

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**Український державний університет  
науки і технологій**

---

Кафедра «Інтелектуальні системи енергопостачання»

## **КОНТАКТНА МЕРЕЖА**

Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт

Електронний аналог  
друкованого видання

ДНІПРО  
2023

Укладачі:

*А. В. Антонов, Д. О. Босий, В. О. Дьяков*

Експерти:

Голов. інж. проєкту *Д. М. Яценко* («Дніпрозалізничпроєкт»)  
д-р техн. наук, проф. *А. М. Афанасов* (УДУНТ)

Рекомендовано МКФ «УЕП» (протокол № 2 від 15.11.2022)  
Зареєстровано НМВ УДУНТ (постанова № 617 від 22.05.2023)

**К 65** Контактна мережа : методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт / уклад. А. В. Антонов, Д. О. Босий, В. О. Дьяков ; Укр. держ. ун-т науки і технологій. – Дніпро : УДУНТ, 2023. – 31 с.

Методичні рекомендації до лабораторного практикуму містять теоретичні відомості та методику виконання механічних розрахунків контактних підвісок та повітряних ліній електропередачі. Видання сприяє кращому засвоюванню теоретичного матеріалу та набуття практичних навичок. Наведені матеріали можуть бути використані для самостійної роботи та під час підготовки до контрольних заходів.

Для студентів усіх форм навчання освітнього ступеня «бакалавр» за ОПП «Електротехнічні системи електроспоживання» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Іл. 13. Табл. 15. Бібліогр.: 6 назв.

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. ВСТУП.....                                                                                                                             | 4  |
| 2. Лабораторна робота №1 ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ НА СТІЛИ<br>ПРОВИСАННЯ І НАТЯГУ ПРОВІДІВ КОНТАКТНИХ<br>ПІДВІСОК.....                           | 5  |
| 3. Лабораторна робота №2 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ<br>НА НАТЯГ ПРОВІДІВ ЛАНЦЮГОВИХ НАПІВКОМПЕНСОВАНИХ<br>КОНТАКТНИХ<br>ПІДВІСОК..... | 10 |
| 4. Лабораторна робота №3 ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ГНУЧКОЇ<br>ПОПЕРЕЧИНИ.....                                                                    | 17 |
| 5. Лабораторна робота №4 ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ<br>ХАРАКТЕРИСТИК КОНТАКТНИХ ПРОВІДІВ ТА<br>СТРУМОЗНІМАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ.....         | 21 |
| 6. СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....                                                                                                                 | 27 |

## ВСТУП

Методичні рекомендації до лабораторного практикуму покликані закріпити в ході виконання учбово-дослідницьких робіт отримані теоретичні знання з проведення механічних розрахунків контактних мереж та повітряних ліній електропередачі.. Наочні дослідження дозволяють досягнути та засвоїти механіку поведінки складових контактних мереж та повітряних ліній електропередачі.

В процесі виконання учбово-дослідницьких робіт лабораторного практикуму студенти формують особистісні та управлінські соціальні навички, а саме: здатність приймати рішення при виборі типу контактних мереж та повітряних ліній електропередачі в залежності від умов її застосування; чітко формулювати цілі при виборі складових контактних мереж та повітряних ліній електропередачі; працювати в команді при проєктуванні та розрахунку контактних мереж та повітряних ліній електропередачі; запобігати конфліктам при обговоренні проєктів контактних мереж та повітряних ліній електропередачі працюючи у колективі.

Під час проведення лабораторного практикуму всі студенти повинні дотримуватися вимог з охорони праці затверджених на рівні адміністрації університету. Перед проведенням лабораторного практикуму всі студенти повинні пройти обов'язковий інструктаж з техніки безпеки. Всі роботи повинні виконуватися під наглядом викладача, який щорічно проходить перевірку знань та інструктажі з Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів (ПБЕЕС), Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕЕС), правил пожежної безпеки та інструкцій з охорони праці, а також пройшов спеціальну підготовку на право виконання таких робіт та має відповідну групу з електробезпеки для проведення цих робіт.

Дисципліна «Контактна мережа» відноситься до вибіркової компоненти освітньої програми «Електротехнічні системи електроспоживання».

Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт сприяють досягненню наступних очікуваних результатів навчання: розрізняти типи силового обладнання та пристроїв захисного заземлення, застосовувати програмне забезпечення для проєктування контактної мережі, розв'язувати складні задачі з проєктування та обслуговування пристроїв контактної мережі.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

### ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ НА СТІЛИ ПРОГИНУ І НАТЯГУ ПРОВОДІВ КОНТАКТНИХ ПІДВІСОК

**Мета лабораторної роботи:** Вивчити системи простих контактних підвісок (повітряних ліній електропередачі), дослідити вплив температури навколишнього середовища на зміну стріли провисання і натягу проводів

**Задача:** за результатами проведених досліджень побудувати монтажні криві для простої контактної підвіски (повітряної лінії електропередачі) різного конструктивного виконання

#### Теоретичні відомості

Контактна підвіска (повітряна лінія електропередачі) – це сукупність проводів, спеціалізованої арматури та підтримуючих пристроїв, які механічно та/або електрично з'єднані між собою та призначені для передачі електричної енергії до споживача.

Стріла провисання проводу (тросу) – це відстань по вертикалі від лінії, що з'єднує точки підвісу проводу на сусідніх опорах до найнижчої точки проводу в прогоні.

Прогін контактної підвіски (повітряної лінії електропередачі) – це відстань між центрами двох опор (підтримуючих пристроїв), на яких підвішені проводи.

Монтажні криві – це графічне вираження залежності стріли провисання і натягу проводів від температури (будується на одній площині).

В лабораторній роботі в якості контактних підвісок (повітряних ліній електропередачі) використовуються масштабні моделі.

В ході лабораторної роботи необхідно провести сукупність дослідів і розрахунків, які покликані:

- визначити геометричні параметри контактних підвісок;
- виміряти значення стріли провисання в залежності від температури оточуючого середовища (зміна температури оточуючого середовища моделюється шляхом нагрівання проводу від протікання струму);
- розрахувати натяг проводів.

Дослідження будуть проводитись в декількох розрахункових режимах: без компенсації проводу; з сезонним регулюванням; з компенсацією [1].

Моделювання зміни температури оточуючого середовища здійснюється з використанням регульованого випрямного агрегату, рис. 1.1.

Розрахункова схема простої контактної підвіски (повітряної лінії електропередачі) приведена на рис. 1.2.

