	Гр.3	–	10.91	0.00	1.68	–	7.31	–	8.36	–	10.98
	Гр.4	10.91	–	1.68	0.00	7.31	–	8.36	–	10.98	
$p_1 + p_2$	Гр.5	–	–	–	7.31	0.00	28.1	–	27.79	–	41.58
	Гр.6	–	–	7.31	–	28.1	0.00	27.79	–	41.58	–
p_1	Гр.7	–	–	–	8.36	–	27.79	0.00	21.69	–	–
	Гр.8	–	–	8.36	–	27.79	–	21.69	0.00	–	–
p_2	Гр.9	–	–	–	10.98	–	41.58	–	–	0.00	61.42
	Гр.10	–	–	10.98	–	41.58	–	–	–	61.42	0.00

Багатофакторний дисперсійний аналіз, створюється розширена матриця.

У таблиці 3.53 показана розширена матриця для трифакторного експерименту.

Таблиця 3.53 – Матриця для трифакторного експерименту

Номер досвіду	Чинники			Додаткові стовпці				Значення величини
	A_1 трансформатор	A_2 Секції шин	A_3 Кабелі	4	5	6	7	
1	+ 1	+ 1	+ 1	– 1	+ 1	– 1	– 1	$X1 = 1188,00$
2	– 1	+ 1	+ 1	+ 1	– 1	+ 1	– 1	$X2 = 309,76$
3	+ 1	– 1	+ 1	– 1	– 1	+ 1	+ 1	$X3 = 1099,00$
4	– 1	– 1	+ 1	+ 1	+ 1	– 1	+ 1	$X4 = 266,88$
5	+ 1	+ 1	– 1	+ 1	– 1	– 1	+ 1	$X5 = 761,82$
6	– 1	+ 1	– 1	– 1	+ 1	+ 1	+ 1	$X6 = 114,26$
7	+ 1	– 1	– 1	+ 1	+ 1	+ 1	– 1	$X7 = 690,05$
8	– 1	– 1	– 1	– 1	– 1	– 1	– 1	$X8 = 88,72$

Обчислюємо суми, а результати обчислень наведено у таблиці 3.55.

Таблиця 3.55 – Розрахунок часткових сум

W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6	W_7
739.809	57.299	302.195	- 115.37	- 0.026	- 50.154	- 8.641

За величинами W_i для додаткових стовпців виконують оцінку вибіркової дисперсії випадкової величини:

$$D_{\text{вип}} = 3975.$$

За величинами W_i для кожного з факторів. Емпіричні значення критерію Стюдента для факторів A_1 та A_2 т A_3 просумовані в таблиці 3.55.

Таблиця 3.55 – Розрахункові значення критерію Стюдента

$T_{\text{експ}}^1$	$T_{\text{експ}}^2$	$T_{\text{експ}}^3$
23.46	1.81	9.58

Так другий фактор незначний. Перший і третій фактори важливі, але найбільше впливає перший фактор.

Збитки від аварійних простоїв

Ненадійність електропостачання призводить до виникнення збитків у споживача електроенергії. Розрахуємо збитки від аварійних простоїв, а результати обчислень наведені в таблиці 3.57.

У таблиці 3.56 містяться дані розрахунку середнього споживання потужності.

Таблиця 3.56 – Середнє споживання потужності кВт (-103)

		$p_1 + p_2$				$p_1 + p_2$		p_1		p_2	
		Гр.1	Гр.2	Гр.3	Гр.4	Гр.5	Гр.6	Гр.7	Гр.8	Гр.9	Гр.10
$p_1 + p_2$	Гр.1	0	10	–	10	–	–	–	–	–	–
	Гр.2	10	0	10	–	–	–	–	–	–	–
	Гр.3	–	10	0	10	–	10	–	5	–	5
	Гр.4	10	–	10	0	10	–	5	–	5	
$p_1 + p_2$	Гр.5	–	–	–	10	0	10	–	5	–	5
	Гр.6	–	–	10	–	10	0	5	–	5	–
p_1	Гр.7	–	–	–	5	–	5	0	5	–	–
	Гр.8	–	–	5	–	5	–	5	0	–	–
p_2	Гр.9	–	–	–	–	–	5	–	–	0	5
	Гр.10	–	–	–	–	5	–	–	–	5	0

Таблиця 3.57 – Збитки від аварійних простоїв

z_{12}^B	z_{14}^B	z_{23}^B	z_{34}^B	z_{36}^B	z_{45}^B	z_{56}^B	z_{74}^B	z_{83}^B	z_{78}^B	z_{96}^B	z_{105}^B	z_{910}^B	z_{76}^B	z_{58}^B	z_{94}^B	z_{10}^B
383	18	18	1	7.4	7.-4	60	7.5	7.5	124	61	61	124	61	61	10	10

У таблиці 3.58 містяться дані розрахунку збитків у різних випадках надійності.

Таблиця 3.58 – Збитки у різних випадках надійності.

Загальні збитки	Загальні збитки у випадку надійності трансформаторів	Загальні збитки у разі надійності шин	Загальні збитки у випадку надійності кабеля
1188.00	309.76	1099.00	761.82

Таким чином, можна зробити висновок, що надійні трансформатори в 9.868 рази кращі за надійні шини і в 2.061 рази кращі за надійні кабелі

3.2.2 Магістральна схема з 4 ТП

Схема поділена на такі групи:

- група 1 – аварія на трансформаторі Т-1, вимикачах В-1 та В-3;
- група 2 – аварія на трансформаторі Т-2, вимикачах В-2 та В-4;
- група 3 – аварія на секції шин СШ-1 ГПП;
- група 4 – аварія на секції шин СШ-2 ГПП;
- група 5 – аварія на кабельній лінії Л-1, вимикачах В-6;
- група 6 – аварія на кабельній лінії Л-2, вимикачах В-7;
- група 7 – аварія на вимикачах В-8 та В-9, на трансформаторі Т-3;
- група 8 – аварія на вимикачах В-10 та В-11, на трансформаторі Т-4;
- група 9 – аварія на вимикачах В-12 та В-13, на трансформаторі Т-5. лінії Л-3;
- група 10 – аварія на вимикачах В-14 та В-15, на трансформаторі Т-6, лінії Л-4.

Складемо таблицю критичних відмов

Таблиця 3.59 – Критичні відмови

		$p_1 + p_2$				$p_1 + p_2$		p_1		p_2	
		Гр.1	Гр.2	Гр.3	Гр.4	Гр.5	Гр.6	Гр.7	Гр.8	Гр.9	Гр.10
$p_1 + p_2$	Гр.1	0	+	–	+	–	–	–	–	–	–
	Гр.2	+	0	+	–	–	–	–	–	–	–
	Гр.3	–	+	0	+	–	+	–	+	–	+
	Гр.4	+	–	+	0	+	–	+	–	+	
$p_1 + p_2$	Гр.5	–	–	–	+	0	+	–	+	–	+
	Гр.6	–	–	+	–	+	0	+	–	+	–
p_1	Гр.7	–	–	–	+	–	+	0	+	–	–
	Гр.8	–	–	+	–	+	–	+	0	–	–
p_2	Гр.9	–	–	–	+	–	+	–	–	0	+
	Гр.10	–	–	+	–	+	–	–	–	+	0

Результати розрахунків наведено у додатку:

- Частота аварійних ремонтів груп у таблиці А-5;
- Коефіцієнт вимушеного простою груп у таблиці Б-5;
- Час відновлення груп у таблиці В-5;
- частота планових ремонтів аварій під час планових ремонтів груп таблиці Г-5;
- Коефіцієнт (ймовірність) планового ремонту груп у таблиці Д-5;
- Середня тривалість одного навмисного відключення елемента груп у таблиці Е-5.
- загальна частота аварійних ремонтів

Розрахуємо частоту аварійних ремонтів груп та наведемо у таблиці 3.38.

Таблиця 3.60 – Загальна частота аварійних ремонтів ($\times 10^{-5}$)

		$p_1 + p_2$				$p_1 + p_2$		p_1		p_2	
		Гр.1	Гр.2	Гр.3	Гр.4	Гр.5	Гр.6	Гр.7	Гр.8	Гр.9	Гр.10
$p_1 + p_2$	Гр.1	0.00	30.59	–	14.10	–	–	–	–	–	–
	Гр.2	30.59	0.00	14.10	–	–	–	–	–	–	–
	Гр.3	–	14.10	0.00	2.26	–	8.96	–	10.73	–	13.52
	Гр.4	14.10	–	2.26	0.00	8.96	–	10.73	–	13.52	
$p_1 + p_2$	Гр.5	–	–	–	8.96	0.00	28.10	–	27.79	–	41.58
	Гр.6	–	–	8.96	–	28.10	0.00	27.79	–	41.58	–
p_1	Гр.7	–	–	–	10.73	–	27.79	0.00	21.69	–	–
	Гр.8	–	–	10.73	–	27.79	–	21.69	0.00	–	–
p_2	Гр.9	–	–	–	13.52	–	41.58	–	–	0.00	61.42
	Гр.10	–	–	13.52	–	41.58	–	–	–	61.42	0.00

Багатофакторний дисперсійний аналіз

У таблиці 3.61 містяться дані розрахунку матриця для трифакторного експерименту.

Таблиця 3.61 – Експериментальні значення величини.

X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
842.954	246.696	771.792	196.822	614.289	109.467	538.261	78.853

Обчислюємо суми, а результати обчислень наведено у таблиці 3.62.

Таблиця 3.62 – Розрахунок часткових сум

W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6	W_7
533.864	56.919	179.349	- 51.75	- 6.032	- 42.542	- 3.598

За величинами W_i для додаткових стовпців виконують оцінку вибіркової дисперсії випадкової величини:

$$D_{\text{вип}} = 1134.$$

За величинами W_i для кожного з факторів. Емпіричні значення критерію Стюдента для факторів A_1 та A_2 т A_3 просумовані в таблиці 3.63.

