

**Харківський національний університет міського господарства імені  
О.М. Бекетова**

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**ГРИБЕНЮК СЕРГІЙ МИКОЛАЙОВИЧ**

**УДК 625.7/.8**

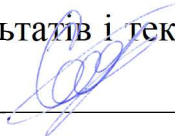
**ДИСЕРТАЦІЯ  
РАЦІОНАЛІЗАЦІЯ УНІФІКОВАНОЇ КОНСТРУКТИВНОЇ СИСТЕМИ  
БЕЗПЕКИ ПІШОХОДІВ**

192 Будівництво та цивільна інженерія

19 Архітектура та будівництво

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

  
\_\_\_\_\_ /С.М.Грибенюк/

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник **Калмиков Олег Олександрович, к.т.н., доцент**

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

ХАРКІВ – 2024

## АНОТАЦІЯ

*Грибенюк С.М.* Раціоналізація уніфікованої конструктивної системи безпеки пішоходів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія (19 «Архітектура і будівництво»). – Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Харків, 2024.

Дисертаційна робота присвячена розробці інноваційної системи безпеки пішохідних переходів міських та магістральних автомобільних доріг.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовані мета та задачі дослідження, наукова новизна і практичне значення роботи, представлена її загальна характеристика.

У **розділі 1** виконано аналіз стану досліджень по темі дисертації. Розглянуто стан питання організації безпеки пішоходів в Україні та Європі з акцентом на пішохідні переходи. Представлено та проаналізовано статистику ДТП у м. Харків за участю пішоходів. Проведено укрупнений порівняльний аналіз кількості та характеру ДТП в Україні і Європі та виявлено низку факторів, які обґрунтовують відмінності у статистиці. Висвітлено класифікацію систем безпеки пішоходів, їхні ключові функції та значення для зменшення ризиків на дорогах. Основну увагу приділено активним системам безпеки, таким як боларди та рефюджі, що забезпечують фізичний захист пішоходів. Розглянуто нормативні вимоги, які регулюють використання захисних елементів на автомобільних дорогах, а також виявлено відсутність стандартів для розрахунку ударних навантажень на боларди в Україні. Наведено огляд сучасних міжнародних стандартів, що використовуються для тестування та оцінки ефективності болардів, а також розглянуто приклади інноваційних підходів до їх розробки. Розділ підкреслює важливість застосування комплексного підходу для створення ефективних систем безпеки, що відповідають конкретним умовам та рівню ризику на різних ділянках доріг.

**2 розділ** присвячено розробці комплексної системи безпеки пішоходів (СБП) RS PSS (Road Safety Pedestrian Security System), яка складається з модульних компонентів, адаптованих до різних інфраструктурних потреб міських середовищ. Основну увагу приділено адаптивності системи, її високій ремонтпридатності та можливості гнучкої інтеграції в існуючу міську інфраструктуру. Запропоновано конструктивну реалізацію складових СПБ, таких як рефюджі RS REF, боларди RS RBL, пішохідні плити RS BS та елементи стійкові RS TSL, які забезпечують безпеку пішоходів на перехрестях і дорогах.

**У розділі 3** розглянуто основні положення та методологію математичного моделювання зіткнення автомобілів з болардом та елементами рефюджу для підвищення безпеки пішоходів і транспорту. Задля вивчення поведінки системи проведено математичне моделювання з використанням програмного комплексу LS-Dyna. Моделюванням враховано розроблену лінійку типорозмірів болардів, а також деталі автомобільних конструкцій, що відтворюють реальні умови зіткнення. Основними параметрами аналізу стали поведінка болардів і рефюджів під час зіткнення, а також здатність системи зупинити або відкидати автомобіль без суттєвого пошкодження елементів конструкції. Моделювання виконано з урахуванням специфіки взаємодії між автомобілем і болардом, включаючи метод штрафних функцій для відтворення контактної взаємодії. Оцінено збереження протитаранних функцій боларда, критерієм якого була повна зупинка або відкидання автомобіля. За результатами моделювання складено рекомендації щодо застосування номенклатури пропонуванних виробів в залежності від місць їх застосування.

**У розділі 4** описано технологію виготовлення та монтажу збірних залізобетонних елементів СБП, а саме рефюджей та пішохідних плит. Розглянуто процедури монтажу елементів СБП на місці установки. Розроблено критерії контролю якості готових виробів, включаючи перевірку геометричних параметрів та відповідність стандартам міцності. Наведені

технологічні схеми і рекомендації щодо монтажу, що забезпечують комплексне розуміння процесу створення та встановлення елементів СБП.

**5 розділ** дисертації присвячено розробці та впровадженню нових СБП із застосуванням металевих болардів. Проаналізовано тестовий монтаж СПБ на ділянці по пр. Людвіга Свободи, 37 у м. Харків. В результаті аналізу розроблено рекомендації щодо подальшої раціоналізації процесів монтажу СБП. Висвітлено перспективи подальшого впровадження розробленої СПБ на 12-ти ділянках м. Харків. Наведено інформацію щодо відображення матеріалів дослідження у розробці нормативних документів України.

**Ключові слова:** система безпеки пішоходів, математичне моделювання, скінченно-елементна модель, напружено-деформований стан, збірні залізобетонні елементи, дорожня інфраструктура, адаптивна конструкція, монтаж конструкцій, оптимізація конструкції, ударостійкість, динамічне навантаження.

## ANNOTATION

Hrybenyuk S.M. Rationalization of a unified constructive pedestrian safety system. – Qualification scientific work in manuscript form. Dissertation for obtaining the degree of Doctor of Philosophy in specialty 192 – Construction and Civil Engineering (19 "Architecture and Construction"). – O. M. Beketov Kharkiv National University of Urban Economy, Kharkiv, 2024.

This dissertation focuses on developing an innovative pedestrian safety system for city and highway crossings. In the introduction, the relevance of the topic is substantiated, and the research's objectives, scientific novelty, and practical significance are defined, along with a general overview of the work.

**Chapter 1** provides an analysis of the current research on pedestrian safety in Ukraine and Europe, with a particular focus on pedestrian crossings. It includes an overview and analysis of accident statistics involving pedestrians in Kharkiv and a comparative analysis of accident patterns in Ukraine and Europe, identifying several

factors accounting for statistical differences. It classifies pedestrian safety systems, highlighting key functions and their role in reducing road risks. Special attention is paid to active safety systems like bollards and refuges that ensure physical protection. Regulatory requirements for protective elements in road safety are reviewed, noting the lack of standards in Ukraine for calculating impact loads on bollards. A review of modern international standards for testing and evaluating bollards and innovative approaches to their development is presented, emphasizing the importance of a comprehensive approach to safety systems tailored to specific road conditions and risk levels.

**Chapter 2** is dedicated to developing the comprehensive Road Safety Pedestrian Security System (RS PSS), composed of modular components adapted to various urban infrastructure needs. It emphasizes the system's adaptability, maintainability, and flexible integration into existing city infrastructure. This section introduces components of the RS PSS, including RS REF refuges, RS RBL bollards, RS BS pedestrian slabs, and RS TSL support elements that enhance pedestrian safety at intersections and on roads.

**Chapter 3** discusses the methodology for mathematical modeling of vehicle collisions with bollards and refuge elements to improve pedestrian and traffic safety. Collision behavior modeling was conducted using the LS-Dyna software, considering the developed bollard size range and vehicle construction elements to replicate real collision conditions. Key parameters analyzed include bollard and refuge behavior during impacts, as well as the system's ability to stop or deflect vehicles without significant damage to structural elements. The simulation accounted for the interaction between vehicles and bollards, applying penalty functions to replicate contact interactions. Anti-ramming functions were assessed, with full vehicle stoppage or redirection as the criterion. Recommendations were developed for applying various product specifications based on site conditions.

**Chapter 4** details the technology for manufacturing and assembling prefabricated reinforced concrete pedestrian safety system (PSS) elements, specifically refuges and pedestrian slabs. Installation procedures are outlined, along

with quality control criteria for finished products, including verification of geometric parameters and compliance with strength standards. Schematics and installation recommendations provide a comprehensive understanding of the PSS assembly process.

**Chapter 5** focuses on the development and implementation of new pedestrian safety systems using metal bollards. The chapter analyzes a test installation of the PSS on Lyudviga Svobody Avenue, 37, in Kharkiv. Following the analysis, recommendations are made for further optimization of PSS installation processes, and perspectives for implementing the developed PSS across 12 additional locations in Kharkiv are highlighted. Information on incorporating research materials into Ukraine's regulatory documents is also provided.

**Keywords:** pedestrian safety system, mathematical modeling, finite-element model, stress–strain state, prefabricated reinforced concrete elements, road infrastructure, adaptive construction, construction installation, design optimization, impact resistance, dynamic load.

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА, В ЯКИХ НАВЕДЕНІ ОСНОВНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ

### *Статті у наукових фахових виданнях України:*

1. Грибенюк, С. М. Конструктивні особливості вузлів примикання трамвайних рейок до дорожнього покриття / О.О. Калмиков, С.М. Грибенюк // Комунальне господарство міст: Серія: Технічні науки та архітектура. – Вип. 6 (166), – 2021, – С. 94–98.

<https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/5873>

*Особистий внесок: запропоновано конструктивне рішення для довговічного примикання трамвайних рейок до дорожнього покриття із використанням залізобетонних плит, що забезпечує стійкість до динамічних навантажень та підвищує надійність трамвайних переїздів.*

2. Грибенюк, С. М. Аналіз напружено-деформованого стану трамвайної плити покриття за різних варіантів спирання./ С.М. Грибенюк // Металознавство та термічна обробка металів. – Вип. 3 (98), – 2022, – С. 7-12.

<https://doi.org/10.30838/J.PMNTM.2413.270922.7.899>

3. Грибенюк, С.М. Система безпеки пішоходів RS PSS. / О.О. Калмиков, Д.С. Захаров, С.М. Грибенюк, Д.А. Алатаєв // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. – Вип. 202, – 2022, – С. 117-131. <https://doi.org/10.18664/1994-7852.202.2022.273667>

*Особистий внесок: розроблено конструктивне рішення для підвищення безпеки пішоходів на небезпечних ділянках дороги за допомогою системи RS PSS, що включає захисні боларди та залізобетонні елементи, адаптовані до міських умов*

4. Грибенюк, С. Аналіз сучасних підходів та світового досвіду з використання систем безпеки пішоходів / Д. Захаров, С. Грибенюк // Український журнал будівництва та архітектури. – Вип. 6 (018), – 2023. – С. 62-68.

<https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.261223.62.1007>

*Особистий внесок: проведено системний аналіз світового досвіду використання болардів для захисту пішоходів, розроблено практичні*

*рекомендації з їх впровадження та адаптації до сучасної дорожньої інфраструктури України.*

5. Грибенюк, С.М. (2024). Впровадження систем безпеки пішоходів у міській інфраструктурі Харкова / С.М. Грибенюк // Комунальне господарство міст: Серія: Технічні науки та архітектура. – Том 4, № 185. – 2024. – С. 267-274.  
<https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/6372>

***Тези доповідей на наукових конференціях:***

6. Грибенюк, С.М. Застосування сучасних безбаластних технологій верхньої будови трамвайної колії зі зниженими показниками шуму та вібрації на прикладі технології - RS / О.О. Калмиков, Д.С. Захаров, С.М. Грибенюк // Тези доповідей всеукраїнської науково-практичної конференції «Стан та перспективи розвитку міського електричного транспорту». – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, – 2021. – С. 83-85.  
[https://met.kname.edu.ua/images/kAFEDRA/DOC/Materiali\\_Konferencyi\\_ET\\_2021.pdf](https://met.kname.edu.ua/images/kAFEDRA/DOC/Materiali_Konferencyi_ET_2021.pdf)

*Особистий внесок: участь у дослідженні та аналізі впливу сучасних безбаластних технологій на зниження рівня шуму та вібрації у трамвайних коліях.*

***Патенти України на корисну модель:***

7. Патент на корисну модель № 156640 Україна, МПК В60R 21/34 (2011.01). Острівець безпеки з системою стримувальних елементів/ Д.С. Захаров, С.М. Грибенюк; заявник та власник – № и 2024 01577; заявл. 27.03.2024, опубл. 17.07.2024, бюл. № 29/2024.



## Зміст

ВСТУП .....	11
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ .....	16
1.1 Аналіз сучасного стану по темі роботи та основні задачі дослідження ...	16
1.2 Огляд існуючих систем безпеки пішоходів .....	17
1.2.1 Боларди компанії Normann.....	21
1.2.2 Боларди компанії FAAC.....	26
1.3 Огляд нормативних документів.....	30
1.4 Огляд сучасних наукових досліджень напряду.....	34
1.5 Перспективи використання, місця встановлення .....	42
1.6 Висновки до розділу 1 .....	47
РОЗДІЛ 2. КОНСТРУЮВАННЯ ЗАХИСНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДОРОЖНЬОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ .....	49
2.1 Система безпеки пішоходів RS PSS.....	50
2.2 Елементи захисні RS REF дорожньої інфраструктури .....	51
2.3 Елементи стримувальні (стовпчики захисні, боларди) RS RBL дорожньої інфраструктури.....	63
2.4 Пішохідна плита RS BS.....	68
2.5 Вузол кріплення боларду до рефюджу.....	71
2.6 Елементи стійкові RS TSL .....	72
2.7 Висновки до розділу 2 .....	76
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЗІТКНЕННЯ АВТОМОБІЛІВ ІЗ БОЛАРДОМ ТА ЕЛЕМЕНТАМИ РЕФЮДЖУ .....	78
3.1. Основні положення та методика математичного моделювання зіткнення автомобілів із болардом та елементами рефюджу.....	78
3.2. Математичні моделі динаміки та напружено-деформованого стану конструктивної системи при ініціації прогресуючого руйнування.....	81
3.3. Математична модель системи рефюдж-болард.....	92
3.4. Математичні моделі автомобілів та їхньої взаємодії із дорожнім покриттям та системою рефюдж-болард .....	96

3.5. Результати математичного моделювання зіткнення автомобілів із системами рефюдж-болард .....	107
3.6. Висновки до розділу 3 .....	121
<b>РОЗДІЛ 4. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА МОНТАЖУ ЗАПРОПОНОВАНОЇ КОНСТРУКЦІЇ СБП .....</b>	<b>123</b>
4.1. Процедура виготовлення компоновочних деталей конструкції .....	123
4.1.1. Рефюдж.....	123
4.1.1.1. Опалубка .....	123
4.1.1.2 Бетони.....	125
4.1.1.3 Арматура .....	129
4.1.1.4. Технологія виготовлення.....	133
4.1.1.5.Контроль якості .....	139
4.1.2 Пішохідна плита .....	141
4.2. Монтаж елементів конструкції на місцевості .....	146
4.3 Висновки до розділу 4. ....	156
<b>РОЗДІЛ 5. ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ .....</b>	<b>157</b>
5.1 Висновки до розділу 5 .....	168
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....</b>	<b>169</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>171</b>
<b>ДОДАТОК А.....</b>	<b>184</b>
<b>ДОДАТОК Б .....</b>	<b>200</b>
<b>ДОДАТОК В.....</b>	<b>202</b>

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Забезпечення безпеки на дорогах є однією з найважливіших задач сучасного міського планування та транспортної інфраструктури. Зростаючий обсяг автомобільного руху в містах, а також висока частота дорожньо-транспортних пригод (ДТП) з участю пішоходів, зокрема на пішохідних переходах, зупинках громадського транспорту та тротуарах, вимагає підвищеної уваги до розробки ефективних заходів щодо захисту пішоходів. Зростання кількості резонансних ДТП викликає особливе занепокоєння. Одним із прикладів є аварія на проспекті Науки в Харкові, що сталася у 2020 році, коли автомобіль збив пішоходів на "острівці безпеки", внаслідок чого одна людина загинула, а троє отримали травми. Ще одна резонансна подія трапилася 18 жовтня 2017 року в центрі Харкова на вул. Сумській, коли автомобіль зіткнувся з іншим транспортним засобом та врізався у натовп, що призвело до загибелі п'яťох осіб і важких травм у шести людей. Раніше, у травні 2008 року, водій у нетверезому стані виїхав на трамвайну зупинку на вул. Полтавський Шлях у Харкові, що призвело до загибелі шести осіб, серед яких були двоє дітей та вагітна жінка.. Це свідчить про недостатню ефективність існуючих методів захисту пішоходів, зокрема невідповідність конструкцій острівців безпеки, які не забезпечують належний рівень захисту в умовах сучасного інтенсивного автомобільного руху.

Сучасні нормативні документи, що регулюють безпеку дорожнього руху, передбачають використання різних типів огорожень та захисних бар'єрів, однак вони здебільшого не враховують специфічних вимог до захисту пішоходів на місцевих переходах і в зонах великого скупчення людей. Використання болардів та інших протитаранних елементів для захисту пішоходів на таких ділянках не знайшло належного відображення в нормативній базі, що потребує перегляду існуючих стандартів та введення нових регламентів, які враховують сучасні вимоги безпеки. Крім того, значна частина існуючих конструктивних рішень для підвищення безпеки пішоходів

не відповідає вимогам архітектурної виразності, що ускладнює їх застосування в центральних частинах міст з історичною забудовою.

Проблематика терористичних загроз також додає актуальності даному дослідженню. В останні роки в Європейському Союзі значно зросла кількість терактів, в яких використовуються транспортні засоби, що направляються в натовп людей. Це ще раз підкреслює необхідність розробки нових або вдосконалення існуючих конструкцій для захисту пішоходів, які повинні враховувати не лише можливість випадкових ДТП, але й загрозу цілеспрямованих атак.

Таким чином, актуальність теми дослідження визначається необхідністю вдосконалення існуючих систем безпеки дорожнього руху, розробкою нових конструктивних рішень та їх адаптацією до умов сучасної міської інфраструктури, що дозволить знизити ризики травматизму і смертності серед пішоходів та покращити загальний рівень безпеки в містах.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота відповідає тематиці кафедри будівельних конструкцій та виконана в рамках науково-дослідницької програми Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова «Консалтингові послуги з підготовки планування та доопрацювання ПСММ для Харкова та опціонально розробки пакету заходів та фіналізації ПСММ для Харкова» (номер державної реєстрації в УкрІНТІ 0124U004573).

**Метою дослідження** є розробка універсальної системи безпеки пішохідних переходів міських та магістральних автомобільних доріг.

Для досягнення зазначеної мети роботи сформульовані наступні **задачі дослідження:**

- здійснити аналіз результатів проведених до цього часу досліджень і світового досвіду влаштування острівців безпеки пішоходів;
- розробити універсальну конструктивну систему острівця безпеки для пішохідних переходів міських та магістральних автомобільних доріг;

- розробити раціональні конструктивні рішення з'єднання основних конструктивних елементів пропонованої системи;
- виконати оцінку напружено-деформованого стану розробленої системи шляхом моделювання за методом скінчених елементів з метою виявлення можливих сценаріїв її руйнування;
- розробити технологічну карту виготовлення та монтажу розробленої конструктивної системи;
- впровадити результатів дослідження через проектування та будівництво.

**Об'єкт дослідження** - універсальна система безпеки пішоходів.

**Предмет дослідження** – раціоналізація та уніфікація конструктивних рішень універсальної системи безпеки пішоходів.

**Методи дослідження** дослідження наукових публікацій, нормативних документів, монографій і статей, що стосуються теми дослідження; створення комп'ютерних моделей для аналізу та прогнозування поведінки системи безпеки пішоходів; числове моделювання системи безпеки пішоходів із використанням спеціалізованого програмного забезпечення, такого як *LS-Dyna*; оцінка, аналіз та інтерпретація результатів, отриманих із математичних моделей.

#### **Наукова новизна результатів**

- на підставі виконаного аналізу світового досвіду влаштування систем безпеки пішоходів розроблено конструктивну систему острівця безпеки, який пристосовано для міських та магістральних доріг України;
- розроблено комплекс математичних моделей для опису роботи конструктивної системи рефюдж-болард при зіткненні з автомобілями, що дозволяє проводити чисельний експеримент із високою точністю;
- набула подальшого розвитку методика моделювання зіткнення автомобілів із системами рефюдж-болард, що раніше не досліджувалося на такому рівні деталізації;

Ці результати можуть бути використані для вдосконалення існуючих систем безпеки на дорогах, а також для оптимізації конструкцій, що блокують рух транспортних засобів у небезпечні зони.

#### **Практичне значення отриманих результатів:**

- результати проведених досліджень були впроваджені в практику проектування та монтажу острівців безпеки в місті Харкові. Зокрема, системи безпеки пішоходів рекомендовані для застосування при проектуванні вулично-дорожньої мережі за підтримки Департаменту будівництва та шляхового господарства Харківської міської ради;

- КП «ШЛЯХРЕМБУД» встановило системи безпеки пішоходів на більш ніж 10 перехрестях основних магістралей міста;

- складено рекомендації щодо оновлення Державних стандартів України в аспекті проектування систем безпеки пішоходів.

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. Окремі положення досліджень виконані у співавторстві, що відображено в списку наукових публікацій. Здобувач також брав участь у впровадженні розроблених систем у міській інфраструктурі Харкова.

#### **Апробація матеріалів дисертації**

Основні положення і результати дисертації доповідались на: Всеукраїнської науково-практичної конференції «Стан та перспективи розвитку міського електричного транспорту» (Харків, 2021); 3-й Міжнародній конференції «Смарт-технології в міській інженерії» (The 3rd International Conference on Smart Technologies in Urban Engineering STUE-2024) (Харків, 2024).

#### **Публікації.**

Матеріали дисертації викладено в 7 наукових роботах; 5 статтях у фахових виданнях України категорії «Б»; 1 тез наукових доповідей в збірниках матеріалів всеукраїнських конференцій; 1 патент на корисну модель.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел із 123 найменувань та додатків; викладена на 204 сторінках, основного тексту 158 сторінок, рисунків – 144, таблиць – 34.

## **РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ**

### **1.1 Аналіз сучасного стану по темі роботи та основні задачі дослідження**

Згідно з даними Національної поліції України [1], у 2023 році в Україні сталося близько 6,5 тисяч ДТП за участю пішоходів, із них значна частина на пішохідних переходах. У цих аваріях було травмовано більше 6 тисяч пішоходів, і загинули майже 500 осіб. Загалом, тенденція залишається негативною, хоча останні роки відзначають деяке зменшення кількості таких ДТП, завдяки підвищенню контролю та запровадженню нових заходів безпеки.

У країнах ЄС ситуація виглядає дещо краще, але проблема також актуальна. Згідно з Європейською комісією [2], щорічно на дорогах Європи гине близько 5 тисяч пішоходів, при цьому більше 40% випадків стається на пішохідних переходах. Європейські країни останніми роками показують тенденцію до зниження кількості ДТП з пішоходами, завдяки широкому впровадженню різних заходів безпеки.

В Україні та Європі загальна тенденція показує поступове зменшення кількості ДТП за участю пішоходів на пішохідних переходах. Це стало можливим завдяки впровадженню низки профілактичних заходів, покращенню інфраструктури та підвищенню обізнаності учасників дорожнього руху.

До основних заходів можна віднести:

1. Покращення освітлення на пішохідних переходах.
2. Обмеження швидкості в населених пунктах.
3. Встановлення світлофорів з додатковими звуковими сигналами для людей з вадами зору.
4. Інтелектуальні системи контролю швидкості та руху, такі як камери та радари.
5. Використання захисних систем безпеки для захисту пішоходів від наїзду автомобілів



Використання цих заходів допомагає зменшити кількість ДТП і травм серед пішоходів, але процес вимагає постійного моніторингу та вдосконалення.

## **1.2 Огляд існуючих систем безпеки пішоходів**

Система безпеки пішоходів (далі СБП) включає в себе різноманітні заходи та технології, спрямовані на захист пішоходів у міському середовищі, особливо в місцях, де вони перетинаються з транспортними потоками. Особливу роль у цій системі відіграють активні елементи, такі як боларди та острівці безпеки.

Боларди — це міцні стовпчики, які встановлюються вздовж тротуарів або на межі пішохідних зон для запобігання в'їзду автомобілів у ці зони. Вони можуть бути як стаціонарними, так і висувними, дозволяючи регулювати доступ транспортних засобів у певні зони, наприклад, під час проведення масових заходів або в години пік.

Острівці безпеки — це підняті ділянки дороги або спеціальні платформи, розташовані посередині проїжджої частини на пішохідних переходах. Вони виконують кілька важливих функцій: по-перше, дозволяють пішоходам безпечно перепочити на середині дороги, якщо вони не встигають перейти всю проїжджу частину за один раз; по-друге, підвищують видимість пішоходів для водіїв, що змушує останніх зменшувати швидкість та бути більш уважними. Острівці безпеки також можуть бути обладнані світловими індикаторами або підсвіткою, що робить їх ще більш помітними в темний час доби.

Системи, які захищають пішоходів, умовно можна поділити на 2 групи: активні і пасивні, які в свою чергу поділяються на підгрупи (рис. 1.1).

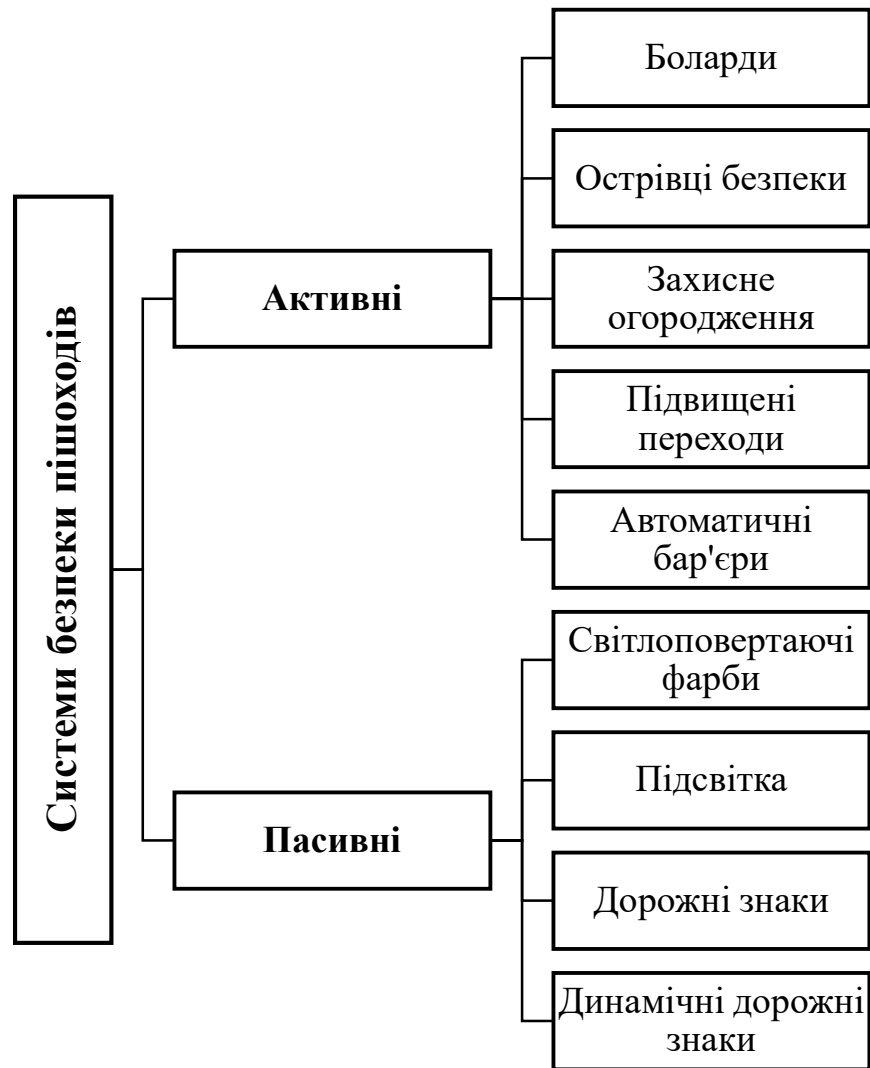


Рис. 1.1 – Класифікація систем безпеки на дорогах за видом захисту.

Активні системи безпеки спрямовані на фізичний захист пішоходів від транспортних засобів, забезпечуючи фізичне розділення або обмеження руху.

#### **Основні види активних систем безпеки:**

1. **Боларди:** Фіксовані або автоматичні стовпчики, які встановлюються на пішохідних переходах або уздовж тротуарів, щоб запобігти виїзду автомобілів на пішохідну зону.

2. **Острівці безпеки:** Острівець, конструктивно виділений на проїзній частині чи розділювальній смузі, призначений для очікування пішоходами можливості завершити перехід дороги [3].

3. **Захисне огороження:** Встановлюються уздовж доріг і тротуарів для захисту пішоходів від виїзду автомобілів.

4. **Підвищені переходи:** Пішохідні переходи, які піднімаються на рівень тротуару, змушуючи автомобілістів знижувати швидкість.

5. **Автоматичні бар'єри:** Піднімаються або опускаються для обмеження руху автомобілів у певних зонах, таких як шкільні зони або пішохідні вулиці, в залежності від часу доби або наявності пішоходів.

#### **Переваги активних систем:**

- Забезпечують фізичний захист пішоходів.
- Знижують ризик наїзду на пішоходів.
- Зменшують кількість і тяжкість ДТП.

#### **Пасивні системи безпеки**

Пасивні системи безпеки спрямовані на привернення уваги водіїв та пішоходів, підвищення їх обізнаності про наявність пішохідних переходів та інших небезпечних зон.

#### **Основні види пасивних систем безпеки:**

1. **Світлоповертаючі фарби:** Використовуються для розмітки доріг, пішохідних переходів та велосипедних доріжок, що робить їх видимими в темряві та при поганій видимості.

2. **Підсвітка пішохідних переходів:** Додаткове освітлення на пішохідних переходах для підвищення видимості в нічний час.

3. **Світлові та звукові сигнали на переходах:** Використовуються для попередження водіїв про наявність пішоходів на переході.

4. **Знаки дорожнього руху та розмітка:** Інформують водіїв про наближення до пішохідних зон і переходів.

5. **Динамічні дорожні знаки:** Використовуються для відображення змінної інформації, такої як обмеження швидкості або наявність пішоходів.

#### **Переваги пасивних систем:**

- Підвищують видимість та обізнаність про небезпечні зони.
- Привертають увагу водіїв до пішохідних переходів.
- Знижують ризик ДТП завдяки покращеній видимості і попередженню.

• Активні та пасивні системи безпеки є важливими елементами інфраструктури сучасних міст, сприяючи зниженню кількості ДТП та підвищенню загального рівня безпеки на дорогах.

Приведені групи безпеки застосовуються в тій чи іншій комбінації в залежності від кожної окремої ситуації, в місцях підвищеної небезпеки для пішоходів, де є небезпека наїзду транспорту активним системам безпеки пішоходів необхідно надавати перевагу.

Застосування активних та пасивних СБП залежить від конкретних умов та рівня ризику на певних ділянках дороги. У зонах підвищеної небезпеки для пішоходів, де існує значний ризик наїзду транспортних засобів, пріоритет має надаватися активним системам безпеки. Активні та пасивні системи можуть використовуватися в різних комбінаціях для максимального забезпечення безпеки в залежності від конкретних ситуацій (рис. 1.2).



Рис. 1.2 – Класифікація активних систем захисту пішоходів

В світі для захисту пішоходів, розмежування територій, захисту від потенційних загроз, таких як терористичні акти широко використовуються боларди, або системи на їх основі. Вони можуть бути встановлені у вигляді стаціонарних металевих стовпчиків, що виступають з-під землі, або автоматичних бар'єрів, які піднімаються у випадку небезпеки. Боларди використовуються не лише для функцій безпеки, а й для визначення простору і покращення організації руху на вулицях, тротуарах та біля будівель. Вони поділяються на три основні типи: автоматичні, напівавтоматичні та стаціонарні.

Автоматичні боларди забезпечують повну автоматизацію процесу управління доступом і можуть підніматися та опускатися без необхідності втручання людини. Напівавтоматичні боларди потребують часткового втручання оператора для керування їх роботою. Стаціонарні боларди є фіксованими конструкціями, які не мають рухомих частин і служать для постійного блокування доступу. Таке розподілення допомагає ефективніше задовольняти різні потреби користувачів і забезпечувати належний рівень безпеки та контролю доступу на об'єктах.

