

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

Навчально-науковий інститут енергетичної, інформаційної
та транспортної інфраструктури

Кафедра електричного транспорту

РОЗРОБКА ТРОЛЕЙБУСА З ПОКРАЩЕНИМИ ВАГОВИМИ
ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Бакалаврська кваліфікаційна робота

Здобувач:

Віктор МИРОШНИЧЕНКО

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

Мирошниченко Віктор Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи: Розробка тролейбуса з покращеними ваговими характеристиками.

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: Керівництво з експлуатації тролейбуса ЛАЗ, PTS, МАЗ 207; Кузов, передня, задня підвіска тролейбуса ЛАЗ, PTS, МАЗ 207; Вуглецеві сплави.

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

4.1. Стан питання (огляд, аналіз, оцінка) Огляд та аналіз сучасних конструкцій рухомого складу великої місткості


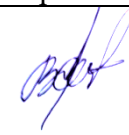
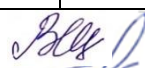

4.2. Технічна частина (вибір параметрів, розробка конструкції, структурної та електричної принципової схем, створення алгоритмів роботи тощо) Проектування інноваційної моделі тролейбуса з оптимізованими ваговими показниками

4.3. Розрахункова частина (розрахунок вузлів, метод розрахунку, алгоритм керування, програмне забезпечення) Оцінка міцності та жорсткості несучої конструкції кузова

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 кузовів, Аналіз конструкцій кузовів з підтримуючим заднім мостом; Планувальні розрахунки кузова тролейбуса з покращеними ваговими характеристиками; Розподіл напружень в обшивці кузова, яка прикріплена до несучих елементів ребрами жорсткості; Міцнісний розрахунок кузова тролейбуса з покращеними ваговими характеристиками

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



Мирошниченко Віктор Васильович
(прізвище та ініціали)

Керівник



Скуріхін Владислав Ігорович
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Дана робота присвячена оптимізації рухомого складу міського електротранспорту.

В роботі запропоновано концепцію тролейбуса з покращеною енергоефективністю, що реалізується через зниження власної маси транспортного засобу. Ключовими конструктивними особливостями є застосування алюмінієвого каркаса та впровадження третьої (підтримувальної) осі, що дозволяє збільшити корисну довжину кузова без перевантаження конструкції.

Питання виробничої безпеки та охорони праці розцінюються як пріоритетні та детально опрацьовані у відповідному розділі.

В бакалаврській роботі: 53 сторінки, 6 рисунків, 2 таблиці, 31 формул, 16 джерел літератури.

КЛЮЧОВІ СЛОВА

Транспортний засіб, кузов, монокок, алюмінієвий сплав, задня та передня підвіски, розрахунок на міцність, напруги механічні, крива вписування, радіус, ухил, гальмування, прискорення, швидкість, уповільнення, охорона праці.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ СУЧАСНИХ КОНСТРУКЦІЙ РУХОМОГО СКЛАДУ ВЕЛИКОЇ МІСТКОСТІ.....	7
1.1 Характеристика та технічні особливості тролейбусів великого класу.....	8
1.2 Дослідження параметрів рухомого складу особливо великого класу.....	13
2 ПРОЄКТУВАННЯ ІННОВАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ТРОЛЕЙБУСА 3 ОПТИМІЗОВАНИМИ ВАГОВИМИ ПОКАЗНИКАМИ.....	22
2.1 Розрахунок розподілу ваги на елементи ходової частини.....	22
2.2 Оцінка позапроектних навантажень на шасі транспортного засобу.....	28
3 ОЦІНКА МІЦНОСТІ ТА ЖОРСТКОСТІ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ КУЗОВА.....	34
3.1 Робота обшивки та її редуція.....	36
3.2 Розрахункова схема основи кузова.....	36
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	43
ВИСНОВОК	51
Список використаних джерел.....	52

ВСТУП

Питання підвищення рентабельності міського електротранспорту зберігає свою актуальність як стратегічний напрям розвитку комунального господарства. Економічна ефективність галузі безпосередньо залежить від техніко-експлуатаційних параметрів рухомого складу, зокрема від співвідношення між сукупною корисною роботою за весь життєвий цикл та витратами на його утримання.

Ключовими статтями витрат, що визначаються рівнем досконалості конструкції, є амортизаційні відрахування, енергоспоживання та видатки на технічне обслуговування й ремонт. На ці показники впливають такі характеристики, як пасажиромісткість, надійність, питома енергоефективність, а також корозійна стійкість матеріалів. Сучасний прогрес у цій сфері досягається завдяки впровадженню:

- економічних систем керування (перехід від РКСК до ТІСК та асинхронного приводу);
- використанню інноваційних легких матеріалів (алюмінієві сплави, ПКМ);
- оптимізації ергономіки (низька підлога) та збільшенню місткості.
- використання алюмінієвих сплавів та полімерних композиційних матеріалів замість традиційної сталі дозволяє не лише знизити масу кузова, а й розв'язати проблему втоми металу та передчасної корозії.

Світовий досвід (моделі виробництва Чехії, Італії, Німеччини) демонструє переваги такого підходу. Для вітчизняної галузі важливим кроком у цьому напрямку став досвід АНТК ім. О.К. Антонова, де було освоєно виробництво тролейбусів серії K12 із принципово новими кузовами на основі авіаційних технологій.

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ СУЧАСНИХ КОНСТРУКЦІЙ РУХОМОГО СКЛАДУ ВЕЛИКОЇ МІСТКОСТІ

Сучасні тенденції та принципи проектування електротранспорту такі як розвиток міського електричного транспорту сьогодні спрямований на три ключові показники: максимальну провізну здатність, економічну ефективність та високу експлуатаційну надійність.

Сучасне вітчизняне та світове машинобудування базується на чітких нормативах, випрацьованих роками практики. Процес розробки нових моделей включає:

- Багатоваріантність розрахунків: пошук оптимального рішення через порівняння різних інженерних сценаріїв.
- Комплексний підхід: при проектуванні враховуються не лише технічні характеристики, а й технологічність виробництва, зручність сервісного обслуговування та швидкість ремонту.
- Безпека та комфорт: конструкції адаптовані до сучасних вимог безпеки дорожнього руху та призначені для експлуатації на дорогах з удосконаленим покриттям.

Залежно від специфіки маршрутів та пасажиропотоку, тролейбуси мають суттєві конструктивні відмінності:

Міські тролейбуси призначені для інтенсивного пасажиропотоку. Їхня конструкція оптимізована для швидкої ротації пасажирів на зупинках:

- Інтер'єр: низька підлога, широкі проходи та декілька дверей.
- Планування: великі накопичувальні майданчики біля входів.
- Комфорт: використання пневматичної підвіски, що підтримує плавність ходу незалежно від кількості людей у салоні.

Приміські тролейбуси забезпечують сполучення між містами, передмістями та зонами відпочинку.

Особливість: менша площа для пасажирів, що стоять (накопичувальні майданчики), натомість збільшено кількість місць для сидіння.

Міжміські тролейбуси використовуються на магістральних маршрутах протяжністю понад 50 км. Головний акцент тут зроблено на комфорті під час тривалої поїздки:

- Обладнання: м'які крісла з регульованими спинками, індивідуальне освітлення, клімат-контроль (опалення/вентиляція), а також мультимедіа (радіо, ТБ) та холодильники.
- Конструкція: вузький центральний прохід, відсутність стоячих місць та наявність багажних відсіків під підлогою.

Окрім функціонального призначення, весь пасажирський електротранспорт класифікується на 5 класів відповідно до його габаритної довжини в метрах.

Таблиця 1.1 – Класифікація пасажирського транспорту

<i>Клас</i>	<i>Довжина , м</i>	<i>Місткість , чол.</i>
1 до 15	до 5,0	Маршрутні таксі, службовий підвіз
2 до 35	від 6,0 до 7,5	Малозавантажені лінії, вузькі вулиці
3 до 70	від 8,0 до 9,5	Районні маршрути, приміське сполучення
4 до 120	від 10,5 до 12,0	Основний міський транспорт (стандарт)
5 понад 120(та до140 місць зчленений)	від 16,5 і більше	Зчленовані моделі ("гармошки") для мегаполісів

1.1 Характеристика та технічні особливості тролейбусів великого класу

Світовий ринок та статистика великого класу

Транспорт великого класу (місткістю понад 40 місць) є домінуючим у розвинених країнах. Середній показник його виробництва становить 47,9% від загального обсягу випуску, проте частка суттєво різниться за країнами:

- Італія: понад 80% (лідер сегменту);
- Німеччина: 68,3%;
- Великобританія та Японія: близько 56–63%;
- Франція: 17,9%.

Сучасне автобусо- та тролейбусобудування спирається на такі технічні стандарти:

Тип кузова: Переважна більшість моделей має безрамну конструкцію з несучим кузовом. Рамні шасі зустрічаються рідко, їхніми основними постачальниками залишаються шведські гіганти Volvo та Scania.

Пасажи́рський салон:

- Двері: Міські моделі обладнуються 3 або 4 дверима для швидкої ротації пасажирів; міжміські — 1 або 2.
- Планування: Чотирирядне розміщення сидінь є стандартом, проте в міському транспорті часто використовують трирядне або змішане планування для збільшення площі проходів.

Ходова частина та управління:

- Підвіска: Переважно пневматична, що забезпечує стабільний кліренс.
- Кермо: Використовується механізм «гвинт – кулькова гайка» з обов'язковим гідропідсилювачем.
- Гальма: Робоча система базується на барабанних механізмах з пневматичним або гідропневматичним приводом.