Таблиця 3.63 – Розрахункові значення критерію Стюдента

$T_{\text{експ}}^1$	$T_{\text{експ}}^2$	$T_{\text{експ}}^3$
31.703	3.38	10.65

Так другий фактор незначний. Перший і третій фактори важливі, але найбільше впливає перший фактор.

Розрахуємо збитки від аварійних простоїв, а результати обчислень наведені в таблиці 3.65

У таблиці 3.64 містяться дані розрахунку середнього споживання потужності.

Таблиця 3.64 – Середнє споживання потужності кВт ($\times 10^3$)

		$P_1 + P_2$				$P_1 + P_2$		P_1		P_2	
		Гр.1	Гр.2	Гр.3	Гр.4	Гр.5	Гр.6	Гр.7	Гр.8	Гр.9	Гр.10
$P_1 + P_2$	Гр.1	0.0	10.0	–	10.0	–	–	–	–	–	–
	Гр.2	10.0	0.0	10.0	–	–	–	–	–	–	–
	Гр.3	–	10.0	0.0	10.0	–	10.0	–	2.5	–	2.5
	Гр.4	10.0	–	10.0	0.0	10.0	–	2.5	–	2.5	
$P_1 + P_2$	Гр.5	–	–	–	10.0	0.0	10.0	–	2.5	–	2.5
	Гр.6	–	–	10.0	–	10.0	0.0	2.5	–	2.5	–
P_1	Гр.7	–	–	–	2.5	–	2.5	0.0	2.5	–	–
	Гр.8	–	–	2.5	–	2.5	–	2.5	0.0	–	–
P_2	Гр.9	–	–	–	–	–	2.5	–	–	0.0	2.5
	Гр.10	–	–	–	–	2.5	–	–	–	2.5	0.0

Таблиця 3.65 – Збитки від аварійних простоїв

z_{12}^B	z_{14}^B	z_{23}^B	z_{34}^B	z_{36}^B	z_{45}^B	z_{56}^B	z_{74}^B	z_{83}^B	z_{78}^B	z_{96}^B	z_{105}^B	z_{910}^B	z_{76}^B	z_{58}^B	z_{94}^B	z_{10}^B
383	24	24	1.6	9.9	9.9	60	5	5	62	42	42	118	30	30	6.9	6.9

У таблиці 3.66 є дані розрахунку збитків у різних випадках надійності.

Таблиця 3.66 – Збитки у різних випадках надійності.

Загальні збитки	Загальні збитки у випадку надійності трансформаторів	Загальні збитки у разі надійності шин	Загальні збитки у випадку надійності кабеля
842.954	842.954	842.954	842.954

Таким чином, можна зробити висновок, що надійні трансформатори в 8.379 рази кращі за надійні шини і в 2.608 разів кращі за надійні кабелі.

3.2.3 Магістральна схема із 6 ТП

Схема поділена на такі групи:

- група 1 – аварія на трансформаторі Т-1, вимикачах В-1 та В-3;
- група 2 – аварія на трансформаторі Т-2, вимикачах В-2 та В-4;
- група 3 – аварія на секції шин СШ-1 ГПП;
- група 4 – аварія на секції шин СШ-2 ГПП;
- група 5 – аварія на кабельній лінії Л-1, вимикачах В-6;

- група 6 – аварія на кабельній лінії Л-2, вимикачах В-7;
 - група 7 – аварія на вимикачах В-8 та В-9, на трансформаторі Т-3;
 - група 8 – аварія на вимикачах В-10 та В-11, на трансформаторі Т-4;
 - група 9 – аварія на вимикачах В-12 та В-13, на трансформаторі Т-5.
- лінії Л-3;
- група 10 – аварія на вимикачах В-14 та В-15, на трансформаторі Т-6,
- лінії Л-4.

Складемо таблицю критичних відмов

Таблиця 3.67 – Критичні відмови

		$p_1 + p_2$				$p_1 + p_2$		p_1		p_2	
		Гр.1	Гр.2	Гр.3	Гр.4	Гр.5	Гр.6	Гр.7	Гр.8	Гр.9	Гр.10
$p_1 + p_2$	Гр.1	0	+	–	+	–	–	–	–	–	–
	Гр.2	+	0	+	–	–	–	–	–	–	–
	Гр.3	–	+	0	+	–	+	–	+	–	+
	Гр.4	+	–	+	0	+	–	+	–	+	
$p_1 + p_2$	Гр.5	–	–	–	+	0	+	–	+	–	+
	Гр.6	–	–	+	–	+	0	+	–	+	–
p_1	Гр.7	–	–	–	+	–	+	0	+	–	–
	Гр.8	–	–	+	–	+	–	+	0	–	–
p_2	Гр.9	–	–	–	+	–	+	–	–	0	+
	Гр.10	–	–	+	–	+	–	–	–	+	0

Результати розрахунків наведено у додатку:

- частота аварійних ремонтів груп у таблиці А-6;
- коефіцієнт вимушеного простою груп у таблиці Б-6;
- час відновлення груп у таблиці В-6;
- частота планових ремонтів аварій під час планових ремонтів груп у таблиці Г-6;
- коефіцієнт (імовірність) планового ремонту груп у таблиці Д-6;
- середня тривалість одного навмисного відключення елемента груп у таблиці Е-6;

Розрахуємо частоту аварійних ремонтів груп та наведемо у таблиці 3.68.

Таблиця 3.68 – Загальна частота аварійних ремонтів ($\times 10^{-5}$)

		$p_1 + p_2$				$p_1 + p_2$		p_1		p_2	
		Гр.1	Гр.2	Гр.3	Гр.4	Гр.5	Гр.6	Гр.7	Гр.8	Гр.9	Гр.10
$p_1 + p_2$	Гр.1	0.00	30.59	–	17.30	–	–	–	–	–	–
	Гр.2	30.59	0.00	17.30	–	–	–	–	–	–	–
	Гр.3	–	17.30	0.00	2.85	–	10.62	–	13.10	–	16.07
	Гр.4	17.30	–	2.85	0.00	10.62	–	13.10	–	16.07	
$p_1 + p_2$	Гр.5	–	–	–	10.62	0.00	28.10	–	27.79	–	41.58
	Гр.6	–	–	10.62	–	28.10	0.00	27.79	–	41.58	–
p_1	Гр.7	–	–	–	13.10	–	27.79	0.00	21.69	–	–
	Гр.8	–	–	13.10	–	27.79	–	21.69	0.00	–	–
p_2	Гр.9	–	–	–	16.07	–	41.58	–	–	0.00	61.42
	Гр.10	–	–	16.07	–	41.58	–	–	–	61.42	0.00

Багатофакторний дисперсійний аналіз

У таблиці 3.69 містяться дані розрахунку матриця для трифакторного експерименту.

Таблиця 3.69 – Експериментальні значення величини.

X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
72.73	233.21	663.04	173.56	575.07	112.75	487.86	75.57

Обчислюємо суми, а результати обчислень наведено у таблиці 3.70.

Таблиця 3.70 – Розрахунок часткових сум

W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6	W_7
475.907	73.432	147.823	–38.598	2.1×10^{-14}	–51.706	–11.239

За величинами W_i для додаткових стовпців виконують оцінку вибіркової дисперсії випадкової величини:

$$D_{\text{вип}} = 1072.$$

За величинами W_i для кожного з факторів. Емпіричні значення критерію Стюдента для факторів A_1 та A_2 т A_3 просумовані в таблиці 3.71.

Таблиця 3.71 – Розрахункові значення критерію Стюдента

$T_{\text{експ}}^1$	$T_{\text{експ}}^2$	$T_{\text{експ}}^3$
31.703	3.38	10.65

Усі чинники значний, але найбільше впливає перший фактор.

Розрахуємо збитки від аварійних простоїв, а результати обчислень наведені в таблиці 3.73

У таблиці 3.72 є дані розрахунку середнього споживання потужності.

Таблиця 3.72 – Середнє споживання потужності кВт ($\times 10^3$)

		$p_1 + p_2$				$p_1 + p_2$		p_1		p_2	
		Гр.1	Гр.2	Гр.3	Гр.4	Гр.5	Гр.6	Гр.7	Гр.8	Гр.9	Гр.10
$p_1 + p_2$	Гр.1	0.00	10.00	–	10.00	–	–	–	–	–	–
	Гр.2	10.00	0.00	10.00	–	–	–	–	–	–	–
	Гр.3	–	10.00	0.00	10.00	–	10.00	–	1.67	–	1.67
	Гр.4	10.00	–	10.00	0.00	10.00	–	1.67	–	1.67	–
$p_1 + p_2$	Гр.5	–	–	–	10.00	0.00	10.00	–	1.67	–	1.67
	Гр.6	–	–	10.00	–	10.00	0.00	1.67	–	1.67	–
p_1	Гр.7	–	–	–	1.67	–	1.67	0.00	1.67	–	–
	Гр.8	–	–	1.67	–	1.67	–	1.67	0.00	–	–
p_2	Гр.9	–	–	–	–	–	1.67	–	–	0.00	1.67
	Гр.10	–	–	–	–	1.67	–	–	–	1.67	0.00

Таблиця 3.73 – Збитки від аварійних простоїв

z_{12}^B	z_{14}^B	z_{23}^B	z_{34}^B	z_{36}^B	z_{45}^B	z_{56}^B	z_{74}^B	z_{83}^B	z_{78}^B	z_{96}^B	z_{105}^B	z_{910}^B	z_{76}^B	z_{58}^B	z_{94}^B	z_{10}^B
383	31	31	2.5	12	12	60	4.1	4.1	41	28	28	79.4	20	20	5.8	5.8

У таблиці 3.74 є дані розрахунку збитків у різних випадках надійності.

Таблиця 3.74 – Збитки у різних випадках надійності.

Загальні збитки	Загальні збитки у випадку надійності трансформаторів	Загальні збитки у разі надійності шин	Загальні збитки у випадку надійності кабеля
772.73	772.73	772.73	772.73

Таким чином, можна зробити висновок, що надійні трансформатори в 4.919 рази кращі за надійні шини і в 2.73 рази кращі за надійні кабелі.