До основних виробників захисних болардів, можна віднести: HORMANN (Німеччина) [4], FAAC [5], SAME [6] та BFT [7] (Італія). За несучою здатністю вони поділяються від розмежувальних, які виконують функцію розділення потоків, до захисних, здатних зупинити вантажівку.

Розглянемо декілька найпотужніших виробників болардів: HORMANN (Німеччина) [4] та FAAC (Італія) [5] – та характеристики болардів. Обидва виробники пропонують високоякісні боларди, які можуть бути використані як у комерційних, так і у громадських місцях.

### **1.2.1 Боларди компанії HORMANN.**

З 2016 року німецька компанія HORMANN випускає захисні боларди, які поділяються на дві серії Security Line і High Security Line (для підвищеної відповідальності).

1. Обмежувальні стовпчики серії Security Line призначені для щоденного контролю доступу транспортних засобів. Вони ідеально підходять для приватних стоянок, під'їздів до промислових ділянок та пішохідних зон. Серія включає:

- Автоматичні
- Напівавтоматичні
- Знімні
- Стаціонарні моделі

Також доступні підсилені обмежувальні стовпчики з підвищеним рівнем захисту.

2. Серія High Security Line забезпечує захист закритих зон з найвищими вимогами до безпеки. Включає автоматичні, знімні та стаціонарні моделі, які отримали міжнародні сертифікати безпеки або відповідають їх вимогам. Ці стовпчики забезпечують максимальний рівень захисту.

### Автоматичні боларди компанії Normann

• Security Line – автоматичні боларди із вбудованим електромеханічним приводом. Витримує енергію зіткнення автомобіля вагою 2000кг на швидкості 20 км/год без руйнування, та на швидкості 44км/год з руйнуванням, що може призвести до пошкодження його конструкції та механічної частини, і тому болард після аварії потребує відновлення (рис.1.3).

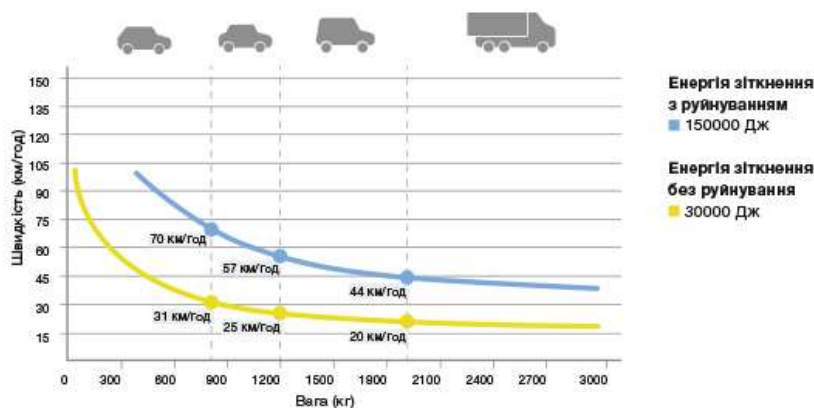


Рис.1.3. Графік несучої здатності автоматичного боларда із вбудованим електромеханічним приводом [8].

• Security Line – автоматичні обмежувальні боларди із вбудованим гідравлічним приводом. Витримує енергію зіткнення автомобіля вагою 2000кг на швидкості 23 км/год без руйнування, та на швидкості 57км/год з руйнуванням (рис.1.4).

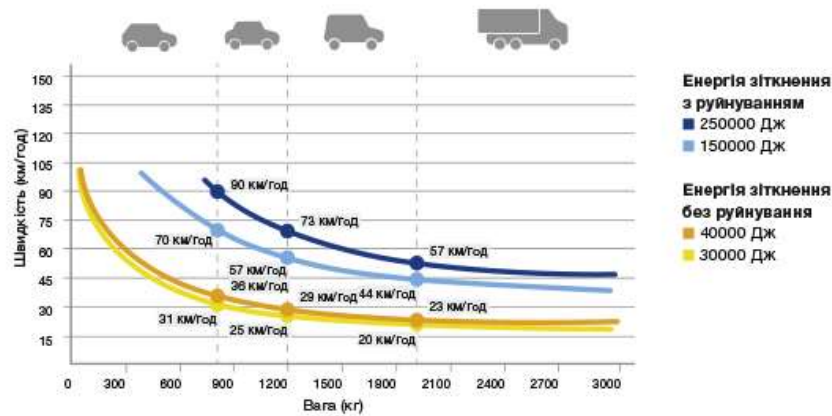


Рис.1.4. Графік несучої здатності автоматичного обмежувального боларда із вбудованим гідравлічним приводом [8].

• Security Line – автоматичні обмежувальні стовпчики з гідравлічним приводом і підсиленим матеріалом циліндра. Витримує енергію зіткнення автомобіля вагою 2000кг на швидкості 23 км/год без руйнування, та на швидкості 72км/год з руйнуванням (рис. 1.5).

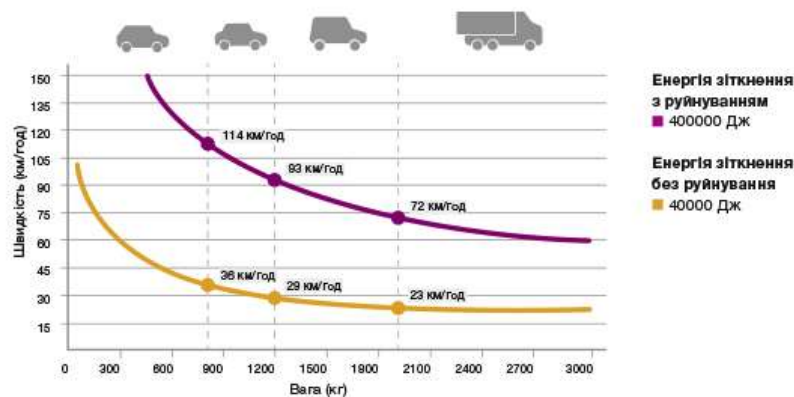


Рис.1.5. Графік несучої здатності автоматичного обмежувального боларда із вбудованим гідравлічним приводом і підсиленим матеріалом циліндра [8].

• High Security Line – автоматичні обмежувальні стовпчики із вбудованим гідравлічним приводом. Витримує енергію зіткнення автомобіля вагою 6800кг на швидкості 52 км/год без руйнування (Енергія зіткнення 700000Дж), та на швидкості 97км/год з руйнуванням (Енергія зіткнення 2000000Дж) (рис. 1.6).

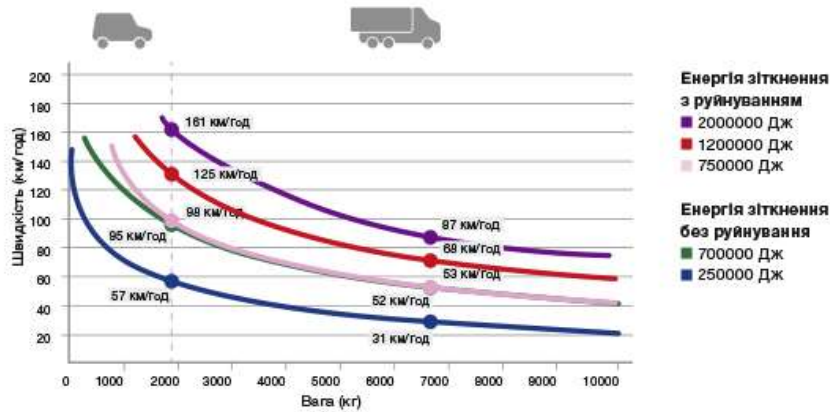


Рис.1.6. Графік несучої здатності автоматичного обмежувального боларда із вбудованим гідравлічним приводом серії High Security Line [8].

### Стационарні боларди компанії Normann

• Security Line – стаціонарні обмежувальні стовпчики із ґрунтовим анкером. Витримує енергію зіткнення автомобіля вагою 1900кг на швидкості 23 км/год без руйнування, та на швидкості 57км/год з руйнуванням (рис. 1.7).

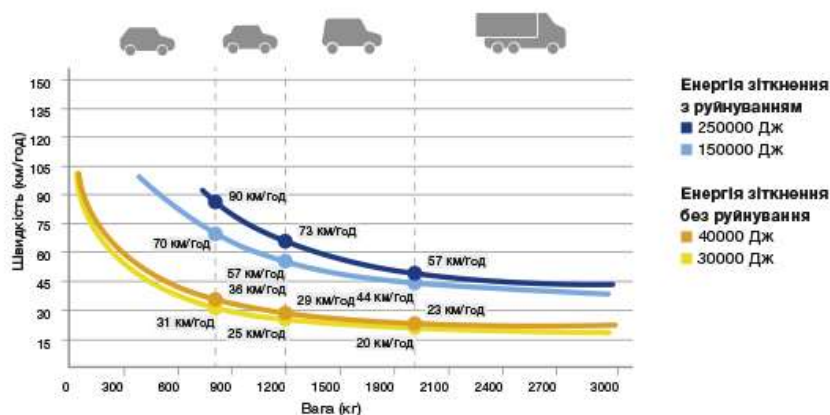


Рис.1.7. Графік несучої здатності стаціонарного обмежувального боларда із ґрунтовим анкером [8].



• Security Line – стаціонарні обмежувальні стовпчики з опорною плитою. Витримує енергію зіткнення автомобіля вагою 1900кг на швидкості 23 км/год без руйнування, та на швидкості 57км/год з руйнуванням (рис. 1.8).

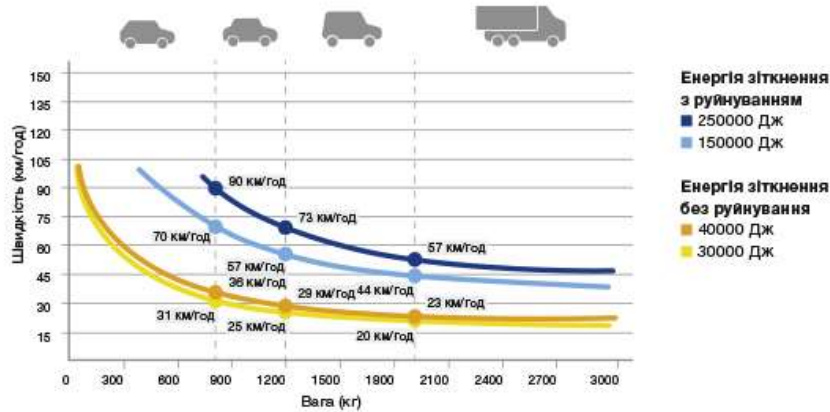


Рис.1.8. Графік несучої здатності стаціонарного обмежувального боларда з опорною плитою [8].

• Security Line – стаціонарні обмежувальні стовпчики з підсиленням кріплення основи. Витримує енергію зіткнення автомобіля вагою 1900кг на швидкості 23 км/год без руйнування, та на швидкості 72км/год з руйнуванням (рис. 1.9).

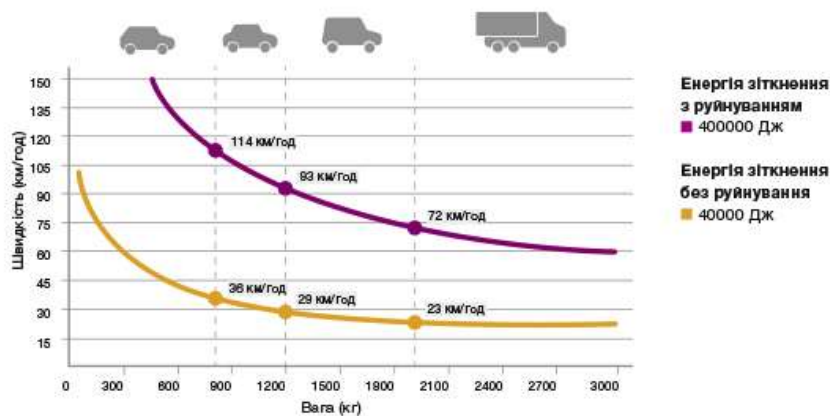


Рис.1.9. Графік несучої здатності стаціонарного обмежувального боларда з підсиленням кріплення основи [8].

• High Security Line – стаціонарні обмежувальні стовпчики з підсиленням кріплення основи. Витримує енергію зіткнення автомобіля вагою 6800 кг на швидкості 23 км/год без руйнування, та на швидкості 72км/год з руйнуванням (рис. 1.10).

швидкості 53 км/год без руйнування, та на швидкості 97 км/год з руйнуванням (рис.1.10).

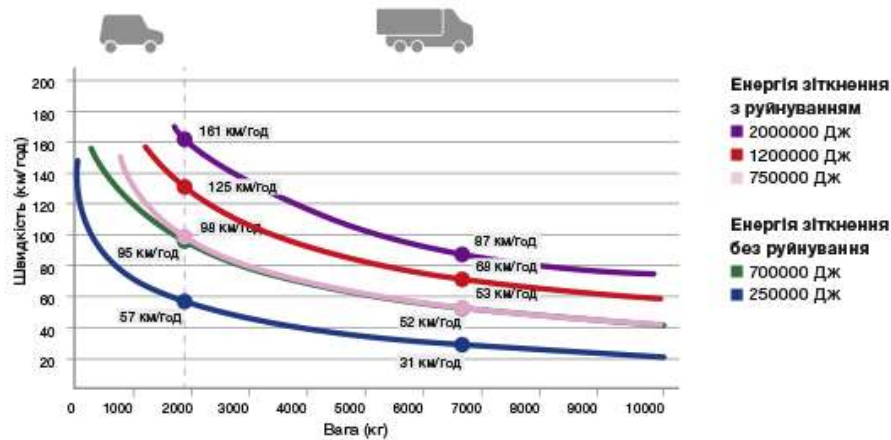


Рис.1.10. Графік несучої здатності стаціонарного обмежувального боларда з підсиленням кріплення основи серії High Security Line [8].

### 1.2.2 Боларди компанії FAAC.

Всі захисні боларди компанії FAAC пройшли краш-тестування відповідно до стандартів [10,11,12]. Вони застосовуються для розмежування критичних зон, таких як військові об'єкти, аеропорти, посольства, консульства, банки, промислові об'єкти та інші місця, де потрібен високий рівень захисту периметра.

#### Особливості продукту:

- Циліндр захищений від випадкових зіткнень та агресивних агентів (наприклад, розливів нафти, викопного палива та інших типів забруднювачів) змінною оболонкою з полімеру mDure.
- Для запобігання корозії, болард оброблено поверхневим катафорезним покриттям, всі внутрішні кріплення виконані з нержавіючої сталі, а головка покрита спеціальною смолою Rilsan.
- Боларди встановлюються на спеціальній підземній сталевій базі, яка знаходиться всередині залізобетонного фундаменту.

• Клепані стрижні всередині циліндра дозволяють правильно розташувати його та з'єднати з підземною опорною основою. За допомогою цих же заклепок можна від'єднати циліндр від підземної опорної основи та зняти його для тимчасового відкриття проходу.

### Боларди серії FAAC J275

Болард FAAC J275 для комерційних, промислових і міських зон обмеженого доступу [9].

Болард FAAC J275HA AUTOMATIC цього типу витримує навантаження від удару 38000Дж, а від наїзду 128000Дж, та 67000 Дж від удару та 207000Дж від наїзду у посиленого боларда (рис.1.11).

DIMENSIONS AND TECHNICAL SPECIFICATIONS				
Model	J275 HA V2 H600	J275 HA V2 H800	J275 HA V2 H600 INOX	J275 HAV2 H800 INOX
Type of operator	Hydraulic Actuator			
Cylinder height from ground	600 mm	800 mm	600 mm	800 mm
Cylinder diameter	275 mm			
Cylinder material	Steel S235JR EN 10219 (7mm thick)		Satin-finished AISI 316L (6mm thick)	
Cylinder treatment	Cataphoresis and polyester powder paint, dark grey metallised RAL 7021		Satin finish	
Rising time	~5 s (*)	~7 s (*)	~5 s (*)	~7 s (*)
Descent time	~3.5 s (*)	~4.5 s (*)	~3.5 s (*)	~4.5 s (*)
Emergency descent device	YES (excludable)			
Emergency descent time	~1.2 s (*)	~1.5 s (*)	~1.2 s (*)	~1.5 s (*)
Rising obstacle detection device	YES			
Release device	YES			
Power supply voltage	220-240V ~ 50/60Hz			
Max. power	575 W (*)			
Hydraulic pump unit protection class	IP67			
Type of use	Intensive use (Traffic)			
Impact resistance	38,000 J		67,000 J	
Break in resistance	128,000 J		207,000 J	
Pit weight	55 Kg	65 Kg	55 Kg	65 Kg
Traffic bollard weight	112 Kg	130 Kg	112 Kg	130 Kg
Operating ambient temperature	-15 °C / +55 °C			
Operating ambient temperature with heater	-25 °C / +55 °C			
Slow lowering	YES			

(\*) Data referred to 230V-50Hz

Рис.1.11. Технічні характеристики боларда типу FAAC J275HA [9]

FAAC J275SA напівавтоматичний висувний дорожній стовпчик. Даний болард витримує навантаження від удару 38000Дж, а від наїзду 128000Дж, та 67000 Дж від удару та 207000Дж від наїзду у посиленого боларда (рис.1.12).

DIMENSIONS AND TECHNICAL SPECIFICATIONS		
Model	J275 SA H600	J275 SA H600 Stainless steel
Type of operator	Single-acting gas operator	
Cylinder height from ground	600 mm	
Cylinder diameter	275 mm	
Cylinder material	Steel S235JR EN 10219 (7 mm thick)	Satin-finished AISI 316L (6 mm thick)
Cylinder treatment	Cataphoresis and polyester powder paint, dark grey metallised RAL 7021	Satin finish
Release device	Key operated (supplied)	
Impact resistance	38,000 J	67,000 J
Break in resistance	128,000 J	207,000 J
Pit weight	55 Kg	
Traffic bollard weight	70 Kg	

Рис.1.12. Технічні характеристики боларду типу FAAC J275SA [9].

FAAC J275F FIXED дорожній стовпчик. Цей болард витримує навантаження від наїзду авто - 35000Дж, та 59000Дж витримує посилений болард (рис.1.13).

DIMENSIONS AND TECHNICAL SPECIFICATIONS				
Model	J275 F H600	J275 F H800	J275 F H600 Stainless steel	J275 F H800 Stainless steel
Cylinder height from ground	600 mm	800 mm	600 mm	800 mm
Cylinder diameter	275 mm			
Cylinder material	Steel S235JR EN 10219 (4 mm thick)		AISI 316L satin finishing (3 mm thickness)	
Cylinder treatment	Cataphoresis and polyester powder paint, dark grey metallised RAL 7021		Satin finish	
Reflective strip height	55 mm			
Standard reflecting strip colour	Orange			
Break in resistance	35,000 J		59,000 J	
Total weight	34 Kg	38 Kg	34 Kg	38 Kg

Рис.1.13. Технічні характеристики боларду типу FAAC J275F [9]/

### Боларди серії FAAC JS 48 R SECURITY BOLLARD

Болард типу FAAC JS 48 R SECURITY BOLLARD має стійкість до ударів силою 673.000 Дж та наступні характеристики наведені у табл.3 [11].

#### FAAC JS 48 HA

- Автоматичний болард з гідравлічною силовою установкою.
- Час підйому: 6 секунд.
- Час спуску: 2 секунди.

#### FAAC JS 48 HA EFO

- Автоматичний болард.

- Висувний болард з системою швидкого підйому у надзвичайних ситуаціях.

- Час підйому: 1,5 секунди (швидка аварійна робота).

### **FAAC JS 48 R**

- Знімний болард.

- Невисувний болард з циліндром, який можна зняти для тимчасового доступу.

Табл.1.1.

Технічні характеристики боларду типу FAAC JS 48 R

<b>Модель</b>	<b>JS 48 R</b>	<b>JS 48 R INOX</b>
Висота циліндра від землі	1 000 мм // 40 дюймів	1000 мм // 40 дюймів
Діаметр циліндра з оболонкою	275 мм // 11 дюймів	275 мм // 11 дюймів
Тип циліндра	Високоякісна сталь	Високоякісна сталь
Обробка циліндра	Катафорез	Катафорез
Захисна оболонка	mDure	Aisi 316 + mDure
Головка циліндра	Алюміній	Алюміній
Обробка головки	Антикорозійна смола Rilsan	Антикорозійна смола Rilsan
Покриття основи	Нержавіюча сталь AISI 316 + mDure	Нержавіюча сталь AISI 316 + mDure
Висота відбиваючої стрічки	55 мм // 2,2 дюйми	55 мм // 2,2 дюйми
Колір відбиваючої стрічки	Білий	Білий
Стійкість до зіткнень	673 000 Дж	673 000 Дж
Вага циліндра	180 кг // 397 фунтів	180 кг // 397 фунтів

Проаналізувавши досвід використання захисних стовпчиків (болардів), досвід провідних європейських виробників можна зробити висновки:

- Несуча здатність та захисні функції боларда напряду залежать від матеріалу самого стовпчика, міцності основи та вузла кріплення боларда до основи;
- Залежно від виду (автоматичний, напівавтоматичний або стаціонарний) боларда змінюється його здатність зупиняти транспорт різної маси на різній швидкості;
- Боларди встановлюються в основному на тротуарах та по периметру громадського простору, який необхідно захистити;
- Для додаткового захисту, завчасного попередження та привернення уваги всіх учасників руху, застосовуються пасивні засоби: світлоповертальні фарби, катафоти, плівки;

### 1.3 Огляд нормативних документів

Згідно нормативних документів [13], які прийняті в нашій країні, для безпеки на дорозі та уникнення аварій необхідно встановлювати дорожні огороження, щоб убезпечити від випадкових виїздів автомобілів за межі дорожнього покриття на небезпечних ділянках, від виїзду на зустрічну смугу руху, а також від зіткнень з великими об'єктами та спорудами, що знаходяться поблизу дороги. Огороження також слугує для впорядкування руху пішоходів і запобігання виходу диких і домашніх тварин на проїзну частину (рис.1.14).

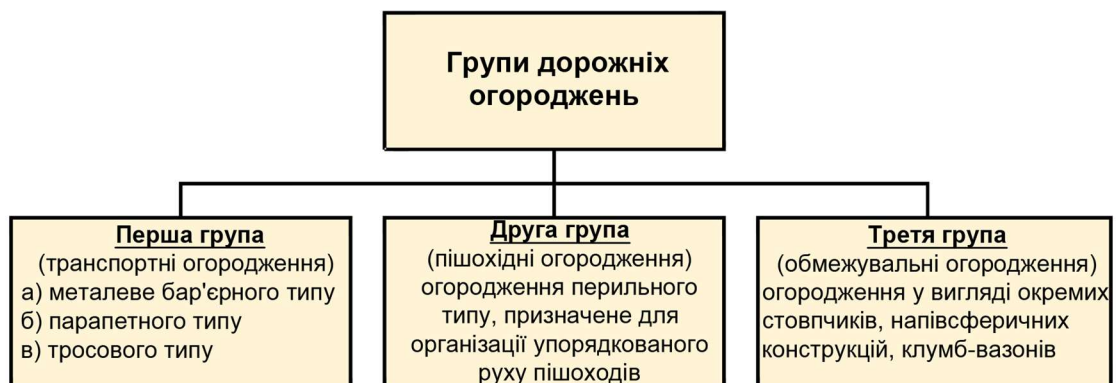


Рис.1.14 – Групи дорожніх огорожень

З наведених огорожень захисну функцію виконують огороження першої групи (рис.1.15), друга та третя групи призначені для розмежування та напрямку руху транспорту та пішоходів та не виконують захисні функції.



Рис.1.15 – Дорожнє огороження першої групи: а – металеве бар'єрного типу; б – бетонне парапетного типу; в – тросового типу.

Як показано на рис.1.15 металеве огороження складається з окремих частин: стійки, балки, консолі, амортизатори. Крок стійок в залежності від типу огороження може змінюватися від одного до трьох метрів. Огороження першої групи призначене для встановлення з боку проїзної частини, на мостах, шляхопроводах, для розмежування зустрічних потоків на магістральних дорогах [13]. Дана група огорожень являє систему, що складається з великої кількості різних частин таких як: секція балки, стояк дорожній, секція балки компенсаційна, консоль, балка та інш. Даний тип огороження не використовують в якості окремих стовпчиків для захисту пішоходів на пішохідних переходах та в місцях скупчення людей. Приклад використання металевого огороження наведено на рис.1.16

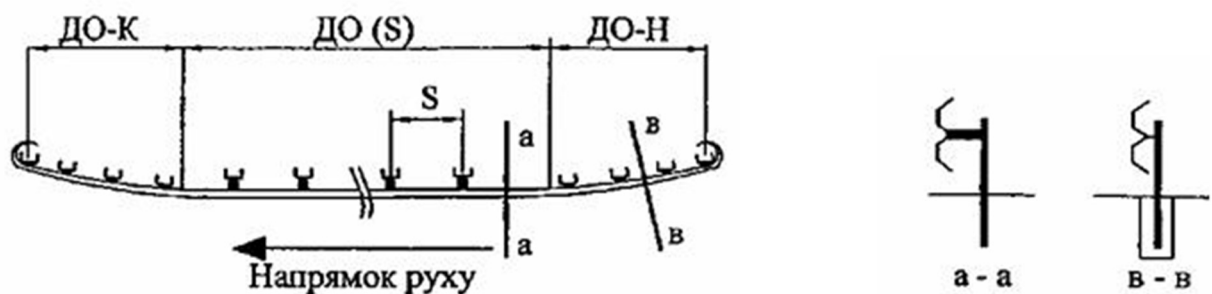


Рис.1.16 – Приклад використання груп металевого огороження

Огородження використовуються для відведенні транспортного засобу від ненавмисного:

- з'їзду з проїзної частини автомобільної дороги, вулиці, штучної споруди;
- зіткнення транспортного засобу з зустрічним засобом;
- наїзду транспортного засобу на небезпечну перешкоду, острівець безпеки.

При цьому максимальний кут наїзду на парапетне огороження складає 20 градусів [14], тобто при розрахунку стримувального огороження розглядається зіткнення автомобіля по дотичній. В конструкцію транспортних огорожень введені спеціальні елементи – амортизатори, які деформуються під час зіткнення з автомобілем, що сприяє поглинанню кінетичної енергії.

Тобто в вітчизняних нормативних документах [13,14,15,16] відсутнє поняття для огороження у вигляді окремих стовпчиків, які виконують захисну протитаранну функцію, відсутнє поняття та методологія розрахунку таких огорожень на дію ударного навантаження від транспорту.

В світовій практиці існує кілька міжнародних стандартів, розроблені в США [10], та ЄС [11,12,17], які використовуються для тестування захисних стовпчиків (болардів), кожен з яких має свою власну систему класифікації захисту.

Незважаючи на різницю у класифікаціях, всі вони базуються на спільному принципі оцінки ефективності боларда, а саме - його здатності поглинати енергію удару. Нижче наведено порівняльний аналіз різних класифікаційних визначень, що дозволяє зрозуміти взаємну відповідність між різними стандартами та оцінити ефективність болардів у відповідності до них (табл. 1.2).



Таблиця 1.2

## Класифікація міжнародних стандартів

Назва стандарту	Країна походження стандарту	Маса автомобіля, кг	Швидкість автомобіля, км/год	Ударна енергія, кДж	Класифікація згідно стандарту
SD-STD-02.01 Rev. A	США	6800	80	1695	K12
ASTM F2656-07	США	6800	80	1680	M50
BSI PAS 68	Велика Британія	7500	80	1852	V/7500(N3)/80/90 D/7500(N3)/80/90/1852
ISO 22343-1:2023	Велика Британія, США	7500	80	1778	V/7200[N2B]/80/90:XX

Також боларди класифікуються за рівнями безпеки, так до 1,2 та 3 рівнів відносяться антитерористичні протитарання боларди, які обладують підвищеною стійкістю до ударних навантажень. Тоді як 4 та 5 рівні використовують для відповідальних будівель та об'єктів для обмеження в'їзду/виїзду автотранспорту (табл.1.3)

Таблиця 1.3.

## Класифікація болардів за несучою здатністю

Рівень безпеки	Клас по SD-STD-02.01	Рівень по ASTM F2656-07	Маса автомобіля, кг	Швидкість, км/год	Енергія удару, кДж
1	K12	M50	6800	80	1695
2	K8	M40	6800	65	1085
3	K4	M30	6800	50	610
4	-	PU40	2300	65	320.4
5	-	C50	1100	80	271

На основі аналізу вітчизняних нормативних документів можна зробити висновок, що в Україні відсутні стандарти для СБП у містах. При цьому міжнародні норми та стандарти, що описують ці системи, не гармонізовані з нашими національними вимогами. Це створює прогалини в правовому регулюванні та ускладнює впровадження ефективних заходів для захисту

пішоходів. Для забезпечення належного рівня безпеки необхідно розробити та впровадити національні стандарти, що враховуватимуть специфіку українських міст, а також адаптувати міжнародні нормативи до наших умов. Ці заходи допоможуть підвищити рівень безпеки пішоходів та створити більш комфортні умови для всіх учасників дорожнього руху.

#### **1.4 Огляд сучасних наукових досліджень напрямку**

На сьогоднішній день у міжнародній спільноті приділяється велика увага розробці СБП. Основна увага приділяється створенню інноваційних систем захисту пішоходів, нових конструктивних рішень для болардів (захисних стовпчиків), а також зіставленню результатів чисельних і натурних випробувань. Особлива увага приділяється оптимізації натурних випробувань, що дозволяє зменшити витрати на розробку і впровадження нових рішень.

Не менш важливим є економічний аспект. Розробка ефективних СБП вимагає значних інвестицій, тому раціоналізація витрат на натурні випробування та впровадження отриманих результатів є надзвичайно важливою. Використання комп'ютерного моделювання і чисельних методів дозволяє суттєво скоротити кількість дорогих натурних експериментів, не знижуючи при цьому якості та надійності кінцевих продуктів.

Одним з видів захисних болардів є ландшафтні системи такі, як валуни. Природні матеріали добре вписуються в оточуюче середовище, та можуть виконувати функцію декору. У роботах [18, 19,20] досліджується ефективність використання природних матеріалів – валунів, які закріплено за допомогою залізобетону або крупнозернистого щебеню. Оцінюється загальна ефективність використання природних матеріалів за допомогою краш-тестів та чисельного моделювання (рис.1.17).

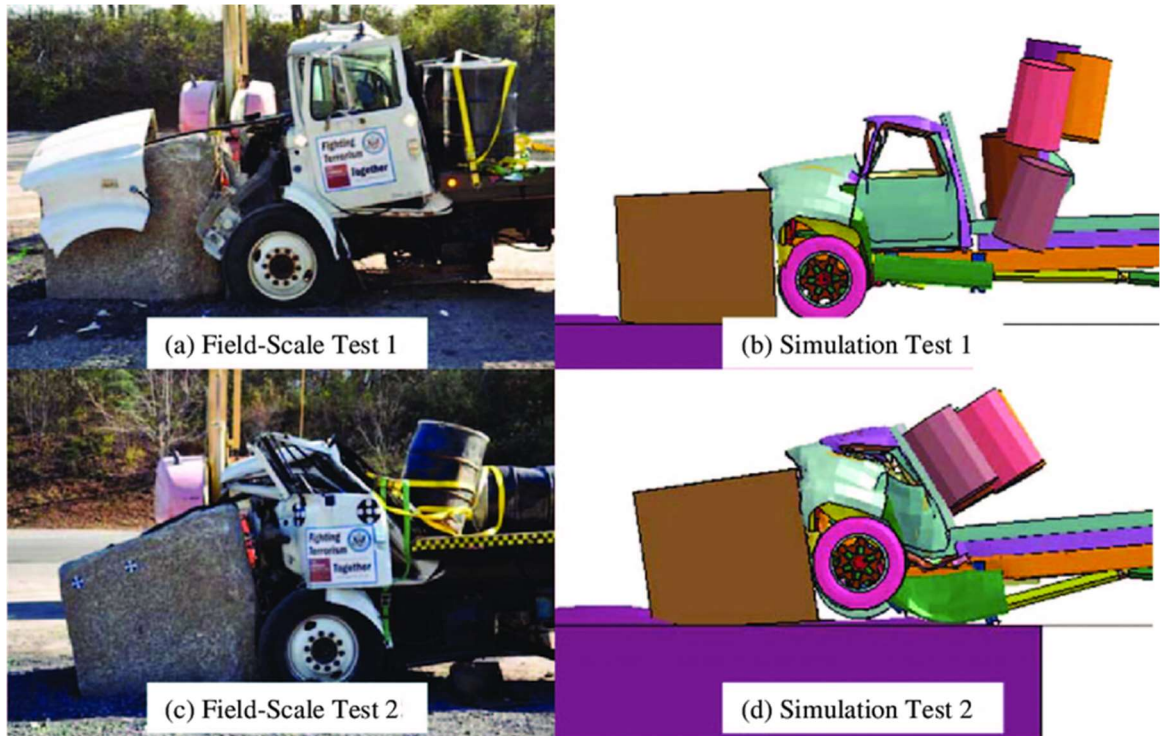


Рис.1.17. Порівняння кінцевого стану впливу польових випробувань та симуляцій LS-DYNA: (a) польові випробування 1; (b) симуляційне випробування 1; (c) польові випробування 2; (d) симуляційне випробування 2 [18].