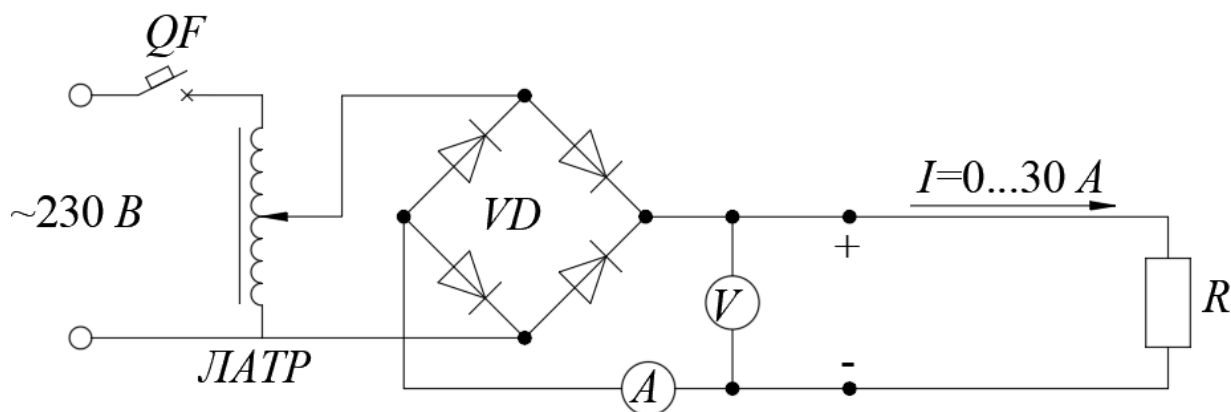


Рисунок 1.1 – Схема регульованого випрямного агрегату

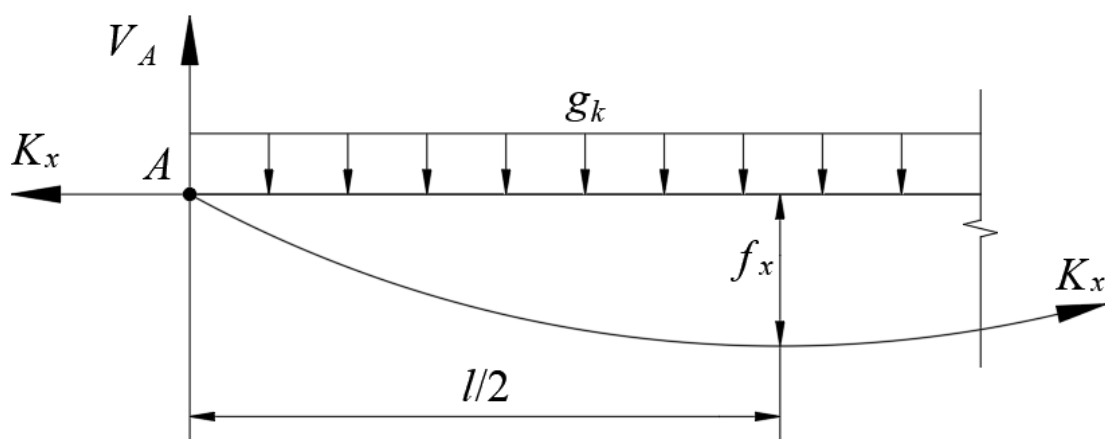


Рисунок 1.2 – Розрахункова схема простої контактної підвіски (повітряної лінії електропередачі)

## 1 Некомпенсована контактна підвіска

Для забезпечення наочності дослідження, в якості вихідних умов задаються початковою температурою оточуючого середовища на рівні  $-30^{\circ}\text{C}$ , струмом, що протікає через провід рівним нулю та натягом проводу на рівні 0,74 даН (безпосередньо встановлюється на блок відповідної підвіски макету). Далі визначається стріла провисання проводу при описаних вище умовах. Дані заносяться в табл. 1.1.

Шляхом зворотного перерахунку за формулою (1.1) здійснюється визначення лінійного навантаження від ваги контактної підвіски, яке використовується в подальших розрахунках.

Таблиця 1.1

Результуюча таблиця для некомпенсованої контактної підвіски

|                         |      |    |    |    |
|-------------------------|------|----|----|----|
| $t_x, ^{\circ}\text{C}$ | -30  |    |    |    |
| $I_x, \text{A}$         | 0    | 10 | 20 | 30 |
| $f_x, \text{м}$         |      |    |    |    |
| $K_x, \text{даН}$       | 0,74 |    |    |    |

Натяг проводу, даН, визначають за формулою (рівняння рівноваги):

$$K_x = \frac{g_k \cdot l^2}{8 \cdot f_x} \quad (1.1)$$

де  $g_k$  - лінійне навантаження від ваги контактного проводу, даН/м;

$f_x$  - стріла провисання проводу, м;

$l$  - довжина прогону, м.

Наступним етапом є визначення стріли провисання проводу при змінній температурі навколишнього середовища. Для цього, на виході регульованого випрямного агрегату встановлюється значення струму на рівні 10 А, витримка часу до проведення виміру стріли провисання проводу повинна становити 5 хв. Почергово збільшують струм та вимірюють стріли провисання проводу, розраховують натяг проводу.

Результати проведених вимірювань заносяться в табл. 1.1.

Визначення температури навколишнього середовища здійснюють за наступною формулою (рівняння стану):

$$t_x = A + \frac{B}{K_x^2} - \frac{K_x}{\alpha ES} \quad (1.2)$$

де  $A$  та  $B$  - температурні коефіцієнти:

$$A = -30 - \frac{g_k^2 \cdot l^2}{24\alpha \cdot K_{-30}^2} + \frac{K_{-30}}{\alpha ES} \quad (1.3)$$

$$B = \frac{g_k^2 \cdot l^2}{24\alpha} \quad (1.4)$$

де  $24\alpha$  - добуток коефіцієнт температурного лінійного розширення та 24, 1/°C;

$\alpha ES$  - добуток коефіцієнту температурного лінійного розширення, модуля пружності (модуль Юнга, МПа) та площі поперечного перетину проводу, мм<sup>2</sup>.

За результатами проведених розрахунків та на основі сформованих даних в табл. 1.1...1.3 будують монтажні криві.

Рекомендується здійснювати побудову монтажних кривих в засобах програмного пакету Office або MathCad.

В табл. 1.4 приведені значення основних фізико-механічних характеристик для різних типів матеріалів проводів.





## **4 Висновки**

Описати результати роботи, привести побудовані залежності.

## **5 Контрольні питання**

1. В якому випадку стріла провисання проводу буде найбільшою та найменшою?
2. Опишіть конструктивні особливості простих контактних підвісок (повітряних ліній електропередачі).
3. Запишіть рівняння рівноваги і стану простої і ланцюгової контактної підвіски.
4. Яка послідовність механічного розрахунку простих контактних підвісок (повітряних ліній електропередачі)?
5. Який тип контактної підвіски володіє найбільш стабільними показниками протягом року?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

### ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ НА НАТЯГ ПРОВІДІВ ЛАНЦЮГОВИХ НАПІВКОМПЕНСОВАНИХ КОНТАКТНИХ ПІДВІСОК

**Мета лабораторної роботи:** Вивчити системи ланцюгових контактних підвісок, дослідити вплив температури навколишнього середовища на зміну стріли провисання, натягу тросів і проводів при різній конструкції опорного вузла

**Задача:** за результатами проведених досліджень побудувати монтажні криві для ланцюгових контактних підвісок різного конструктивного виконання опорного вузла

#### Теоретичні відомості

Ланцюгова контактна підвіска – це сукупність проводів і тросів, спеціалізованої арматури та підтримуючих пристроїв, які механічно та/або електрично з'єднані між собою, призначена для мінімізації стріли прогину контактного проводу та для передачі електричної енергії до споживача.

