

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут інформатики та радіоелектроніки, ФРЕТ

(повне найменування інституту, назва факультету)

кафедра радіотехніки та телекомунікацій

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до магістерської роботи

магістра

(рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему **ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИВЛЕННЯ СИГНАЛЬНИХ ВОГНІВ В
УМОВАХ ДІЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ ВИСОКОЇ
НАПРУЖЕНОСТІ**

Виконав: студент VI курсу, групи РТ-213м
спеціальності (напряму підготовки)

172 Телекомунікації та радіотехніки

(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

Соболь І.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник Костенко В.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Касьян М.М.

(прізвище та ініціали)

м.Запоріжжя
2018 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет IIRE, ФРЕТ
 Кафедра Радіотехніки та телекомунікацій
 Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) магістр
 Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніки
 (код і назва)
 Напрямок підготовки ОПП Радіотехніка
 (код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Морозовка С.В.
 "10" 12 2018 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

- Соболю Івану Олександровичу
 (прізвище, ім'я, по батькові)
- Тема проекту (роботи) Забезпечення живлення сигнальних вольт в умовах дії електромагнітних полів високої напруженості
 - керівник проекту (роботи) Косменко Валеріян Олександрович, к.т.н., доцент
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
 - затверджені наказом вищого навчального закладу від "31" жовтня 2018 року № 305
 - Строк подання студентом проекту (роботи) 10.12.2018
 - Вихідні дані до проекту (роботи) Вихідні дані: реалії роботи ЛЕП у Закарпатській області, добіркові дані організації транспортування енергії по лініях ЛЕП 330 кВ та 750 кВ, техніка безпеки роботи з установками високої напруги.
 - Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вихідні дані – уміст пошуку патентної і технічної літератури, опис структури електромагнітної хвилі в ЛЕП, трансформатор струму, вплив до конструкції і електричних параметрів, висловлення трансформатора току, експеримент.
 - Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Слайди презентації
 - Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-4	Костенко В.О., доцент		
5	Семаненко В.В., доцент		
6	Коробко В.О., ст. викладач		
Нормоконтроль	Мороз Т.В., асистент		

7. Дата видачі завдання 03.09.2018

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз та дослідження предметної області	1 тиждень	вик.
2	Визначення та затвердження тематичного завдання	1 тиждень	вик.
3	Планування досліджень	1 тиждень	вик.
4	Вибір умов функціонування приладу, який проектується	2 тижні 3 тижні	вик.
5	Розрахунок капітальності електромагнітного поля поблизу ЛЕП	4 тижні	вик.
6	Моделювання електромагнітного поля в прилежній зоні	5 тижнів	вик.
7	Виготовлення дослідного зразка	6 - 10 тижні	вик.
8	Тестування та перевірка параметрів виготовл. зразка	11 - 12 тижні	вик.
9	Підбір ймовірних замовників	13 тиждень	вик.
10	Розробка розділів пояснювальної записки	14 тиждень	вик.
11	Розробка графічного матеріалу	15 тиждень	вик.
12	Захист магістерської роботи	16 тиждень	вик.

Студент

(підпис)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Соборь І.О.

(прізвище та ініціали)

Костенко В.О.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 78 с., 6 табл., 25 рис., 29 джерел

Об'єкт розробки – система загороджувальних вогнів для опор високовольтних ЛЕП з використанням вторинного джерела живлення, яке здійснює частковий відбір від енергії яка транспортується по ЛЕП.

Мета проекту – перевірити можливість реалізації такої конструкції вторинного джерела струму, який міг би працювати в умовах вископотенціального електромагнітного поля ЛЕП 330 кВ.

Результати роботи :

- розраховані параметри розрізного тороїдального трансформатора струму з стрічкової електротехнічної сталі Е3407, трансформатор струму забезпечує живлення лампи розжарювання потужністю 60 Вт;
- трансформатор струму виготовлений;
- проведено експериментальні вимірювання.

ЛІНІЯ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ, НАДВИСОКА НАПРУГА, ОПОРА ЛЕП,
ТРАНСФОРМАТОР СТРУМУ, ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА СТАЛЬ,
НАПРУЖЕНІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ, НАПРУЖЕНІСТЬ
МАГНІТНОГО ПОЛЯ

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП	8
1 ОГЛЯД МЕТОДІВ ОРГАНІЗАЦІЇ ВТОРИННИХ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ, ЯКІ ПРАЦЮЮТЬ В ВИСОКОПОНЦІЙНИХ ПОЛЯХ	9
1.1 Ємнісний метод організації електроживлення захисту ЛЕП від літаків	9
1.2 Фотоелектрична система живлення загороджувальних вогнів..	10
1.3 Узагальнення недоліків вищенаведених методів організації вторинних джерел живлення.....	11
2 ХАРАКТЕРИСТИКИ УМОВ РОБОТИ ВТОРИННОГО ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ В ПОТЕНЦІАЛЬНОМУ ПОЛІ ЛЕП	13
2.1 Електричне поле системи проводів ЛЕП	13
2.2 Розрахунок електричного поля навкруги одного з провідників ЛЕП (прилегла зона)	17
2.3 Розрахунок електромагнітного поля навколо одного з проводів ЛЕП з урахуванням впливу електромагнітних полів інших проводів	25
3 РОЗРАХУНКИ ПАРАМЕТРІВ КОНСТРУКЦІЇ ТРАНСФОРМАТОРА СТРУМУ	33
3.1 Визначення вимог до магнітопроводу трансформатора струму в умовах ЛЕП 330 КВ	33
3.2 Визначення технічних параметрів трансформатора струму для ЛЕП 330 КВ.....	33
3.3 Конструкція і основні частини трансформатора струму. Технологія збирання трансформатора струму	36
4 ВИПРОБУВАННЯ ТРАНСФОРМАТОРА СТРУМУ	41
5 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ	47
5.1 Планування розробки НДР	47

	6
5.2 Розрахунок основної заробітної плати.....	49
5.3 Розрахунок додаткової заробітної плати	50
5.4 Єдиний соціальний внесок.....	50
5.5 Визначення витрат на матеріали	50
5.6 Витрати на спеціальне обладнання	51
5.7 Розрахунок накладних витрат.....	55
5.8 Розрахунок економічної ефективності НДР	56
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	59
6.1 Аналіз потенційних небезпек	59
6.2 Заходи забезпечення техніки безпеки.....	60
6.3 Заходи з забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці	63
6.4 Заходи з пожежної безпеки	69
6.5 Заходи забезпечення безпеки у надзвичайних ситуаціях	73
ВИСНОВКИ.....	75
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	76

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ЕРС	–	електрорушійна сила
ККД	–	коефіцієнт корисної дії
ЛЕП	–	лінія електропередач
ПЗ	–	пояснювальна записка
ПУЕ	–	правила улаштування електроустановок
ТЕМ	–	структура електромагнітної хвилі
ТС	–	трансформатор струму

ВСТУП

Першочерговою проблема живлення світлової сигналізації на високовольтних лініях електропередач (ЛЕП) виникла в оточенні аеродромів ще в середині минулого століття. При проведенні навчальних польотів і змаганнях планеристів бували випадки серйозних пошкоджень ліній електропередач. Було прийнято рішення встановлювати загороджувальні вогні світлової сигналізації в верхніх частинах опор і нижче, через кожні 30 м до висот, які вважаються безпечними для польотів літаків.

Електропостачання такого сигнального освітлення забезпечувалося від місцевої електромережі. Кожного дня у вечірній час, з приходом темноти, за допомогою фотоелектричного автомата включалось загороджувальне освітлення [1]. Для світлозагородження використовувались звичайні лампи накаливання або газосвітні неонові трубки. Вони розміщувались в герметичній арматурі з склом червоного кольору, наприклад, в світильники типу СОМ-200, в яких встановлювались лампи накаливання потужністю не нижче 100 Вт. Неонові ж трубки встановлювались в світлову арматуру з куполоподібним скляним ковпаком [2].

1 ОГЛЯД МЕТОДІВ ОРГАНІЗАЦІЇ ВТОРИННИХ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ, ЯКІ ПРАЦЮЮТЬ В ВИСОКОПОНЦІЙНИХ ПОЛЯХ

1.1 Ємнісний метод організації електроживлення захисту ЛЕП від літаків

Звичайно, при схожому найпростішому рішенню організації світлозагородження мова не йшла про врахування впливу електромагнітних полів від проводів ЛЕП.

При віддаленні від населених пунктів, де немає джерел низької напруги в безпосередній близькості опор ЛЕП, стали застосовувати ємнісний відбір потужності від самої ЛЕП. Від тієї опори, на якій необхідно встановити захисну сигналізацію, до сусідньої натягували провід, закріплювали на визначеній висоті, як показано на (рис. 1.1).

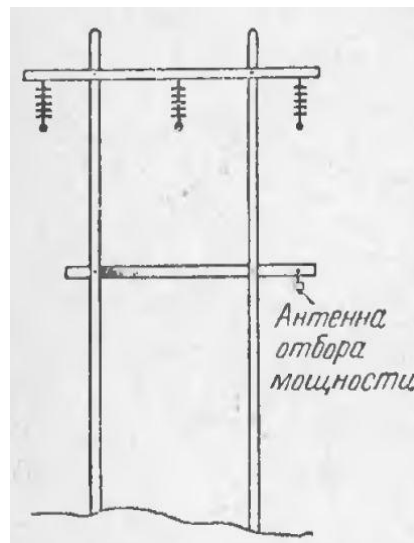


Рисунок 1.1 – Підвіска антени відбору потужності на опорі лінії електропередачі.

Виходила так звана антена. Довжину антени (за допомогою ізоляторів) і висоту підвіски можна вирахувати раніше, знаючи потужність загороджувальних вогнів. Потім на опорі в місці кріплення облаштовувалась

спеціальна площадка, на яку краном або іншим досить складним способом піднімали проміжний трансформатор напруги типу НОМ-6, НОМ-10 або силовий автоблокувальний трансформатор типу ОМ-1,2/6 потужністю 12 кВт. Вага таких трансформаторів перевищувала 1 тону.

Організація загороджувального освітлення ємнісним способом дуже трудомістка і багато затратна в плані коштів. Вона оправдана і могла бути реалізована на окремих опорах, наприклад, в гористій місцевості для захисту від літальних апаратів. Встановлювати таку систему на цілому ряді опор економічно не виправдано.

1.2 Фотоелектрична система живлення загороджувальних вогнів

Пізніше, коли з'явились «сонячні батареї» на основі кремнієвих фотоелектричних елементів у вигляді пластин і практично одночасно, більш ефективні джерела світла в порівнянні з лампами накаливання або неоновими трубками, почались спроби реалізовувати за їх допомогою захист опор ЛЕП від літаків. Незалежність таких систем живлення від об'єктів, які охороняються, дуже приваблива. Була захищена ціла серія патентів в цій області, з'явився навіть окремий розділ в патентній бібліотеці, присвячений вказаній тематиці.

Цілий ряд фірм в наш час випускають фотоелектричні системи загороджувальних вогнів. В Україні, наприклад, ООО НПП «ПВТ – СЕРВІС» [3] пропонує купити «Фотоелектричну систему живлення загороджувальних світлодіодних вогнів – СФЭ - 24».

Основні елементи системи «СФЭ - 24»:

- фотоелектричний модуль типу KV50/12M;
- блок управління в комплекті;
- акумуляторна батарея 12 V, 12 Ач – 2 шт;
- контролер заряду С40;
- фотореле;

- загороджувальний вогонь (PS-15 LED, PS-25 LED);
- виносний фотодатчик.

Та деякі інші допоміжні елементи і елементи кріплення. Термін служби, вказаний в рекламі – не менше 10 років, а середнє значення роботи до відмови – не менше 60000 годин, що дорівнює 7 рокам.

Система СФЭ може працювати в одному з двох режимів: автоматичному, коли робота загороджувальних вогнів відбувається від фотореле, і в ручному, коли фотореле заблоковано і вогні горять примусово. Треба відмітити, що запропонована система загороджувальних вогнів може працювати як в сталому режимі, так і в проблісковому. Останній режим є імпульсним, тому більш економічний з точки зору електроживлення.

На (рис.1.2) показаний процес встановлення елементів «СФЭ-24» на вищі.



Рисунок 1.2 – Встановлення загороджувальних вогнів системи «СФЭ-24»

Системи, які випускаються в Китаї, Європі та США подібні системи мають незначні відмінності [4-6].

1.3 Узагальнення недоліків вищенаведених методів організації вторинних джерел живлення

Описана вище система живлення загороджувальних вогнів абсолютно непридатна для встановлення на опорах ЛЕП, особливо 330 кВ і 750 кВ. Всі фотоелектричні системи мають фотоелектричний модуль, котрий у денний

час заряджає акумулятор, який забезпечує енергією систему як в нічний так і у денний час.

Першим ворогом фотоелектричних модулів є птахи, які полюбляють посидіти на краю рами «сонячної батареї» і забруднюють нечистотами скло батареї. Крім того, вітер, пил та дощі доповнюють негативний вплив птахів на чистоту поверхні над фотоелектричними елементами. Цю поверхню треба мити і досить часто. Відключення на час прибирання лінії електропередач 330 кВ або 750 кВ означає відключення цілих районів міст або підприємств. Та і саме прибирання на висоті – не проста справа.

Зимою ж відчищати поверхню фотоелектричного модуля від снігу та криги – зовсім нереальна справа. Крім того, зимою бувають досить пахмурні дні, а фотоелектричні модулі кріпляться «намертво» з тилу вишки і не відслідковують положення сонця на небосхилі, отже буде недозаряд акумуляторів.

Другим за значимістю ворогом фотоелектричного способу живлення загороджувальних вогнів є наявність акумуляторів. Термін служби акумуляторів від 3 до 5 років, що не так, як зазначено в рекламі «СФЭ-24». Крім того, при значних морозах ємність акумуляторів зменшується.

Поєднання описаних факторів може привести до відмови системи живлення загороджувальних вогнів, і, як наслідок, до ризику створення аварій.

2 ХАРАКТЕРИСТИКИ УМОВ РОБОТИ ВТОРИННОГО ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ В ПОТЕНЦІАЛЬНОМУ ПОЛІ ЛЕП

Через недоліки описані в п. 1.4 виникає бажання взяти частину енергії для живлення загороджувальних вогнів від самої ЛЕП. Ситуація нагадує побутову картину, коли автомобіль стоїть біля залізничного переїзду. В нього скінчився бензин, і щоб доїхати до заправки або до дому йому потрібно всього 0,5 літра бензину. А по залізничній лінії через переїзд мимо стоячого автомобіля проїжджає вантажний потяг з цистернами з бензином. Як взяти з цього потяга бензину всього 0,5 літра? До водія автомобіля може дійти тільки запах.

2.1 Електричне поле системи проводів ЛЕП

Можливо у випадку транспортування електричної енергії по лініям електропередачі існує спосіб відбору сотні ватт, який з урахуванням нових якостей сучасних матеріалів робить цю задачу готовою до рішення. Дослідженню електромагнітних полів по проводах ЛЕП і навколо них присвячена достатня кількість робіт.

В США, наприклад, існує Управління радіаційної охорони навколишнього середовища, яке проводить виміри впливу іонізуючих та неіонізуючих випромінювань з метою захисту здоров'я і безпеки населення. В програмі досліджень цього управління передбачено дослідження напруженості електромагнітних полів поблизу повітряних ліній високовольтних передач.

На рис. 2.1 показана конструкція опори для кріплення проводів ЛЕП.