Автори досліджень [21, 22] зосередилися на розробці та оцінці стовпчиків, виготовлених з полімолочної кислоти (ПМК) та оснащених стільниковою структурою, для зменшення пошкоджень транспортних засобів під час зіткнень (рис.1.18).

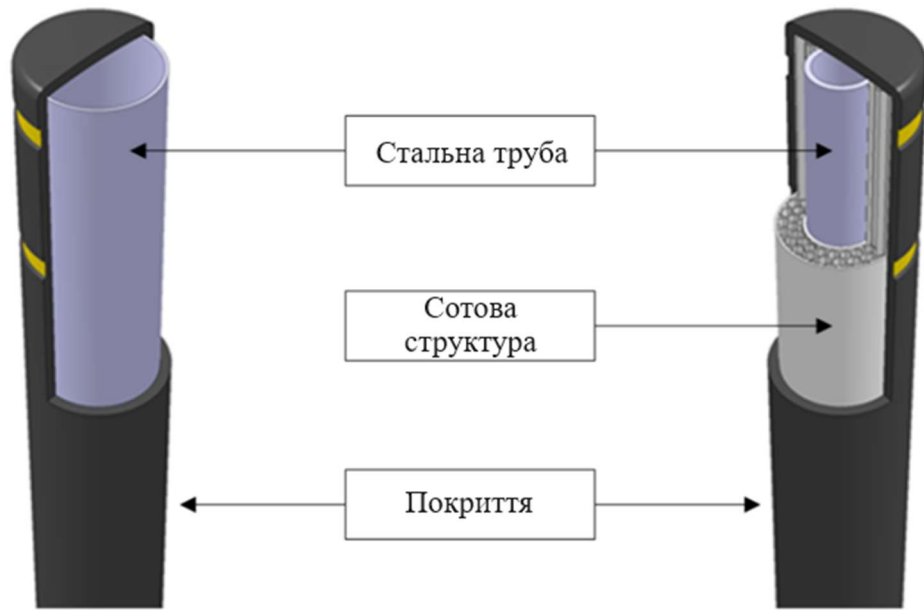


Рис.1.18 - Порівняння внутрішньої структури: (а) звичайний сталевий стовпчик; (б) стовпчик із «сота́ми».

Вони здійснили чисельне моделювання з використанням програмного забезпечення LS-DYNA, а також провели експериментальні зіткнення. Метою було порівняти амортизаційні властивості стовпчиків зі стільниковою структурою та традиційних сталевих стовпчиків.

Результати їхнього дослідження виявили значні переваги стовпчиків з ПМК. Під час зіткнень ці стовпчики демонстрували значно нижче максимальне прискорення в порівнянні з сталевими аналогами. В реальних експериментах зі зіткненням транспортного засобу зі стовпчиком, оснащеним гіроскопічним датчиком, встановленим на рамі переднього бампера, також було підтверджено покращені амортизаційні властивості стовпчиків з стільниковою структурою

Це дослідження підтверджує перспективність застосування стовпів із ПМК для підвищення безпеки дорожнього руху і захисту від пошкоджень транспортних засобів [23-27].

У роботі [28] досліджували ефективність протитаранних стовпчиків для запобігання наближенню замінованих транспортних засобів до захищених

територій. Автори зібрали сучасні моделі максимальної сили удару при зіткненні транспортного засобу з бар'єром і оцінили їхню застосовність для вантажівок, що вриваються в протитанкові стовпчики. База даних включала чотири результати краш-тестів та 63 результати чисельного моделювання. Результати показали, що більшість існуючих моделей мають низьку точність. Дві моделі виявилися найкращими: одна базується на енергетичному балансі [29,30,31] і є більш точною, а інша — на розбитті транспортного засобу [32,33,34] і є більш консервативною. Автори рекомендують використовувати модель, що базується на розбитті транспортного засобу, для проектування систем протитанкових стовпчиків.

Автори робіт [35,36] досліджують реакцію залізобетонних опор мостів при зіткненні з транспортними засобами за допомогою числового моделювання. Використовуючи метод скінченних елементів у програмі LS-DYNA, автори аналізують динамічну відповідь мостових опор в різних умовах навантаження, включаючи зміни у швидкості зіткнення та попередньо накладене навантаження. Отримані результати підкреслюють, що врахування осьового навантаження суттєво впливає на динамічні характеристики опор, і нехтування ним може призвести до некоректних оцінок їхньої стійкості [35].

У дослідженні також піднімається питання про надійність існуючих стандартів проектування, що можуть недооцінювати реальні навантаження під час зіткнення [37]. Аналіз численних параметрів моделювання, таких як навантаження з боку транспортної структури та швидкість транспортних засобів, дозволяє уточнити методики проектування та підвищити безпеку мостових опор [38].

Дослідження підтверджує, що для оптимізації проектування мостів необхідно враховувати як пікові навантаження від зіткнення, так і еквівалентні статичні сили. Це допомагає краще оцінити можливі наслідки зіткнення транспортного засобу з опорою мосту та зменшити ймовірність її руйнування [39].

В роботі [40] автори дослідження займалися розробкою та тестуванням боларда класу К-12, використовуючи як комп'ютерні симуляції, так і фізичні випробування. Основні етапи їх роботи включали:

1. **Моделювання та симуляція:** Використовували САЕ інструменти, такі як Hyperworks та LS-DYNA [41,42], для створення моделей скінченних елементів боларда та симуляції його поведінки при ударі. Симуляції проводили для визначення оптимальних параметрів боларда відповідно до стандарту К-12 [10].

2. **Фізичне випробування:** Побудували прототип боларда та провели фізичні випробування в Motor Industry Research Association (MIRA) [43] для перевірки його відповідності стандартам. Болард успішно зупинив вантажівку, відповідно до вимог стандарту ISO IWA 14-1. [44]

3. **Кореляція результатів:** Порівняли результати симуляцій з результатами фізичних випробувань. Виявили, що симуляції добре корелюють з фактичними даними, що підтверджує точність моделювання і ефективність боларда (рис.1.19, рис.1.20).



Рис.1.19. Порівняння кутової деформації стовпчика між фізичним випробуванням та скінченно-елементним моделюванням [40].

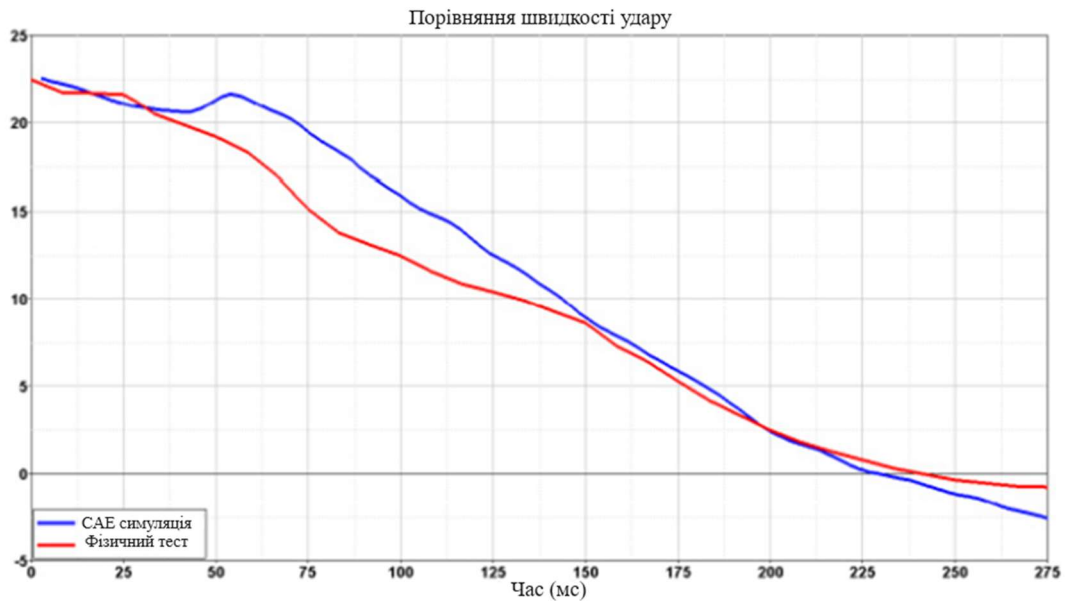


Рис.1.20. Порівняння зменшення швидкості удару під час фізичного випробування та моделювання за допомогою МСЕ [40].

У роботах [45,46] розглянуто питання безпеки уразливих зон міської інфраструктури за допомогою нових систем болардів, розроблених для захисту таких об'єктів, як дитячі майданчики, автобусні зупинки, АЗС та критичні газорозподільні мережі. У дослідженні [45] було проведено краш-тести системи болардів за міжнародними стандартами IWA 14-1 [44], [47] EN 1317 і EN 16303 [48]. Замість повномасштабних тестів в роботі [45] використовувались маятникові системи для моделювання реальних умов випробувань, що дозволило спростити процес і скоротити витрати [49]. Тести показали, що система ефективно захищає від автомобілів масою до 1500 кг на швидкості 32 км/год та 900 кг на швидкості 50 км/год [50]. Також використовувалися числові моделювання на основі LS-DYNA, що дозволило скоротити витрати на реальні випробування [51]. Дослідження підтвердило, що система може бути ефективно застосована для захисту уразливих міських об'єктів, водночас підкреслюючи необхідність подальшої оптимізації для поліпшення характеристик.

Дослідження [46] присвячене розробці та аналізу модульної болардної системи, призначеної для зупинки транспортних засобів масою до 18 000 кг при швидкості до 50 км/год [52]. Для оцінки конструкції та параметрів безпеки

використовувалося програмне забезпечення LS-DYNA, що відповідає стандарту PAS 68:2013 [53]. Числові моделювання показали, що система задовольняє вимоги безпеки для міського руху, а також дозволяє знизити ризики пошкодження критичних інфраструктурних об'єктів [54]. Незважаючи на успіхи, необхідна подальша оптимізація системи для зменшення витрат та полегшення процесу встановлення [55].

В роботі [56] розглядається оптимізація конструкції болардів, для підвищення ударостійкості замість традиційних матеріалів пропонується використовувати композитні матеріали. Досліджується продуктивність композитних болардів, що складаються з зовнішньої сталеві порожнистої труби, внутрішньої труби з алюмінієвого сплаву та наповнювача з піни, порівняно зі звичайними сталевими болардами. Використовуючи числовий підхід, робота досліджує вплив гібридних матеріалів та пінополіуретанових сердечників на ударостійкість системи. Було показано, що використання енергоабсорбувальних матеріалів у конструкції болардів знижує реакційні сили та підвищує їхню ефективність.

У статті [57] досліджено дві системи болардів — фіксовану та знімну — у контексті захисту від транспортних загроз. Обидві системи були змодельовані за допомогою LS-DYNA і протестовані на транспортному засобі Ford F700 масою 6 708 кг на швидкості 48,76 км/год [58]. Під час тестів жодна з систем не допустила проникнення в захищену зону, що підтвердило ефективність обох конструкцій. Результати числового моделювання збіглися з результатами експериментальних випробувань, що підтверджує надійність застосованих методів [59, 34].

Так, в роботі [60] автори досліджують продуктивність антивандальних болардів під впливом зіткнення з транспортним засобом. Для цього використовується чисельне моделювання, що дозволяє оцінити реакцію болардів при ударному навантаженні. В дослідженні було розглянуто різні геометричні параметри та матеріали, що дозволило авторам виявити



оптимальні конструкції, які можуть витримати значні навантаження. Отримані результати дозволяють поліпшити проектування таких систем, що є особливо важливим для забезпечення безпеки на важливих об'єктах, таких як аеропорти та урядові будівлі [60].

Огляд сучасних досліджень у цій галузі не виявив робіт, присвячених розробці комплексної системи безпеки для пішохідних переходів на міських та магістральних дорогах. Більше того, в нормативних документах України [13,61] відсутня методика розрахунку ударних навантажень для СБП. В цей же час термін "болард" з'явився в нормативних документах лише нещодавно.

З технічної точки зору, це свідчить про відсутність стандартизованих методик для проектування та впровадження систем, призначених для зменшення ризиків травматизму на пішохідних переходах. Відсутність комплексної системи безпеки пішохідів та відповідних методик розрахунку ударних навантажень є критичним недоліком, який потребує негайного вирішення.

Розробка таких методик повинна включати визначення критеріїв міцності та деформаційних характеристик елементів системи безпеки, зокрема болардів. Важливо враховувати динамічні навантаження від транспортних засобів різної маси і швидкості, а також можливі сценарії зіткнення. Комплексний підхід до цього питання дозволить значно підвищити рівень безпеки на дорогах.

Додатково, необхідно розробити стандарти для встановлення та експлуатації таких систем, що включатимуть рекомендації щодо їх розміщення, обслуговування та періодичної перевірки на відповідність експлуатаційним характеристикам. Врахування цих аспектів сприятиме підвищенню ефективності заходів безпеки на пішохідних переходах.

### 1.5 Перспективи використання, місця встановлення

За даними Національної поліції України за 2021 рік на дорогах України сталося близько 154 тисяч дорожньо-транспортних пригод, з них з постраждалими більше 20 тисяч. З кожним роком, не дивлячись на зміни в законодавстві, які роблять правила дорожнього руху більш суворими, кількість ДТП зростає. Так в Харківській області, та в місті Харків зокрема, за 10 місяців 2021 року, в ДТП постраждало 1287 осіб [62].

У роботі проведено аналіз та систематизацію дорожньо-транспортних пригод (ДТП) у місті Харків за 2019, 2020 та 2021 роки. З 2022 року значна частина населення виїхала з міста, що призвело до зменшення кількості автомобілів і, відповідно, до зниження кількості аварій, тому ДТП за 2022-2024 роки до аналізу не приймалися.

Аналізувалися дорожньо-транспортні пригоди (ДТП) на основних магістралях міста, на перехрестях та пішохідних переходах. За обраний період часу сталося 27 613 ДТП. З цієї загальної кількості виділено та систематизовано ДТП, які сталися на основних магістралях міста, магістральних дорогах загальноміського значення та районного значення відповідно до [63]. Отримані результати наведено в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4.

Кількість ДТП на основних магістралях, перехрестях та пішохідних переходах у місті Харків за 2019-2021 роки.

№ п/п	Місце ДТП	Кількість ДТП за рік			
		2019	2020	2021	Всього, шт
1	2	3	4	5	6
1	Харківське шосе - Окружна дорога	5	3	2	10
2	Харківське шосе - вул. Академіка Проскури	35	17	10	62
3	Харківське шосе - вул. Академіка Синельникова	5	1	0	6
4	Харківське шосе - вул. Рудика	11	7	5	23
5	Харківське шосе - Автостанція №4	12	15	10	37

6	Харківське шосе - Велоцентр	12	9	4	25
7	б-р Богдана Хмельницького - вул. Рибалка	22	28	17	67
8	просп. Перемоги - просп. Людвіга Свободи	14	13	9	36
9	просп. Людвіга Свободи - просп. Лозовеньківський	6	18	9	33
10	просп. Людвіга Свободи, 35	10	4	6	20
11	просп. Людвіга Свободи, 37	4	4	9	17
12	просп. Науки - вул. Ахсарова - вул. Дерев'янка	5	14	7	26
13	просп. Науки - вул. Тобольська	13	3	12	28
14	просп. Науки - вул. Мінська	15	17	14	46
15	просп. Науки - вул. Новгородська	23	16	24	63
16	просп. Науки - вул. Космічна	15	19	15	49
17	просп. Науки - вул. Бакуліна	18	25	25	68
18	просп. Науки - вул. Культури	10	11	12	33
19	просп. Науки - просп. Незалежності	19	13	14	46
20	вул. Клочківська - вул. Лялі Убийвовк	5	3	4	12
21	вул. Клочківська - вул. Дербентська	1	6	3	10
22	вул. Клочківська - вул. Двадцять Третього Серпня	4	5	10	19
23	вул. Клочківська - вул. Новгородська	26	20	22	68
24	просп. Любові Малої - Григорівське шосе	18	15	15	48
25	вул. Полтавський Шлях - вул. Залютинська	11	15	13	39
26	вул. Полтавський Шлях - вул. Олександра Лавренка	15	23	15	53
27	вул. Полтавський Шлях - вул. Переможців	9	13	11	33
28	вул. Полтавський Шлях - вул. Дудинської - вул. Холодногірська	15	24	20	59
29	вул. Полтавський Шлях - вул. Петра Болбочана	14	11	12	37
30	вул. Полтавський Шлях, 140 (супермаркет "Рост")	34	17	18	69
31	Гімназійна набережна, 22	7	8	10	25
32	просп. Героїв Харкова - Гімназійна набережна	21	14	7	42
33	просп. Гагаріна - вул. Вернадського	22	22	16	60
34	просп. Гагаріна - вул. Молочна	29	24	16	69
35	просп. Гагаріна - пров. Золотий	20	19	27	66
36	просп. Гагаріна - вул. Зернова	17	11	14	42

37	просп. Гагаріна - вул. Каштанова - вул. Азербайджанська	7	17	14	38
38	просп. Гагаріна - просп. Байрона - вул. Одеська	39	47	33	119
39	просп. Байрона - вул. Монюшка	12	7	7	26
40	просп. Байорона - вул. Аскольдівська	3	7	3	13
41	просп. Байорона - вул. Морозова	3	7	7	17
42	просп. Льва Ландау - вул. Ньютона	7	5	1	13
43	просп. Льва Ландау - просп. Байрона	28	25	21	74
44	просп. Льва Ландау - вул. Киргизька	7	18	12	37
45	просп. Льва Ландау - вул. Ахієзерів	21	17	28	66
46	просп. Льва Ландау - Салтівське шосе	12	6	8	26
47	просп. Льва Ландау - вул. Івана Камишева	6	5	7	18
48	просп. Льва Ландау - просп. Ювілейний	19	13	12	44
49	вул. Гвардійців-Широнінців - просп. Ювілейний	20	26	13	59
50	просп. Тракторобудівників - просп. Ювілейний	30	25	22	77
51	вул. Шевченка - вул. Матюшенка	24	19	13	56
52	вул. Шевченка - вул. Пономоренківська	3	5	3	11
53	вул. Шевченка - вул. Карякінська - вул. Герасимівська	4	2	4	10
54	вул. Шевченка - вул. Британська	19	8	3	30
55	вул. Шевченка - вул. Борткевича	4	3	8	15
56	вул. Шевченка - вул. Жилирді - вул. Саперна	35	41	27	103
57	вул. Героїв Праці - Сосновий бір	11	7	2	20
58	вул. Героїв Праці - вул. Барабашова	16	37	34	87
59	вул. Героїв Праці, 9 (ТРЦ "ДАФІ")	43	26	23	92
60	просп. Тракторобудівників - вул. Героїв Праці	2	8	7	17
61	вул. Леся Сердюка - вул. Дружби Народів	7	5	4	16
62	вул. Гвардійців-Широнінців - вул. Дружби Народів	16	6	9	31
63	вул. Велика Панасівська - Кузинський міст - Новоіванівський міст	34	24	34	92
64	просп. Тракторобудівників - Салтівське шосе	24	9	5	38
65	Салтівське шосе - просп. Ювілейний	7	11	8	26
66	вул. Валентинівська - вул. Гвардійців-Широнінців	27	20	21	68

67	просп. Тракторобудівників - вул. Валентинівська	30	21	11	62
68	вул. Героїв Праці - вул. Гвардійців-Широнінців	14	11	8	33
69	Салтівське шосе - вул. Академіка Павлова	23	16	16	55
70	вул. Шевченка - узвіз Білгородський	14	7	9	30
71	вул. Шевченка, 30	4	2	2	8
72	б-р Гончарівський - вул. Москалівська	9	5	3	17
73	Нетіченська набережна - вул. Мар'їнська	4	1	1	6
74	вул. Москалівська - вул. Академіка Богомольця	9	6	11	26
75	просп. Любові Малої - вул. Дудинської	7	4	6	17
76	просп. Любові Малої, 26	6	6	4	16
77	вул. Плеханівська, 135/139 (супермаркет "Рост")	10	1	5	16
78	вул. Плеханівська - вул. Молодої Гвардії	3	3	3	9
79	вул. Плеханівська - вул. Польова	6	3	4	13
80	просп. Героїв Харкова - вул. Свистуна	2	3	11	16
81	просп. Героїв Харкова - просп. Архітектора Альошина	11	21	8	40
82	просп. Московський - просп. Індустріальний	8	2	6	16
83	просп. Московський, 276-А (зупинка ст. м. "Індустріальна")	1	7	2	10
84	просп. Московський - вул. Роганська	23	21	32	76
85	вул. Академіка Павлова - вул. Василя Стуса	16	27	13	56
86	вул. Академіка Павлова - вул. Владислава Зубенка	8	7	8	23
87	вул. Академіка Павлова - вул. Валентинівська	39	33	21	93
88	вул. Леся Сердюка - вул. Ужвій Наталії - вул. Колосиста	8	7	11	26
89	вул. Дерев'янка - вул. Космонавтів	2	4	1	7
90	вул. Дерев'янка - вул. Новопрудна	8	2	3	13
91	вул. Холодногірська - вул. Волонтерська	6	10	6	22
92	вул. Матюшенка - вул. Челюскінців - узвіз Журавлівський	14	17	32	63

Основні етапи проведеного аналізу:

### 1. Збір даних:

Зібрано інформацію про ДТП за кожен із трьох років. Визначено місця найбільшої концентрації ДТП: основні магістралі, перехрестя та пішохідні переходи.

### 2. Обробка даних:

Систематизовано зібрані дані. Розподілено ДТП по категоріях та місцях їхнього виникнення.

### 3. Аналіз даних:

Порівняно кількість ДТП по роках. Виявлено тенденції та зміни в кількості аварій залежно від місця їх виникнення.

### 4. Візуалізація даних:

На основі зібраних даних створено карту ДТП у місті Харків (рис.1.21). Визначено пріоритетні місця для встановлення СБП (рис.1.22).

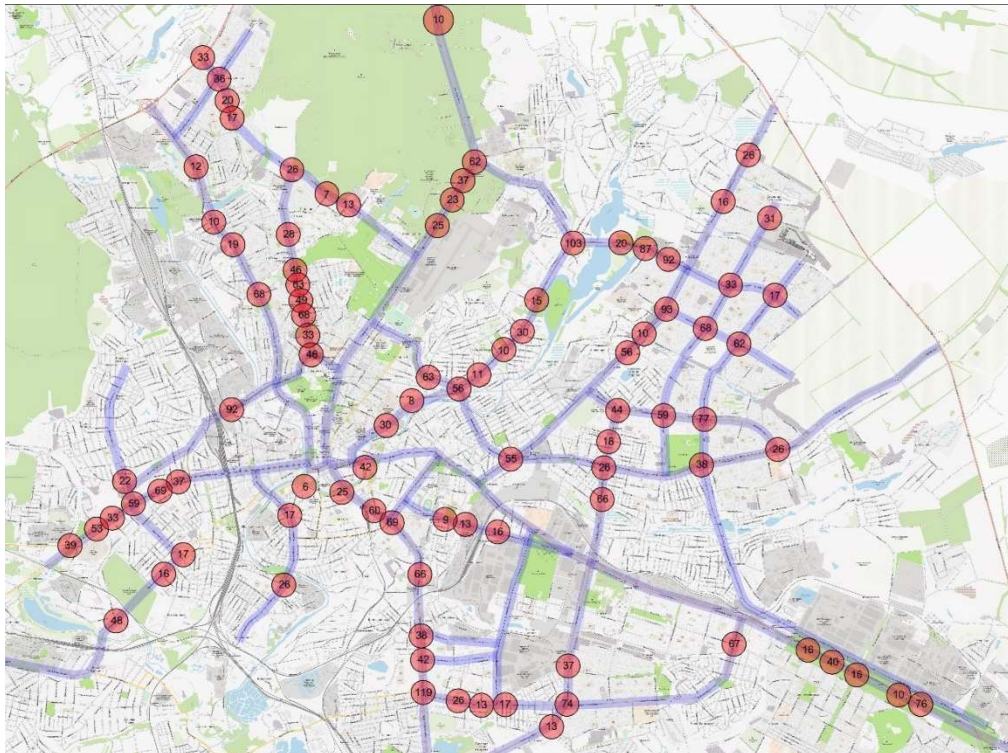


Рис. 1.21 – Карта м. Харків з нанесеними місцями концентрації ДТП та їх кількістю.

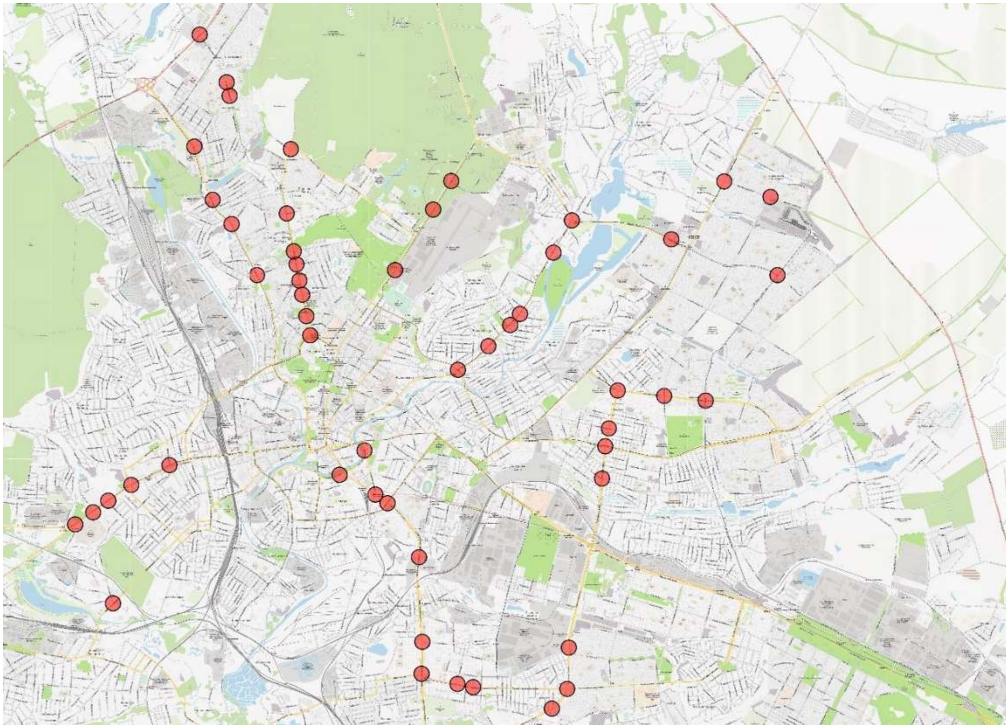


Рис. 1.22 – Перспективні місця встановлення системи безпеки пішоходів.

## 1.6 Висновки до розділу 1

Можна зазначити, що для підвищення ефективності систем безпеки на дорогах України необхідно провести детальний аналіз нормативних документів, наукових досліджень та реального досвіду їх впровадження. Виявлені прогалини у правовому регулюванні свідчать про потребу адаптації міжнародних стандартів до українських реалій.

Згідно з рекомендаціями [64,65,66] необхідно розробляти індивідуальні нормативні документи або технічні умови. Технічні умови (ТУ) — нормативний документ, що встановлює технічні вимоги до продукції та процедури їх перевірки. ТУ регулюють відносини між виробником і споживачем [62].

1. **Аналіз нормативних документів** показав, що в Україні відсутні стандарти для СБП, які враховують ударні навантаження на боларди. Це створює правові прогалини та ускладнює впровадження ефективних захисних систем.

2. **Огляд існуючих систем безпеки** свідчить про наявність двох основних груп: активні та пасивні системи, де активні системи (боларди, острівці безпеки) забезпечують фізичний захист, а пасивні (світлоповертаючі фарби, знаки) підвищують обізнаність учасників дорожнього руху.

3. **Міжнародний досвід** показує, що боларди різних типів ефективно використовуються для захисту від терористичних загроз, розмежування територій і підвищення безпеки пішоходів. Провідні виробники (Hörmann, FAAC) пропонують різні види болардів, які пройшли міжнародні краш-тести та мають високу ефективність.

4. **Сучасні наукові дослідження** акцентують увагу на розробці нових конструкцій болардів і оптимізації їхніх амортизаційних характеристик за допомогою чисельного моделювання та фізичних випробувань. Однак в Україні відсутні відповідні методики для проектування таких систем.

5. **Аналіз ДТП у Харкові** показав високий рівень аварійності на основних магістралях та перехрестях. Це вказує на необхідність пріоритетного впровадження активних систем захисту пішоходів у місцях підвищеної небезпеки.

**Завдання дослідження:**

- розробка універсальної конструкції острівця безпеки для пішохідних переходів міських та магістральних автомобільних доріг;
- розробка альтернативного конструктивного рішення вузла примикання боларду до жорсткої основи;
- виконати аналіз напружено-деформованого стану пропонованої системи болардів та рефлюжів;
- виконати моделювання за методом скінчених елементів запропонованої конструкції з метою виявлення можливих сценаріїв її руйнування;
- впровадження результатів дослідження через проектування та будівництво.



## РОЗДІЛ 2. КОНСТРУЮВАННЯ ЗАХИСНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДОРОЖНЬОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

У попередньому розділі було розглянуто ключові елементи системи безпеки пішоходів. З урахуванням цього виникає необхідність розробити індивідуальні нормативні документи або технічні умови, що регулюватимуть застосування цих компонентів у різних умовах. Технічні умови (ТУ) є важливим документом, який встановлює конкретні технічні вимоги до елементів системи безпеки, а також процедури їх перевірки на відповідність цим вимогам.

З огляду на сказане в рамках даної роботи вирішено розробити комплекс технічних умов для кожного з компонентів системи безпеки пішоходів. Ці ТУ мають описувати окремі складові елементи, з урахуванням їх специфіки і умов використання. Ці компоненти можуть застосовуватися окремо або в комплексі, формуючи інтегровану систему безпеки. Для цього необхідно розробити загальні технічні умови, які описуватимуть їх поєднання відповідно до конкретних умов (рис. 2.1).

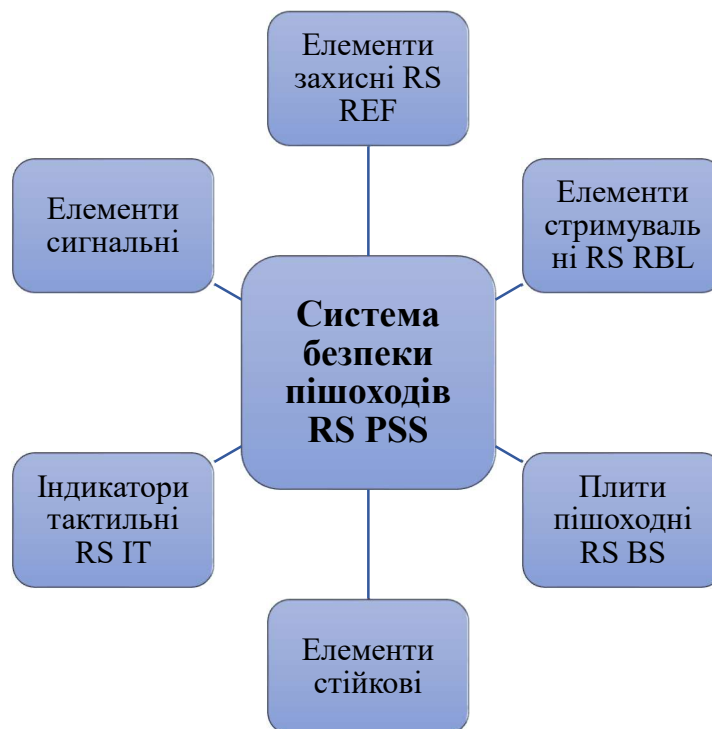


Рис. 2.1 – Схема технічних умов (ТУ) системи безпеки пішоходів RS PSS

Подібний підхід дозволить гнучко адаптувати конструкцію та розміщення елементів залежно від конкретних умов і місць встановлення. Наприклад, боларди можуть бути використані для захисту пішоходів на тротуарах у густонаселених міських районах, а острівці безпеки – на широких дорогах з інтенсивним рухом. Такий комплексний підхід забезпечить максимальну ефективність і надійність системи безпеки, підвищуючи загальний рівень захисту пішоходів у різних дорожніх ситуаціях.