Струна – складова контактної підвіски, яка виконує функцію фіксації контактного проводу в заданій вертикальній координаті та передає навантаження від його ваги на несучий трос.

Струновий прогін – це відстань між центрами двох струн.

В лабораторній роботі в якості контактних підвісок використовуються масштабні моделі.

В ході лабораторної роботи необхідно провести сукупність дослідів і розрахунків, які покликані:

- визначити геометричні параметри контактних підвісок;
- виміряти значення стріли провисання контактного проводу та несучого тросу в залежності від температури оточуючого середовища (зміна температури оточуючого середовища моделюється шляхом нагрівання проводу від протікання струму);
- розрахувати натяг проводів.

Дослідження будуть проводитись для напівкомпенсованих контактних підвісок з різними опорними вузлами: з ресорною струною; з опорно-зміщеними струнами; з простою опорною струною [1].

Моделювання зміни температури оточуючого середовища здійснюється з використанням регульованого випрямного агрегату, рис. 2.1.

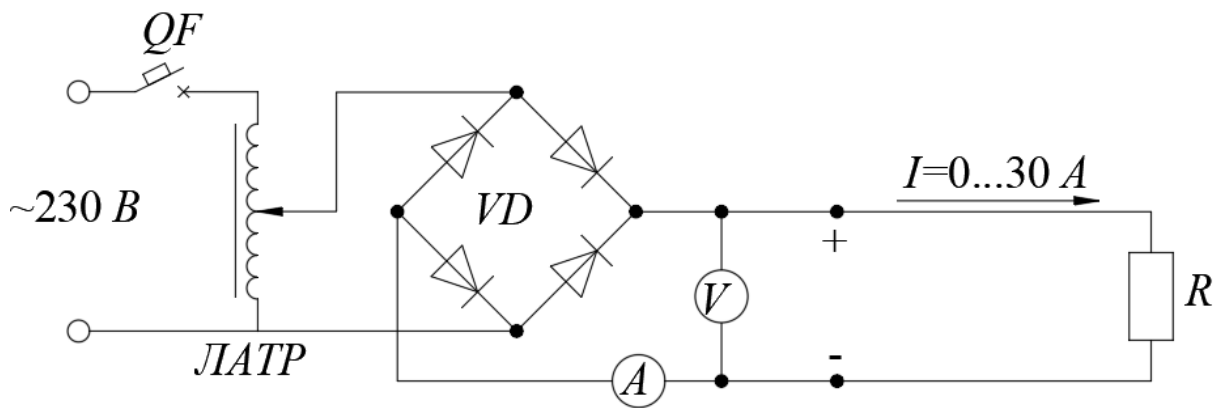


Рисунок 2.1 – Схема регульованого випрямного агрегату

### 1 Напівкомпенсованої контактної підвіски з ресорною струною

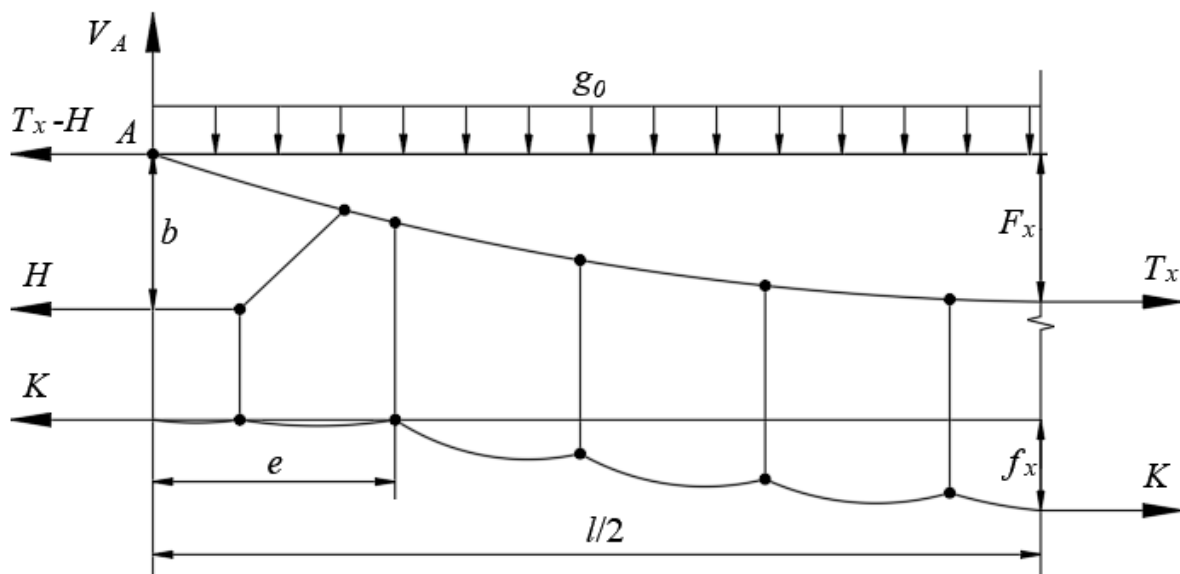


Рисунок 2.2 – Напівкомпенсованої контактної підвіски з ресорною струною

Для забезпечення наочності дослідження, в якості вихідних умов задаються початковою температурою оточуючого середовища на рівні  $-30^{\circ}\text{C}$ , струмом, що протікає через провід рівним нулю, натягом контактного проводу на рівні  $0,74 \text{ даН}$  та натягом несучого тросу  $1,2 \text{ даН}$  (безпосередньо встановлюються на блок відповідної підвіски макету). Далі визначається стріла провисання контактного проводу та тросу при описаних вище умовах. Дані заносяться в табл. 1.1.

Шляхом зворотного перерахунку за формулою (2.1) здійснюється визначення лінійного навантаження від ваги контактної підвіски, яке використовується в подальших розрахунках.

Таблиця 2.1

**Результуюча таблиця напівкомпенсованої контактної підвіски з  
ресорною струною**

|                       |     |    |    |    |
|-----------------------|-----|----|----|----|
| $t_x, ^\circ\text{C}$ | -30 |    |    |    |
| $I_x, \text{A}$       | 0   | 10 | 20 | 30 |
| $f_x, \text{м}$       |     |    |    |    |
| $F_x, \text{м}$       |     |    |    |    |
| $T_x, \text{даН}$     | 1,2 |    |    |    |

Натяг несучого тросу, даН, визначають за формулою (рівняння рівноваги):

$$T_x = \frac{1}{F_x} \cdot \left( \frac{g_0 \cdot l^2}{8} + H \cdot b - K \cdot f_x \right) \quad (2.1)$$

де  $g_0$  - лінійне навантаження від ваги контактної підвіски, даН/м;

$f_x$  - стріла провисання контактного проводу, м;

$F_x$  - стріла провисання несучого тросу, м;

$H_x$  - натяг несучого тросу, даН (в розрахунках приймаємо рівним нулю);

$b$  - відстань між несучим і ресорним тросом ресорної струни по осі опори;

$K$  - номінальний натяг контактного проводу, даН;

$l$  - довжина прогону, м.