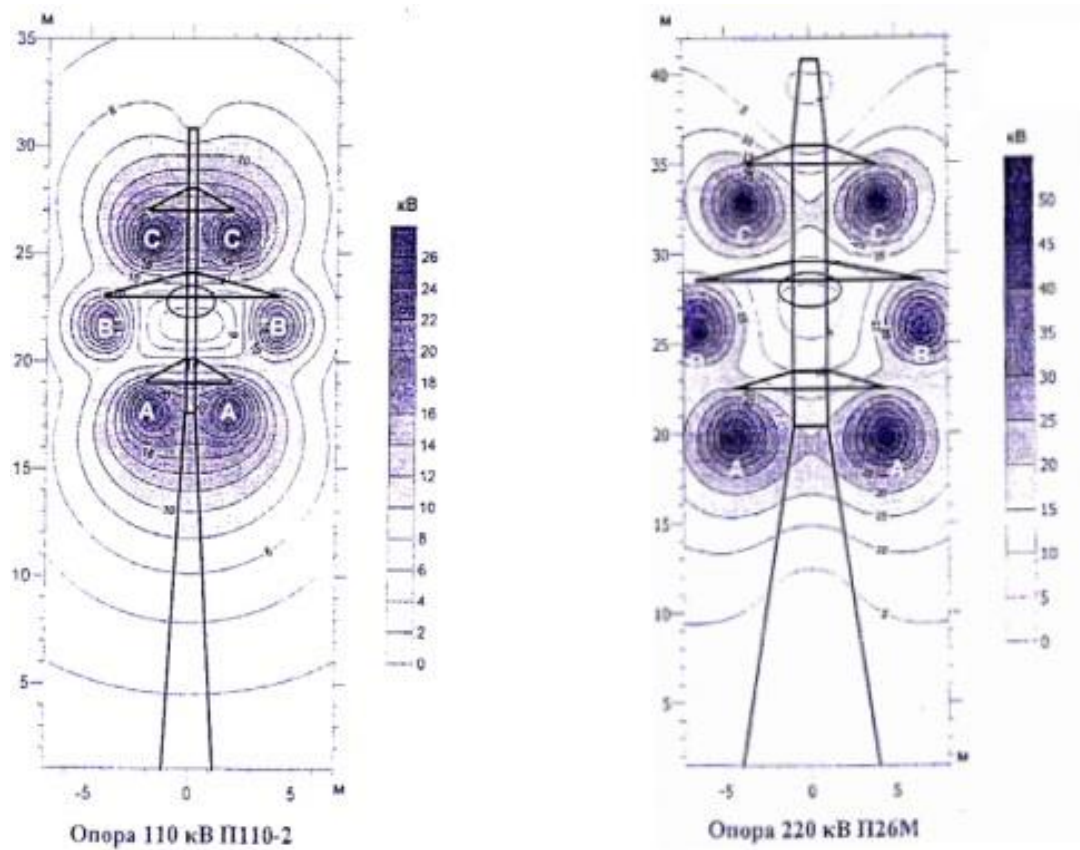


Рисунок 2.2 – Приклад підвіски кабелю в міжфазному просторі на опорах 110/220 кВ

Більш детальна картина розподілу потенціалу електричного поля в залежності від відстані між високовольтними проводами і землею відображена в дослідженнях.

На рис. 2.3 відображена швидкість зниження напруженості електричного поля при віддаленні від вертикальної вісі опори як по поверхні землі, так і на незначних висотах.

Такі вимірювання корисні для визначення вирубки лісів, для прокладки ліній електропередачі, для визначення заборонених зон як для транспортних засобів, так і для людей.

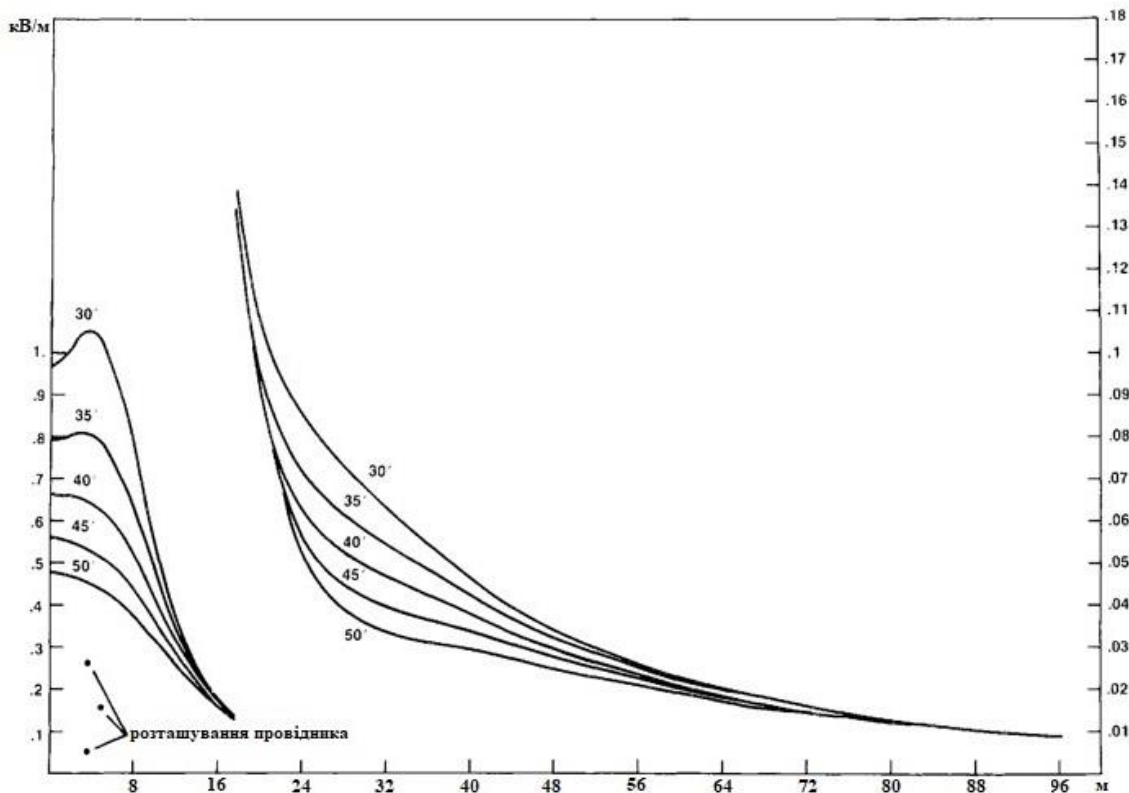


Рисунок 2.3 – Електричне поле для 230 кВ

Для нашого дослідження можливо зробити два попередніх висновки. Перший висновок стосується того, що сама опора є заземленою конструкцією і її потенціал у всіх точках дорівнює нулю, в тому числі і на верхньому кінці опори, де повинні розміщуватись світові вогні для захисту ЛЕП від пошкоджень літальними апаратами.

Другий висновок говорить про те, що в слабких полях отримати енергію в сотню ватт доволі проблематично. Тому зацікавленість зміщується до більш високих потенціалів електричного поля, як то до областей поблизу самих провідників.

В звіті Управління США повідомляється, що розроблено програму для комп'ютера, яка може розрахувати потенціал електричного поля в будь якій точці простору навколо лінії ЛЕП.

Ми не маємо такої програми, тому підемо шляхом розрахунків електричного поля навкруги провідника з током класичним методом дзеркальних відображень. [8]

2.2 Розрахунок електричного поля навкруги одного з провідників ЛЕП (прилегла зона)

За рекомендацією дирекції Дніпроенерго (м. Запоріжжя) в якості початкових даних було взято параметри ліній ЛЕП, які мають найбільшу протяжність на території області. Це повітряні ЛЕП 330 кВ, які забезпечують середній струм в 500 А.

На рис. 2.4 показаний відрізок лінії і перша пластина трансформатора струму, який передбачається використовувати в якості інструмента відбору деякої частини потужності, яка буде передаватися. На першому етапі будемо вважати, що в якості діелектрика між проводом і залізом трансформатора струму буде служити повітря.

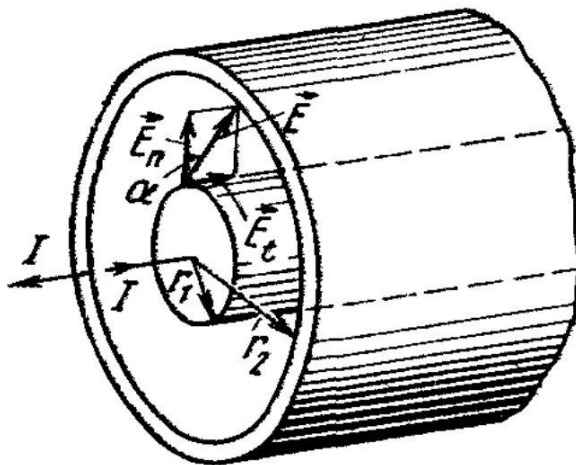


Рисунок 2.4 – Напруженість електричного поля

Для дослідження поля необхідно звернутися до повної системи рівнянь електромагнітного поля [8]:

$$\text{rot } H = \delta, \quad \text{rot } E = -\frac{\partial B}{\partial t}, \quad \delta = \gamma E + \frac{\partial D}{\partial t} + \delta_{\text{пер}},$$

$$D = \epsilon E, \quad B = \mu H, \quad \text{div } D = \rho, \quad \text{div } B = 0$$

де: H – вектор напруженості магнітного поля (А/м);

δ – щільність струму;

E – вектор напруженості електричного поля (В/м);

B – магнітна індукція (Тл= $B \cdot \text{сек}/\text{м}^2$);

D – електрична індукція ($\text{к}/\text{м}^2$);

$\delta_{\text{пер}}$ – щільність заряду;

ε – діелектрична проникність ($\text{Ф}/\text{м}$);

μ – магнітна проникність середовища ($\text{Гн}/\text{м}$);

ρ – об'ємна щільність заряду ($\text{К}/\text{м}^3$);

γ – провідність середовища ($\text{Сим}/\text{м}$).

В декартовій системі координат перші два рівняння запишуться у вигляді шести рівнянь у відповідності з трьома проекціями на вісі координат. Застосувавши вираз для векторів δ , D та B , отримаємо рівняння у вигляді:

$$\frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} = \gamma E_x + \varepsilon \frac{\partial E_x}{\partial t} + \delta_{\text{пер.}x}; \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} = \gamma E_y + \varepsilon \frac{\partial E_y}{\partial t} + \delta_{\text{пер.}y}; \quad (2.2)$$

$$\frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} = \gamma E_z + \varepsilon \frac{\partial E_z}{\partial t} + \delta_{\text{пер.}z}; \quad (2.3)$$

$$\frac{\partial E_z}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z} = -\mu \frac{\partial H_x}{\partial t}; \quad (2.4)$$

$$\varepsilon \frac{\partial E_y}{\partial t} - \frac{\partial E_z}{\partial x} = -\mu \frac{\partial H_y}{\partial t}; \quad (2.5)$$

$$\frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y} = -\mu \frac{\partial H_z}{\partial t}; \quad (2.6)$$

В нашому випадку провідність діелектрика дорівнює нулю ($\gamma = 0$), вільні заряди відсутні ($\rho = 0$). В такому середовищі можуть існувати тільки струми електричного зміщення. Фактично будемо розглядати плоску

електромагнітну хвилю, так як всі величини, які характеризують інтенсивність електромагнітного процесу, залежать тільки від однієї з декартових координат, наприклад Z .

Таким чином, вектори E і H не залежать від координат X і Y :

$$\frac{\partial H}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial H}{\partial y} = 0; \quad \frac{\partial E}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial E}{\partial y} = 0.$$

Отже, E і H є функціями тільки z і t . Враховуючи ще й умови $\gamma = 0$ і $\rho = 0$, отримаємо рівняння поля у вигляді:

$$-\frac{\partial H_y}{\partial z} = \varepsilon \frac{\partial E_x}{\partial t}; \quad (2.7)$$

$$\frac{\partial H_x}{\partial z} = \varepsilon \frac{\partial E_y}{\partial t}; \quad (2.8)$$

$$0 = \varepsilon \frac{\partial E_z}{\partial t}; \quad (2.9)$$

$$\frac{\partial E_y}{\partial z} = \mu \frac{\partial H_x}{\partial t}; \quad (2.10)$$

$$\frac{\partial E_x}{\partial z} = -\mu \frac{\partial H_y}{\partial t}; \quad (2.11)$$

$$0 = \mu \frac{\partial H_z}{\partial t}; \quad (2.12)$$

А так як струм і напруга в лінії ЛЕП не мають сталих складових, які не залежать від часу, то рівняння (2.9) і (2.12) приймають вигляд:

$$E_z = \text{const} = 0; \quad H_z = \text{const} = 0.$$

Відомо, що в електромагнітній хвилі, яка вільно розповсюджується в однорідному і ізотропному діелектрику, вектори E і H взаємно перпендикулярні. Якщо вектор E направлений по вісі OX , то вектор H направлений по вісі OY . В цьому випадку $F_y = 0$, а рівняння (2.8) і (2.10) дають:

$$\frac{\partial H_x}{\partial z} = 0 \quad \text{і} \quad \frac{\partial H_x}{\partial t} = 0, \text{ тобто } H_x = \text{const} = 0.$$

Залишаються тільки два рівняння: (2.7) і (2.11):

$$-\frac{\partial H_y}{\partial z} = \varepsilon \frac{\partial E_x}{\partial t}; \quad (2.13)$$

$$\frac{\partial E_x}{\partial z} = -\mu \frac{\partial H_y}{\partial t}; \quad (2.14)$$

Якщо продиференціювати друге рівняння по z , а перше по t , то отримаємо:

$$\frac{\partial^2 E_x}{\partial z^2} = -\mu \frac{\partial^2 H_y}{\partial t \cdot \partial z};$$

$$-\frac{\partial^2 H_y}{\partial t \cdot \partial z} = \varepsilon \cdot \frac{\partial^2 E_x}{\partial t^2};$$

Звідки

$$\frac{\partial^2 E_x}{\partial t^2} = v \cdot \frac{\partial^2 E_x}{\partial z^2}, \quad (2.15)$$

де $v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \mu}}$ – швидкість розповсюдження електромагнітної хвилі в просторі.

Диференційні рівняння (2.13) і (2.14) представляють собою диференційні рівняння другого порядку. З одного боку, з математики відомо, що розв'язання диференційного рівняння – це опис такої функції, підстановка якої та її похідних перетворює диференційне рівняння в тотожність. З іншого боку відомо, що рішення диференційного рівняння записується у вигляді суми загального рішення однорідного рівняння (вільна складова) і приватного рішення неоднорідного рівняння (примушена складова).

В ряді робіт по аналізу процесів розповсюдження електромагнітних хвиль [8-10] проводиться аналогія між явищем розповсюдження плоскої електромагнітної хвилі в діелектрику, яка характеризується напруженістю E_x і H_y , і явищем розповсюдження хвиль напруги і струму в однорідній (довгій) лінії при відсутності втрат в цій лінії.

При цьому відзначено, що вираз для E_x абсолютно аналогічний виразу для U і, відповідно, вираз для H_y аналогічний виразу для I .

Вводиться поняття хвильового опору середовища:

$$\frac{E_{x1}}{H_{y1}} = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} = Z,$$

Аналогічно хвильовому опору однорідної лінії $Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$.

Тоді і вираз швидкості $v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \mu}}$ розповсюдження електромагнітної хвилі в діелектрику аналогічний виразу швидкості розповсюдження хвиль в довгій лінії $v = \frac{1}{\sqrt{LC}}$.

Подібна аналогія дозволяє в якості розв'язання диференційних рівнянь (2.13) і (2.14) взяти із рішень, наведених для довгих ліній:

$$u_1 = \varphi(x-vt) + \psi(x + vt)$$

$$i_1 = \sqrt{\frac{c}{L}} [\varphi(x-vt) - \psi(x+vt)]$$

Користуючись наведеним рішенням, ми зможемо записати вирази для E_x і H_y , замінивши в останніх виразах u_1 на E_x , i_1 на H_y , v на z , C на ε і L на μ . Виконавши заміну позначивши функції $(z-vt)$ і від $(z+vt)$ через $F_1(z-vt)$ і $F_2(z+vt)$, будемо мати шуканий вираз у вигляді:

$$E_x = F_1(z-vt) + F_2(z+vt)$$

$$H_y = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}} [F_1(z-vt) - F_2(z+vt)]$$

Так як за умовою E_x і H_y не мають складових, не залежних від часу, то і функції F_1 і F_2 не мають цих складових.

