

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

Навчально-науковий інститут енергетичної, інформаційної  
та транспортної інфраструктури

Кафедра електричного транспорту

**УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ОПОР КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ  
МІСЬКОГО ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ**

**Бакалаврська кваліфікаційна робота**

**Здобувач:**  
Сергій БІЛОУС  
гр. ЕТ 2022-1

**Керівник:**  
Владислав СКУРІХІН  
доцент, к.т.н.

Харків – 2026

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА  
імені О. М. Бекетова

Навчально-науковий інститут енергетичної, інформаційної та транспортної інфраструктури  
Кафедра електричного транспорту  
Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр  
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
Освітня програма Електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕТ



Микола ХВОРОСТ

«16» червня 2026 р.

## З А В Д А Н Н Я

до бакалаврської кваліфікаційної роботи

Білоус Сергій Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи: Удосконалення конструкції опор контактної мережі міського електротранспорту.

керівник бакалаврської кваліфікаційної

роботи Скуріхін Владислав Ігорович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом університету від « 22 » 05 2026 р. №440-03

2. Строк подання студентом роботи 14.06.2026р.

3. Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи: Схема розміщення опор контактної мережі згідно проекту реконструкції контактної мережі на майдані Конституції м. Харкова зі сторони вул. Сумської, креслення опор.

4. Зміст бакалаврської кваліфікаційної роботи (перелік питань, які потрібно розробити):

4.1. Стан питання (огляд, аналіз, оцінка) Аналіз технічних характеристик існуючих опор контактної мережі




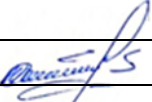
4.2. Технічна частина (вибір параметрів, розробка конструкції, структурної та електричної принципової схем, створення алгоритмів роботи тощо) Конструкція композитних опор контактної мережі

4.3. Розрахункова частина (розрахунок вузлів, метод розрахунку, алгоритм керування, програмне забезпечення) Проектування та розрахунок опор на міцність

4.4. Охорона праці Вступ; Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів; Організаційно-технічні заходи по забезпеченню безпеки умов праці; Електробезпека; Пожежна безпека

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових слайдів)  
Класифікаційна схема опор ліній електропередач, Робоче креслення плану контактної мережі на майдані Конституції; Підбір композитних опор контактної мережі трамвайно-тролейбусних ліній; Процес виготовлення композитних опор; Розрахунок на міцність композитної опор

6. Консультанти розділів бакалаврської кваліфікаційної роботи


Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Основна частина	Владислав СКУРІХІН, доц.		
Антиплагіат	Вікторія ЛЕВЧЕНКО, інж.		
Нормоконтроль	Вячеслав ШАВКУН, доц.		

7. Дата видачі завдання 04.05.2026р

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Стан питання	12.05.2026	
2.	Технічна частина	19.05.2026	
3.	Розрахункова частина	26.05.2026	
4.	Охорона праці	02.06.2026	
5.	Оформлення паперового та електронного варіантів роботи	09.06.2026	
6.	Підготовка доповіді та презентації	15.06.2026	

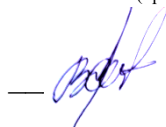
Студент

  
(підпис)

Білоус Сергій Володимирович

(прізвище та ініціали)

Керівник



Скуріхін Владислав Ігорович

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Дана робота присвячена проєктуванню, розрахунку та заміні опор контактної мережі м. Харкова на майдані Конституції у результаті виходу з ладу існуючих металевих опор.

В роботі запропоновано композитні опори для контактної мережі тролейбуса, які мають більш надійні експлуатаційні характеристики і відрізняються більш тривалою експлуатацією за рахунок композитного матеріалу з якого вони складаються. Спроєктовано розташування та проведено розрахунок на міцність даних опор.

Розглянуті питання з охорони праці приведені робіт на контактній мережі міста, вони розцінюються як пріоритетні та детально опрацьовані у відповідному розділі.

В бакалаврській роботі: 57 сторінок, 10 рисунків, 2 таблиці, 15 формул, 16 джерел літератури.

## КЛЮЧОВІ СЛОВА

Контактна мережа, композитні опори, контактний провід, тролейбус, спецчастини, стрілки, секційні ізолятори, прокатний стан, анкерне закладення, розрахунок на міцність, напруги механічні, поздовжній прогин, радіус кривої, ухил, охорона праці.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ІСНУЮЧИХ ОПОР КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ.....	9
1.1 Загальні принципи електропостачання залізниць.....	9
1.2 Аналіз існуючих типів опор контактної мережі міського електричного транспорту.....	18
2 КОНСТРУКЦІЯ КОМПОЗИТНИХ ОПОР КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ.....	22
2.1 Застосування композитних опор.....	22
2.2 Процес виготовлення композитних опор.....	25
3 ПРОЄКТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ОПОР НА МІЦНІСТЬ.....	28
3.1 Стандарти проєктування опор енергопостачання.....	28
3.2 Розрахунок на міцність опор електромереж міського електротранспорту.....	34
3.3 Розрахунок механічної міцності опор контактної мережі типу КТЗ/06.....	36
4 ОХОРОНА ПРАЦІ .....	43
ВИСНОВОК .....	55
Список використаних джерел.....	56

## ВСТУП

У минулі часи кожна нова трамвайна економіка була змушена мати власну електростанцію, оскільки громадські електромережі ще не були достатньо розвинені. У ХХІ столітті енергія для контактної мережі трамваїв постачається з універсальних мереж [1].

Живлення забезпечується постійним струмом відносно низької напруги (550 В), що було б не вигідно передавати на великі відстані. З цієї причини тягові підстанції розташовані поблизу трамвайних ліній, де змінний струм із високовольтної мережі перетворюється на постійний струм (з напругою 600 В) для контактної мережі трамвая. У містах, де курсують і трамваї, і тролейбуси, ці види транспорту зазвичай мають спільну енергетичну економіку.

На території колишнього Радянського Союзу існують дві схеми електропостачання контактних мереж для трамваїв і тролейбусів: централізована та децентралізована. Спочатку з'явився Centraled. У ній великі тягові підстанції, оснащені кількома конвертерними блоками, обслуговували всі суміжні лінії або лінії, розташовані на відстані до 2 кілометрів від них. Підстанції такого типу сьогодні розташовані в районах з високою щільністю трамвайних (тролейбусних) маршрутів [1].

Децентралізована система почала формуватися після 60-х років, коли почали з'являтися лінії трамваїв, тролейбусів і метро, що прямують від центру міста вздовж шосе до віддалених районів міста тощо.

Тут на кожні 1-2 кілометри лінії встановлюються малопотужні тягові підстанції з одним або двома перетворювальними блоками, здатні живити максимум дві ділянки лінії, а кожна ділянка на кінці може живитися сусідньою підстанцією [1].

Отже, втрати енергії менші, бо секції живлення коротші. Крім того, якщо на одній із підстанцій станеться аварія, ділянка лінії залишиться під напругою від сусідньої підстанції.

Трамвай контактує з лінією постійного струму через пантограф на даху свого вагона. Це може бути пантограф, напівпантограф, стрижень або дуга. Контактний дріт трамвайної лінії зазвичай підвішується легше, ніж залізничний. Якщо використовується стрижень, то повітряні вимикачі спроектовані як тролейбуси. Струм зазвичай подається через рейки — у землю.

У тролейбусі контактна мережа розділена секційними ізоляторами на сегменти, ізольовані один від одного, кожен з яких з'єднаний з тяговою підстанцією за допомогою підводних ліній (надземних або підземних). Це полегшує вибіркове закриття окремих секцій для ремонту у разі пошкоджень. Якщо виникає несправність з кабельним живленням, можна встановити перемички на ізоляторах для живлення ураженої ділянки від сусіднього (але це аномальний режим, пов'язаний із ризиком перевантаження живлення).

Тягова підстанція зменшує високовольтний змінний струм з 6 до 10 кВ і перетворює його у постійний струм з напругою 600 вольт. Падіння напруги в будь-якій точці мережі, згідно зі стандартами, не повинно перевищувати 15%.

Контактна мережа тролейбусів відрізняється від трамвайної системи. Тут вона двопровідна, заземлення не використовується для відведення струму, тому ця мережа складніша. Дроти розташовані на невеликій відстані один від одного, тому потрібен спеціальний захист від близькості та короткого замикання, а також ізоляція на перетинах тролейбусних мереж між собою та з трамвайними мережами.

Тому на перехрестях встановлюють спеціальні засоби, а також стрілки на розгалуженнях. Крім того, підтримується певне регульоване натягування, що захищає від перевантаження проводів під час вітру. Ось чому для живлення тролейбусів використовують тяги — інші пристрої просто не дозволяють виконати всі ці вимоги.

Тролейбусні стрижні чутливі до якості контактної мережі, оскільки будь-які її дефекти можуть призвести до стрибка з тяги. Існують стандарти, за якими кут тріщини в місці кріплення стрижня не повинен перевищувати  $4^\circ$ , а при повороті на кут понад  $12^\circ$  встановлюються вигнуті тримачі. Ковзний башмак

рухається вздовж дроту і не може обертатися разом із тролейбусом, тому тут потрібні перемикачі [1].

Для надійної роботи трамвайної та тролейбусної інфраструктури важливу роль відіграють опори контактної мережі.

Підтримка контактної мережі міського електричного транспорту є основою стабільного електропостачання міської транспортної мережі. Бакалаврська робота присвячена цієї темі.

# 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ІСНУЮЧИХ ОПОР КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ

## 1.1 Загальні принципи електропостачання залізниць

Електричний залізничний транспорт є найпродуктивнішим, економічним і екологічно чистим. Тому з середини ХХ століття і до сьогодні ведеться активні роботи з переведення залізниць на електричну тягу. Наразі понад 50% залізниць в Україні електрифіковані [1]. Крім того, навіть неелектрифіковані ділянки залізниці потребують електроенергії: вона використовується для забезпечення функціонування сигналізації, централізації, зв'язку, освітлення, роботи комп'ютерів тощо.

Електроенергія в Україні виробляється електростанціями, які є підприємствами енергетичної галузі. Залізничний транспорт споживає близько 7% електроенергії, виробленої в нашій країні. Вона витрачається на забезпечення тяги поїздів і живлення нетягових споживачів, серед яких залізничні станції з їхньою інфраструктурою, локомотивні споруди, вагонні та колійні споруди, а також пристрої управління рухом поїздів. Невеликі підприємства та поселення, розташовані поблизу, можуть бути підключені до електропостачання залізниці.

Відповідно до *пункту 115 Розділу VIII ПТЕ*, залізничний транспорт повинен забезпечувати надійне живлення електричного рухомого складу (включно з проміжними проміжними одиницями) для руху поїздів із встановленими нормами ваги, швидкостей і інтервалами між ними, а також залізничними автоматизаторами та телемеханікою, технологічними телекомунікаційними та комп'ютерними приладами щонайменше з двох незалежних джерел живлення [1,2].

Система електропостачання залізниці складається з *зовнішньої мережі (електростанції, трансформаторні підстанції, лінії електропередачі)* та *внутрішніх мереж (тягова мережа, лінії електропостачання для сигнальних і комунікаційних пристроїв, освітлювальна мережа тощо)*.