Наступним етапом є визначення стріл провисання при зміні температурі навколишнього середовища. Для цього, на виході регульованого випрямного агрегату встановлюється значення струму на рівні 10 А, витримка часу до проведення виміру стріли провисання проводу повинна становити 5 хв. Почергово збільшують струм та вимірюють стріли провисання проводу, розраховують натяг несучого тросу.

Результати проведених вимірювань заносяться в табл. 2.1.

Визначення температури навколишнього середовища здійснюють за наступною формулою (рівняння стану):

$$t_x = A_1 + \frac{B_1}{T_x^2} - \frac{T_x}{\alpha ES} \quad (2.2)$$

де  $A$  та  $B$  - температурні коефіцієнти:

$$A_1 = -30 - \frac{g_0^2 \cdot l^2}{24\alpha \cdot T_{-30}^2} + \frac{T_{-30}}{\alpha ES} \quad (2.3)$$

$$B_1 = \frac{g_0^2 \cdot l^2}{24\alpha} \quad (2.4)$$

де  $24\alpha$  - добуток коефіцієнт температурного лінійного розширення та 24,  $1/^\circ\text{C}$ ;

$\alpha ES$  - добуток коефіцієнту температурного лінійного розширення, модуля пружності (модуль Юнга, МПа) та площі поперечного перетину проводу,  $\text{мм}^2$ .

За результатами проведених розрахунків та на основі сформованих даних в будують монтажні криві.

Рекомендується здійснювати побудову монтажних кривих в засобах програмного пакету Office або MathCad.

В табл. 1.4 приведені значення основних фізико-механічних характеристик для різних типів матеріалів проводів.

## 2 Напівкомпенсованої контактної підвіски з опорно-зміщеними струнами

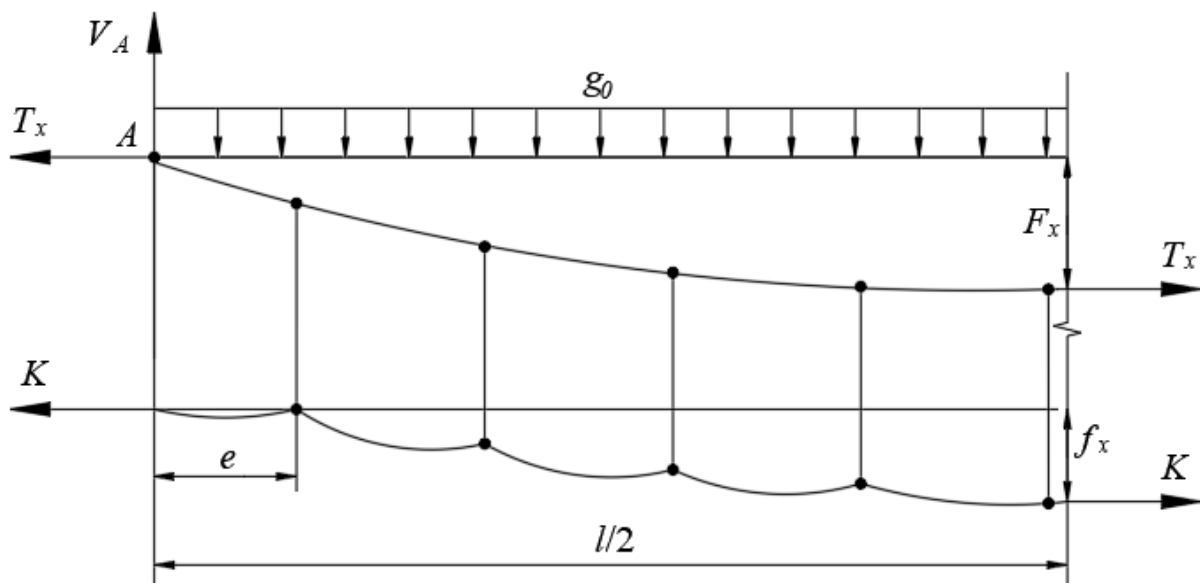


Рисунок 2.3 – Напівкомпенсованої контактної підвіски з опорно-зміщеними струнами

Результати проведених вимірювань заносяться в табл. 2.2.

Визначення температури навколишнього середовища здійснюють за наступною формулою (рівняння стану):

$$t_x = A_2 + \frac{B_{2x}}{Z_x^2} - \frac{T_x}{\alpha ES} \quad (2.5)$$

де  $A$  та  $B$  - температурні коефіцієнти:

$$A_2 = -30 - \frac{W_{-30}^2 \cdot l^2}{24\alpha \cdot Z_{-30}^2} + \frac{T_{-30}}{\alpha ES} \quad (2.6)$$

$$B_{2x} = \frac{W_x^2 \cdot l^2}{24\alpha} \quad (2.7)$$

Таблиця 2.2

**Результуюча таблиця напівкомпенсованої контактної підвіски з опорно-зміщеними струнами**

|                                             |     |    |    |    |
|---------------------------------------------|-----|----|----|----|
| $t_x, ^\circ\text{C}$                       | -30 |    |    |    |
| $I_x, \text{A}$                             | 0   | 10 | 20 | 30 |
| $f_x, \text{м}$                             |     |    |    |    |
| $F_x, \text{м}$                             |     |    |    |    |
| $T_x, \text{даН}$                           | 1,2 |    |    |    |
| $\Phi_x$                                    |     |    |    |    |
| $Z_x, \text{даН}$                           |     |    |    |    |
| $W_x, \text{даН/м}$                         |     |    |    |    |
| $B_{2x}, \text{даН}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ |     |    |    |    |

$$W_x = \frac{8 \cdot F_x \cdot Z_x}{l^2} \quad (2.8)$$

$$Z_x = T_x + \Phi_x \cdot K \quad (2.9)$$

де  $W_x$  - приведенне лінійне навантаження на несучий трос, даН/м;

$Z_x$  - приведений натяг контактної підвіски, даН;

$\Phi_x$  - конструктивний коефіцієнт ланцюгової контактної підвіски з опорно-зміщеними струнами.

$$\Phi_x = \frac{\lambda}{1 + (1 - \lambda) \cdot \frac{K}{T_x}} \quad (2.10)$$

$$\lambda = \left( \frac{l - 2 \cdot e}{l} \right)^2 \quad (2.11)$$

де  $e$  - відстань від опори до біляопорної струни, м;