З'ясуємо сенс, який мають приватні рішення:

$$E_{x1} = F_1(z-vt); \quad H_{y1} = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}} [F_1(z-vt)]$$

В будь якій точці, яка рухається в позитивному напрямку вісі OZ зі швидкістю $\frac{dz}{dt} = v$, значення E_{x1} і H_{y1} залишаються сталими. Дійсно, становище такої точки визначається координатою $z = vt + z_0$, отже, величини E_{x1} і H_{y1} в цій точці, яка рухається, мають значення:

$$E_{x1} = F_1(vt + z_0 - vt) = F_1(z_0) = \text{const};$$

$$H_{y1} = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}} F_1(z_0) = \text{const}.$$

Звідси випливає, що кожне визначене значення величини E_{x1} або величини H_{y1} поширюється в сторону позитивної вісі OZ зі швидкістю v . Тому ми можемо стверджувати, що ці приватні рішення визначають собою електромагнітну хвилю, яка поширюється зі швидкістю v в позитивному напрямку вісі OZ (*пряму хвилю*). Так як з величинами E і H пов'язана певна щільність енергії електромагнітного поля, то електромагнітна хвиля, яка рухається, несе з собою певну кількість електромагнітної енергії.

На рисунку показаний рух електромагнітної хвилі вздовж вісі OZ (для двох моментів часу: $t=0$ і $t_1 > 0$)

Становище електромагнітної хвилі в момент $t_1 > 0$ показане на рис. 2.5 пунктиром.

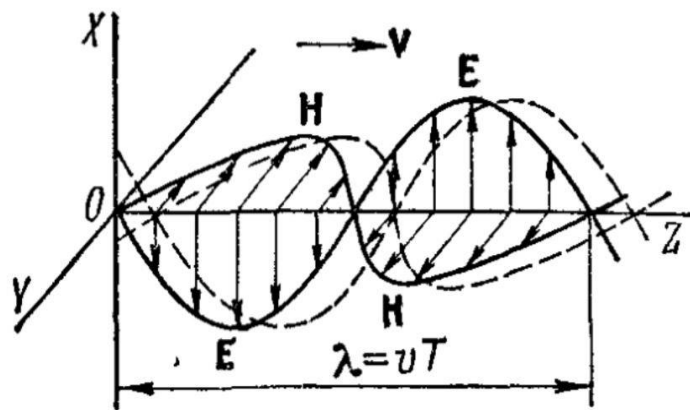


Рисунок 2.5 – Динаміка руху електромагнітної хвилі вздовж вісі OZ

Як відомо, векторний добуток $\vec{E}$ на $\vec{H}$ через майданчик S , який розміщено перпендикулярно вісі OZ , називають вектором Пойнтінга:

$$S = [\vec{E} \cdot \vec{H}] = \frac{v}{m} \cdot \frac{a}{m} = \frac{va}{m^2}$$

Вектор Пойнтінга має розмірність потужності (або енергії в одиницю часу), віднесеної до одиниці поверхні. Напрямок цього вектору співпадає з напрямком руху острия правоходового гвинта, якщо головку гвинта обернути по найкоротшій відстані від $\vec{E}$ до $\vec{H}$.

Зупинимось на важливому практичному випадку, коли E_x і H_y змінюються за часом по закону синуса. Припустимо, що існує тільки одна пряма хвиля. Маємо:

$$E_{x1} = F_1(z - vt) = E_{xm} \sin(\omega t + \psi)$$

$$H_{y1} = \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}} F_1(z - vt) = \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}} E_{xm} \sin(\omega t + \psi)$$

причому ω – кутова частота коливань.

Останні рівняння задовольняються за умови, що існує рівність:

$$\omega t + \psi = k(z - vt),$$

де k – стала величина.

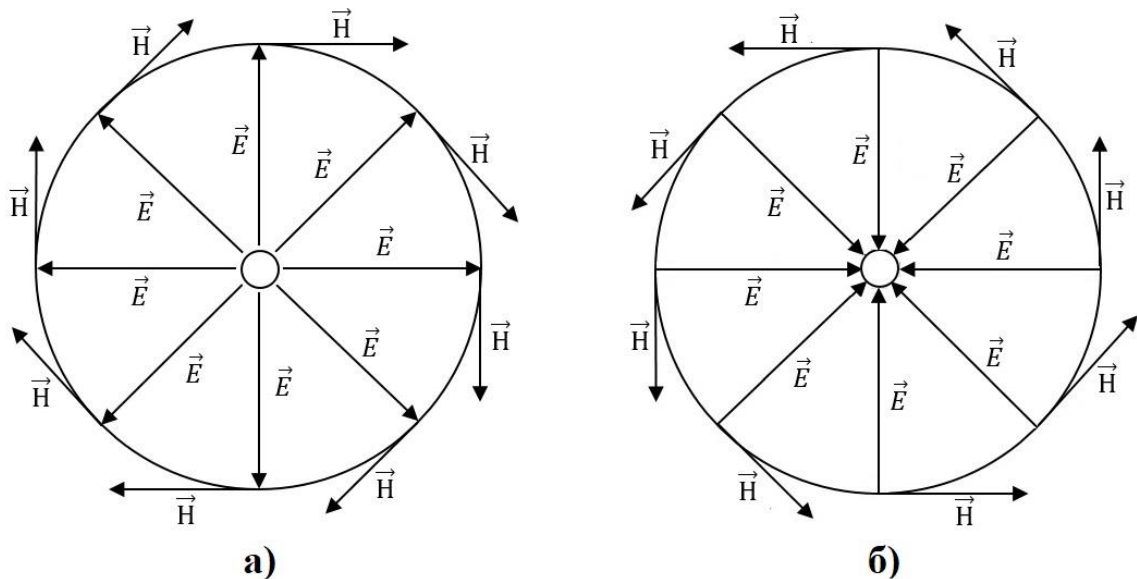
Так як ця рівність повинна задовільнятися для будь – якого моменту часу t , то, надавши значення $t = 0$, знайдемо $\psi = kz$. Отже, $\omega t = -kvt$ і $k = -\omega / v$. Таким чином, початкова фаза ψ може бути представлена у вигляді $\psi = -\frac{\omega}{v} z$.

Стало бути маємо:

$$E_{x1} = E_{xm} \sin\left(\omega t - \frac{\omega}{v} z\right); \quad H_{y1} = \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}} E_{xm} \sin\left(\omega t - \frac{\omega}{v} z\right).$$

Останній вираз дозволяє визначити напруженість магнітного і електричного полів в будь якій точці лінії (вісь OZ) в будь який час ($t > 0$).

Так як трансформатор струму для загороджувальних вогнів буде встановлюватись в якійсь конкретній точці Z_1 лінії, то на бокову сторону трансформатора струму буде діяти плоска електромагнітна хвиля, яка має класичну структуру (рис. 2.6).



а) $t \in 0$ до π , б) $t \in \pi$ до 2π

Рисунок 2.6 – Структура ідеальної плоскої електромагнітної хвилі в момент $t=t_1$

В технічній електродинаміці такі електромагнітні хвилі, які не мають складових векторів E і H в напрямку поширення енергії, називаються поперечними або TEM [10].

На рис. 2.7 показано фактичне розташування фазних проводів друг від друга.

2.3 Розрахунок електромагнітного поля навколо одного з проводів ЛЕП з урахуванням впливу електромагнітних полів інших проводів

На рис. 2.7 показано, що провід фази С розташований ближче других проводів до вершини опори, де планується встановлювати загороджувальні вогні. На структуру плоскої електромагнітної хвилі, яка поширюється вздовж провoda фази С і, отже, падаючої на торець трансформатора струму, впливають електромагнітні поля фази В в першу чергу і фази А в другу чергу.

На рис. 2.7 показано фактичне розташування проводів один від одного.

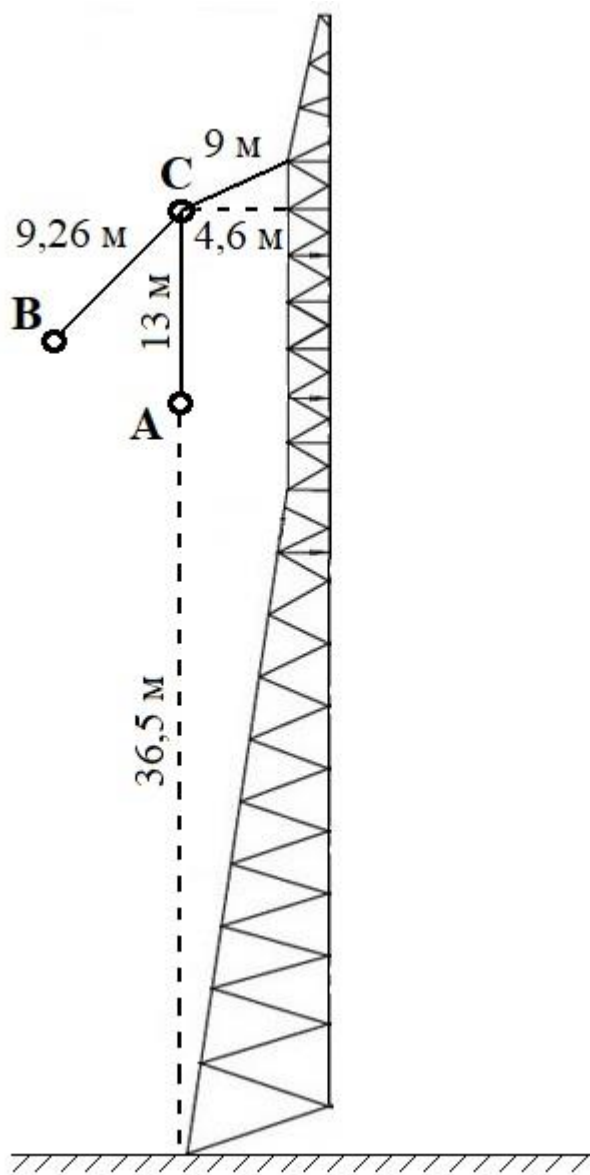


Рисунок 2.7 – Геометричне розташування лінійних проводів відносно дроту фази С

Розглянемо картину напруженості електромагнітного поля в момент максимальної напруги $E_{C \max}$:

$$E_A = 330 \cdot 10^3 \cdot \sin(\omega t + 0^\circ)$$

$$E_B = 330 \cdot 10^3 \cdot \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$E_C = 330 \cdot 10^3 \cdot \sin \left(\omega t + \frac{4\pi}{3} \right)$$

$$E_{C \max} = 330 \cdot 10^3 \text{ при } \sin \left(\omega t + \frac{4\pi}{3} \right) = 1, \text{ звідси } t = 0,192 \text{ сек.}$$

Змоделюємо в середовищі Mathcad хвилі напруги фаз А, В, С, як функції часу.

Період:

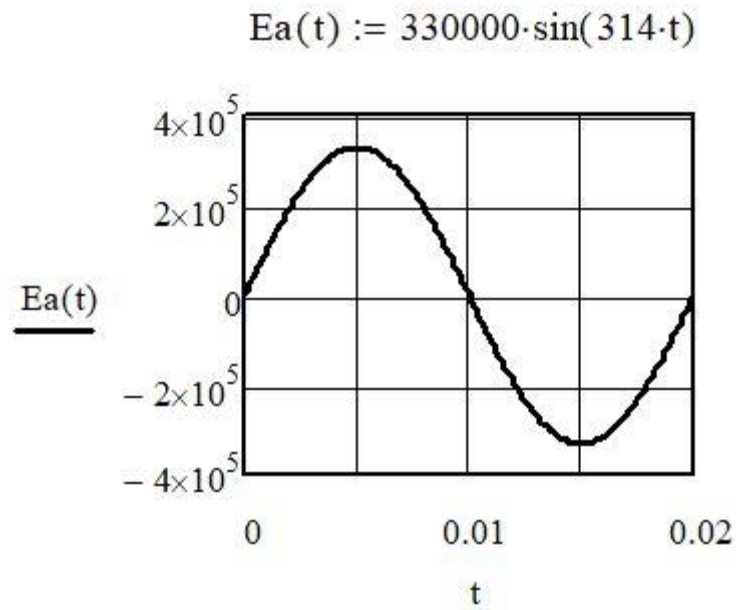
$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50 \text{ Гц}} = 0.02 \text{ сек}$$

Спочатку визначимо момент часу t , в якому напруга фази С (на ній буде встановлюватися ТС) буде максимальним, для цього вирішимо рівняння:

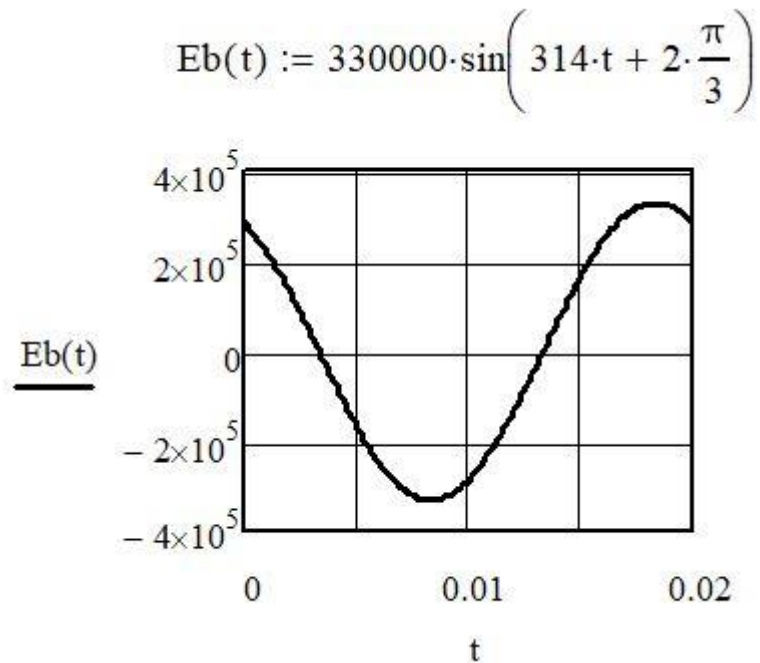
$$\sin \left(314 \cdot t + 4 \cdot \frac{\pi}{3} \right) = 1$$

Максимальним буде E_C в момент часу $t = 0.192 \text{ сек.}$

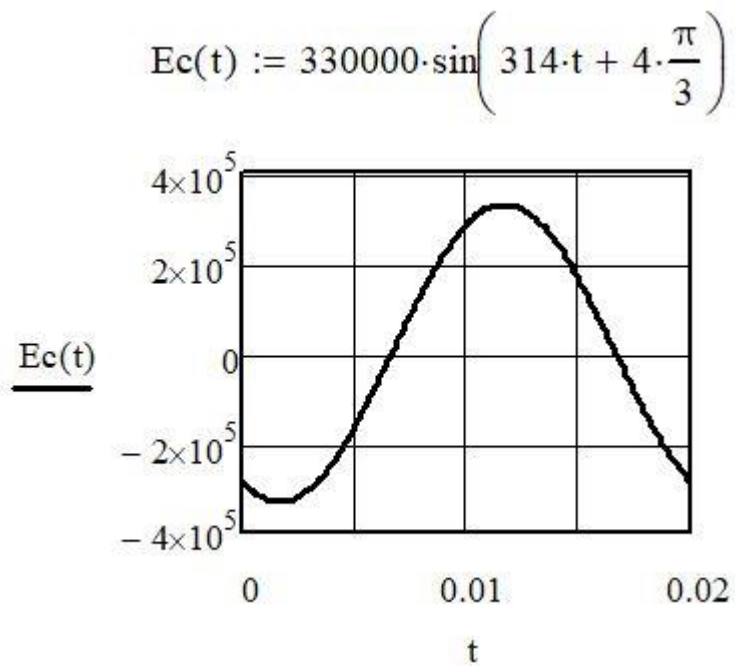
Побудуємо графік $E_a = f(t)$ (рис.2.8):

