

О. В. Кобилянський, С. В. Дембіцька

**ОХОРОНА ПРАЦІ В ГАЛУЗІ
ТА ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ**



Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

О. В. Кобилянський, С. В. Дембіцька

**ОХОРОНА ПРАЦІ В ГАЛУЗІ
ТА ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ**

Лабораторний практикум

Вінниця
ВНТУ
2017

УДК 658.382.3
ББК 65.247я73
К55

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 6 від 29 січня 2015 р.)

Рецензенти:

В. Ф. Заболотний, доктор педагогічних наук, професор

П. Д. Лежнюк, доктор технічних наук, професор

М. С. Лемешев, кандидат технічних наук, доцент

Кобилянський, О. В.

К55 Охорона праці в галузі та цивільний захист : лабораторний практикум / О. В. Кобилянський, С. В. Дембіцька. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 130 с.

У лабораторному практикумі розглянуто питання з дисципліни «Охорона праці в галузі». Розглянуто вісім лабораторних робіт з курсу за розділами «Основи фізіології, гігієни праці та виробничої санітарії у галузі», «Пожежна безпека у галузі».

Подано необхідні теоретичні відомості, опис приладів та обладнання, які використовуються при дослідженні, задачі досліджень, а також методика проведення робіт. У додатках наведені нормативні вимоги для дослідження.

УДК 658.382.3

ББК 65.247я73

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ	5
1 ДОСЛІДЖЕННЯ ВИРОБНИЧИХ ВІБРАЦІЙ	
Лабораторна робота № 3.....	6
2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ СПАЛАХУ ГОРЮЧИХ РІДИН У ЗАКРИТОМУ ТИГЛІ. (ВИМОГИ ПОЖЕЖНОЇ ТА ВИБУХОБЕЗПЕКИ ДО ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ)	
Лабораторна робота № 4.....	20
3 ВИМІРЮВАННЯ ОПОРУ РОЗТІКАННЯ СТРУМУ ПРИСТРОЇВ ЗАЗЕМЛЕННЯ, ПИТОМОГО ОПОРУ ҐРУНТУ, ІЗОЛЯЦІЇ МЕРЕЖ ТА ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК	
Лабораторна робота № 8.....	40
4 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ МЕРЕЖ З ІЗОЛЬОВАНОЮ НЕЙТРАЛІЮ І ГЛУХОЗАЗЕМЛЕНОЮ НЕЙТРАЛІЮ НАПРУГОЮ ДО 1000 В	
Лабораторна робота № 9.....	57
5 ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ НА РОБОЧИХ МІСЦЯХ	
Лабораторна робота № 10.....	77
6 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ МЕРЕЖ З ГЛУХОЗАЗЕМЛЕНОЮ НЕЙТРАЛІЮ НАПРУГОЮ ДО 1000 В	
Лабораторна робота № 11	90
7 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ МЕРЕЖ З ІЗОЛЬОВАНОЮ НЕЙТРАЛІЮ НАПРУГОЮ ДО 1000 В	
Лабораторна робота № 12.....	104
8 ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ЗАБРУДНЕННЯ СЕРЕДОВИЩА	
Лабораторна робота № 14.....	116

ВСТУП

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Цілком безпечних та нешкідливих умов праці на виробництві не існує, а тому головною метою охорони праці є зведення до мінімуму ймовірності травматизму та захворювань з одночасним забезпеченням потрібних (нормативних) умов праці.

Виробнича санітарія – це система організаційних заходів і технічних засобів, яка запобігає або зменшує дію на працюючих підприємства шкідливих виробничих факторів. Виробнича санітарія є інженерною наукою, яка розробляє заходи захисту робітників від дії шкідливих виробничих факторів.

Пожежна безпека – це комплекс організаційних заходів і технічних засобів, спрямованих на усунення можливості виникнення пожежі, дії на людей небезпечних факторів пожежі та обмеження матеріальної шкоди від неї. Небезпечними факторами пожежі можуть бути: відкритий вогонь та іскри; підвищення температури повітря, предметів, конструкцій; токсичні продукти згорання; дим; знижена концентрація кисню в повітрі; обрушення та пошкодження будівель і споруд; вибух.

Виконавши лабораторну роботу, студент повинен вміти порівняти експериментальні виміри параметрів умов праці з нормативними і зробити висновок про можливість або неможливість праці в таких умовах, а також розробити заходи та засоби для доведення їх до нормативних параметрів.

У лабораторному практикумі розглянуті лабораторні роботи, які виконуються більшістю студентів ВНТУ в окремому приміщенні.

У додатках до лабораторних робіт наведені нормативи з виробничої санітарії та пожежної безпеки, які чинні (станом на 1 січня 2016 року).

ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Звіт до кожної лабораторної роботи може бути оформлений окремо на стандартних аркушах формату А4, де перша сторінка повинна бути титульною і мати такий вигляд:

<p>Міністерство освіти і науки України Вінницький національний технічний університет</p> <p>Кафедра БЖДПБ</p> <p>ЗВІТ до лабораторної роботи № з курсу «Охорона праці в галузі» <i>Назва лабораторної роботи</i></p> <p>Виконав: ст. гр. 2ТМ-12 ФМТ Бойко М.П. Дата: _____ Прийняв: _____</p> <p>Вінниця 201_</p>
--

На наступному аркуші вказується мета роботи та наводяться необхідні теоретичні відомості, формули й таблиці.

Звіти до лабораторних робіт можуть бути оформлені в одному зошиті, де перша сторінка повинна бути титульною, на якій пишуть:

<p>ЗВІТИ</p> <p>до лабораторних робіт з курсу «Охорона праці в галузі»</p> <p>Виконав Бойко М. П. гр. 2ТМ-12 ФМТ</p>

Звіт до кожної лабораторної роботи починається з нового аркуша, де вказується номер роботи, її назва, мета роботи, необхідні теоретичні відомості, формули й таблиці. У кінці ставиться дата виконання лабораторної роботи.

Після захисту студентом лабораторної роботи викладач повинен її підписати.

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ВИРОБНИЧИХ ВІБРАЦІЙ

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

Мета роботи: ознайомлення з основними вібраційними характеристиками, засвоєння методики їх вимірювання та нормування, набуття навиків об'єктивного оцінювання вібронебезпеки на робочих місцях.

Для досягнення мети студенту при підготовці до лабораторної роботи потрібно:

1. Вивчити теоретичні відомості за допомогою методичних вказівок та спеціальної літератури до розділу.
2. Вивчити та набути навиків застосування приладів і пристроїв.
3. Вивчити порядок проведення експерименту.
4. Дати відповіді на всі контрольні запитання.
5. Провести необхідні експерименти.
6. Оформити звіт, зробивши висновки про відповідність або невідповідність виміряних параметрів вібрації нормативним.

1.1 Підготовка звіту

Звіт повинен бути зробленим у зошиті або на аркушах формату А4 та має містити:

1. Титульний аркуш з назвою лабораторної роботи.
2. Мету роботи.
3. Протокол експериментів (додаток А, табл. А.1 та А.2) з результатами досліджень.
4. Висновки з кожного вимірювання про можливість або неможливість праці в досліджених умовах.

1.2 Теоретичні відомості

1.2.1 Основні поняття

Загалом вібрацією називають механічні коливання пружних тіл або систем, коли відбувається переміщення центра їх ваги в просторі відносно статичного стану. В охороні праці вібрацією називають механічні коливання системи (обладнання, пристрою, інструменту та ін.), які сприймаються при безпосередньому контакті людини з поверхнею, що вібрує. Джерелом вібрації є практично кожна машина, агрегат, транспортний засіб тощо. породжують вібрацію невідповідні сили при роботі зворотно-поступальних систем, обертанні невідповідних мас, битті зубчастих передач, пульсуванні рідин та газів у порожнинах машин та трубопроводів.

Виробнича вібрація виступає як шкідливе явище відносно самих машин, оскільки інтенсифікує зношування, знижує їх надійність та довговічність, підвищує рівні випромінюваного шуму. Розповсюджуючись по конструкціях та ґрунті, вібрація впливає на інші об'єкти: викликає руйнування будівельних конструкцій, погіршує роботу приладів, точних верстатів. У разі контакту людини з поверхнями, що вібрують, виникає низка

специфічних негативних проблем: підвищення втомлюваності, зниження працездатності та якості праці, а також розвиток професійного захворювання – віброхвороби.

Дія вібрації на людину-оператора класифікується:

1. За способом передачі вібрації на людину – на загальну і локальну (місцеву).

2. За напрямком дії вібрацію поділяють на таку, що діє уздовж трьох осей ортогональної системи координат: X, Y, Z – діє загальна вібрація; X_L, Y_L, Z_L – локальна вібрація (рис. 3.1).

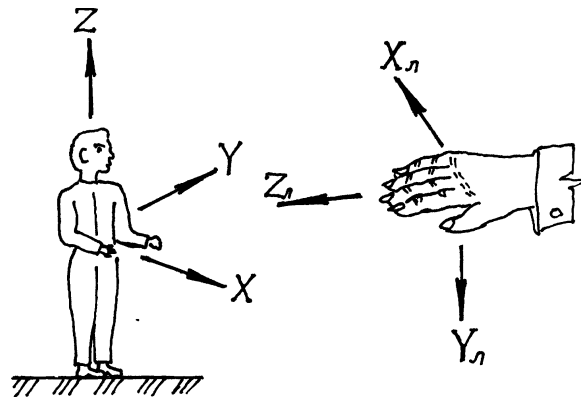


Рисунок 3.1 – Напрямок координатних осей при дії вібрації

3. За часовою характеристикою вібрацію поділяють: на постійну (коли контрольовані параметри a, V за час нагляду змінюються не більше ніж у два рази, тобто $\Delta L \leq 6$ дБ); непостійну (коли контрольовані параметри a, V за час нагляду змінюються більше ніж у 2 рази, тобто $\Delta L > 6$ дБ).

Загальна вібрація передається на тіло через опорні поверхні людини, яка стоїть чи сидить (підшви ніг або сидниці). Загальна вібрація за джерелом її виникнення поділяється на такі категорії:

– категорія 1 – транспортна, що діє на водіїв транспортних засобів (автомобілі, с/г машини, бульдозери та ін.);

– категорія 2 – транспортно-технологічна, яка діє на операторів машин з обмеженою рухомістю по спеціально підготовлених поверхнях у виробничих приміщеннях (вантажопідйомні крани, комбайни, електро- та автокари);

– категорія 3 – типу «а» – технологічна, що діє на операторів стаціонарних машин та обладнання або передається на робочі місця, де немає джерел вібрації;

– категорія 3 – типу «в» – вібрація на робочих місцях працівників розумової праці та персоналу, який не виконує фізичну роботу.

Основними фізичними параметрами вібрації, які генеруються за гармонічним законом, є амплітуда вібропереміщення X_m (м) та частота f (Гц).

Похідними величинами є:

– кругова частота – $\omega, \text{с}^{-1}$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f ; \quad (3.1)$$

– віброшвидкість – V , м/с

$$V = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_m; \quad (3.2)$$

– віброприскорення – a , м/с

$$a = 4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot X_m; \quad (3.3)$$

– рівень віброшвидкості – L_v , дБ

$$L_v = 20 \cdot \lg V \cdot 10^6 \cdot 0.2; \quad (3.4)$$

– рівень віброприскорення – L_a , дБ

$$L_a = 20 \cdot \lg a \cdot 10^6. \quad (3.5)$$

У практичній діяльності часто маємо справу зі складними полігармонічними вібраціями, коли змінюються амплітуди на різних частотах. У такому разі потрібно розкласти складну вібрацію на ряд гармонік.

У гігієнічній практиці параметри вібрації вимірюють в октавних (1/1) або третинооктавних (1/3) середньгеометричних смугах частот.

Для октавних (1/1) смуг частот:

$$f_B / f_H = 2, \quad (3.6)$$

а для третинооктавних (1/3):

$$f_B / f_H = \sqrt[3]{2}, \quad (3.7)$$

де f_B , f_H – відповідно верхня та нижня межі частот. Середньгеометрична частота визначається за формулою:

$$f_{CG} = \sqrt{f_B / f_H}. \quad (3.8)$$

1.2.2 Нормування вібрації

До факторів, що впливають на ступінь та характер несприятливої дії вібрації, належать:

- ризик появи різних патологій, аж до появи професійного вібраційного захворювання;
- показники фізичного навантаження та нервово-емоційної напруги;
- вплив супутніх факторів, що посилюють дію вібрації (охолодження, вологість, шум, хімічні речовини та ін.);

- тривалість та уривчастість дії вібрації;
- тривалість робочої зміни.

Показники вібраційного навантаження на оператора такі:

- віброприскорення (віброшвидкість);
- діапазон частот;
- час дії вібрації.

При оцінюванні вібраційного навантаження на оператора потрібно віддавати перевагу віброприскоренню.

Нормований діапазон середньгеометричних частот встановлюється:

- для локальних вібрацій у вигляді октавних (1/1) смуг у межах від 1 до 1000 Гц;
- для загальних вібрацій у вигляді октавних (1/1) та третинооктавних (1/3) смуг у межах від 0,8 до 80 Гц.

Час дії вібрації приймають рівним тривалості неперервного або сумарного впливу, виміряного у хвиликах або годинах.

Нормоване оцінювання вібрації здійснюють за одним з таких методів [3]:

- одночисловими параметрами (кориговане за частотою значення контрольованого параметра, доза вібрації, еквівалентне кориговане значення контрольованого параметра);
- спектром вібрації.

Для постійної вібрації загалом використовують спектр вібрації, а для непостійної – дозу вібрації.

Норма вібраційного навантаження оператора встановлена для 8 год (480 хв) змінної праці (додаток А, табл. А.3–А.7)

Якщо тривалість дії нормованого параметра менша, ніж 480 хв, то нормований параметр ($U_t = a_t$ або $U_t = V_t$) визначають за допомогою формули:

$$U_t = U_{480} \sqrt{480/t}, \quad (3.9)$$

де $U_{480} = U_H$ – допустиме значення нормованого параметра при тривалості дії вібрації 480 хв [3];

t – сумарний час дії вібрації за зміну, хв.

Коли $t < 30$ хв, то треба прийняти $t = 30$ хв.

Обмеження часу дії вібрації має здійснюватись шляхом установаження внутрішньозмінного режиму праці. Режим праці повинен встановлюватись при показнику перевищення вібраційного навантаження на оператора не менше 1 дБ, але не більше 12 дБ.

Показник перевищення вібраційного навантаження на оператора визначають за формулою:

$$\Delta L_a = L_{at} - L_{an}, \quad (3.10)$$

де L_{at} – значення спектрального показника вібраційного навантаження на оператора в конкретних виробничих умовах, дБ;

$L_{ан}$ – санітарна норма для конкретних умов праці, коли тривалість робочої зміни 8 год, дБ [3].

Якщо показник перевищення $\Delta L_a > 12$ дБ, то забороняється проводити роботи, а також застосовувати машини, які генерують такі вібрації.

Раціональна організація праці за зміну повинна передбачати:

- тривалість робочої зміни не більше 8 год [3];
- встановлення двох регламентованих перерв (тривалістю 20 хв через 1–2 год після початку зміни та тривалістю 30 хв через 2 год після обідньої перерви);
- обідню перерву тривалістю не менше 40 хв приблизно в середині зміни [1, 3, 4].

Регламентовані перерви мають використовуватися для активного відпочинку та лікувально-профілактичних заходів і процедур.

1.3 Експериментальна частина

1.3.1 Прилади та пристосування

Лабораторна установка (рис. 3.2) складається із вібростенда 1, на столі якого встановлено віброперетворювач 3, вібровимірювального приладу 4 (ВИП-2), блока живлення 5, осцилографа 16 (СІ-67) та вимірювального мікроскопа 18.

Параметри коливань стола 2 вібростенда 1 можна виміряти за допомогою таких приладів: вимірювального мікроскопа 18 (X_m), вібровимірювального приладу (ВИП-2) 4 (X_m, V) та частотоміра 19.

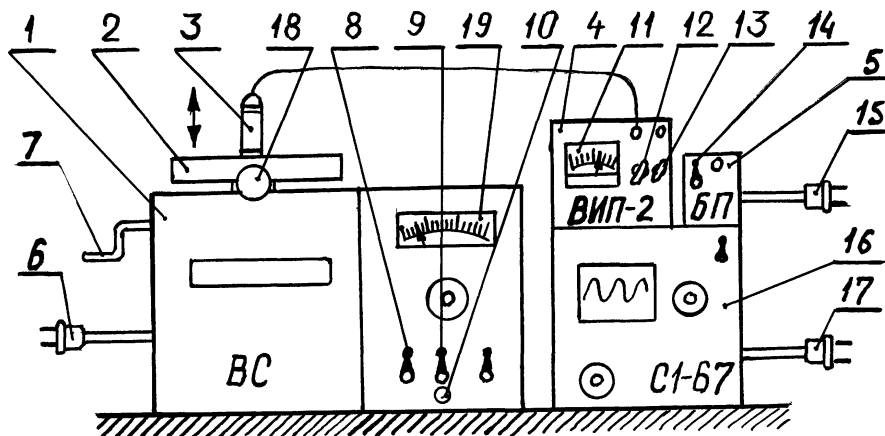


Рисунок 3.2 – Стенд для дослідження вібрацій

Визначення форми, частоти та амплітуди коливального процесу за допомогою осцилографа 16 треба проводити згідно з інструкцією до нього. Якщо потрібно змінити амплітуду коливань стола 2, то тоді крутять за ручку 7 в напрямку, указаному на таблиці вібростенда 1. Зміна частоти коливань проводиться ручкою 10. За допомогою штепселів 6, 15 та 17 подається напруга 220 В для роботи стенда й усіх приладів.

У лабораторній роботі умовно приймають, що поверхня коливань стола 2 вібростенда 1 сприймається як поверхня, де стоїть оператор або торкається її руками. Для зміни амплітуди коливань стола 2 передбачена ручка 7.

Прилад 4 має шкалу 11, на якій можна зняти показання $(2X_m)'$ або V' при перемиканні ручок 12 та 13. Для живлення постійним струмом приладу ВІП-2 потрібно ввімкнути тумблер 14. Для пуску вібростенда 1 потрібно ввімкнути тумблери 8 та 9 і повільно крутити ручку 10, збільшуючи частоту коливань стола 2.

Для роботи з вимірювальним мікроскопом 18 потрібно його встановити й закріпити на кронштейні вібростенда під наглядом викладача.

1.3.2 Вимоги безпеки

1. Приступати до виконання лабораторної роботи дозволяється студентам, які пройшли інструктаж з техніки безпеки та перевірку знань з підготовки до роботи.

2. Перед вмиканням вібростенда необхідно зняти ручку 7 регулювання амплітуди коливань стола та перевірити закріплення віброперетворювача.

3. Вмикання вібростенда, приладу ВІП-2, блока живлення та осцилографа проводити тільки в присутності викладача з дотриманням правил безпеки.

4. Забороняється торкатися руками стола вібростенда, який коливається.

1.3.3 Проведення експерименту

При проведенні експерименту потрібно зробити вимірювання параметрів загальної та локальної вібрацій, частоту і амплітуду яких задає викладач, на стенді. Напрямок дії та тривалість вібрації також задає викладач, а студент вносить їх в табл. А.2.

Вимірювання параметрів вібрації за допомогою мікроскопа проводити в такому порядку:

1. Сфокусувати окуляр мікроскопа на риску нерухомого стола 2 і визначити число поділок P_P (рис. 3.3, а), записавши в табл. А.1.

Залежно від довжини тубуса мікроскопа визначити та записати в табл. А.1 ціну поділки шкали С (на лицьовій поверхні вібростенда закріплена тарувальна таблиця) за допомогою табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Тарувальна ціна поділки на мікроскопі

Довжина тубуса, мм	130	140	150	160	170	180	190
Ціна поділки «С» шкали, мм/под.	0,058	0,053	0,049	0,045	0,041	0,038	0,036

2. Увімкнути вібростенд 1 і встановити вказану викладачем частоту коливань стола 2 за частотоміром 19 для загальної та локальної вібрацій.

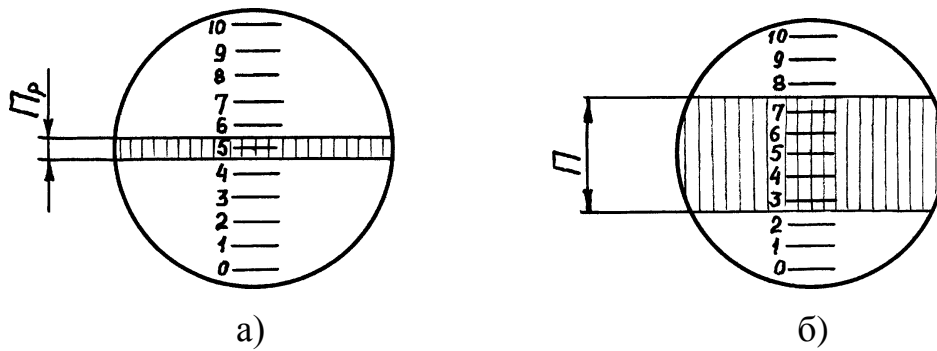


Рисунок 3.3 – Окуляр мікроскопа:
а) – без коливань; б) – за наявності коливань

3. Провести відлік числа позначок P розмаху вібропереміщення за допомогою окуляра мікроскопа (рис. 3.3, б), записавши в табл. А.1.

Вимірювання параметрів вібрації за допомогою приладу ВИП-2 проводять у такій послідовності:

1. Увімкнути тумблер 14 на блоці живлення 5 і подати напругу $U = 4,5-6$ В на прилад 4.

2. Перемикач 12 установити в положення «100/1000».

3. Перемикач 13 установити на «контроль питания» і переконатися в тому, що стрілка шкали 11 знаходиться в діапазоні, окресленому товстою лінією.

4. Потім перемикач 13 ставлять на вимірювання віброшвидкості « $\frac{mm}{s}$ » або розмаху коливань « μm » і повільно збільшують ручкою 10 частоту коливань стола 2. У такому разі потрібно слідкувати за тим, щоб не зашкалювала стрілка приладу, а розмах (подвійна амплітуда – $(2X_m)'$) вібропереміщень не перевищував 1 мм.

1.3.4 Обробка результатів експерименту

При використанні мікроскопа визначають:

а) амплітуду коливань, м

$$X_m = 0.5 \cdot 10^{-3} \cdot C(P - P_p), \quad (3.11)$$

де C – тарувальна ціна поділки на мікроскопі (табл. 3.1);

б) віброприскорення, m/s^2

$$a = 4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot X_m; \quad (3.12)$$

в) рівень віброприскорення, дБ

$$L_a = 20 \lg a \cdot 10^6. \quad (3.13)$$

Обчислені значення вносять до табл. А.1 та А.2.

При використанні приладу ВІП-2 визначають:

а) амплітуду коливань, м

$$X_m = 1.67 \cdot 10^{-7} \cdot (2X_m) \cdot K_X; \quad (3.14)$$

б) віброшвидкість, м/с

$$V = 10^{-2} \cdot V' \cdot K_V; \quad (3.15)$$

в) частоту коливань, Гц

$$f = \frac{V}{2 \cdot \pi \cdot X_m}; \quad (3.16)$$

г) віброприскорення, м/с

$$a = 4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot X_m \approx 40 \cdot f^2 \cdot X_m; \quad (3.17)$$

д) рівень віброприскорення, дБ

$$L_a = 20 \lg a \cdot 10^6. \quad (3.18)$$

Обчислені значення вносять до табл. А.1 та А.2.

Нормовані параметри вібрації з урахуванням тривалості дії визначають у такій послідовності:

а) середньгеометричну частоту $f_{сг}$ в октавних смугах залежно від вимірної частоти f за допомогою табл. 3.2, розраховуючи, що $f_{сг}$ знаходиться в межах між f_H та f_B ;

б) віброприскорення a_n та його рівень L_{an} за допомогою табл. А.3–А.7 залежно від виду та категорії вимірної вібрації;

в) поправку на нормований параметр

$$\sqrt{480/t}; \quad (3.19)$$

г) віброприскорення

$$a_t = a_{an} \sqrt{480/t}; \quad (3.20)$$

д) рівень віброприскорення

$$L_{at} = 20 \lg a_t \cdot 10^6. \quad (3.21)$$

Обчислені значення вносять до табл. А.1 і роблять письмові висновки.

Таблиця 3.2 – Визначення середньгеометричних стандартизованих частот

f_H , Гц	0,7	1,4	2,8	5,6	11,2	22,5	45,0	90	180	360	720
f_B , Гц	1,4	2,8	5,6	11,2	22,5	45,0	90,0	180	360	720	1440
$f_{сг}$, Гц	1.0	2,0	4,0	8,0	16,0	31,5	63	125	250	500	1000

1.4 Контрольні запитання

1. Що таке вібрація в охороні праці?
2. Якими параметрами характеризується вібрація?
3. Як класифікується вібрація?
4. Що таке октава та як визначити її межі, якщо відома f_{ce} ?
5. Як нормується вібрація?
6. Визначте нормовані параметри (L_{at}) загальної вібрації в напрямку X категорії 1 для $f_{ce} = 16$ Гц для двох випадків: $t_1 = 20$ хв і $t_2 = 120$ хв.
7. Який допустимий рівень віброприскорення L_{an} , якщо тривалість дії вібрації $t_1 = 120$ хв, а при $t = 480$ хв відповідно $L_{an} = 100$ дБ?
8. Яку величину допустимого рівня віброприскорення локальної вібрації тривалістю $t = 120$ хв можна визначити за допомогою одночислових показників?
9. Якими приладами можна виміряти вібрацію?
10. У якому випадку забороняється проведення віброробіт, а також застосування вібромашини?

ЛІТЕРАТУРА

1. Юдин Е. Я. Охрана труда в машиностроении / Е. Я. Юдин, С. В. Белов. – М. : Машиностроение, 1983. – 432 с.
2. Средства защиты в машиностроении. Расчет и проектирование : справочник / [Белов С. В., Козьяков А. Ф., Партолин О. Ф. и др.] ; под. ред. С. В. Белова. – М. : Машиностроение, 1989. – 368 с.
3. ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования : ГОСТ 12.1.012:1990. – [Действующий от 1991-07-01]. – М. : Госстандарт СССР, 1990. – 35 с.
4. Ивович В. А. Защита от вибрации в машиностроении / В. А. Ивович, В. Я. Онищенко. – М. : Машиностроение, 1990. – 272 с.
5. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації : ДСН 3.3.6.039:1999. – К. : МОЗУ СЕУ, 2000. – 39 с.
6. Вібрація та удар механічні. Оцінка впливу загальної вібрації на людину. Частина 1. Загальні вимоги : ДСТУ ISO 2631-1:2004. – [Чинний від 2006-04-01]. – К. : Держстандарт України, 2006. – 39 с.
7. Закон України від 02 листопада 2011 року № 3988-VI «Про ратифікацію Конвенції Міжнародної організації праці № 155 1981 року про безпеку й гігієну праці та виробниче середовище» // Відомості Верховної Ради. – К. : Парлам. вид-во, 2012. – № 23. – Ст. 233.

Додаток А

Таблиця А.1 – Результати вимірювань параметрів вібрації

Вид вібрації	ПРИЛАДИ									
	Мікроскоп та частомір					ВІП-2				
	Частота f , Гц	Товщина риски P_p , под.	Розмах коливань P , под.	Ціна поділки шкали C , мм/под.	Амплітуда коливань X_m , м	Показання шкали приладу		Амплітуда, X_m , м	Значення шкали на перемикачі 12 за:	
						$\frac{mm}{s}$, мм/с	μk , мкм		віброшвидкістю	амплітудою коливань
Загальна										
Локальна										

Таблиця А.2 – Обробка результатів вимірювання

Вид вібрації	Напрямок дії вібрації	Тривалість дії вібрації за зміну, t , хв	Поправка $\sqrt{\frac{480}{t}}$	Значення параметрів вібрації									
				вимірюваних приладами				допустимих, при тривалості дії					
								480 хв			t , хв		
				f , Гц	X_m , м	a , м/с ²	L_a , дБ	$f_{ст}$, Гц	a_n , м/с	$L_{ан}$, дБ	a_t , м/с ²	$L_{ат}$, дБ	
Загальна													
Локальна													

Висновки щодо дії кожного виду вібрації:

1. _____

Таблиця А.3 – Санітарні норми спектральних показників вібраційного навантаження на оператора. Загальна вібрація, категорія 1 (транспортна). Тривалість дії вібрації 8 год

f_{c2} , Гц	Нормативні значення в напрямках X, Y, Z							
	віброприскорення a_n , м/с ²				рівня віброприскорення L_{an} , дБ			
	в 1/3 окт.		в 1/1 окт.		в 1/3 окт.		в 1/1 окт.	
	Z	X, Y	Z	X, Y	Z	X, Y	Z	X, Y
0,8	0,71	0,224			117	107		
1,0	0,63	0,224	1,10	0,39	116	107	121	112
1,2	0,56	0,224			115	107		
1,6	0,50	0,224			114	107		
2,0	0,45	0,224	0,79	0,42	113	107	118	113
2,5	0,40	0,280			112	109		
3,15	0,355	0,365			111	111		
4,0	0,315	0,450	0,57	0,8	110	113	115	118
5,0	0,315	0,56			110	115		
6,3	0,315	0,710			110	117		
8,0	0,315	0,90	0,6	1,62	110	119	116	124
10,0	0,40	1,12			112	121		
12,5	0,50	1,40			114	123		
16,0	0,63	1,80	1,13	3,2	116	125	121	130
20,0	0,80	2,24			118	127		
25,0	1,0	2,80			120	129		
31,5	1,25	3,55	2,25	6,4	122	131	127	136
40,0	1,60	4,50			124	131		
50,0	2,0	5,60			126	135		
63,0	2,5	7,10	4,5	12,8	128	137	131	142
80,0	3,15	9,0			130	139		

Таблиця А.4 – Санітарні норми спектральних показників вібраційного навантаження на оператора. Загальна вібрація, категорія 2 (транспортно-технологічна). Тривалість дії вібрації 8 год

$f_{сг}$, Гц	Нормативні значення в напрямках X, Y, Z							
	віброприскорення				віброшвидкості			
	a_n , м/с ²		$L_{ан}$, дБ		V_n , м/с		$L_{vн}$, дБ	
	в 1/3 окт.	в 1/1 окт.	в 1/3 окт.	в 1/1 окт.	в 1/3 окт.	в 1/1 окт.	в 1/3 окт.	в 1/1 окт.
1,6	0,25		108		2,48		114	
2,0	0,224	0,40	107	112	1,79	3,5	111	117
2,5	0,20		106		1,28		108	
3,15	0,178		105		0,9		105	
4,0	0,158	0,285	104	109	0,62	1,3	102	108
5,0	0,158		104		0,50		100	
6,3	0,158		104		0,40		98	
8,0	0,158	0,30	104	110	0,32	0,63	96	102
10,0	0,20		106		0,32		96	
12,5	0,25		108		0,32		96	
16,0	0,315	0,57	110	115	0,32	0,56	96	101
20,0	0,40		112		0,32		96	
25,0	0,50		114		0,32		96	
31,5	0,63	1,13	116	121	0,32	0,56	96	101
40,0	0,80		118		0,32		96	
50,0	1,00		120		0,32		96	
63,0	1,25	2,25	122	127	0,32	0,56	96	101
80,0	1,60		124		0,32		96	

Таблиця А.5 – Санітарні норми спектральних показників навантаження на оператора. Загальна вібрація, категорія 3. Тривалість дії вібрації 8 год

$f_{сз}$, Гц	Нормативні значення в напрямках X, Y, Z																	
	тип «а»									тип «в»								
	віброприскорення			віброшвидкості			віброприскорення			віброшвидкості								
	$a_{нз}$, м/с ²	$L_{анз}$, дБ	$V_n \cdot 10^{-2}$, м/с	$L_{внз}$, дБ	$a_{нз}$, м/с ²	$L_{анз}$, дБ	$V_n \cdot 10^{-2}$, м/с	$L_{внз}$, дБ	$a_{нз}$, м/с ²	$L_{анз}$, дБ	$V_n \cdot 10^{-2}$, м/с	$L_{внз}$, дБ						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	17	
1,6	0,09		99		0,90		105		0,0125		82		0,13		88			
2,0	0,08	0,14	98	103	0,64	1,3	102	108	0,0112	0,02	81	86	0,09	0,18	85	91		
2,5	0,071		97		0,46		99		0,01		80		0,063		82			
3,15	0,063		96		0,32		96		0,009		79		0,045		79			
4,0	0,056	0,10	95	100	0,23	0,45	93	99	0,008	0,014	78	83	0,032	0,063	76	82		
5,0	0,056		95		0,18		91		0,008		78		0,025		74			
6,3	0,056		95		0,14		89		0,008		78		0,02		72			
8,0	0,056	0,11	95	101	0,12	0,22	87	93	0,008	0,014	78	83	0,016	0,032	70	75		
10,0	0,071		97		0,12		87		0,01		80		0,016		70			
12,5	0,090		99		0,12		87		0,0125		82		0,016		70			
16,0	0,112	0,20	101	106	0,12	0,20	87	92	0,016	0,028	84	89	0,016	0,028	70	75		
20,0	0,140		103		0,12		87		0,02		86		0,016		70			
25,0	0,18		105		0,12		87		0,025		88		0,016		70			
31,5	0,22	0,40	107	112	0,12	0,20	87	92	0,032	0,056	90	95	0,016	0,028	70	75		
40,0	0,285		109		0,12		87		0,04		92		0,016		70			
50,0	0,355		111		0,12		87		0,05		94		0,016		70			
63,0	0,445	0,80	113	118	0,12	0,20	87	92	0,063	0,112	96	101	0,016	0,028	70	75		
80,0	0,56		115		0,12		87		0,08		98		0,016		70			

Таблиця А.6 – Санітарні норми спектральних показників вібраційного навантаження на оператора. Локальна вібрація. Тривалість дії вібрації 8 год

$f_{сз}$, Гц	Нормативні значення в напрямках X, Y, Z			
	віброприскорення		віброшвидкості	
	м/с ²	дБ	м/с	дБ
8	1,4	123	2,8	115
16	1,4	123	1,4	109
31,5	2,7	129	1,4	109
63	5,4	135	1,4	109
125	10,7	141	1,4	109
250	21,3	147	1,4	109
500	42,5	153	1,4	109
1000	85,0	159	1,4	109

Таблиця А.7 – Санітарні норми одночислових показників вібраційного навантаження на оператора при тривалості зміни 8 год

Вид вібрації	Категорія вібрації	Напрямок дії	Нормативні, кориговані за частотою та еквівалентні кориговані значення			
			віброприскорення		віброшвидкості	
			a_n , м/с ²	$L_{ан}$, дБ	$V_n * 10^{-2}$, м/с	$L_{вн}$, дБ
Локальна	–	X_L, Y_L, Z_L	2,0	126	2,0	112
Загальна	1	Z	0,56	115	1,1	107
	1	X, Y	0,40	112	3,2	116
	2	X, Y, Z	0,28	109	0,56	101
	3 тип «а»	X, Y, Z	0,10	100	0,20	92
	3 тип «в»	X, Y, Z	0,014	83	0,028	75

2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ СПАЛАХУ ГОРЮЧИХ РІДИН У ЗАКРИТОМУ ТИГЕЛІ. ВИМОГИ ПОЖЕЖНОЇ ТА ВИБУХОБЕЗПЕКИ ДО ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

Мета роботи: засвоєння вимог пожежної та вибухобезпеки до промислових підприємств і споруд, генпланів селищ, а також знайомство з експериментальним методом визначення температури спалаху рідин.

2.1 Підготовка звіту

Вивчення теоретичного матеріалу за темою роботи (контролюється на початку заняття перевіркою знання матеріалу відповідями на контрольні запитання).

Експериментальне визначення температури спалаху горючої рідини у закритому тигелі.

Виконання завдань за варіантом, який видається викладачем.

Підготовка звітної документації (протоколу з даними експерименту – п. 2.3.3) та захист роботи загалом.

2.2 Теоретичні відомості

2.2.1 Процес горіння

Горіння – це фізико-хімічний процес окислення, що супроводжується виділенням теплоти й випромінюванням світла.

Для процесу горіння у звичайних умовах має бути речовина, здатна горіти, джерело вогню з певною здатністю надавати необхідну енергію горінню й певна кількість кисню. При зниженні концентрації кисню у повітрі інтенсивність горіння різко зменшується, а при концентрації його у повітрі до 8–10% горіння може повністю припинитися.

Горіння буде повним при надмірній кількості кисню у повітрі, при цьому утворюються двооксид вуглецю, вода, азот, сірчаний ангідрид. Горіння буде неповним при недостатній кількості кисню; при цьому утворюються оксид вуглецю, спирти, альдегіди та ін.