### 3 Напівкомпенсованої контактної підвіски з простою опорною струною

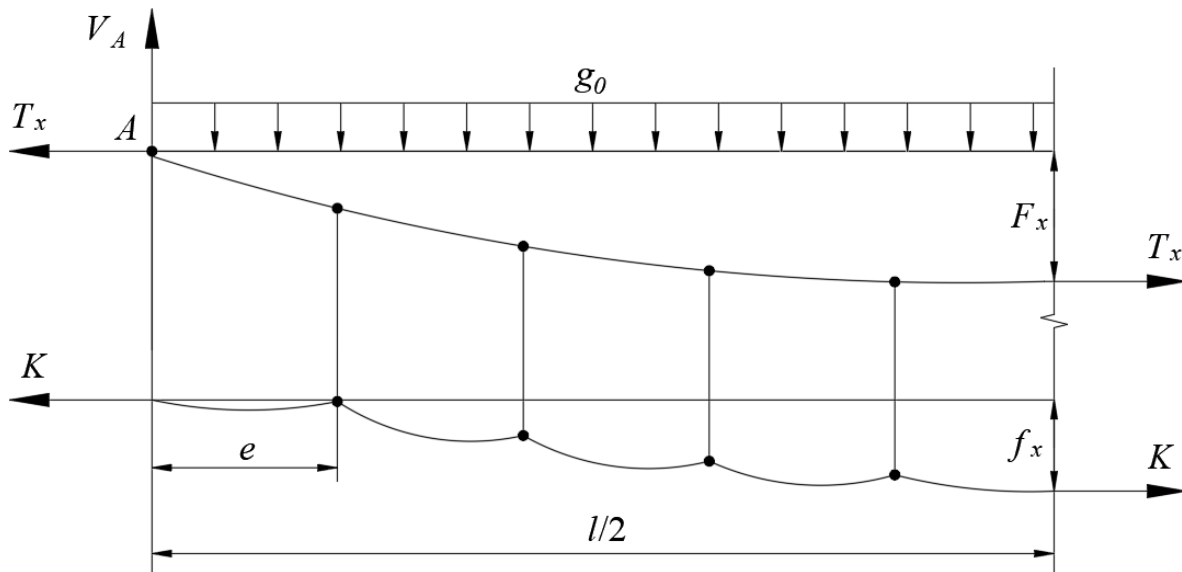


Рисунок 2.4 – Напівкомпенсованої контактної підвіски з простою опорною струною

Таблиця 2.3

Результуюча таблиця напівкомпенсованої контактної підвіски з простою опорною струною

|                                             |     |    |    |    |
|---------------------------------------------|-----|----|----|----|
| $t_x, ^\circ\text{C}$                       | -30 |    |    |    |
| $I_x, \text{A}$                             | 0   | 10 | 20 | 30 |
| $f_x, \text{м}$                             |     |    |    |    |
| $F_x, \text{м}$                             |     |    |    |    |
| $T_x, \text{даН}$                           | 1,2 |    |    |    |
| $Z_x, \text{даН}$                           |     |    |    |    |
| $W_x, \text{даН/м}$                         |     |    |    |    |
| $B_{3x}, \text{даН}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ |     |    |    |    |

Результати проведених вимірювань заносяться в табл. 2.3.

Визначення температури навколишнього середовища здійснюють за наступною формулою (рівняння стану):

$$t_x = A_3 + \frac{B_{3x}}{Z_x^2} - \frac{T_x}{\alpha ES} \quad (2.5)$$

де  $A$  та  $B$  - температурні коефіцієнти:

$$A_3 = -30 - \frac{W_{-30}^2 \cdot l^2}{24\alpha \cdot Z_{-30}^2} + \frac{T_{-30}}{\alpha ES} \quad (2.6)$$

$$B_{3x} = \frac{W_x^2 \cdot l^2}{24\alpha} \quad (2.7)$$

$$W_x = \frac{8 \cdot F_x \cdot Z_x}{l^2} \quad (2.8)$$

$$Z_x = T_x + K \quad (2.9)$$

де  $W_x$  - приведенне лінійне навантаження на несучий трос, даН/м;

$Z_x$  - приведений натяг контактної підвіски, даН;

$\varphi_x$  - конструктивний коефіцієнт ланцюгової контактної підвіски.

$$\varphi_x = \frac{\lambda}{1 + (1 - \lambda) \cdot \frac{K}{T_x}} \quad (2.10)$$

$$\lambda = \left( \frac{l - 2 \cdot e}{l} \right)^2 \quad (2.11)$$

де  $e$  - відстань від опори до біляопорної струни, м;

#### 4 Висновки

Описати результати роботи, привести побудовані залежності.

#### 5 Контрольні питання

1. Охарактеризуйте відмінності напівкомпенсованих ланцюгових контактних підвісок

2. Яким чином наявність несучого тросу покращує стрілу прогину контактної підвіски.

3. Вкажіть для яких швидкостей руху призначені напівкомпенсовані контактні підвіски.

4. Яка послідовність механічного розрахунку ланцюгової контактної підвіски?



## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

### ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ГНУЧКОЇ ПОПЕРЕЧИНИ

**Мета лабораторної роботи:** Вивчити призначення, пристрій, класифікацію жорстких та гнучких поперечин, порівняти результати дослідження гнучкої поперечини на моделі з розрахунковими даними.

**Задача:** провести експериментальні дослідження роботи гнучкої поперечини, порівняти їх з розрахунковими даними та побудувати епюру сил для розглядуваного масштабного макету гнучкої поперечини

#### Теоретичні відомості

Гнучка поперечина – це сукупність підтримуючих пристроїв, тросів та спеціалізованої арматур, які механічно та/або електрично з'єднані між собою, призначена фіксації у визначеному положенні проводів та тросів контактної підвіски та сприймання вертикальних і повздовжніх навантажень від контактних підвісок в ході їх експлуатації.

Експериментальні дослідження в лабораторній роботі проводяться на масштабному макеті гнучкої поперечини. Особливістю макету є те, що він дозволяє здійснювати виміри зусиль, які діють на стійки опор та змінювати навантаження від контактних підвісок [1].

Узагальнене зображення гнучкої поперечини приведенне на рис. 2.1.