Рисунок 2.8 – Крива зміни E_a протягом періоду T

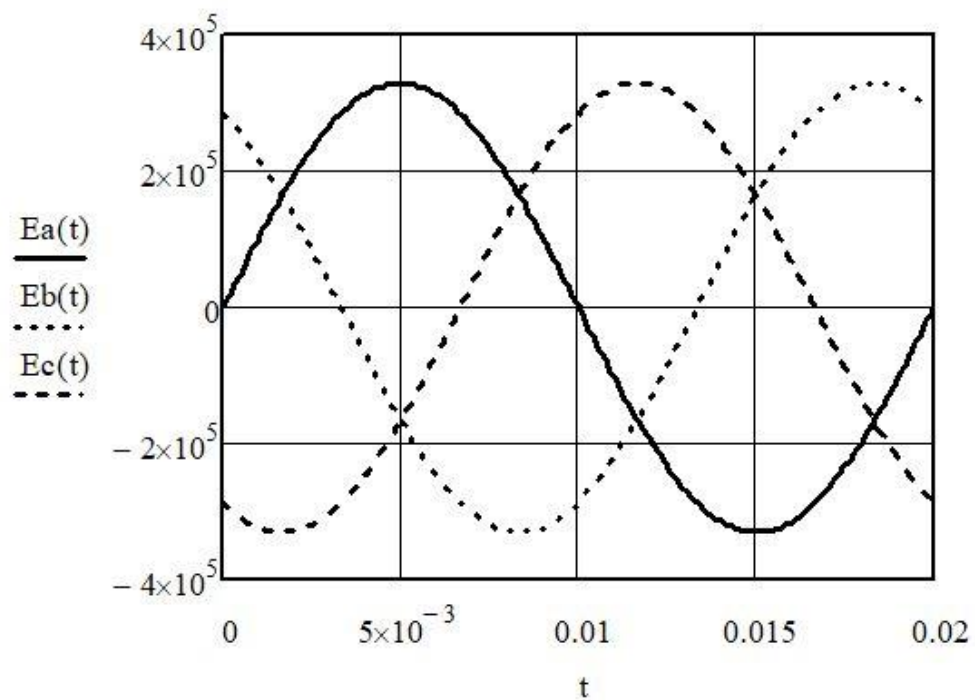
Побудуємо графік $E_b := f(t)$ (рис. 2.9):

Рисунок 2.9 – Крива зміни E_b протягом періоду T

Побудуємо графік $E_c := f(t)$ (рис.2.10):

Рисунок 2.10 – Крива зміни E_c протягом періоду T

На рис. 2.11 зобразимо всі три криві E_a , E_b , E_c :

Рисунок 2.11 – Часова залежність 3-х фазної напруги за період T

Структура хвилі ТЕМ в перетині, перпендикулярному Z , в момент $t = 0,192$, як і в інші моменти, аналогічна структурі поля системи провідників,

які різнойменно заряджені і по яким тече сталий струм протилежних напрямів. А для таких полів, як відомо [10], вектор напруженості електричного поля E буде зменшуватись пропорційно квадрату відстані від проводу (рис. 2.12).

Тому вектор E_B від фази В, діючий на провід фази С, буде дорівнювати:

$$E_B' = E_B \cdot (0,192) / 9,26^2 = - \frac{1,434 \cdot 10^5}{9,26^2} = - 1672,35 \text{ В}$$

Відповідно, вектор E_A' від фази А, діючий на провід фази С, буде дорівнювати:

$$E_A' = - E_A \cdot (0,192) / 13^2 = - \frac{1,857 \cdot 10^5}{13^2} = - 1098,82 \text{ В}$$

Крім того, аналогія з статичними полями дозволяє використовувати принцип суперпозиції, тобто накладення полів одне на одне. Тоді картина поля навколо проводу фази С в момент $t = 0,192$ сек набуде вигляд:

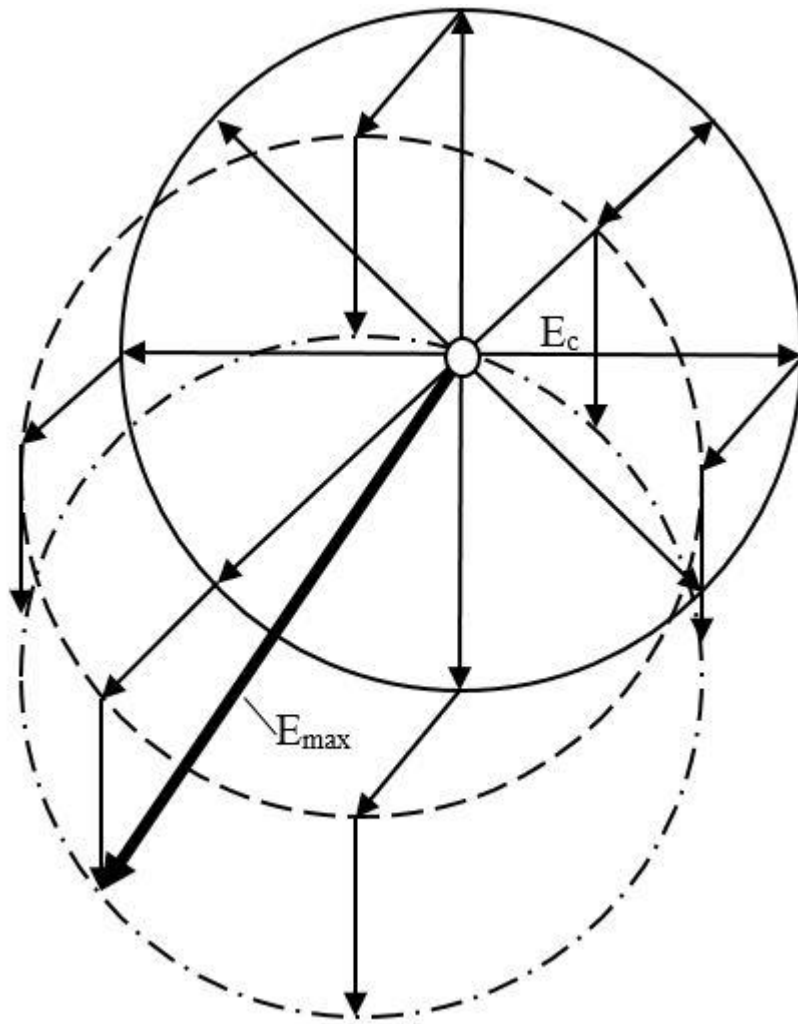


Рисунок 2.12 – До визначення вектору максимальної напруги $E_{C \max}$ фази С в момент часу $t = 0,192$ сек.

Вектори E_B' і E_A' направлені до відповідних проводів, так як E_B і E_A в цей момент негативні.

З деякою долею похибки можна припустити, що вектори E_B' і E_A' співпадають по напрямку від проводу фази С до проводу фази А. Це дозволяє оцінити величину підсумкового вектора (на рис. 2.12) $E_{\max}$:

$$E_{\max} = E_C(0,192) + |E_B| + |E_A| = 3,291 \cdot 10^5 + 0,0167 \cdot 10^5 + 0,01098 \cdot 10^5 = 3,33 \cdot 10^5 \text{ В}$$

Очевидно, що вплив проводів сусідніх фаз друг на друга є, але не настільки великий, як очікувалось.

А так як нас цікавить тепловий вплив на залізо трансформатора струму, то візьмемо середнє за період T значення вектора електричної напруженості навколо провода фази С:

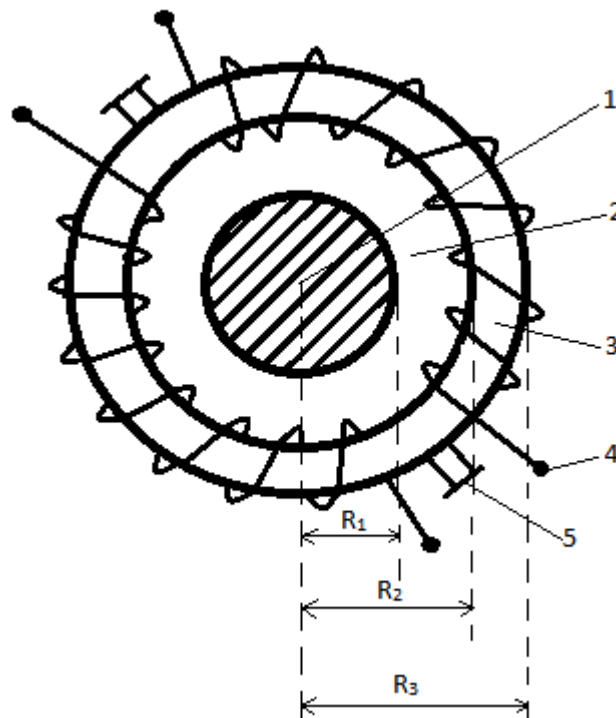
$$E_{C\text{ ср}} = 0,638 \cdot 3,33 \cdot 10^5 = 2,125 \cdot 10^5 \text{ В.}$$

В подальшому будемо вважати, що вектор $E_{C\text{ ср}}$ «падає» на торцеву поверхню трансформатора струму.

3 РОЗРАХУНКИ ПАРАМЕТРІВ КОНСТРУКЦІЇ ТРАНСФОРМАТОРА СТРУМУ

3.1 Визначення вимог до магнітопроводу трансформатора струму в умовах ЛЕП 330 КВ

Роз'ємний трансформатор струму (ТС) зображено на рис. 3.1.



- 1 – лінійний струмоведачий провід ЛЕП; 2 – прохідний ізолятор;
 3 – магнітопровід з трансформаторної сталі Э3407; 4 – вторинна обмотка;
 5 – елементи кріплення двох половинок магнітопроводу

Рисунок 3.1 – Роз'ємний трансформатор струму (ТС)

3.2 Визначення технічних параметрів трансформатора струму для ЛЕП 330 КВ

Зробимо приблизний розрахунок трансформатора струму (ТС) з метою оцінки реальності реалізації. Лінійний провід ЛЕП марки АС діаметром 30

мм ($R_1 = 15$ мм) 1 (рис. 3.1) є первинною обмоткою ТС ($W_1 = 1$ виток). Нехай вторинна обмотка 4 (рис. 3.1) намотана на магнітопровід 3 з вказаними геометричними параметрами: радіус внутрішньої поверхні $R_2 = 25$ мм, радіус зовнішньої поверхні $R_3 = 100$ мм; товщину сердечника поки що задавати не будемо. По статистиці в ЛЕП 330 кВ лінійний номінальний струм $I_{IH} = 500$ А, але $I_{max} = 550$ А, тому згідно рекомендаціям [10] вибираємо $I_1 = 600$ А. Струм у вторинній обмотці дорівнює $I_2 = 12$ А при напрузі $E_2 = 2$ В, а так як ТС не підключений до нейтрального проводу на «землі», тобто весь знаходиться в зоні високого потенціалу, то вимоги до ізоляції між первинною і вторинною обмотками ТС не високі.

Коефіцієнт трансформації:

$$N = \frac{l_1}{l_2} = \frac{600}{6} = 50$$

Отже, вторинна обмотка містить 50 витків.

Довжина середньої лінії магнітопроводу:

$$L_{cp} = 2\pi \cdot (R_2 + \frac{R_3 - R_2}{2}) = 0,39 \text{ м}$$

Напруженість магнітного поля всередині сердечника:

$$H = \frac{I_1 \cdot W_1}{L_{cp}} = \frac{600 \cdot 1}{0,39} = 1538 \frac{\text{А}}{\text{м}}$$

Це відповідає намагніченості (для сталі Э3407) $B = 1,6$ Тл [13]

При визначенні середньої лінії магнітопроводу 3 (рис. 3.1) ми використали його ширину ($R_3 - R_2$). А для визначення площі перетину магнітопроводу скористаємось відомою формулою:

$$E_2 = 4,44 \cdot f \cdot S \cdot w_2 \cdot B_{\max}$$

звідки:

$$S = \frac{E_2}{4,44 \cdot f \cdot B_{\max} \cdot w_2}$$

Знайдемо площу поперечного перетину магнітопровода при $L_{cp} = 0,785$ м, матеріалі сердечника – сталі Э3407 і описаних вище початкових умовах:

$$S = \frac{36}{4,44 \cdot 50 \cdot 50 \cdot 1,6} = 20 \text{ см}^2$$

Якщо перетин магнітопровода взяти квадратним, то сторона квадрата для вказаного перетину дорівнює $a = 4,5$ см. Така мала величина говорить про те, що для магнітопровода можна застосувати матеріал з більш низькою магнітною проникністю, тоді перетин магнітопровода буде більший.

Зазор між лінійним проводом 1 і магнітопроводом 3 (рис. 3.1) складає $50 - 25 = 25$ мм, що дозволяє вільно розмістити як ізоляцію, так і провід вторинної обмотки.

Таким чином, ТС, який складається з двох половинок кільця сталі 3411 квадратного перетину із стороною в 3 см, радіусом в $25 + \frac{100-50}{2} = 50$ мм = 5 см і вторинною обмоткою з 50 витками мідного проводу діаметром 1,7 мм [10], буде відбирати від ЛЕП потужність в $12 \cdot 2 = 24$ Вт і забезпечить нормальну роботу лампи – фари, потужністю в 24 Вт.

Визначимо масу ТС. Маса трансформаторного заліза складає

$$\pi \cdot (5^2 - 2,5^2) \cdot 3 \text{ см} \cdot 7,9 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = 1,5 \text{ кг}$$

Визначимо масу міді проводу. Якщо довжина сторони квадратного перетину магнітопровода дорівнює 0,5 см, то периметр дорівнює 2 см. Тоді

довжина середнього витка багат шарової вторинної обмотки ТС складе приблизно 5 см. Отже, маса міді вторинної обмотки ТС складе:

$$3,14 \cdot 0,11^2 \text{ см}^2 \cdot (5 \text{ см} \cdot 50) \cdot 8,96 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = 85 \text{ гр.}$$

З урахуванням ізоляції і кріплення двох половинок магнітопровода маса ТС не перевищить 2 кг.

Отримані масогабаритні параметри ТС можна зрівняти з параметрами найближчого аналога – стандартного вимірювального ТС марки Т – 0,66 [17], який при первинному номінальному струмі в 1000 А і вторинному струмі в 5 А має масу не більш 1,3 кг.

3.3 Конструкція і основні частини трансформатора струму. Технологія збирання трансформатора струму

Матеріал сердечника.

З попередніх розрахунків робимо висновки, що в якості сердечника трансформатора струму, який збирається, може бути тільки роз'ємний (розрізний) стрічковий сердечник (рис. 3.1).

В якості матеріалу для сердечника трансформатора в довіднику наведені десятки сплавів. Та реально доступність і середні параметри по питомим втратам в залежності від частоти і магнітної індукції зупинили наш вибір на сталій стрічці марки Э3407. Ширина стрічки – 32 мм, товщина 0,35 мм.