3.2.4 Магістральні схеми з 8 ТП

Схема поділена на такі групи:

- група 1 – аварія на трансформаторі Т-1, вимикачах В-1 та В-3;
- група 2 – аварія на трансформаторі Т-2, вимикачах В-2 та В-4;

- група 3 – аварія на секції шин СШ-1 ГПП;
 - група 4 – аварія на секції шин СШ-2 ГПП;
 - група 5 – аварія на кабельній лінії Л-1, вимикачах В-6;
 - група 6 – аварія на кабельній лінії Л-2, вимикачах В-7;
 - група 7 – аварія на вимикачах В-8 та В-9, на трансформаторі Т-3;
 - група 8 – аварія на вимикачах В-10 та В-11, на трансформаторі Т-4;
 - група 9 – аварія на вимикачах В-12 та В-13, на трансформаторі Т-5.
- лінії Л-3;
- група 10 – аварія на вимикачах В-14 та В-15, на трансформаторі Т-6, лінії Л4.

Складемо таблицю критичних відмов.

Таблиця 3.75 – Критичні відмови

		$P_1 + P_2$				$P_1 + P_2$		P_1		P_2	
		Гр.1	Гр.2	Гр.3	Гр.4	Гр.5	Гр.6	Гр.7	Гр.8	Гр.9	Гр.10
$P_1 + P_2$	Гр.1	0	+	–	+	–	–	–	–	–	–
	Гр.2	+	0	+	–	–	–	–	–	–	–
	Гр.3	–	+	0	+	–	+	–	+	–	+
	Гр.4	+	–	+	0	+	–	+	–	+	
$P_1 + P_2$	Гр.5	–	–	–	+	0	+	–	+	–	+
	Гр.6	–	–	+	–	+	0	+	–	+	–
P_1	Гр.7	–	–	–	+	–	+	0	+	–	–
	Гр.8	–	–	+	–	+	–	+	0	–	–
P_2	Гр.9	–	–	–	+	–	+	–	–	0	+
	Гр.10	–	–	+	–	+	–	–	–	+	0

Результати розрахунків наведено у додатку:

- частота аварійних ремонтів груп у таблиці А-7;
- коефіцієнт вимушеного простою груп у таблиці Б-7;
- час відновлення груп у таблиці В-7;
- частота планових ремонтів аварій під час планових ремонтів груп у таблиці Г-7;
- коефіцієнт (імовірність) планового ремонту груп у таблиці Д-7;
- середня тривалість одного навмисного відключення елемента груп у таблиці Е-7.

Розрахуємо частоту аварійних ремонтів груп та наведемо у таблиці 3.76.

Таблиця 3.76 – Загальна частота аварійних ремонтів ($\times 10^{-5}$)

		$p_1 + p_2$				$p_1 + p_2$		p_1		p_2	
		Гр.1	Гр.2	Гр.3	Гр.4	Гр.5	Гр.6	Гр.7	Гр.8	Гр.9	Гр.10
$p_1 + p_2$	Гр.1	0.00	30.59	–	20.5	–	–	–	–	–	–
	Гр.2	30.59	0.00	20.5	–	–	–	–	–	–	–
	Гр.3	–	20.5	0.00	3.452	–	12.28	–	15.47	–	18.61
	Гр.4	20.5	–	3.452	0.00	12.28	–	15.47	–	18.61	
$p_1 + p_2$	Гр.5	–	–	–	12.28	0.00	28.1	–	27.79	–	41.58
	Гр.6	–	–	12.28	–	28.1	0.00	27.79	–	41.58	–
p_1	Гр.7	–	–	–	15.47	–	27.79	0.00	21.69	–	–
	Гр.8	–	–	15.47	–	27.79	–	21.69	0.00	–	–
p_2	Гр.9	–	–	–	18.61	–	41.58	–	–	0.00	61.42
	Гр.10	–	–	18.61	–	41.58	–	–	–	61.42	0.00

Багатофакторний дисперсійний аналіз

У таблиці 3.77 містяться дані розрахунку матриця для трифакторного експерименту.

Таблиця 3.77 – Експериментальні значення величини.

X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
734.22	232.04	608.02	161.79	562.57	118.16	462.36	73.91

Обчислюємо суми, а результати обчислень наведено у таблиці 3.78.

Таблиця 3.78 – Розрахунок часткових сум

W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6	W_7
445.31	85.22	129.76	–28.89	-2.84×10^{-14}	–56.01	–13

За величинами W_i для додаткових стовпців виконують оцінку вибіркової дисперсії випадкової величини:

$$D_{\text{вип}} = 1035.$$

За величинами W_i для кожного з факторів. Емпіричні значення критерію Стюдента для факторів A_1 та A_2 т A_3 просумовані в таблиці 3.71.

Таблиця 3.71 – Розрахункові значення критерію Стюдента

$T_{\text{експ}}^1$	$T_{\text{експ}}^2$	$T_{\text{експ}}^3$
27.678	5.297	8.065

Усі чинники значний, але найбільше впливає перший фактор.

Розрахуємо збитки від аварійних простоїв, а результати обчислень наведені в таблиці 3.81

У таблиці 3.80 є дані розрахунку середнього споживання потужності.

Таблиця 3.80 – Середнє споживання потужності кВт ($\times 10^3$)

		$p_1 + p_2$				$p_1 + p_2$		p_1		p_2	
		Гр.1	Гр.2	Гр.3	Гр.4	Гр.5	Гр.6	Гр.7	Гр.8	Гр.9	Гр.10
$p_1 + p_2$	Гр.1	0.00	10.00	–	10.00	–	–	–	–	–	–
	Гр.2	10.00	0.00	10	–	–	–	–	–	–	–
	Гр.3	–	10.00	0.00	10	–	10.00	–	1.25	–	1.25
	Гр.4	10.00	–	10.00	0.00	10.00	–	1.25	–	1.25	
$p_1 + p_2$	Гр.5	–	–	–	10.00	0.00	10.00	–	1.25	–	1.25
	Гр.6	–	–	10.00	–	10.00	0.00	1.25	–	1.25	–
p_1	Гр.7	–	–	–	1.25	–	1.25	0.00	1.25	–	–
	Гр.8	–	–	1.25	–	1.25	–	1.25	0.00	–	–
p_2	Гр.9	–	–	–	–	–	1.25	–	–	0.00	1.25
	Гр.10	–	–	–	–	1.25	–	–	–	1.25	0.00

Таблиця 3.81 – Збитки від аварійних простоїв

z_{12}^B	z_{14}^B	z_{23}^B	z_{34}^B	z_{36}^B	z_{45}^B	z_{56}^B	z_{74}^B	z_{83}^B	z_{78}^B	z_{96}^B	z_{105}^B	z_{910}^B	z_{76}^B	z_{58}^B	z_{94}^B	z_{10}^B
383	37	37	3.6	14	14	60	3.7	3.7	31	21	21	59.4	15	15	5.2	5.2

У таблиці 3.82 є дані розрахунку збитків у різних випадках надійності.

Таблиця 3.82 – Збитки у різних випадках надійності.

Загальні збитки	Загальні збитки у випадку надійності трансформаторів	Загальні збитки у разі надійності шин	Загальні збитки у випадку надійності кабелю
734.228	232.042	608.023	562.571

Таким чином, можна зробити висновок, що надійних трансформаторів у 3.979 разу краще за надійні шини і в 2.926 разів краще за надійні кабелі.

3.2.5 Магістральна схема із 10 ТП Схема поділена на такі групи:

- група 1 – аварія на трансформаторі Т-1, вимикачах В-1 та В-3;
- група 2 – аварія на трансформаторі Т-2, вимикачах В-2 та В-4;
- група 3 – аварія на секції шин СШ1 ГПП;

- група 4 – аварія на секції шин СШ-2 ГПП;
 - група 5 – аварія на кабельній лінії Л-1, вимикачах В-6;
 - група 6 – аварія на кабельній лінії Л-2, вимикачах В-7;
 - група 7 – аварія на вимикачах В-8 та В-9, на трансформаторі Т-3;
 - група 8 – аварія на вимикачах В-10 та В-11, на трансформаторі Т-4;
 - група 9 – аварія на вимикачах В-12 та В-13, на трансформаторі Т-5.
- лінії Л-3;
- група 10 – аварія на вимикачах В-14 та В-15, на трансформаторі Т-6, лінії Л4.

Складемо таблицю критичних відмов.

Таблиця 3.83 – Критичні відмови

		$P_1 + P_2$				$P_1 + P_2$		P_1		P_2	
		Гр.1	Гр.2	Гр.3	Гр.4	Гр.5	Гр.6	Гр.7	Гр.8	Гр.9	Гр.10
$P_1 + P_2$	Гр.1	0	+	–	+	–	–	–	–	–	–
	Гр.2	+	0	+	–	–	–	–	–	–	–
	Гр.3	–	+	0	+	–	+	–	+	–	+
	Гр.4	+	–	+	0	+	–	+	–	+	
$P_1 + P_2$	Гр.5	–	–	–	+	0	+	–	+	–	+
	Гр.6	–	–	+	–	+	0	+	–	+	–
P_1	Гр.7	–	–	–	+	–	+	0	+	–	–
	Гр.8	–	–	+	–	+	–	+	0	–	–
P_2	Гр.9	–	–	–	+	–	+	–	–	0	+
	Гр.10	–	–	+	–	+	–	–	–	+	0

Результати розрахунків наведено у додатку:

- частота аварійних ремонтів груп у таблиці А-8;
- коефіцієнт вимушеного простою груп у таблиці Б-8;
- час відновлення груп у таблиці В-8;
- частота планових ремонтів аварій під час планових ремонтів груп таблиці Г-8;
- коефіцієнт (ймовірність) планового ремонту груп у таблиці Д-8;
- середня тривалість одного навмисного відключення елемента груп у таблиці Е-8;

Розрахуємо частоту аварійних ремонтів груп та наведемо у таблиці 3.84.