Горіння буває дифузійне й кінетичне. Якщо кисень проникає в зону горіння, таке горіння називають *дифузійним*. Дифузійне горіння найбільш поширене, воно виникає і під час пожежі. *Кінетичним* називають горіння заздалегідь підготовленої горючої суміші.

Процеси горіння різних речовин, а також речовин у різних станах мають багато розбіжностей. Показники, які описують пожежну небезпеку різних речовин і матеріалів, наведені у табл. Б.10.

При введенні певного імпульсу теплоти в зону горіння твердих речовин, холодне горюче середовище нагрівається, унаслідок чого виникає інтенсивне окислення горючої речовини киснем і додаткове виділення

теплоти. Це, передусім, призводить до нагрівання сусіднього шару горючої речовини, у якому також буде інтенсивно відбуватися хімічна реакція. Таким чином відбувається переміщення зони горіння в більш глибокі шари речовини. Швидкість такого переміщення й пояснює інтенсивність горіння. Такий процес буде продовжуватися безперервно, поки не вичерпається увесь об'єм горючої речовини. Зону, у якій підігрівається речовина і проходять хімічні реакції, називають *фронтом полум'я*.

Суміш парів, газів, пилу горючої речовини з повітрям здатна горіти лише при певному вмісті в ній горючої речовини. Найменшу концентрацію горючої речовини (газу, пилу), при якій уже можливе горіння, називають нижньою концентраційною межею спалаху (НКМС). Найбільшу концентрацію таких речовин, при якій ще можливе горіння, називають верхньою концентраційною межею спалаху (ВКМС). Зону, яка розміщена між ними, називають зоною спалаху.

Процес горіння виникає через такі початкові види горіння, як: спалах, самозаймання й самозагоряння.

Спалах – це швидкоплинний процес згоряння парів горючої речовини, що виникає при їх контакті з відкритим джерелом вогню. Якщо джерело вогню забрати із зони спалаху, то процес спалаху припиняється, бо під час кожного імпульсу спалаху виділяється недостатньо теплоти, щоб забезпечити необхідну для постійного процесу горіння концентрацію парів горючої речовини. Отже, температура спалаху – найнижча температура горючої речовини, за якої в умовах спеціальних випробувань над її поверхнею утворюються пари або гази, що можуть спалахнути від джерела вогню, але швидкість їх утворення ще недостатня для стійкого горіння (ГОСТ І2.І.044-84). Залежно від температури, при якій виділяється достатня кількість парів речовини, необхідних для спалаху, розрізняють рідини легкозаймисті (ЛЗР) та горючі (ГР). До ЛЗР належать рідини з температурою спалаху до 61 °С у закритому тиглі (або до 66 °С у відкритому тиглі), це – ГОСТ 12.1.004-85 – ацетон, бензин, гас, скипидар тощо. До ГР належать рідини, що мають нижчу температуру спалаху, відповідно 61 та 66 °С: машинні масла, олія, оліфа та ін. (табл. Б.1).

Займання – це тривалий процес горіння, що виникає від джерела вогню і триває допоки з горючої речовини виділяється пара. Як правило, займання не припиняється і після видалення джерела запалювання. На процес займання впливають тиск і температура горючої суміші – при їх збільшенні межа займання розширюється. Крім того, концентраційним межам займання відповідають температурні межі – такі температури горючої речовини, за яких її насичена пара утворює концентрації, що відповідають нижній і верхній концентраційним межам займання. Температурою займання називають таку найменшу температуру, при якій речовина загоряється або починає тліти й продовжує горіти чи тліти після видалення джерела займання. Як правило, займання відбувається при температурах, вищих за температуру спалаху на 2–5 °С для ЛЗР і на 5–30 °С для ГР.

Самозаймання – це процес горіння речовини, що виникає від зовнішньої температури, але без контакту з відкритим джерелом вогню. На відміну від займання, коли загоряється лише обмежена частина об'єму – поверхня, самозаймання відбувається в усьому об'ємі речовини, це можливо лише тоді, коли кількість теплоти, що виділяється в процесі окислення, перевищує віддачу теплоти в навколишнє середовище.

Різновидом самозаймання є самозагоряння – процес горіння, який виникає від теплоти, що накопичилася в речовині внаслідок біологічних або фізико-хімічних процесів. Під час зберігання здатні до самозагоряння: зволене зерно, сіно, солома, буре вугілля, торф, промаслені ганчірки тощо. Самозагораються від дії на них повітря рослинні масла і тваринні жири, нанесені тонким шаром на волокнисті й порошкоподібні матеріали, торф, буре і кам'яне вугілля. Газоподібні, жирні й тверді окислювачі: ацетилен, водень, метан і етилен у сумішах з хлором, марганцевокислий калій і гліцерин самозагораються при змішуванні один з одним. Самозагораються при дії на них води карбід кальцію, лужні метали та ін. Крім того, стиснений кисень викликає самозагоряння мінеральних масел, що не відбувається при нормальному тиску.

2.2.2 Пожежна безпека

Пожежа – це неконтрольоване горіння поза спеціальним вогнищем, що призводить до матеріальних збитків.

Пожежна безпека – стан об'єкта, при якому виключається можливість пожежі, а у випадку її виникнення унеможливується дія на людей небезпечних факторів пожежі й забезпечується захист матеріальних цінностей.

Пожежна безпека створюється завдяки організації систем запобігання пожежі та пожежного захисту.

Система запобігання пожежам – це комплекс організаційних заходів і технічних засобів, спрямованих на запобігання можливому виникненню пожежі.

Система пожежного захисту – комплекс організаційних заходів і технічних засобів, що запобігає дії на людей небезпечних факторів пожежі й обмежують матеріальні збитки від неї.

Одним з різновидів горіння є вибух – процес надзвичайно швидкого горіння, що супроводжується швидким наростанням тиску та має велику руйнівну здатність. Вибух відбувається, коли у повітряному середовищі створюється така концентрація пилу, пари або газів, яка досягає значення між нижньою та верхньою межами займання. Горючий пил і волокна є вибухонебезпечними, якщо їх концентраційна межа спалаху не перевищує 65 г/м^3 .

Крім ЛЗР і ГР, залежно від пожежної небезпеки речовин (горючості, займання і вибухонебезпечності), позначаються такі речовини [6]:

НГ – негорюча речовина, що не здатна горіти в атмосфері повітря звичайного складу;

ВГ – важкогорюча речовина, може горіти лише під дією стороннього джерела запалювання, але не здатна горіти самостійно після його вилучення;

ГР – горюча речовина, може самостійно горіти після вилучення джерела запалювання;

ГГ – горючий газ, що здатен утворювати з повітрям займисті та вибухонебезпечні суміші при температурах не вищих 55 °С;

ВР – вибухонебезпечна речовина, яка може вибухнути або детонувати (горіти зі швидкістю понад 1000 м/с) без наявності кисню повітря.

2.2.3 Класифікація приміщень і виробництв за вибуховою та пожежною безпекою

Згідно з будівельними нормами, приміщення й виробництва за вибуховою та пожежною безпекою поділяються на категорії А, Б, В, Г, Д залежно від:

- властивостей речовин і матеріалів, що знаходяться у відповідному приміщенні;
- кількості цих речовин і матеріалів;
- характеристик технологічного процесу обробки або зберігання цих речовин і матеріалів. Категорія визначається послідовно перевіркою належності від вищої категорії (А) до нижчої (Д) (табл. Б.2).

2.2.4 Вогнестійкість будівельних матеріалів, конструкцій та будівель

Будівельні матеріали за здатністю горіти поділяються на:

- негорючі – під дією вогню або високої температури не спалахують, не тліють і не обвуглюються (усі природні і штучні неорганічні матеріали, метали, гіпсові та гіпсоволокнисті плити із вмістом органічної речовини не більше 8% за масою, мінераловатні плити із вмістом синтетичних, крохмальних або бітумних зв'язок до 6% за масою;

- важкогорючі – під дією вогню або високої температури спалахують, тліють або обвуглюються й продовжують горіти, тліти або обвуглюватися за наявності джерела загоряння, а після його вилучення горіння або тління припиняється (асфальтовий бетон, гіпсові та бетонні матеріали із вмістом органічного наповнювача більше 8% за масою, мінераловатні плити з бітумним наповнювачем більше 7–15%, глиноземні матеріали питомою масою не менше 900 кг/м³, повсть, намочена в глиняному розчині, просочена глибоко антипіренами деревина, цементний фіброліт, полімерні матеріали);

- горючі – під дією вогню або високої температури спалахують, тліють або обвуглюються та продовжують горіти, тліти або обвуглюватися після видалення джерела загоряння (усі органічні матеріали, що не відповідають вимогам до важкоспалюваних і неспалюваних матеріалів – деревина, лінолеум, повсть, пробкові плити, соломисті матеріали тощо).

Вогнестійкість – це здатність будівельних конструкцій зберігати свої робочі функції та властивості під дією високих температур пожежі. Вогнестійкість характеризується межею вогнестійкості – часом, протягом якого будівельна конструкція не втрачає своєї несучої і захисної здатності. Межа вогнестійкості вимірюється в годинах від початку випробування конструкції на вогнестійкість за стандартним температурним режимом до появи однієї з таких ознак:

- утворення в конструкції наскрізних тріщин, через які можуть проникати продукти горіння або полум'я;
- підвищення температури на поверхні конструкції, що нагрівається, усередньому більше ніж на 160 °С, або в будь-якій точці цієї поверхні більше ніж на 180 °С порівняно з температурою конструкції до випробування, або на 220 °С незалежно від температури, з якою порівнюють;
- втрати конструкцією несучої спроможності – її руйнування. Вогнестійкість будівель і споруд поділяється за будівельними нормами на п'ять ступенів: I, II, III, IV і V; за ними ж нормуються межі вогнестійкості елементів конструкцій залежно від ступеня вогнестійкості споруди (табл. Б.3 та Б.4).

2.2.5 Вимоги пожежної безпеки при проектуванні будівель і генеральних планів підприємств та селищ

Під час проектування будівель, з метою обмеження розповсюдження полум'я у разі виникнення пожежі, використовують протипожежні перешкоди – протипожежні стіни, перегородки, перекриття, двері, люки, тамбуршлюзи, вікна, зони та клапани. Межі вогнестійкості для кожного типу перешкод визначаються за відповідними будівельними нормами (табл. Б.5).

Крім того, залежно від категорії вибухової та пожежної небезпеки приміщень і ступеня вогнестійкості будівлі будівельні норми обмежують кількість поверхів і площу поверху в межах пожежного відсіку (табл. Б.6).

Для забезпечення евакуації працівників у разі виникнення пожежі, за будівельними нормами будівля повинна мати евакуаційні виходи, найбільша відстань до яких залежить від категорії вибухової та пожежної небезпеки приміщень, ступеня вогнестійкості споруди й об'єму приміщення (табл. Б.7), а ширина евакуаційних виходів розраховується за нормованою кількістю людей на 1 м ширини евакуаційного виходу, яка залежить від тих же параметрів, що й найбільша відстань до евакуаційного виходу (табл. Б.8).

З метою запобігання розповсюдження пожежі на декілька споруд між ними мають бути протипожежні розриви – відстань між об'єктами, яка запобігає поширенню пожежі від об'єкта, що горить, на інші внаслідок перекидання вогню або променевої теплоти. Відстані між спорудами й будівлями залежать від ступеня їх вогнестійкості, згідно зі встановленими будівельними нормами (табл. Б.9).

2.3 Експериментальна частина

2.3.1 Установка для експериментального визначення температури спалаху в закритому тиглі

Установка для експериментального визначення температури спалаху (t_{cn}) горючих рідин має нагрівальний пристрій, який живиться постійним струмом напругою 100 В, і закритий тигель об'ємом 30 мл, у який заливається рідина, що досліджується. Тигель має кришку, яка може повертатися і відкривати віконце у тиглі. Крім того, у кришку вмонтована термопара, з'єднана з магнітоелектричним мілівольтметром. Під час дослідження використовується також барометр.

2.3.2 Методика експерименту

УВАГА! Експеримент виконується викладачем.

1. Увімкнути установку в розетку постійного струму напругою 100 В.
2. Тигель з рідиною, що досліджується, вставити в нагрівальний пристрій. Віконце тигля має бути закритим.
3. Після нагрівання рідини у тиглі до 100 °С відкрити віконце й піднести до нього запалений сірник. При відсутності спалаху закрити віконце.
4. Через кожні 2 °С нагрівання рідини повторювати дії п. 3 до спалаху парів рідини.
5. Зафіксувати температуру, при якій стався спалах – це і буде експериментально визначена температура спалаху $t_{екс}$ рідини.
6. Вимкнути установку з розетки й відсунути тигель з рідиною від нагрівального пристрою.
7. Зафіксувати за барометром атмосферний тиск у лабораторії.
8. Визначити поправку (Δt) з урахуванням величини атмосферного тиску [6]:

$$\Delta t = \frac{101,3 - P}{3,3} \cdot 0,9, \quad (4.1)$$

де P – фактичний барометричний тиск у лабораторії, кПа.

9. Визначити істинну температуру спалаху горючої рідини за формулою:

$$t_{сн} = t_{екс} + \Delta t. \quad (4.2)$$

2.3.3 Виконання роботи

(Протокол виконання лабораторної роботи)

Завдання 4.1

Визначити за результатами експерименту температуру спалаху рідини. Результати вимірів внести до табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Параметри горючої рідини

Рідина, що досліджується	Барометричний тиск, кПа	Δt , °С	Температура спалаху		Клас рідини
			$t_{екс}$	$t_{сн}$	

Примітка. Завдання 4.2–4.9 виконуються за варіантом табл. Б.1 (варіант визначається для кожного студента викладачем).

Завдання 4.2

Обґрунтувати вибір категорії вибухової та пожежної небезпеки приміщення, у якому використовується речовина, номер якої за додатком Б збігається з варіантом завдання. Користуватися табл. Б.1 і Б.2.

Примітка. У варіантах 10 і 14 речовина перебуває у розжареному стані.

Таблиця 4.2 – Визначення категорій приміщень за вибухо- та пожежною безпекою

Номер за табл. Б.2	Речовина	$t_{займ.}$ $t_{сп.}$ $t_{самозайм}$	Техпроцес	Категорія приміщення за вибухо- та пожежною безпекою	Характеристика виробництва

Завдання 4.3

Вибрати конструктивні характеристики будівлі зі ступенем вогнестійкості:

I – варіанти 2, 4, 9, 15, 18;

II – варіанти 1, 6, 8, 10, 16, 17, 19;

III – варіанти 3, 5, 7, 11;

IV – варіанти 12, 13, 14, 20.

Користуватись табл. Б.3.

Таблиця 4.3 – Вибір конструктивних характеристик будівель

Ступінь вогнестійкості	Конструктивні особливості

Завдання 4.4

Визначити мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій і максимальні межі розповсюдження по них полум'я для ступеня вогнестійкості завдання 4.3.

Користуватися табл. Б.4.

Таблиця 4.4 – Вибір будівельних конструкцій

Ступінь вогнестійкості будівлі	Стіни				Колони	Сходові площадки, козоури, балки, марші сходових кліток	Плити, настили (з утеплювачем), інші несучі конструкції перекрить	Елементи перекрить	
	Несучі	Самонесучі	Зовнішні несучі	Внутрішні несучі (перегородки)				Плити, настили, прогони	Балки, ферми, арки, рами

Завдання 4.5

Знайти три види і типи протипожежних перешкод та мінімальні межі їх вогнестійкості для будівлі за завданнями 4.3 і 4.4.

Примітка. Мінімальні межі вогнестійкості протипожежних перешкод за табл. Б.5 мають бути не менші, ніж прийняті межі вогнестійкості відповідних елементів конструкцій у завданні 4.4.

Таблиця 4.5 – Вибір протипожежних перешкод

Ступінь вогнестійкості	Протипожежна перешкода	Типи протипожежних перешкод і їх елементів	Мінімальні межі вогнестійкості протипожежних перешкод або їх елементів, год

Завдання 4.6

Для умов завдань 4.2 і 4.3 визначити допустиму кількість поверхів і їх площу в межах пожежного відсіку.

Користуватися табл. Б.6.

Таблиця 4.6 – Вибір кількості та площі поверхів будівель

Категорія виробництва	Допустима кількість поверхів	Ступінь вогнестійкості будівлі	Площа в межах пожежного відсіку будівлі, м ²	
			багатоповерхової	
			два поверхи	три й більше

Завдання 4.7

Для умов завдань 4.2, 4.3, 4.6 визначити максимально можливий об'єм приміщення і найбільшу відстань (м) до евакуаційних виходів.

Користуватися табл. Б.7.

Таблиця 4.7 – Визначення найбільшої відстані до еваковиходів

Об'єм приміщення, тис. м ³	Категорія приміщення	Ступінь вогнестійкості	Відстань, м при щільності людського потоку в загальному проході, чол/м ²		
			до 1	від 1 до 3	від 3 до 5

Завдання 4.8

Для умов завдання 4.7 визначити кількість людей на 1 м ширини евакуаційного виходу (дверей). Користуватися табл. Б.8.

Таблиця 4.8 – Визначення кількості людей на 1 м евакуиходу

Об'єм приміщення, тис. м ³	Категорія приміщення	Ступінь вогнестійкості будівлі	Кількість людей на 1 м ширини евакуаційного виходу

Завдання 4.9

Визначити розміри протипожежних розривів між будівлями за завданнями 4.2 і 4.3 та будівлями I, II, III, IV V і ступенями вогнестійкості.

Користуватися табл. Б.9.

Таблиця 4.9 – Визначення відстаней між будівлями

Категорія виробництва	Ступінь вогнестійкості будівлі	Відстань до будівель, м при їхньому ступені вогнестійкості		
		I і II	III	IV і V

2.4 Контрольні запитання

1. Що таке горіння?
2. За яких умов можливе горіння?
3. Які існують види горіння?
4. Якими показниками характеризується горіння різних речовин?
5. Як зароджується й розвивається процес горіння?
6. Що таке фронт полум'я?
7. Що таке нижня й верхня межі спалаху, концентраційні й температурні? Зв'язок між ними.
8. Що таке спалах?
9. Що таке температура спалаху?
10. Як класифікуються рідини за температурою спалаху?
11. Що таке займання?
12. Що таке температура займання?
13. Що таке самозаймання?
14. Що таке самозагоряння?
15. Що таке пожежа?
16. Як забезпечується пожежний захист? Що таке пожежна безпека?
17. Що таке системи запобігання пожежам і пожежного захисту?
18. Що таке вибух? За яких умов можливий вибух?
19. Як класифікуються речовини залежно від пожежної небезпеки?
20. Як класифікуються будівельні матеріали за здатністю горіти?
21. Що таке вогнестійкість і чим вона характеризується?
22. Що таке межа вогнестійкості?
23. Як класифікуються будівлі й споруди за вогнестійкістю?

24. Як класифікуються виробництва та приміщення за вибуховою і пожежною небезпекою?
25. Від чого залежить категорія виробництва за вибуховою та пожежною небезпекою?
26. Які бувають протипожежні перешкоди?
27. Залежно від чого обмежується кількість поверхів і площа поверху в межах пожежного відсіку?
28. Від чого залежить допустима найбільша відстань до евакуаційного виходу?
29. Залежно від чого розраховується ширина евакуаційного виходу?
30. Що таке протипожежні розриви?
31. Від чого залежить величина протипожежного розриву?
32. Як експериментально визначається температура спалаху рідин?
33. Як впливає барометричний тиск на температуру спалаху рідини?

ЛІТЕРАТУРА

1. Золотницький Н. Д. Охрана труда в строительстве / Н. Д. Золотницький, В. А. Пчелинцев. – М. : Высшая школа, 1978. – 407 с.
2. Кобевник В. Ф. Охрана труда / Кобевник В. Ф. – К. : Вища школа, 1990. – 268 с.
3. Орлов Г. Г. Охрана труда в строительстве / Орлов Г. Г. – М. : Высшая школа, 1984. – 343 с.
4. Охрана труда в строительстве. Инженерные решения : справочник / В. И. Русин, Г. Г. Орлов, Н. М. Неделько и др. – К. : Будивэльныйк, 1990. – 208 с.
5. Денисенко В. В. Сборник противопожарных норм и правил строительного проектирования / Денисенко В. В. – К. : Будивэльныйк, 1990. – 384 с.
6. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования : ГОСТ 12.1.004:1991. – [Действующий от 1992-07-01]. – М. : Госстандарт СССР, 1991.
7. ССБТ. Пожарная безопасность. Термины и определения : ГОСТ 12.1.033:1981. – [Действующий от 1982-07-01]. – М. : Госстандарт СССР, 1981.
8. ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования : ГОСТ 12.1.010:1976. – [Действующий от 1978-01-01]. – М. : Госстандарт СССР, 1976.
9. ССБТ. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения : ГОСТ 12.1.044:1989. – [Действующий от 1991-01-01]. – М. : Госстандарт СССР, 1989.
10. Державні будівельні норми України. ДБН В.2.2-15:2005. Будинки і споруди. Житлові будівлі. Основні положення. – [Чинний від 2006-01-01]. – К. : ДП «Укрархбудінформ», 2005.
11. Державні будівельні норми України. В.2.2-28:2010. Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення. – [Чинний від 2011-01-10]. – К. : ДП «Укрархбудінформ», 2010. – 28 с.

12. Державні будівельні норми України. ДБН В.2.5-13:1998. Інженерне обладнання будинків і споруд. Пожежна автоматика будинків і споруд. – [Чинний від 2007-01-01]. – К. : ДП «Укрархбудінформ», 2005.
13. Державні будівельні норми України. ДБН В.2.5-56:2010. Системи протипожежного захисту. – [Чинний від 2015-07-01]. – К. : ДП «Укрархбудінформ», 2005. – 132 с.
14. Інженерне обладнання будинків і споруд. Улаштування блискавкозахисту будівель і споруд : ДСТУ 2.5-38:2008. (ІЕС 62305:2006, NEQ). – [Чинний від 2009-01-01]. – К. : «УкрНДНЦ», 2008.
15. Протипожежний захист. Знаки безпеки. Форма та колір : ДСТУ ISO 6309:2007. – [Чинний від 2007-10-01]. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2007. – 6 с.
16. Кодекс цивільного захисту України : станом на 02 жовт. 2012 р. № 5403-VI / Відомості Верховної Ради. – К. : Парлам. вид-во, 2013.
17. Про затвердження Правил безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення : наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 12 черв. 2013 р. № 355.
18. Правила пожежної безпеки в Україні : НАПБ А.01.001:2004.
19. Правила експлуатації вогнегасників : НАПБ Б.01.008:2004.
20. Про затвердження правил безпеки праці під час роботи з паливомастильними матеріалами та спецрідинами : НПАОП 63.23-1.03:2008.

Додаток Б

Таблиця Б.1 – Значення показників пожежної небезпеки речовин, сумішей і технічних продуктів (Б) (ГОСТ 12.1.004-91)

Порядковий номер	Речовина	Характеристики речовини			
		$t_{сп},$ °C	$t_{займ},$ °C	$t_{самозайм},$ °C	нижня концентраційна межа спалаху, г/м ³
1	Анілін	73	–	–	61
2	Ацетон	-18	–	–	38,6
3	Гліцерин	198	–	–	–
4	Бензин А-76	-36	–	–	137
5	Масло трансформаторне	150	–	–	–
6	Скипидар	34	–	–	41,3
7	Алюміній (аерозоль)	–	–	725	40
8	Ебоніт (аерозоль)	–	–	360	7,6
9	Бутан	–	–	460	37,4
10	Бронза	–	–	–	–
11	Антрацит	–	300	500	100-250
12	Торф	–	230	280	–
13	Деревина	–	240-270	350-400	–
14	Бетон	–	–	–	–
15	Спирт	-2	–	750	–
16	Формалін технічний	67	–	435	–
17	Оцтова кислота	38	–	–	–
18	Толуол	4	–	–	38,2
19	Житнє борошно	410	–	–	20-63
20	Вугілля деревне (аерозоль)	–	–	–	68,8

Таблиця Б.2 – Категорії приміщень за пожежною й вибухонебезпекою (ОНТП 24-86)

Категорія приміщення	Характеристика речовин та матеріалів, що знаходяться у приміщенні
А (вибухо-небезпечна)	Горючі гази, легкозаймисті рідини з температурою спалаху не більше 28 °С у такій кількості, що можуть утворювати вибухонебезпечні суміші, при займанні яких розвивається тиск вибуху, що перевищує 5 кПа, а також речовини, які здатні вибухнути і горіти при взаємодії з водою, киснем повітря або один з одним у такій кількості, що розрахунковий тиск перевищує 5 кПа
Б (вибухо-пожежо-небезпечна)	Горючий пил або волокна, легкозаймисті рідини з температурою спалаху більше 28 °С, горючі рідини у такій кількості, що можуть утворювати вибухонебезпечні суміші, при займанні яких виникає розрахунковий тиск вибуху, що перевищує 5 кПа
В (пожежо-небезпечна)	Легкозаймисті, горючі й важкогорючі рідини, тверді горючі та важкогорючі речовини й матеріали, здатні при взаємодії з водою, киснем повітря або один з одним горіти лише за умови, що це приміщення не належить до категорії А чи Б
Г	Негорючі речовини й матеріали в гарячому, розжареному або розплавленому стані, процес обробки яких супроводжується виділенням променевої теплоти, іскор та полум'я, а також горючі гази, рідини та тверді речовини, що спалюються або утилізуються у вигляді палива
Д	Негорючі речовини й матеріали в холодному стані

Таблиця Б.3 – Приклади конструктивних характеристик будівель залежно від ступеня їх вогнестійкості

Ступінь вогнестійкості	Конструктивні характеристики
I	Будівлі зі штучними й захисними конструкціями з природних та штучних кам'яних матеріалів, бетону або залізобетону із застосуванням листових та плиткових негорючих матеріалів
II	Будівлі з несучими й захисними конструкціями з природних та штучних кам'яних матеріалів, бетону або залізобетону із застосуванням листових та плиткових негорючих матеріалів. У покриттях будівель допускається застосовувати незахищені сталеві конструкції
III	Будівлі зі штучними та захисними конструкціями з природних та штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону. Для перекриття допускається застосування дерев'яних конструкцій, захищених штукатуркою або важкогорючими листовими, а також плитковими матеріалами. До елементів покриття висуваються вимоги до меж вогнестійкості та меж розповсюдження полум'я; при цьому елементи покриття з деревини піддаються вогнезахисній обробці
IIIa	Будівлі переважно з каркасною конструктивною схемою, елементи каркаса – зі сталевих незахищених конструкцій. Захисні конструкції – зі сталевих профільованих листів або інших негорючих листових матеріалів з важкогорючим утеплювачем
IIIб	Будівлі переважно одноповерхові з каркасною конструктивною схемою. Елементи каркаса із суцільної або клеєної деревини, до яких застосовувалася вогнезахисна обробка, що обмежує розповсюдження полум'я. Захисні конструкції – з панелей або складені з елементів, які виготовлені із застосуванням деревини або матеріалів на її основі. Деревина та інші горючі матеріали захисних конструкцій повинні бути піддані вогнезахисній обробці або захищені від впливу полум'я та високих температур таким чином, щоб обмежити межу розповсюдження полум'я
IV	Будівлі з несучими й захисними конструкціями із суцільної або клеєної деревини та інших горючих або важкогорючих матеріалів, які захищені від дії полум'я та високих температур штукатуркою або іншими листовими чи плитковими матеріалами. До елементів покриття не висуваються вимоги до меж вогнестійкості та меж розповсюдження полум'я; при цьому елементи покриття з деревини піддаються вогнезахисній обробці
IVa	Будівлі переважно одноповерхові з каркасною конструктивною схемою. Елементи каркаса – із сталевих профільованих листів або інших негорючих матеріалів з горючим утеплювачем
V	Будівлі, до несучих і захисних конструкцій яких не висуваються вимоги щодо меж вогнестійкості та меж розповсюдження полум'я

Таблиця Б.4 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у год) і максимальні межі розповсюдження полум'я по них (у см) для різних ступенів вогнестійкості будівель (СНиП 2.01.02-85)

Ступінь вогнестійкості будівлі	Стіни				Колони	Сходові площадки, балки, косоури, марші сходових кліток	Плити, настили (з утеплювачем), інші несучі конструкції перекриття	Елементи перекриттів	
	Несучі	Самонесучі	Зовнішні несучі	Внутрішні несучі (перегородки)				Плити, настили, прогони	Балки, ферми, арки, рами
I	$\frac{2.5}{0}$	$\frac{1.25}{0}$	$\frac{0.5}{0}$	$\frac{0.5}{0}$	$\frac{2.5}{0}$	$\frac{1}{0}$	$\frac{1}{0}$	$\frac{0.5}{0}$	$\frac{0.5}{0}$
II	$\frac{2}{0}$	$\frac{1}{0}$	$\frac{0.25}{0}$	$\frac{0.25}{0}$	$\frac{2}{0}$	$\frac{1}{0}$	$\frac{0.75}{0}$	$\frac{0.25}{0}$	$\frac{0.25}{0}$
III	$\frac{2}{0}$	$\frac{1}{0}$	$\frac{0.25}{0}$ $\frac{0.5}{0}$	$\frac{0.25}{0}$	$\frac{2}{0}$	$\frac{1}{0}$	$\frac{0.75}{0}$	$\frac{0.25}{\text{н.н.}}$	$\frac{\text{н.н.}}{\text{н.н.}}$
IIIa	$\frac{1}{0}$	$\frac{0.5}{0}$	$\frac{0.25}{40}$	$\frac{0.25}{40}$	$\frac{0.25}{0}$	$\frac{1}{0}$	$\frac{0.25}{0}$	$\frac{0.25}{25}$	$\frac{0.25}{0}$
IIIб	1	0.5	$\frac{0.25}{0}$ $\frac{0.5}{40}$	$\frac{0.25}{40}$	$\frac{1}{40}$	$\frac{0.75}{0}$	$\frac{0.75}{25}$	$\frac{0.25}{0}$ $\frac{0.5}{25/40}$	$\frac{0.75}{25/40}$
IV	$\frac{0.5}{40}$	$\frac{0.25}{40}$	$\frac{0.25}{40}$	$\frac{0.25}{40}$	$\frac{0.5}{40}$	$\frac{0.5}{25}$	$\frac{0.25}{25}$	$\frac{0.25}{\text{н.н.}}$	$\frac{\text{н.н.}}{\text{н.н.}}$
IVa	$\frac{0.5}{40}$	$\frac{0.25}{40}$	$\frac{0.25}{\text{н.н.}}$	$\frac{0.25}{40}$	$\frac{0.25}{0}$	$\frac{0.25}{0}$	$\frac{0.25}{0}$	$\frac{0.25}{\text{н.н.}}$	$\frac{0.25}{0}$
V	Не нормується								

Примітки:

1. У чисельнику вказуються межі вогнестійкості будівельних конструкцій; у знаменнику – межі розповсюдження полум'я по них;

2. У дужках знаменника вказуються межі розповсюдження полум'я для вертикальних ділянок конструкцій;

3. Скорочення «н.н.» означає, що показник не нормується.

Таблиця Б.5 – Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості (СНиП 2.01.02-85)

Протипожежна перешкода	Типи протипожежних перешкод або їх елементів	Мінімальні межі вогнестійкості протипожежних перешкод або їх елементів, год
Протипожежні стіни	1	2.5
	2	0.75
Протипожежні перегородки	1	0.75
	2	0.25
Протипожежні перекриття	1	2.5
	2	1
	3	0.75
Протипожежні вікна і двері	1	1.2
	2	0.6
	3	0.25
Протипожежні ворота, люки, клапани	1	1.2
	2	0.6
Тамбур-жалюзі, елементи тамбур-жалюзі: - протипожежні перегородки; - протипожежні перекриття; - протипожежні двері.	1	0.75
	2	0.75
	3	0.6
Протипожежні зони, елементи зон: - протипожежні стіни, що відділяють зону від приміщень пожежних відсіків; - протипожежні перегородки зовн./внутр.); - колони; - протипожежні перекриття; - елементи перекриття; - зовнішні стіни	1	–
	2	0.75
	2	0.25
	–	–
	3	0.75
	–	0.75
Протипожежні зони. Елементи зон: - елементи покриття, зовнішні стіни; - колони, греблі; - діафрагми	2	–
	–	0.75
	–	0.75
	–	не нормується

Таблиця Б.6 – Ступінь вогнестійкості, допустима кількість поверхів і площа поверху в межах пожежного відсіку будівлі (СНиП 2.09.02-85)

Категорія будівлі (пожежних відсіків)	Допустима кількість поверхів	Ступінь вогнестійкості будівлі	Площа поверху в межах пожежного відсіку, м ² , будівель		
			однопо- верхових	багатоповерхових	
				два поверхи	три поверхи і більше
А і Б	6	I	не обмежу- ється	–	–
А і Б (за винятком будівель нафтопереробної, газової, хімічної та нафтохімічної промисловості)	6 1	II IIIa	Теж 5200	– –	– –
А – будівлі нафтопереробної, газової, хімічної та нафтохімічної промисловості	6 1	II IIIa	не обме- жується 3500	5200 –	3500 –
Б – будівлі нафтопереробної, газової, хімічної та нафтохімічної промисловості	1 1	II IIIa	не обме- жується 3500	10400 –	7800 –
В	8	I-II	не обмежується		
	3	III	5200	3500	2600
	2	IIIa	25000	10400	–
	1	IIIб	15000	–	–
	2	IVa	2600	2000	–
	2	IV	2600	2000	–
	1	V	1200	–	–
Г	10	I і II	не обмежується		
	3	III	6500	5200	3500
	6	IIIa	не обмежується		
	1	IIIб	2000	–	–
	2	IVa	6500	5200	–
	2	IV	3500	2600	–

Таблиця Б.7 – Найбільша відстань до евакуаційного виходу (СНиП 2.01.02-85)

Об'єм приміщення, тис. м ³	Категорія приміщення	Ступінь вогнестійкості будівлі	Відстань, м при щільності людського потоку в загальному проході, чол./м ²		
			до 1	від 1 до 3	від 3 до 5
до 15	А і Б В	I, II, IIIa	40	25	15
		I, II, III, IIIa	100	60	40
		IIIб, IV	70	40	30
		V	50	30	20
30	А і Б В	I, II, IIIa	60	35	25
		I, II, IIIa	145	85	60
		IIIб, IV	100	60	40
40	А і Б В	I, II, IIIa	80	50	35
		I, II, III, IIIa	160	95	65
		IIIб, IV	110	65	45
50	А і Б В	I, II, IIIa,	120	70	50
		I, II, III, IIIa	180	105	75
60 і більше	А і Б В	I, II, IIIa	140	85	60
		I, II, III, IIIa	200	110	85
80 і більше	В	I, II, III, IIIa	240	140	100
незалежно від об'єму	Г і Д	I, II, III, IIIa IIIб, IV V	не обмежується		
			160	95	65
			120	70	50

Таблиця Б.8 – Кількість людей для розрахунку ширини евакуаційних виходів (СНиП 2.01.02-85)

Об'єм приміщення, тис. м ³	Категорія приміщення	Ступінь вогнестійкості будівлі	Кількість людей на 1 м ширини евакуаційного виходу (дверей)
15	А і Б В	I,II,IIIa	45
		I,II,III,IIIa	110
		IIIб,IV	75
		V	55
30	А і Б В	I,II,IIIa	65
		I,II,III,IIIa	155
		IIIб,IV	110
40	А і Б	I,II,IIIa	85
		I,II,III,IIIa	175
		IIIб,IV	120
50	А і Б В	I,II,IIIa	130
		I,II,III,IIIa	195
		IIIб	135
60 і більше	А і Б В	I,II,IIIa	150
		I,II,III,IIIa	220
		IIIб	155
80 і більше	В	I,II,III,IIIa	260
незалежно від об'єму	Г і Д	I,II,III,IIIa	260
		IIIб,IV	180
		V	130

Таблиця Б.9 – Мінімальні відстані між будівлями й спорудами, м (СНиП 2.09.01-85)

Ступінь вогнестійкості будівлі або споруди	Відстань між спорудами або будівлями, м при ступені їх вогнестійкості		
	I і II	III	IV-V
I і II	Не нормується для будівель та споруд з виробництвами категорії Г та Д, для будівель та споруд з виробництвами категорій А, Б, В	9	12
III	9	12	15
IV-V	12	15	18

Таблиця Б.10 – Перелік основних показників пожежної та вибухонебезпеки речовин та матеріалів (ГОСТ 12.1.044-89)

№ показника	Показник	Застосування показників пожежо- та вибухонебезпеки			
		газів	рідин	твердих речовин	пилу
1	Група горючості	+	+	+	+
2	Температура спалаху	-	+	-	-
3	Температура займання	-	+	+	+
4	Температура самозаймання	+	+	+	+
5	Нижня та верхня концентраційні межі розповсюдження полум'я (займання)	+	+	-	+
6	Температурні межі розповсюдження полум'я (займання)	-	+	-	-
7	Температура самонагрівання	-	-	+	+
8	Умови теплового самозаймання	-	-	+	+
9	Мінімальна енергія займання	+	+	-	+
10	Кисневий індекс	-	-	+	-
11	Здатність вибухнути й горіти при взаємодії з водою, киснем повітря та іншими речовинами	+	+	+	+
12	Нормальна швидкість розповсюдження полум'я	+	+	-	-
13	Швидкість вигорання	-	+	-	-
14	Коефіцієнт димоутворення	-	-	+	-
15	Індекс розповсюдження полум'я	-	-	+	-
16	Показник токсичності продуктів горіння полімерних матеріалів	-	-	+	-
17	Мінімальний вибухонебезпечний вміст кисню	+	+	-	+

Примітки:

1. Знак «+» означає застосування, знак «-» незастосування показника;
2. Для пилу визначається лише нижня концентраційна межа розповсюдження полум'я.