## 2.1 Система безпеки пішоходів RS PSS

З метою досягнення поставленої задачі в роботі розроблено конструктивну систему безпеки пішоходів під назвою RS PSS (Road Safety Pedestrian Security System) (рис. 2.2).

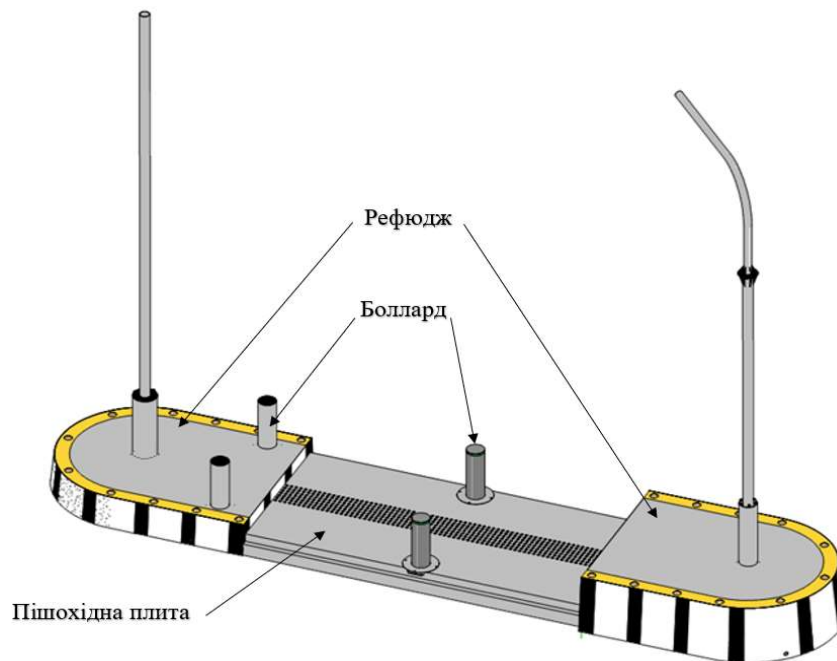


Рис. 2.2. Загальний вигляд системи безпеки пішоходів.

Дана система складається з модульних компонентів, які можуть бути гнучко комбіновані в залежності від специфічних вимог місця встановлення, а саме:

- **Рефюджів** - острівці безпеки між смугами зустрічного або попутного руху на проїзній частині перед наземним пішохідним переходом призначені для захисту пішоходів та встановлення опор дорожніх знаків або світлофорів [13] (далі рефюджі).

- **Болардів** – статичний або динамічний обмежувальний засіб у вигляді одного або декількох стовпчиків, який застосовується для контрольованого в'їзду транспортних засобів на пішохідну зону [13].
- **Пішохідної плити** – залізобетонна плита, встановлена між двома рефюджами, призначена для безпечного очікування пішоходами можливості переходу дороги. Для додаткового захисту пішоходів ця плита може бути оснащена болардами, що слугують бар'єром, запобігаючи наїзду транспортних засобів.

Перевагою системи RS PSS є її модульність, що дозволяє адаптувати конструкцію до інфраструктурних потреб сучасних мегаполісів. Ця модульна система передбачає можливість створення різних конфігурацій, що відповідають конкретним умовам та вимогам експлуатації. Можливість комбінування елементів різних типорозмірів дозволяє оптимально інтегрувати систему в існуючу міську інфраструктуру без суттєвих змін.

Ще однією ключовою перевагою системи RS PSS є її висока ремонтпридатність. У разі виходу з ладу одного з компонентів, його можна легко замінити без необхідності демонтажу всієї системи, що суттєво скорочує час і вартість обслуговування. Це забезпечує безперервність роботи системи та підвищує її експлуатаційну надійність. Крім того, модульність системи дозволяє вносити конструктивні зміни та оновлення без повної заміни всієї установки, що є важливим аспектом з точки зору довготривалої експлуатації в умовах швидкозмінного міського середовища.

Таким чином, система RS PSS є інноваційним рішенням, яке відповідає сучасним вимогам безпеки та експлуатаційної ефективності, забезпечуючи високий рівень захисту пішоходів та адаптивність до інфраструктурних потреб сучасних міських агломерацій.

## **2.2 Елементи захисні RS REF дорожньої інфраструктури**

**Захисні елементи дорожньої інфраструктури RS REF (рефюджі) –**

Виготовляються з важкого залізобетону класу C32/40 з використанням

ненапруженої арматури класу A500C, а також сталевих закладних деталей [67].

**Складові рефюджу:**

- **Бетон класу C32/40:** забезпечує високу міцність і довговічність конструкції, що важливо для її експлуатації в умовах високих механічних навантажень і впливу зовнішніх факторів.

- **Арматура класу A500C:** використовується для підвищення міцності та стійкості конструкції, забезпечуючи здатність витримувати значні динамічні навантаження.

- **Сталеві закладні деталі:** служать для надійного з'єднання окремих елементів конструкції та забезпечення її стійкості.

Рефюджі призначені для встановлення на таких ділянках дорожньої мережі:

- Перехрестя рівнозначних доріг, що обладнані острівцем безпеки з регулятором руху.
- Перехрестя нерівнозначних доріг, що обладнані острівцем безпеки з регулятором руху.
- Перехрестя рівнозначних доріг, де острівець безпеки не обладнаний регулятором руху.
- Перехрестя нерівнозначних доріг, де острівець безпеки не обладнаний регулятором руху.
- Самостійні та відокремлені острівці безпеки, призначені для захисту пішоходів та впорядкування транспортних потоків.

Габаритні розміри і форма рефюджів наведені в таблиці 2.1. Дані параметри розраховані з урахуванням специфіки експлуатаційних умов, що забезпечує надійність та ефективність використання цих елементів у складі дорожньої інфраструктури.

## Типорозміри рефюджів

№	Найменування	Висота (мм)	Ширина (мм)
1	RS REF 400/2000	400	2000
3	RS REF 700/2000	700	2000
3	RS REF 400/3000	400	3000

Загальний вигляд рефюджів з закріпленими на них болардами та стійкою наведено на рис. 2.3.

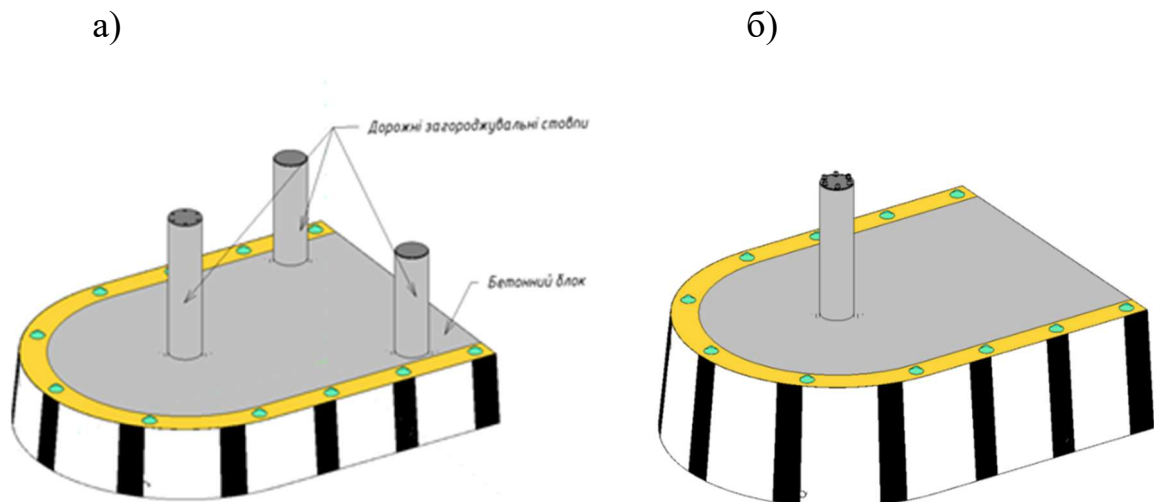


Рис.2.3 Візуалізація системи болард-рефюдж: а) RS REF 400 б) RS REF 700

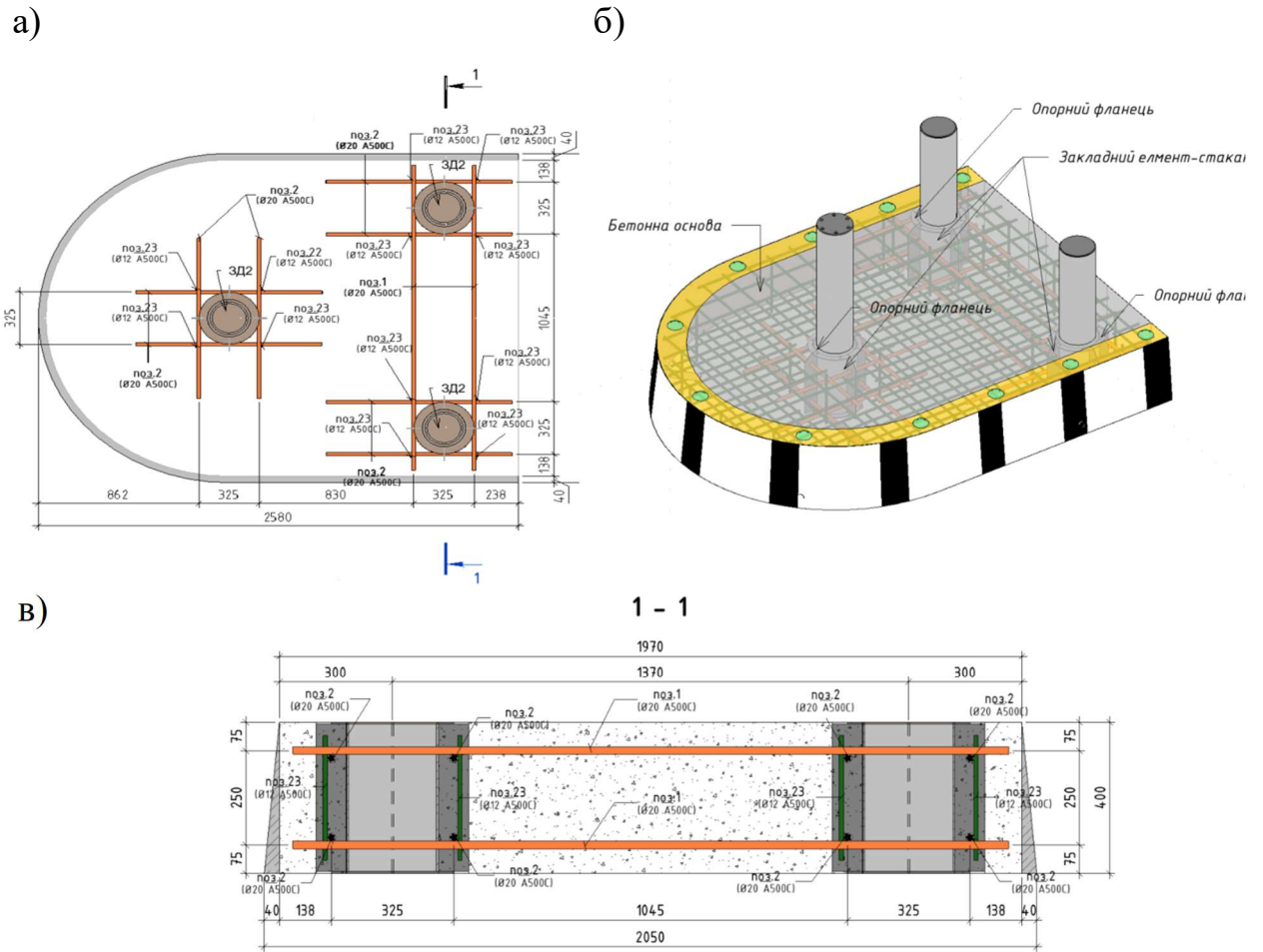


Рис. 2.4. Рефюдж RS REF у збірці із болардом RS RBL: а) план; б) 3D вигляд; в) розріз 1-1.

Для кожного типу рефюджу було розроблено два варіанти армування, які відповідають специфікаціям боларду, що планується використовувати. При розрахунку армування було прийнято такі основні припущення:

- **Поздовжня сила** прикладається до вертикального стрижня (боларда), який жорстко закріплений у моделі рефюджу на висоті 600 міліметрів від основи.
- **Вертикальний стрижень (болард)** розглядається як абсолютно жорсткий елемент, що не піддається деформації.
- **Інтенсивність зосередженого навантаження** визначена відповідно до типу боларду, що використовується в конкретній моделі рефюджу, на основі статичної схеми навантаження.

Результати розрахунків представлені у вигляді площі армування та креслень для кожного типорозміру боларда. Було виконано два методи розрахунку:

1. **Розрахунок табличним методом** – використання стандартних формул та таблиць для визначення необхідної площі армування.
2. **Розрахунок автоматизованим методом скінченних елементів** – моделювання напружено-деформованого стану конструкції з використанням методу скінченних елементів.

Усі арматурні стрижні прийняті з класу А500С, що забезпечує необхідну міцність і надійність конструкції.

Навантаження для розрахунку армування було визначено відповідно до максимальної несучої здатності боларда, яка враховується при проектуванні системи.

**Максимальний несучий момент**, який може витримати болард, був використаний для розрахунку армування рефюджів наступних типів:

- **Рефюджі типу RS REF 400.203 та RS REF 700.203:** на основі розрахункових значень площі армування було обрано армування болардів у вигляді двох стрижнів  $\varnothing 20$ , а також армувальну сітку  $\varnothing 12$  з кроком 150 мм.
- **Рефюджі типу RS REF 400.273 та RS REF 700.273:** для цих типів було визначено необхідність використання армування болардів у вигляді двох стрижнів  $\varnothing 28$  і армувальної сітки  $\varnothing 14$  з кроком 150 мм.

Розрахунки, проведені в програмному комплексі «ЛІРА САПР», використовувалися як верифікаційний етап для підтвердження точності результатів, отриманих табличним методом. У «ЛІРА САПР» був змодельований сумісний напружено-деформований стан системи "рефюдж-болард" за допомогою методу скінченних елементів. Навантаження у моделі прикладалось виключно до одного боларда, що відповідає найбільш

несприятливому сценарію зіткнення транспортного засобу з конструкцією безпеки пішоходів, коли захисна функція виконується одним болардом.

**Модель була побудована** із використанням скінченних елементів типу «стрижень», а також чотирьох- і тривузлових пластинчастих елементів, що забезпечило адекватне відображення механічних властивостей і взаємодії між компонентами системи.

**Для боларда було прийнято дві комбінації навантаження:**

1. Зосереджена сила інтенсивністю 220 кН, прикладена до вертикального абсолютно жорсткого стрижня на висоті 600 мм від основи.
2. Зосереджена сила інтенсивністю 349,8 кН, прикладена до того ж стрижня на висоті 600 мм від основи.

Ці навантаження враховувалися при визначенні армування, щоб забезпечити адекватну стійкість і міцність системи при можливих зіткненнях з транспортними засобами.

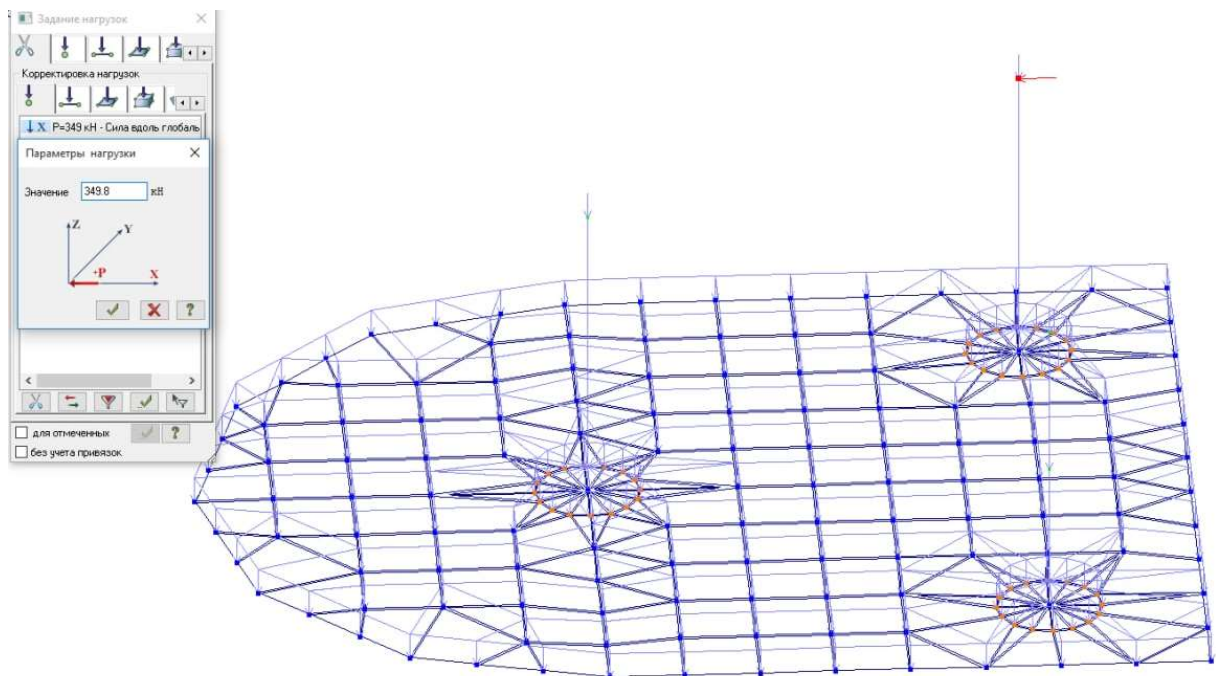


Рис.2.5 Скінчено-елементна модель з прикладеним навантаженням для рефюджу типу RS REF 400.273



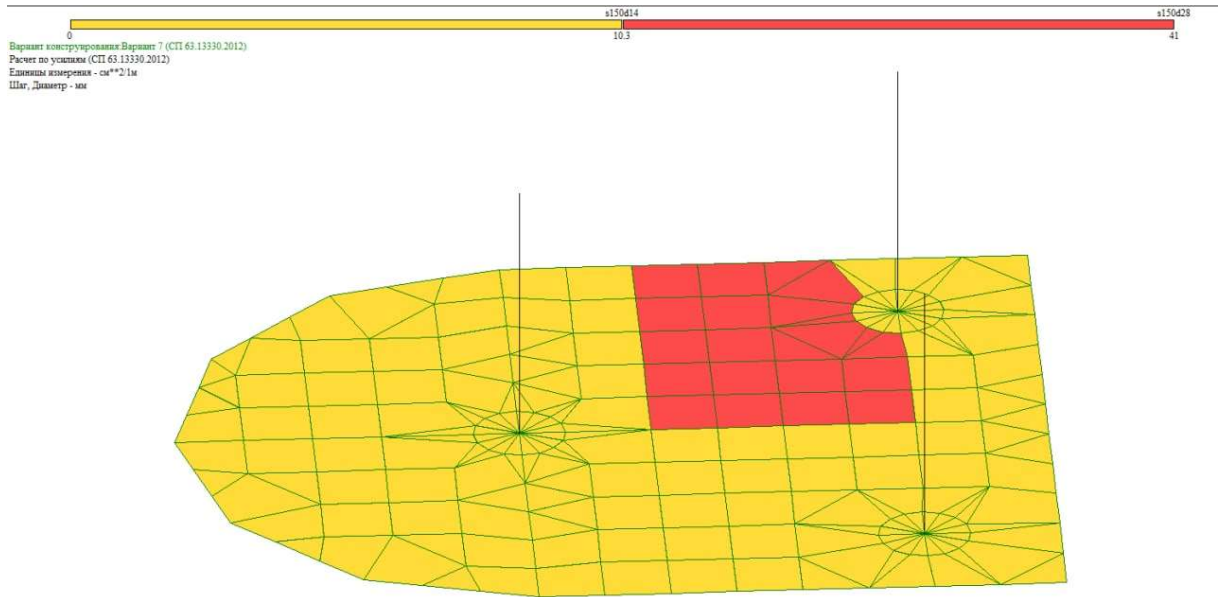


Рис.2.6 Мозаїка розташування армування на у площині рефюджу уздовж осі  
 X

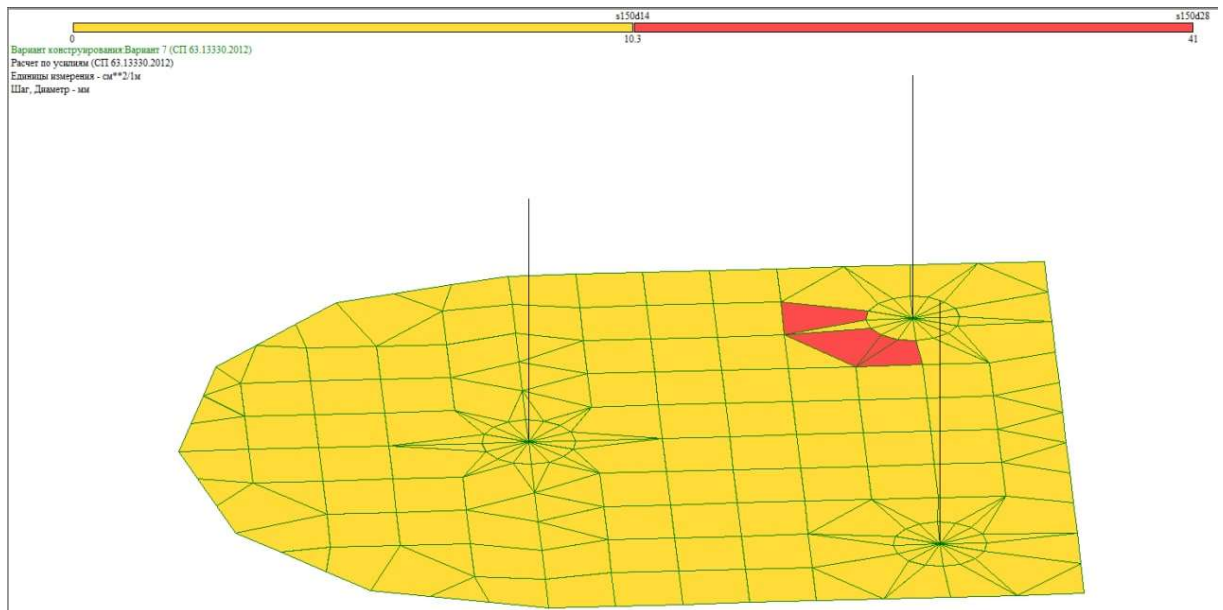


Рис.2.7 Мозаїка розташування армування на у площині рефюджу уздовж осі  
 Y

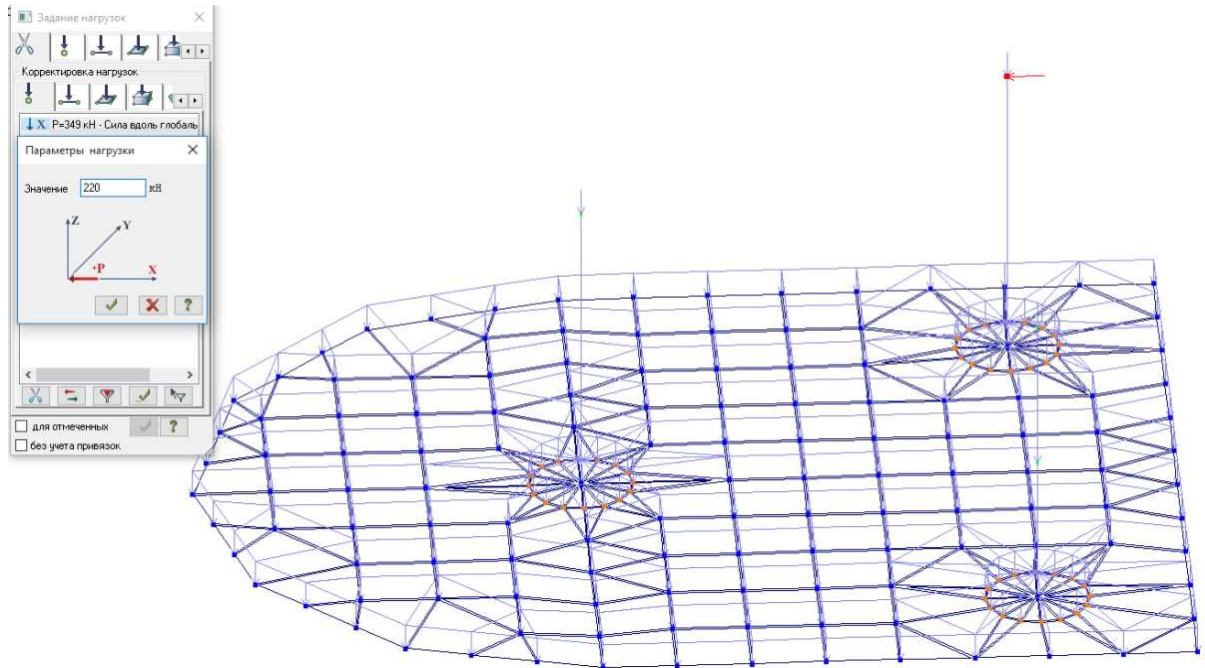


Рис.2.8 Скінчено-елементна модель з інтенсивністю прикладеного навантаження для рефюджу типу RS REF 400.203

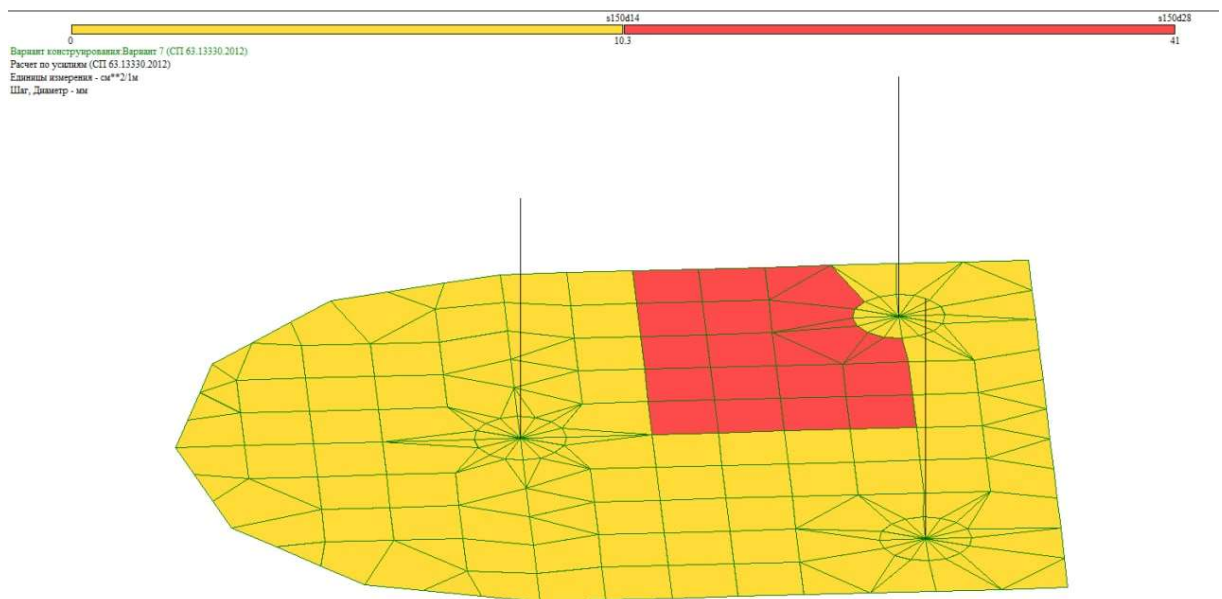


Рис.2.9 Мозаїка розташування армування на у площині рефюджу уздовж осі

X

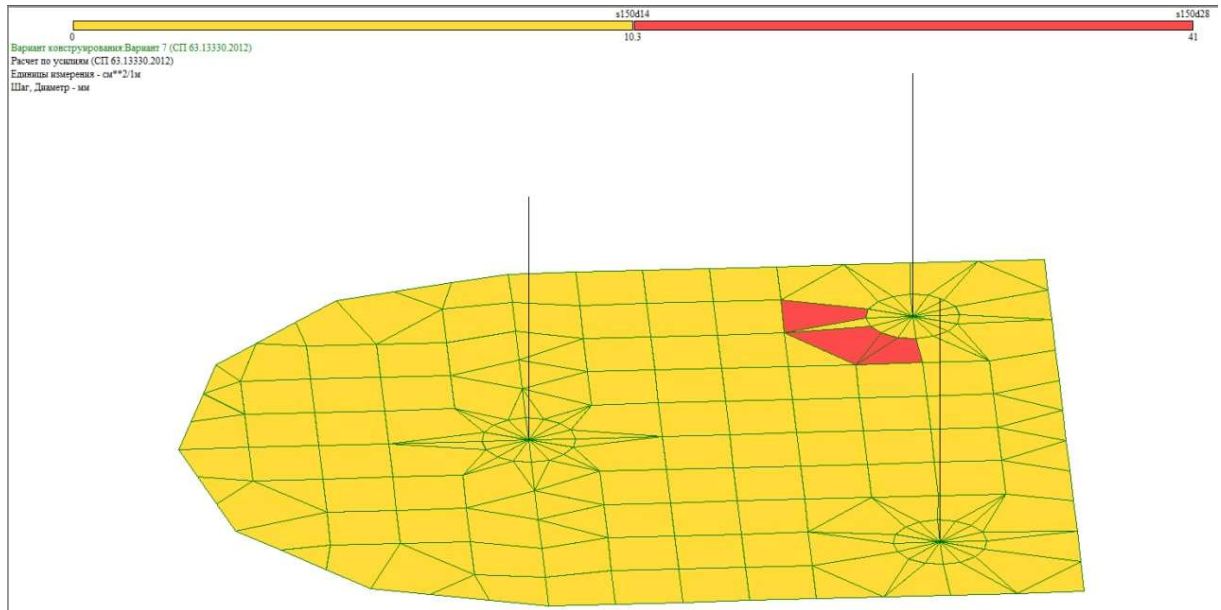


Рис.2.10 Мозаїка розташування армування на у площині рефюджу  
уздовж осі Y

Рефюджи мають відокремленні просторові каркаси армування двох типів:

1. Просторовий каркас армування двох болардів що знаходяться на одній осі.
2. Для відокремленого боларду, що знаходиться в передній частині рефюджу. Також передбачена наявність 2 (3 сітки для рефюджу типу RS REF 700) сіток армування, що з'єднанні поперечними стрижнями, які відповідають типу рефюджу (рис.2.11).