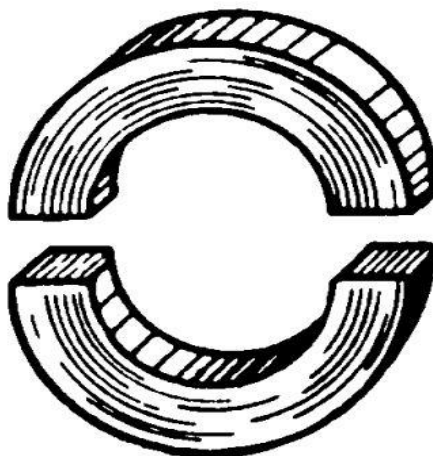
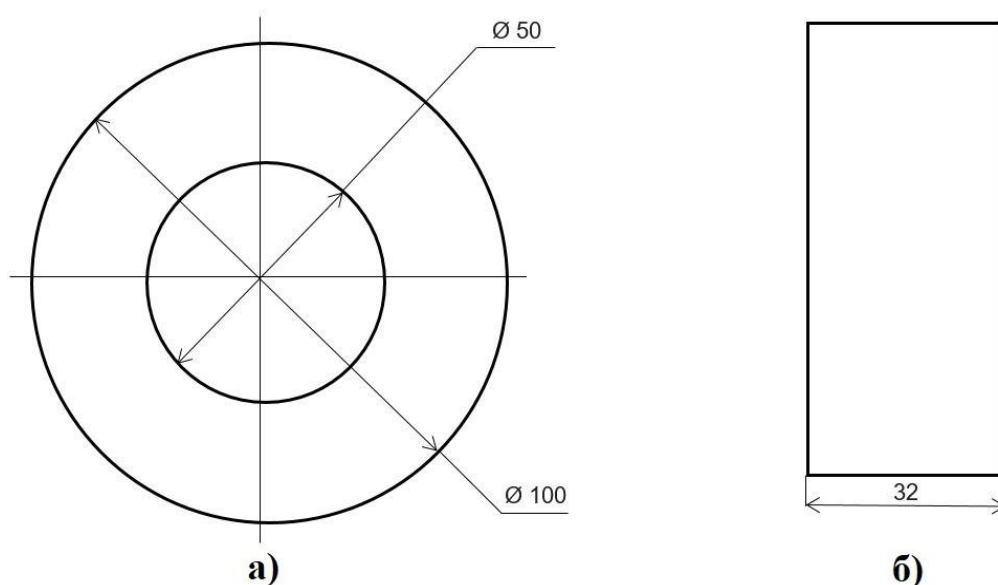


Рисунок 3.1 – Розрізний стрічковий сердечник магнітопровода трансформатора струму.

Обезжирену стрічку навивають на станкі, типу токарного, в рулон. Після навивки отриманий виріб занурюють в ванночку, в якій епоксидна смола марки Э120 з затверджувачем СГ2. Після просочення сердечник майбутнього трансформатора струму поміщають в піч і при $t^{\circ} = 220^{\circ}$ запікають.

Після печі наш сердечник набуває вигляд як на (рис. 3.2).



а) вигляд торця трансформатора; б) вигляд збоку

Рисунок 3.2 – Магнітопровід трансформатора струму

Отриманий магнітопровід треба буде встановлювати на лінійний провід ЛЕП, тому він повинен бути розрізним. В роботі [12] наведені рекомендації по збереженню магнітних властивостей трансформаторного заліза сердечників. По-перше, для цього бажано забезпечити умову – можливо меншу різницю довжин крайніх магнітних ліній (зовнішньої та внутрішньої) $L_{c \max}$ і $L_{c \min}$:

$$L_{c \max} / L_{c \min} \leq 1,5$$

В нас наведене співвідношення, рівне відношенню радіусів (рис. 3.2) становить 2, що є неоптимальним. Однак при подальшому моделюванні буде можливо зробити рулон більш широким, але більш тонким, так, щоб площа поперечного перетину оставалась сталою і виконувалась наведена вище умова.

По-друге, при розрізанні сердечника на дві половини неминуче погіршення магнітних характеристик. Зазор в магнітному ланцюзі викликає падіння ефективної напруженості намагнічуючого поля H_p або, в кінцевому рахунку, намагнічуючого струму.

Різні впливи на сердечник при виготовленні, і особливо різка, яка приводить до замиканню стрічки по поверхні різку, викликають зріст втрат в сердечнику в k_p разів. Зріст втрат можливо зменшити, якщо провести спеціальну додаткову обробку торців (наприклад, травлення). Незначно допомагає і притирка поверхонь абразивами. Але все це ускладнює технологію і широкого розповсюдження не отримало.

В нашому випадку різка проводилась абразивним інструментом і додаткова притирка поверхонь не проводилась. Це забезпечує значення H_p приблизно 1,1.

По-третє, на значення намагнічуючого потоку впливає величина зазору між половинками сердечника. Зазвичай на практиці для трансформаторів невеликої потужності забезпечуються зазором в 15 – 30 мк.

Згідно [12] ефективну магнітну проникність можна розрахувати по нижче наведеній формулі:

$$\mu_{\text{э}} = \frac{1}{\frac{1}{\mu} + \frac{2\delta_c}{L_c}},$$

де μ – проникність матеріалу;

L_c – довжина середньої магнітної лінії.

Матеріал провідників.

З теплостійких дротів доступний дріт ПЭТВ – 2, який випускається серійно. Діаметр вибраного дроту 1,7 мм. Нам необхідно 50 витків, це приблизно 15,7 м. Робимо заказ на 20 м. Дріт відноситься до дротів з емаллю на поліефірних лаках, яка характеризується теплостійкістю і надійністю і відноситься до класу В.

Більш теплостійкі дрони марки ПЭВ ТЛ класу Е витримують нагрів до 180°C, мають хорошу еластичність і хорошу вологостійкість. Але вартість їх в три рази вище. На початковому етапі досліджень застосовувати такий матеріал недоцільно. В подальшому експеримент покаже. Існують дрони жаростійкі, наприклад, марки ПЭЖБ, які витримують температуру до 400°C, а марки ПОЖ- до 500°C. Напрям досліджень в даному напрямку зрозумілий.

Матеріали для шарової і міжшарової ізоляції, які застосовуються при виготовленні котушки трансформатора струму.

В якості ізоляції класу В найбільш доступна склотканина.

Матеріал для просочення обмотки трансформатора струму, який складається з двох половинок, доцільно застосувати лак МЛ – 92. Після просочення обидві напівкатушки відправляють на сушку в піч ТОМ12.

Для розділення кінців при намотці котушки використовують скляні нитки які забезпечують високу теплостійкість.

Для ізоляції вивідних кінців застосовують теплостійкі трубки – склолакопанчохи (по ВТУ МЭП ОЛА – 053 – 024 – 53). Електроміцність таких панчів більш ніж 1 кВ.

При збірці трансформатора струму з розрізним сердечником є одна особливість. Зусилля стяжки повинно бути, з одного боку, достатнім для отримання мінімального зазору в стику, а з іншої сторони, не перевищувати величину 10 – 15 кг на 1 см² поперечного перетину стержня, інакше починається погіршення магнітних якостей сердечника (зростання втрат). Для операції стяжки застосовують спеціальне тароване пристосування.

4 ВИПРОБУВАННЯ ТРАНСФОРМАТОРА СТРУМУ

Випробування виготовленого трансформатора струму проводились в електротехнічній лабораторії УТОГ Запорізького виробничого підприємства «НЕОН».

Це підприємство спеціалізується на виготовленні різних трансформаторів малої потужності, тому має спеціалізоване обладнання та випробувальні стенди.

На випробувальному стенді можна отримати струм в лінійному проводі, який є первинною обмоткою трансформатора струму, $I_{\max} = 300 \text{ A}$. Створити при цьому поле в 330 кВ – такої можливості вони не мають. Повноцінне випробування можна провести тільки в місті Вінниці, де і сьогодні працює центр випробування високовольтної апаратури. Керівництво Дніпроенерго після бесіди запропонувало направити туди наш виріб, організувавши відповідний супровід.

На (рис. 4.1) показаний трансформатор струму на лінійному проводі, який проходить випробування.



Рисунок 4.1 – Трансформатор струму на лінійному проводі

Дослід №1.

Першочергово в якості навантаження до вихідних затискачів трансформатора струму під'єднали автомобільну лампу (рис. 4.2). В таблиці 4.1 наведені дані вимірювань і відповідний графік (рис. 4.3).



Рисунок 4.2 – Під'єднана автомобільна лампа до трансформатора струму

Таблиця 4.1 – Дані вимірів при навантаженні автомобільна лампа

$I_1(A)$	33,6	73	73,5	74,0	74,5	75,0	75,5
$U_n (B)$	10	11	11,5	12,0	12,4	12,6	12,7

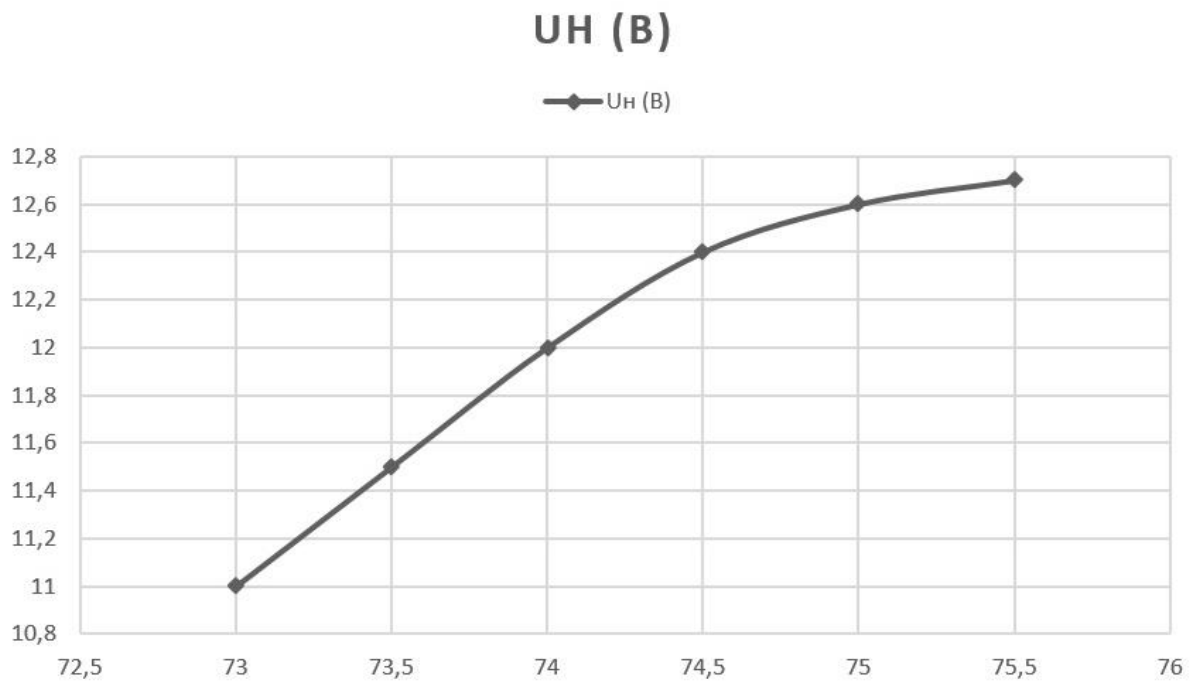


Рисунок 4.3 – Графік залежності U_H від величини струму в лінійному проводі при включенні в якості навантаження автомобільної лампи.

В наведеному діапазоні струмів і напруги лампа світилася яскраво, і подальше підвищення струму в первинній обмотці призвело б до перегорання. Результат показано на (рис. 4.4).

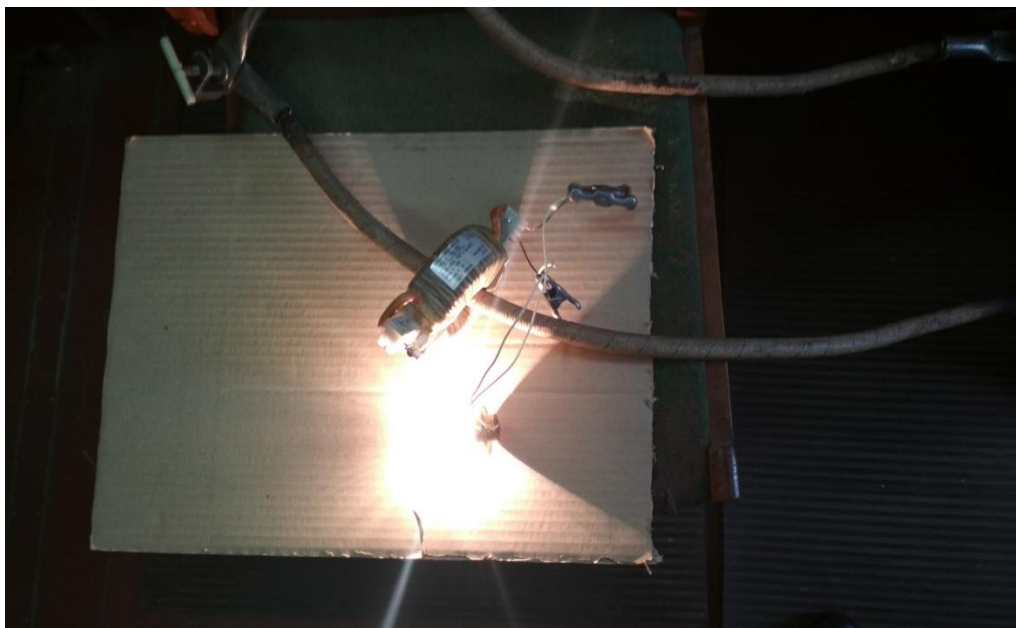


Рисунок 4.4 – Результат дослідів №1

Дослід №2.

В якості навантаження до вихідних затискачів трансформатора струму підключаємо лампу накаливання $U = 36 \text{ В}$, $P = 60 \text{ Вт}$ (рис. 4.5).



Рисунок 4.5 – Результат дослід №2

В таблиці 4.2 і на графіку (рис. 4.6) наведені результати випробувань.

Таблиця 4.2 – Дані вимірів при навантаженні лампою накаливання $U = 36 \text{ В}$, $P = 60 \text{ Вт}$

$I_1(\text{A})$	42	60	70	80	130	170	210	250	300
$U_n(\text{В})$	14	16	17	18	19,7	21,0	21,4	21,7	22,0

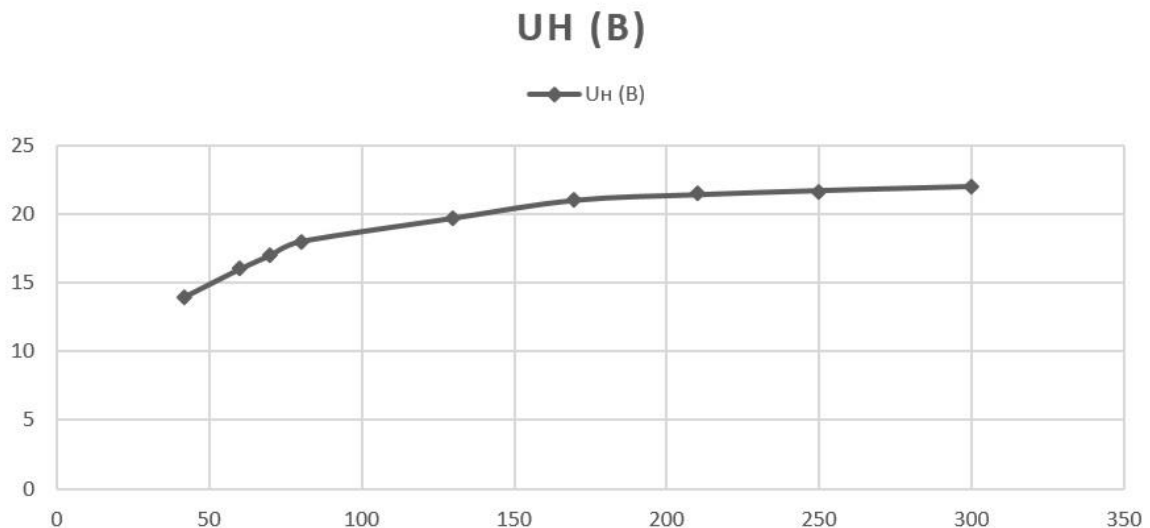


Рисунок 4.6 – Графік залежності U_n від величини струму в лінійному проводі при включенні в якості навантаження лампа накаливання $U = 36$ В, $P = 60$ Вт

Світилась лампа не дуже яскраво. Було можливо збільшувати струм в лінійному проводі, але обладнання стенда не дозволяло цього робити.

Дослід №3.