3 ВІМІРЮВАННЯ ОПОРУ РОЗТІКАННЯ СТРУМУ ПРИСТРОЇВ ЗАЗЕМЛЕННЯ, ПИТОМОГО ОПОРУ ҐРУНТУ, ІЗОЛЯЦІЇ МЕРЕЖ ТА ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

Мета роботи: ознайомлення з нормуванням допустимих значень опору розтікання струму пристроїв заземлення й опору ізоляції, встановлених допустимими нормами.

Оволодіння методикою вимірювання опору розтікання струму пристроїв заземлення, питомого опору ґрунту та ізоляції мереж й електроустановок з використанням приладів.

3.1 Підготовка звіту

Вивчити теоретичний матеріал і підготувати форму звіту. Засвоєння теоретичного матеріалу контролюється на початку заняття за допомогою контрольних питань. Без знань теорії й відсутності заготовки звіту студент не допускається до виконання лабораторної роботи. Звіт повинен бути зробленим у зошиті або на аркушах формату А4 та містити:

1. Титульний аркуш з назвою лабораторної роботи.
2. Мету роботи.
3. Протоколи експериментів 8.1...8.3 до кожного з трьох завдань з результатами досліджень.
4. Електричні схеми вимірювання методом амперметра-вольтметра та вимірювання ізоляції мережі. Електричні схеми мають бути виконані акуратно, з використанням олівця та лінійки.
5. Розрахункові формули, які необхідні для виконання роботи.
6. Висновки до кожного з протоколів.

3.2 Теоретичні відомості

3.2.1 Розтікання струму в землі

Замикання фазного проводу мережі на корпус будь-якої електроустановки, яка має з'єднання із землею (заземлена), супроводжується протіканням через заземлювач і через землю аварійного струму I_3 , що називається струмом замикання на землю.

На рис. 8.1 показаний заземлювач, розміщений в однорідному ґрунті з питомим опором $\rho = const$. Сталість питомого опору ґрунту змушує струм замикання розтікатися в усі боки рівномірно й симетрично від заземлювача, що зумовлює наявність різниці потенціалів на поверхні землі.

Пристрій заземлення 2 знижує потенціал φ_k на корпусі електроустановки 1 до значення спаду напруги на заземлювачі:

$$\varphi_k = I_3 R_3, \text{ В}, \quad (8.1)$$

де R_3 – опір розтікання струму або опір захисного заземлення, Ом.

Опір заземлювача 2 визначається за формулою [1]:

$$R_3 = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d} = 0,366 \frac{\rho}{l} \ln \frac{4l}{d}, \text{ Ом.} \quad (8.2)$$

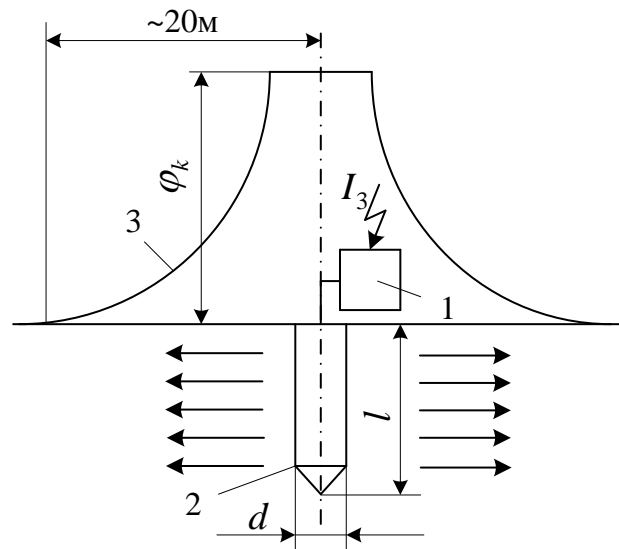


Рисунок 8.1 – Розподіл потенціалів на поверхні землі в зоні розтікання електричного струму: 1 – корпус електроустановки; 2 – заземлювач діаметром d і довжиною l ; 3 – крива розподілу потенціалів φ_k на поверхні землі; φ_k – потенціал, який виникає на корпусі електроустановки; I_3 – струм замикання на землю

На відстані 20 м від місця замикання потенціал на поверхні землі знижується настільки, що можна вважати його нульовим.

Зона землі навколо заземлювача, за межами якої електричний потенціал, зумовлений струмом замикання на землю, може бути умовно прийнятий нульовим, називається зоною розтікання електричного струму.

Висновки.

1. Виходячи з формули (8.1), величина опору захисного заземлення впливає на величину потенціалу, який виникає на корпусі електроустановки, тобто впливає на безпеку людини. Що менший опір захисного заземлення, то менший потенціал виникає на корпусі.

2. Виходячи з формули (8.2), опір розтікання струму захисного заземлення залежить від геометричних розмірів заземлювача: довжини l та його діаметра d .

3.2.2 Захисне заземлення електроустановок

Захисне заземлення – це навмисне електричне з'єднання із землею або її еквівалентом металевих неструмопровідних частин, які можуть опинитися під напругою [2].

Захисне заземлення застосовується у мережах з ізолюваною нейтраллю напруги до 1 кВ, а при напрузі вище 1 кВ – з будь-яким режимом нейтралі [3].

На рис. 8.2 наведена трифазна трипроводова мережа змінного струму з ізолюваною нейтраллю, де показано принцип дії захисного заземлення.

Якщо електроустановка опиниться під напругою в результаті замикання одного з фазних проводів на її корпус, як це показано на рис. 8.2, то потенціал, що виникне на корпусі, буде визначатися величиною спаду напруги на заземлювачі з опором R_3 (див. формулу (8.1)):

$$\varphi_k = I_3 R_3.$$

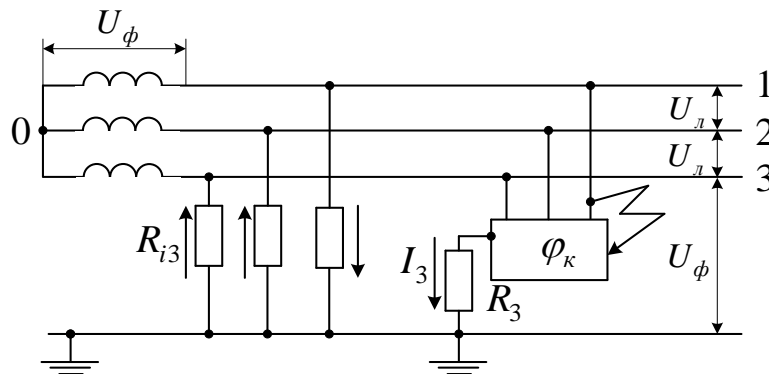


Рисунок 8.2 – Захисне заземлення електроустановки:

- 1, 2, 3 – фазні проводи мережі; 0 – нейтральна (нульова) точка джерела живлення; R_{i3} – активний опір ізоляції фазних проводів відносно землі; R_3 – опір розтікання струму захисного заземлення (опір заземлювача); I_3 – струм замикання на землю; U_l – лінійна напруга мережі; U_ϕ – фазна напруга мережі; φ_k – потенціал на корпусі електроустановки

Виходячи з того, що величина опору захисного заземлення впливає на безпеку людини, її нормують (табл. В.1).

Струмом замикання на землю I_3 називається струм, який стікає у землю через місце замикання. Для мереж напругою до 1 кВ (рис. 8.2) він визначається за формулою:

$$I_3 = \frac{U_\phi}{R_3 + R_{i3}/3}. \quad (8.3)$$

Висновок: виходячи з формули (8.3), величина опору ізоляції фазних проводів відносно землі впливає на величину потенціалу, який виникає на корпусі електроустановки, тобто впливає на безпеку людини. Що більший опір ізоляції фазних проводів відносно землі, то менший потенціал виникає на корпусі.

Згідно з п. 1.7.40 [1] електричні мережі напругою до 1 кВ з ізолюваною нейтраллю використовуються при підвищених вимогах безпеки (пересувні електроустановки, торф'яні розробки, шахти). Для захисту людей від ураження електричним струмом у цьому випадку використовують захисне заземлення у поєднанні з контролем ізоляції мережі.

Виходячи з того, що величина опору ізоляції фазних проводів відносно землі впливає на безпеку людини, її нормують [1]: при напрузі до 1 кВ опір ізоляції розподільних пристроїв, щитів, струмопроводів, силових й освітлювальних електропроводок має бути не меншим, ніж 0,5 МОм.

3.2.3 Занулення електроустановок

Занулення – це навмисне електричне з'єднання з нульовим захисним провідником електричної мережі металевих неструмопровідних частин електроустановки, які можуть опинитися під напругою.

Занулення використовується в електричних мережах напругою до 1 кВ із заземленою нейтраллю [3, 4].

На рис. 8.3 наведена електрична схема занулення електроустановок.

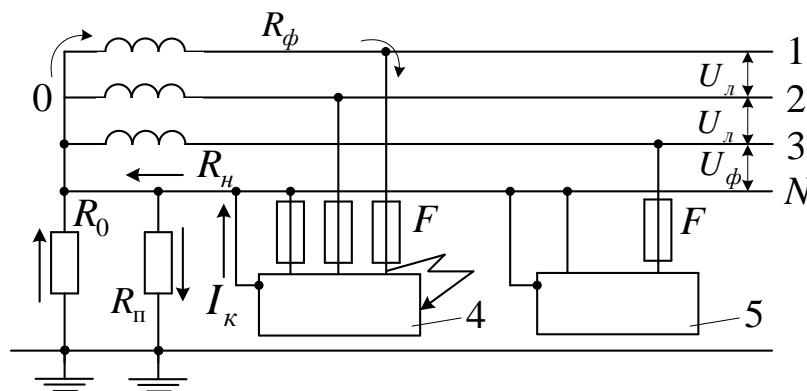


Рисунок 8.3 – Занулення електроустановок:

- N – нульовий провідник мережі; 4 – трифазна електроустановка;
- 5 – однофазна електроустановка; I_k – струм короткого замикання;
- R_0 – опір робочого заземлення нейтралі трансформатора;
- $R_{п}$ – опір повторного заземлення нульового провідника;
- R_n – активний опір нульового проводу;
- R_{ϕ} – активний опір фазного проводу; F – струмовий захист

Занулення перетворює будь-яке замикання на корпус електроустановки в коротке замикання мережі, струми якого достатні для спрацювання струмового захисту F .

У таких мережах провідність ізоляції проводів відносно землі набагато менша за провідність пристрою заземлення нульової точки (R_0) джерела живлення та повторних заземлювачів ($R_{п}$), тому опори проводів відносно землі тут не враховуються.

Якщо електроустановка опиниться під напругою в результаті замикання фазного проводу на її корпус, то виникне коротке замикання й спрацює струмовий захист. До спрацювання струмового захисту на корпусі електроустановки існуватиме потенціал, величина якого, як і в попередньому випадку (див. формулу (8.1), дорівнюватиме [1]:

$$\varphi_k = I_k R_n \frac{R_{п}}{R_0 + R_{п}} \quad (8.4)$$

Якщо використовується декілька повторних заземлювачів, то у формулі (8.4) замість значення $R_{\text{п}}$ підставляється R_e , тобто еквівалентний опір декількох повторних заземлювачів.

Висновок: величини опорів R_0 і $R_{\text{п}}$, що входять у формулу (8.4), впливають на величину потенціалу, який виникає на корпусі електроустановки в аварійній ситуації, тобто впливають на безпеку людини, через що величини опорів R_0 і $R_{\text{п}}$ нормуються (табл. В.2).

Струмовий захист надійно спрацьовує, якщо виконується умова [1]:

$$I_k = k \cdot I_n, \quad (8.5)$$

де k – коефіцієнт кратності струму короткого замикання, значення якого залежить від виду захисту (запобіжники, автоматичні вимикачі);

I_n – номінальний струм плавкої вставки запобіжника або струм розчеплювача автоматичного вимикача, А.

Струм короткого замикання розраховується за формулою [1]:

$$I_k = \frac{U_{\phi}}{z_T / 3 + z_k}, \quad (8.6)$$

де z_T , z_k – комплексні опори обмотки трансформатора й кола (петлі) «фаза–нуль», по якому тече струм короткого замикання (див. рис. 8.3).

Висновок: виходячи з формули (8.6), величина опору кола «фаза–нуль», по якому тече струм короткого замикання, впливає на надійність спрацьовування струмового захисту, тобто впливає на безпеку людини.

Ця характеристика не нормується, але вимірюється при введенні лінії в експлуатацію, після ремонтів і періодично раз на п'ять років. За вимірним значенням розраховується струм короткого замикання за формулою (8.6), а далі за формулою (8.5) перевіряється умова спрацьовування струмового захисту.

3.2.4 Контроль (вимірювання) опорів пристроїв заземлення

Конструктивно заземлювачі можуть бути виконані стрижневими, коли в землю занурюються вертикальні стрижні (електроди), а у вертикальній частині вони з'єднуються (зварюються) горизонтальною штабою (рис. 8.4). Крім цього вони можуть бути сітчастими, якщо в землю горизонтально укладається металевий кутик або круглий метал і зварюється у вигляді ґрат.

Для того, щоб уникнути сезонних коливань питомого опору ґрунту навколо заземлювачів під час його промерзання або просихання, їх занурюють на глибину $h = 0,5 \dots 0,8$ м, як це показано на рис. 8.4.

На підстанціях та електростанціях вимірювання опору пристроїв заземлення і вибіркова перевірка їх стану (розкриття заземлювача для визначення його корозійного зносу і стану контактних з'єднань) проводиться не рідше одного разу в 10 років. Пристрої заземлення промислових підприємств, організацій, установ перевіряють перед введенням в експлуатацію, а потім щорічно. При цьому одного року вимірюється опір заземлення влітку (просихання ґрунту), а іншого – взимку (промерзання ґрунту).

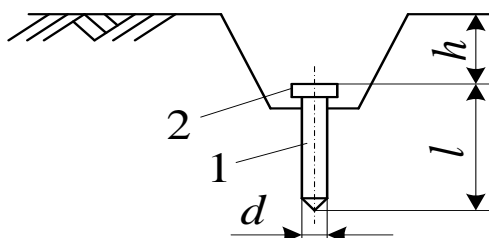


Рисунок 8.4 – Стрижневий заземлювач:

1 – вертикальний електрод; 2 – горизонтальна штаба, l – довжина; d – діаметр вертикального електрода

Усі прилади, призначені для вимірювання опору заземлення, питомого опору ґрунтів й активних опорів ізоляції, працюють за принципом амперметра–вольтметра, електрична схема якого показана на рис. 8.5

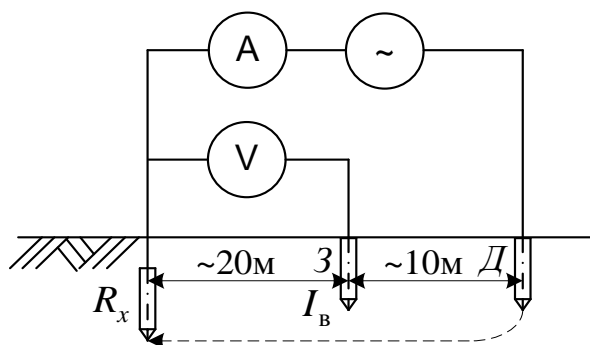


Рисунок 8.5 – Електрична схема

вимірювання опору R_x методом амперметра–вольтметра:

З – електрод-зонд; Д – допоміжний електрод; I_B – вимірюваний струм

Для вимірювання опору розтікання пристроїв заземлення потрібно мати два додаткові металеві електроди-заземлювачі: зонд (З) та допоміжний електрод (Д), які забивають у землю на певній відстані від вимірюваного опору R_x і між собою. Як видно з рис. 8.5, допоміжний електрод вмикається у коло амперметра для того, щоб утворити шлях вимірюваного струму I_B через вимірюваний опір R_x . При цьому на опорі R_x виникає розтікання струму. Щоб знайти величину спаду напруги на опорі R_x , використовують зонд, який вмикається у коло вольтметра і який повинен бути розташований від R_x на відстані не менше як 20 м для того, щоб у місці його розташування був нульовий потенціал (див. розтікання струму в землі).

Для того, щоб вимірюваний струм не пішов через зонд, використовують вольтметри з великим внутрішнім опором. Вимірюваний опір заземлювача визначається за формулою:

$$R_x = \frac{U}{I}, \quad (8.7)$$

де U та I – показники вольтметра й амперметра.

Довжина металевих додаткових електродів має бути не меншою, ніж 500 мм при їх діаметрі не менше 5 мм [6].

Дійсний (розрахунковий) опір заземлювача R_x визначається за формулою:

$$R_p = R_x K_C, \text{ Ом} \quad (8.8)$$

де K_C – коефіцієнт сезонності (табл. В.3), який враховує стан ґрунту в момент вимірювання R_x .

3.2.5 Вимірювання питомого опору ґрунту

Вимірювання питомого опору ґрунту потрібне для розрахунку заземлювачів за формулою (8.2).

Метод контрольного електрода.

Для вимірювання питомого опору ґрунту застосовується також метод амперметра–вольтметра. При цьому замість вимірюваного опору R_x використовується забитий в ґрунт контрольний електрод (труба, стрижень), заглиблений в ґрунт на передбачену глибину закладання проектного заземлювача.

Опір такого заземлювача визначається за формулою (8.2), звідки питомий опір ґрунту:

$$\rho = \frac{R \cdot l}{0,3661 \lg \frac{4l}{d}} = 2,73 \frac{R \cdot l}{\lg \frac{4l}{d}}, \text{ Ом} \cdot \text{м}. \quad (8.9)$$

Схема амперметра–вольтметра (див. рис. 8.5) призначена для вимірювання одиничних заземлювачів. Якщо заземлювачі розташовані за контуром, то відстані між додатковими електродами і R_x змінюються (рис. 8.6).

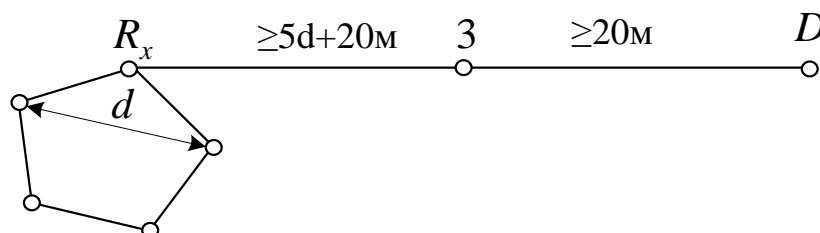


Рисунок 8.6 – Відстані між електродами при вимірюванні контурного (складного) пристрою заземлення

Існують й інші методи вимірювання питомого опору ґрунту. Вимірювання опорів заземлювачів і питомого опору ґрунту здійснюється вимірювачами опору заземлення типів МС-08, М416, Ф4103.

3.2.6 Ізоляція електроустановок

Стан ізоляції характеризують три параметри: електрична міцність, електричний опір та діелектричні втрати. Електрична міцність ізоляції визначається випробуванням на пробій підвищеною напругою, електричний опір – вимірюванням, а діелектричні витрати – спеціальними дослідженнями.

Опір ізоляції періодично вимірюється на вимкнутій електроустановці за допомогою спеціальних приладів – мегомметрів. Мегомметри М1101 випускаються на вимірювану напругу 100, 500, 1000 В; МС-06 – на 2500 В; мегомметри Ф4102/1 – на 100; 500 і 1000 В; Ф4102/2 – на 1000 та 2500 В.

З метою встановлення дефектів і пошкоджень ізоляції відбуваються її випробування: при капітальних (К) та поточних (П) ремонтах і в міжремонтний період (М). Ці випробування проводяться у терміни, які встановлені правилами [4, 8]. Зокрема, вимірювання силових, освітлювальних електропроводок, пристроїв розподілення, щитів та струмопроводів здійснюється: К – не рідше 1 разу в 3 роки; П, М – терміни встановлюються відповідальним за електрогосподарство. При цьому перераховані вище апарати та устаткування мають випробовуватися мегомметром напругою 1000 В, а їх мінімальний опір має бути 0,5 МОм. Ізоляція переносного електрифікованого інструмента та знижувальних трансформаторів випробується 1 раз у 6 місяців мегомметром напругою 500 В, її опір повинен бути не менше 2 МОм (для подвійної ізоляції – 7 МОм).

У мережах з ізольованою нейтраллю (див. рис. 8.2) за допомогою мегомметра може бути виміряний опір ізоляції кожної фази відносно землі та між кожною парою фаз, як це показано на рис. 8.7.

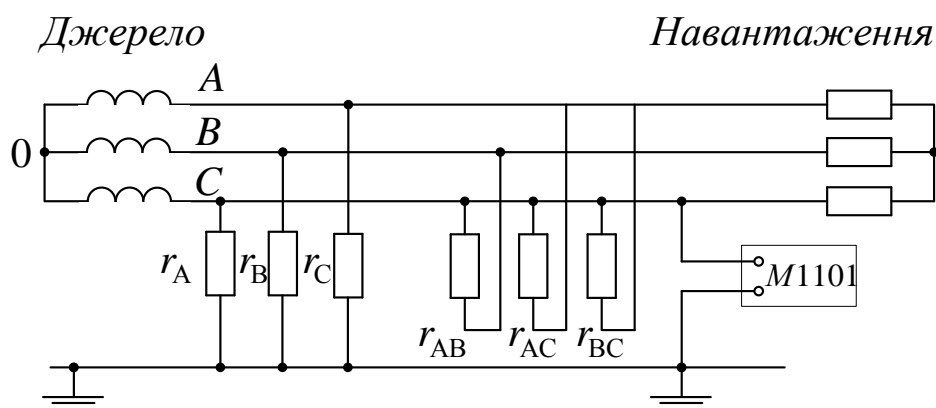


Рисунок 8.7 – Вимірювання опору ізоляції:
 r_A, r_B, r_C – опори ізоляції фаз відносно землі;
 r_{AB}, r_{AC}, r_{BC} – опори ізоляції між фазами

Постійний контроль ізоляції здійснюється у мережах з ізолюваною нейтраллю за рахунок використання приладів на постійному оперативному струмі або вентилях.

3.3 Експериментальна частина

3.3.1 Лабораторний стенд і прилади

Стенд для вимірювання опору пристрою заземлення виконаний на похилій панелі з внутрішнім розведенням проводів і резисторів, що імітують опір розтікання струму пристрою заземлення. Для з'єднання проводів приладу існують штепсельні контакти. Принципова схема підключення відповідає схемі амперметра–вольтметра (див. рис. 8.5).

Електрична схема стенда для вимірювання опору ізоляції мережі (див. рис. 8.7) розміщена на похилій частині панелі. Виводи від мегомметра приєднуються по чергові: один до землі, а інший – до кожної із фаз через спеціальні штепсельні контакти.

Під час виконання лабораторної роботи може бути використано два прилади-вимірювачі опору заземлення або питомого опору ґрунту: МС-08 та М416.

Схеми вимірювання опору заземлення та питомого опору ґрунту приладом МС-08 показані на лабораторному стенді. У приладі МС-08 амперметр і вольтметр замінені струмовою та потенціальною рамками логометра. Постійний струм, що виробляється генератором, при обертанні руків'я із клемми «+» надходить на переривач, де перетворюється у змінний, а потім подається на допоміжний і випробувальний заземлювачі. Повертаючись на переривач, він випрямляється і через струмову рамку логометра потрапляє на клему «-» генератора.

Прилад М416 має чотири затискувачі для під'єднання вимірюваного об'єкта. При вимірюванні опору заземлення або питомого опору ґрунту за схемою амперметра–вольтметра (див. рис. 8.5), затискувачі 1 і 2 мають бути замкнуті перемичкою (рис. 8.8).

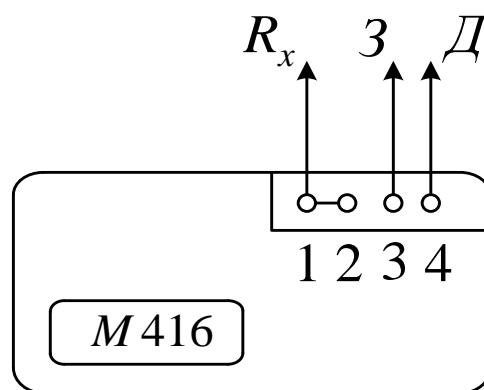


Рисунок 8.8 – Вимірювання R_x вимірювачем опору заземлення М416

У приладі М416 постійний струм від сухих елементів перетворюється у змінний електронним перетворювачем. Із землі струм потрапляє на первинну обмотку трансформатора – це основне коло струму через землю.

Вторинна обмотка під'єднана до змінного каліброваного резистора (реохорда) – це допоміжне коло струму. Схема може забезпечити рівність цих струмів, що досягається зміною опору реохорда, а також напруги між його движком і затискувачем допоміжного заземлювача.

Різниця напруги подається через підсилювач і випрямляч на стрілковий індикатор. Рівність струмів настає при такому положенні рухомого контакту реохорда, при якому напруга на дільниці реохорда до контакту дорівнює спаду напруги на вимірюваному опорі R_x .

Для вимірювання опору ізоляції мереж використовується мегомметр типу М1101м, що має генератор постійного струму з ручним приводом і логометр. Мегомметр може використовуватися лише для вимірювання ізоляції мереж, які не знаходяться під напругою. Перед вимірюванням необхідно перевірити справність мегомметра.

3.3.2 Вимоги промислової безпеки

Стенд не має окремого джерела живлення і не з'єднаний з електричною мережею.

Напруга на розімкнутих зовнішніх колах приладів не перевищує: для МС-08 – 50 В; для М416 – 13 В; для М1101м – 100 В.

У реальних умовах підімкнення всіх видів приладів до діючих електроустановок напругою вище 1 кВ виконується працівниками III групи з електробезпеки в діелектричних рукавичках.

Прилади всіх видів необхідно приєднувати (підключати) за відсутності живлення електроустановок.

3.3.3 Виконання лабораторної роботи

Завдання 8.1

Вимірювання опору заземлювального пристрою розтікання струму

1. Підготувати Протокол вимірювання опору пристрою заземлення з табл. 8.1 для запису результатів вимірювання.

2. Забити в ґрунт допоміжний електрод і зонд відповідно до схеми, показаної на рис. 8.5 (вставити кінці з'єднувальних проводів у гнізда на стенді).

3. Приєднати електроди до приладу згідно зі схемою на панелі стенда (якщо використовується прилад МС-08). При використанні приладу М416 схема приєднання електродів показана на рис. 8.8.

3.1. Використання приладу МС-08.

3.1.1. Відрегулювати прилад (урівноважити опір потенціальної та струмової рамок). Для чого перемикач приладу встановити у положення «Регулювання» та, обертаючи одночасно ручки реостата регулювання та

генератора з частотою близько 120 обертів за хвилину, потрібно домогтися суміщення стрілки індикатора з червоною рисою на вимірювальній шкалі приладу.

3.1.2. Перевести перемикач у положення «Вимірювання». Прилад має три діапазони вимірювання: «X·1», «X·0,1», «X·0,01».

3.1.3. Виміряти опір R_X пристрою заземлення, обертаючи ручку генератора при положенні «Вимірювання» «X·1», «X·0,1» та «X·0,01», а результати вимірювань занести до табл. 8.1.

3.1.4. Залежно від заданої викладачем напруги мережі, режиму нейтралі та умов вимірювання визначити нормований опір пристрою заземлення R_H за табл. В.2 або В.3 і внести його значення до табл. 8.1.

3.1.5. За табл. В.3 визначити коефіцієнт сезонності K_c залежно від стану ґрунту на момент вимірювання R_X і внести його значення до табл. 8.1.

3.1.6. Визначити розрахунковий опір заземлювача R_P за формулою (8.8).

3.1.7. Зробити висновок щодо відповідності розрахункового значення опору R_P нормованому R_H .

Протокол вимірювання опору пристрою заземлення

«___» _____ 20__ р.

Замовник _____

Марка вимірювального приладу _____

Стан погоди протягом останніх трьох днів та в день проведення вимірювань _____

Таблиця 8.1 – Дані вимірювань

Напруга мережі, В. Режим нейтралі джерела живлення	Тип пристрою заземлення. Глибина закладення, довжина, діаметр заземлювача, см	Стан ґрунту при вимірюванні	Коефіцієнт сезонності K_c	Опір, Ом		
				Вимірюваний R_X	Розрахунковий R_P	Нормований R_H

ВИСНОВОК _____

Вимірювання проводили: _____

(підпис) (прізвище, ініціали, посада)

Керівник робіт _____

3.2. Використання приладу М416.

3.2.1. Установити перемикач у положення «Контроль 5Ω », натиснути кнопку й обертанням ручки «Реохорд» встановити стрілку індикатора на нульову позначку. На шкалі реохорда при цьому повинен бути показник 5 Ом .

3.2.2 Незалежно від вибраної схеми вимірювання виконувати в такому порядку:

- а) перемикач В1 установити в положення «Х·1»;
- б) натиснути кнопку і, обертаючи ручку «Реохорд», добитися максимального наближення стрілки індикатора до нуля;
- в) вимірне значення дорівнює добутку показу шкали реохорда на множник. Якщо вимірюваний опір перевищить значення 10 Ом , перемикач встановити у положення «Х5», «Х20» або «Х100» і перевірити наближення стрілки індикатора до нуля (повторити пункт «б»).

Завдання 8.2

Вимірювання питомого опору ґрунту

1. Підготувати Протокол вимірювання питомого опору ґрунту з табл. 8.2 для запису результатів вимірювання.

Протокол вимірювання питомого опору ґрунту

«___»_____20__р.

Замовник_____

Марка вимірювального приладу_____

Таблиця 8.2 – Дані вимірювання

Розміри заземлювача, м		Вимірний опір ґрунту R_X , Ом	Питомий опір ґрунту, Ом·м	
діаметр d	довжина l		за результатом вимірювання, ρ	за табл. В.4, $\rho_{\text{табл}}$

Вимірювання проводили: _____

(підпис) (прізвище, ініціали, посада)

Керівник робіт_____

2. Видалити в місці розташування контрольного електрода-заземлювача рослинний і насипний шари землі.

3. Забити в ґрунт контрольний електрод, зонд та допоміжний електрод.

4. Використання приладу МС-08. Установити стрілку приладу на червону мітку шкали при положенні перемикача «Регулювання» так, як це робилося у завданні 8.1.

5. Перевести перемикач у положення «Вимірювання» і провести вимірювання опору ґрунту R_x , записавши результати вимірювання у табл. 8.2.

6. Розрахувати питомий опір ґрунту, використовуючи формулу (8.9).

7. Використання приладу М416. Вимірювання проводити у тій самій послідовності, що і при вимірюванні опору заземлення, після чого розрахувати питомий опір ґрунту за формулою (8.9).

Завдання 8.3

Вимірювання опору ізоляції мережі

1. Підготувати Протокол вимірювання опору ізоляції мережі з табл. 8.3 для запису результатів вимірювання.

2. Здійснити перевірку справності приладу М1101м у такій послідовності: обертати ручку генератора зі швидкістю приблизно 120 обертів за хвилину при розімкнутих затискувачах, при цьому стрілка має встановитися на відмітку « ∞ » шкали, якщо перемикач знаходиться у положенні «М Ω »; або на відмітку «0» на тій же шкалі, якщо перемикач знаходиться у положенні «к Ω ».

3. Підімкнути мегомметр до мережі за схемою (див. рис. 8.7) і почергово виміряти опори ізоляції фаз відносно землі та міжфазну ізоляцію, заносючи дані вимірювань до табл. 8.3.

4. Зробити висновок щодо відповідності виміряного значення ізоляції нормованому.

Протокол вимірювання опору ізоляції мережі

«___» _____ 20__ р.

Замовник _____

Марка вимірювального приладу _____

Робоча напруга _____

Таблиця 8.3 – Дані вимірювання

Назва устаткування або кабелів, проводів	Переріз і марка	Ізоляція, МОм					
		АО	ВО	СО	АВ	ВС	АС

ВИСНОВОК _____

Вимірювання проводили: _____

(підпис)(прізвище, ініціали, посада)

Керівник робіт _____

3.4 Контрольні запитання

1. Що таке струм замикання на землю?
2. У чому полягає фізична суть процесу стікання струму в землю?
3. Що таке зона розтікання електричного струму?
4. Як визначається величина потенціалу на корпусі електроустановки, якщо відбулося замикання струму на корпус?
5. Від яких геометричних характеристик заземлювача залежить його опір розтікання струму?
6. Що таке захисне заземлення та де воно використовується?
7. Навести електричну схему захисного заземлення.
8. Допустимі (нормовані) значення опорів пристроїв заземлення.
9. Довести, що струм замикання на землю у мережах з ізолюваною нейтраллю залежить від опору ізоляції фаз відносно землі.
10. Коли використовуються мережі з ізолюваною нейтраллю напругою до 1 кВ?
11. Яка мінімальна величина опору ізоляції силових й освітлювальних електропроводок напругою до 1 кВ?
12. Що таке занулення електроустановок та де воно використовується?
13. Зобразити електричну схему занулення й пояснити принцип її дії.
14. Які існують з'єднання лінійних і фазних напруг у мережі із заземленою нейтраллю й відповідні їм допустимі опори заземлення нейтралей трансформаторів (табл. В.2)?
15. За яким критерієм визначається надійність спрацьовування струмового захисту?
16. Вказати терміни й умови перевірки пристроїв заземлення.
17. Пояснити фізичну суть методу амперметра–вольтметра.
18. Навести схему методу амперметра–вольтметра для вимірювання опорів складних пристроїв заземлення.
19. Які параметри характеризують стан ізоляції ?

ЛІТЕРАТУРА

1. Правила устрою електроустановок (ПУЭ). – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 640 с.
2. ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения : ГОСТ 12.1.009:1976. – [Действующий от 1978-01-01]. – М. : Изд-во стандартов, 1981. – 6 с.
3. ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление. Общие требования безопасности : ГОСТ 12.1.030:1981. – [Действующий от 1982-07-01]. – М. : Изд-во стандартов, 1986. – 9 с.

4. Охрана труда в приборостроении : учеб. пособие для вузов / [К. Н. Ткачук, А. В. Слонченко, А. Г. Степанов, Р. В. Сабарно]. – К. : Вища школа, 1980. – 192 с.
5. Мотуско Ф. Я. Защитные устройства в электроустановках / Мотуско Ф. Я. – М. : Энергия, 1973. – 198 с.
6. Измеритель сопротивления заземления М416. Паспорт и инструкция по эксплуатации.
7. Методичні вказівки до лабораторної роботи «Вимірювання опору розтікання струму пристроїв заземлення, питомого опору ґрунту, ізоляції мереж та електроустановок» з дисципліни «Охорона праці» / Уклад. М. А. Клименко. – Вінниця : ВПІ, 1992. – 20 с.
8. Объём и нормы испытания электрооборудования. – М. : Энергия, 1975. – 224 с.
9. Мегомметры типа М1101м. Описание и правила пользования.
10. Правила безпечної роботи з інструментом та пристроями : НПАОП 0.00-1.30-01.
11. Інструкція з облаштування, огляду й вимірювання опору : НПАОП 10.0-5.40-13.
12. Принятие в эксплуатацию законченных строительством объектов электрических сетей напряжением от 0,38 кВ до 110 (150) кВ : СОУ-Н ЕЕ 20.402:2007.