Таблиця 3.84 – Загальна частота аварійних ремонтів ($\times 10^{-5}$)

		$p_1 + p_2$				$p_1 + p_2$		p_1		p_2	
		Гр.1	Гр.2	Гр.3	Гр.4	Гр.5	Гр.6	Гр.7	Гр.8	Гр.9	Гр.10
$p_1 + p_2$	Гр.1	0.00	30.59	–	23.69	–	–	–	–	–	–
	Гр.2	30.59	0.00	23.69	–	–	–	–	–	–	–
	Гр.3	–	23.69	0.00	4.05	–	13.93	–	17.83	–	21.16
	Гр.4	23.69	–	4.05	0.00	13.93	–	17.83	–	21.16	
$p_1 + p_2$	Гр.5	–	–	–	13.93	0.00	28.1	–	27.79	–	41.58
	Гр.6	–	–	13.93	–	28.10	0.00	27.79	–	41.58	–
p_1	Гр.7	–	–	–	17.83	–	27.79	0.00	21.69	–	–
	Гр.8	–	–	17.83	–	27.79	–	21.69	0.00	–	–
p_2	Гр.9	–	–	–	21.16	–	41.58	–	–	0.00	61.42
	Гр.10	–	–	21.16	–	41.58	–	–	–	61.42	0.00

Багатофакторний дисперсійний аналіз

У таблиці 3.85 містяться дані розрахунку матриця для трифакторного експерименту.

Таблиця 3.85 – Експериментальні значення величини.

X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
719.03	236.10	575.26	154.78	561.29	124.58	447.18	72.93

Обчислюємо суми, а результати обчислень наведено у таблиці 3.86.

Таблиця 3.86 – Розрахунок часткових сум

W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6	W_7
428.59	97.71	119.79	–23.11	-2.84×10^{-14}	–60.86	–14.83

За величинами W_i для додаткових стовпців виконують оцінку вибіркової дисперсії випадкової величини:

$$D_{\text{вип}} = 1115.$$

За величинами W_i для кожного з факторів. Емпіричні значення критерію Стюдента для факторів A_1 та A_2 т A_3 просумовані в таблиці 3.86.

Таблиця 3.86 – Розрахункові значення критерію Стюдента

$T_{\text{експ}}^1$	$T_{\text{експ}}^2$	$T_{\text{експ}}^3$
25.673	5.853	7.176

Усі чинники значний, але найбільше впливає перший фактор.

Розрахуємо збитки від аварійних простоїв, а результати обчислень наведені в таблиці 3.89

У таблиці 3.88 є дані розрахунку середнього споживання потужності.

Таблиця 3.88 – Середнє споживання потужності кВт ($\times 10^3$)

		$p_1 + p_2$				$p_1 + p_2$		p_1		p_2	
		Гр.1	Гр.2	Гр.3	Гр.4	Гр.5	Гр.6	Гр.7	Гр.8	Гр.9	Гр.10
$p_1 + p_2$	Гр.1	0	10	–	10	–	–	–	–	–	–
	Гр.2	10	0	10	–	–	–	–	–	–	–
	Гр.3	–	10	0	10	–	10	–	1	–	1
	Гр.4	10	–	10	0	10	–	1	–	1	
$p_1 + p_2$	Гр.5	–	–	–	10	0	10	–	1	–	1
	Гр.6	–	–	10	–	10	0	1	–	1	–
p_1	Гр.7	–	–	–	1	–	1	0	1	–	–
	Гр.8	–	–	1	–	1	–	1	0	–	–
p_2	Гр.9	–	–	–	–	–	1	–	–	0	1
	Гр.10	–	–	–	–	1	–	–	–	1	0

Таблиця 3.89 – Збитки від аварійних простоїв

z_{12}^B	z_{14}^B	z_{23}^B	z_{34}^B	z_{36}^B	z_{45}^B	z_{56}^B	z_{74}^B	z_{83}^B	z_{78}^B	z_{96}^B	z_{105}^B	z_{910}^B	z_{76}^B	z_{58}^B	z_{94}^B	z_{10}^B
383	43	43	4.9	17	17	60	3.5	3.5	24	17	17	47	12	12	4.8	4.8

У таблиці 3.90 є дані розрахунку збитків у різних випадках надійності.

Таблиця 3.90 – Збитки у різних випадках надійності.

Загальні збитки	Загальні збитки у випадку надійності трансформаторів	Загальні збитки у разі надійності шин	Загальні збитки у випадку надійності кабелів
719.03	236.10	575.26	561.29

Таким чином, можна зробити висновок, що надійних трансформаторів у 3.359 разу краще за надійні шини і в 3.061 разів краще за надійні кабелі.

На рис 3.4 показано взаємозв'язок між зменшенням збитків та кількістю ТП при поточній надійності трансформаторів та шин та кабелів.

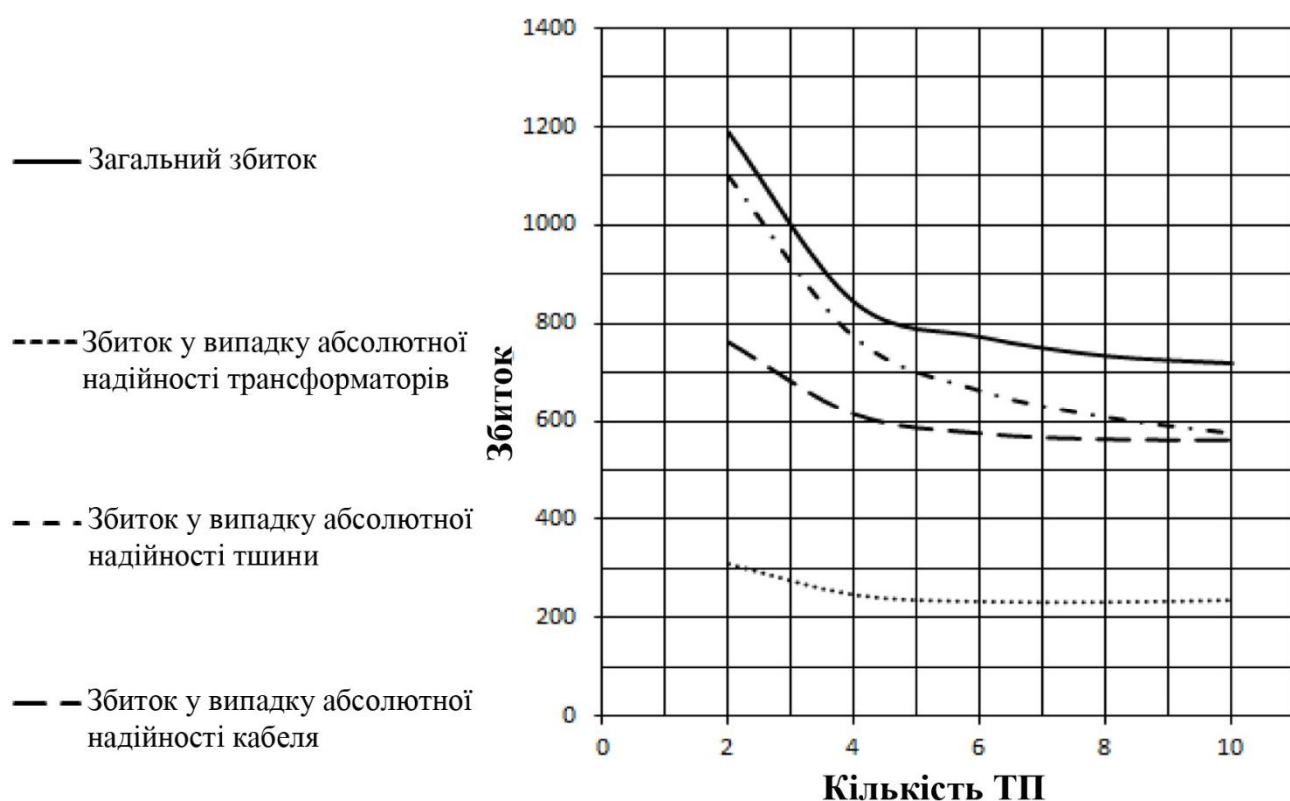


Рисунок 3.4 – Залежність зменшення шкоди за абсолютної надійності елемента від кількості ТП

Збитки у разі абсолютної надійності трансформаторів менші, ніж збитки, заподіяні абсолютною надійністю кабелів і секції шини.

За рис.3.4 можна зробити висновок, що загальні збитки зменшуються з збільшенням кількості ТП.

3.3 Аналіз результатів

Проведемо аналіз результатів розрахунків та проведемо порівняння між радіальними та магістральними системами.

На рис 3.5 показано збитки в радіальній системі та магістральній системі. Збитки при використанні магістральних схем будуть більшими, ніж при використанні радіальної схеми.