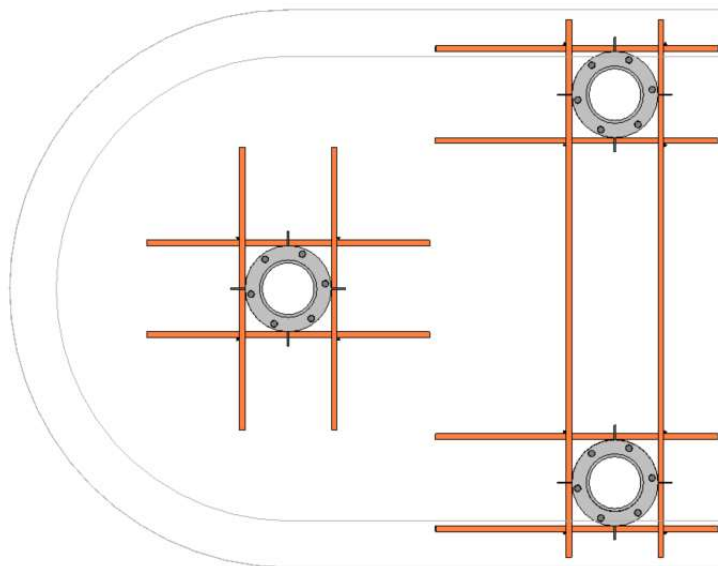


Рис. 2.11 Зображення робочої арматури RS REF 400

Відповідно до боларду, що буде використовуватись в комплекті з рефюджем, змінюється крок розташування стрижнів арматури у сітках та розміри просторових каркасів армування болардів

Рефюджі повинні бути оснащені закладними деталями, які забезпечують надійне встановлення болардів та світлофорних стійок. Тип закладної деталі може варіюватися в залежності від специфікацій конкретної світлофорної стійки. Кріплення стійки світлофора до закладної деталі рефюджу здійснюється за допомогою фланцевого методу та різьбового з'єднання, що забезпечує надійність і стабільність конструкції.

Світлофорна стійка виготовляється з цільнотягнутої товстостінної труби, що разом з болардами, встановленими на рефюджі відповідно до вимог [68], виконує захисну функцію для пішоходів, захищаючи їх від можливого наїзду транспортних засобів. У разі необхідності рефюджі можуть бути додатково оснащені захисними стримувальними елементами у вигляді болардів, які відповідають встановленим вимогам [68].

На рефюджі одночасно встановлюються як світлофорна стійка, так і боларди, забезпечуючи комплексний підхід до безпеки пішоходів. Приклад розміщення світлофорної стійки наведено на рисунку 2.12, де також показано взаємне розташування стійки та болардів на рефюджі.



Рис. 2.12 – Приклад розміщення світлофорної стійки та болардів на рефюджі.

Рефюджі повинні бути обладнані світлоповертальними елементами згідно [69]. Рефюджи мають бути пофарбовані фарбою з використанням світлоповертальних складових зі сторін що будуть видимі для учасників дорожнього руху. Розміщення світлоповертальних вставок на рефюджі показано на рис. 2.13.



Рис.2.13 – Приклад розміщення світлоповертальних вставок на рефюджі.

Для виготовлення рефюджів використовуються важкі бетони згідно з [70] класу за міцністю на стиск не менш ніж С32/40. Допускається застосування добавок в бетон з метою: покращення експлуатаційних властивостей бетону; підвищення морозостійкості, водонепронекності, стійкості до агресивних дій (агресивних середовищ, електричних струмів витоку); підвищення фізико-механічних властивостей бетону - міцності на стиск, згин, розтяг; покращення технологічних властивостей бетонної суміші; покращення якості ергономічних і естетичних характеристик рефюджів за рахунок фарбування її поверхні; збільшення продуктивності за рахунок скорочення циклу формувань та режиму теплової обробки при виготовленні рефюджів; економії матеріальних, енергетичних, трудових ресурсів (зниження витрати цементу, металоємності і парку форм, пари, електроенергії, трудоміскості тощо). Добавки повинні відповідати вимогам [71], їх застосування не повинно погіршувати будь яких експлуатаційних властивостей бетону, що впливають на надійність конструкції.

Для армування рефюджів застосовується: прокат арматурний для залізобетонних конструкцій згідно з [72], для плоских сіток стрижні діаметром від 10 до 20мм класу А500С, для просторових каркасів стрижні діаметром від 10 до 30мм класу А500С, вертикальне армування виконується з стрижнів діаметром від 10мм до 20 мм класу А500С. - прокатний профіль ВСтЗкп2 згідно з [73]. Просторовий арматурний каркас наведено на рис. 2.14.

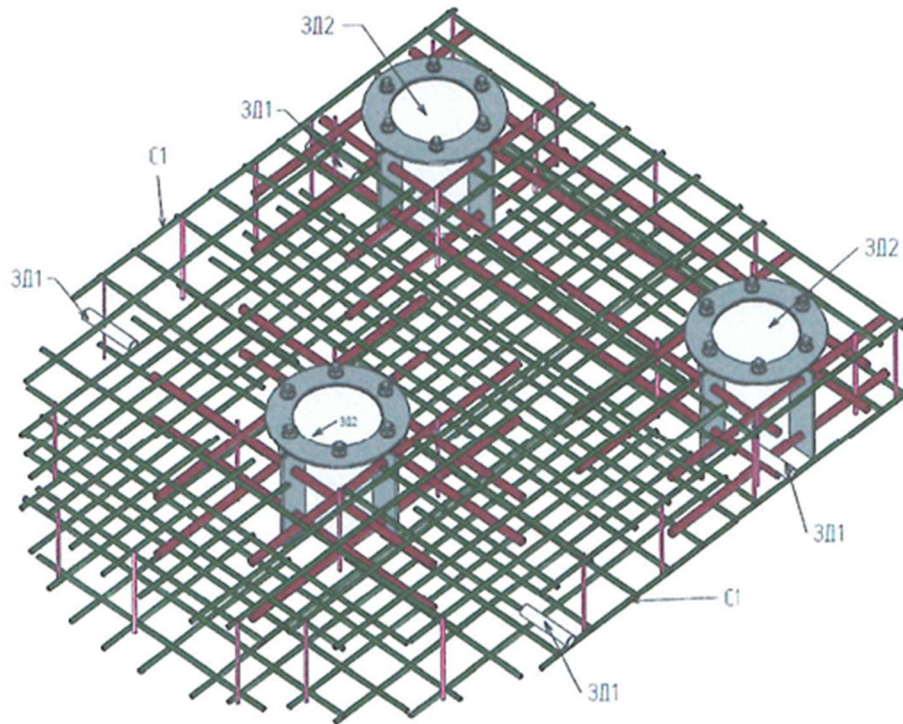


Рис. 2.14 – Об’ємна модель просторового каркасу рефюджу RS REF 400/200

### 2.3 Елементи стримувальні (стовпчики захисні, боларди) RS RBL дорожньої інфраструктури

Стримувальні елементи дорожньої інфраструктури RS RBL - призначені для захисту пішоходів на дорожніх перехрестях усіх типів у межах населених пунктів. Вони виконують роль несучих конструкцій, спрямованих на запобігання нанесенню шкоди людському життю під час дорожньо-транспортних пригод у населених пунктах [68].

Болард виготовляється з безшовної гарячедеформованої товстостінної труби, яка слугує основним несучим елементом. До труби приварена фланцева конструкція, яка забезпечує надійне кріплення боларда до поверхні за допомогою болтів або шпильок діаметром від М8 до М24, класу міцності не нижче 10.9.

Для підвищення надійності кріплення та стійкості до ударних навантажень, в деяких модифікаціях болардів, які можуть встановлюватися

окремо від збірного елемента, передбачено додаткові конструктивні елементи. До таких болардів на зварних з'єднаннях у двох взаємно перпендикулярних площинах кріпляться металеві пластини товщиною 5 мм з отворами для анкерування. В альтернативних модифікаціях можуть бути приварені п'ять перпендикулярних арматурних стрижнів діаметром 20 мм для додаткової фіксації в основі. Окремі моделі можуть поставлятися без додаткових кріплень, що дозволяє їх адаптацію до різних умов встановлення.

#### **Призначення болардів:**

- Забезпечення безпеки на пішохідних зонах, особливо на ділянках, де пішоходи знаходяться найближче до проїжджої частини;
- Організація дорожнього руху та благоустрій територій на вулицях і дорогах населених пунктів України.

#### **Місця встановлення болардів:**

- Перехрестя рівнозначних доріг з острівцем безпеки та регулятором руху;
- Перехрестя нерівнозначних доріг з острівцем безпеки та регулятором руху;
- Перехрестя рівнозначних доріг з острівцем безпеки без регулятора руху;
- Перехрестя нерівнозначних доріг з острівцем безпеки без регулятора руху;
- Самостійні та відокремлені острівці безпеки;
- Тротуари, що знаходяться найближче до проїжджої частини без огорожувальних елементів.

#### **Класифікація болардів:**

- **Протитаранні боларди:** діаметром 273 мм та 203 мм, призначені для запобігання проникненню транспортних засобів на пішохідні зони.
- **Захисні боларди:** діаметром 159 мм, забезпечують базовий рівень захисту пішоходів.



- **Сигнальні боларди:** діаметром 108 мм, служать для візуального позначення меж пішохідної зони або перешкод на дорозі.

Загальний вигляд боларда зображений на рис.2.15, де показані різні модифікації та варіанти їхнього встановлення на об'єктах дорожньої інфраструктури.

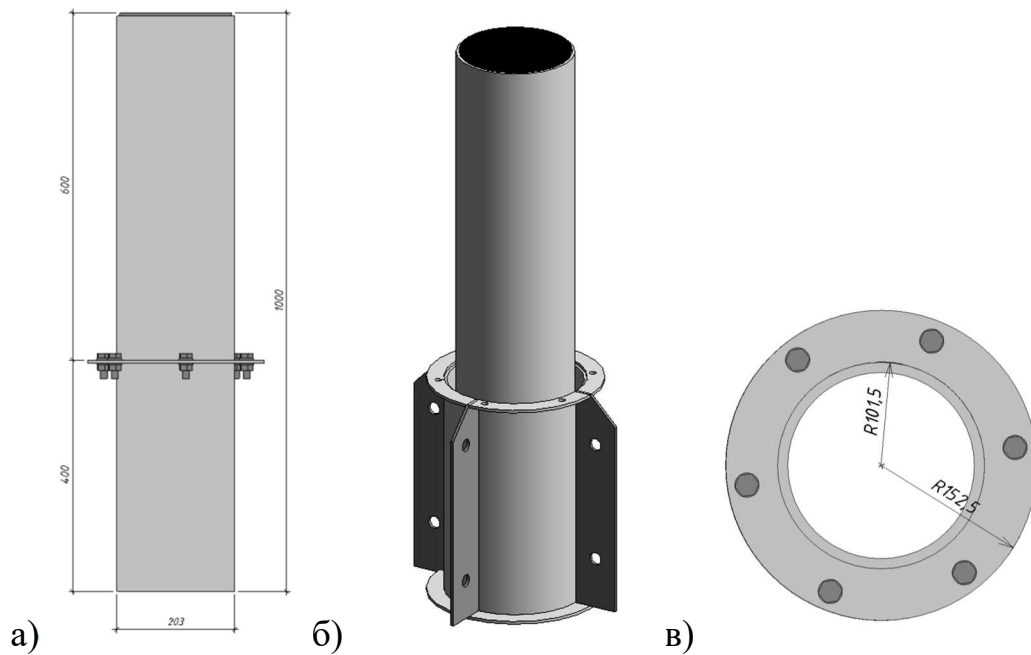


Рис.2.15. Болард типу RS RBL 203.10.600.400: а) загальний вигляд; б) 3D вигляд боларду та стакану; в) фланцеве з'єднання.

На верхній торець боларду може бути змонтовано кришку з гравіюванням, глуху кришку або кришку з підсвіткою (рис.2.16).

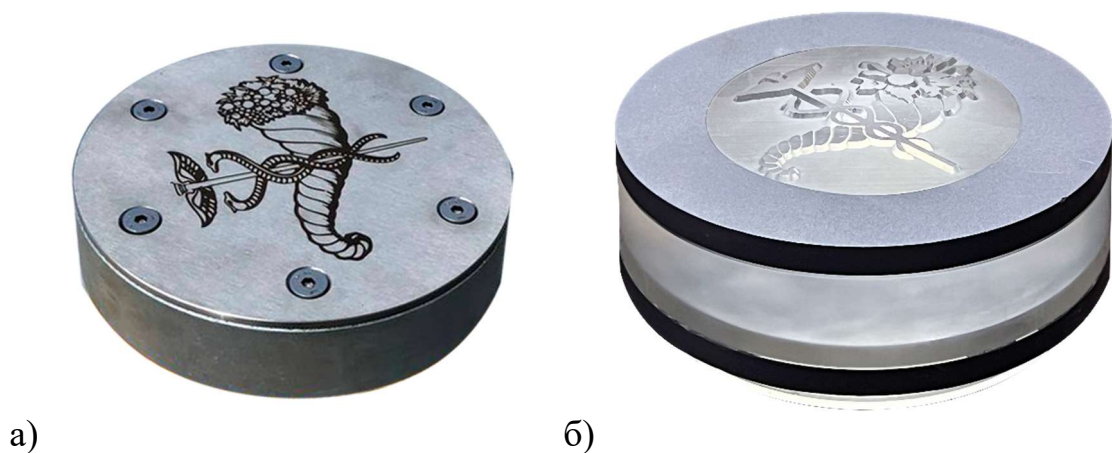


Рис.2.16. Кришка на верхньому торці боларду: а) з гравіюванням; б) з підсвіткою

Основними матеріалами для виготовлення болардів є:

- прокат сортовий згідно з [74,75,76];
- прокат для будівельних сталевих конструкцій згідно з [77];
- труби сталеві згідно з [78];

Боларди можуть бути захищені від іржі двома видами обробки:

1. Захищено від корозії та пофарбовано згідно з [79,80,81];
2. захищено від корозії і проведено гаряче цинкування згідно з [82].

Виходячи з аналізу інфраструктурних потреб сучасних мегаполісів розроблено 40 типорозмірів болардів для різноманітності їх використання (табл. 2.2). Запропоновані конструкції болардів розрізняються діаметром, товщиною стінки, довжиною та несучою здатністю.

Таблиця 2.2

Геометричні характеристики болардів

№	Найменування	Діаметр (мм)	Товщина стінки (мм)	Надземна частина (мм)	Підземна частина (мм)
1	RS RBL 273.10.500.400	273	10	500	400
2	RS RBL 273.10.500.600			500	600
3	RS RBL 273.10.500.800			500	800
4	RS RBL 273.10.600.400			600	400
5	RS RBL 273.10.600.600			600	600
6	RS RBL 273.10.600.800			600	800
7	RS RBL 203.10.500.400	203	10	500	400
8	RS RBL 203.10.500.600			500	600
9	RS RBL 203.10.500.800			500	800
10	RS RBL 203.10.600.400			600	400
11	RS RBL 203.10.600.600			600	600
12	RS RBL 203.10.600.800			600	800
13	RS RBL 203.10.700.400			700	400
14	RS RBL 203.10.700.600			700	600
15	RS RBL 203.10.700.800			700	800
16	RS RBL 203.10.800.400			800	400
17	RS RBL 203.10.800.600			800	600
18	RS RBL 203.10.800.800			800	800

19	RS RBL 203.10.900.400			900	400
20	RS RBL 203.10.900.600			900	600
21	RS RBL 203.10.900.800			900	800
22	RS RBL 203.10.1000.400			1000	400
23	RS RBL 203.10.1000.600			1000	600
24	RS RBL 203.10.1000.800			1000	800
25	RS RBL 159.8.500.400	159	8	500	400
26	RS RBL 159.8.500.600			500	600
27	RS RBL 159.8.600.400			600	400
28	RS RBL 159.8.600.600			600	600
29	RS RBL 159.8.700.400			700	400
30	RS RBL 159.8.700.600			700	600
31	RS RBL 159.8.800.400			800	400
32	RS RBL 159.8.800.600			800	600
33	RS RBL 159.8.900.400			900	400
34	RS RBL 159.8.900.600			900	600
35	RS RBL 108.4.600.400	108	4	600	400
36	RS RBL 108.4.600.600			600	600
37	RS RBL 108.4.800.400			800	400
38	RS RBL 108.4.800.600			800	600
39	RS RBL 108.4.1000.400			1000	400
40	RS RBL 108.4.1000.600			1000	600

Несуча здатність болардів у відповідності до прикладеного навантаження у співвідношенні маси рухомого транспорту та його швидкості, у відповідності до представленої розрахункової схеми на рис.2.17, наведено в таблиці 2.3.

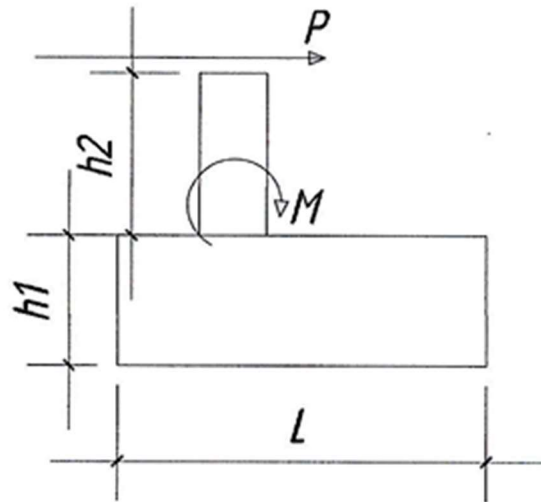


Рис.2.17. Схема прикладання навантаження де,  $h_1$  – 400 – 800 мм;  $h_2$  – 500 – 1000 мм;  $P$  – 10-70 кН/год;  $M$  – 1500-3500 кг;  $L$  – 600-1100 мм.

Таблиця 2.3

#### Навантаження на болард

№	Найменування	Максимальний згинаючий момент, кН*м	Максимальне горизонтальне навантаження, кН	Фактичне максимальне навантаження, кН
1	RS RBL 273.10.500.400 ... RS RBL 273.10.600.800	239	398	358
2	RS RBL 203.10.500.400 ... RS RBL 203.10.1000.800	132	220	198
3	RS RBL 159.8.500.400 ... RS RBL 159.8.900.600	66	108	97
4	RS RBL 108.4.600.400 ... RS RBL 108.4.1000.600	15	25	22

#### 2.4 Пішохідна плита RS BS

Пішохідна плита **RS BS** призначена для монтажу на острівці безпеки між двома рефюджами типу RS REF (рис.2.18). Даний елемент конструкції також

передбачає можливість встановлення болардів RS RBL діаметром 203 мм, що забезпечує додатковий захист пішоходів на пішохідному переході.

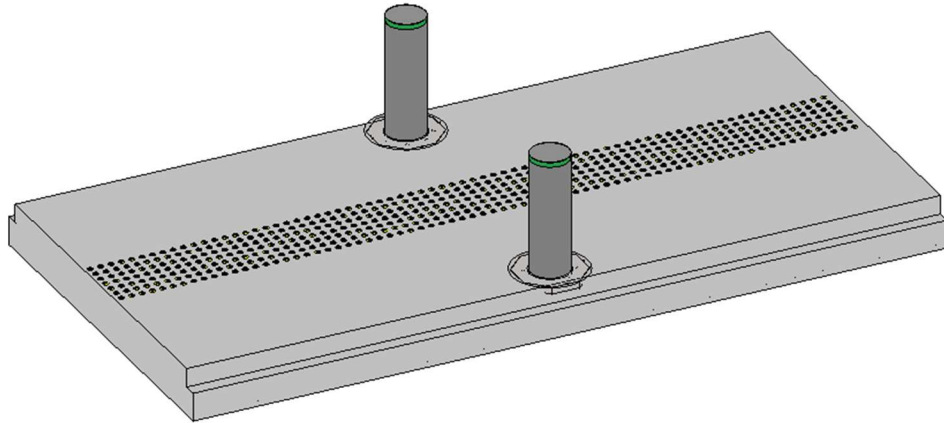


Рис. 2.18. 3-D вигляд пішохідної плити зі встановленими болардами.

Плита RS BS оснащена вбудованими тактильними елементами, що сприяють орієнтації маломобільних груп населення та осіб із вадами зору. Також у конструкцію плити інтегровано спеціальне освітлення, яке при необхідності може бути підключене до системи управління світлофором, що дозволяє синхронізувати підсвічування з сигналами світлофора для підвищення безпеки на перехрестях.

**Матеріали та конструкція плити:** Плити виготовляються з важкого залізобетону класу C32/40 з ненапруженою арматурою класу A500C. Внутрішня структура плити містить сталеву раму, виготовлену з перфорованого двотавра, що забезпечує підвищену міцність і довговічність конструкції (рис.2.19).

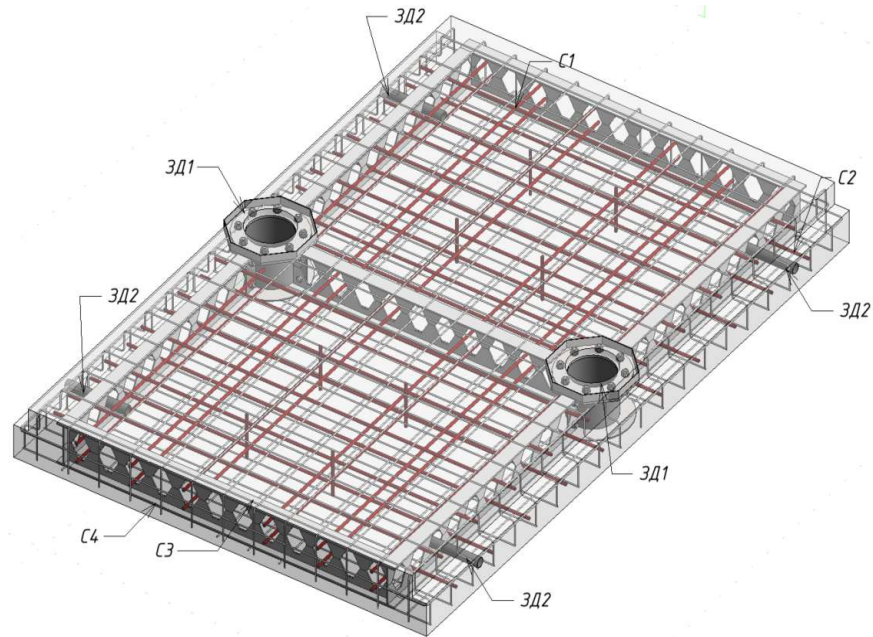


Рис.2.19. 3-D вигляд конструктиву плити типу RS BS

Плити RS BS мають кілька типорозмірів, що дозволяє адаптувати їх до різних умов експлуатації, розміри представлені у таблиці 2.4, де наведені дані щодо можливостей застосування плит у різних конфігураціях дорожньої інфраструктури.

Таблиця 2.4

Типорозмір плит

№	Найменування	Висота (мм)	Довжина (см)	Діаметр стримувального елемента (мм)	Ширина (см)
1	BS 300.200.25	250	300	203	200
2	BS 400.200.25	250	400	203	200
3	BS T 400.240.20	200	400	203	240

Таким чином, пішохідні плити RS BS є важливим елементом дорожньої інфраструктури, які забезпечують безпеку пішоходів, адаптованість до потреб осіб з обмеженими можливостями, а також інтеграцію з іншими системами безпеки, такими як освітлення та світлофори.

## 2.5 Вузол кріплення боларду до рефюджу.

Вузол кріплення боларду до рефюджу сконструйовано у збірному виконанні. Подібне рішення значною мірою підвищує практичність конструктиву в цілому, але у той же час потребує додаткових конструктивних заходів з підвищення надійності вузла, оскільки даний вузол є одним з найголовнішим фактором надійності конструкції в цілому. Кріплення болардів до рефюджу виконується через закладну деталь – металевий стакан, який замонолічений в тілі рефюджу. Стакан являє собою металеву прокатну трубу, внутрішній діаметр якої на 20 мм більший за діаметр боларду, що в неї встановлюється (рис.2.20). З чотирьох сторін до труби приварені металеві фасонки, через кожну з яких проходить основна робоча арматура рефюджу. Фіксація боларду в стакані забезпечується шляхом заповнення простору між болардом та стаканом в'яжучою сумішшю. Зверху стакана передбачено фланцеве з'єднання, до якого болард додатково кріпиться болтами.

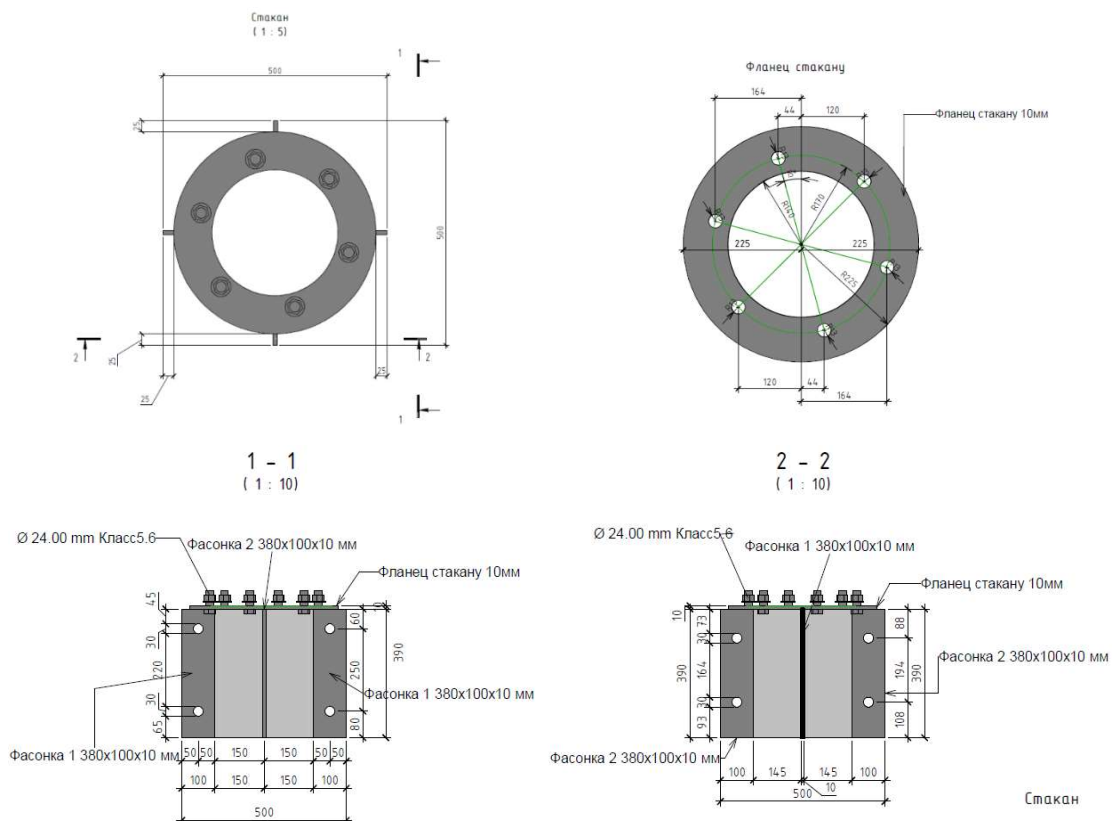


Рис.2.20. Стакан у рефюджі типу RS REF 400.273.

Стакан у пішохідні плиті відрізняється від стакану рефюджу. В ролі несучого елемента, який тримає стакан у тілі плити виступає металевий каркас

з перфорованого двутавру. Він кріпиться до фасонки стакану високоміцними болтами (рис. 2.21). Дана обставина зумовлена тим, що висота дорожньої плити менше за рефюдж, через що прокатної арматури стає недостатньо задля сприйняття критичного зовнішнього зусилля.

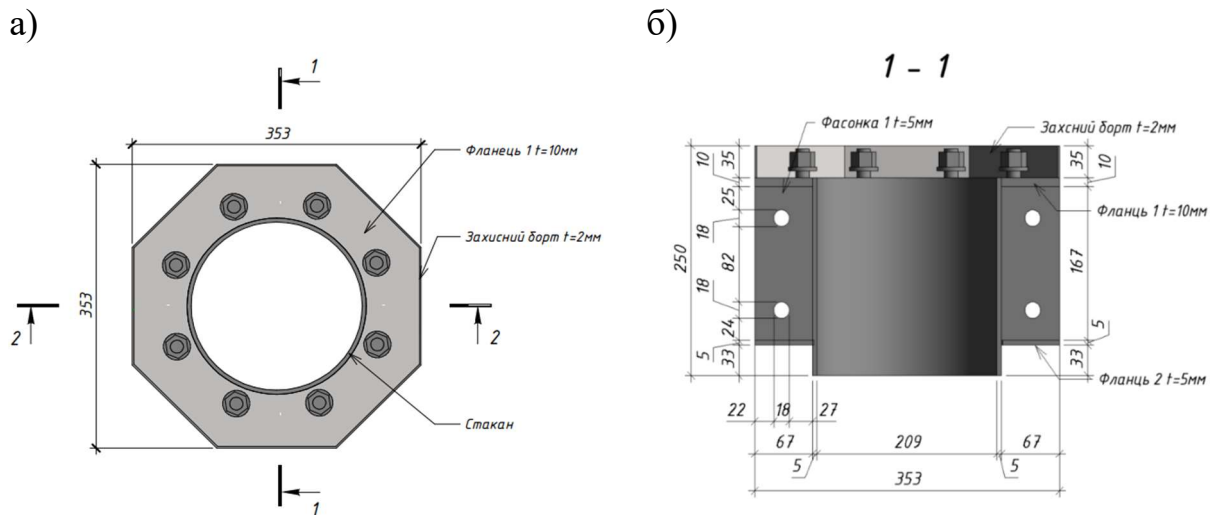


Рис.2.21. Стакан у пішохідній плиті типу BS 300.200.25. а) Вид стакану зверху. б) Розріз 1-1

## 2.6 Елементи стійкові RS TSL

Елементи стійкові RS TSL системи безпеки пішоходів RS PSS - елементи (далі - стійки), які встановлюються на перехрестях доріг усіх типів та у місцях перетину автомобільних доріг та пішохідних або велосипедних доріжок у межах населених пунктів, які являють собою несучу конструкцію для розміщення дорожчих знаків та регуляторів руху [83].

Встановлення стійки передбачене на заздалегідь підготовлений елемент стримувальний RS RBL згідно [68], або на закладну деталь що закріплена належним чином в залізобетонній основі, безпосередньо на об'єкті будівництва або реконструкції елементів дорожньої інфраструктури.

Матеріали для виготовлення стійки - труба сталевая електрозварна прямошовна. Клас сталі - СТ. 20 згідно з [84]. Також може використовуватись, за вимогою замовника, труба безшовна суцільнотянута з класом сталі Ст.35 згідно з [84].



Стійки призначені для встановлення на перехрестях доріг усіх типів та у місцях перетину автомобільних доріг та пішохідних або велосипедних доріжок у межах населених пунктів України.

Стійки встановлюються на:

- перехрестях рівнозначних доріг які мають острівцець безпеки з регулятором руху;
- перехрестях нерівнозначних доріг які мають острівцець безпеки з регулятором руху;
- узбіччях автомобільних доріг у межах населених пунктів України.

Стійка являє собою профіль зі сталеві електрозварної прямошовної труби (рис.2.22).

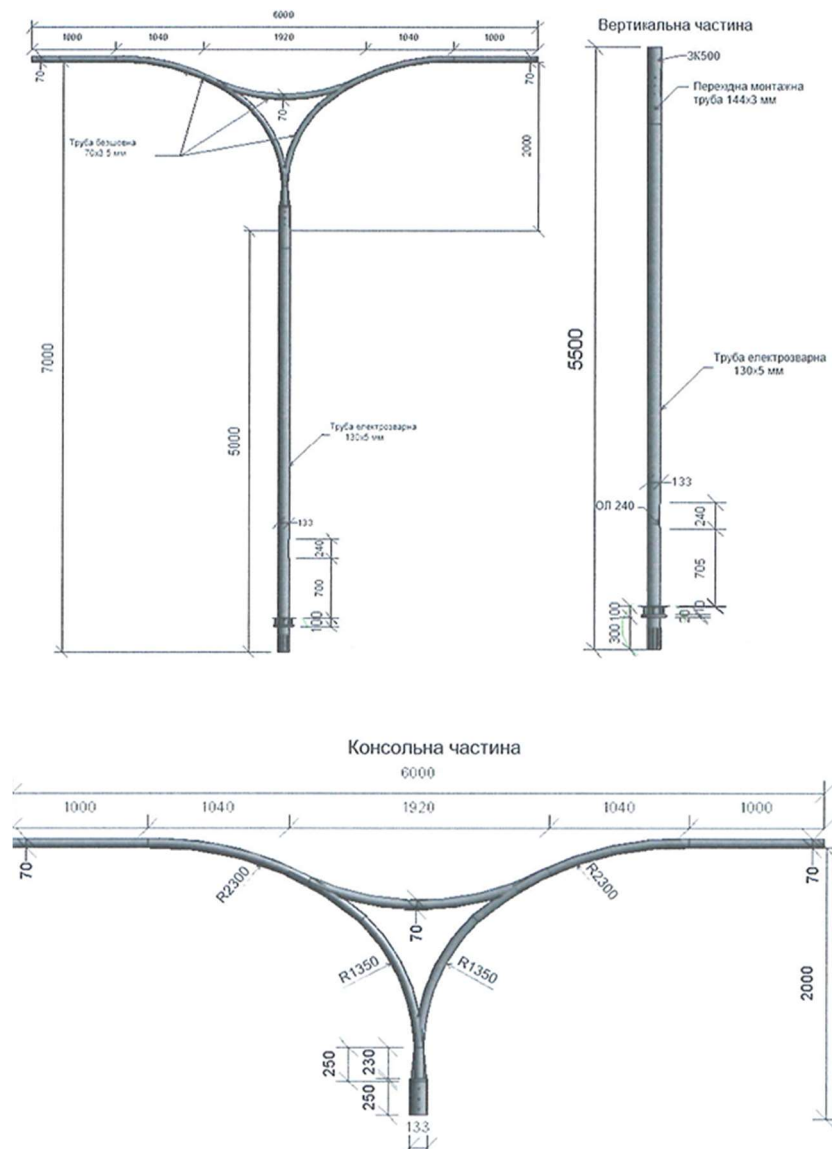


Рис.2.22 – Елемент стійковий RS TLS

Конструкція може складатися з таких частин:

- вертикальна;
- консольна;
- захисний ковпак.