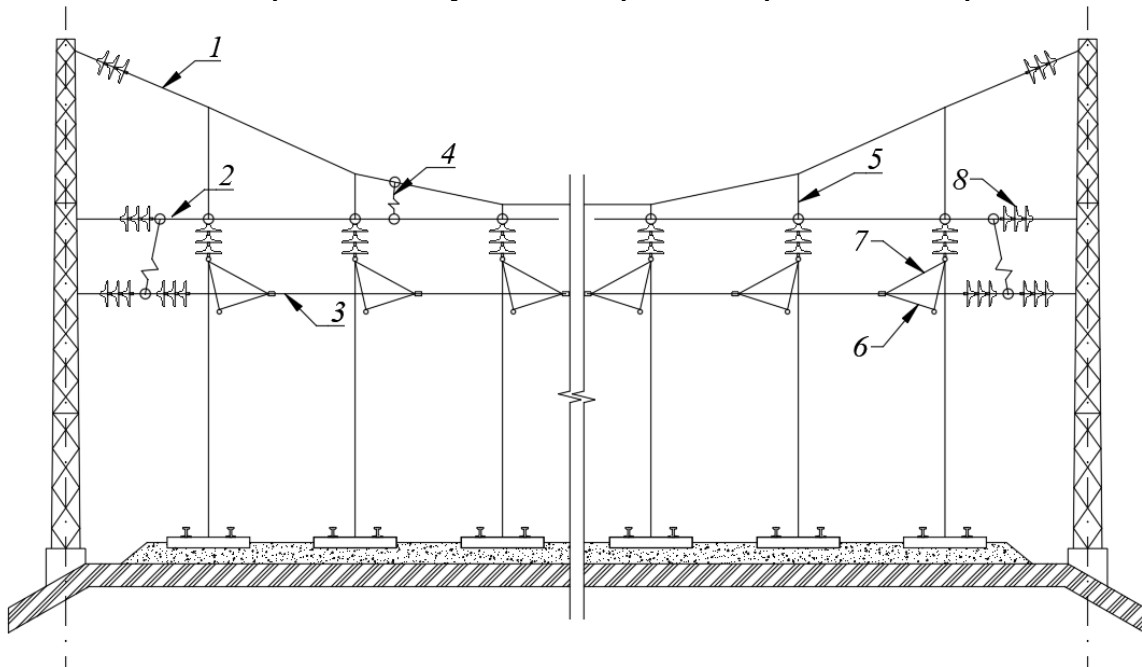


Рисунок 2.1 – Схема гнучкої поперечини з подвійною ізоляцією

1 – поперечні несучі троси; 2,3 – верхній та нижній фіксуючі троси;  
4 – електричний з'єднувач; 5 – струна гнучкої поперечини; 6 – фіксатор;  
7 – струна фіксатора; 8 – ізолятор

Моделювання зміни навантажень від ваги контактних підвісок здійснюється шляхом змін зосереджених мас в контрольних точках, розрахункова схема макету приведена на рис. 2.2.

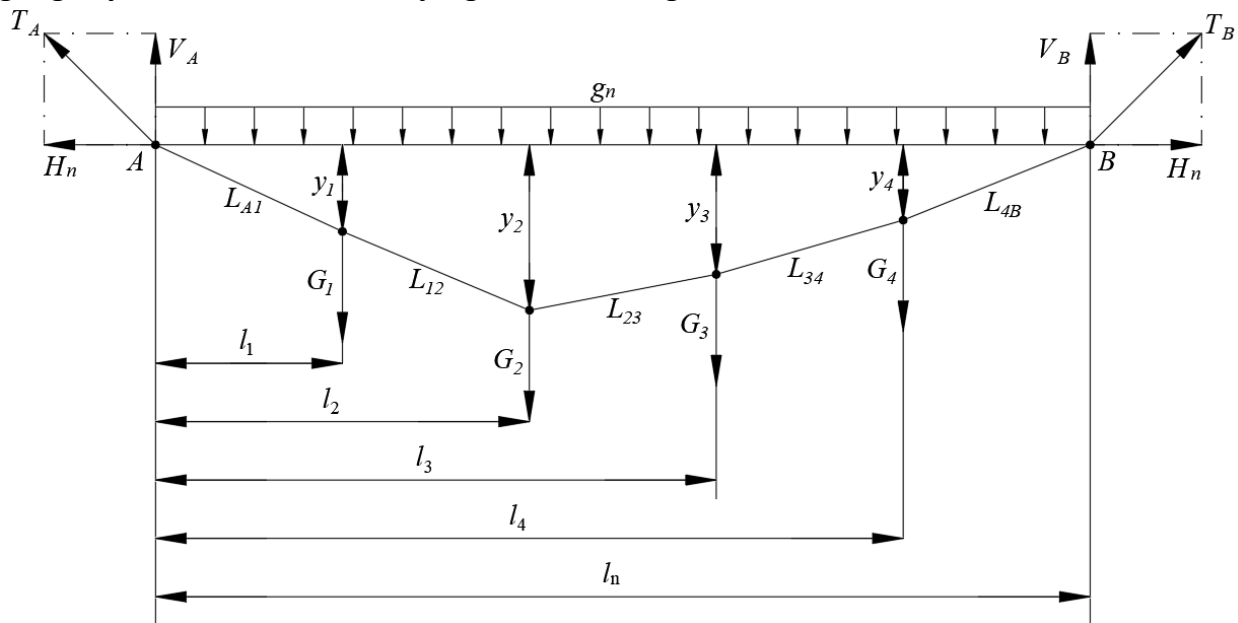


Рисунок 2.2 – Розрахункова схема гнучкої поперечини

## 1 Експериментально-розрахункова частина

Першим етапом є визначення навантажень від контактних підвісок, які діють на поперечні несучі троси гнучкої поперечини  $G$ , цю інформацію необхідно звести в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

**Результати вимірів навантажень від контактних підвісок, які діють на поперечні несучі троси гнучкої поперечини**

| $G_1$ , даН | $G_2$ , даН | $G_3$ , даН | $G_4$ , даН |
|-------------|-------------|-------------|-------------|
|             |             |             |             |

Другим етапом є визначення відстаней  $l$  від осей опор до точок прикладень навантажень на поперечні несучі троси, цю інформацію необхідно звести в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

**Результати вимірів відстаней від осей опор до точок прикладення навантажень на поперечні несучі троси гнучкої поперечини**

| $l_1$ , м | $l_2$ , м | $l_3$ , м | $l_4$ , м |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
|           |           |           |           |

Третім етапом є визначення вертикальних відстаней  $y$  від лінії, що з'єднує точки підвісу поперечних несучих тросів на опорах гнучкої поперечини і до точок прикладення навантажень на них від ваги контактних підвісок, цю інформацію необхідно звести в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

**Результати вимірів вертикальних відстаней від лінії, що з'єднує точки підвісу поперечних несучих тросів на опорах гнучкої поперечини і до точок прикладення навантажень на них**

| $y_1, \text{м}$ | $y_2, \text{м}$ | $y_3, \text{м}$ | $y_4, \text{м}$ |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                 |                 |                 |                 |

Четвертим етапом є визначення довжин частин поперечних несучих тросів між точками кріплення та точками прикладення навантажень, результати вимірів необхідно звести до табл. 3.4.

Таблиця 3.4

**Результати вимірів визначення довжин частин поперечних несучих тросів між точками кріплення та точками прикладення навантажень**

| $L_{A1}, \text{м}$ | $L_{12}, \text{м}$ | $L_{23}, \text{м}$ | $L_{34}, \text{м}$ | $L_{4B}, \text{м}$ |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                    |                    |                    |                    |                    |

П'ятим етапом є визначення, за допомогою стаціонарно включених в установку динамометрів, значення натягу  $T$  поперечно несучих тросів біля стійок опор  $A$  та  $B$ , визначені значення необхідно звести в табл. 3.5.