Додаток В

Таблиця В.1 – Нормовані значення опорів пристроїв заземлення [4]

Характеристика електроустановки та об'єкта заземлення	Допустимий опір R_z , Ом (не більше)
1. Електроустановка в мережі напругою понад 1 кВ з ефективно заземленою нейтраллю	0,5
2. Електроустановка в мережі напругою понад 1 кВ з ізольованою нейтраллю: під час використання пристрою заземлення; одночасно для електроустановок напругою до 1 кВ; під час використання пристрою заземлення лише для електроустановок напругою понад 1 кВ	$125/I_z$ $250/I_z$, але не більше 10 Ом
3. Електроустановка в мережі з ізольованою нейтраллю напругою до 1 кВ: потужність генератора живлення або трансформатора більша ніж 100 кВА; потужність менша за 100 кВА	4 10

Примітка. I_z – розрахунковий струм замикання на землю.

Таблиця В.2 – Допустимі опори пристроїв заземлення нейтралей трансформаторів та повторних заземлювачів нульового проводу [4]

Напруга мережі U_n/U_ϕ , В	Заземлення нейтралі трансформатора R_0 , Ом	Повторне заземлення нульового проводу, R_{II} , Ом	
	Еквівалентний опір з урахуванням використання природних заземлювачів та повторних заземлювачів нульовою проводу	Еквівалентний опір усіх повторних заземлювачів	у тому числі опір кожного заземлювача
660/380	2	5	15
380/220	4	10	30
220/127	8	20	60

Таблиця В.3 – Значення коефіцієнтів сезонності K_c [8]

Заземлювач		Глибина закладання, м					
Тип	Розміри	0,7–0,8			0,5		
		K_{C1}	K_{C2}	K_{C3}	K_{C1}	K_{C2}	K_{C3}
Горизонтальні штаби (смуги)	5 м	4,3	3,6	2,9	8,0	6,2	4,4
	20 м	3,6	3,0	2,5	6,5	5,2	3,8
Сітка заземлення або контур	400 м ²	2,6	2,3	2,0	4,6	3,8	3,2
	900 м ²	2,2	2,0	1,8	3,6	3,0	2,7
	3600 м ²	1,8	1,7	1,6	3,0	2,6	2,3
Сітка заземлення / контур з вертикальними електродами	900 м ² , 10 шт.	1,6	1,5	1,4	2,1	1,9	1,8
	3600 м ² , 15 шт.	1,5	1,4	1,3	2,0	1,9	1,7
одиначний вертикальний заземлювач	2,5 м	2,0	1,75	1,5	3,8	3,0	2,3
	3,5 м	1,6	1,4	1,3	2,1	1,9	1,6
	5 м	1,3	1,23	1,15	1,6	1,45	1,3

Примітка. Коефіцієнт сезонності залежить від умов вимірювання: K_{C1} – вимірювання проводилися при дуже зволоженому ґрунті або моменту вимірювання передували опади у великій кількості; K_{C2} – вимірювання проводилося при ґрунті середньої вологості або моменту вимірювання передувала незначна кількість опадів; K_{C3} – вимірювання проводилося при сухому ґрунті.

Таблиця В.4 – Питомі опори ґрунтів, Ом·м [4]

Ґрунт	При вологості 10–12% від маси ґрунту	Можливі межі коливань	Рекомендований для розрахунку
Глина	40	8-70	60
Гравій, щебінь	–	–	2000
Кам'янистий Ґрунт	–	500–8000	4000
Пісок	700	400–2500	500
Садова земля	40	30–60	50
Скалистий Ґрунт	–	10 ⁴ –10 ⁷	–
Суглинок	100	40–150	100
Супісок	300	150–400	300
Торф	20	–	20
Чорнозем	200	9–53	30

Примітка. Під питомим електричним опором ґрунту розуміється опір куба ґрунту з ребром довжиною в 1 м.

4 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ МЕРЕЖ З ІЗОЛЬОВАНОЮ НЕЙТРАЛЛЮ І ГЛУХОЗАЗЕМЛЕНОЮ НЕЙТРАЛЛЮ НАПРУГОЮ ДО 1000 В. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9

Мета роботи: дослідити електричну безпеку й основні захисні засоби від ураження електричним струмом у мережах трифазного змінного струму з глухозаземленою й ізольованою нейтраллю джерела живлення напругою до 1000 В.

4.1 Підготовка звіту

Вивчити теоретичний матеріал і підготувати форму звіту. Засвоєння теоретичного матеріалу контролюється на початку заняття за допомогою контрольних питань. Без знань теорії й за відсутності заготовки звіту студент не допускається до виконання лабораторної роботи. Звіт має бути зробленим у зошиті або на аркушах формату А4 та містити:

1. Титульний аркуш з назвою лабораторної роботи.
2. Мету роботи.
3. Табл. 9.1–9.4 до кожного із чотирьох завдань з результатами досліджень.
4. Електричні схеми до кожного із завдань. Електричні схеми потрібно складати за умовами кожного із завдань, доповнюючи наведені в теоретичних відомостях схеми елементами, які за цими умовами відсутні, або вилучати зайві елементи. Кількість схем:
 - до завдань 9.1 і 9.2 – по одній схемі;
 - до завдання 9.3 – п'ять схем (див. умови завдання 9.3, а також умови експерименту до табл. 9.3);
 - до завдання 9.4 – дві схеми.
5. Висновки робляться до кожного із завдань і лабораторної роботи загалом. У висновках до третього завдання здійснюється оцінювання ефективності використання занулення й захисного заземлення в трифазних мережах із глухозаземленою нейтраллю.

4.2 Теоретичні відомості

4.2.1 Загальні відомості

Електробезпека – це система організаційних і технічних заходів та засобів, яка забезпечує захист людей від шкідливої і небезпечної дії електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля і статичної електрики.

Небезпека ураження електричним струмом залежить від напруги електричної мережі, виду дотику людини до електромережі, режиму роботи електрообладнання й режиму нейтралі джерела живлення (ізольована нейтраль, глухозаземлена нейтраль).

Вид дотику людини може бути: однофазним, коли людина торкається одного фазного проводу мережі, який знаходиться під напругою; двофазним – до двох фазних проводів одночасно.

Режим роботи електрообладнання може бути: нормальний, коли немає пошкоджень ізоляції проводів відносно землі; аварійний, коли ізоляція пошкоджена (один із проводів торкається землі або корпусу).

Правила будови електроустановок (ПБЕ [1]) за умовами електричної безпеки поділяють електроустановки на дві категорії: до 1 кВ і понад 1 кВ.

При напрузі до 1 кВ номінальні лінійні напруги трифазного змінного струму становлять, В: 660, 380, 220.

Крім цього, електричні мережі поділяються за кількістю струмопровідних проводів на однопроводові, двопроводові, трипроводові й чотирипроводові. Однопроводові електричні мережі мають умовний другий провід у вигляді природного або штучного провідника. Наприклад, у трамвайній електричній мережі другим проводом може бути рейка або земля. Двопроводові мережі – це лінії однофазного змінного або постійного струму. Три або чотирипроводові мережі – це трифазні лінії, конструкції яких розглядаються далі.

Передача електричної енергії на значні відстані (від місця її вироблення до споживача) здійснюється за декількома схемами, одна з яких показана на рис. 9.1.

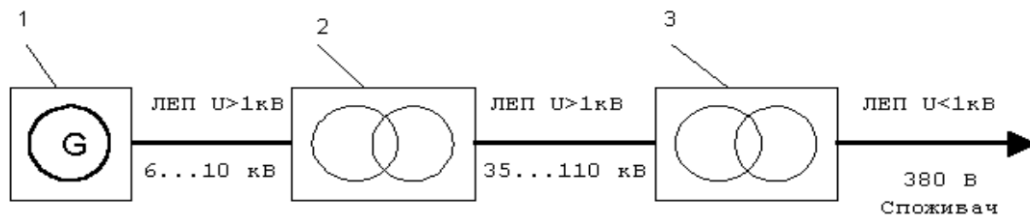


Рисунок 9.1 – Схема передачі електроенергії:

G – генератор; ЛЕП – лінії електропередачі; 1 – електростанція;

2 – підвищувальна трансформаторна підстанція;

3 – знижувальна трансформаторна підстанція

4.2.2 Електричні мережі трифазного змінного струму з ізолюваною нейтраллю

Ізолюваною називають нейтраль трансформатора (нульова точка джерела живлення), яка не приєднана до заземлювального пристрою (ізолювана від землі).

На рис. 9.2 наведена електрична схема трифазної трипроводової мережі з ізолюваною нейтраллю (відповідно до рис. 9.1, це знижувальна трансформаторна підстанція 3 з ЛЕП, яка має напругу до 1 кВ і живить споживачів).

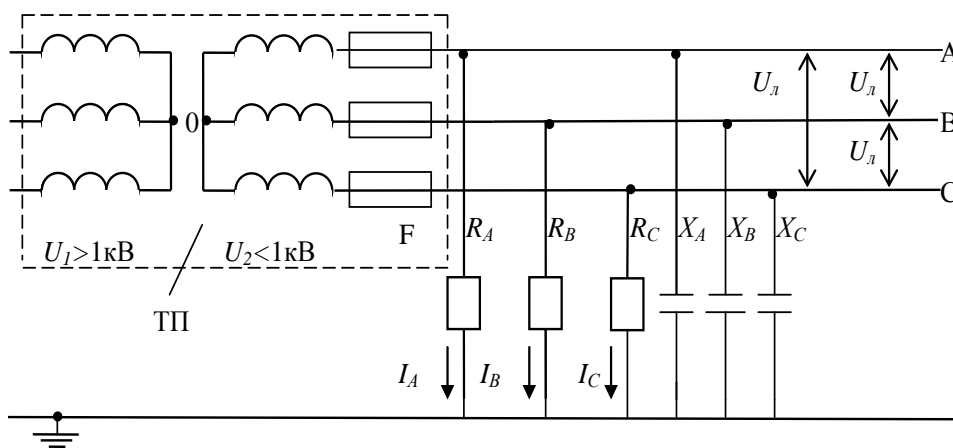


Рисунок 9.2 – Електрична схема трифазної мережі:

ТП – знижувальна трансформаторна підстанція; U_1 , U_2 – відповідно напруги первинної та вторинної обмоток трансформатора;

F – струмовий захист (запобіжники або автоматичні вимикачі);

A, B, C – фазні проводи мережі; U_l – лінійна напруга мережі;

R_A , R_B , R_C – активні опори ізоляції фазних проводів відносно землі;

X_A , X_B , X_C – реактивні опори фазних проводів відносно землі;

I_A , I_B , I_C – струми витoku фазних проводів; 0 – нульова (нейтральна) точка трансформатора

Унаслідок наявності різниці потенціалів між будь-яким фазним проводом і землею протікає дуже малий струм, який називають струмом витoku. Сила цього струму залежить від опору ізоляції фазних проводів відносно землі.

Якщо розглядати електричні мережі напругою до 1 кВ, довжина яких не перевищує 1 км, то ємністю проводів відносно землі можна знехтувати, але це нехтування стосується лише повітряних ліній і не стосується кабельних. Крім того, якщо довжина лінії не перевищує 1 км, то можна вважати, що активні опори проводів відносно землі мають однакові значення, тобто $R_A = R_B = R_C = R_{i3}$; R_{i3} – опір ізоляції фазного проводу відносно землі.

Надалі первинна обмотка трансформатора зображуватися не буде. Дотик людини до корпусу електроустановки, яка не має захисних засобів і опинилася під напругою (відносно землі), як це показано на рис. 9.3 (перший випадок, однофазний дотик), рівнозначний її дотику до неізольованого фазного проводу. Опір тіла людини вмикається паралельно опору ізоляції того проводу, що замкнув на корпус (до якого доторкнулася людина), і послідовно з опорами ізоляції інших проводів, а струм, що протікає через тіло людини, визначається за формулою:

$$I_h = \frac{3U_\phi}{3R_h + R_{i3}} = \frac{\sqrt{3} U_l}{3R_h + R_{i3}}, \text{ А}, \quad (9.1)$$

де R_h – опір тіла людини.

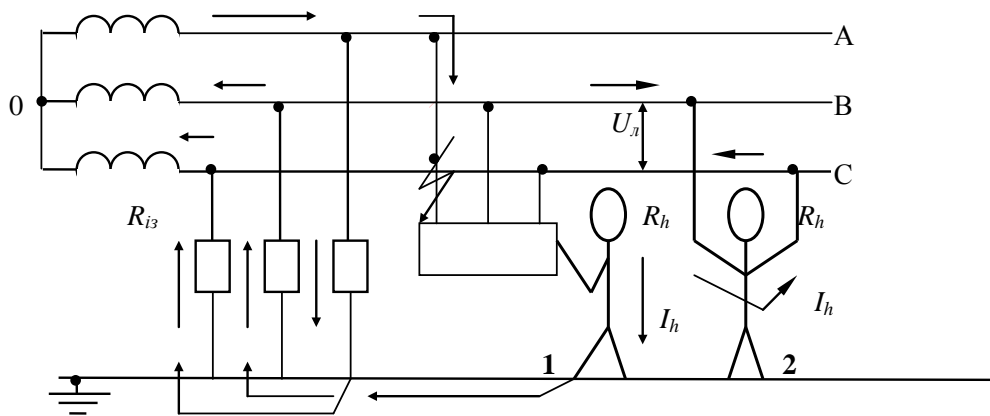


Рисунок 9.3 – Схеми дотику людини при нормальному режимі роботи мережі: 1 – однофазний, 2 – двофазний дотик

Висновки.

1. Виходячи з формули (9.1), у разі однофазного дотику людини до трифазної мережі змінного струму з ізолюваною нейтраллю людина знаходиться під захистом опору ізоляції фазних проводів відносно землі. Тому в таких мережах необхідно підтримувати стан ізоляції проводів на достатньо високому рівні.

2. ПБЕ встановлюють певні нормативні вимоги щодо властивостей ізоляції. Так для силової або освітлювальної електропроводки достатнім вважається опір ізоляції не менше 0,5 МОм.

Приклад 9.1. Визначити величину струму, який тече через тіло людини при однофазному дотику до мережі з ізолюваною нейтраллю. Лінійна напруга мережі $U_n = 380$ В. Опір ізоляції проводів відносно землі $R_{iz} = 500 \cdot 10^3$ Ом. Розрахунковий опір тіла людини $R_h = 1000$ Ом (додаток Г, табл. Г.1, примітки). Згідно з формулою (9.1), отримуємо:

$$I_h = \frac{\sqrt{3} \cdot 380}{(3 \cdot 1 + 500) \cdot 10^3} = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ А} = 1,3 \text{ мА}.$$

Такий струм допустимий для людини у будь-яких випадках (додаток Г, табл. Г.1).

При двофазному дотику (рис. 9.3, випадок 2) людина потрапляє під повну напругу мережі, а струм, який тече через тіло людини, визначається за формулою:

$$I_h = \frac{U_n}{R_h}, \text{ А.} \quad (9.2)$$

Висновки.

1. При двофазному дотику людини до трифазної мережі з ізолюваною централлю, ізоляція проводів відносно землі втрачає свої захисні властивості й людина потрапляє під повну (лінійну) напругу мережі.

2. Зменшити величину струму, який протікає через тіло людини, можна за допомогою штучного підвищення її опору діелектричними рукавицями.

Приклад 9.2. За даними прикладу 9.1 визначити величину струму, що протікає через тіло людини при двофазному дотику до мережі трифазного струму з ізольованою нейтраллю. Відповідно до формули (9.2) маємо:

$$I_h = \frac{380}{1000} = 0,38 \text{ A} = 380 \text{ mA.}$$

Такий змінний струм (50 Гц) особливо небезпечний, він більше ніж у 63 рази перевищує гранично допустимий при тривалості дії більше 1,0 с.

4.2.3 Захисне заземлення електроустановок

Захисне заземлення – навмисне електричне з'єднання із землею або її еквівалентом металевих неструмопровідних частин, які можуть опинитися під напругою.

Сфера використання захисного заземлення – мережі з ізольованою нейтраллю напругою до 1 кВ, а при напрузі вище 1 кВ у будь-яких випадках (незалежно від режиму нейтралі) [2]. На рис. 9.4 показана електрична схема захисного заземлення.

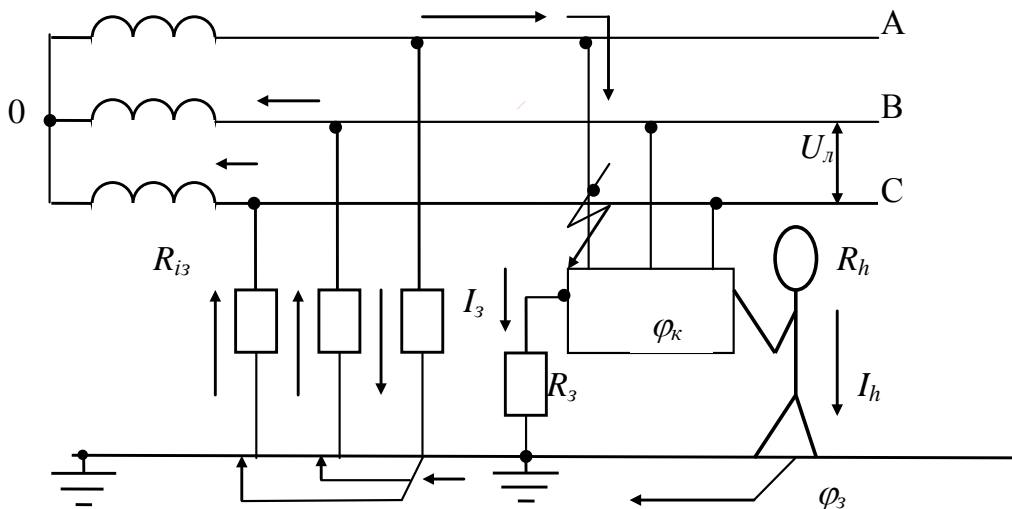


Рисунок 9.4 – Електрична схема захисного заземлення:

R_3 – опір захисного заземлення, I_3 – струм замикання:

φ_k – потенціал корпусу, φ_3 – потенціал землі

Як бачимо на рис. 9.4, опір тіла людини вмикається паралельно опору захисного заземлення. Еквівалентний опір двох паралельних опорів дорівнює:

$$R_e = \frac{R_h \cdot R_3}{R_h + R_3}$$

Потенціал фазного проводу, який замкнув на корпус, зменшується за рахунок спаду напруги на еквівалентному опорі, тобто

$$\varphi_k = I_3 \cdot R_e, \text{ В.} \quad (9.3)$$

Напруга дотику людини дорівнює різниці потенціалів

$$U_\partial = \varphi_k - \varphi_3, \text{ В.} \quad (9.4)$$

Якщо розглядати найбільш несприятливі умови, коли $\varphi_3 = 0$, напруга дотику буде дорівнювати $U_\partial = \varphi_k$. Струм, який протікає через тіло людини, визначається за формулою:

$$I_h = \frac{U_\partial}{R_h} = \frac{\varphi_k}{R_h} = \frac{\sqrt{3} U_l}{3R_h + R_{i3} + \frac{R_h \cdot R_{i3}}{R_3}}, \text{ А.} \quad (9.5)$$

Якщо порівняти формулу (9.5) з формулою (9.1), то можна зробити висновок: струм, який протікає через тіло людини при використанні захисного заземлення, зменшився. Покажемо це на прикладі.

Приклад 9.3. За даними прикладу 9.1 визначити величину струму, який протікає через тіло людини при її дотику до корпусу електроустановки, що має захисне заземлення й опинилася під напругою. Опір захисного заземлення $R_3 = 10$ Ом. За формулою (9.5) отримаємо:

$$I_h = \frac{\sqrt{3} \cdot 380}{(3 \cdot 1 + 500) \cdot 10^3 + \frac{(1 \cdot 500) \cdot 10^3}{10}} = 1,3 \cdot 10^{-5}, \text{ А}$$

Такий струм безпечний для людини у будь-яких випадках. Якщо порівняти цей струм зі струмом однофазного дотику (приклад 9.1), то він зменшився на два порядки.

Висновок. При використанні захисного заземлення у мережах з ізолюваною нейтраллю напругою до 1 кВ відбувається зменшення напруги дотику людини за рахунок спаду напруги на опорі захисного заземлення. Зважаючи на це, опір захисного заземлення повинен мати невелике значення: не вище 4 Ом. Але якщо потужність джерела живлення (генератора або трансформатора) 100 кВА і менше – не вище 10 Ом.

Варто звернути увагу, що мережі з ізолюваною нейтраллю напругою до 1 кВ використовуються лише за підвищених умов електробезпеки (торф'яні розробки, пересувне електрообладнання, шахти [1, п. 1.7.40].

4.2.4 Електричні мережі трифазного змінного струму із заземленою нейтраллю

Заземленою нейтраллю називають нейтраль трансформатора, яка приєднана до заземлювального пристрою безпосередньо або через малий опір.

На рис. 9.5 наведена електрична схема трифазної чотирипроводової мережі із заземленою нейтраллю. Такі мережі дуже поширені при напрузі до 1 кВ і використовуються як у побутових, так і у виробничих умовах.

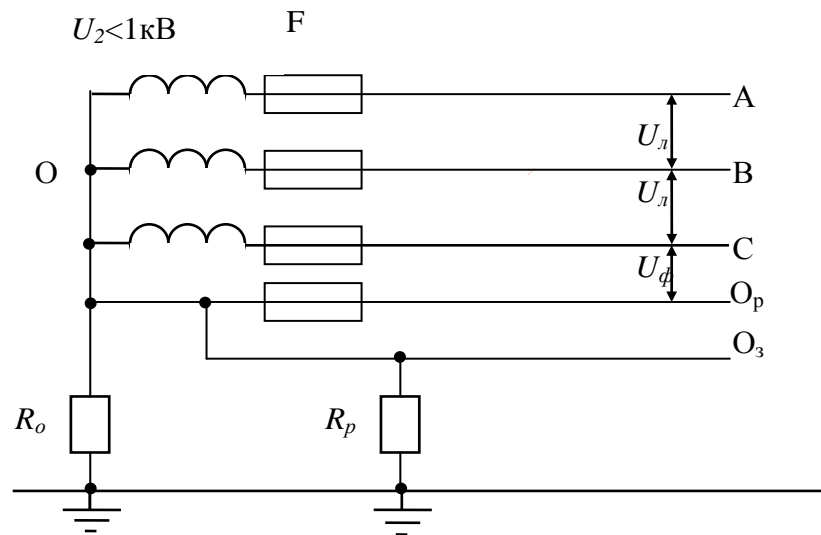


Рисунок 9.5 – Електрична схема трифазної мережі із заземленою нейтраллю:
 O_p – нульовий робочий провідник; O_3 – нульовий захисний провідник;
 R_o – опір заземлення нейтралі трансформатора; R_p – повторне заземлення нульового захисного провідника; U_ϕ – фазна напруга мережі

У таких мережах провідності ізоляції проводів відносно землі набагато менші за провідність заземлюваного пристрою нульової точки трансформатора, тому опори проводів відносно землі тут не враховуються.

Нульовий робочий провідник (O_p) застосовується для живлення споживачів фазною напругою. Отже, у мережах із заземленою нейтраллю можна отримати дві напруги: лінійну (напругу між двома будь-якими фазними проводами) і фазну (напругу між будь-яким фазним і нульовим проводом). Залежність цих напруг така: $U_\phi = \sqrt{3}U_l$. Співвідношення лінійних і фазних напруг (U_l/U_ϕ): 660/380, 380/220, 220/127 В. Найбільш поширеною є напруга 380/220 В.

Другий нульовий провідник (O_3) виконує роль захисного, який з'єднується з корпусом електроустановки. У разі обриву нульового захисного провідника його повторно заземлюють через кожні 250 м і обов'язково на вводі у приміщення.

Відповідно до наказу Міністерства енергетики та електрифікації України від 20.02.1997 р., розмежування нульового проводу на робочий і захисний має здійснюватися під час проектування житлових та громадських будівель.

У виробничих умовах схеми з розмежуванням нульового провідника виконуються дуже рідко. Практично застосовують один нульовий провід, що має повторне заземлення і виконує функції як захисного, так і робочого провідника. У такому разі в нульовому провідникові не має бути пристроїв, які роз'єднують коло: автоматичних вимикачів, запобіжників.

Можливі схеми вмикання людини в електричне коло при нормальному режимі роботи мережі показані на рис. 9.6.

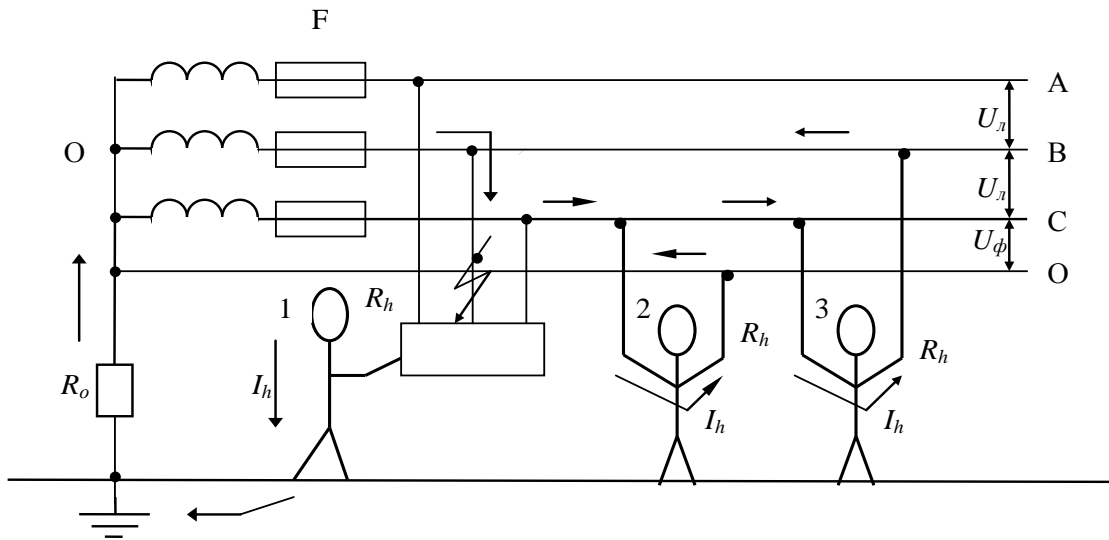


Рисунок 9.6 – Схеми дотику людини при нормальному режимі роботи мережі: випадки 1, 2 – однофазний дотик; випадок 3 – двофазний дотик

Розглянемо випадки дотику людини до електричної мережі.

Перший випадок (однофазний дотик). Дотик людини до корпусу електроустановки, яка не має захисних заходів й опинилася під напругою, рівнозначний її дотику до неізолюваного фазного проводу. Розглянемо найбільш несприятливі умови для людини, коли опорами взуття та підлоги можна знехтувати. Тоді величина струму, який протікає через тіло людини, залежить від послідовно ввімкнутих опорів R_h і R_o , але $R_h \gg R_o$, тому

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h}, \text{ А.} \quad (9.6)$$

Приклад 9.4. Визначити струм, який протікає через тіло людини в першому випадку. Виходячи з того, що $U_\phi = 220 \text{ В}$, а $R_h = 1000 \text{ Ом}$, то, згідно з формулою (9.6), $I_h = 220/1000 = 0,22 \text{ А} = 220 \text{ мА}$.

Такий струм (50 Гц) є дуже небезпечним для людини (додаток Г) при його дії більше 0,2 с, а в побутових умовах – більше 0,08 с. Зменшити величину струму, який протікає через тіло людини, можна за допомогою штучного підвищення її опору діелектричними засобами (рукавиці, електроінструмент з ізолюваними ручками, боти, калоші).

Другий випадок (однофазний дотик). Людина потрапляє під фазну напругу мережі, а струм, який тече через її тіло, визначається за формулою (9.6). Але зменшити струм можна лише за допомогою діелектричних рукавичок, ізоляція людини від землі не впливає на величину струму.

Третій випадок (двофазний дотик). Людина потрапляє під повну (лінійну) напругу мережі, а струм, який тече через її тіло, дорівнює:

$$I_h = \frac{U_l}{R_h}, \text{ А.} \quad (9.7)$$

Така формула була наведена раніше (див. формулу (9.2), приклад 9.2).

Висновки.

1. Однофазний дотик людини в трифазних чотирипроводових мережах із заземленою нейтраллю небезпечніший порівняно з мережами з ізолюваною нейтраллю, тому що ізоляція проводів відносно землі не виконує тут ролі захисту.

2. Двофазний дотик людини є небезпечним незалежно від режиму нейтралі мережі.

3. Через те, що ізоляція проводів відносно землі в мережах із заземленою нейтраллю не впливає на механізм ураження, її можна не контролювати, крім того, можливість одержання двох видів напруги (U_l , U_ϕ) визначає значну перевагу використання трифазних мереж із заземленою нейтраллю.

4.2.5 Занулення електроустановок

У мережах із заземленою нейтраллю напругою до 1 кВ одне захисне заземлення не забезпечує достатньо надійного захисту. Це пояснюється тим, що при замиканні фазного проводу на заземлений корпус електроустановки величина струму замикання обмежується опорами заземлювачів R_3 і R_0 , які з'єднані послідовно (рис. 9.7).

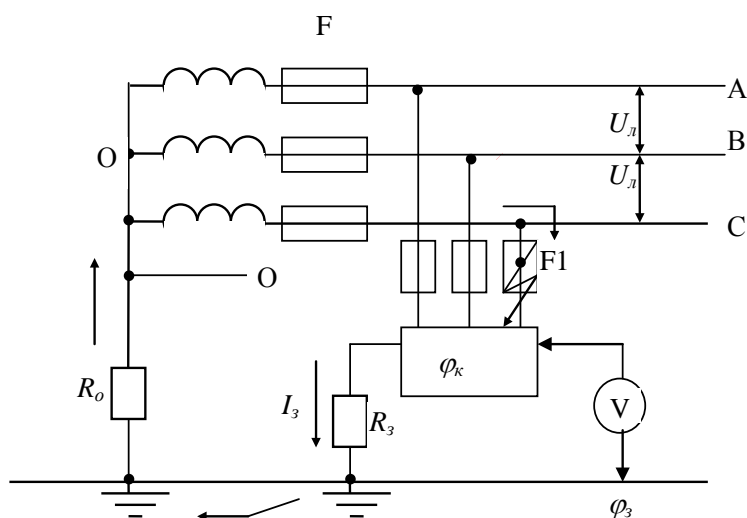


Рисунок 9.7 – Проходження струму замикання I_3 у мережі із заземленою нейтраллю при замиканні фазного проводу на корпус: F1 – струмовий захист електроустановки

У такому разі величини струму може бути недостатньо для спрацьовування струмового захисту (автоматичних вимикачів або запобіжників). Тоді на корпусі електроустановки виникає небезпечна напруга, яка може довго існувати.

Струм замикання визначається за формулою:

$$I_3 = \frac{U_\phi}{R_3 + R_0}, \text{ А.} \quad (9.8)$$

Якщо припустити, що $U_\phi = 220 \text{ В}$, а $R_3 = R_0 = 10 \text{ Ом}$, то струм замикання дорівнюватиме $I_3 = 11 \text{ А}$. Тобто, якщо номінальний струм спрацьовування струмового захисту F або F1 дорівнюватиме більше 11 А, то його спрацьовування не відбудеться.

На корпусі електроустановки з'явиться потенціал φ_k , що дорівнює спаду напруги на опорі заземлювача R_3 , а саме:

$$\varphi_k = I_3 \cdot R_3, \text{ В.} \quad (9.9)$$

Враховуючи формулу (9.8), потенціал корпусу дорівнюватиме:

$$\varphi_k = \frac{U_\phi \cdot R_3}{R_3 + R_0}, \text{ В.} \quad (9.10)$$

Якщо припустити, що $R_3 = R_0$, то

$$\varphi_k = U_\phi / 2, \quad (9.11)$$

а якщо $R_3 > R_0$, то

$$\varphi_k > U_\phi / 2.$$

Приклад 9.5. Визначити, який струм протікає через тіло людини при її дотику до корпусу електроустановки, що живиться від мережі із заземленою нейтраллю, а фазний провід замкнуто на корпус. Фазна напруга $U_\phi = 220 \text{ В}$, $R_3 = R_0$.

Згідно з формулою (9.11) маємо: $\varphi_k = 220/2 = 110 \text{ В}$.

Розглянемо найбільш несприятливі умови, коли потенціал у точці дотику ніг людини дорівнює нулю, тобто $\varphi_3 = 0$ (див. рис. 9.7). Тоді напруга дотику $U_\partial = \varphi_k - \varphi_3 = \varphi_k$. Величина струму, який протікає через тіло людини:

$$I_h = \frac{U_\partial}{R_h} = \frac{\varphi_k}{R_h} = \frac{U_\phi}{2R_h} = \frac{220}{2 \cdot 1000} = 0,11 \text{ А} = 110 \text{ мА.}$$

Така напруга дотику й сила струму небезпечні для людини при тривалості дії струму більше 0,5 с у виробничих умовах і при дії 0,2 с – у побутових.

Висновок. При замиканні фазного проводу на корпус електроустановки в мережах із заземленою нейтраллю напругою до 1 кВ захисне заземлення зменшує потенціал корпусу, але не до безпечної величини, тому в мережах із заземленою нейтраллю напругою до 1 кВ необхідно забезпечити швидке та надійне вимикання пошкоджених електроустановок за рахунок спрацювання струмового захисту.

Для швидкого та надійного спрацювання струмового захисту (запобіжників та автоматичних вимикачів) металеві частини електроустановок, які в нормальних умовах не знаходяться під напругою, з'єднуються з нульовим проводом мережі (нульовим захисним провідником), тобто здійснюють занулення електроустановок.

Занулення – це спеціальне з'єднання металевих частин електроустановок, які в нормальних умовах не знаходяться під напругою, з нульовим проводом мережі (нульовим захисним провідником).

Принцип дії занулення (рис. 9.8) – перетворення будь-якого замикання на корпус електроустановки в коротке замикання мережі, струм якого достатній для спрацювання струмового захисту (насамперед найближчого до місця замикання, тобто струмового захисту F1, що зображений на рис. 9.8).

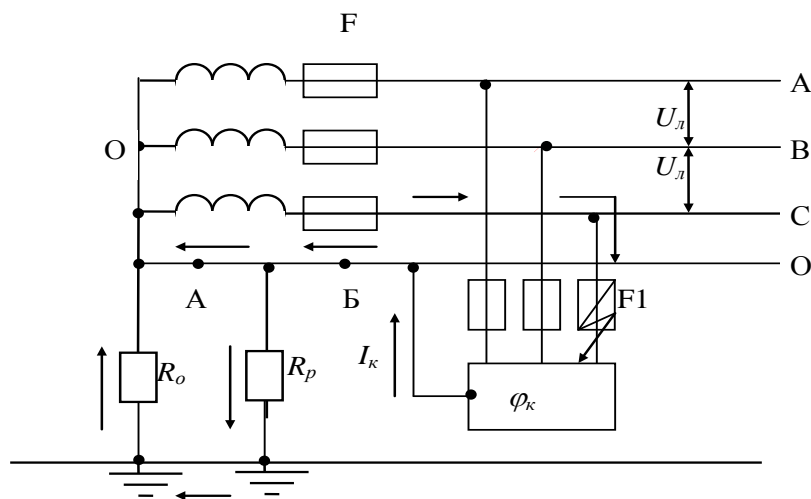


Рисунок 9.8 – Проходження струму короткого замикання I_k при зануленні корпусу

Сфера застосування занулення – це будь-які мережі із заземленою нейтраллю напругою до 1 кВ [2]. Як видно з рис. 9.8, призначення нульового проводу – забезпечення необхідної величини струму короткого замикання для спрацювання струмового захисту за рахунок утворення для цього електричного кола з малим опором.

Повторне заземлення R_n зменшує загальний опір нульового проводу, тому що вмикається паралельно з його основним опором.

Потенціал φ_k , який виникає на корпусі електроустановки при замиканні на корпус, визначається аналогічно формулам (9.3) і (9.9):

$$\varphi_k = I_k \cdot R_n, \text{ В} \quad (9.12)$$

де R_n – загальний (еквівалентний) опір нульового проводу.

Отже, повторне заземлення нульового проводу зменшує напругу на корпусах, приєднаних до нього електроустановок. До речі, якщо виконати захисне заземлення корпусу електроустановки, як це зображено на рис. 9.7, і приєднати корпус до нульового проводу, то захисне заземлення перетворюється на повторне заземлення нульового проводу.

При аварійному режимі роботи, коли відбувається обрив нульового проводу в точці Б (див. рис. 9.8), у разі відсутності повторного заземлення, усі корпуси електроустановок за місцем обриву потрапляють під фазну напругу. Коли обрив відбувається у точці А, то потенціал, що виникає на корпусі електроустановки, визначається аналогічно формулі (9.12), а саме:

$$\varphi_k = I_k \cdot R_p, \text{ В.}$$

Висновки.