На електростанції генерується трифазний змінний електричний струм з напругою 6...21 кВ і частотою 50 Гц. Для передачі електричної енергії споживачам напруга дорівнює трансформаторні підстанції збільшити до 250...750 кВ і передавати на великі відстані з допомогою високовольтні повітряні лінії електропередачі (*Лінії електропередач*). Поблизу місць споживання електроенергії напруга знижується до 110 кВ за допомогою понижувальні підстанції постачаються до регіональних мереж, до яких разом з іншими споживачами вони підключені тягові підстанції електрифіковані залізниці та повні трансформаторні підстанції, живлячи споживачів з нетягою, струм яких подається через лінії передачі високовольтних сигналів з напругою 6...10 кВ.

Тягова мережа розроблена для забезпечення електричною енергією електричного рухомого складу. Вона *складається з контактних і залізничних проводів*, які є відповідно лініями подачі та всмоктування. Це дозволяє рівномірно навантажувати підстанції та контактну мережу, що загалом допомагає зменшити втрати електроенергії в тяговій мережі.

На залізницях України використовуються дві системи тягового струму: постійний струм з напругою 3 кВ і однофазний змінний струм з напругою 25 кВ.

Правила технічної експлуатації визначають допустимі значення напруги на струмозбирачі електричного рухомого складу з точки зору забезпечення стабільності руху: при постійному струмі від 2,7 до 4 кВ, при змінному струмі — від 21 до 29 кВ (*пункт 118 розділу VIII ПТЕ*) [1].

На залізницях, електрифікованих на постійному струмі, тягові підстанції виконують дві функції: знижують напругу поданого трифазного струму за допомогою тягових трансформаторів і перетворюють його у постійний струм за допомогою випрямлячів. Від тягової підстанції електроенергія *подається до контактної мережі через захисний високошвидкісний перемикач* через лінію живлення — *фідер*, і від рейок вона повертається назад до тягової підстанції вздовж всмоктувальної лінії.

Основними недоліками системи живлення постійного струму є її постійна полярність, відносно низька напруга в контактному дроті та витік струму через неможливість забезпечити повну електричну ізоляцію верхньої конструкції колії від нижньої («бічні струми»). Рейки, які служать провідниками струму тієї ж полярності, і підґрунтя, — це система, в якій можлива електрохімічна реакція, що призводить до корозії металу. Внаслідок цього термін служби рейок і металевих конструкцій, розташованих поблизу залізничної колії, скорочується. Для зменшення цього ефекту використовують спеціальні захисні пристрої — *катодні станції* та *анодні заземлювальні провідники*.

Через відносно низьку напругу в системі постійного струму, щоб отримати необхідну потужність тягового рухомого складу ( $W = UI$ ), через тягову мережу має протікати великий струм. Для цього тягові підстанції розташовані недалеко одна від одної (кожні 10-20 км), а площа поперечного перерізу контактних підвісних проводів збільшується, іноді за допомогою подвійного або навіть потрійного контактного дроту [1].

У випадку електрифікації змінного струму необхідна потужність передається через контактну мережу при вищому значенні напруги (25 кВ) і, відповідно, меншому струмі порівняно з постійною системою. У цьому випадку тягові підстанції розташовані на відстані 50...70 км одна від одної. Їхнє технічне оснащення простіше і дешевше, ніж у підстанцій постійного струму (випрямлячів немає). Поперечний переріз проводів контактної мережі приблизно вдвічі менший, що дозволяє суттєво економити дорогу мідь. Однак конструкція локомотивів і електропоїздів змінного струму є складнішою (через наявність тягових трансформаторів і випрямлячів на локомотивах і проміжних проміжних одиницях), і їхня вартість значно вища. Проте електрифікація на змінному струмі є більш перспективною, ніж постійною, тому більшість залізничних ліній наразі електрифікуються на змінному струмі [1].

Стикування контактних мереж ліній, електрифікованих на постійному та змінному струмі, здійснюється на спеціальних залізничних станціях —

стиковних станціях. Такі станції оснащені електрообладнанням — точками групування, які дозволяють подавати як прямий, так і змінний струм на одні й ті ж ділянки колій станції. Робота таких пристроїв взаємопов'язана з роботою пристроїв блокування та сигналізації. Потрібні великі капітальні інвестиції. Коли створення таких станцій здається недоцільним, використовують електровози з подвійною системою та електропоїзди, що працюють на обох типах струму. При використанні такого EPS перехід від одного типу струму до іншого може відбуватися під час руху поїзда вздовж тяги.

Головна вимога при проектуванні контактної системи — забезпечити надійний постійний контакт дроту з пантографом незалежно від швидкості поїздів, кліматичних і атмосферних умов. Пошкодження можуть призвести до серйозного порушення встановленого розкладу поїздів [3].



Рисунок 1.1 – Залізничні опори лінії електропередач

Відповідно до призначення електрифікованих колій використовуються *прості* та *ланцюгові* повітряно-контактні підвіски. На другорядних станційних і депо-коліях при відносно низькій швидкості може застосовуватися проста

контактна підвіска («трамвай» типу) — вільно підвішений натягнутий дріт, який закріплений ізоляторами на опорах, розташованих на відстані 50... Відстань 55 м одна від одної.

На високих швидкостях ходу слід мінімізувати провисання контактного дроту. Це забезпечується конструкцією контактної підвіски ланцюга, де контактний провід між опорами кріпиться до *несучого* кабелю за допомогою часто розташованих *дротяних струн*. Це гарантує, що відстань між поверхнею головки рейки та контактним дротом залишається майже сталою. Опори: Вони розташовані на відстані 65...70 м одна від одної. На високошвидкісних ділянках використовується ланцюгова подвійна контактна підвіска, при якій допоміжний дріт *підвішений до опорного кабелю на струнах*, до якого контактний дріт також прикріплений за допомогою струн. У горизонтальній площині контактний дріт розташований зигзагом відносно осі гусениці з відхиленням  $\pm 300$  мм на кожній опорі пантографи. Щоб зменшити провисання контактного дроту під час сезонних змін температури, його притягують до опор, які називають опорами, а компенсатори вантажу підвішують до них через систему тросів, роликів і ізоляторів. Максимальна довжина секції між опорами (*анкерна секція*) встановлюється з урахуванням допустимого натягу зношеного контактного дроту і досягає 800 м на прямих ділянках колії.

Відповідно до [3] висота підвіски контактного дроту вище рівня залізничних *головок поза інженерними спорудами* повинна бути *не менше 5750 мм* на тягових підстанціях і *не менше 6000 мм* на залізничних переїздах. У *межах інженерних конструкцій* мінімальна висота підвіски контактного дроту становить 5550 мм для системи постійного струму і 5570 мм для системи контактів змінного струму. Максимальна допустима висота підвіски контактного дроту становить 6800 мм.

Контактний дріт виготовлений із *жорстко витягнутої електролітичної міді* з перерізом 85, 100 або 150 мм<sup>2</sup>. Для зручності кріплення дротів за допомогою затискачів використовують мідні дроти МФ [3].

Для надійної роботи контактної мережі та зручності обслуговування вона поділена на окремі секції за допомогою *повітряних зазорів і нейтральних вставок*, а також секційних ізоляторів.

При проходженні поточного колектору електричного рухомого складу вздовж повітряний зазор за допомогою свого напускача вона електрично з'єднує обидві частини контактної системи на короткий час. Якщо це неприйнятно з точки зору умов харчування секцій, їх розділяють нейтральною вставкою, яка складається з кількох повітряних щілин, розташованих послідовно. Використання нейтральних вставок є обов'язковим на лініях, електрифікованих змінним струмом, оскільки суміжні ділянки контактної системи можуть живитися з різних фаз, що надходять від електростанції, електричний з'єднання між якими є неприйнятним. Слідкуйте за нейтральні вставки EPS має працювати в режимі run-down і з вимкненими допоміжними машинами. Для огороження місць розрізання контактної мережі встановлено спеціальні сигнальні знаки "Поточне розділення», встановлені на опорах контактної мережі [4].

Підключення або відключення секцій здійснюється за допомогою секційних роз'єднувачів, розташованих на опорах контактної мережі. Роз'єднувачі можна керувати як дистанційно за допомогою *електроприводу*, встановленого на стовпі, підключеному до пульта диспетчера, так і вручну за *допомогою ручного приводу*.

Схема оснащення контактних дротів на станції залежить від їхнього призначення та типу станції. Над стрілками контактна система має так звані повітряні вимикачі, утворені перетином двох контактних підвісок.

Відстань від осі найзовнішньої колії до внутрішнього краю опор на прямих ділянках має бути не менше 3100 мм. У особливих випадках дозволяється зменшити цю відстань до 2450 мм на станціях і до 2750 мм на тягах. *індивідуальне консольне підвішування контактного дроту*. На станціях (а в деяких випадках і на тягах) використовується *групове підвішування контактних проводів на гнучких і жорстких поперечинах*.

Для захисту контактної системи від коротких замикань між сусідніми тяговими підстанціями розташовані секційні станції, оснащені *запобіжними вимикачами*. Усі металеві конструкції, які безпосередньо взаємодіють з елементами контактної системи або розташовані в радіусі 5 м від них, *заземлені* (з'єднані з рейками). На лініях, електрифікованих постійним струмом, використовуються спеціальні діодні та іскрові заземлювальні провідники для захисту елементів і обладнання контактної системи від перевантажень (наприклад, через удар блискавки) на деяких опорах встановлюють блискавкогасники з *дугогасними рогами*.

Ізолятори використовуються для електричної ізоляції елементів мережі з живим контактом (контактний дріт, кабель опори, струни, затискачі) від заземлених елементів (опори, консолі, поперечні балки тощо). Залежно від виконуваних функцій, ізолятори можуть *бути підвішені, натягнуті, фіксовані, консольні*, за конструкцією — *диск і стрижень*, і залежно від матеріалу, з якого їх виготовляють — порцеляна, скло та полімер.

На електрифікованих залізницях зворотний *тяговий струм* проходить уздовж рейок. Для зменшення втрат електроенергії та забезпечення нормальної роботи автоматизації та телемеханічних пристроїв на таких лініях передбачено такі особливості надбудови колії [4]:

- з'єднувачі (шунти) приварюються до рейкових головок зовні колії, що зменшує електричний опір рейкових з'єднань;
- рейки ізолювані від шпал за допомогою гумових прокладок у випадку використання залізобетонних шпал і просочування дерев'яних шпал креозотом;
- використовується баласт з подрібненого каміння з хорошими діелектричними властивостями, а між дном рейки та баластом створюється зазор не менше 3 см;
- на лініях з автоматичним блокуванням і електричним блокуванням використовуються ізоляційні з'єднання, а для пропускання тягового струму, обходячи їх, встановлюються дросельні трансформери або *частотні фільтри*.

Одним із способів з'єднання ліній, електрифікованих на різних типах струму, є розділення контактної мережі док-станції з перемиканням окремих секцій для живлення від постійного або змінного струму.

Контактна мережа док-станцій складається з груп ізольованих секцій: постійного струму, змінного струму та перемикання. Електроенергія подається до перемикачів секцій через точки групування. Контактна система перемикається від одного типу струму до іншого за допомогою спеціальних вимикачів із моторними приводами, встановленими в точках групування DC-AC. Живильники відповідного типу струму цієї підстанції також підключені до контактної мережі шийок стикової станції та прилеглих секцій.