Таблиця 3.5

**Результати вимірів натягів поперечно несучих тросів біля стійок опор  $A$  та  $B$**

| $T_A, \text{даН}$ | $T_B, \text{даН}$ |
|-------------------|-------------------|
|                   |                   |

Шостим етапом роботи є проведення розрахунків з визначення реакцій опор  $V_A$  та  $V_B$ , горизонтальної складової натягу поперечних несучих тросів  $H_n$  та максимального зусилля в поперечних несучих тросах  $T_{\max}$ , а на основі отриманих даних про навантаження побудувати епюру сил для розрахункової схеми рис. 2.2.

Реакції опор визначаються за наступними виразами, даН:

$$V_A = \frac{\sum_{i=1}^4 G_i \cdot (l_n - l_i)}{l_n} + \frac{g_n \cdot l_n}{2} \quad (4.1)$$

$$V_B = \frac{\sum_{i=1}^4 G_i \cdot l_i}{l_n} + \frac{g_n \cdot l_n}{2} \quad (4.2)$$

де  $G_i$  - навантаження від сили ваги контактної підвіски, яка розташована на відстані  $l_i$  від відповідної стійки опори, даН;

$l_n$  - довжина поперечного прогону гнучкої поперечини, м;

$g_n$  - лінійне навантаження на поперечні несучі троси, приймається в лабораторній роботі  $g_n = 0,3$  даН/м.

Горизонтальна складова натягу поперечних несучих тросів визначаються за наступним виразом, даН:

$$H_n = \frac{1}{y_1} \left( V_A \cdot l_1 - \frac{g_n \cdot l_1^2}{2} \right) \quad (4.3)$$

Розрахункові зусилля в поперечних несучих тросах визначаються за формулою, даН:

$$T_n = \sqrt{V_n^2 + H_n^2} \quad (4.4)$$

При цьому, в якості  $T_{\max}$  приймається більше з двох розрахункових зусиль.

## 2 Висновки

За результатами роботи побудувати епюру сил для розрахункової схеми, визначити точку переходу через нуль, порівняти розраховані та визначені експериментальним шляхом значення.

## 3 Контрольні питання

1. Пояснити призначення основних елементів гнучкої поперечини.
2. Як на епюрі сил, що перерізують, визначити місце найбільшого прогину поперечного несучого троса.
3. Пояснити призначення основних елементів гнучких поперечин.
4. З яким запасом міцності розраховують поперечні несучі троси гнучких поперечин?
5. Як визначаються реакції опор?
6. В чому полягають переваги гнучких поперечин перед жорсткими?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

### ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНТАКТНИХ ПРОВІДІВ ТА СТРУМОЗНІМАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

**Мета лабораторної роботи:** Вивчити призначення, конструктивні особливості та дослідити фізико-механічні характеристики контактних провідів та струмознімальних елементів.

**Задача:** провести експериментальні дослідження фізико-механічних характеристик контактної пари «контактний провід – струмознімальний елемент»

#### Теоретичні відомості

Струмознімальний елемент – це струмопровідний елемент, який встановлюється на струмоприймач і призначений для безпосереднього знімання струму з контактного проводу під час руху або стоянки електрорухомого складу.

Особливість контактної пари «контактний провід – струмознімальний елемент» полягає в тому, що вони повинні мати збалансовані механічні та електричні характеристики для досягнення найвищої економічно обґрунтованої ефективності взаємодії.

Найбільш розповсюдженими матеріалами для контактних провідів є мідь і бронза. В якості матеріалу для струмознімальних елементів використовують мідь, мідь та включення вуглецевих матеріалів, вуглецеві матеріали та включення мідних складових, вуглецеві матеріали, при цьому співвідношення складників в струмознімальних елементів можуть дуже сильно відрізнятися.

Експериментальні дослідження в лабораторній роботі проводяться з використанням твердоміру Брінеля (рис. 4.3), пристрою для визначення питомого електричного опору (рис. 4.4) та пристрою для визначення інтенсивності зношування трибопари (рис. 4.5) [2, 5, 6].

Передбачається визначення твердості, питомого електричного опору та зношування елементів пари тертя.

Під твердістю розуміють властивість матеріалу чинити опір проникненню в нього іншого набагато твердішого тіла.

Важливість проведення подібних досліджень полягає в тому, що від фізико-механічних характеристик контактної пари безпосередньо залежить їх ресурс. На рис. 4.1 та 4.2 показано результати взаємодії складових контактної пари.

а)



б)



в)



г)



Рисунок 4.1 – Характерні пошкодження вуглецевих струмознімальних елементів:

а) пропил; б) сколи на набігаючій частині вставок першого ряду; в) підпал вставки; г) кратер (в подальшому пропил)

а)



б)



в)



Рисунок 4.2 – Поверхня тертя контактного проводу:

а) після взаємодії з вуглецевими струмознімальними елементами при сухому терті; б) після взаємодії з вуглецевими струмознімальними елементами та з подачею вологи в контакт; в) після взаємодії з мідними пластинами



## 1 Визначення твердості струмознімальних елементів та контактних проводів

Метод вимірювання твердості за Брінелем полягає у вдавлюванні сталеві кульки з діаметром  $D$  в зразок (виріб) під дією зусилля  $F$ , прикладеного перпендикулярно до поверхні зразка протягом певного часу і вимірюванні діаметру  $d$  відбитка після зняття зусилля.



Рисунок 4.3 – Твердомір Брінеля ТШ-2М

Твердість за Брінелем позначають символом  $HB$ , якому передують числове значення твердості з трьох значущих цифр і після символу вказують діаметр кульки, значення прикладеного зусилля і тривалість витримки. Мірою твердості служить величина, яка чисельно дорівнює відношенню прикладеного зусилля  $F$  до площі сферичного відбитка  $A$  і розраховується за формулою:

$$HB = \frac{0,102 \cdot 2F}{\frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (5.1)$$

де  $F$  – навантаження, що прикладається до кульки, Н;

$D$  – діаметр сталеві кульки, мм;

$d$  – діаметр відбитку кульки, мм.

Для оцінки твердості струмознімального елемента та контактного проводу використовувати сталеву кульку діаметром 10 мм, навантаженням

250 кг та часом витримки 30 с. Вимір твердості струмознімального елемента проводити в 2 точках (на відстані 30 мм одна від одної), контактному проводу в аналогічних контрольних точках. Результати звести до табл. 5.1.