1. Повторне заземлення нульового проводу зменшує потенціал корпусу електроустановки при замиканні на нього фазного проводу за рахунок спаду напруги на опорі повторного заземлення, що призводить до зменшення напруги дотику людини.

2. Потенціал, що виникає на корпусі електроустановки при замиканні фазного проводу, не повинен перевищувати гранично допустимих напруг дотику, які наведені в табл. Г.1, при дії струму 1 с і більше: 20 В для змінного струму частотою 50 Гц та 400 Гц у виробничих умовах; 12 В для змінного струму частотою 50 Гц у побутових умовах і 40 В для постійного струму.

4.3 Експериментальна частина

4.3.1 Лабораторний стенд

Стенд виготовлений у вигляді каркаса, встановленого на столі. На лицевій панелі зображена принципова схема з набором органів керування, за допомогою яких можна моделювати необхідні умови й режим роботи трифазних мереж. При цьому висвічуються ті чи інші елементи принципової схеми й змінюються покази приладів при зміні умов виконання експерименту.

Стенд є універсальним і дозволяє моделювати трифазні мережі як з ізольованою, так й із заземленою нейтраллю. Живлення стенда здійснюється від трифазної мережі із заземленою нейтраллю фазною напругою 220 В. З метою забезпечення безпеки експлуатації стенда змінна напруга 220 В перетворена в постійну величиною 27 В.

При вмиканні стенда всі перемикачі й вимикачі мають знаходитися в початковому положенні (вимикачі – у нижньому, а перемикачі – у лівому крайньому).

Під час подачі живлення на стенді загоряється сигнальна лампа «Мережа», на схемі висвічується первинна обмотка трансформатора. Вимикач «Пристр» вмикає фазні проводи А, В, С. За допомогою вимикача « R_o » вмикається заземлення нульової точки вторинної обмотки трансформатора (заземлюється нейтраль трансформатора). Вимикач «0 провід» вмикає нульовий провід мережі. За допомогою вимикача «Занулення» здійснюється занулення корпусу електродвигуна. Вимикач « R_p » з'єднує повторно заземлення з нульовим проводом мережі. За допомогою вимикача « R_z » здійснюється захисне заземлення корпусу електродвигуна.

Вмиканням кнопки «Замикання» імітується замикання однієї із фаз на корпус електроустановки. Різні величини опору тіла людини імітуються перемикачем « R_h », а ізоляції фазних проводів відносно землі – перемикачами « R_a », « R_e » і « R_c ».

Амперметр A_1 показує струм у мережі, а міліамперметр A_2 – струм, що протікає через тіло людини. Вольтметр V показує фазну напругу в мережі, а при замиканні фазного проводу на корпус – напругу дотику людини.

4.3.2 Виконання лабораторної роботи

Завдання 9.1

Дослідити характер зміни струму I_h , що проходить через тіло людини залежно від її опору R_h при однофазному дотику до «пробитого» корпусу електрообладнання в мережі із заземленою нейтраллю без засобів захисту. У такому разі занулення корпусу електродвигуна й повторне заземлення не передбачено, а дотик людини до корпусу пошкодженого електродвигуна буде рівнозначним її дотику до фазного проводу (див. випадок 1 на рис. 9.6 і формулу (9.6).

Підготувати табл. 9.1 для внесення результатів вимірювання.

Таблиця 9.1 – Характер зміни струму через тіло людини I_h залежно від її опору R_h при дотику до електрообладнання без засобів захисту

R_h , Ом	I_h , мА	U_o , В
1000		
2000		
4000		
5000		
10 000		

1. Привести схему в початкове положення, поставивши всі перемикачі в крайнє ліве положення, а вимикачі – у нижнє.

2. Скласти схему трифазної чотирипроводової мережі із заземленою нейтраллю. Для цього вимикач «Пристр» перевести в робоче положення (уверх), заземлити вторинну обмотку трансформатора (нульову точку) вмиканням « R_o » й увімкнути нульовий провід мережі вимикачем «0 провід».

3. Провести імітацію пробою ізоляції на електродвигуні, підключеному до мережі, натиснувши кнопку «Замикання». При цьому починає світитися місце замикання на корпусі електродвигуна і з'являється низка «бігучих вогнів», які відтворюють шлях проходження струму (у даному випадку через людину, землю, опір нейтралі трансформатора R_o і через ту фазу, що замкнула на корпус).

4. Перемикач « R_h », який змінює величину опору тіла людини, перевести в положення, що відповідає розрахунковому опору тіла людини, рівному 1000 Ом.

5. Записати покази вольтметра V , який показує величину напруги дотику, і міліамперметра A_2 , що показує величину струму через тіло людини.

6. Перемикач « R_h » перевести послідовно в наступні положення, щоразу записуючи покази V і A_2 .

7. Привести схему в початкове положення.

8. Зробити висновок щодо зміни струму, який протікає через тіло людини, залежно від її опору.

9. Побудувати графік залежності $I_h = f(R_h)$.

Завдання 9.2

Дослідити характер зміни струму I_h , який проходить через тіло людини залежно від її опору R_h , при дотику до «пробитого» корпусу при його зануленні, а також зміну величини струму I_o , що протікає через нульовий і фазний проводи при підвищеному значенні опору кола «фаза–нуль», по якому тече струм короткого замикання I_k (при нормативному опорі кола «фаза–нуль» відбувається спрацьовування струмового захисту). У такому разі передбачене лише занулення корпусу електродвигуна без повторного заземлення нульового проводу (див. рис. 9.8, до якого треба дорисувати умовне зображення людини й показати напрямок струму через її тіло).

Підготувати табл. 9.2 для внесення результатів вимірювань.

Таблиця 9.2 – Характер зміни струму I_h через тіло людини залежно від її опору R_h при дотику до електрообладнання при його зануленні

R_h , Ом	I_h , мА	I_o , А	U_d , В	Опір кола «фаза–нуль»
1000				Більший нормативного
2000				
4000				
5000				
10 000				
5 000				Нормативний

1. Скласти схему трифазної чотирьохпроводової мережі із заземленою нейтраллю. Для цього вимикач «Пристр» перевести в робоче положення (уверх), заземлити нульову точку вторинної обмотки трансформатора за допомогою вимикача « R_o » й увімкнути нульовий провід мережі вимикачем «0 провід».

2. Занулити корпус електродвигуна, увімкнувши вимикач «Занулення» (уверх). При цьому висвічується лінія, що з'єднує корпус з нульовим проводом.

3. Перемикач « R_h » поставити в положення «1».

4. Натиснути кнопку «Замикання» і прослідкувати шлях струму короткого замикання.

5. Записати покази вольтметра V (напруга дотику U_o), міліамперметра A_2 (струм I_h , який проходить через тіло людини) й амперметра A_1 , який показує у такому разі величину струму короткого замикання, що протікає через фазний і нульовий проводи.

6. Перемикач « R_h » перевести послідовно в наступні положення, щоразу записуючи покази приладів.

7. Як сказано вище, до цього моменту опір кола «фаза–нуль» був штучно підвищений, щоб не спрацював струмовий захист. Приведемо цей параметр у норму. Для цього перемикач « R_h » поставимо в будь-яке положення (наприклад, 5 кОм) і, увімкнувши вимикач «Шунтуючий», зменшимо опір кола «фаза–нуль» до нормативного значення. При цьому має відбуватися спрацювання струмового захисту.

8. Записати покази приладів і привести схему в початкове положення.

9. Зробити висновки щодо зміни струму, який протікає через тіло людини, залежно від її опору при використанні занулення. Що змінилося порівняно з першим завданням?

10. На попередньому графіку (див. п. 9 завдання 9.1) побудувати графік залежності $I_h = f(R_h)$, що відповідає умовам цього завдання.

Завдання 9.3

Окремо дослідити характер зміни струму I_h , що проходить через тіло людини, при її дотику до «пробитого» корпусу при постійному опорі тіла людини ($R = 1000$ Ом).

1. При зануленні корпусу й повторному заземленні нульового проводу (див. рис. 9.8, який треба доповнити зображенням людини й показати напрямком струму через її тіло).

2. При зануленні корпусу, повторному заземленні нульового проводу й захисному заземленні (див. рис. 9.8, який треба доповнити зображенням людини й опором захисного заземлення (див. рис. 9.7), показати напрямки струмів).

3. При обриві нульового проводу в точці А (див. рис. 9.8, який доповнюється зображеннями обриву, людини й напрямком струму. Умови безпеки в цьому випадку рівнозначні з умовами завдання 9.1).

4. При обриві нульового проводу в точці Б (див. рис. 9.8, який доповнюється зображенням обриву, людини й напрямками струму).

5. При використанні тільки захисного заземлення в мережі із заземленою нейтраллю (див. рис. 9.7, який необхідно доповнити зображенням людини й напрямком струму).

Підготувати табл. 9.3 до внесення результатів вимірювань.

Таблиця 9.3 – Характер зміни струму I_h через тіло людини при умовах, які визначені п. 1–5

Умови	I_h , мА	I_o , А	U_o , В
1. Занулення корпусу й повторне заземлення нульового проводу			
2. Занулення корпусу, його заземлення і повторне заземлення нульового проводу			
3. Обрив нульового проводу без повторного заземлення			
4. Обрив нульового проводу з повторним заземленням			
5. Захисне заземлення корпусу			

Умова 1

Скласти схему трифазної чотирипроводової мережі із заземленою нейтраллю, для чого вимикач «Пристр» перевести в робоче положення (уверх):

- заземлити нульову точку вторинної обмотки трансформатора за допомогою вимикача « R_o »;
- увімкнути нульовий провід мережі вимикачем «0 провід»;
- перевести перемикач « R_h » у положення «1», що відповідає розрахунковому опору тіла людини $R_h = 1000$ Ом;
- занулити корпус електродвигуна, увімкнувши вимикач «Занулення»;
- приєднати повторне заземлення до нульового проводу мережі за допомогою вимикача « R_p »;
- натиснути кнопку «Замикання»;
- записати покази приладів (амперметр A_1 показує величину струму короткого замикання, який протікає через нульовий провід; міліамперметр A_2 – струм через тіло людини; вольтметр V – напругу дотику людини);
- зробити висновок щодо зміни величини струму I_h порівняно з випадком, коли $R_h = 1000$ Ом із табл. 9.2.

Умова 2

Зменшити опір повторного заземлення нульового проводу мережі, увімкнувши вимикачем « R_3 » захисне заземлення корпусу, що вмикається паралельно опору повторного заземлення « R_p »:

- записати покази приладів;
- зробити висновки щодо зміни струму I_h порівняно з умовою 1.

Умова 3

Вимкнути повторне заземлення « R_p » і захисне заземлення « R_3 »:

- вимкнути нульовий провід за допомогою вимикача «0 провід», імітуючи обрив нульового проводу;
- записати покази приладів;
- зробити висновки щодо зміни струму I_h порівняно з випадком, коли $R_h = 1000$ Ом із табл. 9.1.

Умова 4

Увімкнути повторне заземлення нульового проводу, використовуючи вимикач « R_p »:

- записати покази приладів;
- зробити висновок щодо зміни струму I_h порівняно з умовою 3.

Умова 5

Скласти схему захисного заземлення корпусу електродвигуна таким чином:

- увімкнути «0 провід»;
- вимкнути «Занулення» і « R_p » (повторне заземлення нульового проводу);
- увімкнути опір заземлювального пристрою вимикачем « R_3 »;
- записати покази приладів;
- привести схему в початкове положення;
- зробити висновок щодо зміни струму I_h у цьому випадку, порівняно з випадком, коли $R_h = 1000$ Ом із табл. 9.2;
- зробити висновок відповідно до табл. 9.3: за яких умов через людину проходить найбільший і найменший струми;
- зробити висновок щодо ефективності використання в трифазних мережах із заземленою нейтраллю захисного заземлення або занулення.

Завдання 9.4

Визначити ефективність опору ізоляції фазних проводів відносно землі при використанні захисного заземлення електрообладнання (див. рис. 9.4) і без нього (див. рис. 9.3, випадок 1) у трифазній мережі з ізолюваною нейтраллю.

Підготувати табл. 9.4 для внесення результатів вимірювань.

Скласти схему трифазної трипроводової мережі з ізолюваною нейтраллю. Для цього увімкнути вимикач «Пристр», перемикач « R_h » поставити в положення «1» ($R_h = 1000$ Ом), перемикачі « R_a », « R_e » та « R_c » (опори фазних проводів відносно землі) поставити в положення 5 кОм.

Увімкнути захисне заземлення корпусу за допомогою вимикача « R_3 » й імітувати замикання на корпус, натиснувши кнопку «Замикання».

Записати покази приладів у п. 1 табл. 9.4.

Вимкнути захисне заземлення вимикачем « R_3 », імітуючи його обрив.

Записати покази приладів у п. 2 табл. 9.4.

Перемикачі « R_a », « R_b » та « R_c » поставити в положення 400 кОм.
 Записати покази приладів у п. 3 табл. 9.4.
 Привести схему в початкове положення й вимкнути стенд.
 Зробити висновки щодо зміни струму I_h .

Таблиця 9.4 – Визначення ефективності опору ізоляції проводів відносно землі в мережах з ізолюваною нейтраллю

Опір ізоляції мережі, кОм	I_h , мА	U_0 , В	Примітка
5			Із захисним заземленням
5			Без захисного заземлення
400			

4.4 Контрольні запитання

1. Дати означення електробезпеки.
2. На які категорії поділяють ПУЕ мережі за напругою?
3. Перерахувати номінальні напруги трифазного змінного струму.
4. Як поділяються електричні мережі за кількістю проводів?
5. Зобразити електричну схему передачі електричної енергії на значній відстані.
6. Зобразити електричну схему трифазної мережі з ізолюваною нейтраллю, показати всі елементи мережі.
7. Зобразити електричну схему однофазного дотику людини в мережі з ізолюваною нейтраллю, показати напрямки струму, зробити висновки.
8. Зобразити електричну схему двофазного дотику людини в мережі з ізолюваною нейтраллю, показати напрямки струмів, зробити висновки.
9. Що таке захисне заземлення, сфера його використання?
10. У чому полягає захисна дія заземлення?
11. Зобразити електричну схему захисного заземлення.
12. Зобразити електричну схему трифазної мережі із заземленою нейтраллю з розмежуванням нульового проводу, показати всі елементи мережі. Де такі мережі використовуються?
13. Зобразити електричні схеми однофазного дотику людини в мережі із заземленою нейтраллю, визначити величини струмів, що протікають через тіло людини.
14. Що таке занулення, сфера його використання, принцип дії?
15. Зобразити електричну схему занулення, пояснити, як вона працює.
16. З якою метою і як виконується повторне заземлення нульового проводу?

17. Чому в мережах із заземленою нейтраллю не можна використувати одне захисне заземлення?

18. Укажіть гранично допустимі значення струму та напруги дотику при тривалості дії струму понад 1,0 с.

19. Укажіть значення розрахункового опору тіла людини.

ЛІТЕРАТУРА

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 640 с.

2. ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление. Общие требования безопасности : ГОСТ 12.1.030:1981. – [Действующий от 1982-07-01]. – М. : Изд-во стандартов, 1986. – 9 с.

3. ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования электробезопасности : ГОСТ 12.2.007.0-75*:1975. – [Действующий от 1978-01-01]. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 17 с.

4. ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов : ГОСТ 12.1.038:1982. – [Действующий от 1983-07-01]. – М. : Изд-во стандартов, 1982. – 5 с.

Додаток Г

Таблиця Г.1 – Гранично допустимі сили струмів I_h та напруги дотику U_δ при аварійному режимі роботи електрообладнання (витяг з ГОСТ 12.1.038-82)

Види струму		Гранично допустимі напруги дотику та сили струмів при тривалості дії, с						
		0,01–0,08	0,1	0,2	0,6	0,8	1,0	більше 1,0
Змінний 50 Гц	U_δ , В	650	500	250	85	65	50	20
	I_h , мА	650	500	250	85	65	50	6
Змінний 400 Гц	U_δ , В	650	500	500	170	130	100	20
	I_h , мА	650	500	500	170	130	100	8
Постійний	U_δ , В	650	500	400	240	220	200	40
	I_h , мА	650	500	400	240	220	200	15
У побутових електроустановках напругою до 1кВ (50 Гц)	U_δ , В	220	200	100	40	25	25	12
	I_h , мА	220	200	100	40	25	25	2

Примітки:

1. Гранично допустимі напруги дотику та струмів встановлені для шляхів струму «рука–рука» і «рука–нога»;

2. Напруга дотику – різниця потенціалів двох точок електричного кола, яких одночасно торкається людина;

3. Сила струму, що протікає через тіло людини, є головним фактором, від якого залежить наслідок ураження. Але цей струм не є постійною величиною, він залежить від багатьох факторів: електричного опору тіла людини; тривалості дії; виду струму та його частоти, якщо він змінний; шляху проходження струму через тіло людини; індивідуальних властивостей організму;

4. Опір тіла людини електричному струму складається із зовнішнього та внутрішнього опорів. Зовнішній опір зумовлений опором верхнього рогового шару (епідермісу), товщина якого становить близько 0,2 мм, але саме він визначає опір тіла людини. При сухій чистій і неушкодженій шкірі електричний опір тіла людини становить 10 ... 1000 кОм.

Якщо шкіра волога або брудна та має механічні ушкодження, її опір різко зменшується і становить близько 0,8 ... 0,9 кОм.

Враховуючи це, розрахункове значення опору тіла людини прийняте для найбільш несприятливих умов, а саме: $R_h = 1000$ Ом.

Під час аналізу умов безпеки експлуатації електричних мереж варто враховувати повний опір (R_n) тіла людини:

$$R_n = R_h + R_{\text{вз}} + R_{\text{осн}}, \text{ Ом,}$$

де $R_{\text{вз}}$ – опір взуття;

$R_{\text{осн}}$ – опір основи (підлоги), на якій стоїть людина.

5 ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ НА РОБОЧИХ МІСЦЯХ. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10

Мета роботи: ознайомитись із нормативними вимогами та особливістю проведення контролю рівнів напруженості електромагнітного поля на робочих місцях.

5.1 Підготовка звіту

Вивчити теоретичний матеріал за темою роботи (засвоєння контролюється на початку заняття за відповідями на контрольні запитання).

Перед заняттям необхідно підготувати бланк звіту (без підготовленого звіту студент не допускається до виконання роботи).

Звіт складається з:

- назви лабораторної роботи;
- мети лабораторної роботи;
- результатів вимірювань та вибору нормованих параметрів напруженості електричного поля (табл. 10.3);
- розрахункових формул;
- графіків залежності величини напруженості та потужності електричного поля від часу дії;
- висновків.

5.2 Теоретичні відомості

5.2.1 Основні поняття

Джерелом електромагнітного випромінювання є різні установки, починаючи від потужних телевізійних та радіотрансляційних станцій, електричних мереж та обладнання надвисокої напруги до установок височастотного нагріву й електрорадіотехнічних приладів різного призначення.

Електромагнітне випромінювання – взаємопов'язані коливання електричного (E , В/м) і магнітного (H , А/м) полів, що створюють електромагнітне поле (ЕМП). Розповсюдження випромінювання здійснюється за допомогою електромагнітних хвиль.

ЕМП у просторі характеризується: вектором електричної напруженості E , вектором магнітної напруженості H , вектором електричної індукції D та вектором магнітної індукції B , що пов'язані між собою рівняннями Максвелла. Ці рівняння виконуються у кожній точці, у якій фізичні властивості середовища неперервні, і мають вигляд:

$$\operatorname{rot} E = -\frac{\partial B}{\partial t}, \quad \operatorname{rot} H = \frac{\partial D}{\partial t}, \quad (10.1)$$

$$\operatorname{div} D = 0 \quad \text{та} \quad \operatorname{div} B = 0. \quad (10.2)$$

Якщо середовище однорідне й не має феромагнітних властивостей, то

$$D = \varepsilon\varepsilon_0 E \quad \text{та} \quad B = \mu\mu_0 H, \quad (10.3)$$

де ε та μ – діелектрична та магнітна проникності середовища.

Вектори напруженості електричного E та магнітного H полів завжди перпендикулярні між собою, а також до напрямку розповсюдження електромагнітних хвиль.

Електромагнітні хвилі чинять вплив на людину завдяки перенесенню енергії:

$$W = P \cdot T, \quad (10.4)$$

де T – час дії електромагнітного поля на людину, год;

P – потужність електромагнітної енергії, яка поглинається поверхнею площею S і перпендикулярна до напрямку розповсюдження електромагнітної хвилі. Потужність визначається за формулою:

$$P = E \cdot H \cdot S, \text{ Вт.} \quad (10.5)$$

Залежно від частоти ЕМП, параметрів та типу випромінювальної системи, а також відстані від джерела випромінювання, робочі місця обслуговувального персоналу можуть опинитися у зоні різного впливу електромагнітного поля.

Залежно від частоти f чи довжини хвилі λ ($\lambda = c/f$, де $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – швидкість розповсюдження електромагнітних хвиль у вакуумі) розрізняють такі види електромагнітних хвиль:

- промислової частоти 50 Гц ($\lambda = 6 \cdot 10^6$ м);
- радіохвилі з частотою від 300 Гц до $3 \cdot 10^{11}$ Гц ($\lambda = 10^6 \div 10^{-3}$ м);
- рентгенівські з частотою $3 \cdot 10^{17} \div 3 \cdot 10^{20}$ Гц (довжиною хвилі від 10^{-9} до 10^{-12} м).

Що вища частота електромагнітного поля, то більші проникні властивості електромагнітної хвилі у живий організм, відповідно і сильніший вплив на організм людини.

Залежно від відстані джерела ЕМП до робочого місця розрізняють три зони: ближню – зону індукції, проміжну – зону інтерференції та дальню – хвильову зону. Параметри, які характеризують ЕМП у цих зонах, різні. Так, з віддаленням від джерела низькочастотного ЕМП магнітна складова H зменшується набагато більше, ніж електрична E , тому дію ЕМП на значній відстані від джерела оцінюють за напруженістю електричного поля.

Напруженість електричного поля, що створюється електроустановками змінного струму, спричиняє виникнення заряду на тілі людини. Він, насамперед, викликає проходження струму через тіло людини. Якщо людина не ізольована від землі (має контакт з нею через взуття, що прово-

дить струм, чи з'єднана з нею), то струм протікатиме через площину дотику людини із землею, а якщо ізольована (стоїть у діелектричному взутті), то струм протікає через ємність між людиною та землею.

Створений на тілі людини заряд, згідно з [3], визначається за формулою:

$$Q_h = E \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{\pi b^2}{N_a}, \quad (10.6)$$

де E – напруженість електричного поля на рівні голови, кВ/м;

N_a – коефіцієнт деполаризації еліпсоїда обертання уздовж осі обертання (тобто осі a);

ε_r – відносна діелектрична проникність півеліпсоїда обертання;

b – довжина малої півосі еліпсоїда обертання.

Даний вираз отримано для випадку, коли людина стоїть безпосередньо на землі у взутті, яке проводить струм, при прийнятих припущеннях:

– тіло людини замінюється рівною йому за висотою і об'ємом половиною витягнутого еліпсоїда обертання з півосями a та b , який стоїть на землі так, що більша його піввісь перпендикулярна до поверхні землі (рис. 10.1);

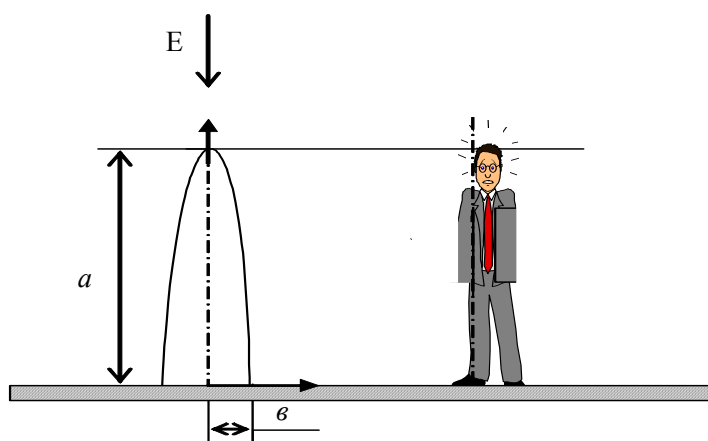


Рисунок 10.1 – Розміщення на землі людини й еквівалентного до неї за об'ємом і висотою еліпсоїда обертання

– півеліпсоїд виконаний з матеріалу, який не проводить струм і має відносну діелектричну проникність ε_r ;

– вектор напруженості зовнішнього електричного поля E вважається направленим вертикально вздовж більшої півосі еліпсоїда;

– електричне поле до внесення у нього півеліпсоїда вважається однорідним.

Для людини середнього зросту еквівалентні параметри еліпсоїда обертання дорівнюють: $a = 1,7$ м, $b = 0,14$ м. Тіло людини належить до середовищ, які проводять струм і мають відносну діелектричну проникність $\varepsilon_r \rightarrow \infty$, тому в розрахунках враховують тільки електричну сталу $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

При прийнятих припущеннях

$$N_a = \frac{\epsilon^2}{a^2} \left(\ln \frac{2a}{\epsilon} - 1 \right). \quad (10.7)$$

Струм індукції, який протікає по тілу людини, I_h , в амперах дорівнює

$$I_h = \omega Q_h = \omega E \epsilon_0 \frac{\pi a^2}{\ln\left(\frac{2a}{\epsilon} - 1\right)}. \quad (10.8)$$

Вираз для енергії, поглинутої тілом людини, можна записати у вигляді

$$W_h = j^2 \cdot V_h \cdot \rho_h \cdot T, \quad (10.9)$$

де $j = I_h / S_{очн}$ – густина струму в півеліпсоїді, еквівалентному тілу людини, А/м²;

$V_h = 2 / 3 \pi a \epsilon^2$ – його об'єм, м³;

ρ_h – питомий опір тіла людини, Ом·м;

T – час знаходження людини в електричному полі, год.

Прийнявши з деяким припущенням, що $S_{очн} = \pi \epsilon^2$, вираз для енергії, яка поглинута тілом людини в електричному полі, набуде вигляду

$$W_h = \frac{2a\rho_h}{3\pi\epsilon^2} I_h^2 T = \frac{2\pi a \epsilon^2 \rho_h \omega^2 \epsilon_0^2 E^2}{3N_a^2} T, \quad (10.10)$$

де $\omega = 2\pi f$ – кутова частота, с⁻¹;

f – частота струму, Гц;

$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м;

$N_a = \frac{\epsilon^2}{a^2} \left(\ln \frac{2a}{\epsilon} - 1 \right)$ – коефіцієнт деполяризації еліпсоїда обертання,

еквівалентний за об'ємом тілу людини вздовж осі обертання a , для середньої людини ($a = 1,7$ м, $\epsilon = 0,14$ м) $N_a = 323$. Питомий опір тіла для середньої людини $\rho_h = 2$ Ом·м.

Даний вираз повністю відповідає умовам, при яких розроблялись гігієнічні нормативи у медико-біологічних експериментах: люди поміщались у вертикально направлене електричне поле з відомою напруженістю.

Аналогічно можна записати вираз для потужності P_h , поглинутої тілом людини, враховуючи що $P_h = \frac{W_h}{T}$.

5.2.2 Дія електромагнітного поля на організм людини

Під час дії електромагнітного поля на організм людини відбувається поглинання енергії поля тканинами тіла, що передусім може призвести до термічних, морфологічних а також функціональних змін у ньому.

Теплова дія ЕМП характеризується підвищенням температури тіла чи локалізованим нагріванням тканин. Нагрівання особливо небезпечно для органів, які мають слабку терморегуляцію (невелику кількість кровоносних судин чи недостатній інтенсивний кровообмін): мозку, очей, органів кишкового тракту (нирок, кишківника).

Морфологічна дія ЕМП проявляється у зміні будови та зовнішнього вигляду тканин тіла людини (від опіків чи структурних змін клітин у найбільш важких випадках до помірних чи слабких, обернених змін чи розладів у діяльності органів або організму загалом).

Функціональна дія ЕМП характеризується передчасною стомлюваністю, сонливістю чи порушеннями сну, головним болем, розладом діяльності нервової, серцево-судинної систем тощо. Під час систематичного опромінювання спостерігаються зміни кров'яного тиску (гіпертонія), нервово-психічні захворювання, зниження полової потенції тощо.

Ступінь змін, які відбуваються у тілі людини під впливом ЕМП, зумовлений величиною поглинутої енергії (тобто значеннями E , H , тривалістю дії T) та значенням довжини електромагнітної хвилі.

Для попередження професійних захворювань установлені допустимі норми випромінювання.

5.2.3 Нормування рівнів опромінювання електричного поля промислової частоти

Нормування рівнів опромінювання електричним полем промислової частоти відбувається згідно з [1]. Стандарт визначає гранично допустимі рівні напруженості електричного поля (ЕП) з частотою 50 Гц для персоналу, який обслуговує електроустановки й знаходиться в зоні впливу ЕП, залежно від часу опромінювання.

Залежність гранично допустимого часу опромінювання від рівнів напруженості електричного поля частотою 50 Гц показана на рис. 10.2. Гранично допустимий рівень напруженості ЕП на робітників становить 25 кВ/м. Перебування в ЕП напруженістю більше 25 кВ/м без використання засобів захисту не допускається.

Перебування в ЕП напруженістю до 5 кВ/м включно допускається протягом усього робочого дня (8 год).

Допустимий час перебування в ЕП напруженістю від 5 до 20 кВ/м включно обчислюють за формулою:

$$T = \frac{50}{E} - 2, \quad (10.11)$$

де T – допустимий час перебування в ЕП при відповідному рівні напруженості, год;

E – напруженість ЕП у зоні, яка контролюється, кВ/м.

При напруженості ЕП від 20 до 25 кВ/м час перебування персоналу в ЕП не повинен перевищувати 10 хв.

Допустимий час перебування в ЕП може бути реалізований одноразово або частинами протягом робочого дня. Решту робочого часу напруженість ЕП не має перевищувати 5 кВ/м.

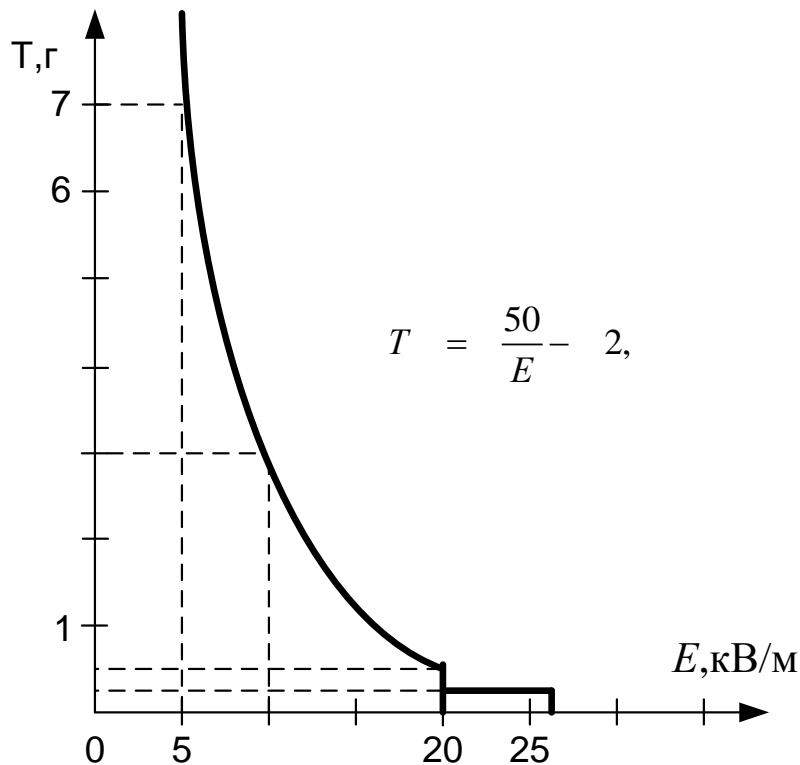


Рисунок 10.2 – Залежність гранично допустимого часу опромінювання від рівнів напруженості ЕП промислової частоти

При знаходженні персоналу протягом робочого дня в зонах з різною напруженістю ЕП час перебування обчислюють за формулою:

$$T_{np} = 8 \left(\frac{t_1}{T_1} + \frac{t_2}{T_2} + \dots + \frac{t_n}{T_n} \right), \quad (10.12)$$

де T_{np} – наведений час, який еквівалентний за біологічним ефектом часу перебування в ЕП нижньої границі нормованої напруженості, год;

t_1, t_2, \dots, t_n – час перебування в контрольованих зонах з напруженістю E_1, E_2, \dots, E_n , год;

T_1, T_2, \dots, T_n – допустимий час перебування в ЕП для відповідних контрольованих зон. Наведений час не повинен перевищувати 8 год.

Примітка. Кількість контрольованих зон визначається перепадом рівнів напруженості ЕП на робочому місці. Різниця у рівнях напруженості ЕП контрольованих зон встановлюється 1 кВ/м.

5.2.4 Вимоги до проведення контролю напруженості електричного поля промислової частоти на робочих місцях

Під час вимірювання напруженості ЕП необхідно дотримуватися встановлених вимогами безпеки при експлуатації електроустановок споживачів гранично допустимих відстаней від оператора й вимірювального приладу до струмопровідних частин, що знаходяться під напругою.

Напруженість ЕП вимірюється в зоні знаходження людини при виконанні нею роботи. В усіх випадках вимірюється напруженість неоднорідного ЕП. При виконанні робіт без підйому на конструкції чи обладнанні вимірювання напруженості ЕП виконуються так:

- за відсутності захисних засобів – на висоті 1,8 м від поверхні землі;
- за наявності колективних засобів захисту – на висоті 0,5; 1,0 і 1,8 м від поверхні землі.

Під час виконання робіт з підйомом на конструкції чи обладнанні (незалежно від наявності засобів захисту) – на висоті 0,5; 1,0 і 1,8 м від робочої поверхні й на відстані 0,5 м від заземлених струмопровідних частин обладнання.

Час перебування в контрольованій зоні встановлюється, виходячи з найбільшого значення вимірюваної напруженості.

Напруженість ЕП на робочих місцях персоналу вимірюється у випадках:

- при прийомі в експлуатацію нових електроустановок;
- під час організації нових робочих місць;
- при зміні конструкції електроустановок і стаціонарних засобів захисту від ЕП;
- під час застосування нових схем комутації;
- у порядку постійного санітарного нагляду – один раз у два роки.

Результати вимірювання потрібно фіксувати в спеціальному журналі або оформляти у вигляді протоколу.

5.2.5 Нормування рівнів опромінювання електромагнітного поля радіочастот

Нормування рівнів опромінювання електромагнітного поля радіочастот проводиться згідно з [2]. Принцип нормування електромагнітного випромінювання радіочастотного діапазону залежить від частоти. У діапазоні частот 60 кГц ... 300 мГц нормується напруженість електричної E та магнітної H складових ЕМП залежно від часу опромінення T , а у діапазоні частот 300 мГц ... 3000 гГц – щільність потоку енергії P_w з урахуванням часу опромінювання.

Гранично допустимі значення встановлених величин ЕМП частотою 60 кГц ... 300 мГц на робочих місцях і місцях можливого знаходження персоналу протягом робочого дня (8 год) не мають перевищувати значень, наведених у табл. 10.1.

Таблиця 10.1 – Гранично допустимі значення встановлених величин ЕМП

Частота ЕМП, Гц	Допустима напруженість	
	електричного поля ($E_{ГД}$, В/м)	магнітного поля ($H_{ГД}$, А/м)
$6 \cdot 10^4 \div 3 \cdot 10^6$	500	50
$3 \cdot 10^6 \div 30 \cdot 10^6$	300	–
$30 \cdot 10^6 \div 300 \cdot 10^6$	80	–

Гранично допустимі значення напруженості електричного та магнітного полів для тривалості дії, відмінної від 8 год, згідно з [2], устанавлюються за формулами:

$$E_{ГД} = \sqrt{\frac{N_E}{T}}; \quad H_{ГД} = \sqrt{\frac{N_H}{T}}, \quad (10.13)$$

де $E_{ГД}$ та $H_{ГД}$ – гранично допустимі значення напруженості електричного та магнітного полів;

N_E та N_H – гранично допустимі навантаження протягом робочого дня, $(В/м)^2 \cdot \text{год}$ та $(А/м)^2 \cdot \text{год}$;

T – час перебування в зоні дії ЕМП, год.