Щоб виключити можливість подачі струму на окремі ділянки контактної мережі, які не відповідають рухомому складу, розташованому там, а також вихід EPS у секції контактної системи з іншою системою струму, перемикачі блокуються між собою та електричними блокувальними пристроями. Одночасно з встановленням перемикачів і сигналів у потрібному положенні він створює відповідні перемикачі в контактній системі [5].

Взаємоблокування маршрутів на стиковних станціях має *систему підрахунку прибуття та відправлення електричного рухомого складу на ділянки колії комутованих ділянок контактної мережі*, що запобігає потраплянню під напругу іншого типу струму. Спеціальне обладнання доступне для захисту обладнання пристроїв живлення та постійного електричного рухомого складу у разі контакту з ними внаслідок порушень змінної напруги.

Вимоги до пристроїв живлення [1]:

Пристрої живлення повинні забезпечити надійне джерело живлення:

- електричний рухомий склад для руху поїздів із встановленими нормами ваги, швидкістю та інтервалами між ними з необхідними розмірами руху;
- сигналізації, зв'язку та комп'ютерних пристроїв як споживачів електричної енергії категорії I;

- усі інші споживачі залізничного транспорту відповідно до встановленої категорії.

Пристрої живлення тягового рухомого складу підпадають під описані вище вимоги щодо значення напруги в тяговій мережі та висоти підвіски контактного проводу.

Резервні джерела живлення сигнальних пристроїв повинні бути в постійній готовності та забезпечувати безперервну роботу сигнальних пристроїв і перетинної сигналізації щонайменше 8 годин, за умови, що джерело живлення не було відключене протягом попередніх 36 годин.



Рисунок 1.2 – Обслуговування контактної мережі

Для забезпечення надійного електропостачання слід періодично контролювати стан конструкцій і пристроїв живлення, вимірювати їхні параметри за допомогою лабораторних автомобілів, діагностичні пристрої та проводити планові ремонтні роботи.

Пристрої живлення повинні бути захищені від короткого замикання, перенапруг і перевантажень, що перевищують встановлені стандарти.

Металеві підземні конструкції (трубопроводи, кабелі тощо), а також металеві та залізобетонні споруди, розташовані в зоні ліній, електрифікованих постійним струмом, мають бути захищені від електричної корозії.

У межах інженерних споруд відстань від струмноносних елементів поточного колектора та частин контактної системи, які живляться, до заземлених частин споруд і рухомого складу повинна бути не менше 200 мм на лініях, електрифікованих на постійному струмі, і не менше 270 мм на змінному струмі.

Для безпеки персоналу та інших осіб, а також для покращення захисту від короткого замикання, металеві опори та елементи, до яких підвішена контактна система, а також усі металеві конструкції, розташовані ближче ніж за 5 м від живих частин контактної системи, заземлюються або оснащені пристроями залишкового струму.

## 1.2 Аналіз існуючих типів опор контактної мережі міського електричного транспорту

Сталеві опори контактної мережі електричного транспорту все частіше можна знайти на вулицях наших міст. Сьогодні неможливо не переоцінити роль міського електричного транспорту в транспортних лініях наших міст. Відкриваються нові тролейбусні та трамвайні лінії в нових містах, розширюються мережі електричного транспорту, прокладаються трамвайні та тролейбусні лінії до передмість і зон відпочинку. У низці міст встановлені металеві стійки для опор контактної мережі високошвидкісних трамвайних ліній, що суттєво скорочує час, проведений пасажиром на дорозі.

Опора контактної мережі трамваїв і тролейбусів — це складна технічна конструкція з металу. Електростовпи електричних ліній роблять достатньо міцними і здатними витримувати максимальне навантаження, розраховане для них. Стовпи контактної мережі, як правило, мають пірамідальну фасетовану форму довжиною 7–12 метрів. Металеві опори закріплені на фундаменті або в ґрунті, у попередньо просвердлених отворах. Основа металевої опори контактної системи з'єднана з фундаментом анкерними болтами [1,3].



а)



б)

Рисунок 1.3 – Види опор міського електротранспорту

Полюси контактної мережі підтримують дроти, які призначені для передачі електричної енергії від тягових підстанцій до трамваїв або тролейбусів. Електроенергія передається через ковзний контакт між контактним дротом і поточним колектором (поточним колектором) міського електричного транспорту. Контактний дріт, як правило, розташований над трамвайною колією або вздовж маршруту безколійного транспорту — тролейбуса. Контактний провід приєднується до опорних конструкцій, зазвичай до опор контактної мережі, використовуючи кабельні елементи, розташовані вздовж контактного дроту (ланцюгові контактні підвіски) або поперек нього (прості контактні підвіски). Стовпи контактної мережі можуть бути залізобетонними, сталевими та дерев'яними. Наш завод пропонує металеві контактні мережі для продажу. Ціна опори залежить від висоти та допустимого навантаження  $P$  від натягу тросів. Кріплення контактних підвісок до опор здійснюється за допомогою фітингів і ізоляторів.

Існують контактні стійки висотою 9, 10 м, 11 м, 12 метрів, розраховані на навантаження від 700 до 2500 кг. При розрахунку фундаментів контактних опор трамвайної та тролейбусної системи стандартне навантаження на опору з коефіцієнтом перевантаження  $K = 1,3$  слід брати як проєктне навантаження. Глибина фундаментного дна не повинна бути меншою за глибину замерзання ґрунту у відповідному регіоні України. Заземлення металевих опор системи контакту трамвая та тролейбусів має бути передбачене при проєктуванні міської електричної лінії [4].



Рисунок 1.4 – Трамвайні опори енергопостачання

Опори контактної системи виготовлені з листового металу товщиною 6 або 7 мм, залежно від необхідної висоти та несучої здатності. Поєднання широкого діапазону висоти стовпів і номінальних навантажень дає енергетичним компаніям свободу вибору при проєктуванні та прокладанні міських електричних ліній. Опори не бояться критичних високих і низьких температур, а також різких опадів, високої вологості, рясних опадів і сильного вітру. Крім того, конструкція виробів є дуже стабільною завдяки тому, що діаметр нижньої основи майже завжди більший за верхню, а технічні параметри обираються на основі попередніх розрахунків і врахування висоти.

Завод виконує антикорозійне покриття опор методом гарячого цинкування, що забезпечує безпеку металевих конструкцій протягом 25-30

років експлуатації. Цей тип покриття виконує декоративну функцію і також забезпечує довговічність конструкцій. Крім того, зовнішню поверхню верхніх стовпів можна обробляти фарбовим покриттям.

Опори контактної мережі піддаються впливу атмосферних явищ, пов'язані з експлуатацією сусідніх споруд, часто контактні стійки пошкоджуються під час дорожньо-транспортних пригод. Водночас встановлення контактних мереж у місті ускладнене через великі потоки транспорту та пішоходів. Тому безперебійна робота системи живлення трамвая насамперед залежить від надійності контактних мережевих стелажів, які пропонує наш завод.

Верхні стійки вирізняються високою стійкістю до зносу, меншою вагою та вартістю порівняно з бетонними, а також більш зручним монтажем.

Впровадження композитних опор із склопластику є одним із найперспективніших напрямків модернізації лінійних електричних передач (ЛЕП). На основі впровадження класичних залізобетонних і металевих конструкцій склопластичні вироби можуть суттєво збільшити використання металевих елементів у таких опорах, що зберігаються мінімально, що важливо для захисту пухирів і забезпечення стабільної роботи розчину. Тенденції нових технологічних горизонтів у енергетичному секторі.

## 2 КОНСТРУКЦІЯ КОМПОЗИТНИХ ОПОР КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ

### 2.1 Застосування композитних опор

Сучасною світовою тенденцією в енергетичній галузі є перехід до використання опор із композиційних матеріалів, які демонструють значні переваги над традиційними дерев'яними, металевими та залізобетонними аналогами. Зокрема, вони поєднують у собі конструктивну простоту, високу механічну міцність, мінімальну вагу та відмінні діелектричні властивості, що забезпечує тривалий термін експлуатації. Практичний досвід США та Канади підтверджує ефективність композитів у екстремальних кліматичних умовах: висока еластичність матеріалу дозволяє конструкціям витримувати критичні вітрові та ожеледноцінійні навантаження без деформацій. Враховуючи високий ступінь зносу вітчизняних електромереж (понад 40 років), дослідження особливостей впровадження композитних опор є стратегічно важливим завданням для підвищення надійності енергосистеми України [1].

Дослідженню перспектив інтеграції опор із композиційних матеріалів у сучасні енергосистеми присвячено чимало актуальних наукових праць. Особлива увага приділяється оцінці техніко-економічної ефективності їхнього використання як при модернізації наявних повітряних ліній, так і під час спорудження нових. Для вітчизняної енергетики впровадження композитів залишається дискусійним питанням через відсутність належної нормативно-правової бази та затверджених методик розрахунку проєктних рішень. Водночас, використання таких опор обіцяє вагомі переваги: скорочення експлуатаційних витрат, мінімізацію технологічних втрат енергії, покращення показників грозозахисту та оптимізацію габаритів ліній. Успішна практична реалізація цих можливостей потребує ґрунтовного наукового обґрунтування.

На ринку електрообладнання, як альтернативу традиційним опорам ліній електропередач (дерев'яним, залізобетонним, металевим), виробники пропонують композитні опори, які виготовляються зі склопластику. Ідеально, металеві компоненти на таких опорах використовуються лише для

забезпечення необхідного рівня грозостійкості та коректної роботи ізоляції, якщо це потрібно. Актуальність цієї теми обумовлена тим, що композитні опори мають кращі фізико-механічні та експлуатаційні властивості порівняно з традиційними. Використання опор з композитних матеріалів відкриває нові можливості в галузі електроенергетики. Композитні опори використовуються при будівництві ліній електропередач (ЛЕП) змінного струму напругою від 10 до 220 кВ для створення швидкокомпонованого аварійного резерву в умовах складної території (гірські масиви, ліси, болота і т.д.).



Рисунки 2.1 та 2.2 – Композитні опори повітряних ліній електропередачі

У Норвегії та США, композитні опори широко використовуються для зовнішнього освітлення та розподільних мереж різних рівнів напруги. З метою зниження вартості, деякі країни використовують чергування композитних та дерев'яних опор, що сприяє поліпшенню експлуатаційних характеристик ліній електропередач [5]. З економічного погляду застосування композитних опор має такі переваги:

- 1) зменшення витрат на транспортування, монтаж, експлуатацію та зберігання;
- 2) відсутність витрат на підвісну ізоляцію та землевідведення;
- 3) збільшення довжини прольотів завдяки кріпленню дроту до траверси.