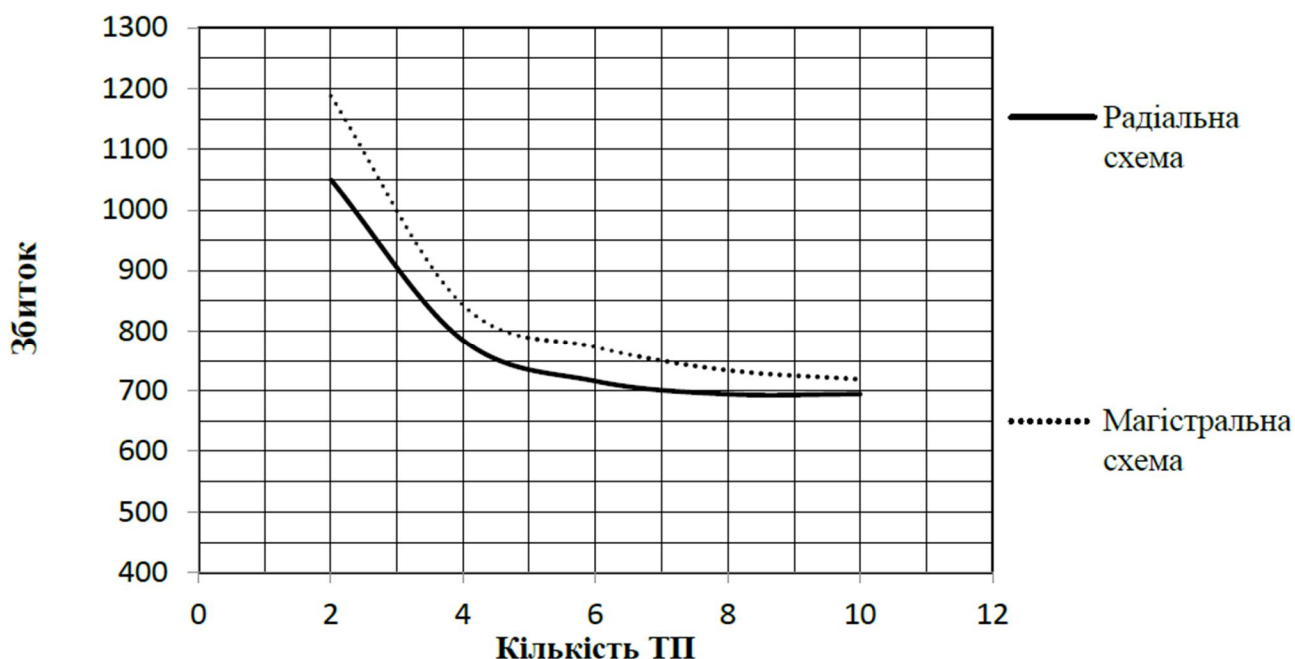


Рисунок 3.5 – Загальні збитки при різних схемах електропостачання

Радіальна система надійніша, ніж магістральна, але дорожча. Вплив чинника оцінювалося виходячи з критерію Кохрена [19]. На рис 3.6 та рис. 3.7 показано зміну впливу раніше вивчених факторів аварій (аварії трансформаторів, аварії секцій шин та аварії кабельних ліній) у міру зміни кількості ТП. Вплив шини зростає зі збільшенням кількості ТП, тоді як вплив трансформаторів і кабелів зменшується.

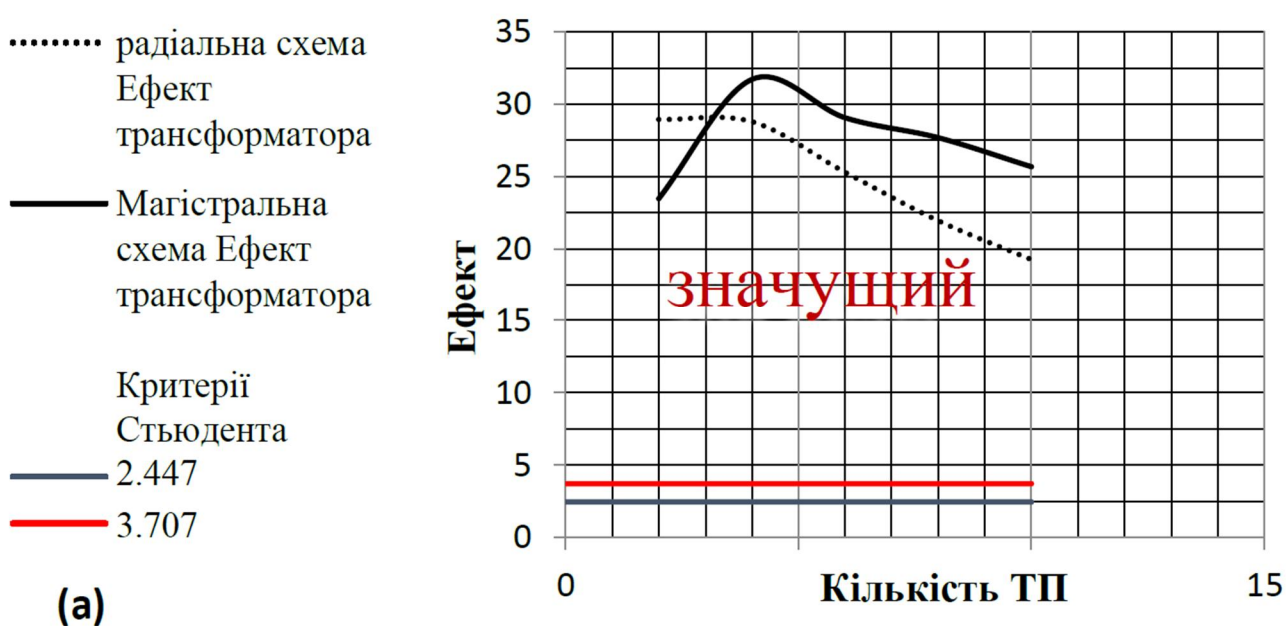


Рисунок 3.6 – Зміна впливу факторів (аварії трансформатора)

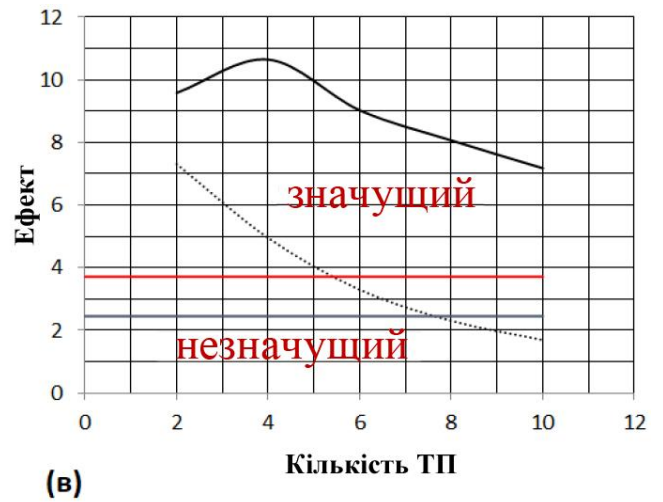
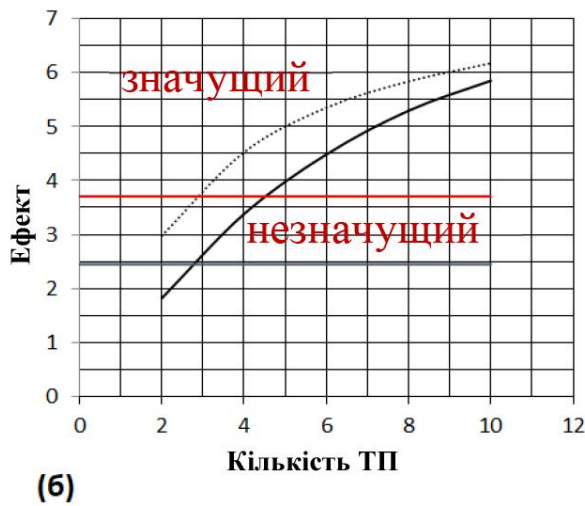


Рисунок 3.7 – Зміна впливу факторів у міру зміни кількості ТП.

б) – шина; в) кабель

Аварії трансформаторів та кабелів в магістральних системах мають більший вплив, ніж у радіальних системах.

Вплив аварій секції шини в радіальних системах більший, ніж у магістральних системах, на рис. 3.7 показані збитки у разі абсолютної надійності трансформаторів та шини та кабелів у магістральних мережах та радіальних мережах.

У разі абсолютної надійності трансформаторів та шини у магістральних мережах збитки більші, ніж у радіальних мережах.

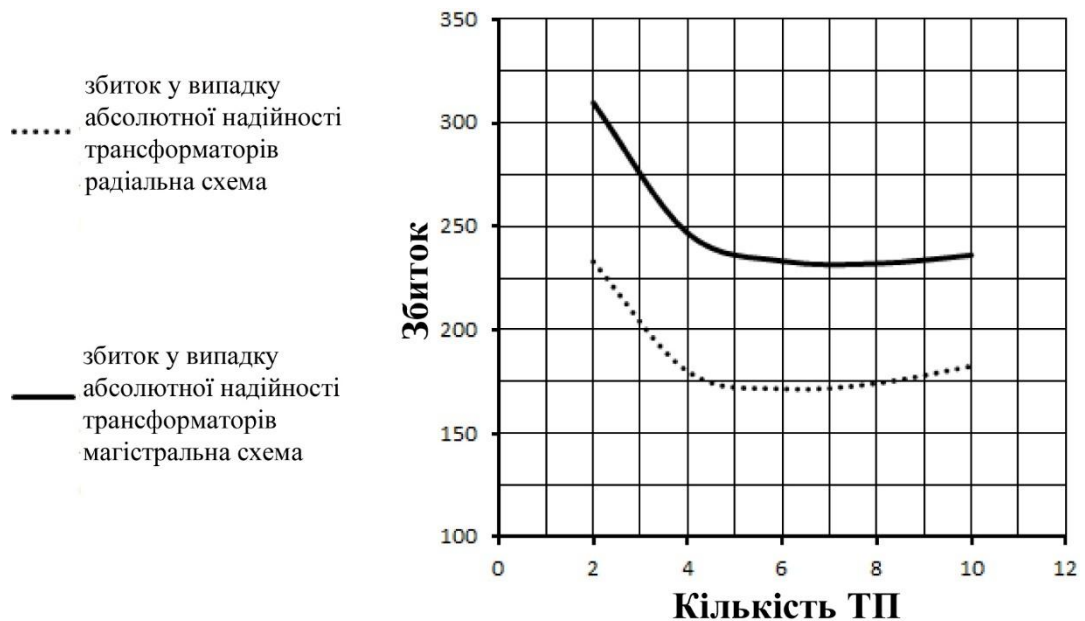


Рисунок 3.8 – Збитки у разі абсолютної надійності трансформаторів магістральних мережах та радіальних мережах