Гранично допустимі навантаження, залежно від частотного діапазону, наведені у табл. 10.2.

Таблиця 10.2 – Гранично допустимі навантаження

Частота ЕМП, Гц	Гранично допустимі енергетичні навантаження	
	електричного поля W_E , (В/м) ² ·год	магнітного поля W_H , (А/м) ² ·год.
$6 \cdot 10^4 \div 3 \cdot 10^6$	20000	200
$3 \cdot 10^6 \div 30 \cdot 10^6$	7000	–
$30 \cdot 10^6 \div 300 \cdot 10^6$	800	–

Гранично допустимі значення щільності потоку електромагнітної енергії $P_{вГД}$ для діапазону частот 300 МГц ... 3000 ГГц знаходяться за формулою:

$$P_{ГД} = \kappa \cdot \frac{W_p}{T}, \text{ Вт/м}^2, \quad (10.14)$$

де W_p – гранично допустима величина енергетичного навантаження ЕМП, що дорівнює $W_p = 2 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{год}$;

k – коефіцієнт послаблення біологічної ефективності, який дорівнює 1 – для всіх випадків дії, за винятком випромінювання обертових та сканувальних антен; 10 – для випадків випромінювання обертових та сканувальних антен.

У всіх випадках максимальне значення щільності потоку електромагнітної енергії не має перевищувати 10 Вт/м^2 .

5.3 Експериментальна частина

5.3.1 Установка для експериментального визначення напруженості електричного поля

Принципова електрична схема високовольтної установки показана на рис. 10.3.

Основними елементами установки є плоский повітряний конденсатор та стенд, що дозволяє отримати змінну напругу частотою 50 Гц у діапазоні $0 \dots 5 \text{ кВ}$.

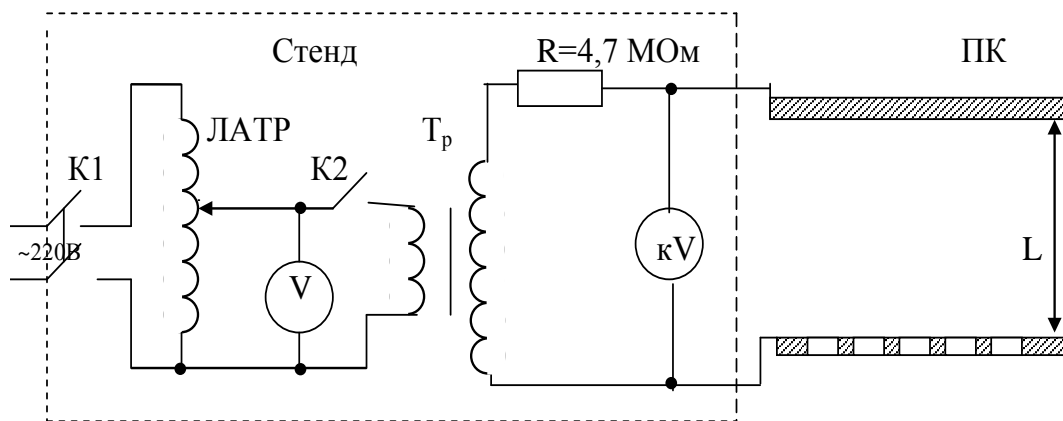


Рисунок 10.3 – Схема установки для визначення напруженості електричного поля

Плоский повітряний конденсатор – збірна конструкція, що складається з двох алюмінієвих пластин розміром $40 \times 40 \times 0,5 \text{ см}$, з'єднаних гетинаксовими стояками довжиною $0,5 \text{ м}$. На нижній пластині є отвори для встановлення плоских виносних датчиків вимірювача напруженості електричного поля.

Стенд складається з високовольтного трансформатора (T_p) ТГМ-1020 УХЛІ 220/10000 В, регулятора напруги (P_n) ЛАТР, вольтметра на 220 В (V) та високовольтного вольтметра (кВ). Для забезпечення електробезпеки високовольтної установки верхня пластина повітряного конденсатора приєднується до джерела високої напруги через опір $4,7 \text{ МОм}$, розміщеного в середині стенда. При цьому найбільший струм замикання виходу високовольтного трансформатора 10 кВ не перевищує $2,2 \text{ мА}$, що значно менше допустимого безпечного струму для людини.

У плоскому повітряному конденсаторі створюється електричне поле промислової частоти з напруженістю E , кВ/м, яка регулюється й визначається за формулою:

$$E = \frac{U}{L}, \quad (10.15)$$

де U – ефективне значення напруги на пластинах конденсатора, В;
 L – відстань між внутрішніми поверхнями пластини.

5.3.2 Опис вимірювальних приладів та методики вимірювання

Контроль відповідності нормам напруженості електричного поля промислової частоти здійснюється вимірювачем напруженості електричного поля RF-HF32D.

Переваги вимірювача:

- показує суму навантаження на відповідному діапазоні частот, без будь-яких розрахунків;
- допомагає знайти ділянки з підвищеним навантаженням напруженості електромагнітного поля;
- має цифровий дисплей у діапазоні вимірювання від 1 мкВт/м² до 1999 мкВт/м².

Технічні характеристики приладу наведені в табл. 10.3.

Таблиця 10.3 – Технічні характеристики вимірювача RF-HF32D

Частотний діапазон	800 МГц – 2,7 ГГц
Діапазон вимірювань	Щільність потоку потужністю 1–1999 мкВт / м ²
Точність	+ / – 6 дБ
Датчик	Логоперіодична антена
Аудіоаналіз	Звуковий сигнал пропорційний напруженості поля
Живлення	10–12 год (залежно від режиму роботи): 9-вольтна лужна марганцева батарея (у комплекті). Індикатор низького заряду, автовимкнення живлення
Вага	0,44 кг

Для вимірювання напруженості електричного поля потрібно:

1. Вставити вилку заземлювального кабелю в спеціальне гніздо вимірювача. Переконайтеся в тому, що кабель заземлення та рука користувача не знаходяться в передній частині вимірювача, оскільки це може вплинути на отриманий результат.
2. Увімкнути вимірювач і встановити його на позначку «E». Установити фільтр для частоти 50 Гц.
3. Під час вимірювання переконайтеся, що на відстані 1 м нікого немає, оскільки це може спотворити результат.

Для вимірювання напруженості магнітного поля потрібно:

1. Увімкнути вимірювач і встановити перемикач «Тип поля» на «М» для змінного струму магнітного поля.

2. Повернути ручку частотного фільтра на «50/60 Гц». Вимірювач не потрібно заземляти, присутні особи не впливають на результати тестування.

Поля змінного струму за допомогою вимірювача можна оцінити не лише за значенням напруженості, а й частоти. RF-HF32D виділяє такі смуги частот:

1. Від 5 Гц до 100 кГц (для загальних вимірювань).

2. 16,7 Гц (залізничні лінії в Німеччині, Франції, Норвегії, Австрії, Швеції та Швейцарії).

3. Від 50 Гц до 100 кГц (електромережа).

4. Від 2 кГц до 100 кГц (побутові електроприлади).

УВАГА! Бережіть RF-HF32D від ударів і струшувань.

5.3.3 Вимоги безпеки

Лабораторну роботу дозволяється виконувати студентам, які пройшли інструктаж з правил безпеки та перевірку знань підготовки до роботи.

1. Вмикання стенда та проведення замірів проводиться тільки в присутності викладача з дотриманням правил безпеки.

2. Висока напруга подається на ПК за допомогою вимикача К2 після того, як буде виставлена необхідна напруга на первинній обмотці трансформатора.

3. У процесі роботи не дозволяється торкатися до верхньої пластини ПК та проводів, що з'єднують стенд з повітряним конденсатором.

5.3.4 Проведення експерименту

Під час проведення експерименту потрібно зробити вимірювання напруженості електричного поля промислової частоти для значень, які задає викладач. Дані заносяться в табл. 10.4.

Таблиця 10.4 – Виміри напруженості електричного поля промислової частоти

Номер варіанта	U_1 , В	U_2 , кВ	E , кВ/м	$T_{дон}$, год.	P_h , 10^{-7} Вт	W_h , 10^{-7} Дж
1						
2						
3						
4						
5						

Вимірювання напруженості електричного поля за допомогою RF-HF32D проводяться в такій послідовності:

1. Провести зовнішній огляд усіх елементів установки: стенда, плоского конденсатора, з'єднувальних проводів та переконатись у їх справності. Звернути увагу на положення вимикачів на стенді – вони мають бути вимкнені.

2. Після ознайомлення з п. 3 «Вимоги безпеки» під'єднати провід живлення стенда до електромережі ~ 220 В.

3. Установити вказану викладачем напругу U_1 на виході ЛАТРа. При цьому тумблер вимикача К2 повинен бути вимкнений. Зміна напруги здійснюється ручкою ЛАТРа, яка встановлена на стенді. Значення вихідної напруги показує вольтметр V.

3. Подати встановлену напругу на вхід високовольтного трансформатора напруги. Для цього необхідно включити тумблер К2. Значення високої напруги U_2 , яка подається на пластини ПК, фіксує кіловольтметр кV.

4. З урахуванням напруги U_2 , яка подається на пластини ПК, за формулою (10.16) обчислити напруженість електричного поля та встановити відповідний діапазон вимірювання RF-HF32D.

5. Виміряти значення напруженості електричного поля та записати у табл. 10.4.

Аналогічно до п. 5 провести вимірювання напруженості для інших значень напруги U_2 , що встановлюються за допомогою ЛАТРа.

5.3.5 Обробка результатів експерименту

Для вимірних значень напруженості електричного поля згідно з п. 5.2.3 визначити нормовані значення часу перебування в електричному полі.

Обчислені значення занести до табл. 10.4.

Визначити значення допустимого часу, потужності та енергії, яку може поглинути тіло людини з урахуванням норм [1], для значень напруженості електричного поля 5, 10, 15, 20 і 25 кВ/м.

Обчислені значення занести до табл. 10.4.

Побудувати залежність допустимого часу перебування людини в електричному полі залежно від потужності, поглинутої її тілом [1].

5.4 Контрольні запитання

1. Що таке електромагнітне поле, його основні джерела?
2. Якими параметрами характеризується електромагнітне поле?
3. Як впливає електромагнітне поле на організм людини й від чого залежать наслідки його впливу?
4. Як нормуються рівні опромінювання ЕП промислової частоти?
5. Визначити допустимий час перебування людини в ЕП промислової частоти для значень напруженості 5, 10, 20 і 25 кВ/м.
6. Як нормуються рівні опромінювання ЕМП радіочастот?
7. Якими приладами можна виміряти параметри ЕМП?
8. У якому випадку забороняється проведення робіт в ЕМП?

ЛІТЕРАТУРА

1. ССБТ. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах : ГОСТ 12.1.002:1984. – [Действующий от 1986-01-01]. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 6 с.
2. ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля : ГОСТ 12.1.006:1984. – [Действующий от 1986-01-01]. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 5 с.
3. Долин П. А. Основы техники безопасности в электроустановках / Долин П. А. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 448 с.
4. Безопасность труда в промышленности / [К. Н. Ткачук, П. Я. Галушко, Р. В. Сабарно и др.]. – К. : Техніка, 1982. – 230 с.
5. Про ратифікацію 1981 року Конвенції Міжнародної організації праці про безпеку й гігієну праці та виробниче середовище № 155.
6. Про затвердження Технічного регламенту засобів індивідуального захисту : Постанова Кабінету Міністрів України від 27 серп. 2008 р. № 761.
7. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів : НПАОП 40.1-1.21-98.
8. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів : ДСанПіН 3.3.6-096-2002.
9. Санітарно-гігієнічні норми допустимої напруженості електростатичного поля : ГН 1757-77.
10. Про затвердження Державних санітарних норм та правил при роботі з джерелами електромагнітних полів : наказ Міністерства охорони здоров'я України від 18 груд. 2002 р. № 476.

6 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ МЕРЕЖ ІЗ ГЛУХОЗАЗЕМЛЕНОЮ НЕЙТРАЛІО НАПРУГОЮ ДО 1000 В. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 11

Мета роботи: дослідити електричну безпеку й основні захисні засоби від ураження електричним струмом у мережах трифазного змінного струму з глухозаземленою нейтраллю джерела живлення напругою до 1000 В.

6.1 Підготовка звіту

Вивчити теоретичний матеріал і підготувати форму звіту. Засвоєння теоретичного матеріалу контролюється на початку заняття за допомогою контрольних питань. Без знань теорії та за відсутності заготовки звіту студент не допускається до виконання лабораторної роботи. Звіт повинен бути зробленим у зошиті або на аркушах формату А4 та містити:

1. Титульний аркуш з назвою лабораторної роботи.
2. Мету роботи.
3. Табл. 11.1–11.3 до кожного з трьох завдань з результатами досліджень.
4. Електричні схеми до кожного із завдань. Електричні схеми потрібно складати за умовами кожного із завдань, доповнюючи наведені в теоретичних відомостях схеми елементами, які за цими умовами відсутні, або вилучаючи зайві елементи. Кількість схем:
 - до завдань 11.1 і 11.2 – по одній схемі;
 - до завдання 11.3 – п'ять схем (див. умови завдання 11.3, а також умови експерименту до табл. 11.3).
5. Висновки робляться до кожного із завдань і лабораторної роботи загалом. У висновках до третього завдання здійснюється оцінювання ефективності використання занулення й захисного заземлення в трифазних мережах із глухозаземленою нейтраллю.

6.2 Теоретичні відомості

6.2.1 Загальні відомості

Електробезпека – це система організаційних і технічних заходів та засобів, яка забезпечує захист людей від шкідливої й небезпечної дії електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля й статичної електрики.

Небезпека ураження електричним струмом залежить від напруги електричної мережі, виду дотику людини до електромережі, режиму роботи електрообладнання й режиму нейтралі джерела живлення (ізолювана нейтраль, глухозаземлена нейтраль).

Вид дотику людини може бути:

- однофазним, коли людина торкається одного фазного проводу мережі, що знаходиться під напругою;

- двофазним – до двох фазних проводів одночасно.

Режим роботи електрообладнання може бути:

- нормальним, коли немає пошкоджень ізоляції проводів відносно землі;

- аварійним, коли ізоляція пошкоджена (один із проводів торкається землі або корпусу).

Правила будови електроустановок (ПБЕ [1]) за умовами електричної безпеки поділяють електроустановки на дві категорії: до 1 кВ і понад 1 кВ.

При напрузі до 1 кВ номінальні лінійні напруги трифазного змінного струму становлять, В: 660, 380, 220.

Крім цього, електричні мережі поділяються за кількістю проводів на: однопроводові, двопроводові, трипроводові й чотирипроводові. Однопроводові електричні мережі мають умовний другий провід у вигляді природного або штучного провідника. Зокрема, у трамвайній електричній мережі другим проводом може бути рейка або земля. Двопроводові мережі – це лінії однофазного змінного або постійного струму. Три- або чотирипроводові мережі – це трифазні лінії, конструкції яких розглядаються далі.

6.2.2 Електричні мережі трифазного змінного струму із заземленою нейтраллю

Заземленою нейтраллю називають нейтраль трансформатора, яка приєднана до пристрою заземлення безпосередньо або через малий опір.

На рис 11.1 наведена електрична схема трифазної чотирипроводової мережі із заземленою нейтраллю. Такі мережі є основними при напрузі до 1 кВ і використовуються як у побутових, так й у виробничих умовах.

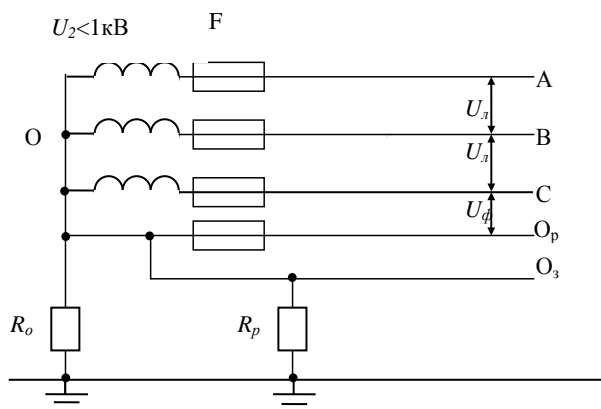


Рисунок 11.1 – Електрична схема трифазної мережі із заземленою нейтраллю: O_p – нульовий робочий провідник; O₃ – нульовий захисний провідник; R_o – опір заземлення нейтралі трансформатора; R_p – повторне заземлення нульового захисного провідника; U_φ – фазна напруга мережі

У таких мережах провідності ізоляції проводів відносно землі набагато менші за провідність пристрою заземлення нульової точки трансформатора, тому опори проводів відносно землі тут не враховуються. Нульовий робочий провідник (O_p) застосовується для живлення споживачів фазною напругою. Отже, у мережах із заземленою нейтраллю можна отримати дві напруги: лінійну (напруга між двома будь-якими фазними проводами) і фазну (напруга між будь-яким фазним та нульовим проводами). Залежність цих напруг така: $U_\phi = \sqrt{3}U_\phi$. Відношення лінійних і фазних напруг (U_ϕ/U_ϕ): 660/380, 380/220, 220/127 В. Найбільш поширеною є напруга 380/220 В.

Другий нульовий провідник (O_3) виконує роль захисного, який з'єднується з корпусом електроустановки. На випадок обриву нульового захисного провідника його повторно заземлюють через кожні 250 м і обов'язково на вводі у будівлю.

Розмежування нульового проводу на робочий і захисний має здійснюватися під час проектування житлових та громадських будівель.

У виробничих умовах схеми із розмежуванням нульового провідника виконуються дуже рідко. Практично застосовують один нульовий провід, що має повторне заземлення і виконує функції як захисного, так і робочого провідника. У цьому випадку у нульовому провіднику не повинно бути пристроїв, які роз'єднують коло: автоматичних вимикачів, запобіжників.

На рис. 11.2 показані можливі варіанти дотику людини до електричної мережі при її нормальному режимі роботи.

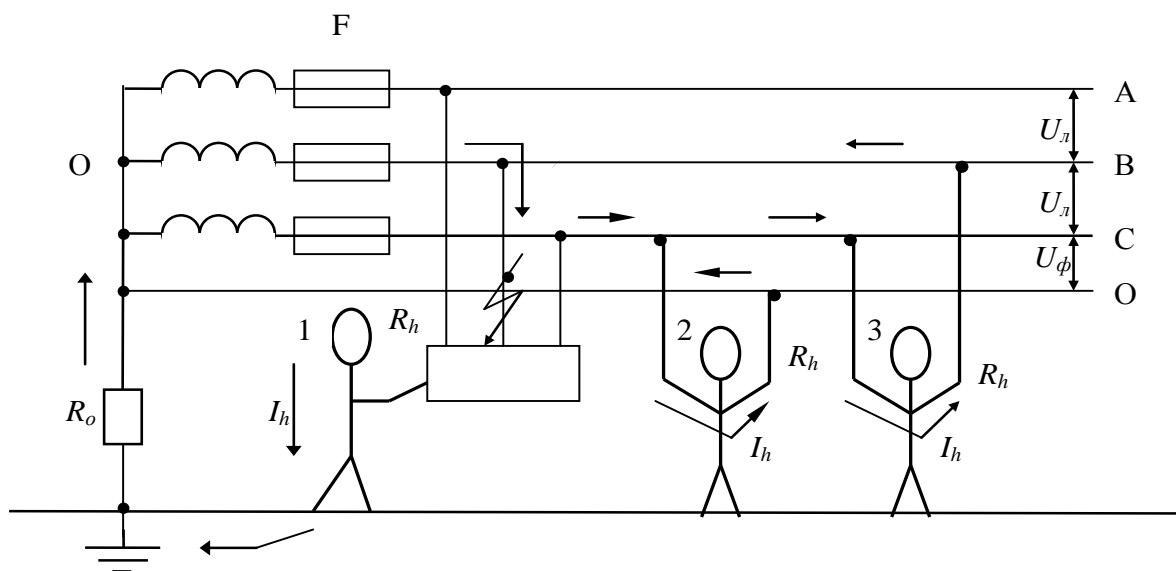


Рисунок 11.2 – Схеми дотику людини при нормальному режимі роботи мережі: випадки 1, 2 – однофазний дотик; випадок 3 – двофазний дотик

Перший випадок (однофазний дотик). Дотик людини до корпусу електроустановки, яка не має захисних заходів та опинилася під напругою, рівнозначний її дотику до неізольованого фазного проводу.

Розглянемо найбільш несприятливі умови для людини, коли опорами взуття й підлоги можна знехтувати. Тоді величина струму, який тече через тіло людини, залежить від послідовно ввімкнутих опорів R_h і R_0 , але $R_h \gg R_0$, тому

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h}, \text{ А.} \quad (11.1)$$

Приклад 11.1. Визначити струм, який протікає через тіло людини в першому випадку. Якщо покласти, що $U_\phi = 220 \text{ В}$, а $R_h = 1000 \text{ Ом}$, то, згідно з формулою (11.1), $I_h = 220/1000 = 0,22 \text{ А} = 220 \text{ мА}$.

Такий струм (50 Гц) є дуже небезпечним для людини (табл. Д.1) при його дії більше 0,2 с, а в побутових умовах – більше 0,08 с. Зменшити величину струму, який проходить через тіло людини, можна за допомогою штучного підвищення її опору діелектричними засобами (рукавиці, електроінструмент з ізольованими ручками, боти, калоші).

Другий випадок (однофазний дотик). Людина потрапляє під фазну напругу мережі, а струм, що протікає через її тіло, визначається за формулою (11.1). Але зменшити струм можна лише за допомогою діелектричних рукавичок, ізолювання людини від землі не впливає на величину струму.

Третій випадок (двофазний дотик). Людина потрапляє під повну (лінійну) напругу мережі, а струм, що проходить через її тіло, дорівнює:

$$I_h = \frac{U_\lambda}{R_h}, \text{ А.} \quad (11.2)$$

Висновки.

1. Через те, що ізоляція проводів відносно землі в мережах із заземленою нейтраллю не впливає на механізм ураження, її можна не контролювати, крім того, можливість одержання двох видів напруги (U_λ , U_ϕ) визначає значну перевагу використання трифазних мереж із заземленою нейтраллю.

2. Двофазний дотик людини є небезпечним незалежно від режиму нейтралі мережі.

3. Однофазний дотик людини в трифазних чотирипроводових мережах із заземленою нейтраллю небезпечніший порівняно з мережами з ізольованою нейтраллю, тому що ізоляція проводів відносно землі не виконує тут ролі захисту.

В електроустановках напругою до 1000 В з глухозаземленою нейтраллю має бути виконане занулення. Застосування в таких електроустановках заземлення корпусів електроприладів без їх занулення не допускається [1].

6.2.3 Занулення електроустановок

Для швидкого та надійного спрацьовування струмового захисту (запобіжників та автоматичних вимикачів) металеві частини електроустановок, які в нормальних умовах не знаходяться під напругою, з'єднуються з нульовим проводом мережі (нульовим захисним провідником), тобто здійснюють занулення електроустановок.

Занулення – це навмисне з'єднання металевих частин електроустановок, які в нормальних умовах не знаходяться під напругою, з нульовим проводом мережі (нульовим захисним провідником).

Принцип дії занулення (рис. 11.3) – перетворення будь-якого замикання на корпус електроустановки в коротке замикання мережі, струм якого достатній для спрацьовування насамперед струмового захисту, найближчого до місця замикання, тобто струмового захисту F1, що зображений на рис. 11.3

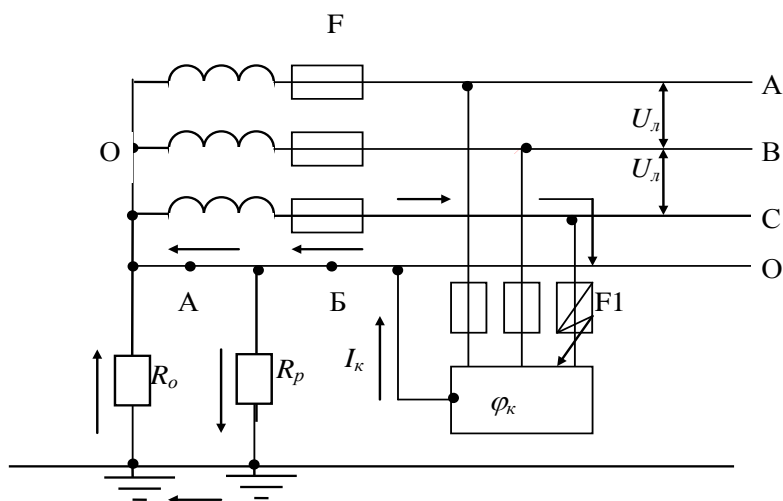


Рисунок 11.3 – Проходження струму короткого замикання I_k при зануленні корпусу

Сфера застосування занулення – це будь-які мережі із заземленою нейтраллю напругою до 1 кВ [2].

Як видно із рис. 11.3, призначення нульового проводу – забезпечення необхідної величини струму короткого замикання для спрацьовування струмового захисту за рахунок утворення для цього електричного кола з малим опором.

Вимоги до занулення

Для зменшення небезпеки у разі обриву нульового проводу та зниження напруги на корпусі в момент короткого замикання виконують повторне заземлення нульового проводу. Повторне заземлення нульового проводу виконується на кінцях повітряних ліній довжиною більше ніж 200 м, а також на вводах від повітряних ліній до електроустановок, які підлягають зануленню.

Опір заземлення нейтралі джерела живлення та повторного заземлення нормується ГОСТом 12.1.030-81 залежно від значення напруги джерела струму.

Загальний опір занулення має бути таким, щоб виконувалась умова для напруги дотику:

$$U_{\text{дот}} \leq U_{\text{зр.дот}}, \quad (11.3)$$

де $U_{\text{зр.дот}}$ – гранично допустимий рівень напруги.

З метою забезпечення надійного автоматичного відключення пошкодженої установки, струм замикання повинен перевищувати номінальний струм струмового захисту:

$$I_z \geq K \cdot I_{\text{ном}}, \quad (11.4)$$

де $I_{\text{ном}}$ – номінальний струм максимального струмового захисту;

K – коефіцієнт кратності струму: $K = 3$ – для плавких вставок; $K = 1,4$ – для автоматів з номінальним струмом до 100 А; $K = 1,25$ – для автоматів з номінальним струмом більше 100 А.

У колі нульових захисних проводів не допускається включення запобіжників та інших роз'єднувальних пристроїв. Недопустиме застосування вимикачів, які вимикають одночасно нульовий та фазний проводи.

Потенціал φ_k , що виникає на корпусі електроустановки при замиканні на корпус, визначається:

$$\varphi_k = I_k \cdot R_n, \text{ В}, \quad (11.5)$$

де R_n – загальний (еквівалентний) опір нульового проводу.

Отже, повторне заземлення нульового проводу зменшує напругу на корпусах приєднаних до нього електроустановок.

При аварійному режимі роботи, коли відбувається обрив нульового проводу в точці Б (див. рис. 11.3), у разі відсутності повторного заземлення усі корпуси електроустановок за місцем обриву потрапляють під фазну напругу. Коли обрив відбувається у точці А, то потенціал, що виникає на корпусі електроустановки, визначається за формулою:

$$\varphi_k = I_k \cdot R_p, \text{ В}. \quad (11.6)$$

Висновки.

1. Повторне заземлення нульового проводу зменшує потенціал корпусу електроустановки при замиканні на нього фазного проводу за рахунок спаду напруги на опорі повторного заземлення, що призводить до зменшення напруги дотику людини.

2. Потенціал, який виникає на корпусі електроустановки при замиканні фазного проводу, не повинен перевищувати гранично допустимі напруги дотику, що наведені в табл. Д.1, при дії струму протягом 1 с і більше: 20 В – для струму частотою 50 Гц і 400 Гц у виробничих умовах; 12 В – для змінного струму частотою 50 Гц у побутових умовах; 40 В – для постійного струму.

3. При перевищенні гранично допустимих напруг необхідно використовувати захисне заземлення.

6.2.4 Захисне заземлення електроустановок

У мережах із заземленою нейтраллю до 1 кВ використання занулення й захисного заземлення (рис. 11.4) зменшує потенціал корпусу до безпечної величини й забезпечує швидке та надійне вимикання пошкоджених електроустановок за рахунок спрацювання струмового захисту, оскільки струм замикання I_k у цьому випадку дорівнює сумі двох складових: струму I_k' через занулення і струму через захисне заземлення I_k'' , а потенціал корпусу:

$$\varphi_k = I_k'' \cdot R_z, \text{ В.} \quad (11.7)$$

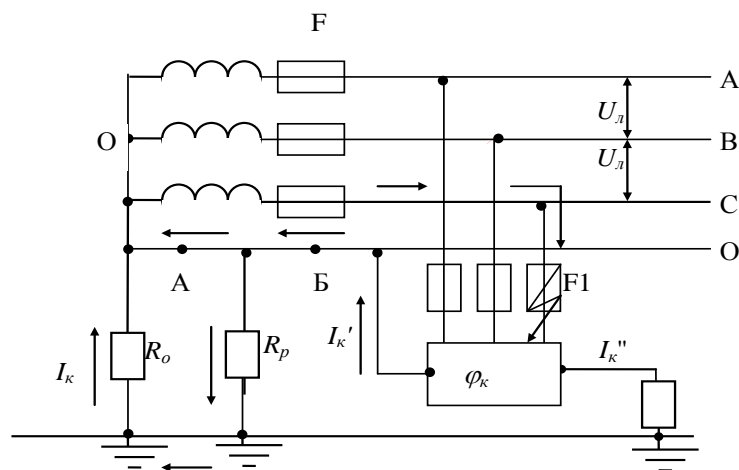


Рисунок 11.4 – Проходження струму короткого замикання I_k у мережі із заземленою нейтраллю при замиканні фазного проводу на корпус

6.3 Експериментальна частина

6.3.1 Лабораторний стенд

Стенд виготовлений у вигляді каркаса, встановленого на столі. На лицевій панелі зображена принципова схема з набором органів керування, за допомогою яких можна моделювати необхідні умови й режим роботи трифазних мереж. При цьому висвічуються ті чи інші елементи принципової схеми та змінюються покази приладів при зміні умов виконання експерименту.

Стенд універсальний і дозволяє моделювати трифазні мережі як з ізолюваною, так й із заземленою нейтраллю. Живлення стенда здійснюється від трифазної мережі із заземленою нейтраллю фазною напругою 220 В. З метою забезпечення безпеки експлуатації стенда змінна напруга 220 В перетворена на постійну величиною 27 В.

При вмиканні стенда всі перемикачі й вимикачі повинні знаходитися у початковому положенні (вимикачі – у нижньому, а перемикачі – у лівому крайньому).

Під час подачі живлення на стенді загоряється сигнальна лампа «Мережа», на схемі висвічується первинна обмотка трансформатора. Вимикач «Пристр» вмикає фазні проводи А, В, С. За допомогою вимикача « R_o » вмикається заземлення нульової точки вторинної обмотки трансформатора (заземлюється нейтраль трансформатора). Вимикач «0 провід» вмикає нульовий провід мережі. За допомогою вимикача «Занулення» здійснюється занулення корпусу електродвигуна. Вимикач « R_p » з'єднує повторне заземлення з нульовим проводом мережі. За допомогою вимикача « R_z » здійснюється захисне заземлення корпусу електродвигуна.

Вмиканням кнопки «Замикання» імітується замикання однієї із фаз на корпус електроустановки. Різні величини опору тіла людини імітуються перемикачем « R_h », а ізоляції фазних проводів відносно землі – перемикачами « R_a », « R_b » і « R_c ».

Амперметр A_1 показує струм у мережі, а міліамперметр A_2 – струм, який проходить через тіло людини. Вольтметр V показує фазну напругу в мережі, а при замиканні фазного проводу на корпус – напругу дотику людини.

6.3.2 Виконання лабораторної роботи

Завдання 11.1

Дослідити характер зміни струму I_h , який протікає через тіло людини залежно від її опору R_h при однофазному дотику до «пробитого» корпусу електрообладнання в мережі із заземленою нейтраллю без засобів захисту. У цьому випадку занулення корпусу електродвигуна й повторне заземлення не передбачено. Дотик людини до корпусу пошкодженого електродвигуна в такому разі рівнозначний її дотику до фазного проводу (див. випадок 1 на рис. 11.2 і формулу (11.1)).

Підготувати табл. 11.1 для внесення результатів вимірювання.

1. Привести схему в початкове положення, поставивши всі перемикачі в крайнє ліве положення, а вимикачі – у нижнє.

2. Зібрати схему трифазної чотирипроводової мережі із заземленою нейтраллю. Для цього вимикач «Пристр» перевести в робоче положення (уверх), заземлити вторинну обмотку трансформатора (нульову точку) вмиканням « R_o » і ввімкнути нульовий провід мережі вимикачем «0 провід».

3. Провести імітацію пробою ізоляції на електродвигуні, підключеному до мережі, натиснувши кнопку «Замикання». При цьому засвічується місце

замикання на корпусі електродвигуна й з'являється низка «бігучих вогнів», які відтворюють шлях проходження струму (у даному випадку через людину, землю, опір нейтралі трансформатора R_o та ту фазу, яка замкнула на корпус).

4. Перемикач « R_h », який змінює величину опору тіла людини, поставити в положення, що відповідає розрахунковому опору тіла людини, який дорівнює 1000 Ом.

5. Записати покази вольтметра V , який показує величину напруги дотику, і міліамперметра A_2 , що показує величину струму через тіло людини.

6. Перемикач « R_h » перевести послідовно в наступні положення, щоразу записуючи покази V і A_2 .

7. Привести схему в початкове положення.

8. Зробити висновок щодо зміни струму, який протікає через тіло людини, залежно від її опору.

9. Побудувати графік залежності $I_h = f(R_h)$.

Таблиця 11.1 – Характер зміни струму через тіло людини I_h залежно від її опору R_h при дотику до електрообладнання без засобів захисту

R_h , Ом	I_h , мА	U_o , В
1000		
2000		
4000		
5000		
10 000		

Завдання 11.2

Дослідити характер зміни струму I_h , який проходить через тіло людини залежно від її опору R_h , при дотику до «пробитого» корпусу при його зануленні, а також зміну величини струму I_o , що протікає через нульовий і фазний проводи при підвищеному значенні опору кола «фаза–нуль», по якому проходить струм короткого замикання I_k (при нормативному опорі кола «фаза–нуль» відбувається спрацьовування струмового захисту). У цьому випадку передбачене тільки занулення корпусу електродвигуна без повторного заземлення нульового проводу (див. рис. 11.3, до якого треба дорисувати умовне зображення людини й показати напрямок струму через її тіло).

Підготувати табл. 11.2 для внесення результатів вимірювань.

1. Скласти схему трифазної чотирипроводової мережі із заземленою нейтраллю. Для цього вимикач «Пристр» перевести в робоче положення (уверх), заземлити нульову точку вторинної обмотки трансформатора за допомогою вимикача « R_o » й увімкнути нульовий провід мережі вимикачем «0 провід».

2. Занулити корпус електродвигуна, увімкнувши вимикач «Занулення» (уверх). При цьому висвічується лінія, яка з'єднує корпус з нульовим проводом.

3. Перемикач « R_h » поставити в положення «1».

4. Натиснути кнопку «Замикання» і прослідкувати шлях струму короткого замикання.

5. Записати покази вольтметра V (напруга дотику U_d), міліамперметра A_2 (струм I_h , що проходить через тіло людини) й амперметра A_1 , який показує у цьому разі величину струму короткого замикання, що протікає через фазний і нульовий проводи.

Таблиця 11.2 – Характер зміни струму I_h через тіло людини залежно від її опору R_h при дотику до електрообладнання при його зануленні

R_h , Ом	I_h , мА	I_o , А	U_o , В	Опір кола «фаза–нуль»
1 000				Більший нормативного
2 000				
4 000				
5 000				
10 000				
5 000				Нормативний

6. Перемикач « R_h » перевести послідовно в наступні положення, щоразу записуючи покази приладів.

7. Як сказано вище, до цього моменту опір кола «фаза–нуль» штучно підвищений, щоб не спрацював струмовий захист. Приведемо цей параметр у норму. Для цього перемикач « R_h » поставимо в будь-яке положення (наприклад, 5 кОм) і, увімкнувши вимикач «Шунтуючий», зменшимо опір кола «фаза–нуль» до нормативного значення. При цьому має відбуватися спрацювання струмового захисту.

8. Записати покази приладів і привести схему в початкове положення.

9. Зробити висновки щодо зміни струму, який протікає через тіло людини, залежно від її опору при використанні занулення. Що змінилося порівняно з першим завданням?

10. На попередньому графіку (див. п. 9 завдання 11.1) побудувати графік залежності $I_h = f(R_h)$, що відповідає умовам цього завдання.