Вертикальна частина являє собою сталеву електрозварну прямошовну трубу з зовнішнім діаметром від 114 мм до 159 мм з товщиною стінки від 5 мм до 10 мм. Висота вертикальної частини в залежності від конкретного варіанту монтажу має бути не менше ніж 4200 мм та не більше 6000 мм.

Консольна частина являє собою сталеву електрозварну прямошовну трубу з зовнішнім діаметром від 50 мм до 89 мм з товщиною стінки від 5 мм до 10 мм. Виліт консолі в залежності від конкретного варіанту монтажу або прохання замовника має бути не менше ніж 1000 мм та не більше 4500 мм.

Захисний ковпак являє собою сталеву електрозварну прямошовну трубу з таким же діаметром та товщиною що і вертикальна частина, котра заглушена з однієї сторони, та має три отвори Д-12мм для фіксуєчих болтів.

Кріплення вертикальної частини до вибраного боларду являє собою вузол жорсткого закріплення. Вертикальна частина має поперечні ребра із сторони зовнішнього діаметру та фланець з отворами Д-18мм для болтів або шпильок, якими прикручуються фланець.

Кріплення вертикальної частини до закладної деталі також виконується фланцевим методом з п'ятьма болтами М-16 та з використанням елементів жорсткого зацімлення (рис. 2.23).

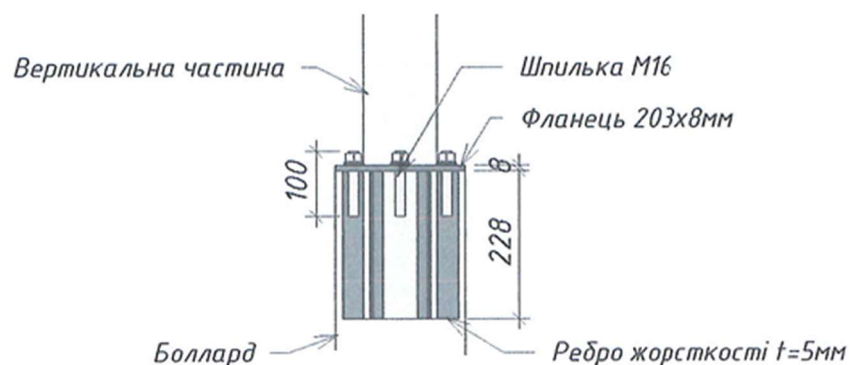


Рис. 2.23 – Вузол кріплення стійки до боларда

Кріплення вертикальної та консольної частини між собою, являє конструкцію фланцевого кріплення вертикальної та консольної частин. Фланці з'єднанні за допомогою 6 болтів М16. Передбачена наявність опорних фасонки, що з'єднують прокатний профіль та фланець для обох частин стійки (рис. 2.24).

З'єднання вертикальної та консольної частини можливе за допомогою фланцевого або різьбового з'єднання через конструкцію втулки, оснащеною двосторонньою різьбою.

Геометричні розміри втулки:

- діаметр 104 - 148 мм;
- товщина стінки 7,5 мм - 10 мм;
- висота 150 мм.

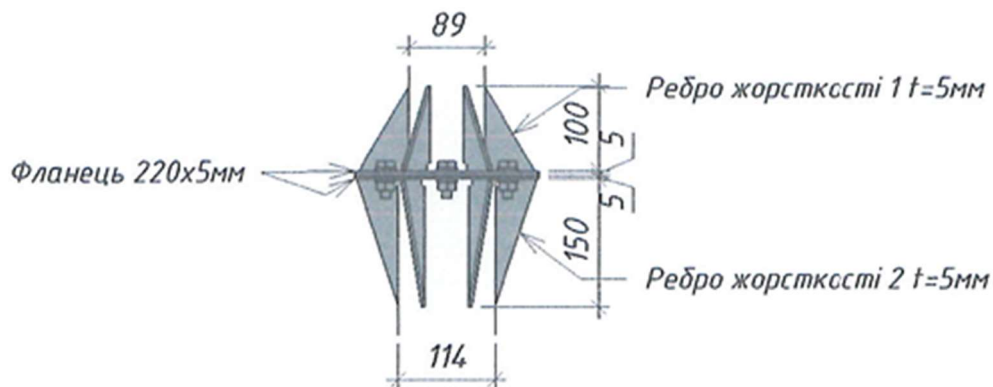


Рис. 2.24 – Вузол кріплення вертикальної та консольної частин стійки

Також з'єднання можливе шляхом одягання труби більшого діаметру на трубу меншого відповідного діаметру та фіксуванням трьома болтами.

Фланцеве та різьбове з'єднання є взаємозамінними для з'єднання вертикальної та консольної частин стійки.

В залежності від таких факторів, як: місце встановлення, висота стійки, вага знаків та навісного обладнання розроблено лінійку типорозмірів (табл. 2.5). Навантаження, які сприймає стійка - вітрове, власна вага стійки та вага знаків відповідно до розроблених схем розміщення знаків (обладнання).

Міцність та надійність конструкції стійки обумовлена розрахунком конструкцію на вплив вітрового навантаження та його нульсаційної складової

Таблиця 2.5

## Геометричні параметри стійок

№	Найменування	Зовнішні діаметр вертикальної частини (мм)	Товщина стінки вертикальної частини (мм)	Зовнішні діаметр консольної частини (мм)	Товщина стінки консольної частини (мм)
1	RSTLS 114.50-89 K	114	5-10	50-89	5-10
2	RSTLS 114	114	5-10	-	-
3	RSTLS 121.50-89 K	121	5-10	50-89	5-10
4	RSTLS 121	121	5-10	-	-
5	RSTLS 127.50-89 K	127	5-10	50-89	5-10
6	RSTLS 127	127	5-10	-	-
7	RSTLS 133.50-89 K	133	5-10	50-89	5-10
8	RSTLS 133	133	5-10	-	-
9	RSTLS 140.50-89 K	140	5-10	50-89	5-10
10	RSTLS 140	140	5-10	-	-
11	RSTLS 146.50-89 K	146	5-10	50-89	5-10
12	RSTLSI46	146	5-10	-	-
13	RSTLS 159.50-89 K	159	5-10	50-89	5-10
14	RSTLS 159	159	5-10	-	-

## 2.7 Висновки до розділу 2

У цьому розділі було розглянуто процес конструювання захисних елементів дорожньої інфраструктури, спрямованих на підвищення безпеки пішоходів у різних умовах дорожнього руху. Розроблені технічні рішення забезпечують ефективний захист пішоходів за допомогою модульних систем,

що дозволяють гнучко адаптувати конструкцію до умов експлуатації. Були використані сучасні методи розрахунку, включаючи програмне забезпечення для моделювання конструкцій, що забезпечило високу точність і надійність запропонованих рішень. Важливим аспектом стало врахування можливостей швидкої модернізації та обслуговування системи без необхідності повного демонтажу.

Виходячи з проведених досліджень, можна зробити такі висновки:

1. **Розроблено комплекс технічних умов (ТУ)** для захисних елементів дорожньої інфраструктури, що забезпечують безпеку пішоходів. Ці ТУ дозволяють адаптувати елементи системи безпеки під конкретні дорожні умови, підвищуючи рівень захисту в різних ситуаціях.

2. **Створена система RS PSS (Road Safety Pedestrian Security System)**, яка базується на модульних компонентах. Її головними перевагами є гнучкість конфігурацій та висока ремонтпридатність, що дозволяє швидко замінити її складові елементи та скорочувати витрати на обслуговування.

3. **Захисні елементи, такі як рефюджі та боларди**, розроблені з урахуванням високих вимог до міцності та надійності, забезпечуючи безпечний рух пішоходів на перехрестях та інших критичних ділянках дорожньої мережі.

4. **Армування захисних елементів** було ретельно розраховане з використанням методу скінченних елементів у програмному комплексі «ЛІРА САПР», що забезпечило точність і надійність конструкцій при можливих зіткненнях транспортних засобів.

5. **Модульність системи** дозволяє здійснювати модернізацію та зміну окремих елементів без необхідності повного демонтажу, що значно підвищує довговічність і економічну ефективність її експлуатації.

6. **Інтеграція світлофорів і додаткових елементів безпеки** (боларди, світлоповертальні елементи, тактильні плити) забезпечує комплексний підхід до організації безпеки дорожнього руху і захисту пішоходів.

## **РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЗІТКНЕННЯ АВТОМОБІЛІВ ІЗ БОЛАРДОМ ТА ЕЛЕМЕНТАМИ РЕФЮДЖУ**

### **3.1. Основні положення та методика математичного моделювання зіткнення автомобілів із болардом та елементами рефюджу**

Як показано у роботах [85,86,87] для забезпечення безпеки пішоходів та руху автомобільного транспорту є ефективним застосування систем на основі конструктивних елементів, які блокують рух автомобілів у певних напрямках. Враховуючи це у роботі запропоновано конструктивну систему безпеки пішоходів RS PSS, що складається з описаних вище елементів. Перевага цієї системи - вона є комбінованою та може збиратися з окремих типорозмірів складових залежно від місця монтажу. Подібний варіант реалізації конструктиву пристосований до інфраструктурних потреб сучасних мегаполісів. Окрім можливості складання комбінацій з окремих елементів, позитивною особливістю такого підходу є те, що при виведенні з ладу одного з елементів системи його можна локально замінити.

Як описано в попередньому розділі, конструктивну систему можна умовно розділити на два основні елементи: рефюджи та боларди. Рефюджи — це монолітні залізобетонні плити, які мають розміри 2580x2050 мм і закруглення з одного боку радіусом 1025 мм. Висота рефюджів варіюється залежно від інтенсивності транспортного руху на дорозі. Вищі рефюджи зазвичай встановлюють на перехрестях багатосмугових проспектів з інтенсивним автомобільним трафіком. Для кожного типу рефюджу передбачено спеціальне армування, яке враховує тип болардів, що будуть встановлені на ньому.

Рефюджи виготовляються з високоміцного бетону та армовані сталевими елементами, що забезпечує їхню міцність і довговічність. Завдяки своїй конструкції і виступу над дорожнім покриттям, рефюджи виконують функцію протитаранного бар'єра, частково приймаючи на себе удар автомобіля у разі наїзду, що знижує ризик травмування пішоходів.

На поверхні рефюджів встановлюються боларди — стовпи з металевих труб, які обмежують рух автомобілів і захищають пішоходів. Боларди розроблені з урахуванням різних умов експлуатації і можуть відрізнятися за діаметром, товщиною стінки, довжиною та несучою здатністю. Це дозволяє адаптувати їх для різних міських середовищ і забезпечити максимальну ефективність захисту в залежності від конкретних вимог і умов використання.

Для вивчення ефективності запропонованих технічних рішень одним з етапів є дослідження стійкості та міцності елементів системи безпеки. При цьому, безумовно, для ефективного обмеження руху є збереження здатності болардів до обмеження руху автомобіля при дії навантажень в умовах зіткнення. З метою вивчення поведінки болардів в умовах зіткнення із ними автомобілів було виконано математичне моделювання. Реалізація розрахунку виконувалася на основі основних положень та припущень, викладених нижче.

1. Для моделювання поведінки боларду в умовах зіткнення із ним автомобіля використовувалися деталізовані математичні моделі конкретних автомобілів різної конструкції та маси. Дані моделі розроблені міжнародною науковою спільнотою CCSA (Center for Collision Safety and Analysis) та реалізовані у програмному САЕ-комплексі LS-Dyna [88 – 93]. Моделі автомобілів деталізовані за допомогою введення їхніх окремих частин, які відтворюють той чи інший вузол або деталь автомобіля, що включають математичну модель відповідного матеріалу, відповідне навантаження, відповідні математичні моделі з'єднань та контактної взаємодії. Особливістю моделей автомобілів є деталізоване відтворення шасі, включаючи характерні деталі підвіски (ресори, амортизатори, шарнірні з'єднання, тощо) та колеса, де передбачено гумові шини із специфічним навантаженням, яке відтворює тиск у шинах (AIRBAG\_OPT).

2. При моделюванні зіткнення автомобіля із болардом розглядалися чотири типорозміри болардів із різними конструктивними параметрами відповідно до табл. 2. При цьому податливість вузла примикання боларду до рефюджу та переміщення і деформації рефюджу як жорсткого тіла не

враховувалися. Кріплення боларду в рефюджі, також прийнято абсолютно жорстким.

3. Для всіх варіантів розрахунку було прийнято припущення, що двигун автомобіля у момент зіткнення від'єднано від трансмісії і при цьому враховується обертальний рух коліс відповідно до його поступальної швидкості.

4. Для розрахунку параметрів механіки переміщень матеріальної системи, якою є конструктивна система будівлі застосовується явний метод інтегрування загальних рівнянь динаміки при її апроксимації за методом кінцевих елементів [88 – 91]. Як основний засіб розрахунку використовується програмний CAE-комплекс LS-DYNA.

5. Моделювання впливу автомобіля на болард при їх зіткненні відбувається через контактну взаємодію між кожною частиною математичної моделі автомобіля та комплексом частин рефюджа та боларда. Контактна взаємодія реалізується за допомогою методу штрафних функцій [88 – 90].

6. При моделюванні також враховувалося протитаранна функція рефюджа при його представленні як абсолютно жорсткого тіла.

7. Вплив сили тяжіння для центра маси моделі в розрахунку враховується автоматично за допомогою відповідної функції розрахункового комплексу.

8. Критерієм збереження болардом своїх протитаранних функцій в умовах зіткнення автомобіля із ним є повна зупинка або відкидання автомобіля від системи рефюдж-болард та/або відсутність повного розділення на окремі частини боларда. Даний комплексний критерій визначається за допомогою контролю кінематичних характеристик задньої недеформованої частини автомобіля та візуально при виявленні деструктурованих окремих елементів боларда. Зміна форми чи місцева втрата стійкості боларда не є чіткою ознакою втрати його протитаранних функцій.



### 3.2. Математичні моделі динаміки та напружено-деформованого стану конструктивної системи при ініціації прогресуючого руйнування

Схема, показана на рис. 3.1, містить деформоване тіло у початковому стані, яке позначено як  $\Omega_0$ . Гранична поверхня тіла у початковому положенні позначена  $\Gamma_0$ . Поточне положення і геометрична конфігурація деформованого тіла у заданий час  $t$  позначається через  $\Omega$  із граничною поверхнею, що позначена через  $\Gamma$ . У період руху із початкового положення тіла із початковою конфігурацією  $\Omega_0$  у положення та конфігурацію  $\Omega$ , які відповідають поточному часу, певна точка із відповідним набором координат  $\mathbf{X}$ , у початковому стані, яка належить області  $\Omega_0$ , здійснить переміщення і локалізується у області  $\Omega$  і відповідно буде мати набір координат  $\mathbf{x}$ .

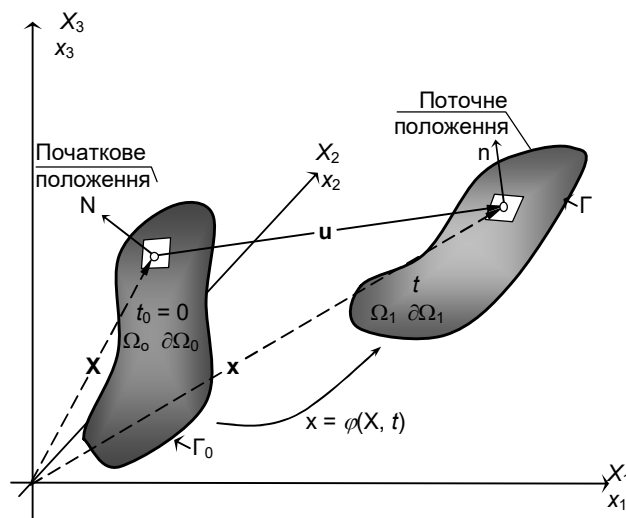


Рис. 3.1. Початкове та поточне положення твердого тіла, що також піддається деформації у процесі руху.

Базове рівняння руху, яке описує динаміку взаємодії твердих деформованих тіл при врахуванні комплексу консервативних законів динаміки відповідно до робіт Беличко, Флангана та ін. [88 – 90].

З врахуванням уведених позначень як базове записується рівняння балансу імпульсу, яке має вигляд виразу:

$$\sigma_{ij,i} + \rho \cdot f_i = \rho \cdot \ddot{x}_i, \quad (3.1)$$

де  $\sigma_{ij,i}$  – тензор напружень Коші у заданій точці твердого деформованого тіла;

$\rho$  – густина матеріалу у заданій точці твердого деформованого тіла;

$\rho \cdot f_i$  – зовнішні сили, прикладені до тіла у заданій точці твердого деформованого тіла;

$\ddot{x}_i$  - прискорення заданої точки твердого деформованого тіла.

Рівняння збереження маси твердого деформованого тіла записується у вигляді формули:

$$\rho \cdot \det(\mathbf{J}) = \rho_0, \quad (3.2)$$

де  $\rho_0$  – густина матеріалу у заданій точці твердого деформованого тіла у початковому стані;

$\det(\mathbf{J})$  – визначник Якобі дотичної матриці.

Рівняння, яке виражає закон балансу енергії записується через суму кінетичної енергії та потенціальної внутрішньої енергії, які у сумі дорівнюють сумі робіт зовнішніх сил.

$$P^{int} + P^{kin} = P^{ext} + P^{heat}. \quad (3.3)$$

Кінетична енергія розраховується за виразом:

$$P^{kin} = 0.5 \frac{d}{dt} \int_{\Omega} \rho \mathbf{v} \cdot \mathbf{v} d\Omega \quad (3.4)$$

Внутрішня енергія розраховується за формулою:

$$P^{ext} = \int_{\Omega} \mathbf{v} \cdot \rho \mathbf{b} d\Omega + \int_{\Gamma} \mathbf{v} \cdot \mathbf{t} d\Gamma. \quad (3.5)$$

В умовах коли відсутні джерела теплової енергії, рівняння збереження енергії згідно із роботами [88 – 90] має такий вигляд:

$$\frac{d}{dt} \int_{\Omega} \rho w^{int} + (0.5 \rho \mathbf{v} \cdot \mathbf{v}) d\Omega = \int_{\Omega} \mathbf{v} \cdot \rho \mathbf{b} d\Omega + \int_{\Gamma} \mathbf{v} \cdot \mathbf{t} d\Gamma \quad (3.6)$$

Рівняння балансу енергії перетворюється з врахуванням деформування твердого тіла має вигляд виразу:

$$\rho \dot{w}^{int} = 0.5 \sigma_{ij} \left[ \frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right] \quad (3.7)$$

Граничні умови, які встановлюють обмеження руху твердого деформованого тіла  $\Gamma_f$  записуються у вигляді формули:

$$\sigma_{ij} n_j = t_i(t). \quad (3.8)$$

де  $n_j$  – нормаль, встановлена на граничній поверхні твердого тіла, має бути направлена назовні.

Для описання граничних умов, які встановлюють параметри деформації на граничній поверхні твердого тіла записується такий вираз:

$$x_i(\mathbf{X}, t) = \bar{x}_i(t). \quad (3.9)$$

При появі контактної взаємодії між твердими деформованими тілами, задані граничні умови записуються у вигляді формули:

$$\left( \sigma_{ij}^+ - \sigma_{ij}^- \right) n_j = 0 \quad (3.10)$$

На віртуальних переміщеннях  $\delta x_i$  поточний стан твердих деформованих тіл, що входять у взаємодію між собою, може бути записаний у вигляді рівняння балансу робіт на віртуальних переміщеннях:

$$\int_{\Omega} [\rho \ddot{x}_i + \sigma_{ij,j} - \rho f_i] \delta x_i d\Omega + \int_{\Gamma_f} [\sigma_{ij} n_j - t_i] \delta x_i d\Gamma + \int_{\Gamma_c} (\sigma_{ij}^+ - \sigma_{ij}^-) n_j \delta x_i d\Gamma = 0 \quad (3.11)$$

Записуючи суму віртуальних робіт як еквівалентною до нуля із проведенням належних перетворень, вираз (3.11) набуває кінцевого вигляду [88 – 90]:

$$\int_{\Omega} \rho \ddot{x}_i \delta x_i d\Omega + \int_{\Omega} \sigma_{ij,j} \delta x_i d\Omega - \int_{\Omega} \rho f_i \delta x_i d\Omega - \int_{\Gamma_f} t_i \delta x_i d\Gamma - \int_{\Gamma_c} t_i^c \delta x_i d\Gamma \quad (3.12)$$

#### **Кінцево-елементна апроксимація основних рівнянь динамічної взаємодії.**

Формула для виконання інтерполяції розподілів параметрів у внутрішньому межах простору кінцевого елемента (КЕ) записується у такому вигляді:

$$x_i(\mathbf{X}, t) = \bar{x}_i(\mathbf{X}(\xi, \eta, \zeta), t) = \sum_{j=1}^m \phi_j(\xi, \eta, \zeta) x_i^j(t) \quad (4.13)$$

де  $\phi_j$  – функція форми, записана у параметричному вигляді (параметри  $\xi, \eta, \zeta$ )

$m$  – кількість вузлів, що відповідає формі та типу КЕ;

$x_i^j$  – поточна координата вузла кінцевого елемента за відповідною віссю координат.

Потенціальна енергія на віртуальних переміщеннях механічної системи для КЕ визначається з використанням рівняння:

$$\delta\Pi_e = \int_{\Omega_e} \rho \ddot{x}_i \Phi_i^e d\Omega + \int_{\Omega_e} \sigma_{ij} \Phi_{ij}^e d\Omega - \int_{\Omega_e} \rho f_i \Phi_i^e d\Omega - \int_{\Gamma_e} t_i \Phi_i^e d\Gamma, \quad (3.14)$$

де  $\Phi_i^e = (\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_k)_i^e$ .

Для повного набору КЕ потрібно також врахувати принцип можливих переміщень. У такому разі загальне рівняння збереження енергії твердого деформованого тіла, що дискретизоване на сітку КЕ записується у формі виразу:

$$\sum_{e=1}^{en} \left[ \int_{\Omega_e} \rho \ddot{x}_i \Phi_i^e d\Omega + \int_{\Omega_e} \sigma_{ij} \Phi_{ij}^e d\Omega - \int_{\Omega_e} \rho f_i \Phi_i^e d\Omega - \int_{\Gamma_e} t_i \Phi_i^e d\Gamma \right] = 0 \quad (3.15)$$

У матричному запису вираз (4.15) набуває такого вигляду:

$$\sum_{e=1}^{en} \left[ \int_{\Omega_e} \rho \mathbf{N}^T \mathbf{N} \mathbf{a}_e d\Omega + \int_{\Omega_e} \mathbf{B}^T \boldsymbol{\sigma} d\Omega - \int_{\Omega_e} \rho \mathbf{N}^T \mathbf{b} d\Omega - \int_{\Gamma_e} \mathbf{N}^T \mathbf{t} d\Gamma \right] = 0 \quad (3.16)$$

де  $\mathbf{N}$  – матриця інтерполяційних параметричних функцій, які відповідають формі та типу КЕ;

$\boldsymbol{\sigma}$  - вектор напружень;

$\mathbf{B}$  – матриця жорсткості;

$\mathbf{a}_e$  – вектор прискорень вузлів КЕ;

$\mathbf{b}$  – вектор навантаження;

$\mathbf{t}$  – вектор тягових сил.

### **Явний числовий метод розв'язку рівнянь динаміки**

Розрахунок швидкостей вузлів КЕ при здійсненні розрахунку з використанням явного метода інтегрування динамічних рівнянь реалізується із застосуванням виразу [88 – 90]:

$$\mathbf{v}^{n+0.5} = (\mathbf{u}^{n+1} - \mathbf{u}^n) / \Delta t^{n+0.5} \Rightarrow \mathbf{u}^{n+1} = \mathbf{u}^n + \Delta t^{n+0.5} \mathbf{v}^{n+0.5} \quad (3.17)$$

Переміщення вузлів КЕ розраховуються із застосуванням виразу:

$$\mathbf{x}^{n+1} = \mathbf{x}^0 + \mathbf{u}^{n+1} \quad (3.18)$$

Базовим виразом для розрахунку прискорень вузлів КЕ за умов виконання апроксимації похідних за часом за методом кінцевих різниць є вираз:

$$\mathbf{a}^n = (\mathbf{v}^{n+0.5} - \mathbf{v}^{n-0.5}) / \Delta t^n \Rightarrow \mathbf{v}^{n+0.5} = \mathbf{v}^{n-0.5} + \Delta t^n \mathbf{a}^n \quad (3.19)$$

При здійсненні розрахунку з використанням записаних вище виразів рівняння (3.11) набуває вигляду:

$$\mathbf{M} \mathbf{a}^n = \mathbf{F}^n; \quad \mathbf{F}^n = \sum_{e=1}^{en} (\mathbf{F}_e^{ext} - \mathbf{F}_e^{int}) \quad (3.20)$$

Прискорення вузлів КЕ розраховується під час розв'язання системи лінійних алгебраїчних рівнянь методом обернення матриці  $\mathbf{M}$ :

$$\mathbf{a}^n = \mathbf{M}^{-1} \mathbf{F}^n. \quad (3.21)$$

Часовий крок на даному етапі розраховується із застосуванням числа Куранта-Фрідрікса-Леві, що обчислюється за виразом:

$$\Delta t \leq \Delta t_{crit} = \min \frac{l_e}{c_e}, \quad (3.22)$$

де  $c_e$  – величина, одержана за формулою:

$$c_e = \sqrt{E_e / \rho_e};$$

$l_e$  – просторовий крок побудованої сітки кінцевих елементів.

### Основні відомості щодо типу та кінцевих елементів.

Для моделювання поведінки мінераловатного облицювання застосовується масивні гексаедричні KE типу SOLID із вісьма вузлами. Геометрична схема даного елемента наведена на рис. 3.2.

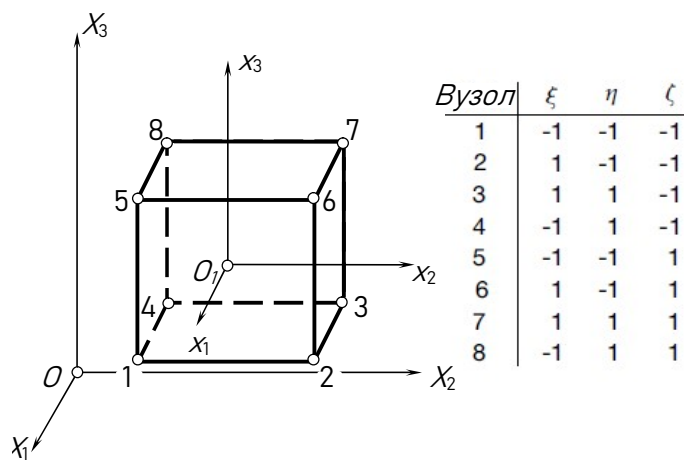


Рис. 3.2. Геометрія кінцевого елемента гексаедричного кінцевого елемента типу SOLID із вісьма вузлами.

Для даного KE рівняння для визначення координат вузлів форми (3.16) записується як:

$$x_i(\mathbf{X}, t) = \bar{x}_i(\mathbf{X}(\xi, \eta, \zeta), t) = \sum_{j=1}^8 \phi_j(\xi, \eta, \zeta) x_i^j(t), \quad (3.23)$$

де  $\phi_j$  – параметрична функція форми для  $j$ -того вузла, що для KE даного типу обчислюється за формулою:

$$\phi_j = 0.125(1 + \xi\xi_j)(1 + \eta\eta_j)(1 + \zeta\zeta_j), \quad (3.24)$$

Параметри  $\xi_j, \eta_j, \zeta_j$  приймаються згідно зі схемою на рис. 4.6.

Для даного типу КЕ інтерполяційна матриця записується через вираз:

$$\mathbf{N}(\xi, \eta, \zeta) = \begin{bmatrix} \phi_1 & 0 & 0 & \phi_2 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & \phi_1 & 0 & 0 & \phi_2 & \dots & \phi_8 & 0 \\ 0 & 0 & \phi_1 & 0 & 0 & \dots & 0 & \phi_8 \end{bmatrix}, \quad (3.25)$$

Вектор напружень записується через вираз:

$$\boldsymbol{\sigma} = (\sigma_x \quad \sigma_y \quad \sigma_z \quad \tau_{xy} \quad \tau_{yz} \quad \tau_{zx})^T \quad (3.26)$$

КЕ типу оболонки Беличко-Цая (Беличко-Ліна-Цая) [88, 89] базується на описанні процесу динамічної взаємодії у даному КЕ на комбінацію обертання та лінійного зміщення точок разом із деформуванням. Ефективність застосування такого елемента досягається при математичному спрощенні як результат двох даних кінематичних припущень при введенні локальної системи координат, пов'язаної із КЕ даного типу. Швидкість деформації пов'язується із тензором напружень Коши, що дозволяє уникнути складностей при врахуванні нелінійності процесу деформування.

Для формулювання основних геометричних та силових співвідношень у КЕ типу оболонки Беличко-Цая вводиться локальна система координат  $(\hat{x}, \hat{y}, \hat{z})$ , орти якої  $\hat{\mathbf{e}}_1, \hat{\mathbf{e}}_2, \hat{\mathbf{e}}_3$  визначаються згідно із схемою на рис. 3.3 [88, 89].

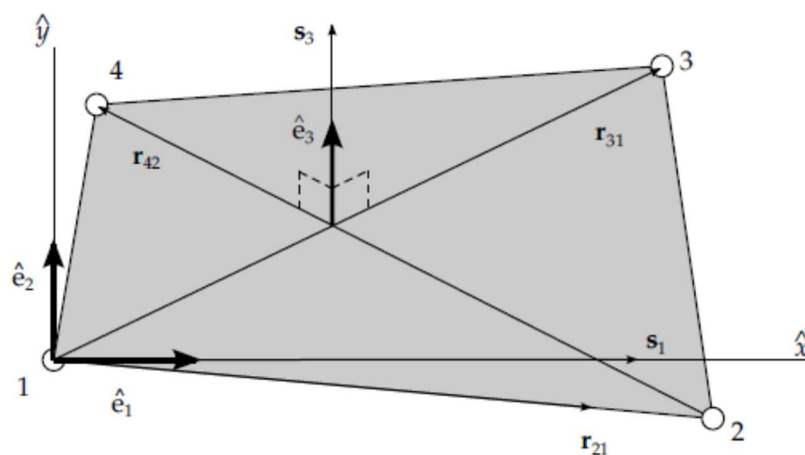


Рис. 3.3. Схема геометричних параметрів КЕ типу чотирьохвузлової оболонки Беличко-Цая.