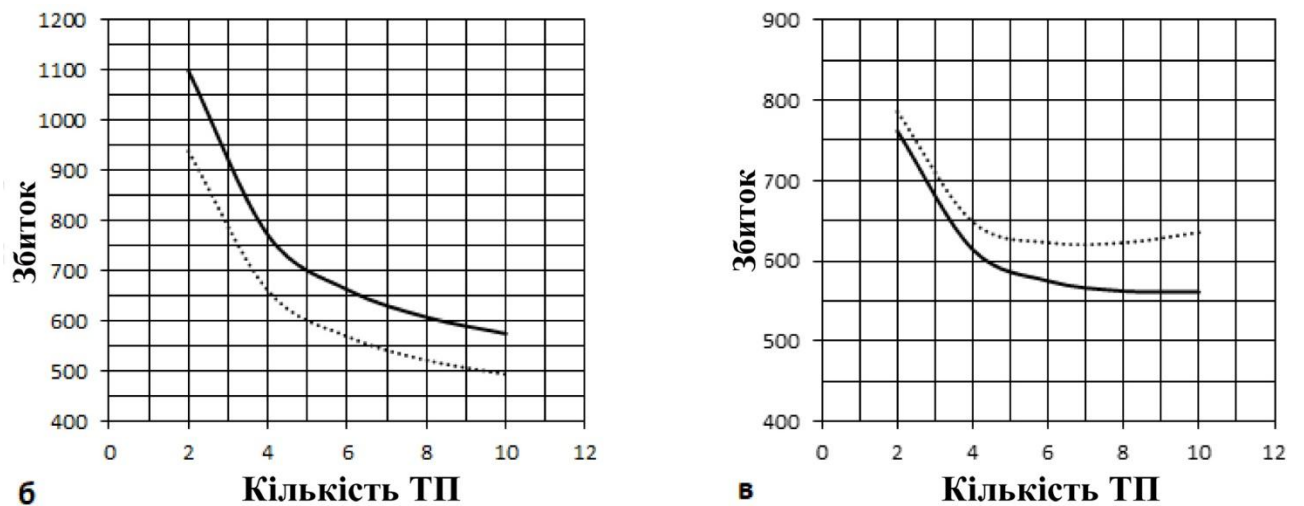


Рисунок 3.9 – Збитки у разі абсолютної надійності шин та кабелів
магістральних та радіальних мережах. б) – шина; в) кабель.

Для найбільш раціонального розподілу ресурсів організації, яка експлуатує систему електропостачання, було проведено аналіз вкладу кожного з видів аварій (аварії трансформаторів, аварії секцій шин та аварії кабельних ліній) на шкоду системі електропостачання. Частка збитків, спричинених аваріями трансформаторів, обчислювалася наступним чином.

- Вимкнення, спричинені одночасними аваріями однакових елементів.
- Відключення, спричинені одночасними аваріями різних елементів. У цьому випадку розподіл збитків між елементами виконувався за формулами:

$$Z_{TP12} = Z_{12} \times \frac{a K_{B1}}{K_{Bzp1} + K_{Bzp2}};$$

де Z_{TP12} – збитки, спричинені трансформатором у разі відмови I та II груп;

Z_{12} – загальні збитки, спричинені у разі відмови першої та другої групи;

K_{B1} – коефіцієнт вимушеного простою для трансформаторів;

K_{Bzp1} – коефіцієнт вимушеного простою для першої групи;

K_{Bzp2} – коефіцієнт вимушеного простою для другої групи

$$Z_{Ш12} = Z_{12} \times \frac{a K_{B2}}{K_{Bzp1} + K_{Bzp2}};$$

де $Z_{Ш12}$ – збитки, спричинені шинами у разі відмови I та II груп;

K_{B2} – коефіцієнт вимушеного простою для секції шин.

На рис. 3.10 показані збитки, заподіяні аваріями трансформаторів, шин та кабелів в різних випадках від кількості ТП.

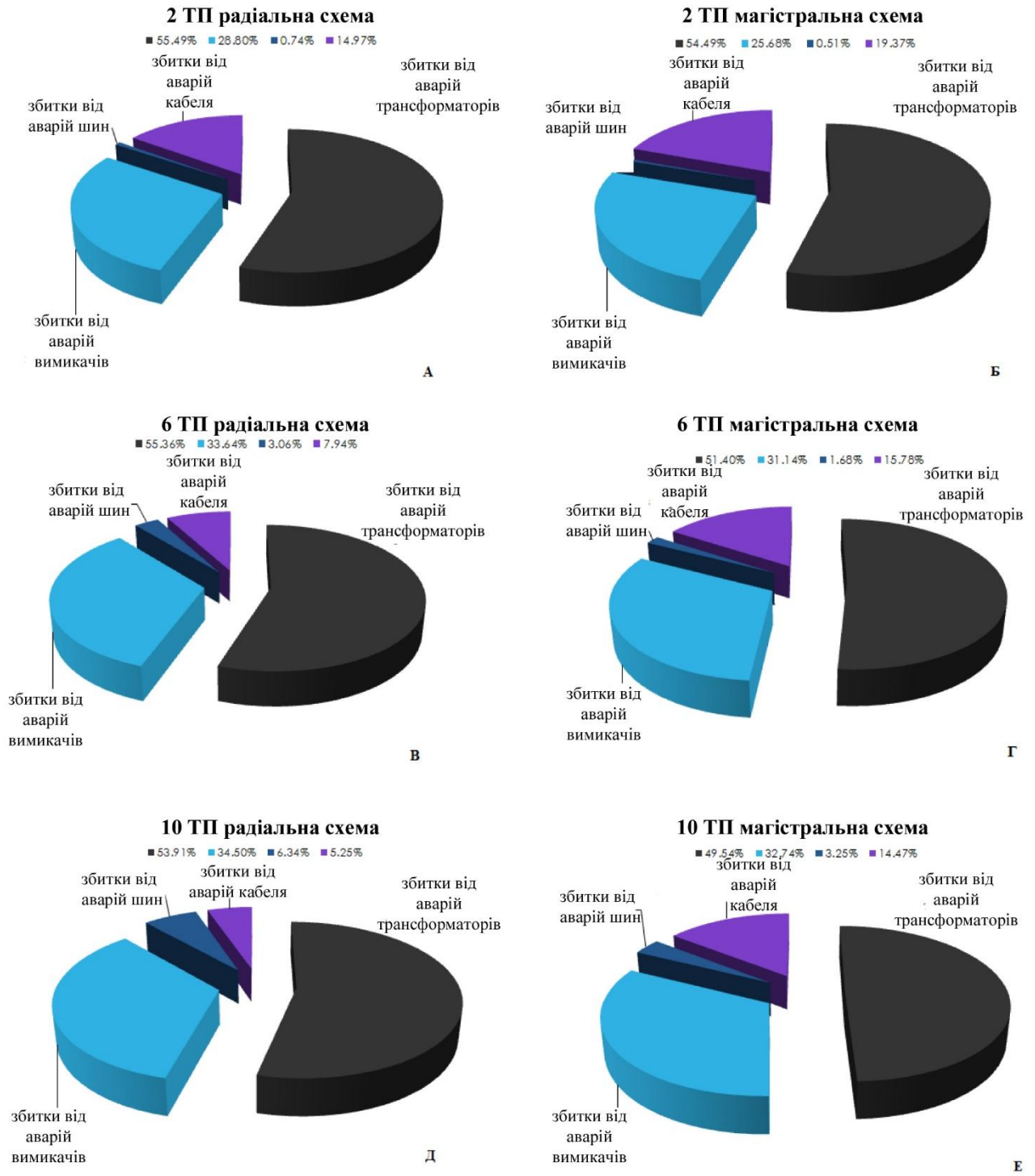


Рисунок 3.10 – Збитки від аварій трансформаторів, шини кабелів.

А,Б - збитки від 2 ТП; В,Г - збитки від 6 ТП; Д,Е - збитки від 10 ТП

На підставі аналізу діаграм на 3.10 можна зробити такі висновки:

- збитки, що виникають при використанні магістральних систем, більше, ніж у радіальних системах;
- збитки, спричинені аваріями трансформаторів, є найбільшими за порівняно зі шкодою, спричиненою аваріями кабелів та секцією шин, тому найбільші ресурси електропостачальна організація має зосередитись на ремонті трансформаторів.
- у міру збільшення кількості ТП частка збитків, які припадають на кожен цех, в обох системах зменшується, оскільки скорочується частка аварій транс-форматорів ГПП загалом.

Грунтуючись на сказаному вище, дійти висновку, що трансформатор є найбільш важливим елементом у системі електропостачання,

Надійна робота трансформатора забезпечується за допомогою процедур перевірки його справності. Такі процедури можуть дозволити виявляти несправності на ранній стадії до їх виникнення, що дозволяє нам своєчасно проводити належне технічне обслуговування, уникати перебоїв у постачаннях, знижувати витрати на ремонт, збільшувати термін служби трансформатора та скорочувати втрати у виробництві підприємства.

3.4 Висновки розділу 3

У цьому розділі проведено дослідження надійності радіальних та магістральних електричних систем у різних випадках. Як змінюваний параметр було взято кількість трансформаторних підстанцій на підприємстві. Було розраховано показники надійності для СЕП та оцінку збитків, починаючи з двох ТП до десяти ТП

Після проведеного дослідження було проведено аналіз результатів і зроблено такі висновки:

- збитки, заподіяні використанням магістральних систем, більше, ніж у радіальних системах;

- трансформатори та кабелі в магістральних системах мають більший вплив, ніж у радіальних системах, та зменшуються зі збільшенням кількості ТП;
- вплив секції шини в радіальних системах більший, ніж у магістральних системах, і збільшується зі збільшенням кількості майстерень;
- ушкодження, спричинене трансформаторами, є найбільшим порівняно з ушкодженням, спричиненим кабелями та секцією шини;
- у міру збільшення кількості ТП збитки в обох системах зменшуються.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Безпека праці електромонтера по обслуговуванню трансформаторних підстанцій і розподільних пунктів

До робіт на трансформаторних підстанціях і в розподільних пунктах пред'являються підвищені вимоги у безпеці праці. Ще до призначення на самостійну роботу електромонтерів необхідно пройти навчання безпечним методам праці, ввідний інструктаж по безпеці праці, первинний інструктаж на робочому місці, первинну перевірку знань ПТБ, ПТЕ, правил пожежної безпеки і інструкцій в об'ємі необхідному для цієї професії, дублювання в течії декількох змін під керівництвом досвідченого наставника. І тільки після проходження усіх східців підготовки електромонтер може приступити до самостійної роботи.