Композит - це матеріал, створений шляхом поєднання двох або більше різних матеріалів, які в поєднанні є міцнішими, ніж кожен матеріал окремо. Існує

широкий спектр композиційних матеріалів, таких як пластик, армований вуглецевим волокном, алюміній, армований скловолокном, композити з металевою матрицею та композити з керамічною матрицею. Посилення основного матеріалу може включати безперервні волокна, рубані волокна, частинки та будь-яку комбінацію цих матеріалів для досягнення високих характеристик. Наприклад, кераміка, така як бетон, зазвичай має високу міцність при стисканні, але низьку міцність при розтягуванні, що можна компенсувати за допомогою сталеві арматури. Вуглецеве волокно має дуже високу міцність при розтягуванні, але низьку міцність при стисканні та згині. Поєднання волокон і зв'язуючої смоли (наприклад, термореактивних або термопластичних матеріалів) дозволяє створити дуже міцний матеріал. Комбінація волокон і смол може суттєво підвищити міцність без збільшення ваги, тому в аерокосмічній та автомобільній промисловості, де ефективність використання палива прямо залежить від ваги, все частіше використовуються композитні матеріали

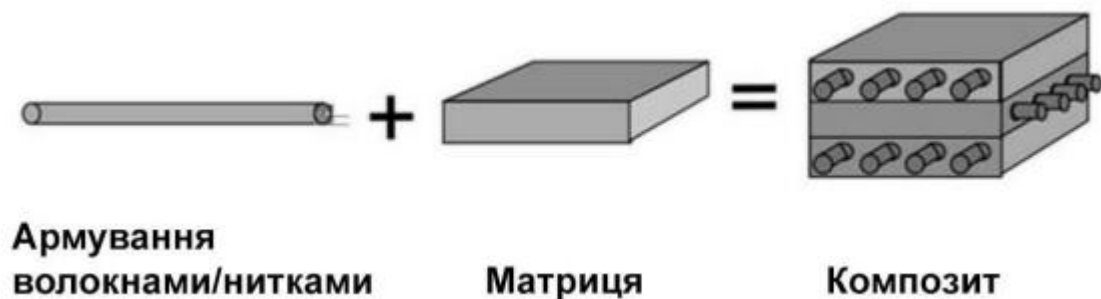


Рисунок 2.3 – Схема виготовлення композитного матеріалу

Збільшення складності матеріалу, що призводить до підвищення його міцності, зазвичай призводить до зростання вартості матеріалу. Однак це може бути комплексною ціннісною пропозицією. В першу чергу, хоча виробництво одного квадратного метра такого матеріалу може бути витратнішим, загальний обсяг матеріалу, швидше за все, буде меншим. Навіть якщо зменшення маси матеріалу спричинює збільшення виробничих витрат, це може призвести до зниження вартості життєвого циклу. Авіакосмічна та автомобільна галузі

провели техніко-економічний аналіз матеріалів і продемонстрували значні переваги композитів, що призвело до їх все більшого використання у цих галузях. Опори електропередач є стаціонарними пристроями, тому зменшення ваги не призводить безпосередньо до зниження витрат на енергію протягом усього терміну служби стовпа. Однак існують інші переваги, які знижують вартість експлуатації композитних опор. У відміну від дерев'яних стовпів, пластикові стовпи, армовані скловолокном, не піддаються корозії (як сталеві стовпи), не розколюються (як дерев'яні стовпи) і відсутні проблеми з комахами та дикими тваринами. Тоді як дерев'яні опори поступово зазнають пошкоджень під впливом навколишнього середовища, композитні опори були розроблені таким чином, щоб зберігати свої геометричні параметри та початкову міцність протягом усього терміну експлуатації.

## 2.2 Процес виготовлення композитних опор

На відміну від суцільних дерев'яних стовпів, композитні опори переважно мають порожнисту трубчасту структуру. Така геометрія забезпечує суттєво вищі показники питомої міцності та жорсткості порівняно з монолітними аналогами. Завдяки поєднанню ефективної форми профілю та покращених характеристик композиту, конструкції мають мінімальну масу. Це значно полегшує логістику, знижує витрати на транспортування та спрощує монтажні роботи.

Основними технологіями виробництва композитних опор є метод мокрого намотування та пултрузія. Намотування зазвичай застосовується для створення модульних (секційних) конструкцій, тоді як пултрузія є оптимальною для виготовлення суцільних опор та траверс. Оскільки армувальні волокна мають високу міцність на розтяг, але вразливі до стискання та вигину, технологічний процес має вирішувати два критичних завдання. По-перше, забезпечити орієнтацію волокон відповідно до векторів майбутніх експлуатаційних навантажень. По-друге, гарантувати якісне просочення сполучною матрицею (смолою), яка фіксує волокна та забезпечує цілісність

конструкції. Метод намотування ідеально підходить для формування циліндричних виробів і полягає у нанесенні волокон під натягом на оправку, що обертається [6].



Рисунок 2.4 – Процес виготовлення композитної опори

У промисловому виробництві композитних стійок виділяють два ключові методи: намотування та пултрузію. Перший метод доцільний для виробництва модульних елементів, другий — для монолітних опор і лінійних траверс. В основі технології лежить принцип раціонального використання властивостей матеріалу: оскільки волокна ефективно працюють лише на розтяг, процес виробництва спрямований на їхнє точне позиціонування за напрямком діючих сил. Полімерна матриця при цьому відіграє роль сполучної ланки, що утримує армувальний каркас. При використанні методу намотування волокна під сталим натягом накладаються на циліндричну оправку, що дозволяє створювати міцні оболонкові конструкції.

Оправка обертається, коли волокно проходить горизонтально вперед і назад, укладаючи волокна в потрібному порядку і під потрібним кутом. Після

досягнення необхідної товщини, смола твердішає, і оправка видаляється, залишаючи композитну структуру з порожнистими волокнами. Основною перевагою цього процесу є точний контроль над розташуванням волокна і можливість виготовлення складних трубчастих структур.

У світовій практиці енергобудівництва високу ефективність демонструють опори компанії RStandart, які інтегруються у мережі середньої напруги [6]. Дослідження підтверджують доцільність комбінованого використання композитних та дерев'яних стійок у певній послідовності. Зокрема, застосування методики «4/1» (чотири композитні опори на одну дерев'яну) дозволяє досягти оптимального балансу між капітальними інвестиціями та експлуатаційною надійністю. Включення дерев'яної опори в таку схему (при висоті стійок до 14 м) забезпечує додаткову жорсткість конструкції, необхідну для протидії значним вертикальним навантаженням під час ураганів або аварійних ситуацій (наприклад, ДТП).

Впровадження композитних опор дозволяє суттєво знизити механічні напруження в проводах під час ожеледно-вітрових навантажень. Це зумовлено здатністю композитних структур працювати на вигин, частково демпфуючи енергію повітряного потоку. Таке зниження напруженості безпосередньо подовжує термін експлуатації проводу та мінімізує ризик його обриву в екстремальних умовах. Економічно раціональним підходом є метод «4/1», де поєднання передових композитів із традиційною деревиною гарантує необхідну стійкість системи при помірних витратах на будівництво повітряної лінії.

## 3 ПРОЄКТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ОПОР НА МІЦНІСТЬ

### 3.1 Стандарти проєктування опор енергопостачання

При проєктуванні сталевих конструкцій для спеціальних робочих об'єктів (застосування, доменні конструкції, базові та технологічні трубопроводи, спеціалізовані резервуари, будівництво споруд, які підтримуються сейсмічними, різними температурами проти агресивного середовища, будівництво морських гідроелектропор), будівництві неминучих споруд, а також спеціальних типів споруд (на місці, перед поверхнею, простор, підвіси), при будівництві неминучих спорудів і спорудів, а також спеціальних типів споруд (при нанесенні, перед поверхнею, просторі, підвісні) доступний слайд крім того, існує потреба у спеціальному використанні цих спор, що підтверджується регуляторними документами, підтвердженими погодними умовами [6].

При проєктуванні сталевих конструкцій необхідно дотримуватися стандартів ДНАОП для захисту конструкцій від корозії та безпеки займання під час проєктування споруд. Не дозволяється збільшувати використання прокатних виробів і стінок труб для захисту конструкції від корозії та підвищення вогнестійкості спор.

Усі споруди мають бути доступні для захисту, очищення, фарбуванні, і це не вина води та встановлення вентиляції. Закриті профілі мають бути герметичні.

При проєктуванні готових конструкцій необхідно [1]:

- для вибору оптимальних схем структур і елементів з технічної та економічної точки зору;
- економічне виробництво прокатних сталевих профілів та ефективних сталей;
- використовувати для споруд, як правило, один стандартний або не стандартний споруд;

Використання прогресивних конструкцій (просторі системи зі стандартними елементами; споруд, який може використовуватися для незавершених і проміжних функцій; передні, кабельні, тонколистові та комбіновані конструкції з нержавіючої сталі);

- забезпечувати розвиток виробництва та відновлення споруд;
- забезпечити найм робочої сили та ефективність праці, транспортування та відновлення;
- забезпечувати, як правило, пряме виробництво будівництва та реставрацію великих блоків;
- передбачає використання заводських установок прогресивного типу (автоматичне та автоматичне розпилення, фланці з фрезерованими баками, болти, зокрема з високоякісними машинами).);
- Зазвичай вони пропонують болтові та болтові розчини; зварні з'єднання дозволені з відповідним обґрунтуванням;
- відповідати вимогам державних стандартів для споруд відповідного типу.

Під час проектування будівель та споруд необхідно впроваджувати структурні схеми, які забезпечують фізичність, стабільність і простір конструкції та споруду, а також елементи першого етапу транспортування, монтажу та експлуатації.

Якщо в вузлах є ексцентриситети, елементи ферми та конструкції слід розраховувати з урахуванням відповідних моментів згину.

При прикладенні навантажень поза вузлами ферми хорди мають бути спроектовані для комбінованої дії поздовжніх сил і моментів згинання.

У випадку прольотів дахових ферм понад 36 м слід забезпечити будівельний підйом, що відповідає відхиленню від постійних і довготривалих навантажень. У випадку плоских дахів будівельний підйомник має бути забезпечений незалежно від розміру прольоту, дорівнюючи відхиленню загального стандартного навантаження плюс  $1/200$  прольоту [6].

При розрахунку ферм з елементами з кутів або Т-подібних перерізів з'єднання елементів у фермних вузлах можуть бути шарнірними. У випадку І-балкових, Н-подібних та трубчастих перерізів елементів розрахунок ферм за шарнірною схемою дозволяється, якщо співвідношення висоти секції до довжини елементів не перевищує:  $1/10$  — для споруд, що експлуатуються у всіх кліматичних регіонах, крім І<sub>1</sub>, І<sub>2</sub>, ІІ<sub>2</sub> та ІІ<sub>3</sub>;  $1/15$  - в районах І<sub>1</sub>, І<sub>2</sub>, ІІ<sub>2</sub> і ІІ<sub>3</sub>.

Якщо ці співвідношення перевищуються, слід враховувати додаткові моменти згинання елементів через жорсткість з'єднань. Дозволено враховувати жорсткість вузлів у фермах за допомогою приблизних методів; Осьові сили можна визначити за схемою шарніра.

Відстань між краями ґратки та хордовими елементами у з'єднаннях зварених ферм з фланцями слід брати не менше  $a = 6t - 20$  мм, але не більше 80 мм тут  $t$  — товщина грані, мм).

Між кінцями з'єднаних елементів анкерних хорд, накладеними пластинами, слід залишити зазор не менше 50 мм.

Зварні шви, які кріплять елементи ґратки ферми до форм, слід провести до кінця елемента довжиною 20 мм.

У з'єднаннях ферм з поясами з Т-подібних балок, двотаврових балок і одинарних кутів арматура має бути закріплена до фланців поясів від кінця до кінця. У конструкціях групи 1, а також у кліматичних регіонах І<sub>1</sub>, І<sub>2</sub>, ІІ<sub>2</sub> і ІІ<sub>3</sub>, з'єднання вузлоподібних форм із хордами має здійснюватися відповідно до пункту 7 [1].