При підключенні лампи – фари ($U = 12$ В, $P = 70$ Вт) при струмі $I_1 = 300$ А, на вторинній обмотці трансформатора струму $U_n = 9$ В, струм в навантаженні $I_2 = 6$ А. Світло досить яскраве.

Звичайно, цікаво в якості навантаження спробувати ЛЕД – лампи та інші сучасні енергозберігаючі лампи.

При роботі з трансформатором струму слід пам'ятати, що на відміну від трансформатора напруги, у трансформатора струму режим холостого ходу є аварійним. Кінцевий магнітний потік в магнітопроводі трансформатора струму дорівнює різниці магнітних потоків, які створюються первинною та вторинною обмотками. В нормальних умовах роботи трансформатора він невеликий. Однак при розмиканні ланцюга вторинної обмотки в сердечнику буде існувати тільки магнітний потік первинної обмотки, який значно перевищує різницевий магнітний потік. Втрати в

сердечнику різко виростуть, трансформатор перегріється і вийде з ладу («пожежа сталі»). Крім того, на кінцях обірваного вторинного ланцюга з'явиться велика ЕРС, небезпечна для роботи оператора. Тому трансформатор струму не можна включати в лінію без під'єданого до нього вимірювального пристрою. У випадку необхідності відключення вимірювального пристрою від вторинної обмотки трансформатора струму, її обов'язково потрібно закортити.

5 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ

5.1 Планування розробки НДР

Для розрахунку витрат необхідно визначити етапи робіт та їх тривалість. У розробці беруть участь фахівець протягом 3 місяців та консультант протягом 0,15 місяця. Розробка ПЗ починається третього вересня та повинна бути закінчена до двадцять шостого листопада 2018 року.

Тривалість робіт визначають за формулою 5.1:

$$T_{\text{ц}} = \frac{Q}{R}, \quad (5.1)$$

де $T_{\text{ц}}$ – тривалість циклу, днів; Q – трудомісткість, людино-днів; R – кількість виконавців, людей.

У таблиці 5.1 наведена трудомісткість НДР.

Таблиця 5.1 – Характеристика робіт з розробки НДР

Найменування етапу	Трудомісткість		Виконавці	Тривалість, дні
	люд.-дні	% до підсумку		
1	2	3	4	5
Технічне завдання	3	4,76%	Фахівець	3
Етап 1. Підготовчий	4	6,35%	Фахівець Консультант	2
Етап 2. Виконання теоретичних розробок	5	7,94%	Фахівець	5
Етап 3. Проведення розрахункових досліджень	2	3,17%	Фахівець Консультант	1
Етап 4. Експеримент 1	2	3,17%	Фахівець	2
Етап 5. Експеримент 2	15	23,81%	Фахівець	15

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4	5
Етап 6 Експеримент 3	5	7,94%	Фахівець	5
Етап 7 Моделювання	15	23,81%	Фахівець	15
Етап 8 Узагальнення отриманих результатів	5	7,94%	Фахівець	5
Звіт	7	11,11%	Фахівець	7
Підсумок	63	100		60

За даними таблиці 5.1 складається зведений стрічковий графік розробки, який представляє собою таблицю, в першому стовпці якої розміщені в порядку збільшення строків початку виконання всі види роботи, а навпаки – календарний період їх виконання. Даний графік наведений на рисунку 5.1. Також слід ввести додаткові позначення, що наведені у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Додаткові позначення для рис. 5.1

	– робота фахівця;
	– робота консультанта;

Задача	Календарний період, дні												
	03.09 – 07.09	10.09 – 14.09	17.09 – 20.09	24.09 – 28.09	01.10 – 05.10	08.10 – 12.10	15.10 – 19.10	22.10 – 26.10	29.10 – 02.11	05.11 – 09.11	12.11 – 16.11	19.11 – 23.11	26.11 – 30.11
Аналіз предметної області													
Узгодження результатів аналізу													
Визначення вимог до програмного продукту													
Узгодження вимог													
Документування вимог													
Проектування структури програми													
Розробка схеми функціонування програми													
Створення програмного коду													
Тестування та налагодження програмного продукту													
Складання програмної документації													

Рисунок 5.1 – Календарний період виконання завдання

5.2 Розрахунок основної заробітної плати

Витрати за цією статтею складаються з планового фонду зарплати всіх категорій працівників, зайнятих у розробці програми. Розрахунок зарплати ведеться на підставі даних про трудомісткість, поданих у таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Розрахунок основної заробітної плати

Посада виконавця	Чисельність, чол.	Місячний оклад, грн	Кількість місяців роботи	Сума ЗП, грн
Фахівець	1	5000	3	15000
Консультант	1	8000	0,15	1200
Підсумок	2			16200

5.3 Розрахунок додаткової заробітної плати

Додаткову заробітну плату приймають рівною 10% від основної заробітної плати працівників і розраховують за формулою:

$$ЗП_{доd} = ЗП_{осн} \cdot 0,1. \quad (5.2)$$

У нашому випадку отримаємо:

$$ЗП_{доd} = 16200 \cdot 0,1 = 1620 \text{ грн.}$$

5.4 Єдиний соціальний внесок

Єдиний соціальний внесок становить 22% і береться від основної та додаткової заробітної плати.

$$BT_{соц} = (ЗП_{осн} + ЗП_{доd}) \cdot 0,22. \quad (5.4)$$

Далі отримаємо:

$$BT_{соц} = (16200 + 1620) \cdot 0,22 = 3920,40 \text{ грн.}$$

5.5 Визначення витрат на матеріали

Використовується 3 найменування матеріалів: диск DVD+RW – 15 грн; картридж – 100 грн, і папір – 100 грн (1 упаковка).

Витрати на матеріали вираховуються за наступною формулою:

$$BT_{mat} = \sum_{i=1}^n (C_i \cdot N_i \cdot (1 + K_{m.з.}) - C_{io} \cdot N_{io}), \quad (5.5)$$

де BT_{mat} – це витрати на матеріали, покупні напівфабрикати та комплектуючі вироби, грн.;

$K_{m.з.}$ – коефіцієнт, що враховує транспортно-заготівельні витрати; C_i – ціна i -го найменування матеріалу, напівфабрикату і комплектуючого, грн;

N_i – потреба в i -му матеріалі, напівфабрикати і комплектуючому;

C_{io} – ціна зворотних відходів i -го найменування матеріалу, грн;

N_{io} – кількість зворотних відходів i -го найменування; n – кількість найменувань матеріалів, напівфабрикатів і комплектуючих.

$$C_{io} = 0; N_{io} = 0; K_{m.з.} = 0,05.$$

$$BT_{mat} = (1 + 0,05) \cdot (15 + 100 + 100) = 225.75 \text{ грн}$$

Разом, витрати на матеріали становлять 225.75 грн.

5.6 Витрати на спеціальне обладнання

Балансова вартість ПК – 3000 грн.

Амортизаційні відрахування визначають за формулою:

$$A = \Phi_{\phi} \cdot \frac{H_a}{100}, \quad (5.6)$$

де Φ_{ϕ} – балансова вартість обчислювальної техніки, грн; H_a – норма амортизаційних відрахувань на повне відновлення обчислювальної техніки, %.

Норма амортизації для ПК становить 25%.

Балансова вартість обчислювальної техніки становить:

$$\Phi_0 = 3000 \text{ грн.}$$

Тоді отримаємо амортизаційні відрахування:

$$A = 3000 \cdot 0,25 = 750 \text{ грн.}$$

Статтю «Експлуатація обладнання» розраховують підсумовуванням витрат на електроенергію та допоміжні матеріали.

$$C_e = N_n \cdot \Phi_{ef} \cdot K_{зч} \cdot K_{зн} \cdot C_{ел.е}, \quad (5.7)$$

де N_n – номінальна потужність ЕОМ, кВт;
 Φ_{ef} – річний ефективний фонд часу роботи ЕОМ, машино-год;
 $K_{зч}$ – середній коефіцієнт завантаження по часу;
 $K_{зн}$ – коефіцієнт завантаження по потужності;
 $C_{ел.е}$ – ціна одного кВт·год електроенергії, грн/(кВт·год).

Номінальна потужність робочої машини – 0,2 кВт. Річний ефективний фонд часу роботи ЕОМ становить 1800 годин. Середні коефіцієнти завантаження за часом і по потужності рівні відповідно 0,9 і 0,6. Ціна однієї кіловат-години електроенергії становить 2,11 грн.

Отримуємо ціну експлуатації обладнання:

$$C_e = 0,2 \cdot 1800 \cdot 0,9 \cdot 0,6 \cdot 2,11 = 410,18 \text{ грн.}$$

Зарплата обслуговуючого персоналу розраховується за формулою:

$$ЗП_{обсл} = \Phi ЗП_p \cdot (1 + K_{відр}) \cdot \frac{t_{обсл}}{\Phi_{эф.обсл}}, \quad (5.8)$$

де $\Phi ЗП_p$ – річний фонд заробітної плати (основної та додаткової) обслуговуючих робітників, грн;

$K_{відр}$ – коефіцієнт, що враховує відрахування на соціальне страхування й в інші фонди;

$t_{обсл}$ – час протягом року, необхідне на технічне обслуговування ЕОМ, год/рік;

$\Phi_{эф.обсл}$ – річний ефективний фонд часу обслуговуючого персоналу, год/рік.

Місячна заробітна плата обслуговуючого персоналу становить 3723 грн., а річний фонд заробітної плати відповідно дорівнює 44676 грн. Річний ефективний фонд робочого часу обслуговуючого ПК працівника дорівнює 1750 год/рік. На обслуговування одного ПК витрачається по 1 годині на місяць, що в рік становить 12 годин.

Отримуємо:

$$ЗП_{обсл} = 44676 \cdot (1 + 0,22) \cdot 12 / 1750 = 373,75 \text{ грн.}$$

Стаття «Поточний ремонт обладнання» приймається рівною 3% від балансової вартості обладнання і становить 90 грн.

Стаття «Інші витрати» приймається рівною 5% від суми всіх попередніх статей витрат на утримання і експлуатацію обладнання. Сума всіх попередніх статей дорівнює 1623,93 грн., 5% від суми становлять 81.20 грн.

Розраховані статті витрат на утримання та експлуатацію обладнання внесено до таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Кошторис витрат на утримання та експлуатацію обладнання

<i>Найменування статей витрат</i>	<i>Сума, грн.</i>
Амортизація обладнання	750
Експлуатація обладнання (крім витрат на поточний ремонт)	410,18
Заробітна плата основна та додаткова обслуговуючих робітників з відрахуваннями на соціальні заходи	373,75
Поточний ремонт обладнання	90
Інші витрати	81,20
Разом	1705,13

Витрати на оплату машинного часу ЕОМ для написання і налагодження даної програми визначаються за формулою:

$$C_{mo} = B_{екс} \cdot t_{mo}, \quad (5.9)$$

де C_{mo} – витрати на оплату машинного часу, грн; $B_{екс}$ – експлуатаційні витрати на одну годину машинного часу цієї цифрової ЕОМ, грн/машино-год; t_{mo} – машинний час цифровий ЕОМ для написання і налагодження даного програмного продукту, машино-год.

Експлуатаційні витрати на одну годину машинного часу використовуваної ЕОМ розраховують діленням суми витрат за кошторисом «Витрати на утримання та експлуатацію устаткування (ЕОМ)» (табл. 5.4) на річний ефективний фонд часу роботи ЕОМ. Річний ефективний фонд часу роботи ЕОМ дорівнює 1800 годин. В результаті експлуатаційні витрати на одну годину машинного часу рівні:

$$B_{екс} = 1705,13 / 1800 = 0,95 \text{ грн} / \text{машино} - \text{год}.$$

ЕОМ експлуатується 60 днів в одну зміну, що становить в сумі 480 годин. Таким чином, витрати на оплату машинного часу складуть

$$C_{mo} = 0,95 \cdot 480 = 456 \text{ грн.}$$

5.7 Розрахунок накладних витрат

До накладних витрат відносяться витрати на загальне управління і загальногосподарські потреби (заробітна плата апарату управління, канцелярські витрати і т. д.), утримання та експлуатацію будівель.

Накладні витрати включаються у вартість розробки непрямым шляхом – у відсотках до основної заробітної плати розробників. В даному випадку накладні витрати складають 50% до основної заробітної плати розробників, що становить 8100 грн.

Результати визначення витрат на розробку у вигляді калькуляції кошторисної вартості робіт з НДР наведені в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Калькуляція кошторисної вартості робіт з НДР

Найменування статей витрат	Сума, грн.	Питома вага до підсумку, %
Основна заробітна плата	16200	53,08
Додаткова заробітна плата	1620	5,31
ЕСВ	3920,40	12,84
Матеріали та комплектуючі	225,75	0,73
Витрати на спец. обладнання	456	1,49
Накладні витрати	8100	26,54
Разом	30522,15	100
Разом з ПДВ	36626,58	

5.8 Розрахунок економічної ефективності НДР

Ефективність прикладних НДР визначається, як зіставлення річного економічного ефекту від застосування результатів розрахункових досліджень в умовах виробництва та використаних капіталовкладень для здійснення досліджень та втілення їх у виробництво.

$$E_{\text{фак}} = \frac{\text{Економоефект}}{\text{Капіталовкладення}}. \quad (5.10)$$

Підставляючи фактичну економічну ефективність з нормативною ($E_n=0,10\dots0,15$), робиться висновок про доцільність досліджень. Якщо $E_{\text{фак}} >$ або $=E_n$ то дослідження визнаються економічно ефективними. У зворотному випадку дослідження не слід виконувати, тому що економічний зиск від таких досліджень малий. Економічну ефективність досліджень можливо оцінити по строку окупності витрат на їхнє проведення та втілення.

$$T_{\text{ок}}^{\text{фак}} = \frac{\text{Капіталовкладення}}{\text{Економоефект}}. \quad (5.11)$$

Фактичний строк окупності капіталовкладень зіставляється з нормативним строком окупності капіталовкладень, прийнятий для промисловості (приблизно 6 років), і на основі порівняння робиться висновок про доцільність досліджень.

Для теоретичних досліджень у більшості випадків важко чи навіть неможливо розрахувати економічний ефект, тому доцільно визначити їхню техніко-економічну ефективність з урахуванням наступних показників:

- важливість дослідження;
- складності розробки;
- результативності й можливості використання.

Важливість теоретичного дослідження оцінюють по його призначенню:

- рішення проблемних питань;
- задоволення вимог спеціальної техніки; пошук принципово нових конструктивних і технологічних рішень тощо.

Складність виконання роботи визначають порівнянням отриманих результатів даного дослідження з результатами відомих аналогічних досліджень з обліком грошових і трудових витрат на їхнє проведення.

Результативність НДР можна визначити по повноті рішень поставленого завдання: отриманий результат відповідає плановому, задовільний (часткове рішення) чи негативний.

Аналіз залежності між цими показниками й витратами на їхнє досягнення дає можливість кількісної оцінки техніко-економічної ефективності теоретичних НДР по формулі:

$$K_{\text{НДР}} = \frac{J^n \cdot R \cdot T}{V_{\text{НДР}} \cdot t_{\text{НДР}}}, \quad (5.12)$$

де $K_{\text{НДР}}$ – рівень ефективності дослідження (коефіцієнт техніко-економічної ефективності НДР);

$J = 2$ – важливість роботи;

$R = 2$ – результативність роботи;;

$T = 1,5$ – технічна складність виконання НДР;

$V_{\text{НДР}} = 36,626$ тис.грн – витрати на проведення НДР;

$t_{\text{НДР}} = 60$ днів – час проведення НДР;

$n = 2$ – показник використання результатів НДР.

При значенні $K_{\text{НДР}} \geq 1$ дослідницька робота вважається ефективною.