Технологічні досягнення провідних виробників

Німеччина: Еталон комфорту та аеродинаміки, німецькі фірми є лідерами у сегменті підвищеної комфортабельності. На прикладі еволюції моделі Mercedes-Benz 0504:

- Аеродинаміка: Опір повітря знижено на 15%.

- Маневреність: Кути повороту коліс досягають 55–57°, що критично для великих габаритів.
- Ергономіка: Покращене робоче місце водія та цифрові системи інформування пасажирів.

Великобританія: Міцність та оглядовість

Фірма British Leyland (моделі Royal Tiger Doyen та Tiger 245)

впровадила:

- Використання сталевих труб прямокутного перетину для каркаса (підвищена жорсткість без зайвої ваги).
- Двошарове антикорозійне покриття та вклеєне подвійне скло для кращої ізоляції.
- Безпека: Гальмо стоянки здатне утримувати машину на схилі 25%.

Франція (Renault): Концепція низької підлоги

Модель Porto R312 демонструє переваги низькорівневого транспорту:

- Висота підлоги всього 560 мм (з можливістю зниження до 480 мм на зупинках).
- Цього досягнуто завдяки специфічним шинам та перенесенню двигуна у задній звис, що зробило підлогу в салоні ідеально рівною.

Італійські стандарти якості (Federtransport)

Італійські профільні об'єднання сформувавши жорсткі вимоги до сучасного безрейкового транспорту, які втілені в моделі Fiat-Iveco 370F:

- Для пасажирів: Максимальне природне освітлення, ефективна вентиляція, низький рівень шуму та раціональне розташування крісел.
- Для експлуатації: Обов'язкове використання гальм-сповільнювачів (ретардерів), посилений захист від корозії та висока ремонтпридатність.
- Для водія: Покращена оглядовість та ергономічне розміщення органів управління згідно з останніми нормами ергономіки.

IVECO 380 F.27.20 (рис. 1.2).

Зараз у країнах ЄС (особливо в Німеччині та Великобританії) активно впроваджують водневі автобуси (Fuel Cell). Вони мають усі переваги електробусів, але заправляються за 10 хвилин і мають запас ходу понад 500 км, що робить їх ідеальними для міжміських маршрутів (де раніше домінував *Leyland Tiger*).



Рисунок 1.1 – IVECO 380 F.27.20 (рис. 1.2).

Зміна архітектури кузова та компонування якщо у моделях на кшталт Renault Porto R312 низька підлога досягалася зміщенням двигуна в задній звис, то електробуси йдуть далі:

Відсутність шахти двигуна: Завдяки використанню електропортальних мостів (двигуни вбудовані безпосередньо в маточини коліс), зникає потреба у величезних моторних відсіках. Це звільняє місце для пасажирів у задній частині салону.

Розподіл ваги: Акумулятори найчастіше розміщують на даху. Це вимагає значного посилення каркаса кузова (використання високоміцних сталей або алюмінієвих сплавів), але дозволяє зробити підлогу низькою по всій довжині салону.

Еволюція систем підвіски та керування

- сучасні електробуси (наприклад, лінійки Mercedes-Benz eCitaro або Solaris Urbino Electric) вдосконалили згадані вами системи:
- інтелектуальна пневматика: Тепер підвіска не просто підтримує рівень, а адаптується до дорожніх умов у реальному часі через електронне управління (ECAS), мінімізуючи нахили в поворотах.
- електропідсилювач керма: Замість чистої гідравліки (як у Fiat-Iveco), що працює від ДВЗ, використовуються електрогідравлічні системи. Вони споживають енергію лише під час повороту керма, що економить до 5-10% заряду батареї.

Гальмівна система: Рекуперація та механічні гальма в електробусах ситуація кардинально інша:

Рекуперативне гальмування: Основне сповільнення виконує електродвигун, перетворюючи кінетичну енергію на електричну і повертаючи її в АКБ. Це замінює класичний "ретардер".

Дискові гальма: Механічні гальма тепер майже завжди дискові з електронним управлінням (EBS), але вони зношуються в 3–4 рази повільніше, оскільки використовуються лише для повної зупинки або екстреного гальмування.

Бельгійський автобус великого класу Nova Futura FHD 13 фірми LAG (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Vova Futura FHD 13

Він розрахований на перевезення туристів і при габаритній довжині 10 м має 43 місця для сидіння. В автобусі може бути встановлений туалет, в цьому випадку число місць для сидіння може бути зменшено до 35.

1.2 Дослідження параметрів рухомого складу особливо великого класу

Економічна доцільність та особливості експлуатації

Зчленований транспорт («гармошки») є ключовим інструментом для великих міст завдяки здатності одночасно перевозити велику кількість пасажирів.

Ключові переваги:

- Рентабельність: Вища провізна здатність при меншій кількості водіїв та обслуговуючого персоналу.
- Економія: Зниження питомих витрат електроенергії та менший знос шин у розрахунку на одного пасажира.
- Уніфікація: Використання вузлів та агрегатів стандартних 12-метрових моделей.

Недоліки: Габаритна довжина вимагає спеціальних умов у депо, ремонтних зонах та довгих зупиночних майданчиків.

Три концепції приводу зчленованого транспорту:

Розвиток конструкцій призвів до виникнення трьох основних схем розміщення тягового обладнання:

- Тягнуча схема (Puller): Двигун у передній секції, ведучий — середній міст.
- Штовхаюча схема (Pusher): Двигун у причепі, ведучий — задній міст.
- Повнопривідна схема: Ведучими є і середній, і задній мости (найвищий рівень безпеки та прохідності).

Порівняння маневреності:

При різкому повороті (радіус 12 м) середня секція «тягнучої» схеми може зміщуватися вбік на 50 см, що створює ризик зіткнення. У «штовхаючої» схеми цей показник становить лише 13 см, що робить її безпечнішою в обмеженому міському просторі.

Технологічні рішення провідних виробників

Система "Pusher" та механізми проти складання

Використання схеми з двигуном ззаду потребує складних систем стабілізації, щоб уникнути «складання» секцій (ефект ножиць).

- MAN та Heuliez: Розробили механізми, де кут між секціями контролюється гідравлічними датчиками. При досягненні критичного кута спрацьовує звуковий сигнал, а демпфуючий пристрій на даху механічно блокує подальше зближення секцій.
- Daimler-Benz: Впровадив електрогідравлічну систему захисту, яка інтегрована безпосередньо у зчпний вузол.

Маневреність та комфорт (Vetter, Heuliez)

- Керовані осі: Для складних дорожніх умов випускаються моделі з керованою віссю причепа (наприклад, Heuliez SG 242/292 H), що значно зменшує радіус повороту.

- Низька підлога: Перенесення двигуна в задній звіс дозволило максимально опустити підлогу в передній та середній секціях, прискорюючи пасажирообмін через три двостулкові двері.

Огляд ринку США та Канади

Північноамериканські виробники активно використовують європейські технології:

A.M. General: Експлуатує понад 600 машин, зібраних на базі компонентів німецької компанії MAN.

General Motors Canada: Створили 18-метровий автобус шляхом поєднання частин стандартних моделей (10,6 м та 12,2 м) за допомогою вузла зчленування Schulz. Особливістю є жорстке обмеження кута повороту до $1,5^\circ$ при русі на високих швидкостях для забезпечення курсової стійкості.

Екстремальні габарити: триланкові моделі.

Найбільшим представником стандартних програм є триланковий автобус MAN SGG 280 H.

- Конструкція: він складається з передньої та задньої секцій моделі SG 240 H, між якими інтегрована додаткова середня секція від стандартного тролейбуса Solaris Trollino 24 це дозволяє досягти максимальної місткості (до 76 сидячих місць і загальною кількістю пасажирів понад 170, рис.1.3).
- Кінематична схема та будова вузла зчленування:
- Вузол зчленування — це не просто шарнір, а високотехнологічний механізм, що передає тягові зусилля, забезпечує маневреність і водночас обмежує небезпечні переміщення секцій.



Рисунок 1.3 – Зчленований тролейбус Solaris Trollino 24

Основні компоненти:

- Опорно-поворотний пристрій (шарнір): Зазвичай складається з масивного підшипника ковзання або кочення, який дозволяє секціям обертатися відносно вертикальної осі (поворот) та горизонтальної (поздовжні нахили при підйомах чи спусках).
- Демпфуюча система: Набір гідравлічних циліндрів, які працюють як амортизатори. Вони гасять коливання причепа, запобігаючи «вилянню» на високій швидкості.
- Сільфон (гармошка): Гнучка захисна оболонка, що ізолює пасажирський прохід від зовнішнього середовища, вологи та шуму.

Система протидії складанню (Anti-Jackknifing System)

Для автобусів та тролейбусів «штовхаючого» типу (Pusher), де двигун штовхає передню секцію, існує критичний ризик: якщо кут між секціями стане занадто великим, причіп може «догнати» передню частину, що призведе до аварії.

Відпрацювання автоматики (на прикладі систем MAN та Daimler-Benz):

1. Моніторинг: Гідроциліндри у вузлі зчленування виступають у ролі датчиків. Коли автобус повертає, масло перетікає між камерами циліндрів.
2. Аналіз даних: Електронний блок керування (ECU) порівнює кут повороту передніх коліс і кут зламу між секціями.
 - Норма: кут зламу відповідає радіусу повороту.
 - Аномалія: кут зламу росте швидше, ніж повернені колеса (початок заносу або складання).
3. I етап: Система підвищує тиск у гідроциліндрах, роблячи вузол «жорсткішим» (демпфування).
 II етап: Якщо кут досягає небезпечної межі автоматично знижується потужність двигуна.
 III етап: У крайньому разі активується гальмівна система причепа або всього транспортного засобу, а вузол механічно блокується.

При проектуванні зчленованого транспорту важливо, щоб він вписувався в стандартний «поворотний коридор». Математично радіус повороту зовнішньої точки кузова та внутрішньої мають утворювати смугу, що не перевищує нормативи (зазвичай 7–7.5 метрів).

$$B = R_{ext} - R_{int} \quad (1.1)$$

де B — ширина динамічного коридору.

Експлуатація надвеликого транспорту довжиною понад 18 метрів потребує складних інженерних рішень для синхронізації роботи всіх осей та ефективної передачі потужності.

Система приводу та розподіл моменту (рис. 1.4). Силовий агрегат розташований у задньому зв'язі причіпної секції. Передача тягового зусилля

на другу та третю осі організована через розгалужену систему карданних валів:

- Складність передачі: Система включає 8 карданних валів, 11 універсальних шарнірів та 8 шліцьових з'єднань, що проходять через обидва вузли зчленування.
- Диференціальне керування: Третя вісь (ведуча вісь середньої ланки) оснащена міжосьовим диференціалом. Він компенсує різницю у швидкості обертання коліс на поворотах, забезпечуючи стабільність руху.
- Підвищена прохідність: Для подолання складних ділянок (ожеледь, мокре покриття) передбачена можливість блокування міжосьового диференціала, що гарантує надійне зчеплення навіть при штовхаючій схемі приводу.

Маневреність та кінематика повороту. Незважаючи на значну довжину, триланкова модель демонструє вражаючу маневреність завдяки активному керуванню осями:

- Керовані осі: Перша та четверта осі є поворотними. Керування четвертою віссю здійснюється автоматично через систему механічних важелів, з'єднаних із другим вузлом зчленування.
- Радіуси повороту: Зовнішній радіус становить 12 м (аналогічно стандартним 16.5-метровим моделям), проте внутрішній радіус зменшено до 5.3 м (на 0.7 м менше за дволанкові аналоги). Це дозволяє гігантському автобусу вписуватися в ті самі габарити проїжджої частини, що й менші моделі.

Експлуатаційні та нормативні характеристики

Розподіл мас та навантажень

При повній масі у 32 тонни, навантаження на осі розподілено згідно з жорсткими технічними нормами (зокрема федеральними стандартами Німеччини):

- I вісь: 6 т;
- II та III осі (ведучі, спарені колеса): по 10 т кожна;

- IV вісь: 7.5 т.

Ергономіка та обслуговування

Транспорт оптимізовано для роботи одного водія без допомоги кондуктора:

- Візуальний контроль: Оскільки водій фізично не може бачити останні двері через довжину салону, робоче місце обладнане системою відеоспостереження (моніторами), що транслюють зображення з зон висадки-посадки.
- Пасажиروобмін: Чотири широкі двері з низьким рівнем сходинок забезпечують високу швидкість ротації пасажирів, що є критичним для завантажених міських магістралей.



Рисунок 1.4 – Тролейбус Богдан - 231 з підтримуючим мостом

Сучасний пасажирський електротранспорт базується на засадах глибокої стандартизації, прогресивної естетики та високої економічної ефективності. Основна увага при розробці нових кузовів приділяється довговічності та безпеці.

Досвід Великобританії: Точність та захист. Британські лідери ринку, компанії Duple та Plaxton, забезпечують кузовами близько 80% рухомого складу країни.

- Автоматизація зварювання: Моделі *Laser* та *Caribbean* виготовляються на прецизійному обладнанні. Використання багатошпіндельних верстатів із мікропроцесорним керуванням дозволяє досягти виняткової жорсткості каркаса даху, боковин та підлоги.

- Аеродинаміка та антикорозія: Кузови проектується з урахуванням зниження повітряного опору. На заводі в Блекпулі впроваджено вдосконалені лінії повної антикорозійної обробки, що суттєво подовжує термін служби металоконструкцій.

- Двоповерхові конструкції: Компанія *Plaxton* активно розвиває сегмент даблдекерів, адаптуючи їх під сучасні вимоги міст.

Безпека та комфорт пасажирського салону. Провідні виробники (MAN, Duple, Plaxton) впроваджують низку рішень для підвищення якості перевезень:

- Травмобезпечні двері: Дверні отвори обладнуються чутливими сенсорами. Якщо пасажир опиняється у зоні закриття, система автоматично блокує рух стулок.

- Інтелектуальні підніжки: Нова кінематика дверей дозволяє системі в реальному часі контролювати рівень підніжки відносно бордюру (тротуару).

- Ергономіка сидінь: Впроваджуються крісла зі змінною геометрією опорних ліній, що дозволяє адаптувати їх під антропометричні дані різних пасажирів.

- Ізоляція: Використання склопакетів (подвійного скління) значно покращує тепло- та звукоізоляцію салону.

3. Світові тенденції, нові матеріали та дизайн:

- Синтетичні кузови: інженери США та Великобританії розробляють кузови довжиною 8, 10 та 12 метрів, повністю виконані з композитних та синтетичних матеріалів, що радикально зменшує вагу транспортного засобу.

- Японська школа (Isuzu, Toyota, Mitsubishi): Японські виробники переходять на беззаклепкові технології з'єднання панелей. Це дозволяє

створювати складні криволінійні форми кузова, де двері та бокові панелі візуально та технічно утворюють єдину обтічну лінію.

- Інформаційне оформлення: традиційні таблички замінюються на графіку, нанесену безпосередньо на кузов, що покращує естетичний вигляд та зносостійкість маркування.

2 ПРОЄКТУВАННЯ ІННОВАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ТРОЛЕЙБУСА З ОПТИМІЗОВАНИМИ ВАГОВИМИ ПОКАЗНИКАМИ

Вхідні дані: довжина кузова (м) – 13, ширина кузова (м) – 2,4; двері кузова – 2; радіус кривої (м) – 15; ухил (%) – 11; центр тяжіння (м) – 0,9; швидкість (км/Г) – 68.

Особливістю тролейбуса з оптимізованими ваговими параметрами є специфічне планування салону: проходи для пасажирів до сидінь розміщені не центрально і не вертикально один над одним, а зі зміщенням та частковим взаємним перекриттям. Це конструктивне рішення дозволяє знизити загальну висоту транспортного засобу приблизно на 40 см, що, згідно з правилами експлуатації, забезпечує вільний проїзд під мостами та в тунелях.

2.1 Розрахунок розподілу ваги на елементи ходової частини

Обчислення корисної площі підлоги для розміщення пасажирів

Визначення площі, яку займають пасажирів салону

$$F_{нас} = F_{нов} - F_{ст} - F_{каб} - F_{нід} , \quad (2.1)$$

де $F_{нов}$ – повна площа салону, $м^2$;

$F_{ст}$ – площу яку займають стінки вагону, $м^2$;

$F_{каб}$ – площа яка займає кабіна, $м^2$;

$F_{нід}$ – площа підніжки, $м^2$.

$$F_{нас} = 33,8 - 2,46 - 1,8 - 2,1 = 27,44 м^2$$

Визначення повної площі салону трамвая

$$F_{нов} = D \cdot Ш , \quad (2.2)$$

де D – довжина, м;

$Ш$ – ширина, м.

$$F_{нов} = 13 \cdot 2,6 = 33,8 м^2$$

Визначення площі стінок вагону

$$F_{cm} = 2 \cdot b_{cm} (D + Ш), \quad (2.3)$$

де b_{cm} – товщина стін, м .

$$F_{cm} = 2 \cdot 0,08(13 + 2,6) = 2,46 м^2$$

Визначення площі підніжок

$$F_{nid} = n_o f_o + n_n f_n, \quad (2.4)$$

де n_o – кількість одинарних дверей;

f_o – площа підніжки одинарної двері;

n_n – кількість подвійних дверей;

f_n – площа підніжки подвійної двері.

$$F_{nid} = 3 \cdot 0,7 = 2,1 м^2$$

Визначення кількості сидячих та стоячих пасажирів

$$E_{сид} = \frac{F_{nac}}{f_{сид} + B \cdot f_{cm}}, \quad (2.5)$$

де B – відношення між сидячими та стоячими пасажирами;

$f_{сид}$ – площу яку займає один сидячий пасажир;

$f_{см}$ – площу яку займає один стоячий пасажир, при нормальному заповненні салону;

$$E_{сид} = \frac{27,44}{0,32 + 2 \cdot 0,2} = 38 \text{чоловік}$$

$$E_{см} = B \cdot E_{сид} \quad (2.6)$$

$$E_{см} = 38 \cdot 2 = 76 \text{чоловік}$$

Визначення повної ваги пасажирів

Виходячи з того, що вага одного пасажирів при розрахунках дорівнює $g = 70$ кг, а максимальний коефіцієнт наповнення дорівнює 10 чол/м², можна визначити повну вагу пасажирів

$$G_{нас} = (E_{сид} + E_{см})g \quad , \quad (2.7)$$

де g – середня вага пасажирів.

$$G_{нас} = (38 + 76) \cdot 70 = 7980 \text{ кг}$$

Визначення площі, яку займають сидячі та стоячі пасажирів

$$F_{сид} = E_{сид} \cdot f_{сид} \quad (2.8)$$

$$F_{сид} = 38 \cdot 0,32 = 12,1 \text{ м}^2$$

$$F_{см} = E_{см} \cdot f_{см} \quad (2.9)$$

$$F_{см} = 76 \cdot 0,2 = 15,2 \text{ м}^2$$

Визначення бази екіпажу

$$B = \frac{D}{B} = 2 \div 2,2 \quad (2.10)$$

приймаємо – 2м

Планування розміщення сидінь для пасажирів та дверей салону

а) ширина сидіння:

- для одинарного – 0,5 м;
- для подвійного - 0,9 ÷ 1 м.

б) ширина дверей:

- для одинарного – 0,65 м;
- для подвійного – 1,2 м.

в) ширина проходу між сидіннями – 0,65 м;

г) враховуємо, що б двері вагону не співпадали з візками кузова.

Визначення площі, яку займають пасажирів окремих груп

$$F_i = D_i \cdot Ш_i , \quad (2.11)$$

де D_i – довжина i ділянки проектуемого салону, м;

$Ш_i$ – ширина i ділянки проектуемого салону, м.

$$F_1 = 2,450 \cdot 2,050 = 5,022 \text{ м}^2$$

$$F_2 = 0,580 \cdot 2,650 = 1,537 \text{ м}^2$$

$$F_3 = 8,980 \cdot 0,813 = 7,317 \text{ м}^2$$

$$F_4 = 0,980 \cdot 9,671 = 9,477 \text{ м}^2$$

$$F_5 = 0,580 \cdot 4,052 = 2,350 \text{ м}^2$$

$$F_6 = 1,150 \cdot 1,615 = 1,857 \text{ м}^2$$

Визначення ваги пасажирів різних груп

$$G_1 = 5 \cdot 10 \cdot 70 = 3500 \text{ кг}$$

$$G_2 = \left(\frac{1,53}{0,32} \right) 70 = 334 \text{ кг}$$

$$G_3 = 7,13 \cdot 10 \cdot 70 = 4991 \text{ кг}$$

$$G_4 = \left(\frac{9,47}{0,32} \right) 70 = 2071 \text{ кг}$$

$$G_5 = \left(\frac{2,35}{0,32} \right) 70 = 514 \text{ кг}$$

$$G_6 = 1,85 \cdot 10 \cdot 70 = 1295 \text{ кг}$$

Визначимо вагу тари:

$$G_T = E_{\text{сид}} \cdot T, \quad (2.12)$$

де T – власна вага (тара) яка припадає на одне місце для сидіння.

приймаємо $T = 315$ кг, тоді маємо:

$$G_T = 38 \cdot 315 = 12000 \text{ кг}$$

Складаємо рівняння реакцій:

$$\sum M_1 = G_1 l_1 - G_6 l_6 - G_2 l_2 - G_4 l_4 - G_5 l_5 + R_2 B - G_T \frac{B}{2}$$

звідси:

$$R_2 = \frac{G_1 l_1 - G_6 l_6 + G_2 l_2 + G_3 l_3 + G_4 l_4 + G_5 l_5 + G_T \frac{B}{2}}{B}$$

$$R_2 = \frac{3500 \cdot 1,1 - 1295 \cdot 11,85 + 334 \cdot 3,52 + 4991 \cdot 6,5 + 2071 \cdot 7 + 514 \cdot 9,1 + 12000 \frac{6,4}{2}}{6,4} = 10471 \text{кз}$$

$$\sum M_2 = G_1(l_1 + B) + G_4(B - l_4) + G_5(B - l_5) + G_3(B - l_3) + G_2(B - l_2) - G_6(l_6 - B) - R_1 B - G_T \frac{B}{2}$$

звідси:

$$R_1 = \frac{G_1(l_1 + B) + G_4(B - l_4) + G_5(B - l_5) + G_3(B - l_3) + G_2(B - l_2) - G_6(l_6 - B) + G_T \frac{B}{2}}{B}$$

$$R_1 = \frac{3500(1,1 + 6,4) + 2071(6,4 - 7) + 514(6,4 - 9,1) + 4991(6,4 - 6,99) + 334(6,4 - 3,52) - 1295(11,85 - 6,4) + 12000 \frac{6,4}{2}}{6,4} = 10883 \text{кз}$$

$$R_1 \approx R_2$$

$$10\ 883 \approx 10\ 471$$

Похибка між навантаженням на передній та задній міст складає 2,8 %, що знаходиться у допустимих межах. Планування салону виконано вірно.

$$(R_1 + R_2) \cdot 0,5 = R \text{ для рейкового ТЗ}$$

$$(R_1 + R_2) \cdot 0,36 = R \text{ для безрейкового ТЗ}$$

$$100 \cdot (R_1 + R) / R \leq 3\%$$

2.2 Оцінка позапроектних навантажень на шасі транспортного засобу

2.2.1 Визначення відцентрової сили трамваю з пасажирями в русі кривої

$$P_C = \frac{G \cdot V_{кр}^2}{g \cdot R}, \quad (2.13)$$

де $V_{кр}$ – швидкість, м\с;

g – сила тяжіння;

R – радіус.

$$P_C = \frac{213540 \cdot 6,95^2}{9,8 \cdot 30} = 35,14 \text{кН}$$

Повна вага навантаження визначається по формулі:

$$G = R_1 + R_2 \quad (2.14)$$

$$G = 10471 + 10883 = 213540 \text{Н}$$

Швидкість руху визначається так:

$$V_{кр} = 1,27 \sqrt{R} \quad (2.15)$$

$$V_{кр} = 1,27 \sqrt{30} = 6,95 \text{м/с}$$

$$P_B = p \cdot D \cdot h_K, \quad (2.16)$$

де P_B – боковий тиск вітру, кН;

D – довжина рухомого складу, м;

p – розрахунковий питомий тиск вітру, кН/м²;

h_K – висота кузову, м;

h – висота центру ваги, м.

приймаємо значення: $p = 0,5 \text{кН/м}^2$, $h_K = 3 \text{м}$, з цих умов маємо:

$$P_B = 0,5 \cdot 13 \cdot 3 = 19,5 \text{кН}$$

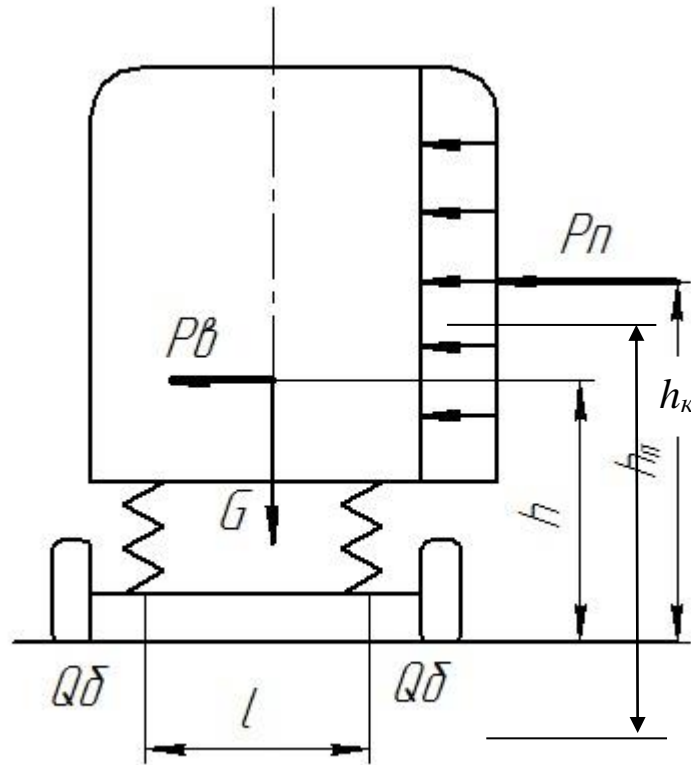


Рисунок 2.1 – Схема сил додаткових навантажень у кривій

Додаткова вертикальне навантаження на візки від бокової сили:

$$\sum M_{Q_{\delta 2}} = -Q_{\delta 1} \cdot l + P_B \frac{h_K}{2} + P_C \cdot h = 0$$

$$Q_{\delta 1} = \frac{P_B \left(\frac{h_K}{2} \right) + P_C \cdot h}{l}, \quad (2.17)$$

приймаємо $l = 2$

$$Q_{\delta 1} = \frac{19,5 \left(\frac{3}{2} \right) + 35,14 \cdot 0,8}{2} = 28,6 \text{кН}$$

2.2.2 Додаткове вертикальне динамічне навантаження:

$$P_d = G(K_d - 1)$$

Коефіцієнт вертикальної динаміки визначається по такій емпіричній формулі:

$$K_d = 1 + a \frac{0,01 \cdot V}{f_{cr}} \quad (2.18)$$

$$K_d = 1 + 0,15 \frac{0,01 \cdot 60}{15} = 1,19$$

2.2.3 Додаткове навантаження на ходові частини в залежності від нахилу шляху

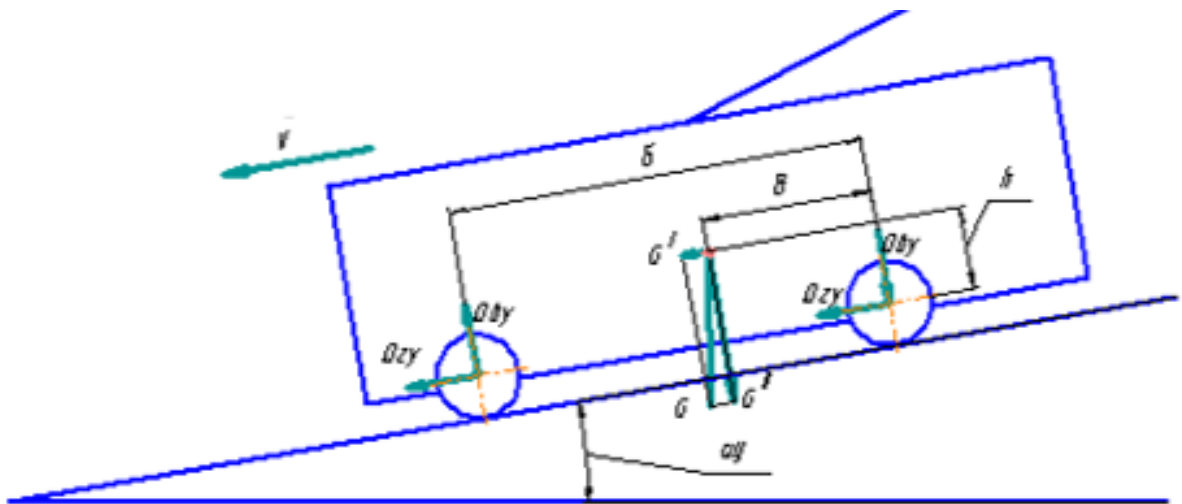


Рисунок 2.2 – Схема додаткових навантажень на ходові частини екіпажу на ухилі

При рухові екіпажу на ухилах з'являється горизонтальна сила, що є складовою ваги і спрямована завжди вниз по ухилу (рис. 2). Ця сила викликає

додаткове вертикальне навантаження Q_{yB} і горизонтальне навантаження Q_{yT} , що діють на ходові частини:

$$Q_{yB} = \frac{G'h}{L} \quad (2.19)$$

$$Q_{yB} = \frac{5,6 \cdot 0,8}{6,4} = 0,7 \text{кН}$$

$$Q_{yT} = 0,5G' \quad (2.20)$$

$$Q_{yT} = 0,5 \cdot 5,6 = 2,8 \text{кН}$$

$$G' = G \cos a_Y \quad (2.21)$$

$$G' = 213540 \cdot \sin 1,52 = 5,6 \text{кН}$$

$$G'' = G \sin a_Y \quad (2.22)$$

$$G'' = 213540 \cdot \cos 1,52 = 213 \text{кН}$$

$$a_Y = \arctg i \quad (2.23)$$

З вихідних даних $i = 20\%$, тоді маємо:

$$a_Y = \arctg 20 = 1,52$$

2.2.4 Додаткові навантаження на ходові частини від дії сил інерції вздовж екіпажа

При пуску і гальмуванні сила інерції прикладається в центрі ваги і направлена вздовж екіпажа. При гальмуванні сила інерції спрямована вперед за рухом, а при пуску (розгоні) – проти руху. Сили інерції викликають додаткові горизонтальні і вертикальні навантаження (рис. 3), що впливають на ходові частини. Силу інерції кузова з пасажирами визначають за формулою:

$$P_i = \frac{G}{g} \cdot \left| \frac{dV}{dt} \right|, \quad (2.24)$$

де G – повна вага навантаження;

g – сила тяжіння;

$\left| \frac{dV}{dt} \right|$ – величина прискорення або уповільнення.

$$P_i = \frac{213}{9,81} \cdot 2,53 = 55 \text{ кН}$$

Величину прискорення визначаємо так:

$$\left| \frac{dV}{dt} \right| = g \cdot \frac{\psi}{1 + \varphi}, \quad (2.25)$$

де ψ – коефіцієнт зчеплення колеса з рейкою (0,3);

$1 + \varphi$ – коефіцієнт інерції обертаючих мас (1,16).

$$\left| \frac{dV}{dt} \right| = 9,81 \cdot \frac{0,3}{1 + 0,16} = 2,53 \text{ м/с}^2$$

Додаткові вертикальні навантаження знаходять так:

$$Q_i = \frac{P_i \cdot h}{B}, \quad (2.26)$$

де P_i – сила інерції кузова з пасажирами;

h – висота центра тяжіння;

B – база.

$$Q_i = \frac{55 \cdot 0,8}{6,4} = 6,87 \text{ кН}$$

Перевірка розрахунків:

$$P_i \cdot h = Q_i \cdot B \quad (2.27)$$

$$55 \cdot 0,8 = 6,87 \cdot 6,4$$

$$44 = 44$$

Параметри основних і допоміжних навантажень на ходову систему тролейбуса з оптимізованою вагою повністю відповідають чинним стандартам ДСТУ.

3 ОЦІНКА МІЦНОСТІ ТА ЖОРСТКОСТІ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ КУЗОВА

За основу розрахунку взято конструкцію фургона, що складається з тонкої обшивки та зміцнювального каркаса (поздовжніх балок і поперечних рам).

Для аналізу міцності використовується стандартна теорія згину. Оскільки нас цікавить лише вигин конструкції у вертикальній площині, у формулах можна знехтувати всіма показниками, крім тих, що стосуються цього напрямку:

$$\sigma = \frac{M_y}{J_y} z ; \quad (3.1)$$

$$\tau = -\frac{Q_z S_y}{\delta J_y} ; \quad (3.2)$$

Отже, розрахунок кузова [1] полягає у побудові епюр згинальних моментів і поперечних сил, визначенні геометричних характеристик перерізів каркаса та обчисленні нормальних і дотичних напружень за формулами (3.1) і (3.2).

При визначенні характеристик перерізів важливо обрати адекватну розрахункову схему, що залежить від конструкції та умов роботи обшивки. За умови жорсткого з'єднання обшивки з каркасом та високої якості її виконання можна застосувати диференційовану схему: у розтягнутій зоні обшивка сприймає як нормальні, так і дотичні напруження, тоді як у стиснутій — переважно дотичні. Нормальні напруження в зоні стиснення виникають лише на вузьких ділянках обшивки, що прилягають до поздовжніх поясів.

Розрахунок у такому разі виконується методом послідовних наближень. У першому наближенні враховується вся площа обшивки з коефіцієнтом

редукції, що дорівнює одиниці, після чого визначається центр ваги та положення нейтральної осі. Наступні ітерації враховують уточнене положення нейтральної осі: у розтягнутій зоні враховується вся обшивка, а в стиснутій — лише її приведена ширина згідно з наведеними вище рекомендаціями. Процес ітерацій триває доти, доки різниця між результатами двох сусідніх наближень не стане меншою за 5%. На рис. 3.1 наведено розподіл напружень в обшивці, підсиленій ребрами жорсткості для забезпечення кріплення елементів з алюмінієвого сплаву.

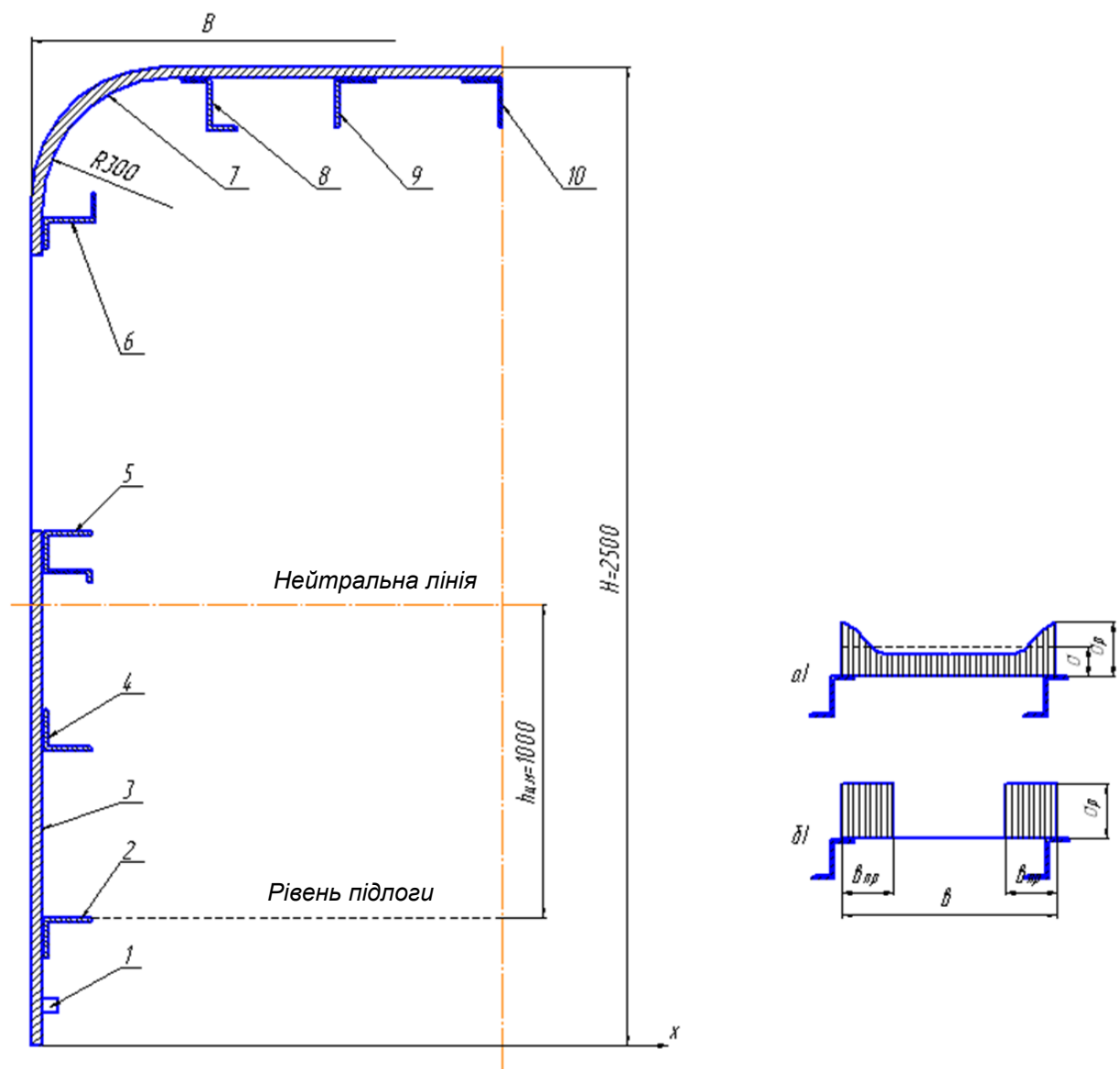


Рисунок 3.1 – Напружений стан панелей обшивки, прикріплених до силового поясу кузова через систему підсилювальних профілів

3.1 Робота обшивки та її редуція

В кузовах сучасного пасажирського транспорту переважно використовують плоску листову обшивку. Через технологічні особливості приварювання до каркаса на листах часто виникають початкові нерівності. У таких випадках обшивка майже не сприймає нормальні напруження, а умови її роботи в зонах стиснення та розтягу стають ідентичними.

Найбільш обґрунтованою розрахунковою схемою для таких перерізів є модель, де нормальні напруження сприймаються лише поздовжніми поясами каркаса та приєднаними до них ділянками обшивки (приведена ширина).

- Для сталевих обшивки ширина таких ділянок становить 30 (де — товщина листа) з кожного боку елемента.
- Для алюмінієвих сплавів ця ширина дорівнює 17мм.

Решта площі обшивки в цій моделі вважається такою, що сприймає виключно дотичні зусилля.

Формування розрахункового перерізу

При визначенні геометричних характеристик перерізу враховуються такі елементи:

- Три бічні поздовжні пояси;
- Середній пояс даху та нижній обв'язувальний пояс;
- Лонжерони основи;
- Прилеглі ділянки обшивки.

Окремо слід враховувати обшивку на заокругленнях даху: завдяки своїй формі вона має підвищену жорсткість і здатна сприймати нормальні напруження. Оскільки поперечні розміри поясів незначні порівняно з габаритами всього перерізу, їх доцільно замінювати зосередженими точковими площами, розташованими на контурі. Така площа включає власну площу перерізу профілю та площу редукованої ділянки обшивки.

3.2 Розрахункова схема основи кузова

Для аналізу міцності основи на згин застосовують спрощену модель

системи перехресних балок. Лонжерони та поперечки основи розглядаються як балки, що спираються на стінки кузова. З огляду на значну різницю в жорсткості стінок та елементів основи, приймається припущення про шарнірне спирання балок на абсолютно жорсткий контур бічних стін.

При розрахунку взаємодії лонжеронів і поперечок під дією вертикального навантаження враховується таке:

1. Через низьку жорсткість елементів на кручення (порівняно з їхньою жорсткістю на згин), передачею крутних та згинальних моментів у вузлах з'єднання можна знехтувати.
2. Вважається, що у вузлах передаються лише вертикальні зусилля.

Методика розрахунку

Статична невизначеність такої системи розкривається з урахуванням симетрії конструкції та прикладеного навантаження. Для аналізу лонжеронів використовується методика, аналогічна розрахунку багатоопорних балок, що ґрунтується на рівняннях рівності кутів повороту перерізів на опорах.

Для оптимізації розрахунків усе прикладене до поперечки навантаження поділяється на дві частини. До першої відносять зовнішні сили та частину зусилля взаємодії, яка обумовлена зовнішнім навантаженням на лонжерон $A_{i,i+1} + B_{i-1,i}$. Друга складова навантаження охоплює виключно зусилля взаємодії, що детерміновані дією моментів. Ця величина позначена чере R_i .

Таким чином

$$R_i = \frac{M_{i+1} - M_i}{l_{i,i+1}} - \frac{M_i - M_{i-1}}{l_{i-1,i}} \quad (3.3)$$

У цьому випадку деформацію перекардини також можна представити як сукупність двох складових. Перша визначається безпосередньо схемою прикладеного навантаження, тоді як друга обумовлена силою взаємодії та специфічним коефіцієнтом податливості конструкції під її впливом.

Отже $f_i = k_i R_i + f_{in}$

де k_i - Податливість поперечини є функцією її лінійних розмірів і моментів інерції перерізу.

Обчислення даного коефіцієнта базується на припущенні, що на конструкцію діє лише одна активна сила, одержимо

$$k_i = \frac{a^3}{3EJ_i} + \frac{a^2b}{2EJ_i'} \quad (3.4)$$

Розрахунок коефіцієнта податливості всієї поперечини виконується за формулою (3.4). У цьому контексті розглядаються характеристики конструкції в цілому

$$k_i = \frac{70^3}{3 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 1000} + \frac{70^2 \cdot 100}{2 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 1500} = 1,39 \cdot 10^{-4} \text{ см/кГ}$$

Визначаємо коефіцієнти рівнянь (3.4) по формулах:

$$\delta_3 = \delta_4 = \delta_5 = \frac{1,39 \cdot 10^{-4}}{130 \cdot 130} = 0,822 \cdot 10^{-8};$$

$$\delta_{23} = \delta_{34} = \delta_{45} = \delta_{56} = \frac{130}{6 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 2000} - \frac{4 \cdot 1,39 \cdot 10^{-4}}{130 \cdot 130} = -2,74 \cdot 10^{-8};$$

$$\delta_{22} = \delta_{33} = \delta_{44} = \delta_{55} = \delta_{66} = \frac{130}{3 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 2000} + \frac{130}{3 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 2000} + \frac{6 \cdot 1,39 \cdot 10^{-4}}{130 \cdot 130} = 7,10 \cdot 10^{-8}.$$

Навантаження на поперечину розподілене нерівномірно: 150 кг у центрі та по 70 кг на краях. Реакції опор (передніх та задніх ресор) становлять 800 кг та 1000 кг відповідно. Враховуючи, що вектор реакції опор спрямований протилежно прийнятій позитивній осі (вниз), при підстановці у формули для зосереджених сил реакції ресор приймаються зі знаком "мінус"

$$A_{12} = A_{23} = \frac{260}{2} - 800 \left(1 - \frac{110}{130} \right) = 7 \text{кГ};$$

$$B_{12} = B_{23} = \frac{260}{2} - 800 \frac{110}{130} = -547 \text{кГ};$$

$$A_{34} = B_{34} = A_{45} = B_{45} = A_{67} = B_{67} = \frac{260}{2} = 130 \text{кГ};$$

$$A_{56} = B_{56} = \frac{260}{2} - 1000 = -870 \text{кГ}.$$

Розрахунок кутів повороту ділянки лонжерона під дією зовнішнього навантаження проводиться за відповідними формулами. При цьому зберігає свою силу раніше зазначене правило щодо знаків реакцій ресор:

$$\alpha_{12} = \alpha_{23} = \frac{130 \cdot 130}{6 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 2000} \left[\frac{260}{4} - 800 \cdot \frac{110}{130} \cdot 1 - \frac{110}{130} \cdot 2 - \frac{110}{130} \right] = -38,9 \cdot 10^{-6};$$

$$\beta_{12} = \beta_{23} = \frac{130 \cdot 130}{6 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 2000} \left[\frac{260}{4} - 800 \cdot \frac{110}{130} \cdot 1 - \frac{110 \cdot 110}{130 \cdot 130} \right] = 89,6 \cdot 10^{-6};$$

$$\alpha_{34} = \beta_{34} \alpha_{45} \beta_{45} \alpha_{56} \beta_{56} \alpha_{67} \beta_{67} = \frac{130 \cdot 130}{6 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 2000} \cdot \frac{260}{4} = 45,7 \cdot 10^{-6}$$

Прогин поперечини від зовнішнього навантаження визначається за формулою (3.4):

$$f_{1n} = 1,39 \cdot 10^{-4} + \frac{70}{4} \left(\frac{5 \cdot 70^3}{6 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 1000} + \frac{70^2 \cdot 100}{2 \cdot 10^6 \cdot 1500} \right) + \frac{150}{6} \left(\frac{70^3}{2 \cdot 10^6 \cdot 1000} + \frac{6 \cdot 70^2 \cdot 100 + 70 \cdot 100^2}{4 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 1500} \right) = 9,7 \cdot 10^{-4} + 172,3 \cdot 10^{-4} = 182 \cdot 10^{-4} \text{ см}.$$

Оскільки параметри навантаження на поперечину визначені як константи, другий доданок при обчисленні подальших прогинів не змінюється. Варіативність результату в такому разі залежить виключно від першого складника формули:

$$\begin{aligned}
f_{2n} &= 1,39 \cdot 10^{-4} (7 - 547) + 172,3 \cdot 10^{-4} = -578 \cdot 10^{-4} \text{ см}; \\
f_{3n} &= 1,39 \cdot 10^{-4} (130 - 547) + 172,3 \cdot 10^{-4} = -407 \cdot 10^{-4} \text{ см}; \\
f_{4n} &= 1,39 \cdot 10^{-4} (130 + 130) + 172,3 \cdot 10^{-4} = 534 \cdot 10^{-4} \text{ см}; \\
f_{5n} &= 1,39 \cdot 10^{-4} (-870 + 130) + 172,3 \cdot 10^{-4} = -856 \cdot 10^{-4} \text{ см}; \\
f_{6n} &= 1,39 \cdot 10^{-4} (130 + 870) + 172,3 \cdot 10^{-4} = 856 \cdot 10^{-4} \text{ см}; \\
f_{7n} &= 1,39 \cdot 10^{-4} \cdot 130 + 172,3 \cdot 10^{-4} = 353 \cdot 10^{-4} \text{ см}.
\end{aligned}$$

По формулі (3.3) обчислюємо групові члени:

$$\begin{aligned}
\Delta_{2p} &= -38,9 \cdot 10^{-6} - 89,6 \cdot 10^{-6} + \frac{(-407 + 578)10^{-4}}{130} - \frac{(-578 - 182)10^{-4}}{130} = 588 \cdot 10^{-6}; \\
\Delta_{3p} &= 4,57 \cdot 10^{-6} - 89,6 \cdot 10^{-6} + \frac{(534 + 407)10^{-4}}{130} - \frac{(-407 + 578)10^{-4}}{130} = 548 \cdot 10^{-6}; \\
\Delta_{4p} &= 45,7 \cdot 10^{-6} + 45,7 \cdot 10^{-6} + \frac{(-856 - 534)10^{-4}}{130} - \frac{(534 + 407)10^{-4}}{130} = -1702 \cdot 10^{-6}; \\
\Delta_{5p} &= 45,7 \cdot 10^{-6} + 45,7 \cdot 10^{-6} + \frac{(534 + 856)10^{-4}}{130} - \frac{(-856 - 534)10^{-4}}{130} = 1151 \cdot 10^{-6}; \\
\Delta_{6p} &= 45,7 \cdot 10^{-6} + 45,7 \cdot 10^{-6} + \frac{(353 + 856)10^{-4}}{130} - \frac{(-856 + 856)10^{-4}}{130} = 1151 \cdot 10^{-6};
\end{aligned}$$

На основі отриманих значень коефіцієнтів та групових членів формується система рівнянь п'яти моментів згідно з виразом (3.4). З метою спрощення подальших обчислень доцільно помножити всі компоненти системи на:

$$\begin{aligned}
7,10M_2 - 2,74M_3 + 0,822M_4 + 58800 &= 0; \\
-2,74M_2 + 7,10M_3 - 2,74M_4 + 0,822M_5 + 54800 &= 0; \\
0,822M_2 - 2,74M_3 + 7,10M_4 - 2,74M_5 + 0,822M_6 - 170200 &= 0; \\
0,822M_3 - 2,74M_4 + 7,10M_5 - 2,74M_6 + 115100 &= 0; \\
0,822M_4 - 2,74M_5 + 7,10M_6 + 102100 &= 0.
\end{aligned}$$

Отримана система лінійних алгебраїчних рівнянь може бути розв'язана

кількома методами. Зокрема, доцільно застосувати метод Гаусса, що базується на послідовному виключенні невідомих. Для цієї системи алгоритм реалізується у такому порядку: з першого рівняння виражаємо і підставляємо його в наступні два; з другого — визначаємо для подальшої підстановки тощо. У результаті отримуємо таку перетворену систему:

$$\begin{aligned}M_2 &= -8280 + 0,3859M_3 - 0,1158M_4; \\M_3 &= -12820 + 0,4009M_4 - 0,1361M_5; \\M_4 &= 24190 + 0,3995M_5 - 0,1363M_6; \\M_5 &= 7680 + 0,4002M_6; \\M_6 &= -23300.\end{aligned}$$

Останнє рівняння, отримане після виключення решти невідомих, дозволяє безпосередньо визначити момент M_5 . Виконуючи зворотну підстановку в передостаннє рівняння, знаходимо значення M_6 . Аналогічно, підставляючи відомі та у попередні вирази, послідовно обчислюємо і решту моментів до повного розв'язання системи

$$\begin{aligned}M_2 &= -11500 \text{ кГ} \cdot \text{см}; \quad M_3 = -2260 \text{ кГ} \cdot \text{см}; \quad M_4 = 20600 \text{ кГ} \cdot \text{см}; \\M_5 &= -17000 \text{ кГ} \cdot \text{см}; \quad M_6 = -13300 \text{ кГ} \cdot \text{см}.\end{aligned}$$

Розраховані значення моментів є основою для побудови епюри згинальних моментів у лонжероні рами. Процес побудови передбачає початкове відкладення значень моментів у вузлових точках із подальшим урахуванням розподілених та зосереджених навантажень на кожній ділянці. Епюру традиційно будують на боці розтягнутих волокон лонжерона. Для визначення нормальних напружень отримані значення згинальних моментів ділять на момент опору відповідного перерізу. Водночас для побудови епюр у поперечині попередньо визначаються зусилля взаємодії між нею та лонжероном:

$$\begin{aligned}
 R_1 &= -\frac{11500}{130} = 88\text{кГ}; \\
 R_2 &= \frac{-2260+11500}{130} + \frac{11500}{130} = 160\text{кГ}; \\
 R_3 &= \frac{20600+2260}{130} + \frac{-2260+11500}{130} = 105\text{кГ}; \\
 R_4 &= \frac{-1700-20600}{130} - \frac{20600+2260}{130} = -465\text{кГ}; \\
 R_5 &= \frac{-23300+17000}{130} - \frac{-17000-20600}{130} = 241\text{кГ}; \\
 R_6 &= \frac{23300}{130} + \frac{2300+17000}{130} = 228\text{кГ}; \\
 R_7 &= \frac{-23000}{130} = -179\text{кГ}.
 \end{aligned}$$

Вказаний на схемі напрямок сили взаємодії відповідає її додатному значенню. У разі отримання від'ємних результатів напрямок сили змінюється на протилежний. Аналогічне правило діє і для реакцій від зовнішнього навантаження $A_i, i+1+B_{i-1, i}$.

Аналіз напружено-деформованого стану поперечини та кузова в цілому підтвердив ефективність прийнятих технічних рішень. Розрахунок нормальних напружень проводився з урахуванням геометричних характеристик перерізів лонжеронів та поперечин. Встановлено, що сумарні напруження в елементах кузова знаходяться в межах допустимих норм. Це свідчить про достатній запас міцності та підтверджує доцільність використання алюмінієвого сплаву для даної конструкції.

4 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].

Тролейбусне депо належить до об'єктів підвищеної небезпеки. Це зумовлено специфічними факторами: наявністю високої напруги, постійним рухом транспортних засобів, експлуатацією електроустаткування та наявністю пожежонебезпечних зон. Оскільки реальні виробничі умови супроводжуються впливом шкідливих факторів, особлива увага приділяється дотриманню санітарних норм та правил пожежної безпеки.

Метою даного розділу є розробка технічних рішень та інструкцій, що забезпечують безпеку персоналу під час виконання робіт у цеху технічного обслуговування (ТО) троллейбусного депо».

4.2 Аналіз умов праці і виявлення небезпечних і шкідливих факторів на ділянці контролю стану і ремонту механічного устаткування в цеху ТО

У цеху технічного обслуговування (ТО) депо здійснюється діагностика та ремонт механічного обладнання. Згідно з ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007, на даному робочому посту виділяють такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори [9]:

- **Фізичні:** рухомі машини та механізми, підвищений рівень шуму та вібрації, а також підвищена рухливість повітря (протяги).
- **Термічні:** відхилення температури повітря в робочій зоні від нормативних значень.
- **Електричні:** небезпечна напруга в електричних колах, замикання яких може пройти через тіло людини.

Виникнення цих факторів зумовлене специфікою первинного контролю технічного стану, що проводиться безпосередньо в оглядових канавах. Умови праці фахівця при цьому можуть ускладнюватися несприятливим мікрокліматом, високим рівнем акустичного навантаження та перебуванням у зоні інтенсивного руху транспортних засобів [10].

4.3 Розробка організаційних і технічних заходів для створення нешкідливих і безпечних умов праці на ділянці ремонту кузовів

4.3.1 Мікроклімат повітря робочої зони

Основними параметрами, що визначають мікроклімат виробничих приміщень, є температура, відносна вологість та швидкість руху повітря. Вимоги до цих показників у робочій зоні регламентуються ДБН В.2.5-67:2013 «Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони» [11].

Оптимальними вважаються такі мікрокліматичні умови, сукупність яких при тривалому впливі на людину підтримує нормальний

функціональний і тепловий стан організму, не спричиняючи перенапруження механізмів терморегуляції (табл. 4.1). Згідно з рівнем енерговитрат організму, діяльність персоналу, зайнятого діагностикою та ремонтом механічного обладнання, класифікується як важка фізична праця (категорія III), що пов'язана з інтенсивним пересуванням та переміщенням вантажів.

Таблиця 4.1 – Оптимальні параметри повітря в робочій зоні

Період року	Температура повітря, °С	Швидкість руху повітря не більш, м/с
Холодний	17 – 19	0,2
Теплий	20 - 22	0,4

Оптимальний показник відносної вологості в приміщенні становить 40–60%. У цеху ТО спостерігається інтенсивна рухливість повітря, зумовлена регулярним відкриттям в'їзних воріт, що спричиняє локальне зниження температури. Для підтримання теплового балансу на підприємствах міського електротранспорту (МЕТ) використовується водяне опалення, а ворота обладнуються повітряно-тепловими завісами.

4.3.2 Освітлення ділянці з ремонту кузовів

Природне освітлення робочої зони забезпечується загальною системою застосування цеху. Розрахунок штучного освітлення виконується з урахуванням того, що приміщення належить до I групи за характером зорових завдань. Це передбачає розрізнення об'єктів при фіксованому напрямку лінії зору на робочу поверхню (табл. 4.2) [12].

Таблиця 4.2 – Показники приміщень 1 групи

Характеристи ка зорової роботи	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристики фону	Нормована освітленість Е, лк
Середньої точності	IV	г	Середній	світлий	150

Для розрахунку штучного освітлення прийнято коефіцієнти відбиття свіжопобіленої стелі, стін та підлоги на рівні 70%, 50% та 30% відповідно. Враховуючи площу ділянки S , m^2 , визначимо необхідну кількість світильників. На першому етапі розрахунку обчислимо індекс приміщення за формулою:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)}, \quad (4.1)$$

де A – довжина приміщення, м; ($A=14.9$ м)

B – ширина приміщення, м; ($B=6$ м)

h – розрахункова висота підвісу світильників, м, ($h=4.5$ м).

$$i = \frac{14.9 \cdot 6}{4.5 \cdot (14.9 + 6)} = 0.95 .$$

Для прийнятого світильника (лампи накаливання $\Gamma - 220 - 300$ при індексі приміщення 0.95 визначаємо коефіцієнт використання світлового потоку η для світильників (лампи накаливання) $\eta = 0.51$. Світловий потік лампи $\Gamma = 220 - 300$ $\Phi=4600$ лм. Коефіцієнт запасу $K_3=1.5$ і коефіцієнт рівномірності висвітлення $Z=1.15$.

Необхідне число світильників визначаємо по формулі:

$$n = \frac{E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{\Phi \cdot \eta}, \quad (4.2)$$

$$n = \frac{150 \cdot 89.4 \cdot 1.5 \cdot 1.15}{4600 \cdot 0.51} = 9.86 \approx 10 \text{ шт.}$$

Схему розташування освітлювальних приладів на ділянці з ремонту кузовів наведено на рис. 4.3.

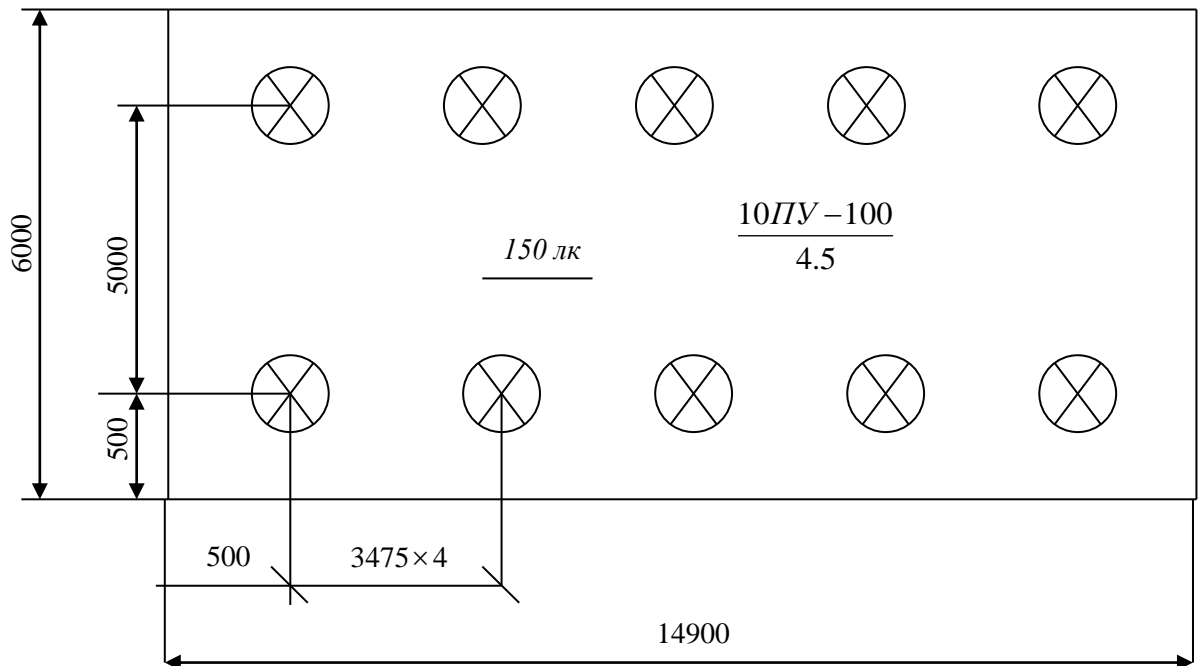


Рисунок 4.3 – План розташування світильників на ділянці з ремонту кузовів

4.3.3 Захист від шуму і вібрації

Рівень звуку на робочому місці у виробничому приміщенні складає 75 дБ, припустима норма вібрації 56 дБ [13].

При роботі устаткування, зменшенню вібрації сприяє його віброізоляція від підстави шляхом установки пружних елементів.

ДБН В.1.2-10-2008 передбачає захист від шуму будівельно-акустичними методами:

- звукоізоляція конструкцій, що обгороджують;
- установка в приміщеннях звукоізолюючих конструкцій і екранів;
- застосування глушителів аеродинамічного шуму.

Як індивідуальні засоби захисту від шуму використовують спеціальні навушники, вкладки у вушну раковину і т.п.

Як індивідуальний захист від вібрації, переданої людині через ноги, рекомендується носити взуття на повстяній підошві чи на товстій підошві з мікропористої гуми.

4.3.4 Електробезпека

Ступінь небезпеки ураження електричним струмом та тяжкість наслідків залежать від величини номінальної напруги. Оскільки в цеху ТО використовується обладнання з робочою напругою до 1000 В, приміщення класифікується як об'єкт із підвищеною небезпекою [14,15].

Основними причинами електротравматизму є:

- випадковий контакт із відкритими струмовідними частинами під напругою;
- поява напруги на металевих конструкціях електроустаткування внаслідок пошкодження ізоляції.

Для запобігання замиканню на корпус обов'язковим є використання **захисного заземлення**. Цех ТО належить до категорії «особливо небезпечних» приміщень через наявність таких факторів:

1. **Вологість та струмопровідна підлога** (залізобетонна, цегляна, металева).
2. **Струмопровідний технологічний пил**, що накопичується на проводці та всередині апаратів.
3. **Можливість одночасного дотику** до заземлених металоконструкцій будівлі (верстатів, механізмів) та струмовідних частин електрообладнання.

4.4. Техніка безпеки при ремонті кузовів

Усі операції з огляду та ремонту тролейбусів проводяться виключно при опущених та зафіксованих струмоприймачах. Під час демонтажу слід унеможливити падіння деталей в оглядову канаву [10].

Основні вимоги до робіт:

- Використання лише справного інструменту; молотки повинні бути надійно закріплені на рукоятках.
- При роботі з заклепками та дрібними деталями обов'язковим є використання захисних окулярів, щитів або сіток.
- До роботи з електроінструментом допускаються лише особи, що пройшли відповідне навчання та інструктаж.
- Під час експлуатації підймальних механізмів необхідно контролювати надійність фіксації вантажу та дотримання його паспортної вантажопідйомності.
- Виконання робіт при виявленні несправностей інструменту чи домкратів суворо заборонено.

4.5. Протипожежні заходи на ділянці з ремонту кузовів

Забезпечення пожежної безпеки в депо базується на профілактичних заходах та підтримці належного санітарного стану [16]:

- Територія та приміщення мають регулярно очищуватися від виробничих відходів.
- Промаслене дрантя та стружка повинні зберігатися у спеціальній металевій тарі в ізольованих місцях.
- **Шляхи евакуації:** забороняється захарашувати сходові клітки обладнанням чи меблями. Під сходами дозволено розміщувати лише вузли керування опаленням та водопостачанням.
- **Заборони:** використання відкритого вогню для розігріву труб, прибирання приміщень легкозаймистими рідинами (бензин, гас), залишення ввімкнених нагрівальних приладів без нагляду.

Специфічні вимоги:

1. **Складські приміщення:** світильники повинні мати захисні скляні ковпаки. Гарячі поверхні трубопроводів мають бути ізольовані негорючими матеріалами.
2. **Фарбувальні камери:** передбачається автоматичне вимкнення напруги в електростатичному полі при зупинці витяжної вентиляції.

3. Обчислювальні центри: обов'язкове встановлення автоматичної пожежної сигналізації.

Згідно з пожежно-вибуховою безпекою, цех ТО належить до **категорії Д** (обробка негорючих речовин у холодному стані). Відповідальність за пожежну безпеку несе керівник підприємства, який зобов'язаний забезпечити персонал засобами пожежогасіння, організувати навчання та впроваджувати системи автоматичного виявлення вогню.

Дії при пожежі:

1. негайно викликати пожежну охорону за номером **101**.
2. Розпочати гасіння наявними засобами (вогнегасники, пісок) та доповісти керівництву.
3. Організувати евакуацію та порятунок людей.
4. За потреби викликати медичну та аварійні служби.

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 мікроклімат робочого місця;
- запропоновано заходи щодо зниження шуму і вібрації;
- розглянуто питання електробезпечності;
- розроблено протипожежні заходи в цеху ТО.

ВИСНОВОК

У даній роботі представлено концепцію тролейбуса з оптимізованими ваговими характеристиками. Для реалізації поставленої мети було виконано:

- **комплексний аналіз** вітчизняного та закордонного досвіду проєктування кузовів із різних матеріалів, а також досліджено принципи розподілу осьових навантажень;
- **розрахункове обґрунтування** основних та додаткових навантажень на ходову частину тролейбуса згідно з вихідними технічними параметрами;
- **технічне обґрунтування** вибору тривісного тролейбуса збільшеної довжини, маса якого мінімізована завдяки впровадженню алюмінієвих сплавів у конструкцію кузова.

Окрему увагу приділено питанням охорони праці: розроблено комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на створення безпечного та нешкідливого виробничого середовища.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. <https://ua.wikipedia.org/wiki/Богдан-Е231>.
2. 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.
3. Закон України „Про дорожній рух ”.
4. Скуріхін І.Л. Механічне обладнання рухомого складу міського електротранспорту: навчальний посібник / І.Л. Скуріхін, А.В. Коваленко. – Харків: ХНАМГ, 2012. – 226 с.
5. EN 13452-1 Railway applications - Braking - Mass transit brake systems Part 1: Performance requirements (Залізниця. Гальмування. Громадський транспорт. Частина 1: Основні положення).
6. <https://itc.ua/articles/kuzov-avtomobilya-stal-alyuminiy-karbon-i-karton/>.
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. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування.
12. ДБН В.2.5 - 28 - 2006 Природне і штучне освітлення.
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.