Передавачі елементи наскрізних стовпців із сітками у двох площинах мають бути посилені діафрагмами, розташованими на кінцях елемента.

У наскрізних колонах із з'єднуючою решіткою діафрагми мають розташовуватися щонайменше кожні 4 м у тій самій площині.

У центрально стиснутих колонах і стійках з односторонніми швами на талії згідно з [1]. У точках кріплення розпоїв, балок, стійок та інших елементів у зоні передачі сили слід використовувати двосторонні шви на талії, що

виходять за межі контурів прикріпленого елемента (вузла) на довжину  $30k\Phi$  з кожного боку.

Філетові шви, що прикріплюють з'єднувальну решітку до перекриваючих колон, слід призначати відповідно до розрахунку і розміщувати по обидва боки форми вздовж колонки у вигляді окремих секцій у шаховому візерунку, при цьому відстань між кінцями таких швів не повинна перевищувати 15 товщин форми.

У спорудах, зведених у кліматичних регіонах I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub>, II<sub>2</sub> і II<sub>3</sub>, а також при ручному дуговому зварюванні, шви мають бути безперервними вздовж всієї довжини форми.

Монтажні шви колон слід виконувати фрезерованими, звареними прикладами на накладки з звареними швами або болтами, включно з високоміцними. Під час зварювання пластин шви не слід доводити до з'єднання 30 мм з кожного боку.

У кожному температурному блоці будівлі має бути передбачена незалежна система з'єднань.

Нижні хорди кранових балок і ферм з розмахом понад 1,2м слід укріпити горизонтальними підпірами.

Вертикальні розпірки між основними колонами нижче рівня балок крана у випадку двогілкових колон мають розташовуватися в площині кожної гілки колони.

Гілки двогілкових з'єднань, як правило, мають бути з'єднані між собою ґратками.

Поперечні горизонтальні підпірки мають бути встановлені на рівні верхніх або нижніх хорд дахових ферм у кожному прольоті будівлі на кінцях температурних блоків. Якщо довжина температурного блоку перевищує 144 м, слід встановити проміжні поперечні горизонтальні підкоси.

Покрівельні ферми, які не прилягають безпосередньо до поперечних підпірок, слід закріплювати в площині цих підкос за допомогою підкос і підпірок.

Вертикальні підкоси між фермами мають встановлюватися у місцях з перехресними розмірами.

Якщо жорсткий диск даху знаходиться на рівні верхніх хорд, слід забезпечити знімні ланки для вирівнювання конструкцій і забезпечення їх стабільності під час монтажу,

На дахах будівель і споруд, що експлуатуються в кліматичних регіонах I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub>, II<sub>2</sub> и II<sub>3</sub>, як правило, необхідно забезпечити (крім зазвичай використовуваних) вертикальну лігатуру посередині кожного прольоту вздовж усієї будівлі.

Поздовжні горизонтальні підпірки в площині нижніх хорд покрівельних ферм мають встановлюватися вздовж найзовнішніх рядів колон у будівлях з кранами груп режимів роботи 6К-8К згідно [1]; на дахах з покрівельними фермами; у будівлях з одно- та двопролітними кранами з підйомною здатністю 10 тон і більше, а також у нижній частині дахових ферм понад 18 м — незалежно від підйомної здатності кранів.

У будівлях із більш ніж трьома прольотами горизонтальні поздовжні підпірки слід розмішувати вздовж середніх рядів колон щонайменше кожного прольоту в будівлях із кранами груп режимів роботи 6К-8К [1] та кожні два прольоти в інших будівлях.

Горизонтальні підкоси вздовж верхніх і нижніх хорд розколотих ферм надбудови галерей конвеєрів слід проектувати окремо для кожного прольоту.

При використанні поперечної ґратки покриття дозволяється розраховувати за умовною схемою, виходячи з припущення, що розтяжки поглинають лише розтягувальні сили.

При визначенні сил у підпірних елементах зазвичай не слід враховувати стиснення ферменного пояса.

При встановленні мембранної підлоги в площині нижніх хорд ферм слід враховувати роботу мембрани.

У підвісних дахах із планарними несучими системами (подвійні стрічкові, жорсткі на згинання тощо) мають бути передбачені вертикальні та горизонтальні з'єднання між несучими системами.

Як правило, не дозволено використовувати листові пакети для зварених двотаврових хорд .

Для балкових хорд на високоміцних болтах дозволено використовувати пакети, що складаються не більше ніж з трьох листів, тоді як площа кутів хорд має дорівнювати щонайменше 30% від загальної площі хорди.

Стрічкові шви зварених балок, а також шви, що з'єднують допоміжні елементи з основною секцією балки (наприклад, реки жорсткості), мають виготовлятися безперервно.

При використанні односторонніх швів засувки у зварних двотаврих балках, що несуть статичне навантаження, необхідно виконати такі вимоги:

Проектне навантаження має застосовуватися симетрично відносно перерізу балки;

Стабільність хорди стиснутого променю має бути забезпечена відповідно до [2], а;

У місцях, де на хорду балки прикладаються концентровані навантаження, зокрема навантаження від ребристих залізобетонних плит, слід встановлювати поперечні реки жорсткості.

У транцевих частинах каркасних конструкцій слід використовувати двосторонні шви на талії на опорних вузлах.

У променях, розрахованих відповідно до вимог підпункту 5.18\*-5.23 з [2] використання односторонніх швів на талії не дозволяється.

Зварні балки мають бути зняті з з'єднання на відстані щонайменше 10 товщин стінки. На перетині швів балкової павутини з поздовжнім ребром жорсткості стики, що кріплять ребро до сугаву, не слід підводити до з'єднання на 40 мм.

У зварних двотаврових балках конструкцій груп 2-4, як правило, слід використовувати односторонні жорсткі елементи з їх розташуванням на одному боці балки.

У балках з односторонніми швами поясів жорсткості слід розміщувати з боку перев'язки, протилежного до місця односторонніх швів пояса.

### 3.2 Розрахунок на міцність опор електромереж міського електротранспорту

Розрахунок стійкості суцільностінних елементів, що піддаються центральному стисненню силою  $N$ , слід виконувати за формулою

$$\frac{N}{\varphi A} \leq R_y \gamma_c \quad (3.1)$$

Значення  $\varphi$  визначається по формулам

при  $0 < \bar{\lambda} \leq 2,5$

$$\varphi = 1 - \left( 0,073 - 5,53 \frac{R_y}{E} \right) \bar{\lambda} \sqrt{\bar{\lambda}} ; \quad (3.2)$$

при  $2,5 < \bar{\lambda} \leq 4,5$

$$\varphi = 1,47 - 13,0 \frac{R_y}{E} - \left( 0,371 - 27,3 \frac{R_y}{E} \right) \bar{\lambda} + \left( 0,0275 - 5,53 \frac{R_y}{E} \right) \bar{\lambda}^2 ; \quad (3.3)$$

при  $\bar{\lambda} > 4,5$

$$\varphi = \frac{332}{\bar{\lambda}^2 (51 - \bar{\lambda})}$$

За відсутності дощок або решіток такі елементи, окрім розрахунку за формулою (2.1), слід перевіряти на стійкість у вигинально-крутильній формі втрати стійкості згідно з формулою

$$\frac{N}{c \varphi_y A} \leq R_y \gamma_c, \quad (3.4)$$

де  $\varphi_y$  - коефіцієнт поздовжнього згину, розраховується згідно [1];

$c$  - коефіцієнт, що визначається за формулою

$$c = \frac{2}{1 + \delta + \sqrt{(1 - \delta)^2 + \frac{16\alpha^2}{\mu}}} \quad (3.5)$$

де  $\delta = \frac{4\rho}{\mu}$ ;  $\mu = \frac{8J_\omega}{J_y h^2} + 0,156 \frac{J_t}{A h^2} \lambda_y^2$ ;

$\alpha = \alpha_x / h$  - відносна відстань між центром ваги та центром вигину.

Тут  $\rho = \frac{J_x + J_y}{A h^2} + \alpha^2$ ;  $J_t = \frac{1}{3} \sum b_i t_i^3$ ;

$J_\omega$  - секторіальний момент інерції перерізу;

$b_i$  и  $t_i$  - відповідно ширина та товщина прямокутних елементів, що складає секцію.

Для перерізу, приведеного на рис. 1, а, значення  $\frac{J_\omega}{J_y h^2}$ ,  $\frac{J_t}{A h^2}$  і  $\alpha$  повинні визначатися за формулами:

$$\frac{J_\omega}{J_y h^2} = \frac{39 + 2\beta}{(6 + \beta)^2}; \quad \frac{J_t}{A h^2} = \frac{1}{3} \left( \frac{t}{h} \right)^2; \quad \alpha = \frac{4(3 + \beta)}{(2 + \beta)(6 + \beta)}, \quad (3.6)$$

де  $\beta = b / h$ .

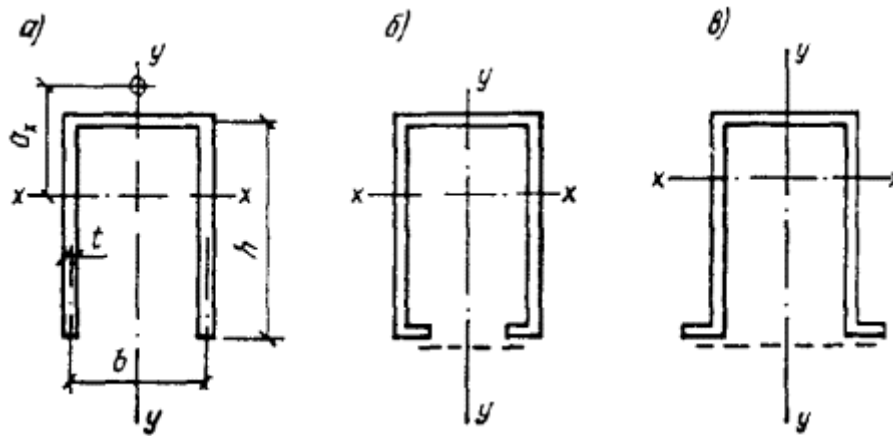


Рисунок 3.1 – П-подібні перерізи елементів

*a* - відкрите; *б*, *в* - закріплені планками та ґраткою

При визначенні значення  $\varphi_b$  слід брати відстань між точками  $l_{ef}$  кріплення стисненого ремня з поперечними зміщеннями (поздовжні або поперечні розпірні вузли, точки кріплення жорсткої настилу) як *проектну довжину* балки лэф; за відсутності ланок  $l_{ef} = l = L$  (де  $L$  — проліт балки),  $l_{ef} = l$  слід брати як *проектну довжину* консолі, якщо немає кріплення стисненої хорди на кінці консолі в горизонтальній площині (тут  $l$  — довжина консолі); відстань між точками фіксації стисненого ремня в горизонтальній площині при фіксації стрічки на кінці та вздовж довжини консолі.

### 3.3 Розрахунок механічної міцності опор контактної мережі типу КТЗ/06

Наразі в системі електропостачання міського електричного транспорту використовуються металеві трубчасті опори, а також більш сучасні залізобетонні опори контактної мережі. Основні переваги металевих опор включають простоту конструкції, більш естетичний вигляд і низьку трудомісткість їх монтажу. Зазвичай їх виготовляють із композитних дво- та трьохланкових труб із трубоподібних секцій. В нашому випадку це композитна опора.