Отже, розрахуємо $K_{\text{НДР}}$:

$$K_{\text{ндр}} = (2^2 \times 2 \times 1,5) : (36,626 \times 0,24) = 1,37$$

Після розрахунку (5.12) отримаємо рівень ефективності дослідження $K_{\text{ндр}} = 1,37$. Це більше 1, тому робимо висновок, що дана дослідницька робота є ефективною.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Аналіз потенційних небезпек

З розвитком науки та техніки всі сфери виробництва, змінюють предмети праці, технологію, якість, методи обробки та зберігання інформації. Також з розвитком йде удосконалення безпечності та універсальності місця праці. Але на сьогоднішній день у багатьох сферах виробництва місце праці працівника залишається небезпечним та шкідливим для його здоров'я.

При роботі, в офісному та серверному приміщенні людину оточують: обчислювальні пристрої, системи зв'язку, генератори струму та інші електричні прибори, що створюють електромагнітне випромінювання. На сьогодні вплив на організм людини електромагнітного випромінювання ще не зовсім вивчений.

Методологічною основою охорони праці є системний підхід до вивчення організації праці з точки зору її безпеки, функціонування системи взаємодії людини з середовищем, аналізу фізичних, хімічних, біологічних, психологічних та соціальних факторів безпеки виробничого процесу та особливостей впливу їх на організм людини.

Додержання правил техніки безпеки і виробничої санітарії залежить не тільки від виконання власником або уповноваженим ним органом своїх обов'язків, а й від того, наскільки кожний працівник знає і виконує їх під час роботи.

Приміщення, в якому виконується пректування, вимірювання, тестування та виготовлення приладів можна охарактеризувати як лабораторію. В приміщенні працює невелика команда інженерів, електромеханіків, лаборантів, що складається з 6 чоловік. Розміри приміщення $14 \times 4 \times 3.5 \text{ м}$.

Площа приміщення становить $14 \times 4 = 56 \text{ м}^2$, об'єм – $14 \times 4 \times 3.5 = 196 \text{ м}^3$.

За природою виникнення шкідливі та небезпечні виробничі фактори поділяються на такі групи:

- фізичні (підвищена і знижена температура повітря, надмірна загазованість та запиленість повітря та ін.);
- біологічні (підвищений вміст у повітрі мікроорганізмів та ін.), хімічні (вміст у робочій зоні шкідливих речовин та ін.);
- психофізіологічні (нервово-емоційні перевантаження, розумове напруження та ін.).

Також потенційна небезпеки може бути пов'язана з порушеннями правил пожежної безпеки, наприклад: проблеми в організації заходів з пожежної безпеки, що можуть призвести до швидкого розповсюдження пожеги. Проблеми в організації персоналу, можуть проявити себе і до інших проблем при прояві наслідків в надзвичайних ситуаціях.

У даному розділі проаналізовано наступні питання:

- електробезпека та пожежна безпека;
- склад повітря робочої зони та мікроклімат;
- шум та виробничі випромінювання;
- безпека щодо організації робочих місць;
- безпечність технологічного обладнання та процесу;
- виробниче освітлення.

6.2 Заходи забезпечення техніки безпеки

Електрика є головним небезпечним фактором для здоров'я люди при роботі лабораторії.

Питання правильного електроживлення при об'єднанні комп'ютерів в локальні мережі мають важливе значення як для забезпечення електробезпеки користувачів, так і для безаварійної і безперебійної роботи обладнання.

Обладнання, що використовується в приміщенні лабораторії є споживачем електроенергії, що живиться від змінного струму 220 В, частотою струму 50 Гц від мережі з заземленою нейтраллю, та відноситься до електроустановок до 1000В закритого виконання.

Високовольтні випробувальні стенди, осцилографи, сушильні печі мають власні блоки живлення, Для перетворення змінного струму мережі у постійний комп'ютери використовують блоки живлення (5 В, 12 В), потужністю 350 – 1000 Вт. Так як усі прилади при підключенні до електричної мережі яка заземляється, використовують систему TN, тому обчислювальні пристрої у приміщенні відносяться до категорії I захисту від ураження електричним струмом.

Щоб зменшити ймовірність ураження людини електричним струмом живлення всіх електричних пристроїв здійснюється спеціальним кабелем, корпуси всіх електричних пристроїв виготовляються з неструмопровідних матеріалів. У приміщенні для забезпечення безпечності всі кабелі сховані в спеціальні коробки, штепсельні розетки розташовані на висоті одного та 0,2 метри від підлоги, вимикачі на стінах знаходяться на висоті 1,2 метра від підлоги, використовується електропроводка трифазна, чотирьохжильна, з подвійною ізоляцією, електрична мережа вмикається і вимикається за допомогою пускової апаратури (рубильником). Відповідно до міжнародного стандарту СЕ зазначені міри електробезпеки відповідають вимогам, пропонованим до побутових приладів [16].

Відповідно до ГОСТу 12.1.019– 90 ССБТ Електробезпека. Загальні вимоги [17] і ГОСТу 12.1.030– 91 ССБТ Електробезпека. Захисне заземлення, занулення [18] в приміщенні розроблено заходи щодо забезпечення електробезпеки.

Також для запобігання ураження людини струмом в приміщенні використовується:

- захисне заземлення;

- окремими розетками по 220 В для кожного робочого місця з обчислювальним пристроєм;
- триполусної вилки та розетки, для підключення обчислювальних пристроїв до струму, у яких відповідний полюс з'єднаний з шиною заземлення;
- мережевий фільтр до якого підключений кожен блок живлення обчислювального пристрою або периферійного пристрою;
- конденсатори для шунтування високочастотних перешкод живлячої мережі на землю через дріт захисного заземлення в мереживом фільтрі та при з'єднанні двох пристроїв (комп'ютера та принтера) інтерфейсним кабелем;
- окремий провід на загальний контор при з'єднанні пристроїв для ліквідування проблеми різниці потенціалів;
- ізолююча – лінолеум підлога [19].

Опір захисного заземлення в випробувальній лабораторії становить 3 Ом (за стандартом – не більше 4 Ом) згідно з "Правилами улаштування електроустановок" (ПУЕ) [20]. Також приміщенні встановлено автоматичні вимикачі, пристрій заземлення контуру згідно з ГОСТ 12.2.007.0–75 «Вироби електротехнічні. Загальні вимоги безпеки» [21].

При виконанні робіт по ремонту і обслуговуванню високовольної апаратури, вимірювальних приладів, випробувальних стендів обслуговуючий персонал зобов'язаний керуватися “Правилами техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачами”. До роботи не допускаються особи, які не пройшли навчання з техніки безпеки

Втома та синдром тунельний синдром також є розповсюдженим небезпечним фактором для здоров'я люди при роботі в випробовуваній лабораторії.

Для профілактики втоми робітників застосовуються специфічні методи, до яких можна віднести засоби відновлення функціонального стану

зорового та опорно-рухового апарату, зменшення гіподинамії, підсилення мозкового кровообігу, оптимізацію розумової діяльності [16].

Також для профілактики втоми та запобігання статистичного навантаження робітників встановлені такі правила організації робочого місця:

- оптимальна висота розміщення вимірювальних приладів від підлоги – 65-75 см;
- можливість регулювання висоти і нахилу клавіатури (відстань від поверхні стола до середини клавіатури – не більше 30 мм, кут підйому клавіатури – від 2° до 15°);
- наявність у клавіатури підставки для рук та килимка для миші з захистом від тунельного синдрому;
- наявність стільця або крісла з підлокітниками;
- рекомендовано використовувати перерви в роботі 10 хв. через кожні дві години згідно ДНАОП 0.00-1.31-99 «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин» [22].

6.3 Заходи з забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці

Відповідно до вимог ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні стандартні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» [23], «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» МЮУ 06.05.2014 р. за № 472/25249, і НПАОП 0.00-1.28-10 «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин» розроблені заходи щодо забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці для обчислювального центру обладнаного обчислювальними пристроями з ВДТ [16].

Гігієнічна класифікація праці спрямована на гігієнічну оцінку умов та характеру праці на робочих місцях працівників та застосовуються на

підприємствах, в установах, організаціях усіх форм власності у випадках, передбачених законодавством.

Так як роботи інженерів, лаборантів, монтажників в випробувальній лабораторії виконуються сидячи і не потребують фізичного напруження, то вони відносять до типу операторської роботи, даний тип роботи відносить до категорії 1а. Робоче місце інженера є постійним, робота проводиться у холодний та теплий періоди року тому рекомендується підтримувати оптимальні показники мікроклімату [19].

Для забезпечення оптимального рівня параметрів повітряного виробничого середовища використовуємо ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».

Встановлені наступні оптимальні значення параметрів мікроклімату:

- у холодний період року: температура 22-24°C; відносна вологість: 40 – 60%; швидкість переміщення повітря: 0,1 м/с;
- у теплий період року: температура 23-25°C; відносна вологість: 40- 60%; швидкість переміщення повітря: 0,1 – 0,2 м/с.

Оптимальні рівні позитивних (n+) і негативних (n-) іонів у повітрі приміщення з високовольтною та вимірювальною апаратурою нормовані згідно ГН 2152-80 «Санітарно-гігієнічні норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих та громадських приміщень» і становлять: $n+ = 1500-30000$ (шт. на 1см^3); $n- = 3000-5000$ (шт. на 1см^3). Підтримка оптимального рівня легких позитивних і негативних аероіонів у повітрі на робочих місцях забезпечено за допомогою біполярних коронних аероіонізаторів. В випробувальній лабораторії передбачено: устрій системи водяного опалення приміщення – для забезпечення необхідної температури повітря в холодний період року [16].

Дотримання вимог цих документів досягається оснащенням приміщень і транспортних засобів пристроями кондиціювання і вентиляції, дезодорації повітря, опалювання згідно вимог ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціювання».

Зимою значення відносної вологості повітря часто можуть нижчими за встановлені норми і становити в середньому 30–40%, що приводить до надмірного висихання слизових оболонок очей, носа, горла та до нагромадження зарядів статичної електрики, що утворюються в процесі роботи високовольтного випробувального стенда. В приміщенні передбачена наявність 4 зволожувачів повітря, які допомагають підняти вологість до 60% для усунення таких проблем. Кількість зволожувачів зумовлена тим, що один такий апарат розраховано на приміщення площею до 15 м².

Літом для підтримки нормальної температури повітря в приміщенні використовуються три кондиціонери типу «спліт-система». Два кондиціонери розташовані у протилежних частинах та один по центру обчислювального центру дозволяють підтримувати температуру повітря не вище 24°C. Кількість кондиціонерів зумовлена тим, що один такий апарат розраховано на кондиціювання приміщення площею до 18 м². [24]

Під впливом шуму знижується концентрація уваги, порушуються фізіологічні функції, з'являється стомленість у зв'язку з підвищеними енергетичними витратами і нервово-психічною напругою, погіршується мовна комутація. Рівні звуку, рівні звукового тиску в октавних смугах частот, та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях у приміщення нормуються згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» та ДСН 3.3.6-039-99. Оптимальний рів шуму в приміщення забезпечується за допомогою:

- використання блоків живлення випробувальної апаратури з вентиляторами на гумових підвісках;
- використання більш сучасного обладнання;
- розташування високовольтних випробувальних стендів та різноманітного устаткування колективного користування на значній відстані від більшості робочих місць працівників;

Інтенсивне електромагнітне випромінювання постійно впливає на інженера в період роботи за випробувальною технікою, яке може стати причиною професійних захворювань. Вимірювальні та випробувальні пристрої потрапляють за визначенням в 5-й діапазон (низькі частоти). Для зниження потужності експозиційної дози рентгенівського випромінювання для роботи використовуються екрани з рідкокристалічними дисплеями [16].

Освітлення у приміщеннях з вимірювальною та випробувальною технікою суміщене, при якому недостатнє за нормами природне освітлення доповнене штучним. Природне освітлення бічне, одностороннє. Вимоги до освітлення регламентовані ДБН В.2.5-28-2006 «Природне та штучне освітлення» [25].

Згідно з вимогами регламентованими в ДБН В.2.5-28-2006 в обчислювальному центрі коефіцієнт природної освітленості (КПО) має становити в середньому 1,1% (1,2% – у сонячний день та 1% – у хмарну погоду). Вікна в приміщенні обладнанні сонцезахисними металевими жалюзі з системою регульована для забезпечення відносної постійності природного освітлення. коефіцієнт відбиття жалюзі становить 0,7. Робочі місця робітників розташовано так, щоб у поле зору робітника не потрапляли світлі поверхні світильників та вікон.

Люмінесцентні лампи ЛБ (білого світла) і ЛТБ (тепло-білого світла) потужністю 20, 40 або 80 Вт є найбільш прийнятними для приміщень, де працюють з вимірювальною та випробувальною технікою.

Для освітлення приміщення розміром освітленістю $E_p = 400 \text{ лк}$, коефіцієнтом відбиття стелі 70% і стін 50% розрахуємо кількість ламп необхідних для освітлення використовуючи люмінесцентні лампи типу ЛБ в світильниках ЛПО.

Далі наведено формулу (5.1), для знаходження індекс приміщення:

$$i = \frac{A \times B}{h \times (A + B)} = \frac{14 \times 4}{3,5 \times (14 + 4)} = 0,9; \quad (5.1)$$

де A – довжина приміщення;
 B – ширина приміщення;
 H – висота приміщення.

Коефіцієнт нерівномірності освітлення рівень 1.1, за формулою (5.1):

$$z = \frac{B_{cp}}{B_{min}} = 1.1; \quad (5.2)$$

Для освітлення приміщення беремо наступні характеристики:

в якості коефіцієнту запасу приймаємо $k = 1,6$;

коефіцієнт використання світлового потоку рівень 35% при індексі $i = 0.9$;

В два ряди ($N_p = 2$) розміщуємо світильники.

Використовуючи вище зазначені параметри розраховуємо необхідний світловий потік ламп в кожному ряду за формулою (5.3):

$$\Phi_p = \frac{E_n * S * z * k}{N_p * \eta} = \frac{400 \times 56 \times 1,1 \times 1,6}{2 * 0,35} = 56320 \text{ лм}. \quad (5.3)$$

Далі розраховуємо кількість необхідних світильників за формулою (5.4), якщо в світильники встановити по дві лампи ЛБ ($n = 2$) потужністю 80 Вт і світловим потоком $\Phi_l = 5400 \text{ лм}$:

$$N_p = \frac{\Phi_p}{n * \Phi_l} = \frac{56320}{2 * 5400} = 5. \quad (5.4)$$

Для захисту від прямих сонячних променів, які створюють прямі та відбиті відблиски на поверхні екранів і клавіатури, використовуються сонцезахисні пристрої, на вікнах встановлені жалюзі або штори.

Організація та обладнання робочого місця в робочу приміщені має відповідати ергономічним вимогам з урахуванням особливостей трудовою дальності.

В приміщені випробувальної лабораторії одночасно працюють 6 чоловік, кожній робітник має свій:

- осцилограф, вимірювальні пристрої;
- стіл;
- два ортопедичні стільці;
- тумбу.

Також кожний робітник може скористатися шафою для одягу, шафою з приладами, двома тумбами призначеними для використання всіма робітниками.

Робоче місце працівника має площу 6 м^2 , а об'єм – по 20 м^3 .

Приміщення має природне та штучне освітлення. Робочі місця розташовано так, щоб природне світло падало збоку. Робочі місця та взаємне розташування всіх його елементів відповідати антропометричним, фізичним і психологічним вимогам.

Також всі робочі місця організовані за такими правилами організації робочого місця:

- всім робітникам надані ергономічні та зручні вимірювальні прилади та інструменти;
- висота столу забезпечує розташування клавіатури приладу від підлоги – 65-75 см, що позитивно впливає на працездатність робітника;
- кожна клавіатура має можливість міняти висоти і нахилу клавіатури;
- кожна клавіатура має підставку для рук;
- всі килимки для миші мають захист від тунельного синдрому (спеціальний виступ забезпечує правильне положення кисті);
- екрани вимірювальних приладів знаходяться на оптимальній відстані 700 мм від працівника;

- кожний стілець має підлокітник.

Загальний план випробувальної лабораторії та робочих місць наведено на (рис 5.1).