Таблиця 5.1

**Результати вимірів твердості струмознімальних елементів та контактних проводів за методом Брінеля**

| Досліджуваний зразок     | Точка 1 | Точка 2 |
|--------------------------|---------|---------|
| Струмознімальний елемент |         |         |
| Контактний провід        |         |         |

**2 Визначення питомого електричного опору струмознімальних елементів**

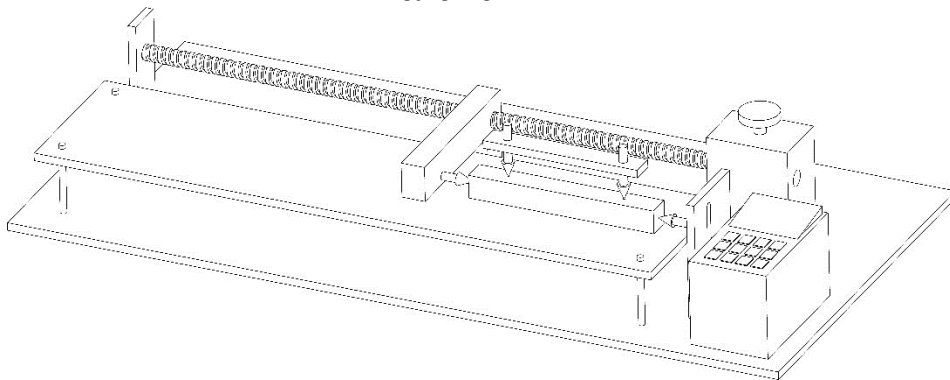


Рисунок 4.4 – Пристрій для визначення питомого електричного опору

В ході дослідження потенціальні проводи повинні мати загострені штирі, відстань між якими становить не менше 150 мм. Штирі встановлювалися на рівній відстані від торцевих поверхонь струмознімальних елементів. Довжина штирів була не менше 20 мм. Сила струму в ланцюзі повинна складати 4 А.

Питомий електричний опір  $\rho$ , мкОм·м, обчислюється за формулою:

$$\rho = \frac{\Delta U \cdot S}{I \cdot l} \quad (5.2)$$

де  $\Delta U$  – падіння напруги між штирями, розміщеними на відстані  $l$  один від одного, мВ;

$l$  – відстань між штирями потенціальних проводів, мм;

$S$  – площа поперечного перерізу вставки, мм<sup>2</sup>;

$I$  – струм підведений до торців вставок, А.



Для підвищення точності вимірів необхідно провести три досліди визначення питомого електричного опору і знайти середнє значення для цих дослідів. Результати вимірів необхідно звести до табл. 5.2.

Таблиця 5.2

**Результати вимірів питомого електричного опору струмознімальних елементів**

| Досліджуваний зразок     | Дослід 1, мкОм·м | Дослід 2, мкОм·м | Дослід 3, мкОм·м | Середнє трьох дослідів, мкОм·м |
|--------------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------------------|
| Струмознімальний елемент |                  |                  |                  |                                |

**3 Визначення інтенсивності зношування пари «контактний провід – струмознімальний елемент»**

Проведення дослідження на зношування проводити при статичному натиску в 50 Н. Кількість проходів струмознімальних елементів по контрольній точці контактного проводу встановити на рівні 10 тисяч. Швидкість обертання валу електродвигуна прийняти рівною 1000 об/хв.

Вимір висоти до та після випробування контактного проводу та струмознімального елемента в контрольній точці виконувати з використанням мікрометра. Результати вимірів звести до табл. 5.3.

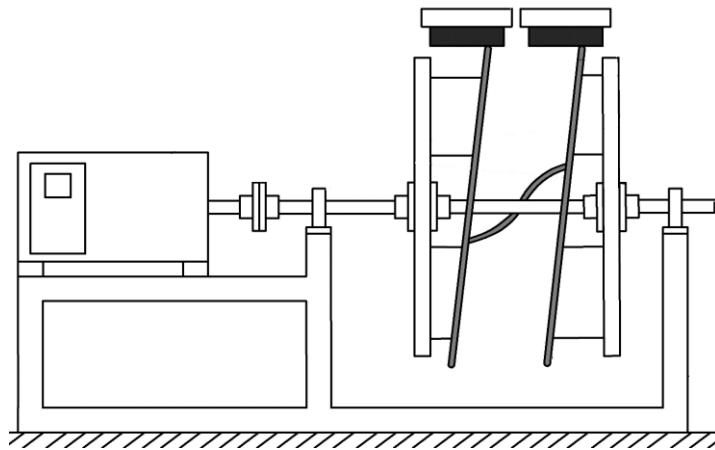


Рисунок 4.5 – Пристрій для визначення інтенсивності зношування трибопари

Таблиця 5.3

**Результати вимірів зношування пари «контактний провід –  
струмознімальний елемент»**

| Досліджуваний зразок     | Вимір висоти перетину перед дослідженням, мкм | Вимір висоти перетину після дослідження, мкм | Різниця висот перетину до та після дослідження, мкм |
|--------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Струмознімальний елемент |                                               |                                              |                                                     |
| Контактний провід        |                                               |                                              |                                                     |

#### 4 Висновки

За результатами дослідження оцінити відповідність досліджених елементів паспортним даним та оцінити можливий ресурс контактного проводу в роках за умови проходження щоденно 100 пар поїздів по ділянці.

#### 5 Контрольні питання

1. Як твердість контактної проводу та струмознімального елемента впливає на їх зношування.

2. Які пари тертя «контактний провід – струмознімальний елемент» володіють найбільшою зносостійкістю.

3. Яким чином твердість та питомий електричний опір пари тертя «контактний провід – струмознімальний елемент» пов'язаний з твердістю.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дьяков В. О., Босий Д. О., Антонов А. В., Контактна мережа електрифікованих залізниць. Улаштування контактної мережі : навч. посіб. Дніпро : ПФ «Стандарт-Сервіс», 2017. 228 с.
2. Kiessling F., Puschmann R., Schmieder A. Contact lines for Electric Railways, Planning, Design and Implementation. Hoboken : Wiley, 2001. 820 p.
3. ЦЕ – 0023. Правила улаштування та технічного обслуговування контактної мережі електрифікованих залізниць : затверджені наказом Укрзалізниці від 20.11.2007 р. № 546-Ц. Київ : Укрзалізниця, 2008. 208 с.
4. Далека В. Х., Нем В. К., Скуріхін В. І. Електропостачання електричного транспорту : навч. посіб. Харків : ХНАМГ, 2012. 168 с.
5. Пристрій для визначення параметрів вугільних струмознімальних елементів : пат. UA 114369 : МПК B60L 5/00. № u201608594 ; заявл. 05.08.2016 ; опубл. 10.03.2017, Бюл. № 5. 4 с.
6. Пристрій для визначення коефіцієнта тертя та інтенсивності зношування трібопар : пат. UA 116437, МПК B60L 5/00, G01N 3/56, G01N 19/02. № u201610905 ; заявл. 25.05.2017 ; опубл. 25.05.2017, Бюл. № 10. 4 с.

Навчально-методичне видання

**Антонов Андрій Владиславович**  
**Босий Дмитро Олексійович**  
**Дьяков Віктор Олексійович**

## **КОНТАКТНА МЕРЕЖА**

Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт

Редактор А. В. Безверхня  
Комп'ютерна верстка В. В. Бердо

Формат 60x84  $\frac{1}{16}$ . Ум. друк. арк. 1,63. Обл.-вид. арк. 0,72.  
Зам. № 59

Видавець: Український державний університет науки і технологій  
вул. Лазаряна, 2, ауд. 2216, м. Дніпро, 49010.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7709 від 14.12.2022

Адреса видавця та дільниці оперативної поліграфії:  
вул. Лазаряна, 2, Дніпро, 49010