Для з'єднання опорних ланок приварюють три ряди кречерів до труби меншого діаметра, які обробляються так, щоб діаметр сухарів був на 1 мм вищим за внутрішній діаметр нижньої ланки труби.

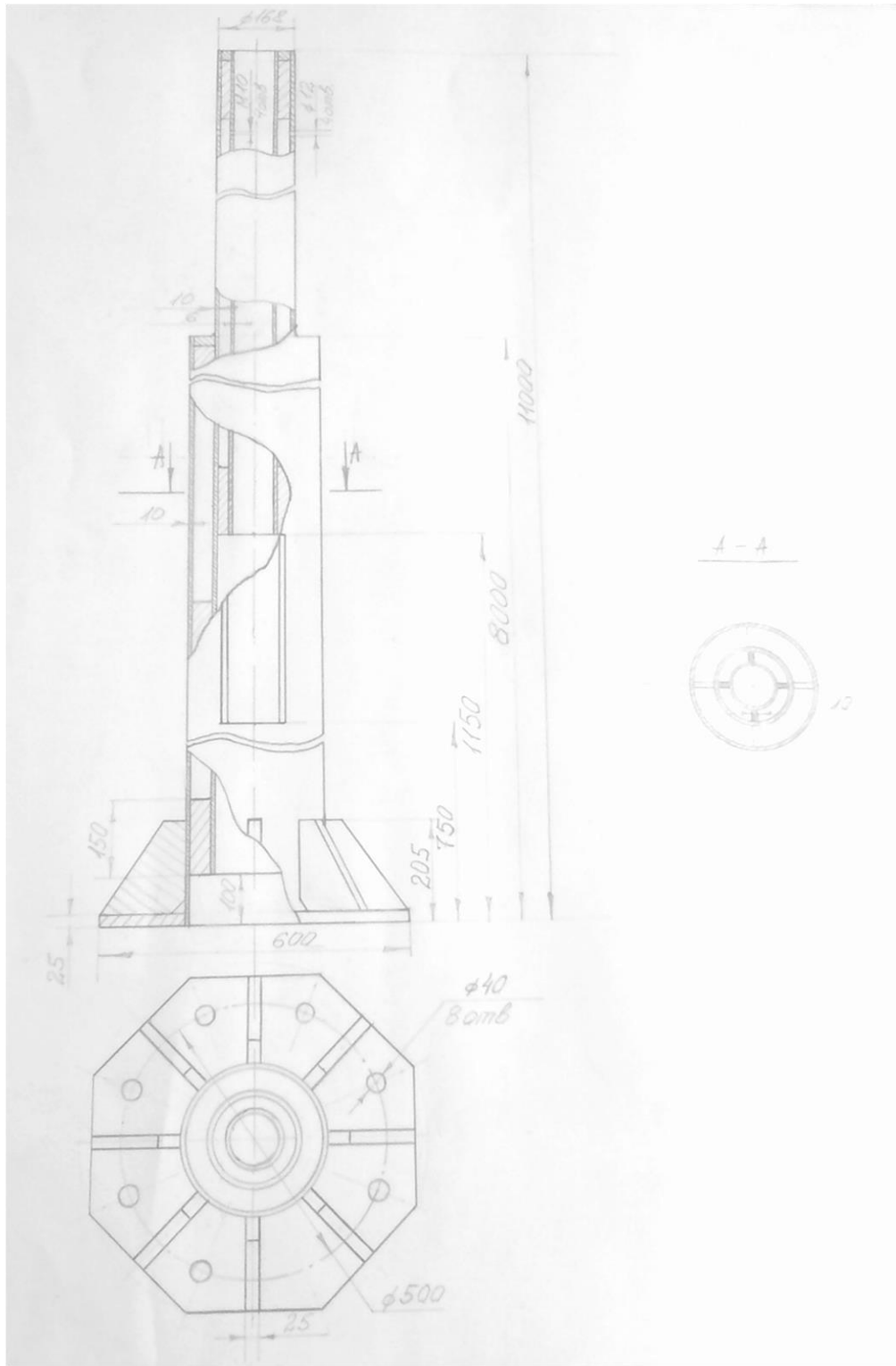


Рисунок 3.2 – Композитна трехланкова опора типу КТЗ/06

Коли труби з'єднані, нижня ланка нагрівається до  $t^0$  близько  $300^0$ , а верхня ланка під тиском входить у неї на глибину близько 400 мм.

На цьому етапі модернізації контактної мережі електричного транспорту в місті Харкова запропоновано перевірити механічну міцність композитної трьохланкої опори (рис. 3.2), яка встановлена на майдані Конституції м. Харкова з боку вул. Сумської (слайд 5).

Розрахунок виконується за класичним методом обчислення круглої балки на згинання [1,2]. Оскільки трубчасті опори з'єднані з фундаментом, місце з'єднання нижньої ланки з бетонним фундаментом є небезпечним перерізом, оскільки значення моменту згину там максимальні.

Момент опору кільцевого перерізу дорівнює [1]:

$$W = 0,1 \frac{D^4 - d^4}{d}, \text{ см}^3 \quad (3.7)$$

де  $D$  - зовнішній діаметр відповідного кільцевого перерізу, см;

$d = D - 2\delta$  - внутрішній діаметр;

$\delta$  - товщина стінки труби, см.

Напруження в небезпечному перерізі від моменту згинання  $M$  не повинно перевищувати допустиме значення:

$$\sigma_u = \frac{M}{W} \leq [\sigma_u], \text{ кг/см}^2 \quad (3.8)$$

Значення  $M$  и  $W$  у цій формулі беруть для небезпечного перерізу відповідної ланки.

Допустимі напруги згину  $[\sigma_i]$ , враховуючи лише основні навантаження відповідно до [1], дорівнюють 1400 - 1500 кг/см<sup>2</sup> для труб із тимчасовим опором 34 - 42 кг/мм<sup>2</sup>.

Формула (3.9) може бути використана для визначення максимальної сили згинання  $P_{max}$ , яку може витримати запропонована опорна конструкція:

$$P_{max} = \frac{[\sigma_{\dot{\epsilon}}] \cdot W}{l} \quad (3.9)$$

де  $l$  – висота прикладення сили  $P_{max}$  (плече згинального моменту  $M$ , см).

Момент опору небезпечної ділянки труб  $W_T$ , з урахуванням зварювального з'єднання зовнішньої (індекс "н") та внутрішньої (індекс "в") труб із фланцем опори, визначається за формулою (3.7).

$$W_T = W_n + W_v = 0,1 \left( \frac{D_i^4 - d_i^4}{d_i} + \frac{D_a^4 - d_a^4}{d_a} \right) = 0,1 \left( \frac{27,3^4 - 25,3^4}{25,3} + \frac{16,8^4 - 14,8^4}{14,8} \right) = 790 \text{ см}^3$$

Момент опору небезпечного перерізу прямокутного в основі ребер жорсткості  $W_p$  зовнішньої та внутрішньої труб відповідно дорівнює [1]:

$$W_p = W_{pn} + W_{pv} = n_n \frac{b_n h_n^2}{6} + n_v \frac{b_v h_v^2}{6} \quad (3.10)$$

де  $n_n$  и  $n_v$  – кількість жорстких елементів відповідно зовнішніх і

внутрішніх труб  $n_n = n_v = 8$  шт;

$b_n = b_v = 2,5$  см – товщина ребер жорсткості зовнішньої та внутрішньої труб;

$h_n = 15$  см – довжина ребра жорсткості зовнішньої труби по основі;

$h_v = 4,4$  см – довжина ребра жорсткості внутрішньої труби.

Тоді  $W_p = 814 \text{ см}^3$ .

Сумарний момент опору:

$$W = W_T + W_P = 790 + 814 = 1604 \text{ см}^3$$

Максимально можлива сила в небезпечному перерізі опори дорівнює:

$$P_{max} = \frac{1500 \cdot 1604}{1200} = 2005 \text{ кг}$$

Найбільш відповідна опора типу «III» з точки зору параметрів проєктування в табл. 3.1 [3] розрахована на номінальне навантаження  $P = 600 \text{ кг}$ .

Таблиця 3.1 – Розміри трубчатих опор та бетонних фундаментів

Тип опори	Довжина опори, м	Номінальне навантаження, кН	Висота прикладення навантаження, м	Діаметр, мм		Вага опори, кг	Глибина фундаменту, м	Сторона фундаменту, м, для ґрунту		
				верхній	нижній			слабкого	середнього	щільного
II	9,5	4	7,7	168	219	380	1,8	0,9	0,8	0,8
III	9,5	6	7,7	219	273	465	1,8	1,2	1	0,8
IV	9,5	9	7,7	273	325	634	1,8	1,5	1,3	1,1
V	10,5	4	8,5	168	219	417	2	0,8	0,8	0,8
VI	10,5	6	8,5	219	273	510	2	1,1	0,9	0,9
VII	10,5	9	8,5	273	325	697	2	1,4	1,2	1
VIII	10,5	12	8,5	273	351	794	2	1,7	1,4	1,2
IX	12,5	6	10	219	325	778	2,5	0,9	0,9	0,9
X	12,5	9	10	273	351	943	2,5	1,1	1	0,9
XI	12,5	12	10	273	377	1017	2,5	1,3	1,1	0,9
XII	15	9	12,5	273	351	1122	2,5	1,2	1,1	1
XIII	15	12	12,5	273	377	1427	2,5	1,5	1,3	1,2

Таким чином, максимальне горизонтальне навантаження, яке може витримати опора запропонованої конструкції (рис. 3.2), визначене розрахунком, більш ніж у три рази перевищує стандартне.

Під впливом зовнішніх сил опора згинається у напрямку дій цих сил. За величиною зсуву (відхилення) верхньої частини опори можна оцінити, наскільки форма конструкції спотворена під впливом зовнішніх сил [4,5].

Щоб зберегти зовнішній архітектурний вигляд опори, що особливо важливо для міських умов, відносна цінність найбільшого відхилення зазвичай обмежується його значенням  $\frac{1}{75}$ , т.е 1,33 %.

Значення відносної сили можна отримати з виразу:

$$\frac{\varphi}{l} = \frac{1}{3E} \cdot \frac{P}{l} \left( \frac{l_a^3}{I_a} + \frac{l^3 - l_i^3}{I_i + I_a} \right) \leq \frac{1}{75} \quad (3.11)$$

де:  $\varphi$  - значення відхилення верхньої частини опори від осі під впливом сили

$P_{\max}$ , см;

$l = 3\text{м}$  – розмір вільної частини верхньої ланки опори, см.;

$l = 12\text{м}$  – вільна довжина всієї опори до місця вбудовування в бетонний фундамент;

$E$  - модуль пружності матеріалу труби, який можна прийняти 2000000 кг/см<sup>2</sup>;

$I_e$  - момент інерції трубчастого перерізу верхньої ланки;

$I_n$  - момент інерції нижньої ланки, см<sup>4</sup>;

$$I_e = \pi/64 (16,8^4 - 14,8^4) = 1554 \text{ см}^4$$

$$I_n = \pi/64 (27,3^4 - 25,3^4) = 7150 \text{ см}^4$$

Тоді

$$\frac{\varphi}{12} = \frac{1}{3 \cdot 2000000} \cdot \frac{2005}{1200} \left( \frac{300^3}{1554} + \frac{1200^3 - 400^3}{7150} \right) \leq 1,33\%$$

$$1,12\% \leq 1,33\%$$

Тобто умова обмеження максимального відносного прогину опори контактної мережі, що пропонується дотримується.

## ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1 Задачі розділу

Законодавство України, зокрема Конституція та Закон «Про охорону праці», гарантує громадянам безпечні та здорові умови життєдіяльності. Державна політика спрямована на вдосконалення наукової організації праці, а також поступове витіснення важких фізичних робіт шляхом впровадження комплексної механізації та автоматизації в усіх галузях господарства [7,8].

Кодекс законів про працю (КЗпП) регламентує режим робочого часу, права та соціальні гарантії працівників, а також заходи із запобігання виробничому травматизму та професійним захворюванням. Відповідність сучасним вимогам техніки безпеки та виробничої санітарії досягається через реалізацію Системи стандартів безпеки праці (ССБП) [9].

Виходячи з того, що ця робота передбачає модернізацію тролейбусної контактної мережі, в даному розділі розроблено організаційні та технічні заходи для забезпечення безпечних і здорових умов праці під час переоснащення контактної мережі.

У системі електропостачання, з точки зору забезпечення надійної роботи міського електричного транспорту, контактна мережа займає одну з основних частин системи електропостачання міського електричного транспорту. Цей елемент системи електропостачання практично позбавлений можливості резервування, що враховується при розрахунку контактної мережі в цьому проєкті. Система живлення повинна мати високу ефективність і результативність. Враховуючи високе енергоспоживання електричного транспорту, можна зробити висновок, що кожен відсоток енергії, втраченої в системі електропостачання транспорту, призводить до відчутних економічних витрат.

Система електропостачання має бути безпечною для технічного персоналу та громадськості під час нормальної роботи, ремонтних робіт і в аварійних режимах.

З кількості вимог до мережі основні такі:

- механічна та електрична міцність усіх елементів;
- покращення міських територій і під'їзних доріжок;
- безпеку в зоні контактної мережі для пішоходів, військового персоналу та транспорту;
- надійність збору струму за будь-яких метеорологічних умов на найвищих дозволених швидкостях у цих районах;
- найменший знос контактних проводів і контактних вставок пантографів;
- мінімальну складність і трудомісткість ремонтних і профілактичних робіт;
- найбільше використання стандартних промислово виготовлених споруд.

Для своєчасного виявлення та усунення несправностей, а також негайного усунення пошкоджень, що призводять до затримки руху або перерви живлення рухомого складу, необхідно бездоганно виконувати вимоги контактної мережі, а також налагоджувати її обслуговування.

Завданням розділу є розробка технічних та організаційних заходів для забезпечення безпечних і здорових умов праці на контактній мережі.

#### 4.2 Аналіз умов праці та виявлення небезпечних і шкідливих виробничих факторів у певній зоні

Робота в контактній мережі сповнена небезпек і вимагає особливої уваги від персоналу, оскільки вона виконується під напругою, на висоті, з інтенсивним рухом і пішоходами, у присутності інших ліній, розташованих поблизу проводів (електричні передачі та організація), під важкими

механічними навантаженнями на дротів, кабелів, у складних підвісних системах, у будь-який час доби та в складних атмосферних умовах [9].

У всіх сучасних системах електропостачання для міського транспорту з заземленим негативним полюсом, з полюсами, ізольованими від землі, з заземленою серединою, небезпека для персоналу полягає не лише у одночасному контакті з позитивним і негативним проводами або з активною частиною (позитивною чи негативною) конструкції, не ізольованою від землі, а й у одночасному контакті з двома секціями одного й того ж контактного проводу, розділеними секційним ізолятором. У секційних ізоляторах різниця потенціалів сусідніх секцій досягає 100-200 В, і коли одна з секцій від'єднується, повна робоча напруга відключається. З огляду на це, виконання робіт вимагає безумовного і особливо ретельного дотримання встановлених заходів безпеки як щодо працюючого персоналу, так і щодо пішоходів і транспортних засобів.

Відсутність резервних ліній у контактній мережі, які можуть використовуватися для трафіку під час ремонту, основної та короткої нічної перерви в трафіку, вимагає більшої частини роботи над контактною системою при підтримці трафіку та напруги на лінії. Безпека забезпечується роботою над ізоляційними вежами та вживанням заходів безпеки. Деякі роботи можна виконати лише після видалення напруги з активних деталей, розташованих у робочій зоні.

Під час аналізу умов праці були визначені основні шкідливі виробничі фактори [9]:

- розташування робочого місця на значній висоті відносно поверхні землі;
- підвищена напруга в електричній мережі, коротке замикання якої може виникати через тіло людини;
- недостатнє освітлення робочого місця під час роботи в контактній мережі вночі;
- висока або низька вологість та температура повітря.

#### 4.3 Розробка організаційних і технічних заходів для створення безпечних і безпечних умов праці в контактній мережі

Контактна мережа належить до категорії електричних установок до 1000 В, а за ступенем небезпеки електричного ураження персоналу — до особливо небезпечних електричних установок [10].

Персонал, який займається ремонтом і обслуговуванням контактних мереж, повинен пройти вступний брифінг щодо захисту праці. При дозволі персоналу працювати самостійно перевіряють знання Правил безпеки. Регулярні періодичні брифінги слід проводити щонайменше раз на квартал. Особи, які працюють на висоті, а також ті, хто займається роботою, пов'язаною з підйомом на висоту, проходять медичний огляд раз на 2 роки. Особи, які займаються обслуговуванням існуючих електроустановок (ліній зв'язку, розташованих у зоні впливу існуючих високовольтних ліній), проходять медичний огляд раз на 2 роки. Особи, які обслуговують контактні мережі, мають кваліфікаційні групи з безпеки II-V включно, не повинні мати травм або захворювань (складної форми), які заважають виробничій роботі [11].

Для працівників, які беруть участь в операційних комутаціях, ремонті, монтажі та налаштуванні, на роботі на висоті контактних мереж, стан здоров'я визначається шляхом медичного огляду при працевлаштуванні, а потім періодично в межах визначеного періоду. Особи, які добре знають схеми, інструкції експлуатації, особливості обладнання, пройшли навчання та перевірку знань, можуть мати право виконувати експлуатаційне обслуговування

Роботи в мережі мають виконуватися за таких умов [12]:

- 1) необхідно видати дозвіл на роботу;
- 2) роботу мають виконувати щонайменше двоє осіб;
- 3) необхідно вжити технічних та організаційних заходів для забезпечення безпеки персоналу.

Технічні заходи при виконанні робіт з повним або частковим скиданням напруги включають: від'єднання секції та вжиття заходів проти помилкового

або спонтанного перемикання; повішення попереджувальних плакатів, встановлення парканів; перевірка відсутності напруги та застосування провідників заземлення переходу.

Зняття напруги повинно бути здійснено:

- 1) відключенням комутаційних пристроїв на підстанції;
- 2) відключенням комутаційних пристроїв, контактних і комутаційних з'єднань у контактній та кабельній мережі;

На місці роботи необхідно від'єднати: струмоведучі частини позитивного полюса, електричні лінії різних призначень, до яких під час виконання робіт не виключається випадковий контакт або підхід на відстані не менше 0,6 м.

Відсутність напруги між позитивною та негативною частинами струму та землею перевіряється вольтметром або іншим індикатором напруги, що працює за принципом активного потоку струму.

Під час роботи з контактною мережею тролейбусу необхідно створити коротке замикання між позитивним і негативним проводами, а якщо можливо, негативний полюс заземлюється шляхом вмикання нерухомого роз'єднувача заземлення негативної шини підстанції [12]:.

Під час роботи на контактній мережі на перетині тролейбусних і трамвайних проводів між контактними проводами тролейбусної мережі та контактним дротом трамвайної мережі створюється коротке замикання.

Заземлювальні короткі замки застосовуються до кожної ділянки контактної мережі, яка має окреме джерело живлення.

Під час роботи на перехресті або комутаторі тролейбусної мережі на контактні дроти з усіх боків перехрестя або комутатора накладаються короткі замикання.

Короткі замикання застосовуються до контактних проводів, де виконується робота, а також на дротів, які не можна торкатися або підходити на відстані не менше 0,6 м під час виконання робіт.

Застосування та усунення коротких замикань і заземлення мають виконуватися двома особами. Одним із них має бути особа з оперативного складу кваліфікованої групи не нижче IV, другий — особа кваліфікованої групи не нижче II [14].

Організаційні заходи включають: реєстрацію робіт за наказом або наказом; допуск до роботи; нагляд за виконанням робіт; реєстрація перерв у роботі; а також заходи для забезпечення безпеки руху та пішоходів, безпеки відновлення роботи після перерви та завершення робіт.

Роботи на контактній мережі виконуються:

- під час поточної експлуатації;
- за усним розпорядженням;
- за письмовим розпорядженням.

У ході поточної експлуатації та за усним наказом можна виконувати такі роботи: без скидання напруги поза живими частинами; виконуються на лінії або на пристроях, які живляться і не заважають нормальному руху транспорту.

Письмовий наказ про виконання роботи — це робочий наказ. Наказ на виконання робіт має визначити місце, час початку та завершення робіт, умови їх безпечного виконання, склад команди та осіб, відповідальних за безпеку роботи. Відповідальними за безпеку праці є [14]:

- особа, яка видає наказ, що дає наказ;
- оперативний персонал – електродиспетчер, який дає розпорядження про переключення та дозволяє допуск до роботи;
- відповідальний менеджер роботи;
- виконавець робіт;
- спостерігач;
- членів бригади.

Під час перерв у роботі об'єкт має бути в такому стані, що забезпечує можливість подальшої безпечної роботи. Перед передачею робочого майданчика електродиспетчеру для подачі напруги шляхом увімкнення комутаційних пристроїв підстанції або перед переключенням на мережу,

керівник робіт повинен перевірити стан майданчика, попередити всіх працівників про майбутнє запуск ділянки та усунути встановлені замикання та заземлення.

Стан здоров'я осіб, допущених до роботи на висоті, повинен перевірятися при вступі на роботу та періодично протягом визначеного терміну [14].

Роботи над контактними мережами з використанням установок і телескопічних антенних платформ, залізничних (трамвайних) веж, сходів мають виконуватися командою щонайменше з двох осіб (не рахуючи водія). Водій відповідає за гарний стан вежі при вході в трасу. Перед відправленням до лінії машиніст зобов'язаний протестувати роботу підйомних і гальмівних механізмів вежі. Машиніст зобов'язаний піднімати та опускати монтажну платформу або кошик, а також рухати вежу лише за сигналами керівника робіт або призначеного ним члена команди. Інструменти, деталі та матеріали мають бути доставлені на місце встановлення або до кошика заздалегідь, перш ніж їх підняти на висоту. Заборонено перебувати на вежі під час підняття або опускання монтажної платформи або під час її руху. З телемеханічних веж виконуються роботи з мережевими елементами, які не піддаються живленню. Кошик телескопічної антени ізолюваний від труби телескопа, тому заборонено класти дроти та інші матеріали в кошику, які можуть електрично з'єднати кошик із трубою.

#### 4.4 Аварійне вимкнення та захист контактної системи від блискавки

Тягові мережі мають бути захищені від короткого замикання. Захист здійснюється високошвидкісними автоматами (PSA), які працюють як максимальний захист від струму миттєвої дії при струмах, що перевищують задане або ефективне значення, з відповідною затримкою за наявності додаткового захисту від низьких коротких замикань [15].