Завдання 11.3

Дослідити окремо характер зміни струму I_h , який проходить через тіло людини, при її дотику до «пробитого» корпусу при постійному опорі тіла людини ($R = 1000$ Ом).

1. При зануленні корпусу й повторному заземленні нульового проводу (див. рис. 11.3, який треба доповнити зображенням людини й показати напрямок струму через її тіло).

2. При зануленні корпусу, повторному заземленні нульового проводу й захисному заземленні (див. рис. 11.4, який треба доповнити зображенням людини й показати напрямки струмів).

3. При обриві нульового проводу в точці А (див. рис. 11.3, який доповнюється зображеннями обриву, людини й напрямком струму. Умови безпеки в цьому випадку рівнозначні з умовами завдання 11.1).

4. При обриві нульового проводу в точці Б (див. рис. 11.3, який доповнюється зображенням обриву, людини й напрямком струму).

5. При використанні лише захисного заземлення в мережі із заземленою нейтраллю (див. рис. 11.4). Використання такого режиму в експлуатації не допускається.

Перераховані вище п.п. 1–5 збігаються з умовами табл. 11.3. Підготувати табл. 11.3 до внесення результатів вимірювань.

Таблиця 11.3 – Характер зміни струму I_h через тіло людини за умов, які визначені п.п. 1–5

Умови	I_h , мА	I_o , А	U_o , В
1. Занулення корпусу й повторне заземлення нульового проводу			
2. Занулення корпусу, його заземлення і повторне заземлення нульового проводу			
3. Обрив нульового проводу без повторного заземлення			
4. Обрив нульового проводу з повторним заземленням			
5. Захисне заземлення корпусу			

Умова 1

Скласти схему трифазної чотирипроводової мережі із заземленою нейтраллю, для чого вимикач «Пристр» перевести в робоче положення (уверх):

- заземлити нульову точку вторинної обмотки трансформатора за допомогою вимикача « R_o »;
- увімкнути нульовий провід мережі вимикачем «0 провід»;
- поставити перемикач « R_h » у положення «1», що відповідає розрахунковому опору тіла людини $R_h = 1000 \text{ Ом}$;
- занулити корпус електродвигуна, увімкнувши вимикач «Занулення»;
- приєднати повторне заземлення до нульового проводу мережі за допомогою вимикача « R_p »;

- натиснути кнопку «Замикання»;
- записати покази приладів (амперметр A_1 показує величину струму короткого замикання, який протікає через нульовий провід; міліамперметр A_2 – струм через тіло людини; вольтметр V – напругу дотику людини);
- зробити висновок щодо зміни величини струму I_h порівняно з випадком, коли $R_h = 1000$ Ом із табл. 11.2.

Умова 2

Зменшити опір повторного заземлення нульового проводу мережі, увімкнувши вимикачем « R_3 » захисне заземлення корпусу, яке вмикається паралельно опору повторного заземлення « R_p »:

- записати покази приладів;
- зробити висновки щодо зміни струму I_h порівняно з умовою 1.

Умова 3

Вимкнути повторне заземлення « R_p » і захисне заземлення « R_3 »:

- вимкнути нульовий провід за допомогою вимикача «0 провід», імітуючи обрив нульового проводу;
- записати покази приладів;
- зробити висновки щодо зміни струму I_h порівняно з випадком, коли $R_h = 1000$ Ом із табл. 11.1.

Умова 4

Увімкнути повторне заземлення нульового проводу, використовуючи вимикач « R_p »:

- записати покази приладів;
- зробити висновок щодо зміни струму I_h порівняно з умовою 3.

Умова 5

Зібрати схему захисного заземлення корпусу електродвигуна, для чого потрібно:

- увімкнути «0 провід»;
- вимкнути «Занулення» і « R_p » (повторне заземлення нульового проводу);
- увімкнути опір заземлювального пристрою вимикачем « R_3 »;
- записати покази приладів;
- привести схему в початкове положення;
- зробити висновок щодо зміни струму I_h у цьому випадку, порівняно з випадком, коли $R_h = 1000$ Ом із табл. 11.1;
- зробити висновок відповідно до табл. 11.3: за яких умов через людину проходить найбільший і найменший струм;
- зробити висновок щодо ефективності використання в трифазних мережах із заземленою нейтраллю захисного заземлення та занулення.

6.4 Контрольні запитання

1. Дати означення електробезпеки.
2. На які категорії поділяють ПУЕ мережі за напругою?
3. Перерахувати номінальні напруги трифазного змінного струму.
4. Як поділяються електричні мережі за кількістю проводів?
5. Зобразити електричну схему передачі електричної енергії на значній відстані.
6. Зобразити електричну схему трифазної мережі із заземленою нейтраллю з розмежуванням нульового проводу, показати всі елементи мережі. Вказати сферу застосування таких мереж.
7. Зобразити електричну схему однофазного дотику людини в мережі із заземленою нейтраллю, визначити напрямки та величини струмів, які протікають через тіло людини.
8. Зобразити електричну схему занулення, пояснити принцип дії.
9. Що таке захисне заземлення, сфера його застосування?
10. У чому полягає захисна дія заземлення?
11. Зобразити електричну схему захисного заземлення.
12. Зобразити електричну схему трифазної мережі із заземленою нейтраллю, показати всі елементи мережі. Де такі мережі використовуються?
13. З якою метою і як виконується повторне заземлення нульового проводу?
14. Чому в мережах із заземленою нейтраллю не можна використовувати одне захисне заземлення?
15. Вкажіть гранично допустимі значення струму та напруги дотику при тривалості дії струму понад 1,0 с.
16. Вкажіть значення розрахункового опору тіла людини.

ЛІТЕРАТУРА

1. Правила устроюстройства електроустановок (ПУЭ). – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 640 с.
2. ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление. Общие требования безопасности : ГОСТ 12.1.030:1981. – [Действующий от 1982-07-01]. – М. : Изд-во стандартов, 1986. – 9 с.
3. ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования электробезопасности : ГОСТ 12.2.007.0-75*:1975. – [Действующий от 1978-01-01]. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 17 с.
4. ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов : ГОСТ 12.1.038:1982. – [Действующий от 1983-07-01]. – М. : Изд-во стандартов, 1982. – 5 с.

Додаток Д

Таблиця Д.1 – Гранично допустимі сили струмів I_h та напруги дотику U_d при аварійному режимі роботи електрообладнання (витяг з ГОСТ 12.1.038-82)

Види струму	Нормативна величина	Гранично допустимі напруги дотику та сили струмів при тривалості дії, с						
		0,01–0,08	0,1	0,2	0,6	0,8	1,0	більше 1,0
Змінний 50 Гц	U_d , В	650	500	250	85	65	50	20
	I_h , мА	650	500	250	85	65	50	6
Змінний 400 Гц	U_d , В	650	500	500	170	130	100	20
	I_h , мА	650	500	500	170	130	100	8
Постійний	U_d , В	650	500	400	240	220	200	40
	I_h , мА	650	500	400	240	220	200	15
У побутових електроустановках напругою до 1кВ (50 Гц)	U_d , В	220	200	100	40	25	25	12
	I_h , мА	220	200	100	40	25	25	2

Примітки:

1. Гранично допустимі напруги дотику та струмів установлені для шляхів струму «рука–рука» і «рука–нога»;

2. Напруга дотику – різниця потенціалів двох точок електричного кола, яких одночасно торкається людина;

3. Сила струму, який проходить через тіло людини, є головним фактором, від якого залежить наслідок ураження. Але цей струм не є постійною величиною, він залежить від багатьох факторів: електричного опору тіла людини; тривалості дії; виду струму та його частоти, якщо він змінний; шляху проходження струму через тіло людини; індивідуальних властивостей організму;

4. Опір тіла людини електричному струму складається із зовнішнього та внутрішнього опорів. Зовнішній опір зумовлений опором верхнього рогового шару (епідермісу), товщина якого становить близько 0,2 мм, але саме він визначає опір тіла людини. При сухій чистій і неушкодженій шкірі електричний опір тіла людини становить 10 ... 1000 кОм.

Якщо шкіра волога або брудна, та якщо вона має механічні ушкодження, її опір різко зменшується і становить близько 0,8 ... 0,9 кОм.

Враховуючи сказане вище, розрахункове значення опору тіла людини прийняте для найбільш несприятливих умов, а саме: $R_h = 1000$ Ом.

При аналізі умов безпеки експлуатації електричних мереж необхідно враховувати повний опір (R_n) тіла людини:

$$R_n = R_h + R_{\text{вз}} + R_{\text{осн}}, \text{ Ом,}$$

де $R_{\text{вз}}$ – опір взуття;

$R_{\text{осн}}$ – опір основи (підлоги), на якій стоїть людина.

7 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ МЕРЕЖ З ІЗОЛЬОВАНОЮ НЕЙТРАЛЛЮ НАПРУГОЮ ДО 1000 В. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 12

Мета роботи: дослідити електричну безпеку й основні захисні засоби від ураження електричним струмом у мережах трифазного змінного струму з ізольованою нейтраллю джерела живлення напругою до 1000 В.

7.1 Підготовка звіту

Вивчити теоретичний матеріал і підготувати форму звіту. Засвоєння теоретичного матеріалу контролюється на початку заняття за допомогою контрольних питань. Без знань теорії і за відсутності заготовки звіту студент не допускається до виконання лабораторної роботи. Звіт повинен бути зробленим у зошиті або на аркушах формату А4 та містити:

1. Титульний аркуш з назвою лабораторної роботи.
2. Мету роботи.
3. Табл. 12.1–12.4 до кожного із чотирьох завдань з результатами досліджень.
4. Електричні схеми до кожного із завдань. Електричні схеми потрібно складати за умовами кожного із завдань, доповнюючи наведені в теоретичних відомостях схеми елементами, які за цими умовами відсутні, або вилучаючи зайві елементи.
5. Висновки робляться до кожного із завдань і лабораторної роботи загалом. У висновках до третього завдання здійснюється оцінювання ефективності використання компенсації ємнісних струмів у трифазних мережах з ізольованою нейтраллю.

7.2 Теоретичні відомості

7.2.1 Загальні відомості

Електробезпека – це система організаційних і технічних заходів та засобів, яка забезпечує захист людей від шкідливої і небезпечної дії електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля й статичної електрики.

Небезпека ураження електричним струмом залежить від напруги електричної мережі, виду дотику людини до електромережі, режиму роботи електрообладнання й режиму нейтралі джерела живлення (ізольована нейтраль, глухозаземлена нейтраль).

Вид дотику людини може бути:

- однофазним, коли людина торкається одного фазного проводу мережі, який знаходиться під напругою;
- двофазним – до двох фазних проводів одночасно.

Режим роботи електрообладнання може бути:

- нормальним, коли немає пошкоджень ізоляції проводів відносно землі;
- аварійним, коли ізоляція пошкоджена (один із проводів торкається землі або корпусу).

Правила влаштування електроустановок (ПВЕ [1]) за умовами електричної безпеки поділяють електроустановки на дві категорії: до 1 кВ і понад 1 кВ.

Крім цього, електричні мережі поділяються за кількістю струмопровідних проводів на: однопровідні, двопровідні, трипровідні й чотирипровідні. Однопровідні електричні мережі мають умовний другий провід у вигляді природного або штучного провідника. Наприклад, у трамвайній електричній мережі другим проводом може бути рейка або земля. Двопровідні мережі – це лінії однофазного змінного або постійного струму. Три- або чотирипровідні мережі – це трифазні лінії, конструкції яких розглядаються далі.

7.2.2 Електричні мережі трифазного змінного струму з ізольованою нейтраллю

Ізольованою називають нейтраль трансформатора (нульова точка джерела живлення), яка не приєднана до пристрою заземлення (ізольована від землі).

На рис. 12.1 наведена електрична схема трифазної трипровідної мережі з ізольованою нейтраллю (відповідно до рис. 12.1, це знижувальна трансформаторна підстанція з ЛЕП, яка має напругу до 1 кВ і живить споживачів).

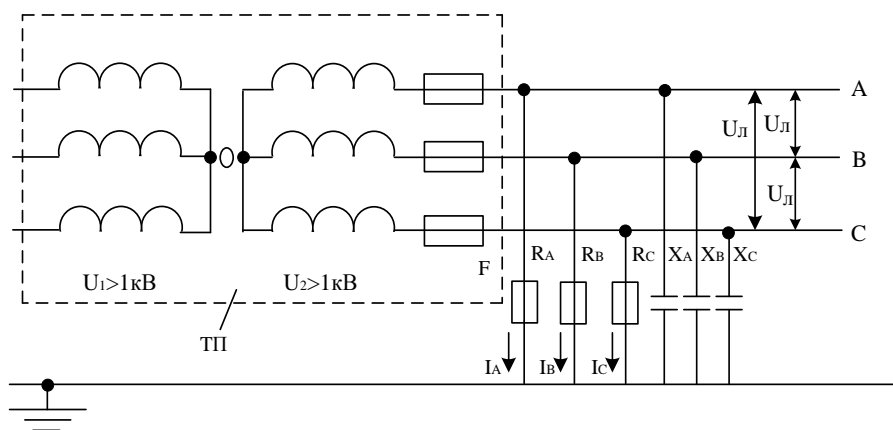


Рисунок 12.1 – Електрична схема трифазної мережі:

U_1 , U_2 – відповідно напруги первинної і вторинної обмоток трансформатора;

ТП – знижувальна трансформаторна підстанція; F – струмовий захист (запобіжники або автоматичні вимикачі); 0 – нульова (нейтральна) точка трансформатора; A, B, C – фазні проводи мережі;

$U_{л}$ – лінійна напруга мережі; R_A , R_B , R_C – активні опори ізоляції фазних проводів відносно землі; X_A , X_B , X_C – реактивні опори фазних проводів відносно землі; I_A , I_B , I_C – струми витоків фазних проводів

Унаслідок наявності різниці потенціалів між будь-яким фазним проводом і землею протікає дуже малий струм, що називають струмом витoku. Сила цього струму залежить від опору ізоляції фазних проводів відносно землі.

Якщо розглядати електричні мережі напругою до 1 кВ, довжина яких не перевищує 1 км, то ємністю проводів відносно землі можна знехтувати, але це нехтування стосується тільки повітряних ліній і не стосується кабельних. Крім того, якщо довжина лінії не перевищує 1 км, то можна вважати, що активні опори проводів відносно землі мають однакові значення, тобто $R_A = R_B = R_C = R_{i3}$; R_{i3} – опір ізоляції фазного проводу відносно землі.

Надалі первинна обмотка трансформатора зображатися не буде. Дотик людини до корпусу електроустановки, що не має захисних засобів й опинилася під напругою (відносно землі), як це показано на рис. 12.2 (перший випадок – однофазний дотик), рівнозначний її дотику до неізольованого фазного проводу. Опір тіла людини вмикається паралельно опору ізоляції того проводу, що замкнув на корпус (до якого доторкнулася людина) і послідовно з опорами ізоляції інших проводів, а струм, що протікає через тіло людини, визначається за формулою:

$$I_h = \frac{3U_\phi}{3R_h + R_{i3}} = \frac{\sqrt{3}U_\phi}{3R_h + R_{i3}}, \text{ А}, \quad (12.1)$$

де R_h – опір тіла людини.

Висновки:

1. Виходячи з формули (12.1), у випадку однофазного дотику людини до трифазної мережі змінного струму з ізолюваною нейтраллю людина знаходиться під захистом опору ізоляції фазних проводів відносно землі. Тому в таких мережах необхідно підтримувати стан ізоляції проводів на достатньо високому рівні;

2. ПВЕ встановлюють певні нормативні вимоги щодо властивостей ізоляції. Так, для силової або освітлювальної електропроводки достатнім вважається опір ізоляції не менше 0,5 МОм.

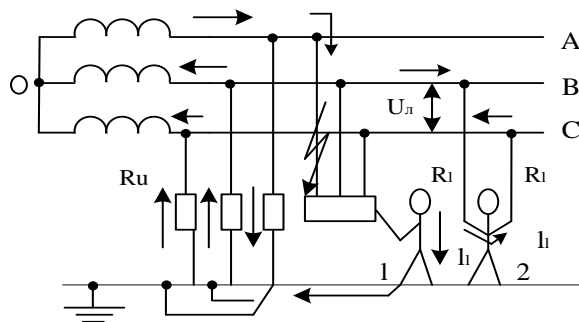


Рисунок 12.2 – Схеми дотику людини при нормальному режимі роботи мережі: 1 – однофазний дотик; 2 – двофазний дотик

Приклад 12.1. Визначити величину струму, який протікає через тіло людини при однофазному дотику до мережі з ізольованою нейтраллю. Лінійна напруга мережі $U_{л} = 380$ В. Опір ізоляції проводів відносно землі $R_{із} = 500 \cdot 10^3$ Ом. Розрахунковий опір тіла людини $R_h = 1000$ Ом. Згідно з формулою (12.1), отримаємо:

$$I_h = \frac{\sqrt{3} \cdot 380}{(3 \cdot 1 + 500) \cdot 10^3} = 1,3 \cdot 10^{-3} = 1,3 \text{ мА.}$$

Такий струм допустимий для людини у будь-яких випадках.

При двофазному дотику (рис. 12.2, випадок 2) людина потрапляє під повну напругу мережі, а струм, який проходить через тіло людини, визначається:

$$I_h = \frac{U_{л}}{R_h}, \text{ А.} \quad (12.2)$$

Висновки.

1. При двофазному дотику людини до трифазної мережі з ізольованою нейтраллю ізоляція проводів відносно землі втрачає свої захисні властивості – і людина потрапляє під повну (лінійну) напругу мережі.

2. Зменшити величину струму, який протікає через тіло людини, можна за допомогою штучного підвищення її опору діелектричними рукавицями.

Приклад 12.2. За даними прикладу 12.1 визначити величину струму, який проходить через тіло людини при двофазному дотику до мережі трифазного струму з ізольованою нейтраллю. Згідно з формулою (12.2), маємо:

$$I_h = \frac{380}{1000} = 0,38 \text{ А} = 380 \text{ мА.}$$

Такий змінний струм (50 Гц) особливо небезпечний, він більше ніж у 63 рази перевищує гранично допустимий при тривалості дії більше 1,0 с.

7.2.3 Захисне заземлення електроустановок

Захисне заземлення – навмисне електричне з'єднання із землею або з її еквівалентом металевих неструмопровідних частин, які можуть опинитися під напругою.

Сфера використання захисного заземлення – мережі з ізольованою нейтраллю напругою до 1 кВ, а при напрузі вище 1 кВ – у будь-яких випадках (незалежно від режиму нейтралі) [2].

На рис. 12.3 показана електрична схема захисного заземлення. Опір тіла людини вмикається паралельно опорі захисного заземлення. Еквівалентний опір двох паралельних опорів дорівнює:

$$R_e = \frac{R_h \cdot R_3}{R_h + R_3}.$$

Потенціал фазного проводу, який замкнув на корпус, зменшується за рахунок спаду напруги на еквівалентному опорі, тобто

$$\varphi_k = I_3 \cdot R_e, \text{ В}, \quad (12.3)$$

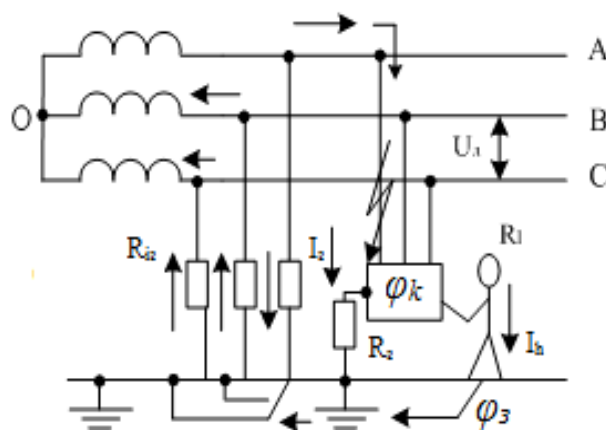


Рисунок 12.3 – Електрична схема захисного заземлення:

R_3 – опір захисного заземлення; I_3 – струм замикання:

φ_k – потенціал корпусу; φ_3 – потенціал землі

Напруга дотику людини дорівнює різниці потенціалів:

$$U_d = \varphi_k - \varphi_3, \text{ В}. \quad (12.4)$$

Якщо розглядати найбільш несприятливі умови для людини, коли $\varphi_3 = 0$, напруга дотику дорівнюватиме $U_d = \varphi_k$. Струм, який протікає через тіло людини, визначається за формулою:

$$I_h = \frac{U_d}{R_h} = \frac{\varphi_k}{R_h} = \frac{\sqrt{3}U_l}{3R_h + R_{i3} + \frac{R_h \cdot R_{i3}}{R_3}}, \text{ А}. \quad (12.5)$$

Якщо порівняти формулу (12.5) з формулою (12.1), то можна зробити висновок, що струм, який проходить через тіло людини при використанні захисного заземлення, зменшився. Покажемо це на прикладі.

Приклад 12.3. За даними прикладу визначити величину струму, який і проходить через тіло людини при її дотику до корпусу електроустановки, що має захисне заземлення й опинилася під напругою. Опір захисного заземлення $R_3 = 10$ Ом. За формулою (12.5) отримуємо:

$$I_h = \frac{\sqrt{3} \cdot 380}{(3 \cdot 1 + 500) \cdot 10^3 + \frac{(1 \cdot 500) \cdot 10^3}{10_3}} = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ А} = 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ тА.}$$

Такий струм безпечний для людини в будь-яких випадках.

Якщо порівняти цей струм із струмом однофазного дотику, то він зменшився вдвічі (приклад 12.1).

Висновок. Під час використання захисного заземлення у мережах з ізолюваною нейтраллю напругою до 1 кВ відбувається зменшення напруги дотику людини за рахунок спаду напруги на опорі захисного заземлення.

Враховуючи це, опір захисного заземлення повинен мати невелике значення: не вище 4 Ом. Але якщо потужність джерела живлення (генератора або трансформатора) 100 кВА і менше – не вище 10 Ом.

Варто звернути увагу, що мережі з ізолюваною нейтраллю напругою до 1 кВ використовуються лише при підвищених умовах електробезпеки (торф'яні розробки, пересувне електрообладнання, шахти [1, п. 1.7.40]).

7.2.4 Електрична мережа з компенсацією ємнісних струмів витоку

Струм, що протікає через тіло людини в момент дотику її до неізолюваного проводу, визначається значенням активної і ємнісної провідностей ізоляції фаз.

Насамперед, активна провідність ізоляції (активний опір) залежить від її якості й класу, які можуть бути покращені в процесі експлуатації. Ємнісна провідність (ємність мережі) в існуючій мережі залежить від конструкції (відстань фаз до землі і між фазами, діаметр проводів, кабельна чи повітряна мережа) і довжини. У процесі експлуатації змінюється ємність за рахунок включення чи відключення окремих ліній, сезонних коливань.

Процес впливу ємнісних струмів на електробезпеку мережі можна детально розглянути при полюсному замиканні на землю в струмоприймачі (рис. 12.4).

Сила струму в загальному вигляді:

$$I_3 = U_\phi \cdot g_3 [(Y_B \cdot (1 - a^2) + Y_C(1 - a) + Y_0) / (Y_a + Y_b + Y_c + Y_0 + g_3)]. \quad (12.6)$$

Якщо в нейтраль трансформатора не включена компенсувальна котушка (дугогасильний реактор), то провідність нейтралі $Y = 0$, а провідності фаз рівні між собою:

$$g_a = g_b = g_c = g; \quad b_a = b_b = b_c = b.$$

Тоді (12.6) матиме вигляд:

$$I_3 = U_\phi \cdot g_3 [(3g + j3b) / (3g + j3b + g_3)]. \quad (12.7)$$

У мережах напругою більше 1 кВ активні провідності близькі до нуля, тому

$$I_3 = U_\phi \cdot g_3 (j3b / (j3b + g_3)). \quad (12.8)$$

Звідси виходить, що I_3 залежить від ємності мережі.

Включимо компенсувальну котушку в нейтраль трансформатора. Таке включення називається резонансним заземленням нейтралі через дугогасильну котушку (дугогасильна, оскільки зменшує силу струму в місці замикання за рахунок його ємнісної складової, тим самим сприяючи самогасінню дуги).

Після включення котушки нейтраль трансформатора електрично з'єднується із землею через провідності котушки: активну g_k й індуктивну b_k . Тоді силу струму замикання на землю визначають з (12.6). Якщо прийняти провідності симетричними, тобто $g_a = g_b = g_c = g$ і $b_a = b_b = b_c = b$, а повну провідність котушки замінити її значенням $Y_0 = g_k + jb_k$ (рис. 12.4), то

$$I_3 = U_\phi \cdot g_3 \cdot [(3g + j(3b - b_k) + g_k) / (g_k + 3g + j(3b - b_k) + g_3)]. \quad (12.9)$$

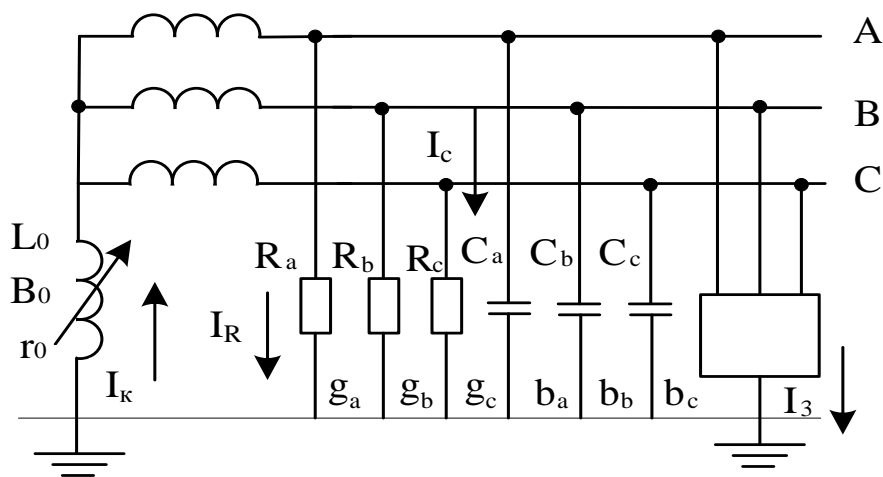


Рисунок 12.4 – Мережа, яка має компенсацію ємнісних струмів витоку: I_c – ємнісний струм витоку; I_R – активний струм витоку; I_k – повний струм компенсувальної котушки з індуктивністю L_0

Вираз (12.9) відрізняється від (12.8) на значення провідності $g_k + j(3b - b_k)$, яка з'являється при включенні котушки. У повній провідності котушки її активна складова залишається незмінною, а індуктивна може змінюватися при зміні числа витків.

Якщо підібрати таке число витків котушки, щоб її індуктивна провідність дорівнювала реактивній провідності ізоляції мережі $b_k = 3b$, то мережа стане компенсованою. Такий підбір числа витків котушки називається її налаштуванням в резонанс з ємністю мережі. Сила струму замикання не залежить від ємнісної провідності мережі:

$$I_3 = U_\phi \cdot g_3 \cdot [(3g + g_k)/(g_k + 3g + g_3)]. \quad (12.10)$$

Векторна діаграма для цього випадку показана на рис. 12.5.

Як видно з діаграми, $I_{3k} < I_3$.

Застосовується компенсація ємнісних струмів при перевищенні струмів замикання на землю в мережах напругою: 6 кВ – 30 А, 10 кВ – 20 А, 35 кВ – 10 А.

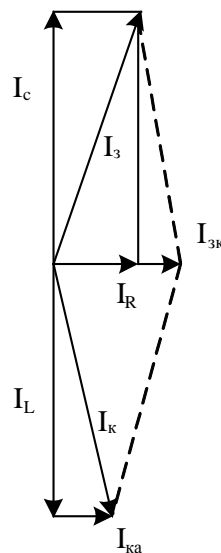


Рисунок 12.5 – Векторна діаграма струмів замикання:

I_L – індуктивний струм котушки; $I_{ка}$ – активний струм котушки;
 I_k – повний струм котушки

7.3 Експериментальна частина

7.3.1 Лабораторний стенд

Стенд виготовлений у вигляді каркаса, встановленого на столі. На лицевій панелі зображена принципова схема з набором органів керування, за допомогою яких можна моделювати необхідні умови й режим роботи трифазних мереж. При цьому висвічуються ті чи інші елементи принципової схеми та змінюються покази приладів при зміні умов виконання експерименту.

Замість реально існуючих розподілених активних опорів і ємностей ізоляції фаз відносно землі, встановлено набори резисторів опором 1; 2; 5; 10 і 400 кОм і конденсатори ємністю 0,1; 0,2; 0,6; 1; 1,6 мкФ. Опір тіла людини також змінюється і має значення 1; 2; 4; 5; 10 кОм.

Стенд універсальний і дозволяє моделювати трифазні мережі з ізольованою і заземленою нейтраллю. Живлення стенда здійснюється від трифазної мережі із заземленою нейтраллю фазною напругою 220 В. З метою забезпечення безпеки експлуатації стенда змінна напруга 220 В перетворена на постійну величиною 27 В.

При вмиканні стенда всі перемикачі й вимикачі повинні знаходитися у початковому положенні (вимикачі – у нижньому, а перемикачі – у лівому крайньому).

Під час подачі живлення на стенді загоряється сигнальна лампа «Мережа», на схемі висвічується первинна обмотка трансформатора. Вимикач «Пристр» вмикає фазні проводи А, В, С. За допомогою вимикача «R₀» вмикається заземлення нульової точки вторинної обмотки трансформатора (заземлюється нейтраль трансформатора). Вимикач «0 провід» вмикає нульовий провід мережі. За допомогою вимикача «Занулення» здійснюється занулення корпусу електродвигуна. Вимикач «R_p» з'єднує повторне заземлення з нульовим проводом мережі. За допомогою вимикача «R_з» здійснюється захисне заземлення корпусу електродвигуна.

Вмиканням кнопки «Замикання» імітується замикання однієї із фаз на корпус електроустановки. Різні величини опору тіла людини імітуються перемикачем «R_{люд}», а ізоляції фазних проводів відносно землі – перемикачами «R_a», «R_b» і «R_c».

Амперметр А₁ показує струм у мережі, а міліамперметр А₂ – струм, що проходить через тіло людини. Вольтметр V показує фазну напругу в мережі, а при замиканні фазного проводу на корпус – напругу дотику людини.

7.3.2 Виконання лабораторної роботи

Завдання 12.1

Дослідити характер зміни напруги дотику й струму, що протікає через тіло людини, залежно від активного опору ізоляції мережі.

1. Підготувати табл. 12.1 для записування результатів вимірювань.

Таблиця 12.1 – Характер зміни струму I_h , що проходить через тіло людини, залежно від опору ізоляції мережі R

Номер варіанта	R , кОм	I_h , мА	U_d , В
1	1		
2	2		
3	5		
4	10		
5	400		

2. Привести схему в початкове положення, поставивши всі перемикачі в крайнє ліве положення, а вимикачі – у нижнє.

3. Скласти схему трифазної мережі з ізольованою нейтраллю. Для цього вимикач «Пристр.» перевести у верхнє положення. При цьому загоряється світлове зображення мережі й індикатора лампи «Мережа».

4. Поставити перемикач « $R_{\text{люд}}$ » у положення «1», яке відповідає опорю людини 1000 Ом. У цьому положенні перемикач залишається на час виконання всіх завдань з даної лабораторної роботи.

5. Натиснути кнопку «Замикання».

6. Записати покази вольметра V , який фіксує значення напруги дотику, і покази міліамперметра A_2 , що фіксує силу струму, який протікає через тіло людини. У початковому положенні перемикачів показання приладів відповідають активному опорю ізоляції фаз, який дорівнює нескінченно великій величині, і ємності фаз, що дорівнює нулю.

7. Перемикачі « R_a », « R_b » та « R_c » перевести послідовно в положення 1; 2; 5; 10; 400 кОм, кожний раз записуючи покази приладів.

8. Привести схему в початкове положення (за винятком перемикача « $R_{\text{люд}}$ »).

Завдання 12.2

Дослідити характер зміни напруги дотику й сили струму, що протікає через тіло людини, залежно від ємності фаз мережі відносно землі.

1. Підготувати табл. 12.2 для занесення результатів вимірювань.

Таблиця 12.2 – Характер зміни струму I_h , що проходить через тіло людини, залежно від ємності ізоляції мережі C

Номер варіанта	C , мкФ	I_h , мА	U_D , В
1	0		
2	0,1		
3	0,2		
4	0,6		
5	1,0		
6	1,6		

2. Скласти схему згідно з п. 3 завдання 12.1.

3. Натиснути кнопку «Замикання».

4. Перемикачі « C_a », « C_b » та « C_c » перевести послідовно в положення 0,1; 0,2; 0,6; 1,0; 1,6 мкФ, щоразу записуючи покази вольметра V і міліамперметра A_2 .

5. Привести схему в початкове положення (за винятком перемикача « $R_{\text{люд}}$ »).

Завдання 12.3

Визначити ефективність компенсації ємнісних струмів витoku для підвищення електробезпеки мережі.

1. Підготувати табл. 12.3 для занесення результатів вимірювань.

Таблиця 12.3 – Характер зміни струму I_h , що проходить через тіло людини

Номер варіанта	C , мкФ	I_h , мА	U_D , В	Примітки
1				Без компенсації
2				З компенсацією

2. Скласти схему згідно з п. 3 завдання 12.1.
3. Поставити перемикачі « C_a », « C_b » та « C_c » в положення 0,6 мкФ.
4. Натиснути кнопку «Замикання».
5. Записати покази приладів V і A_2 .
6. Включити вимикач «Компенсація».
7. Записати покази приладів V і A_2 .
8. Привести схему в початкове положення (за винятком перемикача « $R_{\text{люд}}$ »).

Завдання 12.4

Визначити ефективність захисного заземлення електроустановки в мережах з ізолюваною нейтраллю у випадках, коли опір розтікання струму: а) більший нормативного R_p ; б) відповідає нормативному R_p .

1. Підготувати табл. 12.4 для занесення результатів вимірювань.

Таблиця 12.4 – Характер зміни струму I_h , що проходить через тіло людини, залежно від опору ізоляції мережі при використанні захисного заземлення з різними опорам

Номер варіанта	R , кОм	I_h , мА	U_D , В	Примітки
1	1			Опір більше нормативного
2	2			
3	5			
4	10			
5	400			
6	1			Опір відповідає нормативному
7	2			
8	5			
9	10			
10	400			

2. Скласти схему згідно з п. 3 завдання 12.1.
3. Поставити перемикачі « R_a », « R_b » та « R_c » в положення «1».
4. Натиснути кнопку «Замикання».
5. Вимикачем « R_p » включити заземлення корпусу електрообладнання з опором розтікання струму більше нормативного.

6. Записати покази приладів V і A.
7. Перемикаючи «R_a», «R_b» та «R_c» у положення 2; 5; 10; 400 кОм, записати покази приладів V і A₂.
8. Виключити вимикач «R_p».
9. Вимикачем «R₃» включити заземлення корпусу електрообладнання з нормативном опором розтікання струму.
10. Поставити перемикачі «R_a», «R_b» та «R_c» у положення «1».
11. Записати покази приладів V і A₂.
12. Перемикаючи «R_a», «R_b» та «R_c» в положення 2; 5; 10; 400 кОм, записати покази приладів V і A₂.
13. Привести схему в початкове положення.

7.4 Контрольні запитання

1. Дати означення електробезпеки.
2. На які категорії поділяють ПУЕ мережі за напругою?
3. Перерахувати номінальні напруги трифазного змінного струму.
4. Як поділяються електричні мережі за кількістю струмопровідних проводів?
5. Зобразити електричну схему передачі електричної енергії на значні відстані.
6. Зобразити електричну схему трифазної мережі з ізольованою нейтраллю, показати всі елементи мережі.
7. Зобразити електричну схему однофазного дотику людини в мережі з ізольованою нейтраллю, показати напрямки струму, зробити висновки.
8. Зобразити електричну схему двофазного дотику людини в мережі з ізольованою нейтраллю, показати напрямки струму, зробити висновки.
9. Що таке захисне заземлення, сфера його використання?
10. У чому полягає захисна дія заземлення?
11. У чому суть компенсації ємнісних струмів витоку?
12. Укажіть гранично допустимі значення струму та напруги дотику при тривалості дії струму понад 1,0 с.
13. Укажіть значення розрахункового опору тіла людини.

ЛІТЕРАТУРА

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 640 с.
2. ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление. Общие требования безопасности : ГОСТ 12.1.030:1981. – [Действующий от 1982-07-01]. – М. : Изд-во стандартов, 1986. – 9 с.
3. ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования электробезопасности : ГОСТ 12.2.007.0-75*:1975. – [Действующий от 1978-01-01]. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 17 с.
4. ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов : ГОСТ 12.1.038:1982. – [Действующий от 1983-07-01]. – М. : Изд-во стандартов, 1982. – 5 с.