В процесі роботи електромонтер по обслуговуванню трансформаторних підстанцій і розподільних пунктів повинен проходити повторні інструктажі (не рідше за 1 раз в місяць), спеціальну підготовку (не рідше за 1 раз в місяць), контрольне протиаварійне тренування (не рідше за 1 раз в 3 місяці), контрольне протипожежне тренування (не рідше за 1 раз в підлогу року), періодичну перевірку знань ПТБ, ПТЕ, правил пожежної безпеки і інструкцій (1 раз на рік), а також медичний огляд - 1 раз в 2 роки.

Велике значення надається екіпіровці. Це спеціальний одяг і взуття, захисна каска, протигаз, захисна маска або окуляри, а у разі потреби - запобіжний монтерський пояс. Особлива розмова про інструменти. Вони мають бути справні і знаходитися на своїх місцях.

Інструмент з ізолюючим руків'ям в процесі експлуатації піддається періодичним електричним випробуванням. Захисні засоби мають бути випробувані і мати штамп з вказівкою терміну придатності. Електромонтерів необхідно пам'ятати, що від справності приладів і інструментів, спецодягу і пристосувань залежить його життя.

Майстерня ділянки - це постійне робоче місце електромонтера. Тут треба дотримуватися порядку, усьому має бути своє місце. Перед початком роботи необхідно прибрати зайві предмети, відрегулювати місцеве освітлення так, щоб робоча зона була досить освітлена, але, при цьому, світло не зліпило ока.

Основна робота, яка проводиться на трансформаторній підстанції, - це планово-запобіжні ремонти, періодичні і позачергові огляди. Більшість робіт по профілактичному обслуговуванню і ремонту трансформаторних підстанцій і розподільних пунктів здійснюються з відключенням електроустаткування.

Ці роботи вимагають ретельно підготовки робочого місця, при якій мають бути виконані організаційні і технічні заходи, спрямовані на безпечне виконання робіт. Для цього майстер оформляє наряд з призначенням відповідальних осіб за безпечне виконання робіт. Залежно від групи по електробезпеці, досвіду, досвіду електроустановки і складності схеми електромонтер може бути призначений в якості того, що допускає, виконавця робіт або члена бригади.

Що допускає або виконавець робіт отримавши від майстра наряд або усне розпорядження знаками бригаду зі змістом роботи, залежно від якої підбираються необхідні спецодяг, захисні засоби, інструменти, пристосування і матеріали. Підготувавши усе необхідне бригада вирушає до місця проведення робіт.

По прибуттю на місце бригада отримує дозвіл на підготовку робочого місця і на допуск від чергового. Ні в якому разі не можна давати такий дозвіл заздалегідь. Дозвіл на підготовку робочого місця і на допуск оформляється в наряді. Підготовку робочого місця робить той, що допускає спільно з виконавцем робіт.

Для підготовки робочого місця при роботі що вимагає зняття напруги необхідно зробити вказані в наряді перемикання в електроустановці. У електроустановках з кожного боку звідки може бути подана напруга на робоче місце має бути видимі розрив, що утворюється від'єднанням шин і дротів, відключенням комутаційних апаратів, зняттям запобіжників. Усі відключення тут виконують в діелектричних рукавичках.

Знімати і встановлювати запобіжники слідє при знятій напрузі, але якщо обставини не дозволяють зробити це, то необхідно скористатися ізолюючими кліщами, штангою із застосуванням рукавичок і захисних окулярів. Після того, як комутаційна апаратура відключена необхідно вжити заходи, що перешкоджають її мимовільному включенню, тобто вимикачі навантаження, ручні приводи у відключеному стані закриваються на замок.

Після виконаних вище дій, необхідно перевірити справність показчика напруги за допомогою спеціальних приладів або струмоведучих частин тих, що свідомо знаходяться під напругою, а потім за допомогою його ще раз переконатися у відсутності напруги.

У електроустановках напругою більше 1000 В використати показчик напруги необхідно в діелектричних рукавичках. У електроустановках понад 1000 В перевіряти відсутність напруги дозволяється одному працівникові з чергового або оперативно-чергового персоналу з 4 групою по електробезпеці, а в електроустановках до 1000 В з 3 групою. Тут для перевірки відсутності напруги можна використати двополюсний показчик фазної і лінійної напруги.

Електроустановка заземляється шляхом включення заземляючих ножів або установкою переносних заземлень. Їх спочатку приєднують до заземляючого пристрою, а потім, після перевірки відсутності напруги, встановлюють на струмоведучі частини.

У електроустановках понад 1000 В заземлення встановлюються двома працівниками - одним з 4 групою по електробезпеці з числа оперативного персоналу, іншим з 3 групою по електробезпеці. Застосування діелектричних рукавичок і ізолюючої штанги обов'язкове! Затиски переносних заземлень слід закріплювати за допомогою штанги або безпосередньо руками в діелектричних рукавичках.

На підготовлених робітниках місцях вивішуються плакати "Працювати тут". Що залишилися під напругою струмоведучі частини захищаються і вивішуються плакати "Стій. Напруга".

Отже, підготовка робочого місця закінчена. Первинний допуск бригади по нарядах і розпорядженнях повинен проводитися безпосередньо тут же на робочому місці. При цьому той, що допускає зобов'язаний перевірити відповідність складу бригади вказаному в наряді по іменних посвідченнях, довести бригаді відсутність напруги, показом заземлень або перевіркою відсутністю напруги і подальшим дотиком рукою до токоведущим частин якщо заземлення не видно з робочого місця, провести цільовий інструктаж виконавцеві робіт, що спостерігає і членам бригади, що передбачає вказівки по безпечному виконанню конкретної роботи.

Виконавець робіт зі свого боку також повинен провести цільовий інструктаж членам бригади. Без проведення цільового інструктажу і реєстрації його в наряді при первинному допуску до роботи забороняється. Допуск оформляється таким, що допускає і виконавцем робіт в наряді з вказівкою дати і часу. Після допуску нагляд за дотриманням бригадою вимог безпеки покладається на виконавця робіт. Він повинен вести контроль за бригадою, знаходиться, по можливості, на ділянці робочого місця, де ведеться найбільш небезпечна робота.

Після повного закінчення роботи по наряді виконавець робіт повинен видалити бригаду з робочого місця, спільно з тим, що допускає зняти встановлені обгороджування, плакати, заземлення. Повне закінчення робіт оформляється в наряді. Після цього, слід повідомити працівника, що видав дозвіл на підготовку робочого місця і на допуск про повне закінчення роботи для можливості включення електроустановки.

Включення електроустановки виконує з числа оперативного і оперативно-ремонтного персоналу, що входить в склад бригади. Це може бути особа, що дає допуск або виконавець робіт. Після цього необхідно прибути в диспетчерську і здати наряд, а після закінчення робочого дня привести в порядок майстерню і спецодяг.

4.2 Принципи і заходи підвищення стійкості функціонування об'єктів економіки

Доцільною межею підвищення стійкості може вважатися значення параметра вражаючого чинника, що викликає такі міри і характер руйнувань (ушкоджень) на об'єкті, при яких його відновлення буде реальним. Наприклад, якщо основний цех об'єкту при $\Delta P_{\text{ф}} = 30$ кПа отримає руйнування, при яких випуск продукції не може бути налагоджений, то підвищення стійкості інших елементів об'єкту вище за цю межу недоцільно. Межу стійкості об'єкту необхідно підвищувати саме до межі стійкості цього цеху. Проте якщо доведеться при цьому підвищувати межі стійкості багатьох елементів, що зажадає значних матеріальних витрат, то доцільну межу необхідно зменшити.

Перерахуємо основні принципи підвищення стійкості — функціонування промислових об'єктів.

1. Стійкість об'єкту має бути такою, щоб забезпечувалося його функціонування як у військовий, так і в мирний час в умовах НС природного і техногенного характеру з обліком можливості терористичних дій.

2. Підвищення стійкості функціонування повинне здійснюватися на усіх об'єктах незалежно від їх форми власності і профілю.

3. Усі заходи по підвищенню стійкості функціонування об'єкту повинні здійснюватися завчасно.

4. Планування і здійснення заходів по підвищенню стійкості функціонування об'єктів повинні проводитися з урахуванням економічних, природних особливостей території і міри реальної небезпеки виникнення НС.

5. Підвищення стійкості функціонування об'єктів повинне здійснюватися силами і засобами об'єктів, міністерств і відомств, органів місцевого самоврядування, органів виконавчої влади. При недоліку вказаних сил і засобів притягуються сили і засоби державного рівня.

6. Підвищення стійкості об'єкту повинне забезпечити рівностійкість усіх елементів об'єкту.

7. Підвищення стійкості об'єкту повинне здійснюватися до доцільної межі.

На основі цих принципів розробляються заходи підвищення стійкості функціонування об'єкту.

Стійкість об'єкту підвищується:

- шляхом збільшення надійності системи захисту робітників і службовців об'єкту;

- підвищення стійкості інженерно-технічного комплексу об'єкту (його фізичній стійкості);

- виключення або обмеження ураження від вторинних чинників;

- забезпечення надійності управління і матеріально-технічного постачання;

- підготовки об'єкту до відновлення.

Організаційні заходи включають підтримку в постійній готовності системи сповіщення; будівництво на об'єкті притулків для укриття найбільшої працюючої зміни у військовий час і ПРУ в заміській зоні для відпочиваючої зміни і членів сімей робітників і службовців. Плануються і виконуються підготовчі роботи (створюються запаси будівельних матеріалів і конструкцій) по будівництву БВУ на об'єкті і ПРУ в заміській зоні. Виробничий персонал і членів їх сімей готують до розосередження і евакуації в заміську зону. На об'єкті накопичують, зберігають і підтримують в готовності ЗІЗ. Робітників і службовців навчають діям з сигналів сповіщення, формування ЦЗ готують до проведення аварійно-рятувальних і інших невідкладних робіт.