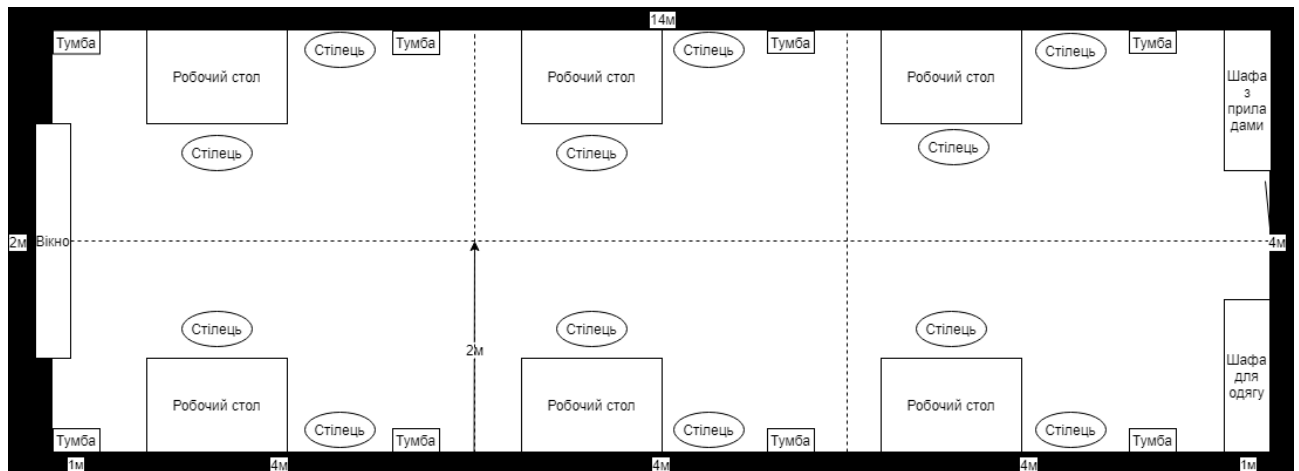


Рисунок 5.1 – Загальна схема випробувальної лабораторії

6.4 Заходи з пожежної безпеки

Великою небезпекою для вимірювальної та випробувальної лабораторії є пожежа. Вимірювальна лабораторія наповнена різноманітними електричними приладами, а пожежа основний фактор для їх знищення, що може призвести до великих матеріальних втрат. Так як в приміщенні вимірювальної лабораторії присутні всі три основні чинники, необхідні для виникнення пожежі: горючі речовини, окислення і джерела запалювання, то налагодження заходів пожежної безпека в такому приміщенні є першочергово важливим.

Ймовірними причинами виникнення пожежу можуть бути несправність електрообладнання (кабелів, розеток), короткі замикання внаслідок виходу з ладу чи експлуатації несправного електроустаткування, порушення правил протипожежної безпеки тощо.

Для забезпечення пожежної безпеки проводився пожежна профілактика, яка включає в себе комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпеки людей, на запобігання пожежі, обмеження її поширення, а також на створення умов для успішного гасіння пожежі.

Експлуатація ліній електромережі практично повністю унеможлиблює виникнення електричного джерела загоряння в наслідок короткого замикання та перевантаження проводів. Застосовуються дроти з важкогорючою і негорючою ізоляцією.

Для відводу теплоти від випробувальних стендів постійно діє потужна система кондиціонування. Тому кисень, як окислювач процесів горіння, є в будь-якій точці обчислювального центру.

Вимірювальна та випробувальна лабораторії відноситься до категорії «П-Па» згідно ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» [26], згідно ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» [27], а клас можливої пожежі визначається, як «А».

Для ліквідації пожежі у початковій стадії її розвитку силами персоналу об'єктів застосовуються первинні засоби пожежогасіння. До них відносяться: вогнегасники, пожежний інвентар (покривала з негорючого теплоізоляційного полотна, ящики з піском, пожежні відра, совкові лопати, ломи, сокири тощо), системи автоматичного пожежогасіння.

Так як приміщення (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) що обладнане ПК з ВДТ має площу 56 м², тому відповідно до вимог п. 3.8 розділу «Типові норми належності вогнегасників» ДСТУ 4297:2004 «Пожежна техніка. Технічне обслуговування вогнегасників. Загальні технічні вимоги» [28] для гасіння електроустановок, що знаходяться під напругою, передбачені вуглекислотні вогнегасники типу ВВК-3,5 у кількості 3 штук (з розрахунку один вогнегасник с величиною заряду

вогнегасної речовини 3 кг. і більше, на 20 м² площі приміщення). Відстань між вогнегасниками та місцями можливих загорянь не перевищує 15 м.

Під час прийняття на роботу і в процесі праці усі працівники вимірювальної та випробувальної лабораторії повинні проходити протипожежний інструктаж, перевірку знань з питань пожежної безпеки. Евакуаційні виходи і проходи утримуються постійно вільними та легкодоступними.

Відповідальний за протипожежний стан приміщень випробувальної лабораторії повинен періодично (не рідше одного разу на місяць) перевіряти працездатність пристрою, який забезпечує автоматичне вимкнення системи вентиляції у разі пожежі, а також вогнедимозатримувальних пристроїв. Під час ремонту слід не допускати руйнування або порушення цілісності негорючих діафрагм у фальш-підлоговому просторі.

Забороняється працівникам проводити ремонт вузлів вимірювальної та випробувальної техніки. Ремонті роботи необхідно проводити в окремому, спеціалізованому для ремонту приміщенні.

Для своєчасного попередження пожеж та підвищення оперативності реагування при їх виникненні у приміщенні використовується такий комплекс заходів та правил:

- обов'язковий інструктаж персоналу з питань охорони праці;
- зокрема, правила пожежної безпеки у приміщеннях з вимірювальною та випробувальною технікою;
- наявність системи автоматичної пожежної сигналізації з димовими пожежними оповіщувачами;
- наявність шляхів евакуації при виникненні пожежі;
- заборона залишати без нагляду електричну апаратуру, що використовується;
- заборона використання відкритого вогню у приміщенні;

- заборона зберігати постійно в випробувальній лабораторії носії інформації, запасні блоки та деталі в кількості більшій, ніж необхідно для поточного використання;
- заборона користуватися груповими розетками на горючій панелі;
- заборона використовувати килими та доріжки із синтетичних матеріалів;
- заборона ставити на вікна глухі ґрати (в разі потреби встановлюються ґрати, що розкриваються зсередини);
- заборона застосовувати електронагрівальні побутові прилади;
- розміщення схеми евакуації людей при пожежі і ознайомлення з нею персоналу.

При виявленні ознак пожежі працівник повинен:

- негайно повідомити про це службу порятунку за номером телефону – 101 (112);
- вжити заходів щодо евакуації людей та матеріальних цінностей;
- вжити заходів до вжити заходів гасіння пожежі з використанням наявних вогнегасників та інших засобів пожежогасіння.
- Керівник підрозділу при виникненні пожежі зобов'язаний:
 - упевнитися що викликані рятувальні служби;
 - відключити подачу електроенергії в приміщення;
 - проінформувати про пожежу керівництво;
 - перевірити чи людей оповіщено про пожежу;
 - організувати евакуацію працівників (за умови загрози життю людей);
 - забезпечити дотримання техніки безпеки працівниками, які беруть участь у гасінні пожежі;
 - організувати зустріч підрозділів Державної пожежної охорони;
 - надати допомогу підрозділам Державної пожежної охорони під час локалізації та ліквідації пожежі;

- забезпечити безперешкодний доступ до місця виникнення пожежі пожежно-рятувальним підрозділам [1].

6.5 Заходи забезпечення безпеки у надзвичайних ситуаціях

Порядок дій сил цивільного захисту у вогнищі хімічного ураження.

Вогнища хімічного ураження (ВХУ) виникають у результаті застосування супротивником ОР, а також при руйнуванні хімічно небезпечних об'єктів, які виготовляють чи використовують у технології СДОР (такі вогнища прийнято називати вторинними). При надходженні перших даних про виникнення ВХУ начальники і штаби ЦО оповіщають населення в зоні зараження і у районах, яким загрожує небезпека від хмари зараженого повітря, яка поширюється, ставлять завдання хімічній і медичній розвідкам, віддають розпорядження про проведення заходів щодо захисту населення, приймають рішення й організовують проведення РІНР у вогнищах. До РІНР залучаються окремі батальйони спеціального захисту, підрозділи хімічного захисту військових частин ЦО, зведені загони (команди) протирадіаційного і протихімічного захисту, медичні формування, команди знезаражування й інші спеціально підготовлені й оснащені підрозділи і формування. особовий склад сил ЦО, що вводиться у ВХУ, забезпечується ЗІЗ органів дихання і шкіри, антидотами, індивідуальними протихімічними пакетами.

Першими у ВХУ для надання допомоги ураженим вводяться медичні підрозділи військових частин і формування медичної служби ЦО, а також підрозділи хімічного захисту та формування протирадіаційного і протихімічного захисту. Основні завдання цих сил – надання негайної медичної допомоги ураженим, їх евакуація на незаражену місцевість і проведення дегазації території, споруд і техніки. У першу чергу евакуюють людей, які не мають засобів захисту органів дихання, потім тих, хто має протигazi і вже одержали першу медичну допомогу; в останню чергу

евакуують людей, укритих в обладнаних фільтровентиляційними установками сховищах [29].

При проведенні рятувальних робіт у вторинному вогнищі ураження основні зусилля спрямовуються на локалізацію джерел отруйної речовини і запобігання її подальшого надходження на місцевість і в повітря.

Підрозділи хімічного захисту і формування протирадіаційного та протихімічного захисту в період проведення рятувальних робіт у ВХУ дегазують ділянки місцевості і доріг, будинки і споруди, проводять санітарну обробку особового складу військових частин, формувань і населення, знезаражують їх засоби захисту й одяг. Черговість проведення цих робіт визначається начальником ЦО, виходячи з конкретної обстановки. Для санітарної обробки населення, яке евакуюється з ВХУ, і дегазації транспортних засобів поблизу маршрутів евакуації на незараженій місцевості підрозділами хімічного захисту частин ЦО розгортаються пункти спеціальної обробки.

РІНР у ВХУ виконуються в протигазах і засобах захисту шкіри. Тривалість роботи змін у ВХУ залежить, головним чином, від припустимого часу безупинного перебування в ЗІЗ. Щоб уникнути перегріву і виходу його з ладу через теплові удари застосовують спеціальні комбінезони, що екранують, і поливання захисних костюмів водою.

Роботи проводяться з максимальною інтенсивністю до повного їх завершення в найкоротший термін, із залученням необхідної кількості сил і засобів та з дотриманням заходів безпеки. Заміна формувань здійснюється за рахунок резервів і залучення додаткових спеціальних формувань. У залежності від хімічної обстановки у вогнищах РІНР можуть проводитися послідовно (спочатку в окремих, найбільш важливих місцях) або одночасне на всій території ВХУ. Вогнища вважаються ліквідованими, коли перебування людей без засобів захисту в них стає безпечним. На період проведення робіт вогнище ураження оточується, встановлюється комендантська служба й організовується охорона громадського порядку [29].

ВИСНОВКИ

В результаті теоретичного дослідження структури електромагнітного поля навколо одного з фазових проводів в системі проводів ЛЕП, а також властивостей сучасних електротехнічних матеріалів створена працездатна конструкція вторинного джерела струму, яка експериментально випробувана на стенді електротехнічної лабораторії підприємства «НЕОН». Температурні випробування можна провести тільки в Вінницькому центрі високовольної апаратури, також випробування можливі в подальшому.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Марфин Н. И. Охрана линий электропередачи/ Н. И. Марфин – М.: «Энергия», 1968. – 72 с.
2. Охрана ЛЭП от повреждения самолётами. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.1100kv.ru/oxrana-lep/avia/>
3. ООО НПП «ПВТ-СЕРВИС» [Электронный ресурс] – Режим доступа: www.pvt-service.com.ua
4. Электроснабжение световой сигнализации. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.multiwood.ru/fag/17174/>
5. Sources: Alta Devices, GaAs Solar Startup, Acquired by China's Hanergy [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.greentechmedia.com/articles/read/Sources-Alta-Devices-GaAs-Solar-Startup-Purchased-by-Chinas-Hanergy>.
6. Александров С.А. Защита высоковольтных опор ЛЭП./ С.А. Александров – Запорожье, 2017. – 153 с.
7. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров/ Г. Корн, Т. Корн. – М.: «Наука», 1967. – 720 с.
8. Нейман Л. Р. Теория нелинейных электрических и магнитных цепей. Часть IV. Теория электромагнитного поля: учебник [для студентов высших учебных заведений]/ Л. Р. Нейман, К. С. Демирчян. – Ленинград: «Энергия», 1967. – 408 с.
9. Бессонов Л. А. Теоретические основы электроники. Электромагнитное поле/ Л. А. Бессонов– М.: высш. шк., 1978. – 264 с.
10. Вольман В. И. Техническая электродинамика: учебник [для студентов высших учебных заведений]/ В. И. Вольман, Ю. В. Пименов. – М.: «Связь», 1971. – 487 с.
11. Трансформатори струму Т-0,66 [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.avikon.lviv.ua/transformatori_strumu_t-066/products

12. Бальян Р.Х. Трансформаторы для радиоэлектроники/ Р.Х. Бальян – М.: «Сов. Радио», 1971. – 720 с.
13. Соловьев Д.Б. Моделирование трансформатора тока с магнитным сердечником/ Соловьев Д.Б. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.v-itc.ru/electrotech/2012/01/pdf/2012-01-09.pdf>.
14. Соболев И. А. Маломощный источник питания от высоковольтной линии электропередач/ И. А. Соболев, В. О. Костенко – Запоріжжя, «Тиждень науки 2014» збірник тез доповідей щорічної науково-практичної конференції викладачів, науковців, молодих учених, ЗНТУ, 2014. – 293 с.
15. СТП 15-96. Пояснювальна записка до курсових і дипломних проектів. Вимоги та правила оформлення – Запоріжжя: ЗНТУ, 1996. – 29 с.
16. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці [Текст]: підручник / В. Ц. Жидецький. – 5-те вид., доп. – К. : Знання, 2014. – 373 с.
17. ГОСТ 12.1.019– 90 ССБТ Електробезпека. Загальні вимоги, – М. – 1990. – 28 с.
18. ГОСТ 12.1.030– 91 ССБТ Електробезпека. Захисне заземлення, занулення, – М. – 1991. – 32 с.
19. Березуцький В. В. Основи охорони праці [Текст]: підручник / В. В. Березуцький, Т.С. Бондаренко, Г.Г. Валенко та ін.; за ред. проф. В.В. Березуцького. – Х.:Факт, 2005. – 327 с.
20. Правила улаштування електроустановок [Текст]: Нормативне виробничо-практичне видання: вид. 5-те, перероблене й доповнене : затв. М-вом енергетики та вугільної промисловості України 20.06.14: введення в дію з 20.11.14. – Х. : Міненерговугілля України, 2014. – 793 с.
21. ГОСТ 12.2.007.0–75 «Вироби електротехнічні. Загальні вимоги безпеки», – М. – 2007. – 17 с.
22. ДНАОП 0.00-1.31-99 «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин», – Київ. – 2010. – 10 с.

23. ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні стандартні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин», – Київ. – 1997. – 28 с.
24. ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування», – Київ. – 2014. – 149 с.
25. ДБН В.2.5-28-2006 «Природне та штучне освітлення», – Київ. – 2006. – 96 с.
26. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою», – Київ. – 2016. – 34 с.
27. ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги», – Київ. – 2017. – 47 с.
28. ДСТУ 4297:2004 «Пожежна техніка. Технічне обслуговування вогнегасників. Загальні технічні вимоги», – Київ. – 2004. – 8 с.
29. Стеблюк М. І. Цивільна оборона та цивільний захист [Текст]: навч. посіб. для вузів / М. І. Стеблюк. – К. : Знання, 2013. – 487 с.