Для описання основних співвідношень для КЕ типу оболонки Беличко-Цая використовується теорія Міндліна [88,89]. Згідно із цією теорією швидкість будь-якої точки, належної до КЕ даного типу визначається за виразом:

$$\mathbf{v} = \mathbf{v}^m - \hat{z}\mathbf{e}_3 \times \boldsymbol{\theta}, \quad (3.27)$$

де  $\mathbf{v}^m$  – вектор швидкості серединної точки КЕ;

$\hat{z}$  – координата точки вздовж відповідної вісі локальної системи координат;

$\boldsymbol{\theta}$  – вектор кутової швидкості

#### Математична модель для описання контактної взаємодії.

На рис. 3.5 подана схема контактної взаємодії двох твердих деформованих тіл при їх дотику в умовах зштовхування, або взаємного проникнення.

Припускається, що дані два тіла приходять до контакту за відсутності абсолютно твердих тіл, що вводяться у окремих випадках для спрощення розрахунку.

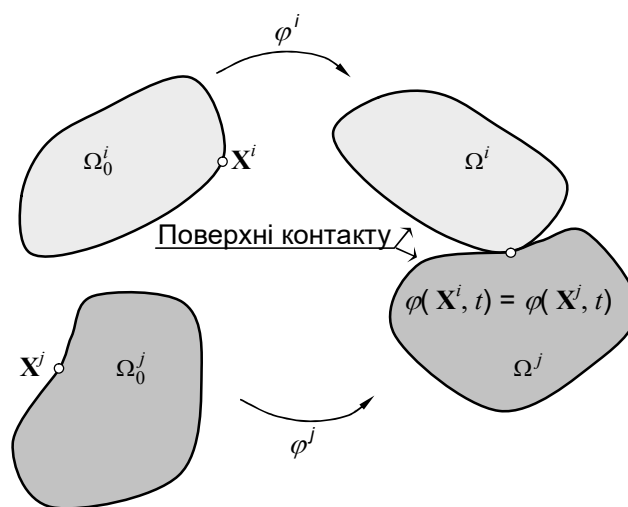


Рис. 3.4. Схема контактної взаємодії двох твердих деформованих тіл.

При фіксуванні моменту коли розпочинається контактна взаємодія тіл перевіряється виконання умови Герца-Синьоріні-Мора [88 – 90]:

$$g \geq 0, \lambda \geq 0, g\lambda \geq 0, \quad (3.28)$$

де  $g$  – параметр зазору, що визначається за формулою:

$$g(\mathbf{x}^i, t) = (\mathbf{x}^i - \mathbf{x}^j)^T \mathbf{n}. \quad (3.29)$$

Схема позначень геометричних параметрів контактуючих тіл подана на рис. 3.5.

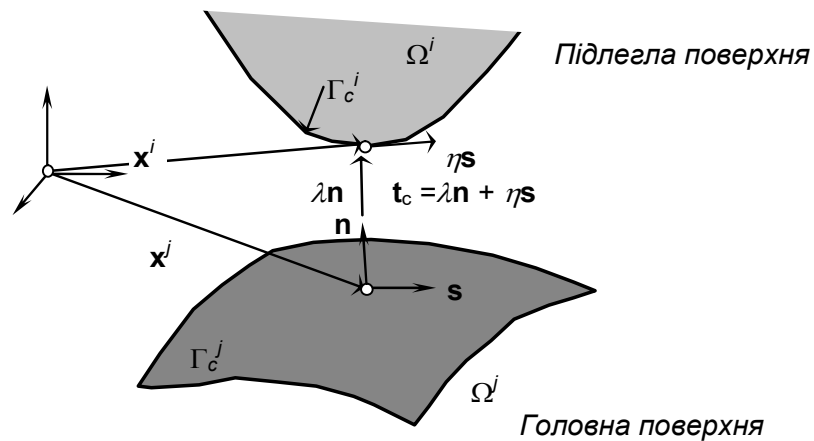


Рис. 3.5. Схема визначення геометричних параметрів контакту.

Для врахування сил тертя при контактній взаємодії застосовується закон Кулона в узагальненій формі. Причому величина тангенціальної швидкості визначається як

$$\dot{u}(\mathbf{x}^i, t) = (\dot{\mathbf{u}}^i - \dot{\mathbf{u}}^j)^T \mathbf{s}. \quad (3.30)$$

Узагальнена форма закону Кулона має вигляд виразу:

$$\begin{cases} |\tau| \leq 1 \\ \text{якщо } |\tau| < 1 \text{ приймається } \dot{u} = 0 \\ \text{при } |\tau| < 1 \text{ приймається } \text{sign}(\dot{u}) = \text{sign}(\tau) \end{cases} \quad (3.31)$$

Параметр  $\tau$  визначається за виразом:

$$\tau = \frac{\eta}{\mu\lambda}, \quad (3.32)$$

де  $\mu$  - коефіцієнт опору тертя.

Для математичного описання контакту між поверхнями КЕ застосовується метод штрафних функцій та метод множення Лагранжа [88, 89]. Для сегменту поверхні, який міститься між чотирма вузлами використовується послідовність процедур, викладена нижче.

1. Виділяється пара «підлеглий вузол – головний сегмент КЕ поверхні тіла з виконанням умови положенні проекції підлеглого вузла на головний сегмент у першому або четвертому квадранті локальної системи координат, встановленої на головному сегменті. Дана проекція вузла на сегмент визначається як контактна точка, а відстань між підлеглим вузлом та контактною точкою називається проекційною відстанню. При взаємному розгляді вузла та сегменту площа останнього збільшується на незначну величину (біля 2%) для забезпечення надійності обчислень за контактним алгоритмом.

2. Обчислюються координати контактної точки у локальній системі координат, пов'язаної із головним сегментом.

3. Визначається проекційна відстань у локальній системі головного сегменту.

4. За умови коли проекційна відстань набуває негативного значення, його сприймають як глибину проникнення і за цим значенням обчислюється сила, яка впливає на підлеглий вузол за формулою [88, 89]:

$$f_s = K_c \cdot \delta \quad (3.33)$$

де  $f_s$  – контактна сила, що діє у контактній точці;

$K_c$  – контактна жорсткість;

$\delta$  - глибина проникнення.

5. У вузлах головного сегменту обчислюються контактні сили за функцією форми КЕ, що залежать положення точки контакту у локальній системі координат сегменту. Вирази для обчислення функції форми наведені нижче [88, 89].

$$f_m^i = N_i(\xi, \eta) \cdot f_s \quad \text{де} \quad \begin{cases} N_1 = 0.25(1 + \xi)(1 + \eta) \\ N_2 = 0.25(1 + \xi)(1 - \eta) \\ N_3 = 0.25(1 - \xi)(1 + \eta) \\ N_4 = 0.25(1 - \xi)(1 - \eta) \end{cases} \quad (3.34)$$

Контактна жорсткість обчислюється за виразом:

$$K_c = \frac{f_s A^2 k}{V_e} \quad (3.35)$$

де  $f_s$  – величина штрафного фактору

$A$  – площа головного сегменту;

$k$  – об'ємний модуль пружності;

$V_e$  – об'єм КЕ до якого прилеглий даний сегмент

### 3.3. Математична модель системи рефюдж-болард.

На рис. 3.6 представлена геометрична схема системи рефюдж-болард.

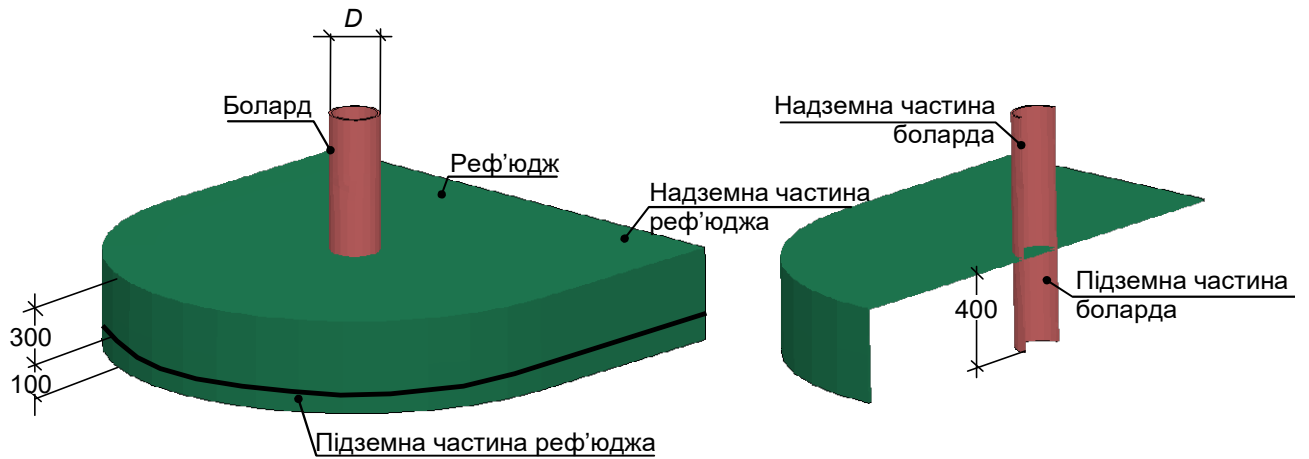


Рис. 3.6 Геометрична схема системи рефюдж-болард.

Для розрахунку використовуються чотири типи даних систем. При цьому варіюється діаметр та товщина труби боларда, а також висота надземної частини. У табл. 3.1 подані геометричні характеристики системи рефюдж-болард різних типів [86].

Таблиця 3.1

### Конструктивні параметри систем рефюдж-болард

Товщина надземної частини рефюджа, мм	Товщина підземної частини рефюджа, мм	Діаметр боларда, $D$ , мм	Товщина стінки боларда, $\delta$ , мм	Глибина підземної частини боларада, мм
1 тип				
300	100	108	4	400
2 тип				
300	100	159	8	400
3 тип				
300	100	203	10	400
4 тип				
300	100	273	10	400

Як вказано у п. 3.1 рефюдж представляється як абсолютно тверде тіло, а болард представляється як тверде тіло де врахована геометрична та фізична нелінійність з можливістю виникнення великих деформацій, пластичних деформацій та руйнування окремих елементів при досягненні граничних

значень деформацій. Закон деформування описується відповідною діаграмою типу білінійної діаграми Прандтля [88 – 90]. Основні параметри матеріалу наведені у табл. 3.2.

Таблиця 3.2

### Механічні характеристики сталі боларда

Клас міцності	Коефіцієнт Пуасона	Модуль упр., ГПа	Межа текуч., МПа	Густина, кг/м <sup>3</sup>	Гранична деформація	Швидкість деф.
C 255	0.3	210	255	7850	0.15	Модель Купера-Сімондса

Враховуючи основні положення та припущення, викладені у п. 3.1 було сформовано розрахункову схему, в яка враховує призначені матеріали з номенклатури програмного середовища LS-Dyna. Крім цього, на розрахунковій схемі відображено прикладені механічні в'язі та обмеження. Побудована розрахункова схема подана на рис. 3.7.

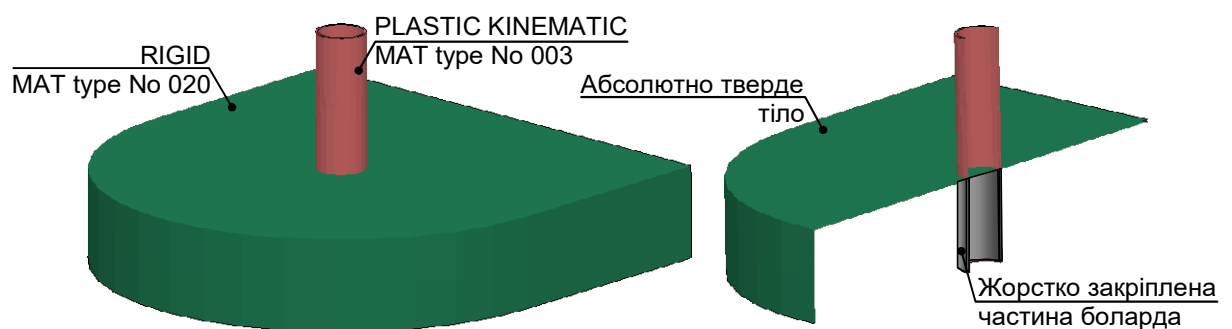


Рис. 3.7 Розрахункова схема системи рефюдж-болард.

З врахуванням викладених у п. 3.1 положень щодо розрахунку та розрахункової схеми на рис. 3.7. було побудовано кінцево-елементну схему системи рефюдж-болард. На кінцево-елементній схемі, яка наведена на рис. 3.8 показані також прикладені за граничні умови.

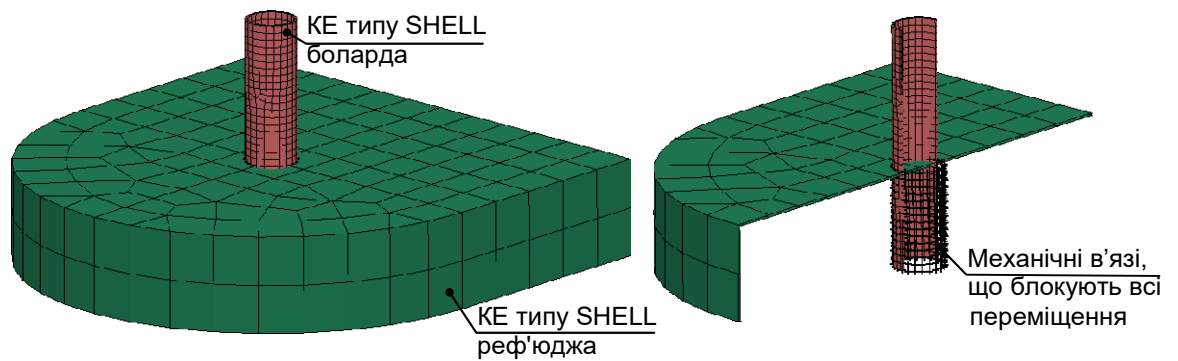


Рис. 3.8 Типова кінцево-елементна схема системи рефюдж-болард із прикладеними граничними умовами.

Як видно із схеми на рис. 3.8 на всі частини математичної моделі системи рефюдж-болард була накладена сітка із планарних кінцевих елементів (КЕ) типу SHELL. У табл. 3.3 наведені основні кількісні параметри сіткових моделей типів систем рефюдж-болард, які досліджуються.

Таблиця 3.3

### Параметри кінцево-елементної моделі системи рефюдж-болард

Частина моделі	Мінімальний розмір, мм	Максимальний розмір, мм	Кільк.
1 тип			
Рефюдж	55	175	384
Болард	24	30	170
Загальна кількість кінцевих елементів:			554
2 тип			
Рефюдж	54	175	578
Болард	21	30	170
Загальна кількість кінцевих елементів:			748
3 тип			
Рефюдж	58	175	733
Болард	25	30	170
Загальна кількість кінцевих елементів:			903
4 тип			
Рефюдж	61	175	986
Болард	26	30	170
Загальна кількість кінцевих елементів:			1156

Розміри КЕ були обґрунтовані виходячи із міркувань співвідношення точності обчислень та продуктивністю процедури розрахунку.

### 3.4. Математичні моделі автомобілів та їхньої взаємодії із дорожнім покриттям та системою рефюдж-болард

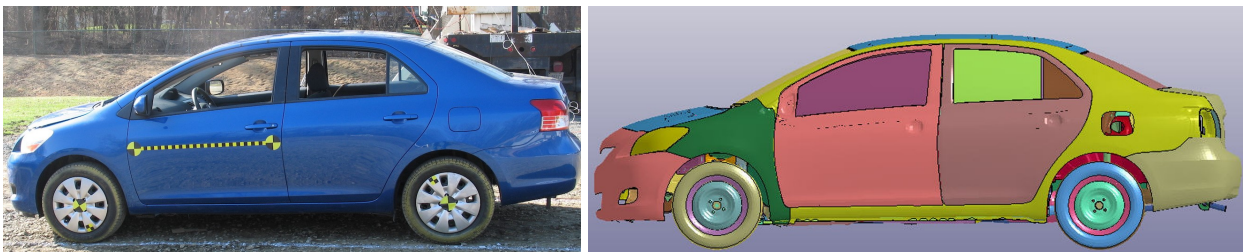
Як вказано у п. 3.1, для вивчення впливу на систему рефюдж-болард в умовах зіткнення із автомобілем застосовуються математичні моделі реальних автомобілів різної маси та конструкції. Для цього автомобілі вибиралися за критерієм маси. Таким чином було встановлено три типи автомобілів із відповідною масою. В табл. 3.4 подані існуючі марки автомобілів із відповідними їм параметрами [91 – 93].

Таблиця 3.4

#### Параметри автомобілів вибраних марок для моделювання їх зіткнення із системами рефюдж-болард

Марка автомобіля	Рік випуску	Маса, кг	Габарити, мм×мм×мм
Toyota Yaris (хетчбек 4 дв.)	2010	1090	3885×1695×1510
Chevrolet Silverado (пікап 4 дв.)	2007	2622	6132×2062×1915
Large ADS “T-Pod” (vehicle concept)	2016 (концепт)	4172	6222×2102×3353

На рис. 3.9 наведені зображення автомобіля Toyota Yaris (хетчбек 4 дв.) та його конструктивна схема де різним кольором позначені окремі частини математичної моделі автомобіля, відповідні його вузлам та окремим деталям [92].



а.

б.

Рис. 3.9. Зображення автомобіля Toyota Yaris (хетчбек 4 дв.) (а) та його геометричне відтворення (б).



Математична модель автомобіля Toyota Yaris має точну деталізацію всіх елементів [92]. На рис. 3.10 показане деталізоване зображення елементів, які входять у математичну модель.

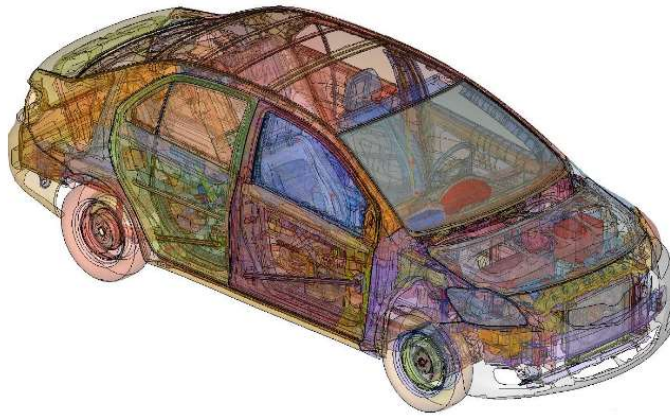


Рис. 3.10. Деталізоване зображення автомобіля Toyota Yaris.

У табл. 3.5 вказаний набір моделей матеріалів з номенклатури системи LS-Dyna для відтворення властивостей частин моделі автомобіля Toyota Yaris [92].

Таблиця 3.5

**Моделі матеріалів для відтворення властивостей частин моделі  
автомобіля Toyota Yaris**

Модель матеріалу	Частина мат. моделі	Особливості та призначення матеріалу
ELASTIC No001	Другорядні невеликі деталі	Допускаються тільки пружні деформації
PLASTIC KINEMATIC No003	Деталі, що піддаються пластичній деформації	Враховується фізична та геометрична нелінійність, допускаються великі та пластичні деформації
BLATZ-KO RUBBER No007	Гумові деталі	Гіпереластичний матеріал
RIGID No020	Деталі, що імітують додаткову вагу	Абсолютно тверде тіло
PIECEWISE LINEAR PLASTICITY No024	Деталі, що піддаються суттєвим пластичним деформаціям	Враховується фізична та геометрична нелінійність, допускаються великі та пластичні деформації
SPOTWELD No123	Зварювальні шви	Фізична та геометрична нелінійність для зварювальних з'єднань

Основні дані щодо компонентів математичної моделі автомобіля Toyota Yaris наведені у табл. 3.6 та табл. 3.7.

Таблиця 3.6

**Дані щодо кінцевих елементів математичної моделі автомобіля  
Toyota Yaris**

Кількість частин	Кількість вузлів	Кількість елементів типу SOLID	Кількість елементів типу SHELL	Кількість елементів типу BEAM	Кількість елементів типу JOINT
919	393165	15234	358457	4685	19

Таблиця 3.7

**Дані щодо компонентів математичної моделі автомобіля Toyota  
Yaris**

З'єднань балок	Жорстких вузлів	Наборів додаткових вузлів	З'єднань вузлів	Абсолютно твердих тіл	Зварних з'єднань
4685	759	20	44	2	2828

На рис. 3.11 показана кінцево-елементна схема автомобіля Toyota Yaris.

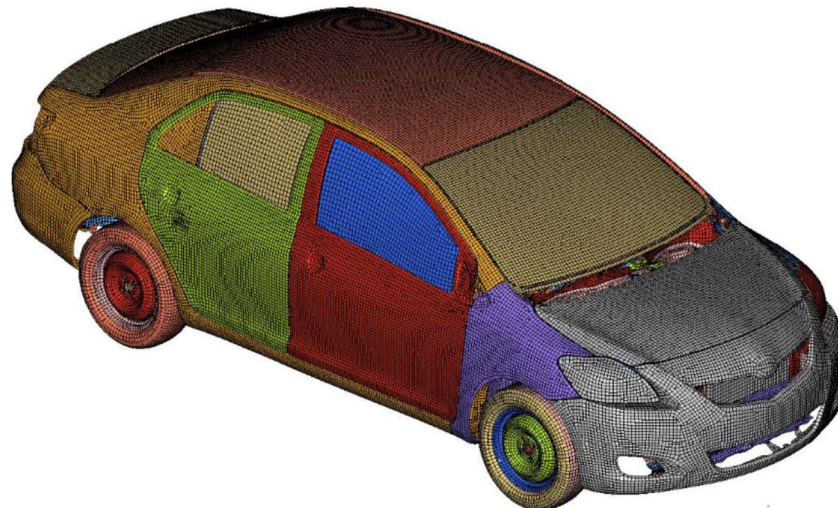


Рис. 3.11. Кінцево-елементна модель автомобіля Toyota Yaris.

На рис. 3.12 показана схема з'єднань частин математичної моделі автомобіля Toyota Yaris.

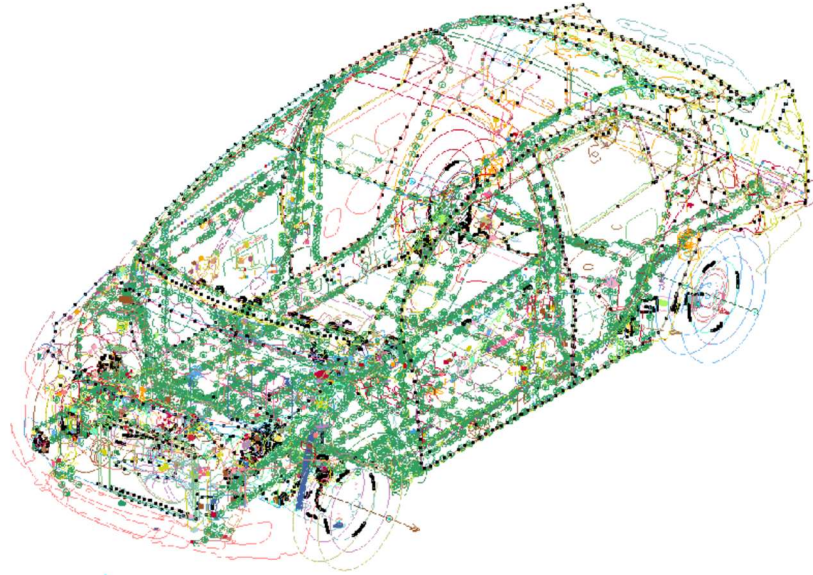


Рис. 3.12. Схема з'єднань математичної моделі автомобіля Toyota Yaris.

Загальна схема де зображені кінцево-елементні моделі автомобіля Toyota Yaris і системи рефюдж-болард наведена на рис. 3.13.

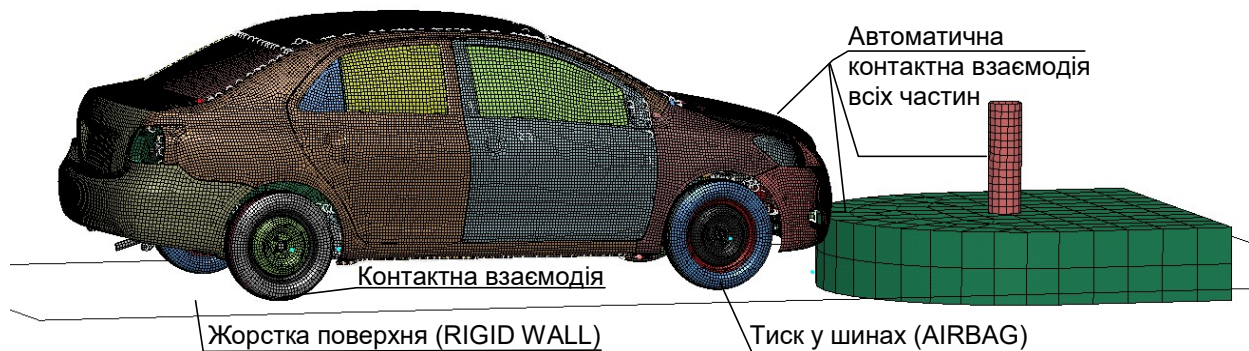


Рис. 3.13 Загальна кінцево-елементна схема системи рефюдж-болард і автомобіля Toyota Yaris.

На рис. 3.14 наведені зображення автомобіля Chevrolet Silverado (пікап 4 дв.) та його конструктивна схема де різним кольором позначені окремі частини математичної моделі автомобіля, відповідні його вузлам та окремим деталям [16, 93].

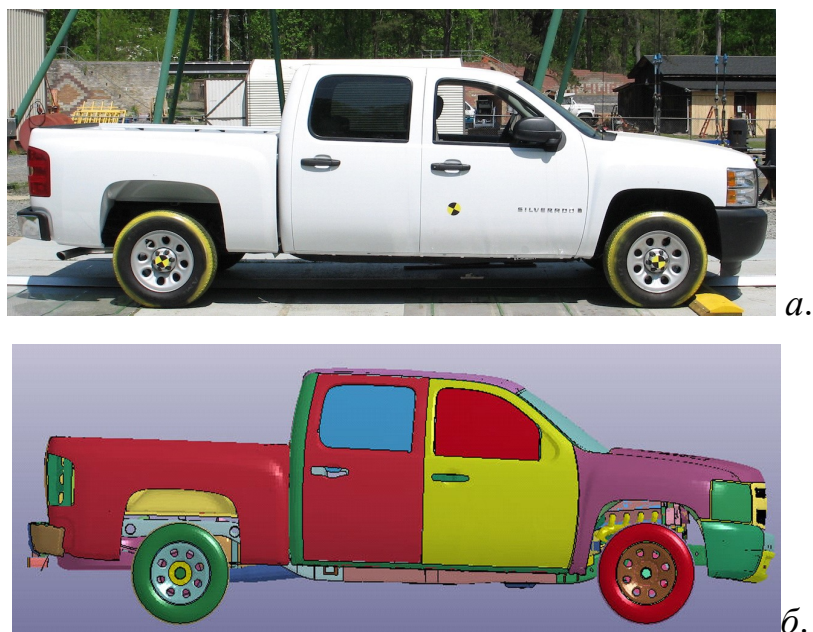


Рис. 3.14. Зображення автомобіля Chevrolet Silverado (пікап 4 дв.) (а) та його геометричне відтворення (б).

На рис. 3.15 показане деталізоване зображення елементів, які входять у математичну модель.

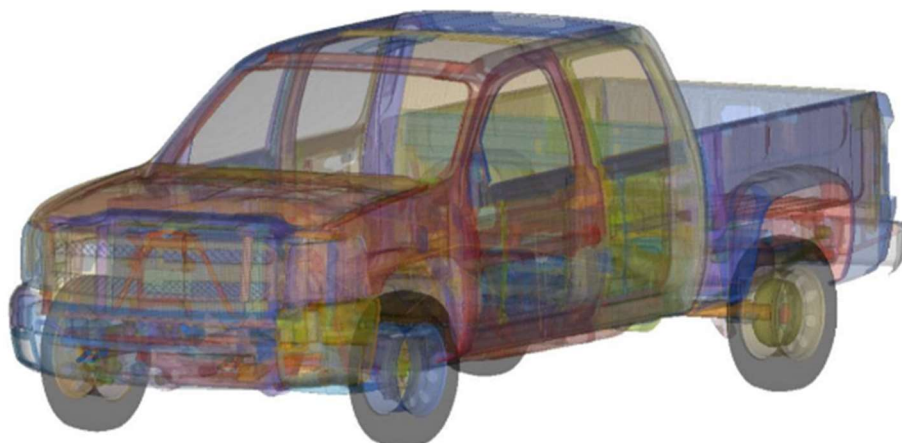


Рис. 3.15. Деталізоване зображення автомобіля Chevrolet Silverado.

Математичні моделі матеріалів з номенклатури системи LS-Dyna, які використані для відтворення властивостей частин моделі автомобіля Chevrolet Silverado наведені у табл. 3.5.

Основні дані щодо компонентів математичної моделі автомобіля Chevrolet Silverado наведені у табл. 3.8 та табл. 3.9.

Таблиця 3.8

**Дані щодо кінцевих елементів математичної моделі автомобіля  
Chevrolet Silverado**

Кількість частин	Кількість вузлів	Кількість елементів типу SOLID	Кількість елементів типу SHELL	Кількість елементів типу BEAM	Кількість елементів типу JOINT
721	979598	53294	907067	3113	40

Таблиця 3.9

**Дані щодо компонентів математичної моделі автомобіля Chevrolet  
Silverado**

З'єднань балок	Жорстких вузлів	Наборів додаткових вузлів	З'єднань вузлів	Абсолютно твердих тіл	Зварних з'єднань
2825	709	46	54	4	7136

На рис. 3.16 показана кінцево-елементна схема автомобіля Chevrolet Silverado.

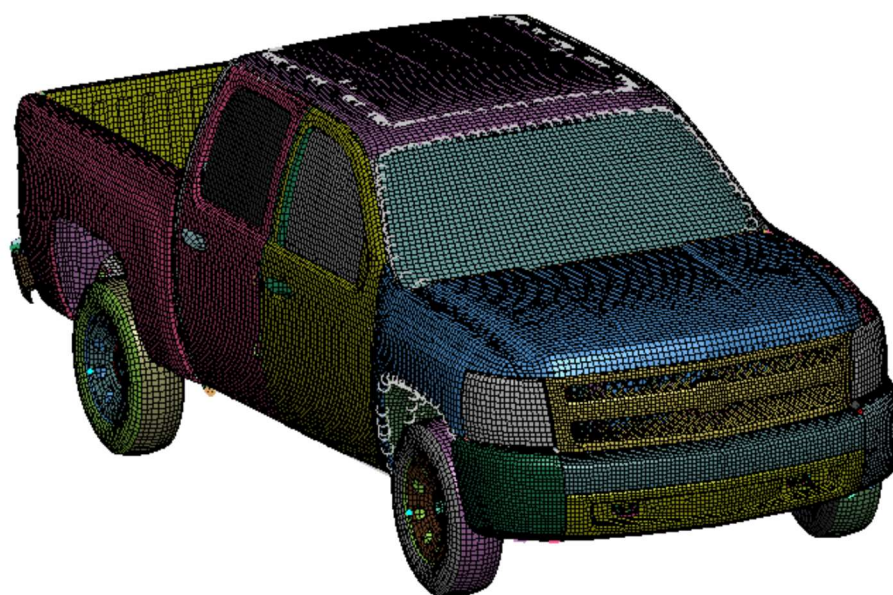


Рис. 3.16. Кінцево-елементна модель автомобіля Chevrolet Silverado.

На рис. 3.17 показана схема з'єднань частин математичної моделі автомобіля Chevrolet Silverado.