Інженерно-технічні заходи включають в себе ряд дій. У промислових будівлях масивні перекриття міняють на легші; а важкі дахи — на м'яку покрівлю з вогнетривких матеріалів. Низькі промислові будівлі обваловують землею, посилюють стіни, встановлюють додаткові опори для перекриттів. Високі споруди (колони, етажерки, вишки та ін.) встановлюють на потужніші фундаменти, закріплюють їх відтяжками, «здатними витримати швидкісний натиск ударної хвилі. Надійно кріплять трубопроводи, укладені на естакадах, зміцнюють естакади урівноважуючими розтяжками. Влаштовують підземні

сховища для ємностей з отруйними і легкозаймистими речовинами, заглиблюють їх в ґрунт або обваловують, встановлюють ребра жорсткості для підвищення механічної міцності місткостей. Розміщують важке устаткування на нижніх поверхах, міцно закріплюють верстати на фундаментах. Найбільш цінне і нестійке до ударів устаткування розміщують у будівлях з підвищеними характеристиками міцності або в спеціальних захисних спорудах, а менше цінне устаткування — у будівлях павільйонного типу, що окремо стоять, руйнування яких не вплине на його збереження. Комунально-енергетичні мережі і технологічні комунікації заглиблюють або розміщують на низьких естакадах і обваловують ґрунтом. У вибухонебезпечних приміщеннях встановлюють пристрої, що локалізують вибух (панелі, вибухові клапани та ін.). Легкозаймисті конструкції просочують вогнетривкими розчинами, фарбують і обмазують різними запобіжними і вапняними розчинами. Створюють дублюючі джерела електроенергії, води, пара, газу. Також здійснюються технологічні заходи. Максимально скорочують час на зупинку процесу виробництва або підготовку до переходу на знижений режим роботи. Розробляють технологічний процес, що передбачає у військовий час заміну отруйної і легкозаймистої сировини менш отруйним і менш горючим. Розробляють і будують установки по утилізації факельних скидань, що дозволяють забезпечити світломаскування і безаварійну зупинку підприємства. Проводять заходи по запобіганню розливу отруйних і горючих речовин при ушкодженні сховищ і комунікацій. 225 Скорочують запаси сировини і зберігають його поза підприємством в цистернах на спеціальних майданчиках. Видаляють склади від основних цехів на 1,5-3,0 км, використовують для зберігання і укриття сировини підземні і напівпідземні сховища. Розосереджують запаси сировини і готової продукції, окремо зберігають речовини, які утворюють вибухонебезпечні, самозаймисті суміші і шкідливі гази. Створюють запаси дегазуючих речовин поблизу сховищ небезпечних шкідливих речовин.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано комплексне дослідження надійності систем електропостачання з урахуванням особливостей побудови радіальних та магістральних схем. На основі проведених розрахунків і аналізу отримано такі результати:

- доведено, що збитки від використання магістральних систем суттєво перевищують збитки у радіальних схемах;
- встановлено, що найбільший вплив на надійність системи мають трансформатори, тоді як пошкодження кабельних ліній та секцій шин є менш критичними;
- показано, що у міру збільшення кількості трансформаторних підстанцій частка збитків у загальній структурі зменшується, що підвищує загальну надійність мережі;
- визначено, що в радіальних схемах суттєвішим є вплив секцій шин, тоді як у магістральних – трансформаторів та кабельних ліній;
- підтверджено доцільність зосередження основних ресурсів електропостачальних організацій на підвищенні надійності трансформаторів, оскільки вони є ключовою ланкою системи.

Таким чином, проведене дослідження дозволило комплексно оцінити вплив різних факторів на надійність електропостачання, виявити найбільш уразливі елементи системи та надати рекомендації щодо підвищення ефективності експлуатації енергетичних мереж.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Боденчук С. А., Бабюк С. М. Електропостачання промислових підприємств: сучасні тенденції // Матеріали МНТК „Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій“, Тернопіль, 28-29 травня 2025 року. 2025. С. 14–15.
2. Гордієвич С. Ю., Бабюк С. М. Надійність систем електропостачання промислових підприємств: аналіз факторів, методів оцінки та комплексний підхід до підвищення // Матеріали МНТК „Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій“, Тернопіль, 28-29 травня 2025 року. 2025. С. 22–24.
3. ДСТУ 2860-94 Надійність техніки. Терміни та визначення
4. ДСТУ 3440-96 Системи енергетичні. Терміни та визначення
5. ДСТУ 3465-96 "Системи електропостачальні загального призначення. Терміни та визначення".
6. ДСТУ 3429-96 "Електрична частина електростанції та електричної мережі. Терміни та визначення"
7. Фактори, що впливають на надійність електропостачання / С. М. Бабюк, О. В. Красножоний, В. П. Барило, Б. В. Брич // Збірник тез доповідей ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 25-26 листопада 2020 року. — Т. : ТНТУ, 2020. — Том 2. — С. 84–85. — (Електротехніка та енергозбереження).
8. Бабюк, С. М., & В Пліс, Я. (2020). Шляхи підвищення енергоефективності систем електропостачання. Збірник тез доповідей ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 2, 82-83.
9. Правила улаштування електроустановок. - Видання офіційне. Міненерговугілля України. - Х. : Видавництво "Форт", 2017. - 760 с.
10. Технічна політика: Побудова та експлуатація електричних мереж. Технічна політика // Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. Київ: ДП «НЕК «Укренерго», 2014. 250 с.

11. Сердюк, Б. М., & Ліщук, А. А. (2012). Використання показників SAIDI, SAIFI для економічної оцінки надійності електропостачання промислових підприємств. Ефективна економіка, (2).

12. Гай, О. В., & Стахнюк, С. В. (2014). Підхід із визначення показників надійності системи електропостачання з використанням методу імітаційного моделювання. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК, (194 (3)), 249-258.

13. Журахівський А.В. Надійність електроенергетичних систем і електричних мереж: підручник / А. В. Журахівський, С. В. Казанський, Ю. П. Матеєнко, О. Р. Пастух. – Київ. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. – 456 с. – Бібліогр. : с. 450-452.

14. Лук'яненко Ю. В. Розрахунки електричних мереж при їх проектуванні : Навч. посіб. / Ю. В. Лук'яненко, Ж. І. Остапчук, В. В. Кулик; Вінниц. держ. техн. ун-т. - Вінниця, 2002. - 111 с. 77 23.

15. Буряк В. М. Експлуатація електрообладнання систем електропостачання [Текст] : навч. посіб. [для студ. електротехн. спец. вищ. навч. закл.] / В. М. Буряк. — 2-ге вид., переробл. та випр. — Х. : Тимченко, 2008.

16. Журахівський, А. В. "Оптимізація режимів електроенергетичних систем: навч. посібник для вузів." Львів: Видавництво Львівської політехніки (2010).

17. Power Distribution System Reliability. By Ali A. Chowdhury and Don O. Koval Copyright _ 2009 the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc

18. Мілих В.І. Електропостачання промислових підприємств : Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей / В.І. Мілих, Т.П. Павленко. – Харків : ФОП Панов А. М., 2016. – 272 с.

19. Салюк М.А. Статистична обробка даних експериментального дослідження. Методичний посібник з курсу «Експериментальна психологія» / за ред. Е.Л. Носенко. – Дніпропетровськ: Інновація, 2010. – 26 с.

20. Orobchuk, B., Sysak, I., Babiuk, S., Rajba, T., Karpinski, M., Klos-Witkowska, A., ... & Gancarczyk, J. (2017, September). Development of simulator automated dispatch control system for implementation in learning process. In 2017 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS) (Vol. 1, pp. 210-214). IEEE.

21. Буняк, О., Бабюк, С., & Сисак, І. (2019). Інтелектуальний пристрій автоматичного регулювання параметрів електромережі. Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції „Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп’ютерних технологій “присвячена 80-ти річчю з дня народження професора ЯІ Проця, 268-270.

22. Orobchuk, B., Buniak, O., Sysak, I., Babiuk, S., Bodnarchuk, I., & Koval, V. (2024). Development of Software for the Implementation of Automated Reserve Input Modes Operation.

23. Якість електроенергії та її вплив на електроспоживання і надійність роботи електроустаткування // PATRIOT-NRG. Міжнародний портал з енергозбереження [Веб-сайт]. - Київ. - URL: <https://patriot-nrg.com/content/yakist-elektroenergiyi-ta-yiyi-vplyv-na-elektrospozhyvannya-i-nadiynist-roboty> (дата звернення: 23.10.2023).

24. Матеєнко, Ю. П., & Афанасьєв, М. Ю. (2016). КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ. Міжнародний науково-технічний журнал "Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики", 130-132.

25. ОРОБЧУК, Б., КОЗАК, К., ТАРАСЕНКО, М., БАБЮК, С., & СТАСІВ, А. (2025). ВПРОВАДЖЕННЯ ЦИФРОВИХ ПІДСТАНЦІЙ У НАВЧАЛЬНИЙ ПРОЦЕС НА БАЗІ ТРЕНАЖЕРНИХ КОМПЛЕКСАХ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences, 351(3.1), 19-27.

26. Кириленко, О. В., Павловський, В. В., & Лук'яненко, Л. М. (2011). Технічні аспекти впровадження джерел розподільної генерації в електричних мережах. Технічна електродинаміка.

27. Калюжний Д. М. Конспект лекцій з курсу «Електропостачання та електрозбереження» (для студентів спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Електротехнічні системи електроспоживання) / Д. М. Калюжний, А. О. Карюк, І. Є. Щербак; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. – 124 с.

28. Babiuk, Serhiy, et al. "Algorithms for automatic of metrological characteristics of transducers." Вісник Тернопільського національного технічного університету 107.3 (2022): 67-75.

29. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: Підручник. 5-е вид. / За ред. М.П. Гандзюка. - К.: Каравела, 2011. - 384 с.

30. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання «БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ» / В.С. Стручок –Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., –156 с.

31. Коваль В.П. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра для здобувачів другого рівня вищої освіти за ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ В.П. Коваль, М.Г. Тарасенко, О.А. Буняк, Л.Т. Мовчан – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 51 с.