8 ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ЗАБРУДНЕННЯ СЕРЕДОВИЩА. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 14

Мета роботи: ознайомитись з нормативними вимогами до електромагнітного поля та опрацювати методiku оцінювання напруженості електромагнітного поля від побутових електроприладів.

8.1 Підготовка звіту

Вивчити теоретичний матеріал за темою роботи (засвоєння контролюється на початку заняття за відповідями на контрольні питання).

Перед заняттям необхідно підготувати бланк звіту (без підготовленого звіту студент не допускається до виконання роботи).

Звіт складається з:

- назви лабораторної роботи;
- мети лабораторної роботи;
- результатів вимірювань та вибору нормованих параметрів напруженості електричного поля (табл. 14.3);
- розрахункових формул;
- графіків залежності величини напруженості та потужності електричного поля від часу дії;
- висновків.

8.2 Теоретичні відомості

8.2.1 Основні поняття

Електромагнітне поле впливає на людину не лише під час професійної діяльності з обслуговування електротехнологічного обладнання. Електромагнітні поля в буквальному сенсі цього слова оточують людину в повсякденному житті як на робочому місці, так і вдома, на вулиці тощо. Адже електроприлади використовуються у всіх сферах сучасного життя, а кожен електроприлад є джерелом електромагнітного поля, і при використанні електроприладів варіюються лише інтенсивність цього поля і час, протягом якого користувач змушений перебувати під його впливом.

Електромагнітне поле (також використовується аббревіатура ЕМП) – це особлива форма матерії, за допомогою якої відбувається взаємодія між електрично зарядженими частинками. Фізичні причини існування електромагнітного поля пов'язані з тим, що електричне поле з напруженістю E , яка змінюється в часі, породжує магнітне поле, що змінюється та характеризується напруженістю магнітного поля H .

Вихрове електромагнітне поле: обидва компоненти E і H , безперервно змінюючись, збуджують один одного. ЕМП нерухомих або таких, що рівномірно рухаються, заряджених часток нерозривно пов'язане з цими частинками. При прискореному русі заряджених часток ЕМП «відрива-

ється» від них й існує незалежно у формі електромагнітних хвиль, не зникаючи з усуненням джерела (зокрема, радіохвилі не зникають і за відсутності струму в антені, що випромінює їх).

Отже, електромагнітне поле створюється електричними зарядами. Нерухомі заряди створюють електричне поле, рухомі заряди – електричне й магнітне поля. Тобто поділ на електричні й магнітні поля є доволі умовним. Якщо заряди нерухомі в одній інерційній системі координат, то відносно спостерігача в рухомій системі координат вони рухаються. У такому випадку нерухомий спостерігач фіксуватиме лише електричне поле, а рухомий – електричне й магнітне поля водночас. Ці міркування свідчать про комплексне поняття електромагнітного поля.

Проте недоцільно розглядати вплив електричного та магнітного полів як вплив єдиного електромагнітного поля за промислової частоти 50 Гц. Ефект впливу електромагнітного поля на біологічний об'єкт прийнято оцінювати кількістю електромагнітної енергії, що поглинається цим об'єктом при перебуванні його в полі. Установлено, що в будь-якій точці поля в електроустановках надвисокої напруги з частотою 50 Гц енергія магнітного поля, яка поглинута тілом людини, приблизно у 50 разів менша поглинутої ним енергії електричного поля (у робочих зонах відкритих розподільних пристроїв та проводів повітряних ліній напругою 750 кВ напруженість магнітного поля H становить 20–25 А/м за небезпеки шкідливого впливу у 150–200 А/м). На підставі цього зроблено висновок, що основна негативна дія електромагнітних полів частотою 50 Гц зумовлена електричним полем.

Під електромагнітним забрудненням середовища розуміється такий стан середовища, який характеризується наявністю в атмосфері ЕМП підвищеної інтенсивності, що створюється техногенними джерелами випромінювання неіонізуючої частини електромагнітного спектра. Джерела електромагнітних полів можуть бути природного та антропогенного характеру. До природних джерел належать: Земля, Сонце та інші космічні об'єкти. Електричне поле Землі має середню напруженість $E = 130$ н/м. Менша напруженість фіксується на полюсах, більша – на екваторі. При віддаленні від Землі вона зменшується за експонентою. Магнітне поле Землі має напруженість: біля Північного полюса – $H = 47,8$ А/м; біля Південного полюса – $H = 39,8$ А/м; біля екватора – $H = 19,9$ А/м. Ці величини змінюються під впливом сонячної активності, енергії космічних випромінювань. До цих вічно існуючих полів і випромінювань адаптувалося усе живе.

До основних джерел електромагнітного поля антропогенного характеру належать:

- електротранспорт (трамваї, тролейбуси, потяги тощо);
- лінії електропередач (міського освітлення, високовольтні та ін.);
- електропроводка (усередині будівель, телекомунікації);
- побутові електроприлади;

- теле- і радіостанції (транслявальні антени);
- супутниковий і стільниковий зв'язок (транслявальні антени);
- радары;
- персональні комп'ютери.

8.2.2 Дія електромагнітного поля на організм людини

Ступінь біологічного впливу електромагнітних полів на організм людини залежить від частоти коливань, напруженості та інтенсивності поля, тривалості його впливу. Найбільшою небезпекою для організму є тривале опромінювання впродовж декількох років.

Унаслідок дії ЕМП можливі як гострі, так і хронічні ураження, порушення в системах і органах, функціональні зсуви в діяльності нервово-психічної, серцево-судинної, ендокринної, кровотворної та інших систем. Зазвичай зміни в діяльності нервової та серцево-судинної системи оборотні, і хоча вони накопичуються та посилюються з часом, але, як правило, зменшуються та зникають при усуненні впливу й поліпшенні умов праці. Тривалий та інтенсивний вплив ЕМП призводить до стійких порушень і захворювань.

ЕМП низькочастотного діапазону (промислової частоти 50 Гц) викликають у працівників порушення функціонального стану центральної нервової системи, серцево-судинної системи, спостерігається підвищена стомлюваність, млявість, зниження точності робочих рухів, зміна кров'яного тиску й пульсу, аритмія, головний біль. Також через ЕМП можуть з'являтися роздратування, втрата уваги, зростати порушення мовнорухової та зоровомоторної реакцій, підвищуватися межа нюхової чутливості, пригнічуватися харчовий та статевий рефлекс. Згідно з медичними дослідженнями, у людей під впливом ЕМП фіксуються зміни показників білкового та вуглеводного обміну, збільшується вміст азоту в крові та сечі, знижується концентрація альбуміну та зростає вміст глобуліну, збільшується кількість лейкоцитів, тромбоцитів і відбуваються деякі інші зміни у складі крові.

Дослідження тварин також можуть свідчити про вплив ЕМП на живі організми, зокрема можливий вплив на людину. У тварин у перший період перебування в електромагнітному полі спостерігаються зміни поведінки: неспокій і збудження, рухова активність, намагання втікти із зони його дії. Тривалий вплив призводив до зниження збудження, зростання процесів гальмування. Вплив ЕМП на тварин у період вагітності спричиняв зростання кількості мертвонароджених, викиднів, каліцтв. Аналогічні наслідки виникали й у наступних поколіннях. Мікроскопічні дослідження внутрішніх органів тварин виявили дистрофічні зміни тканин головного мозку, печінки, нирок, легенів, міокарду. Були зафіксовані порушення на клітинному рівні.

Електромагнітні поля негативно впливають на працівників, які безпосередньо знаходяться в зоні впливу джерел випромінювань, а також на населення, яке проживає поблизу них. Установлено, що більша частина населення живе в умовах підвищеної активності ЕМП.

Зокрема, небезпеку можуть становити лінії електропередач. Здорова людина страждає від відносно тривалого перебування в полі ЛЕП. Короткочасне опромінення (протягом кількох хвилин) здатне привести до негативної реакції тільки у гіперчутливих людей або у хворих на деякі види алергії. Так, у роботах відомих англійських учених на початку 90-х років було доведено, що у низки алергіків під дією електромагнітного поля ЛЕП розвивалася реакція за типом епілептичної. При тривалому перебуванні (протягом місяців, років) людей в електромагнітному полі ЛЕП можуть розвиватися захворювання переважно серцево-судинної та нервової систем організму людини. Протягом останніх років серед негативних віддалених наслідків часто діагностуються онкологічні захворювання.

Найбільший внесок у техногенне електромагнітне поле будь-яких будівель у діапазоні промислової частоти 50 Гц вносить електротехнічне устаткування будівлі, а саме: трансформатори, розподільні щити та кабельні лінії, що підводять електрику до усіх квартир та інших споживачів системи життєзабезпечення будівлі. У приміщеннях, суміжних з цими джерелами, зазвичай також фіксується підвищений рівень напруженості магнітного поля промислової частоти, що викликається електрострумом, який протікає по електричних мережах. Рівень напруженості електричного поля промислової частоти при цьому, як правило, невисокий і не перевищує встановлені для населення норми. Згідно із сучасними уявленнями, магнітне поле промислової частоти може бути небезпечним для здоров'я людини, якщо відбувається тривале опромінення (регулярно, не менше 8 год на добу, упродовж декількох років) з рівнем магнітної індукції вище 0,2 мкТл. Більшість побутових електроприладів має магнітне поле з таким рівнем магнітної індукції на відстані 30 см від них.

Орієнтовний перелік небезпечних побутових електроприладів та ступінь їх небезпеки для користувачів має вигляд:

- мікрохвильова піч – якщо корпус СВЧ-печі не пошкоджений та заземлений, то він досить надійно захищає від електромагнітного випромінювання. Вважається, що нічого небезпечного немає і в продуктах, для приготування яких застосовуються мікрохвилі печі, у яких, за рахунок значного підвищення частоти коливань частинок речовин (продуктів), також підвищується їх температура. Працююча піч не шкідливіша від постійно працюючого холодильника – коли вона включена, потрібно знаходитися від неї на відстані 1,5 м;

- пилосос – небезпечна відстань впливу електромагнітного випромінювання – до 60 см;

- електроплита – небезпечна відстань при тривалому знаходженні біля електроплити – до 30 см;

- холодильник – для різних типів небезпека електромагнітного випромінювання різна, тому небезпечна відстань коливається від 30 см до 1,5 м. Найбільш небезпечними вважаються холодильники, оснащені системою «без інею» – вони випромінюють потужні електромагнітні випромінювання в радіусі до 1,5 м;

- електричний чайник – небезпечна зона випромінювання до 25 см;
- пральна машина – небезпечна відстань коливається від 40 до 60 см;
- посудомийна машина – небезпечна відстань до 40 см;
- електрична праска – небезпечна лише в режимі нагрівання і відстань небезпечного випромінювання – до 20 см;
- телевізор – один з найнебезпечніших побутових приладів і відстань до нього має бути не менше 1,5 м, а для телевізорів з розміром екрана 29 дюймів і більше – відстань потрібно збільшити до 2 м і більше;
- кондиціонер – як і телевізор, є приладом з найбільшим випромінюванням, тому біля нього безпечно знаходитися на відстані не ближче 1,5 м;
- комп'ютер – незважаючи на введення дуже жорстких заходів зі зниження електромагнітного випромінювання, цей прилад залишається досить небезпечним і бажано знаходитися не ближче 80 см від блока живлення;
- радіотелефон та мобільний телефон – напевно, найшкідливіший за електромагнітною дією на людину пристрій через дуже близьку відстань до людського мозку при використанні.

Наведемо також деякі дані щодо ступеня небезпеки ПК. За узагальненими даними, у працівників за монітором від 2 до 6 год на добу функціональні порушення центральної нервової системи відбуваються в середньому у 4,6 раза частіше, ніж у контрольних групах; хвороби серцево-судинної системи – у 2 рази частіше; хвороби верхніх дихальних шляхів – у 1,9 раза частіше; хвороби опорно-рухового апарата – у 3,1 раза частіше.

Зі збільшенням тривалості роботи на комп'ютері співвідношення здорових і хворих серед користувачів різко зростає. Навіть при короткочасній роботі (до 45 хв) в організмі користувача під впливом електромагнітного випромінювання відбуваються значні зміни гормонального стану й специфічні зміни біострумів мозку. Особливо яскраво й стійко ці негативні ознаки проявляються в жінок.

Досліджено, що при роботі із ПК менше 1 год зміни функціонального стану організму не проявлялися у лише у 20% працівників. Виходячи з аналізу отриманих результатів, зроблено висновок про необхідність формування спеціальних критеріїв професійного відбору для персоналу, що використовує комп'ютер у процесі роботи.

Проте не можна у всіх проблемах користувачів ПК звинувачувати лише ЕМП. Було виявлено такі можливі причини виникнення скарг у користувачів персонального комп'ютера:

- різь в очах: візуальні ергономічні параметри монітора, освітлення на робочому місці й у приміщенні;
- головний біль: аероіонний склад повітря в робочій зоні, режим роботи;

- підвищена нервозність: електромагнітне поле, кольорова гама при-
міщення, режим роботи;
- підвищена стомлюваність: електромагнітне поле, режим роботи;
- розлад пам'яті: електромагнітне поле, режим роботи;
- порушення сну: режим роботи, електромагнітне поле;
- випадіння волосся: електростатичні поля, режим роботи;
- висип й почервоніння шкіри: електростатичні поля, аероіонний і
пиловий склад повітря в робочій зоні;
- болі в животі: неправильне положення тіла через неправильне
обладнання робочого місця;
- біль у попереку: неправильне положення користувача через облад-
нання робочого місця, режим роботи;
- біль у зап'ястках і пальцях: неправильна конфігурація робочого
місця, у тому числі висота стола не відповідає зросту й висоті крісла;
незручна клавіатура; режим роботи.

8.2.3 Нормування рівнів опромінювання ЕМП

На рис. 14.1 показано приклад впливу на людину різних складових ЕМП. При цьому магнітна компонента ($H1$) утворюється через роботу розташованого в сусідній кімнаті комп'ютера. Електричні складові формуються за рахунок напруги, що підводиться до освітлювальної лампи над ліжком ($E1$), люстри в нижньому приміщенні ($E2$) і подовжувача, що знаходиться під ліжком сплячого ($E3$).

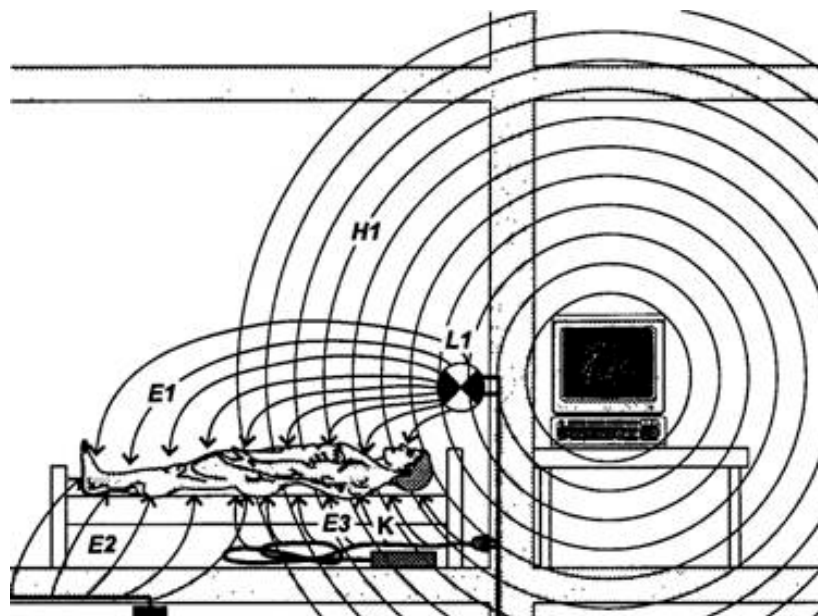


Рисунок 14.1 – Вплив електричних і магнітних складових на людину в приміщеннях

У даний час багато фахівців вважають гранично допустимою величину магнітної індукції у 0,05–0,2 мкТл. При цьому вважається, що розвиток

захворювань, передусім лейкемії, дуже ймовірний при тривалому опроміненні людини полями вищих рівнів (кілька годин на день, особливо в нічні години, протягом року). Гранично допустимий рівень (ГДР) впливу електричного поля промислової частоти для населення не повинен перевищувати 500 В/м.

Основними заходами захисту від ЕМП промислової частоти є:

– унеможливлення тривалого перебування (кілька годин на день) у місцях підвищеного рівня магнітного поля промислової частоти;

– максимальне видалення спальних місць від джерел опромінення. Відстань до розподільних щитів, силових електрокабелів має бути не менше 2,5–3 м.

На рис. 14.2 показано розподіл магнітного поля в житловому приміщенні, поруч з яким знаходиться щит електроживлення. Найбільшу небезпеку ЕМП має для спальних кімнат, а також місць, у яких людина проводить до 50% часу.

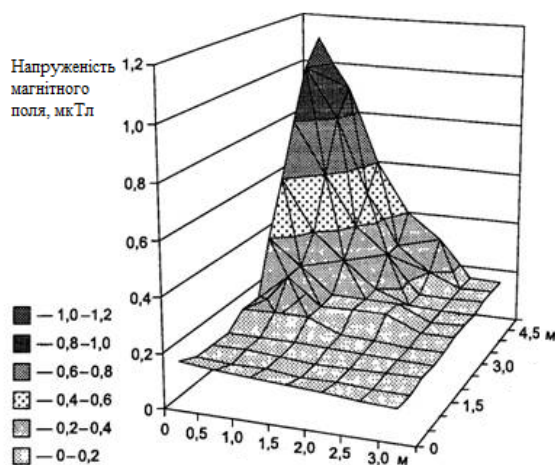


Рисунок 14.2 – Розподіл магнітного поля промислової частоти у житловому приміщенні (джерело поля – розподільний щит електроживлення, що знаходиться в нежитловому суміжному приміщенні)

Зі збільшенням відстані від приладу магнітне поле зменшується, що є основним способом захисту від його впливу (рис. 14.3).

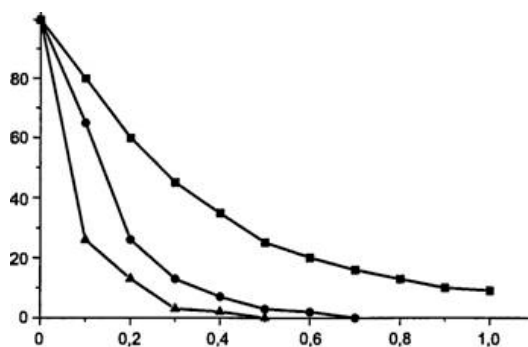


Рисунок 14.3 – Зміна рівня магнітного поля промислової частоти побутових електроприладів залежно від відстані

Значення ЕМП від різних побутових приладів нормуються відповідно до міждержавних санітарних норм (табл. 14.1).

Лінії електропередачі. Проводи лінії електропередачі (ЛЕП) створюють у прилеглому просторі електричне й магнітне поля промислової частоти. Відстань, на яку поширюються ці поля, від проводів лінії сягає десятків метрів.

Таблиця 14.1 – Гранично допустимі рівні електромагнітного поля для споживчої продукції, що є джерелом ЕМП

Джерело	Діапазон	Значення ГДР	Умови вимірювання
Індукційні печі	20–22 кГц	500 В/м 4 А/м	Відстань 0,3 м від корпусу
СВЧ-печі	2,45 ГГц	10 мкВт/см ²	Відстань 0,50 ± 0,05 м від будь-якої точки при навантаженні 1 л води
Відеодисплейний термінал ПЕОМ	5 Гц – 2 кГц	$E_{ГДР} = 25 \text{ В/м}$ $B_{ГДР} = 250 \text{ нТл}$	Відстань 0,5 м навколо монітора ПЕОМ
	2–400 кГц	$E_{ВДУ} = 2,5 \text{ В/м}$ $B_{ГДР} = 25 \text{ нТл}$	
	50 Гц	$E = 500 \text{ В/м}$	Відстань 0,5 м від корпусу
Інша продукція	0,3–300 кГц	$E = 25 \text{ В/м}$	
	0,3–3 МГц	$E = 15 \text{ В/м}$	
	3–30 МГц	$E = 10 \text{ В/м}$	
	30–300 МГц	$E = 3 \text{ В/м}$	
	0,3–30 ГГц	10 мкВт/см ²	

Дальність розповсюдження електричного поля залежить від класу напруги ЛЕП (цифра, що позначає клас напруги, зазначена в назві ЛЕП – наприклад, ЛЕП 220 кВ). Що вища напруга, то більша зона підвищеного рівня електричного поля, при цьому розміри зони не змінюються під час роботи ЛЕП.

Дальність розповсюдження магнітного поля залежить від величини струму, що протікає, або від навантаження лінії. Оскільки навантаження ЛЕП постійно змінюється протягом доби, місяця, року, розміри зони підвищеного рівня магнітного поля також змінюються.

Основний принцип захисту здоров'я населення від електромагнітного поля ЛЕП полягає у встановленні санітарно-захисних зон для ліній електропередачі, нормуванні й зниженні напруженості електричного поля в житлових будинках і в місцях можливого тривалого перебування людей шляхом застосування захисних екранів.

Межі санітарно-захисних зон на діючих лініях визначаються за критерієм напруженості електричного поля – 1 кВ/м (табл. 14.2).

Мобільний зв'язок. Одним з основних джерел електромагнітного випромінювання для сучасної людини є мобільна телефонія. Рівні опромінення за рахунок цих джерел досить високі, і з появою нових технологій потрібно очікувати подальшого збільшення інтенсивності випромінювання. При цьому нові пристрої будуть використовувати більш високі частоти.

Таблиця 14.2 – Гранично допустимі рівні ЕМП ліній електропередач

ГДР ЕМП, кВ/м	Умови опромінювання
0,5	Усередині житлових будівель
1,0	На території зони житлової забудови
5,0	У населеній місцевості поза зоною житлової забудови (землі міст у межах міської межі, у межах їх перспективного розвитку на 10 років, приміські та зелені зони, курорти, землі селищ міського типу, у межах сільських населених пунктів), а також на території городів і садів
10,0	На ділянках перетину повітряних ліній електропередачі з автомобільними дорогами I–IV категорій
15,0	У ненаселеній місцевості (незабудовані місцевості, хоча й часто відвідувані людьми, доступні для транспорту, та с/г угіддя)
20,0	У важкодоступній місцевості (недоступній для транспорту та с/г машин) і на ділянках, спеціально відгороджених для унеможливлення доступу населення

Електромагнітні хвилі довжиною 33–67 см можуть легко оминати перешкоди (нерівності місцевості, будівлі), відбиватися та заломлюватися, проте їх поширення лімітовано. За технологією стандарту GSM така відстань обмежується на відкритій місцевості 35 км. У цьому випадку ідеальна стільникова мережа складатиметься з шестикутних осередків, що мають базову станцію в центрі. Проте практично їх розмір за особливостей місцевості й наявних будівель буде меншим вказаної величини. У великих містах базові станції часто будуються на відстані декількасот метрів один від одного. Менші за потужністю і, відповідно, за покриттям базові станції можуть встановлюватися в місцях великого скупчення користувачів, зокрема, на вокзалах, у метро. І вже зовсім малопотужні станції можуть бути влаштовані у великих будинках для обслуговування офісів.

При роботі мобільного телефону стандарту GSM з вихідною потужністю 2 Вт поблизу антени створюється електричне поле з напруженістю 100 В/м. Щільність потоку від апарата мобільного зв'язку не має перевищувати 100 мкВт/см².

Для характеристики значення електромагнітного поля, що взаємодіє з тілом людини, використовують значення дози (енергії поля), що поглинається одиницею маси тканини, яку позначають як SAR (Specific Absorption Rate). У Європі була прийнята така градація величин SAR для мобільних телефонів:

- дуже низька опромінювальна здатність – SAR lt; 0,2 Вт/кг,
- низька опромінювальна здатність – SAR від 0,2 до 0,5 Вт/кг,
- середня опромінювальна здатність – SAR від 0,5 до 1,0 Вт/кг,
- висока опромінювальна здатність – SAR gt; 1,0 Вт/кг, а верхньою межею показника SAR вважалася величина 2 Вт/кг.

З 2001 року був уведений новий стандарт на випромінювальну потужність стільникових телефонів – TCO 01. Згідно з ним для апаратів мобіль-

ного зв'язку встановлюється більш низьке значення SAR, що дорівнює 0,8 Вт/кг, якого повинні дотримуватися всі виробники мобільних телефонів. У даний час цю величину потрібно вказувати в інструкції до апарата.

Величину SAR виміряти досить складно. Потрібне спеціальне дороге устаткування й фантоми, тобто імітатори тканин людського організму. Але не існує у світі єдиної методики вимірювання SAR. Тому дані цього показника, вимірювані в незалежних центрах, можуть різнитися в кілька разів. Найбільш реальним є вимірювання щільності потоку електромагнітного випромінювання мобільного телефону.

8.3 Експериментальна частина

8.3.1 Опис вимірювальних приладів та методики вимірювання

Прилад ТМ-195 розроблений для вимірювання й моніторингу потужності електромагнітних полів у радіочастотному діапазоні. Він відкалібрований для використання у діапазоні частот 50 МГц~3.5 ГГц. Для використання натисніть клавішу вмикання. Виберіть одиниці вимірювання (мВ/м), натискаючи клавішу вибору для вибору одиниць вимірювання потужності електричного поля.

Даний прилад використовується для виявлення штучно створеного електромагнітного забруднення. Як було зазначено вище, повсюди, де є напруга або струм, виникають електричне (E) і магнітне (H) поля. Усі типи радіо- й телевізійних передавачів генерують електромагнітні поля, вони виникають як у промислових, так й у побутових умовах, де негативно впливають на нас без сприйняття небезпеки нашими органами чуття.

Напруженість електричного поля (E) – це векторна фізична величина, яка дорівнює силі (F), що діє у даній точці простору в даний момент часу на пробний одиничний електричний заряд (q) в електричному полі. Даний прилад вимірює безпосередньо напруженість електричного поля у вольтх на метр (В/м).

Напруженість магнітного поля (H) – це векторна фізична величина, яка еквівалентна щільності магнітного потоку, поділеній на магнітну проникність середовища. Напруженість магнітного поля виражається в одиницях ампер на метр (А/м). У ситуації віддаленого поля можна обчислити магнітне поле через величину електричного поля. Даний пристрій може відображати розраховану напруженість магнітного поля.

Густина потужності (S) – це потужність на одиницю площі, перпендикулярної до напрямку розповсюдження і, як правило, виражається в одиницях Вт на квадратний метр ($\text{Вт}/\text{м}^2$) або (для зручності) в одиницях міліват на квадратний сантиметр ($\text{мВт}/\text{см}^2$).

Електромагнітні поля поширюються у вигляді хвиль зі швидкістю світла. Якщо відстань до джерела поля менша трьох довжин хвиль, то діють умови дальнього поля.

В умовах ближнього поля величина магнітного поля не може бути обчислена із величини електричного поля. Даний прилад призначений для надійного вимірювання дальнього поля.

Досить часто технічне обслуговування й сервісні роботи виконуються у місцях, де наявні активні електромагнітні поля, зокрема, на станціях радіомовлення. Крім того, й інші працівники можуть піддаватися впливу електромагнітних випромінювань. У таких випадках важливо, щоб на персонал не впливали небезпечні рівні електромагнітного випромінювання, тому прилад застосовується для:

- вимірювання напруженості поля високочастотних (RF) електромагнітних хвиль;
- вимірювання густини потужності випромінювання антен баз мобільного зв'язку;
- додатків безпроводних комунікацій (CW, TDMA, GSM, DECT);
- вимірювання потужності передавачів;
- знаходження й налаштування безпроводних мереж LAN (Wi-Fi);
- знаходження шпигунських камер і бездротових закладок (жучків);
- визначення безпечності рівня випромінювання мобільних телефонів та мікрохвильових печей;
- визначення електромагнітної безпеки житлових приміщень.

Прилад є широкосмуговим пристроєм для моніторингу високочастотного випромінювання у діапазоні 50 МГц~3.5 ГГц.

Ненаправлена антена електричного поля та висока чутливість дозволяють вимірювати напруженість електричного поля у поглинальних приміщеннях. Прилад може бути налаштований на відображення миттєвого, максимального або середнього значення вимірюваної величини.

Прилад вимірює електричну складову поля за замовчуванням в одиницях напруженості електричного поля (мВ/м або В/м). Прилад конвертує виміряну величину в інші одиниці вимірювання, тобто у відповідні одиниці вимірювання напруженості магнітного поля (пА/м або мА/м) та одиниці вимірювання густини потужності (пВт/м, мВт/м² або пВт/см²), використовуючи стандартне формулювання дальнього поля для електромагнітного випромінювання.

Таке перетворення є неприпустимим для вимірювань у ближньому полі, оскільки відсутній однозначний зв'язок між електричним і магнітним полями у даній ситуації. Завжди використовуйте одиниці вимірювання за замовчуванням під час проведення вимірювань ближнього поля.

Гістограма на дисплеї завжди показує миттєву виміряну величину динамічного діапазону. Цифровий дисплей показує результат відповідно до одного з трьох режимів, що був вибраний.

Миттєва величина: на цифровому дисплеї відображається остання виміряна сенсором величина, символи не відображаються.

Максимальна миттєва величина (MAX): цифровий дисплей показує найбільшу з миттєвих величин, що були виміряні, відображається символ «MAX».

Середнє значення величини (AVG): цифровий дисплей показує середнє значення виміряної величини, а також відображається символ «AVG». Миттєвий режим встановлюється за замовчуванням після вмикання приладу.

Використовуйте прилад у режимі вимірювання миттєвого або максимального миттєвого значення величини, якщо характеристики й направленість поля не відомі, при входженні в зону дії електромагнітного випромінювання.

При вимірюваннях тримайте прилад на відстані витягнутої руки.

Зробіть кілька вимірювань у різних точках навколо вашого робочого місця або зонах, що вас цікавлять, як це описано вище. Це особливо важливо при невідомих параметрах поля.

Зверніть особливу увагу на вимірювання поряд з можливими джерелами випромінювання. Разом з активними джерелами випромінювання деякі компоненти, приєднані до джерела, можуть також випромінювати електромагнітні хвилі. Зокрема, кабелі та радіатори обладнання також можуть випромінювати електромагнітну енергію.

Зверніть увагу, що металеві предмети в електромагнітному полі можуть локально концентрувати або посилювати поле від віддаленого джерела.

8.3.2 Вимоги безпеки під час проведення вимірювань

УВАГА! Уникайте коливань приладу, особливо під час вимірювань. Зазначені обмеження, навколишнє середовище й неправильне поводження можуть негативно вплинути на точність і функціональність приладу.

У деяких випадках робота близько від джерел випромінювання є небезпечною для життя. Зверніть увагу, що особи з електронними імплантатами (зокрема, кардіостимуляторами) є найбільш уразливими при цьому.

Дотримуйтесь загальних правил безпеки експлуатації об'єкта.

Дотримуйтесь інструкції з експлуатації для обладнання, яке використовується для генерації, передачі або споживання електромагнітної енергії.

Зверніть увагу, що:

- вторинні випромінювачі (наприклад, такі відбиваючі об'єкти, як металеві огорожі) можуть бути локальними підсилювачами поля;

- напруженість поля поблизу радарів збільшується обернено пропорційно кубу відстані. Це означає, що велика напруженість поля може мати місце в безпосередній близькості від невеликих джерел випромінювання.

Вимірювальний прилад може недооцінити напруженість поля імпульсних сигналів, зокрема, радіолокаційних сигналів, що може призвести до значної похибки вимірювання.

Усі прилади для вимірювання напруженості поля мають обмеження частотного діапазону. Поля зі спектральними компонентами, які не входять до цього діапазону, оцінюються неправильно і, як правило, недооцінюються. Перед використанням приладу для вимірювання напруженості поля переконайтесь, що всі компоненти досліджуваного поля входять до вказаного діапазону частот.

8.3.3 Проведення експерименту

Завдання 14.1

Оцінити безпеку під час користування мобільним телефоном.

1. Вибрати три моделі мобільних телефонів для дослідження.
2. Виміряти напруженість електромагнітного поля для мобільних телефонів: у стані очікування, під час здійснення вхідного та вихідного виклику, під час розмови.
3. Визначити нормативні значення рівня напруженості електричного поля для мобільного телефону.
4. Внести отримані дані до табл. 14.3.
5. Зробити висновки, подавши отримані дані графічно.

Таблиця 14.3 – Оцінювання безпеки під час користування мобільним телефоном

Показники	Рівень напруженості електромагнітного поля			
	під час очікування	вхідний виклик	вихідний виклик	під час розмови
Модель 1				
Модель 2				
Модель 3				
Нормативні значення				

Завдання 14.2

Оцінити зміну напруженості електромагнітного поля від відстані під час користування мобільним телефоном.

1. Вибрати три моделі мобільного телефону для дослідження.
2. Виміряти напруженість електромагнітного поля для мобільних телефонів у стані здійснення вхідного виклику на різній відстані.
3. Внести отримані дані до табл. 14.4.
4. Зробити висновки, подавши отримані дані графічно.

Таблиця 14.4 – Дослідження зміни напруженості електромагнітного поля від відстані під час користування мобільним телефоном

Показники	Рівень напруженості електромагнітного поля під час виклику						
	0 см	5 см	10 см	15 см	20 см	25 см	30 см
Модель 1							
Модель 2							
Модель 3							

Завдання 14.3

Провести дослідження безпеки користування побутовими електроприладами (ПК, холодильник, мікрохвильова піч, телевізор).

1. Вибрати відповідний побутовий електроприлад для дослідження.
2. Виміряти напруженість електромагнітного поля для обраного приладу в робочому стані на різній відстані (три позиції).
3. Зробити висновки, порівнявши отримані дані із нормативними значеннями.

8.4 Контрольні запитання

1. Назвіть основні джерела електромагнітного поля, дайте означення електромагнітного поля.
2. Якими параметрами характеризується електромагнітне поле?
3. Як впливає електромагнітне поле на організм людини й від чого залежать наслідки його впливу?
4. Як нормуються рівні опромінювання електричного поля промислової частоти?
5. Як нормуються рівні опромінювання ЕМП радіочастот?
6. Якими приладами можна виміряти параметри ЕМП?
7. У якому випадку забороняється проведення робіт в ЕМП?
8. У чому полягають особливості оцінювання впливу ЕМП від побутових приладів?
9. У чому полягають особливості нормування рівня опромінювання ЕМП від побутових приладів?
10. Які існують заходи безпеки під час користування побутовими електроприладами?

ЛІТЕРАТУРА

1. ССБТ. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах : ГОСТ 12.1.002:1984. – [Действующий от 1986-01-01]. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 6 с.
2. ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля : ГОСТ 12.1.006:1984. – [Действующий от 1986-01-01]. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 5 с.
3. Долин П. А. Основы техники безопасности в электроустановках / Долин П. А. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 448 с.
4. Безопасность труда в промышленности / [К. Н. Ткачук, П. Я. Галушко, Р. В. Сабарно и др.]. – К. : Техніка, 1982. – 230 с.
5. Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин : ДСанПін 3.3.2.007-98.
6. Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань : ДСН 239-96.
7. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів : ДСП 173-96.
8. Ергономічні вимоги до роботи з відеотерміналами в офісі. Частина 6. Вимоги до робочого середовища : ДСТУ ISO 9241-6:2004. – [Чинний від 2006-01-01]. – К. : «УкрНДНЦ», 2004.
9. Стожаров А. Н. Медична екологія : навч. посіб. / Стожаров А. Н. – Мінськ : Виш. шк., 2008. – 368 с.
10. Measurement methods for electromagnetic fields of household appliances and similar apparatus with regard to human exposure (Методи вимірювання для електромагнітних полів побутової техніки та аналогічні пристрої щодо впливу на людину) : EN 62233:2008.

Навчальне видання

**Кобилянський Олександр Володимирович
Дембіцька Софія Віталіївна**

**ОХОРОНА ПРАЦІ В ГАЛУЗІ
ТА ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ**

Лабораторний практикум

Редактори: В. Дружиніна
О. Ткачук

Оригінал-макет підготовлено О. В. Кобилянським

Підписано до друку 06.02.2017 р.
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 8,5.
Наклад 50 пр. Зам. № 2017-021.

Вінницький національний технічний університет,
навчально-методичний відділ ВНТУ.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, к. 2201.
Тел. (0432) 59-87-36.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-87-38.
publish.vntu.edu.ua; email: kivc.vntu@gmail.com.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