Задана точка перемикача лінії повинна бути не менше ніж у 1,2 раза від проектного максимального навантаження лінії і не більше ніж у 0,8 раза від максимального струму короткого замикання, тобто для надійного захисту від короткого замикання необхідно виконати наступну умову [15]:

$$(0.8 - 0.9) I_{\text{к.мін.}} \geq IU \geq (1.15-1.2) I_{\text{М}}$$

де  $I_{\text{к.мін}}$  – мінімальний струм короткого замикання в контактній мережі, А;  
 $I_{\text{У}}$  — струм лінійного автоматичного вимикача А;  
 $I_{\text{М}}$  — максимальний струм на лінії живлення, А.

$$I_{\text{к.мін}} = \frac{600}{R_{\text{пл.}} + R_{\text{ол.}} + R_{\text{к.с.}}}$$

де  $R_{\text{пл.}}, R_{\text{ол.}}$  — це опір позитивних і негативних ліній відповідно: Ом;  
 $R_{\text{к.с.}}$  — це опір контактної мережі, Ом.

$$R_{\text{пл.}} = R_{\text{ол.}} = \frac{L_{\text{л}}}{\gamma \cdot S}$$

де  $L_{\text{л}}$  — довжина лінії постачання, м;  
 $\gamma$  – специфічна провідність матеріалу,  $\frac{\text{Ом}}{\text{мм}^2 \cdot \text{м}}$   
 $S$  – переріз троса,  $\text{мм}^2$ .

$$R_{\text{к.с.}} = \frac{L_{\text{уч.}}}{\gamma \cdot S_{\text{к.п.}} \cdot K_{\text{изм.}}}$$

де  $L_{\text{уч.}}$  – довжина секції контактної мережі, м;  
 $\gamma$  – питома провідність матеріалу,  $\frac{\text{Ом}}{\text{мм}^2 \cdot \text{м}}$   
 $S_{\text{к.п.}}$  — це переріз контактного проводу,  $\text{мм}^2$ ;  
 $K_{\text{изм.}}$  – коефіцієнт зношування контактного проводу.

$$I_M = I_{CP} \cdot K_M, \quad (4.1)$$

де  $K_M$  — це максимальний коефіцієнт, визначається за допомогою номограм з урахуванням кількості рухомого складу на ділянці лінії постачання та прийнятої дозволеної кількості відключень лінійного вимикача на місяць  $\lambda = 30$  відключень;

$$I_y = 2 \cdot I_{CP} + C, \quad (4.2)$$

де  $I_{CP}$  — це середній проєктний струм секції А;

$C$  – стала, А; для тролейбуса  $C = 800$ ,

Після перевірки зон живлення ліній за допомогою струмів короткого замикання (КЗ) необхідно переконатися, що лінія від'єднана у разі короткого замикання в найбільш задушеній точці контактної мережі.

Для захисту контактних мереж від блискавки передбачені стандарти дозволеного зближення міських електротранспортних мереж з лініями електропередач і залізничними контактними мережами. Дозволені підходи не повинні перевищувати мінімальні розміри підходу, встановлені Правилами встановлення електромонтажів та іншими відповідними нормативними й технічними документами.

Початкові дані для визначення допустимого підходу такі:

- Значення струму короткого замикання, що впливає на залізничну контактну систему або однофазне коротке замикання, що впливає на високовольтну лінію, кА
- довжину зустрічі  $L$ , км;
- тип системи електропостачання рухомого складу міського електричного транспорту (заземлений, ізольований тощо);
- тип рухомого складу (з кузовом, ізольованим від землі, з приземленим кузовом);
- опір землі  $\rho$  в зоні впливу, з урахуванням глибоких шарів, Ом<sup>2</sup>м;

Відповідно до заданого часу  $\tau$ , дозволений індуктивний струм  $I_d$  визначається згідно з таблицею, розраховується допустиме значення взаємної індуктивності  $\mu_d$  мкГ/км на одиницю зближення:

$$\mu_d = \frac{I_d}{I} = \frac{Z}{314 \cdot I \cdot k_1 \cdot k_2} \quad (4.3)$$

де  $Z$  – імпеданс індуктивному струму при 50 Гц Ом.

$Z = 31500$  з заземленою системою живлення  $Z=36000$  з ізольованою системою живлення;

$K_1$  — коефіцієнт екранування магнітного впливу будівель  $K_1 = 0,85$ ;

$K_2$  — коефіцієнт, який враховує наявність вищих гармонік впливового струму залізниці  $K_2 = 1,15$  (для високовольтної лінії  $K_2 = 1$ ).

Відповідно до розрахованого значення  $\mu_d$  для варіанту рухомого складу з ізольованим тілом від ґрунту, допустима еквівалентна ширина підходу до  $a$  визначається за допомогою кривих при заданому опорі ґрунту.

У випадку косої збіжності мінімальна горизонтальна відстань  $a_1$  і максимальна  $a_e$  між контактними проводами МЕТ і дротом високовольтного або залізничного контактного дроту повинні відповідати одній із наступних умов [15]:

$$\left. \begin{array}{l} a_2 \leq 2a_1 \frac{a_1 + a_2}{2} \\ a_2 \leq 3a_1 a_1 a_2 \\ a_2 \leq 5a_1 \frac{a_1 + 2a_2}{3} \end{array} \right\} \geq a_3 \quad (4.4)$$

Ширина зближення не нормується у наступних випадках:

- якщо між лінією впливу та контактною мережею МЕТ є будівлі з висотою 4 поверхи або більше;

- при перетині контактної системи МЕТ із залізницею або високовольтною лінією під прямим кутом у зоні шириною не менше 150 м з обох боків перетину паралельних або похилих ділянок збігу.

#### Допустимий індуктивний струм

$\tau, \text{с}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	>1,0
$I_{\text{д,М}}$ А	200	100	70	55	50	40	35	30	27	25	2

#### 4.5 Пожежна безпека

У контактних мережах пожежі можуть виникати при великих струмах короткого замикання, які не можна вимкнути лінійними автоматичними вимикачами. Коротке замикання виникає, коли електричні мережі неправильно вибрані та встановлені, коли ізолятори зношені, старіють і пошкоджені, а також при перевантаженні. Перевантаження електричних мереж спричинене навантаженням струму, яке тривалий час перевищує значення, дозволені стандартами.

Щоб запобігти пожежам, нещасним випадкам і вибухам через короткі замикання, перевантаження, великі локальні тимчасові опори, необхідно зробити правильний вибір, встановлення та відповідність встановленому режиму роботи електричних мереж.

Проектування, тип виконання, спосіб монтажу, клас ізоляції використаних проводів мають відповідати стану навколишнього середовища, умовам експлуатації, допустимим струмним навантаженням та іншим вимогам [16].

Усі пристрої системи живлення повинні мати щонайменше два рівні ізоляції щодо наступних:

- підтримуючі споруди (будівлі, комунікації);

- активні елементи контактної підвіски найближчих трамвайних і тролейбусних ліній

Елементи контактної системи, які знаходяться під напругою, мають бути видалені на відстані (по горизонталі) не менше:

- від опорних споруд – 1,5 м;
- з балконів будівель і опорних отворів – 2 м;
- від стовбурів дерев – 1,5 м;
- від ізоляційних кронштейнів – 0,25 м;
- з металевих деталей інженерних конструкцій (у найгіршому режимі проєктування) – 0,2 м;
- з металевих частин підйомних мостів (як виняток) — 0,1 м;

Якщо неможливо дотримуватися заданих відстаней, необхідно забезпечити спеціальні захисні пристрої (корпуси, ізоляційні шини), які забезпечують надійний захист елементів контактної мережі.

#### 4.6 Висновки розділу

У розділі відповідно до завдання:

- визначено задачі розділу;
- виявлено небезпечні і шкідливі виробничі фактори в цеху;
- на базі аналізу умов праці, небезпечних і шкідливих виробничих факторів розроблені заходи щодо забезпечення безпечних умов праці:
  - розглянуто питання проведення аварійних робіт на контактній мережі міста;
  - розглянуто питання електробезпеки;
  - розроблено протипожежні заходи на контактній мережі міста.

## ВИСНОВКИ

В бакалаврській роботі запропоновано композитні опори для контактної мережі тролейбуса. Для цього проведено аналіз існуючих опор електропередач, доведено, що композитні опори мають більш надійні експлуатаційні характеристики, кращі діелектричні властивості і відрізняються більш тривалою експлуатацією за рахунок композитного матеріалу з якого вони складаються.

Спроектовано розташування та проведено розрахунок на міцність даних опор. Розрахунок на міцність показав, що дані опори рекомендується застосовувати в контактній мережі виходячи із умов, що коефіцієнт відхилення верхньої частини опори під впливом максимального навантаження менше допустимого.

Окрему увагу приділено питанням охорони праці: розроблено комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на створення безпечної та нешкідливої праці на контактній мережі системи електропостачання.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Далека В.Х. Електропостачання електричного транспорту / В.Х. Далека, В.К. Нем, В.І. Скуріхін // Навчальний посібник – Х.: ХДАМГ, 2012.
2. Скуріхін В.І. Характеристика зносу деталей на міському електротранспорті / В.І. Скуріхін // Комунальне господарство міст, – Х.: ХНАМГ, 2011 – С.260-264.
3. Скуріхін В.І. Визначення зносостійкості контактного проводу методом повного факторного експерименту / В.І. Скуріхін // Технологічний аудит та резерви виробництва, 1/2 (15), 2014 – С.26-30.
4. Далека В.Х. Закономірності зношування контактного проводу при експлуатації на міському електротранспорті / В.Х. Далека, В.І. Скуріхін, Д.О. Личов // Комунальне господарство міст», – Х.: ХНУМГ імені О. М. Бекетова, 2019. С. 135-139.
5. Далека В.Х., Рухомий склад міського електричного транспорту. Механічна частина. В.Х. Далека, М.В. Хворост, В.І. Скуріхін, Д.І. Скуріхін. // Навчальний посібник. – Х.: ХНУМГ імені О. М. Бекетова, 2018. 370 стор.
6. Скуріхін В.І. Розвиток ресурсозберігаючих технологій раціонального струмознімання на міському електротранспорті / В.І. Скуріхін // Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22. 09–електротранспорт; Національний технічний університет" Харківський політехнічний інститут", Харків, - 2016.
7. Конституція України.
8. Закон «Про охорону праці» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12..>
9. ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007 Система стандартів безпеки праці. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використанні в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва.

10. Правила техніки безпеки на міському електричному транспорті. – К.: Транспорт, - 2006. – 160 с.
11. НПАОП 40.1-1.07-01. Правила експлуатації електрозахисних засобів.
12. Основи охорони праці: Підручник / За ред, К.Н. Ткачука. - К., "Основа", 2003.
13. ДБН В.1.2-10-2008. Захист від шуму.
14. Серіков Я.А., Болотских О.Н. Охорона праці / Навч. посібник для дистанційної форми навчання в рамках міжнародного європейського проекту Tempus-Tacis CD JEP – 24150 - 2003 «HUREMA». Харків, 2006. – 120 с.
15. ДНАОП 0.00 – 1.32.01 Правила улаштування електроустановок (зі змінами).
16. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги.