

Вишневецький В. В., аспірант гр. 132А-24-10

Науковий керівник: Кононенко Г.О., к.т.н.

(Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна)

### ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИТНОГО МАТЕРІАЛУ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ СИЛОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДАХУ ТРАМВАЇВ

Сучасні тенденції розвитку міського транспорту спрямовані на підвищення екологічності та ефективності перевезень, зокрема шляхом впровадження електротранспорту (трамваїв) та нових конструкційних рішень. Трамвайний вагон – це рейковий електричний транспортний засіб для перевезення пасажирів. Важливим аспектом довготривалої експлуатації трамвая є технічне обслуговування: швидкість та доступність його проведення збільшує його ресурс і безпеку рухомого складу[1]. Одним із рішень для спрощення обслуговування є застосування захисних фальш-дахів[2], що забезпечують дахове електрообладнання від атмосферних впливів (наприклад, снігу) і скорочують час підготовки вагона до роботи. Для кріплення панелей фальш-даху необхідні надійні силові елементи. В даній роботі поставлено мету обґрунтувати вибір композитного матеріалу для виготовлення таких кронштейнів, що забезпечить необхідні характеристики міцності та довговічності виробу.

Для вирішення поставленого завдання було розроблено конструкцію уніфікованого кронштейна кріплення бокової обшивки та фальш-даху трамвайного вагона.

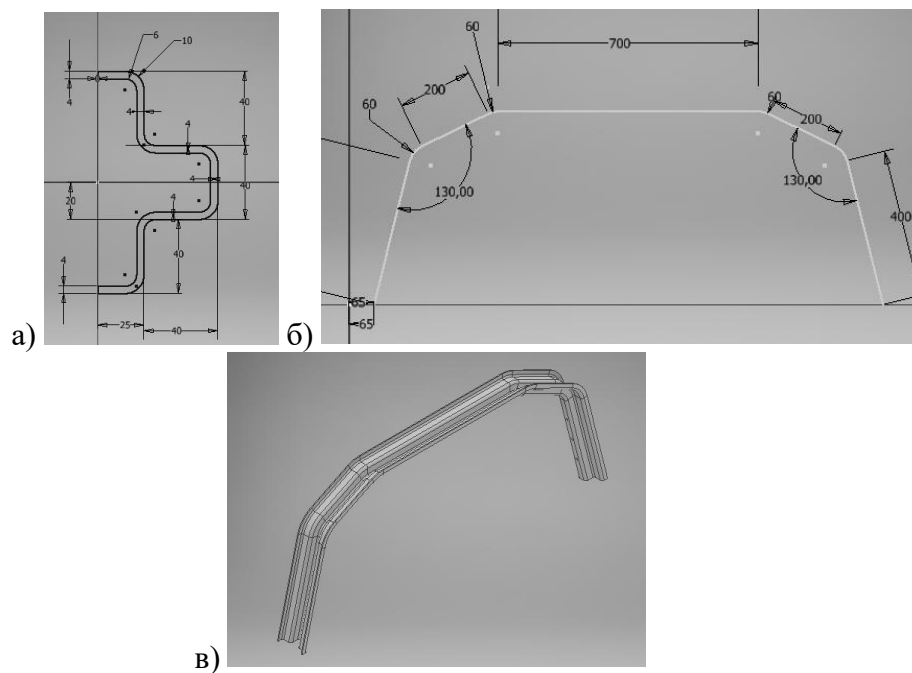


Рисунок 1 – конструкція кронштейна (а) поперечний переріз кронштейну, (б) габаритні розміри кронштейну, (в) 3D-модель кронштейну

Створено детальну 3D-модель кронштейна з урахуванням габаритів і форми кузова трамвая, використовуючи САПР Autodesk Inventor. Конструкція передбачає можливість адаптації кронштейна під різні умови експлуатації та моделі вагонів. Паралельно проведено аналіз експлуатаційних навантажень: визначено максимальне навантаження на один кронштейн. Розрахункові навантаження стали основою для вибору матеріалу конструкції. Зважаючи на умови роботи кронштейна (значні механічні

навантаження та низькі температури навколишнього середовища взимку), матеріал має зберігати свої властивості в широкому діапазоні температур та забезпечувати достатній запас міцності. Перспективними є полімерні композити, зокрема армовані скловолокном пластики, які поєднують високу питому міцність з малою вагою і корозійною стійкістю. На основі аналізу властивостей матеріалів для виготовлення кронштейна було запропоновано використати склопластик (GFRP – Glass Fiber Reinforced Polymer) [3] з епоксидною матрицею. Цей композитний матеріал забезпечує міцність на рівні сталі при значно меншій масі виробу. GFRP стійкий до дії вологи, хімічних речовин та не піддається корозії, що є важливим для тривалої експлуатації вузлів на даху вагона. Додатковою перевагою скловолокнистого композиту є діелектричні властивості, що є важливим для підвищення безпеки роботи електрообладнання, встановленого на даху трамвая. Після вибору матеріалу виконано перевірку працездатності конструкції кронштейна методом скінченних елементів (CAE-аналіз). Проведено комп'ютерне моделювання напружено-деформованого стану [4] кронштейна з GFRP при максимальних навантаженнях. За результатами розрахунку встановлено, що композитний кронштейн деформується незначно – прогин складає до ~1 мм, що не впливає на функціональність з'єднання. Максимальні еквівалентні напруження в матеріалі не перевищують ~86 МПа, тобто знаходяться нижче границі міцності обраного композиту. Таким чином, розроблений кронштейн зі склопластику витримує задані навантаження з необхідним запасом міцності.

Визначено вимоги до самого матеріалу та сировини. Склопластиковий композит для кронштейна має містити не менше 75% скловолокна за масою та мати густину близько

1,8–2,1 г/см<sup>3</sup>, щоб забезпечити необхідні показники міцності й жорсткості. Робочий температурний діапазон матеріалу становить від -45 °С до +45 °С, що відповідає умовам експлуатації трамваїв у північних країнах. Для досягнення високої міцності задано мінімальні характеристики: границя міцності при згині не менше 1000 МПа та модуль пружності близько 40 ГПа. Дотримання цих вимог гарантує отримання кінцевого продукту належної якості.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Наказ Міністерства інфраструктури України про затвердження Правил експлуатації трамвая і тролейбуса: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0353-20#Text>
2. Загальна конструкція трамваю: <https://tatra-yug.com.ua/category/produksiya/vagonyu>
3. Glass fiber-reinforced polymer composites – a review, Sathishkumar T.P., Naveen Jesuarockiam: [https://www.researchgate.net/publication/265346634\\_Glass\\_fiber-reinforced\\_polymer\\_composites\\_-\\_a\\_review](https://www.researchgate.net/publication/265346634_Glass_fiber-reinforced_polymer_composites_-_a_review)
4. ANSYS Workbench Documentation: <https://kashanu.ac.ir/Files/Content/ANSYS%20Workbench.pdf>