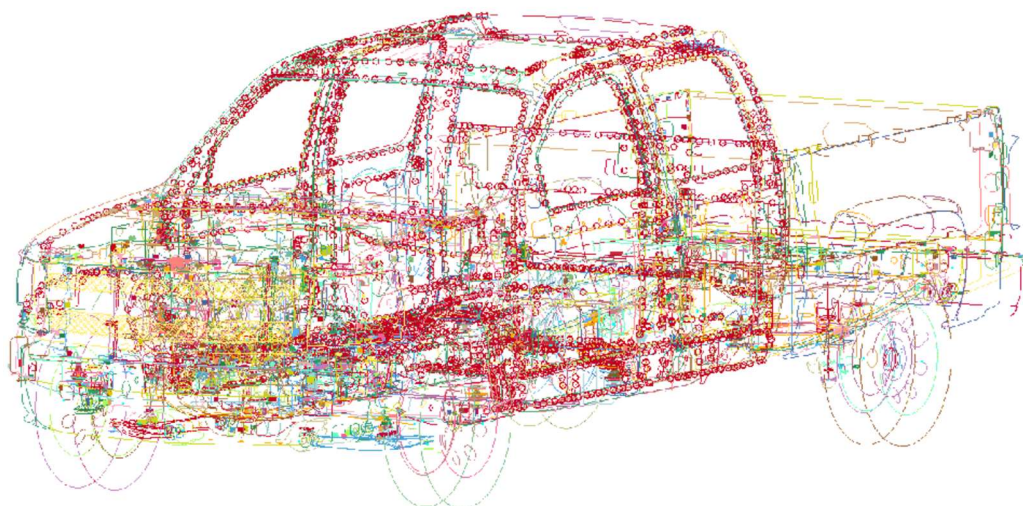


Рис. 3.17. Схема з'єднань математичної моделі автомобіля Chevrolet Silverado.

Загальна схема де зображені кінцево-елементні моделі автомобіля Chevrolet Silverado і системи рефюдж-болард наведена на рис. 3.18.

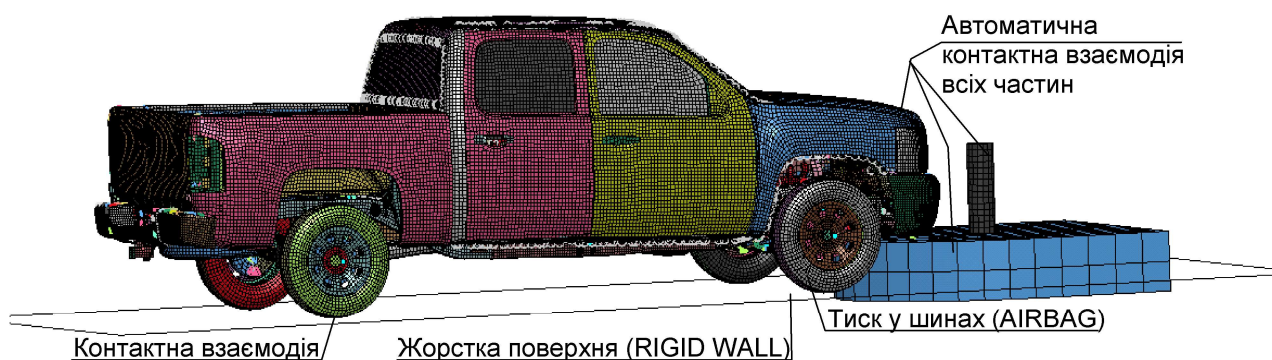


Рис. 3.18 Загальна кінцево-елементна схема системи рефюдж-болард і автомобіля Chevrolet Silverado.

На рис. 3.19 наведені зображення автомобіля Large ADS “T-Pod” (vehicle concept) та його конструктивна схема де різним кольором позначені окремі частини математичної моделі автомобіля, відповідні його вузлам та окремим деталям [93].

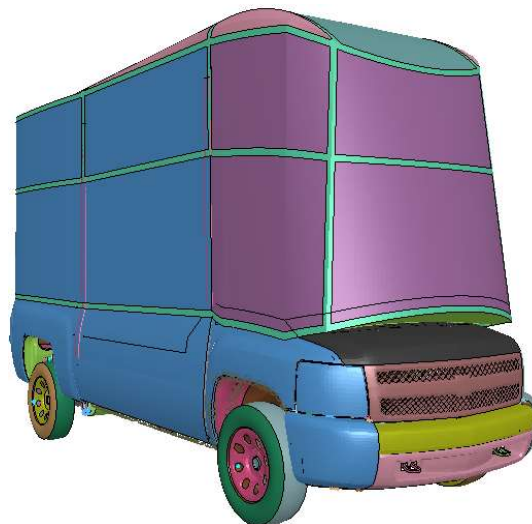
*а.**б.*

Рис. 3.19. Зображення автомобіля Large ADS “T-Pod” (vehicle concept) (*а*) та його геометричне відтворення (*б*).

На рис. 3.20 показане деталізоване зображення елементів, які входять у математичну модель.

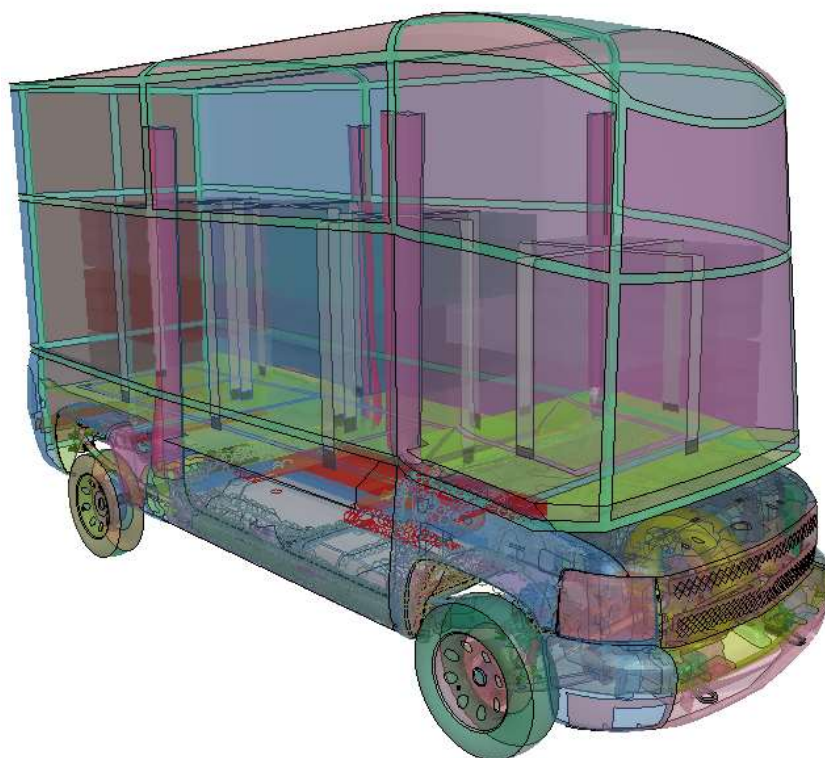


Рис. 3.20. Деталізоване зображення автомобіля Large ADS “T-Pod” (vehicle concept).

Математичні моделі матеріалів з номенклатури системи LS-Dyna, які використані для відтворення властивостей частин моделі автомобіля Large ADS “T-Pod” наведені у табл. 3.5.

Основні дані щодо компонентів математичної моделі автомобіля Large ADS “T-Pod” наведені у табл. 3.10 та табл. 3.11.

Таблиця 3.10

**Дані щодо кінцевих елементів математичної моделі автомобіля  
Large ADS “T-Pod”**

Кількість частин	Кількість вузлів	Кількість елементів типу SOLID	Кількість елементів типу SHELL	Кількість елементів типу BEAM	Кількість елементів типу JOINT
414	311978	4899	301752	1515	31



Таблиця 3.11

**Дані щодо компонентів математичної моделі автомобіля Large ADS  
“Т-Pod”**

З'єднань балок	Жорстких вузлів	Наборів додаткових вузлів	З'єднань вузлів	Абсолютно твердих тіл	Зварних з'єднань
2146	287	8	33	13	3224

На рис. 3.21 показана кінцево-елементна схема автомобіля Large ADS “Т-Pod”.



Рис. 3.21. Кінцево-елементна модель автомобіля Large ADS “Т-Pod”.

На рис. 3.22 показана схема з'єднань частин математичної моделі автомобіля Large ADS “Т-Pod”.

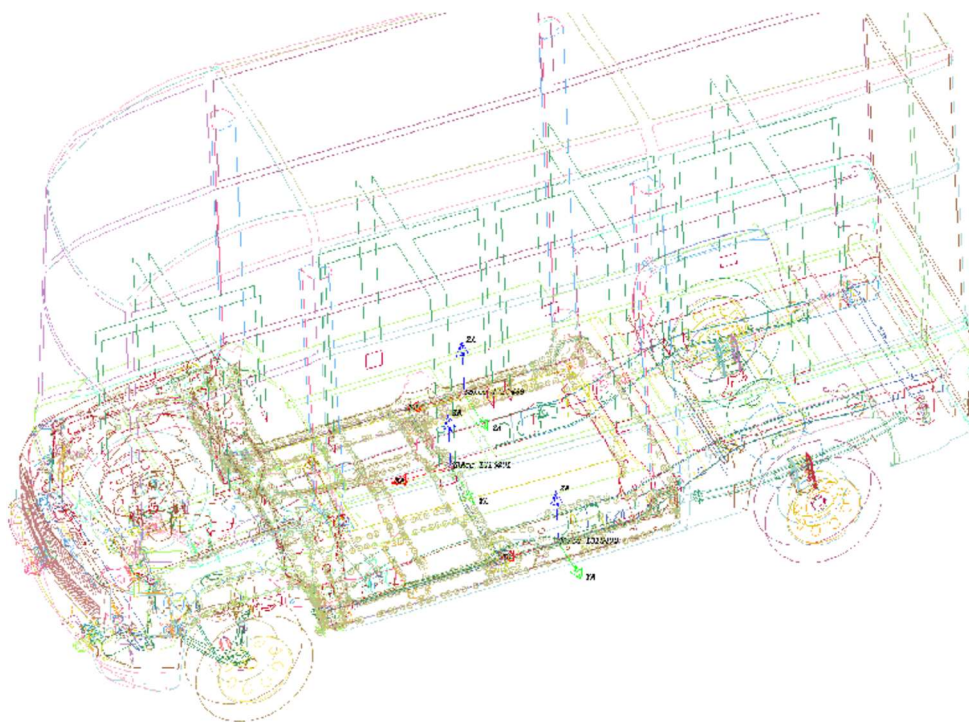


Рис. 3.22. Схема з'єднань математичної моделі автомобіля Large ADS "T-Pod".

Загальна схема де зображені кінцево-елементні моделі автомобіля Large ADS "T-Pod" і системи рефюдж-болард наведена на рис. 3.23.

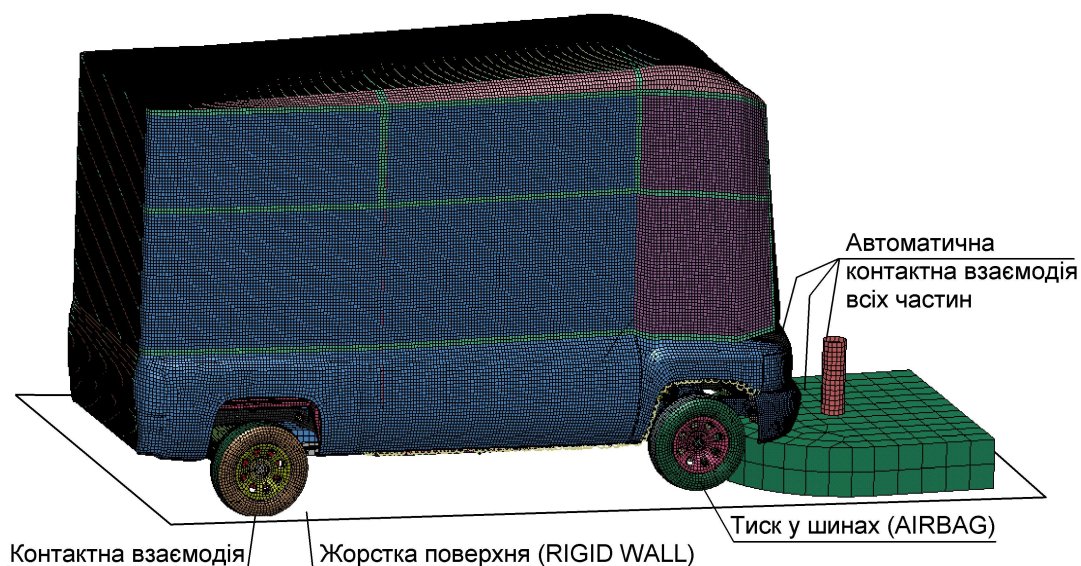


Рис. 3.23 Загальна кінцево-елементна схема системи рефюдж-болард і автомобіля Large ADS "T-Pod".

Окрім конструктивних параметрів системи рефюдж-болард та автомобілів при зіткненні також важливим є параметр швидкості. При зіткненні враховується швидкість руху автомобілів а також швидкість обертального руху коліс. У табл. 3.11 наведені варійовані параметри швидкості руху автомобілів та обертання коліс.

Таблиця 3.11

**Дані щодо кінематичних характеристик автомобілів при зіткненні**

Toyota Yaris					Chevrolet Silverado					Large ADS "T-Pod"							
Швидкість поступального руху автомобіля, км/год																	
10	20	30	50	70	90	10	20	30	50	70	90	10	20	30	50	70	90
Кутова швидкість руху коліс автомобіля, м <sup>1</sup>																	
9.2	18.3	27.5	45.8	64.2	82.5	7.1	14.2	21.3	35.5	49.7	63.9	7.1	14.2	21.3	35.5	49.7	63.9

**3.5. Результати математичного моделювання зіткнення автомобілів із системами рефюдж-болард**

Варіюючи конструктивні дані систем рефюдж-болард, автомобілів та їхні кінематичні характеристики, було встановлено кількість експериментальних ситуацій, які вказані у табл. 3.12.

Таблиця 3.12

**Дані щодо варіювання параметрів при математичному моделюванні зіткнення автомобілів із системами рефюдж-болард**

Марка автомобіля (маса, кг)	Діаметр боларда, мм/ Товщина стінки боларда, мм	Швидкість автомобілів при зіткненні, км/год

Toyota Yaris (найменша маса)	Chevrolet Silverado (середня маса)	Large ADS " T-Rod (найбільша маса)	4	8	10	10	10	20	30	50	70	90
1090	2622	4172	108	159	203	273						

Використовуючи різні комбінації конструктивних та кінематичних параметрів було проведено 72 числових експерименти у результаті яких визначено комбінації що призводять до порушення функції обмеження руху автомобіля системою рефюдж-болард.

На рис. 3.24 показані зображення випадків зіткнень із порушенням функції обмеження руху автомобіля Toyota Yaris системою рефюдж-болард.

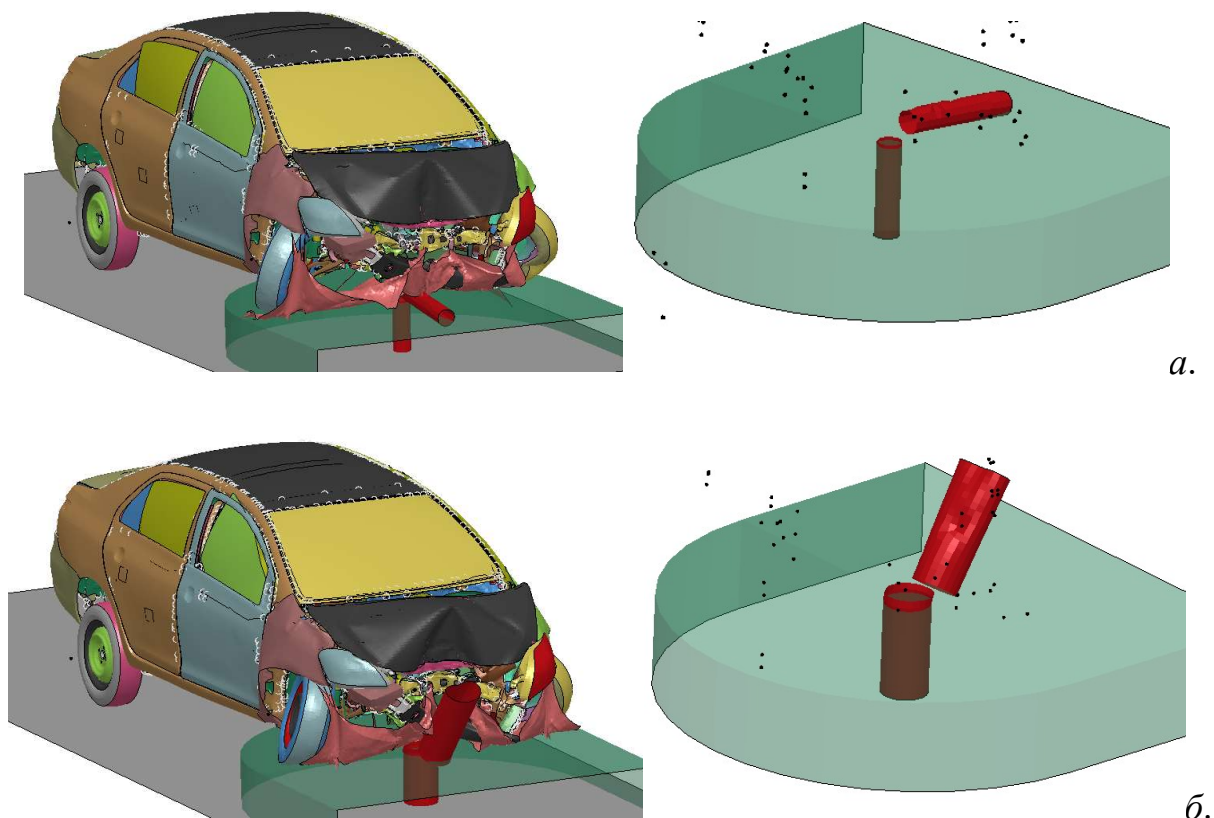


Рис. 3.24. Зображення зіткнень із порушенням обмеження руху автомобіля Toyota Yaris системою рефюдж-болард: *а* – діаметр боларда 108 мм, швидкість 70 км/год; *б* – діаметр боларда 203 мм, швидкість 90 км/год.

Зображення на рис. 3.24 дозволяють описати механізм втрати здатності боларда обмежувати рух автомобіля, який полягає у тому, що згин його консольної частини призводить до розділення боларда на частини, що дозволяє автомобілю просунути у обмежену болардом зону.

Для більш детального аналізу були побудовані графіки зміни переміщення та швидкості задньої частини автомобіля Toyota Yaris у поздовжньому напрямку. Побудовані графіки наведені на рис. 3.25.

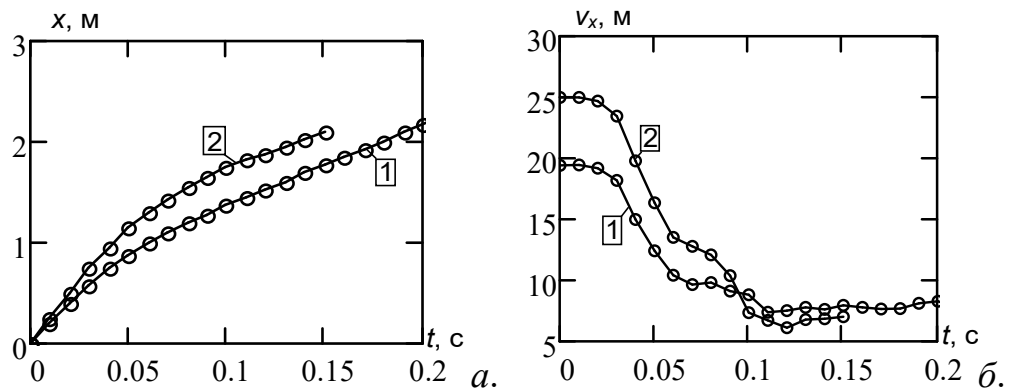


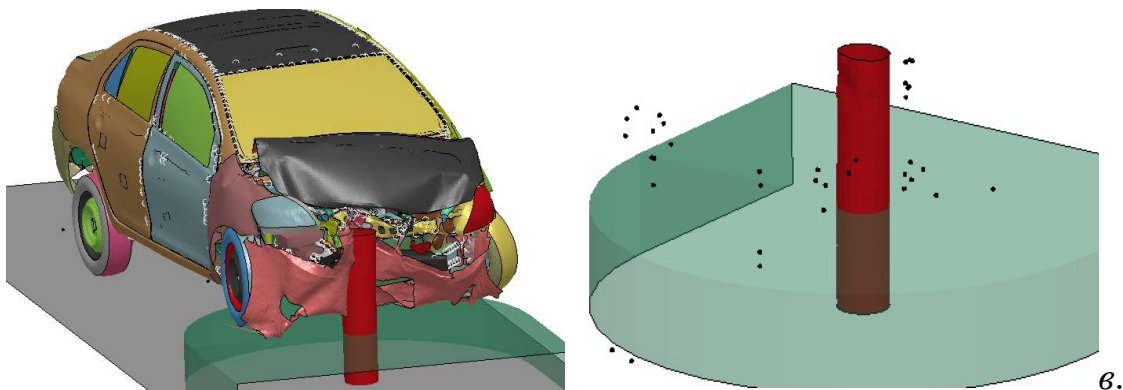
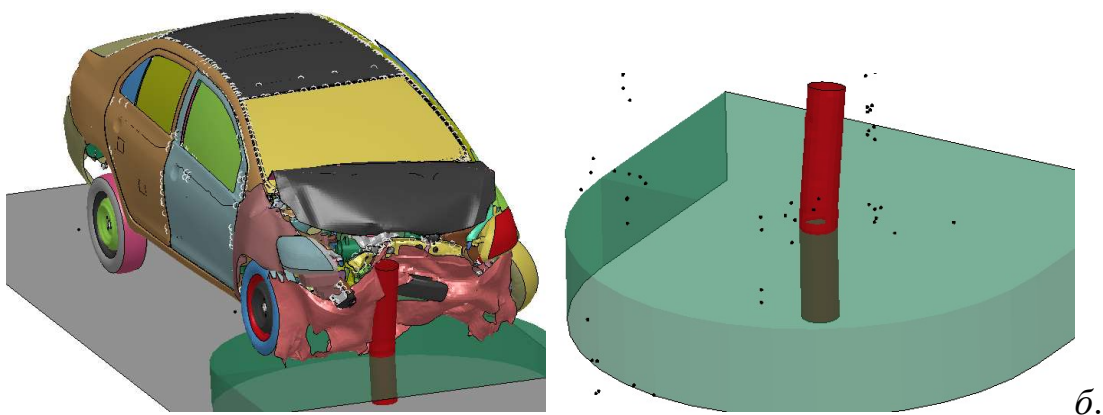
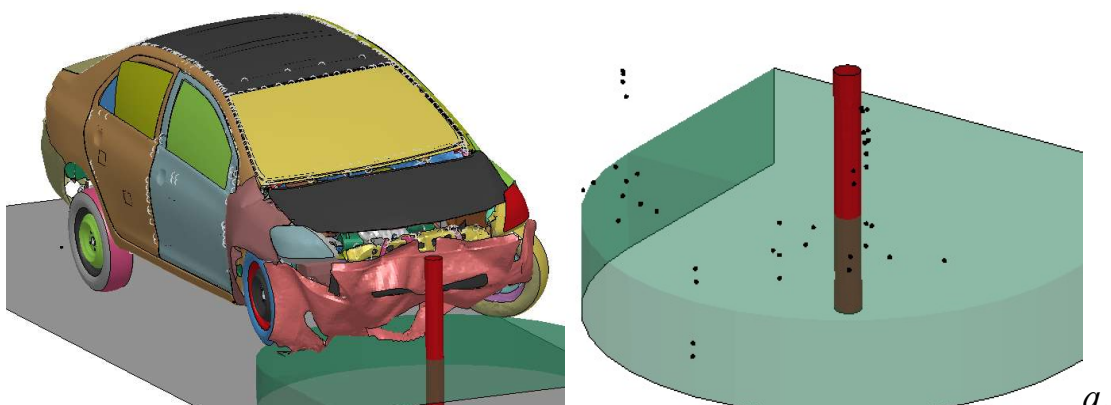
Рис. 3.25. Графіки зміни переміщення (а) та швидкості (б) задньої частини автомобіля Toyota Yaris у поздовжньому напрямку: 1 – діаметр боларда 108 мм, швидкість 70 км/год; 2 – діаметр боларда 203 мм, швидкість 90 км/год.

Графіки при параметрах коли діаметр боларда складає 159 мм, а швидкість 90 км/год має подібний вигляд і накладаються на графіки 2 рис. 3.25.

Аналізуючи наведені графіки, слід зазначити, що вони підтверджують висновок про втрату здатності боларда обмежувати рух автомобіля, оскільки видно, що переміщення автомобіля поступово зростає, а швидкість має додатне значення, це значить що автомобіль не зупиняється а його швидкість після просування за зону захисту боларда складає близько 8-9 м/с або 28.8 - 32.4 км/год. Це у свою чергу показує високу небезпеку автомобіля, який рухається для пішоходів та транспортних засобів. Таким чином, можна зафіксувати, що у випадку коли діаметр боларда 108 мм, швидкість 70 км/год;

діаметр боларда від 159 мм, 203 мм, а швидкість 90 км/год відбувається втрата здатності системи рефюдж-болард обмежувати рух автомобіля

На рис. 3.26 показані зображення випадків зіткнень коли порушення функції обмеження руху автомобіля Toyota Yaris системою рефюдж-болард не спостерігалось. Такий висновок робився за спостереженням руху автомобіля та поведінки боларда. Якщо рух автомобіля блокувався, а болард не розділявся на окремі частини, то вважалось, що порушення функції обмеження руху автомобіля Toyota Yaris системою рефюдж-болард не спостерігалось.



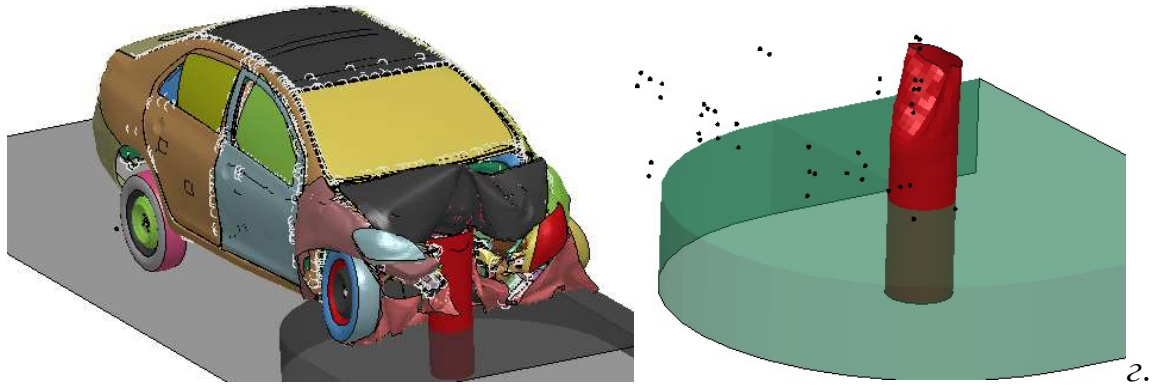


Рис. 3.26. Зображення зіткнень без порушення обмеження руху автомобіля Toyota Yaris системою рефюдж-болард: *a* – діаметр боларда 108 мм, швидкість 50 км/год; *б* – діаметр боларда 159 мм, швидкість 70 км/год; *в* – діаметр боларда 203 мм, швидкість 90 км/год; *г* – діаметр боларда 273 мм, швидкість 90 км/год.

Аналізуючи зображення на рис. 3.26 можна зазначити, що не дивлячись на помітну пластичну деформацію, а в деяких випадках часткового руйнування втрати обмеження руху автомобіля Toyota Yaris системою рефюдж-болард не відбувається, тобто автомобіль із заданими кінематичними характеристиками блокується системою рефюдж-болард із даними конструктивними параметрами

Для більш детального аналізу були побудовані графіки зміни переміщення та швидкості задньої частини автомобіля Toyota Yaris у поздовжньому напрямку. Побудовані графіки наведені на рис. 3.27.

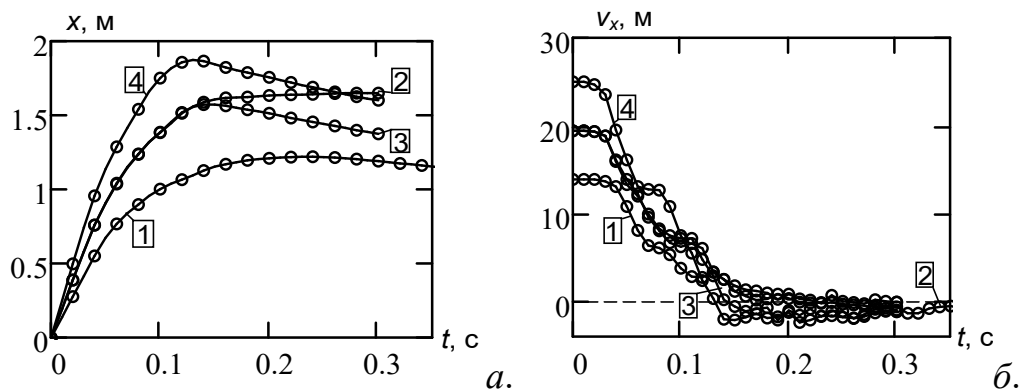


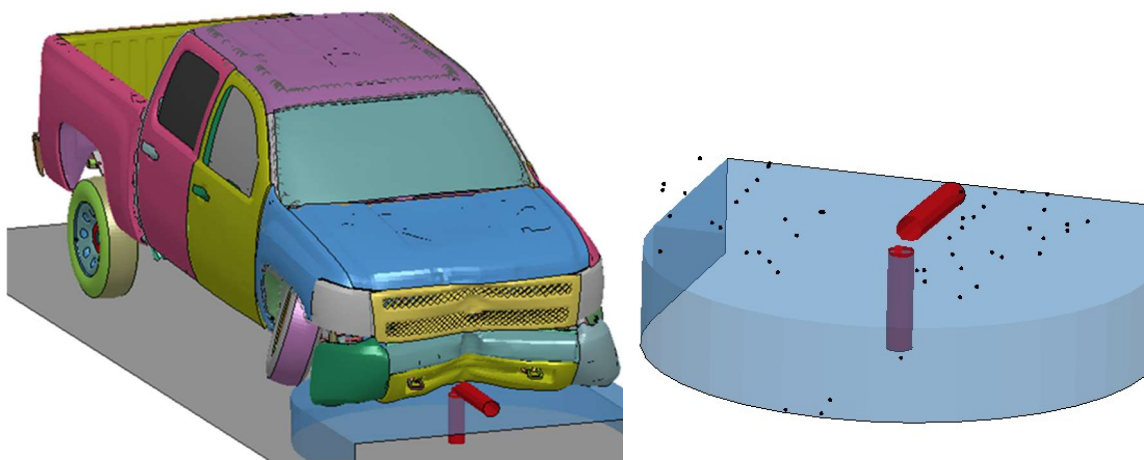
Рис. 3.27. Графіки зміни переміщення (*a*) та швидкості (*б*) задньої частини автомобіля Toyota Yaris у поздовжньому напрямку: 1 – діаметр боларда 108 мм, швидкість 50 км/год; 2 – діаметр боларда 159 мм, швидкість 70 км/год; 3 –

діаметр боларда 203 мм, швидкість 70 км/год; 4 – діаметр боларда 273 мм, швидкість 90 км/год.

Графіки, наведені на рис. 3.27 мають подібний вигляд і накладаються одне на одного.

Аналізуючи наведені графіки, слід зазначити, що вони підтверджують висновок про відсутність втрати здатності боларда обмежувати рух автомобіля, оскільки видно, що переміщення автомобіля поступово зростають, а потім зменшуються. При цьому швидкість спочатку має додатне значення, а потім від'ємне чи нульове значення. Це свідчить, що автомобіль зупиняється а його просування за зону захисту боларда блокується. Це у свою чергу показує, що система рефюдж-болард забезпечує безпеку пішоходів та транспортних засобів у випадку зіткнення автомобіля типу Toyota Yaris і автомобілів із меншою масою з болардом. Таким чином, можна зафіксувати, що у випадку коли діаметр боларда 103 мм, швидкість 50 км/год; діаметр боларда від 159 мм, 203 мм, швидкість 70 км/год; діаметр боларда 273 мм і швидкість 90 км/год втрати здатності боларда обмежувати рух автомобіля не відбувається.

На рис. 3.28 показані зображення випадків зіткнень із порушенням функції обмеження руху автомобіля Chevrolet Silverado системою рефюдж-болард.



*a.*



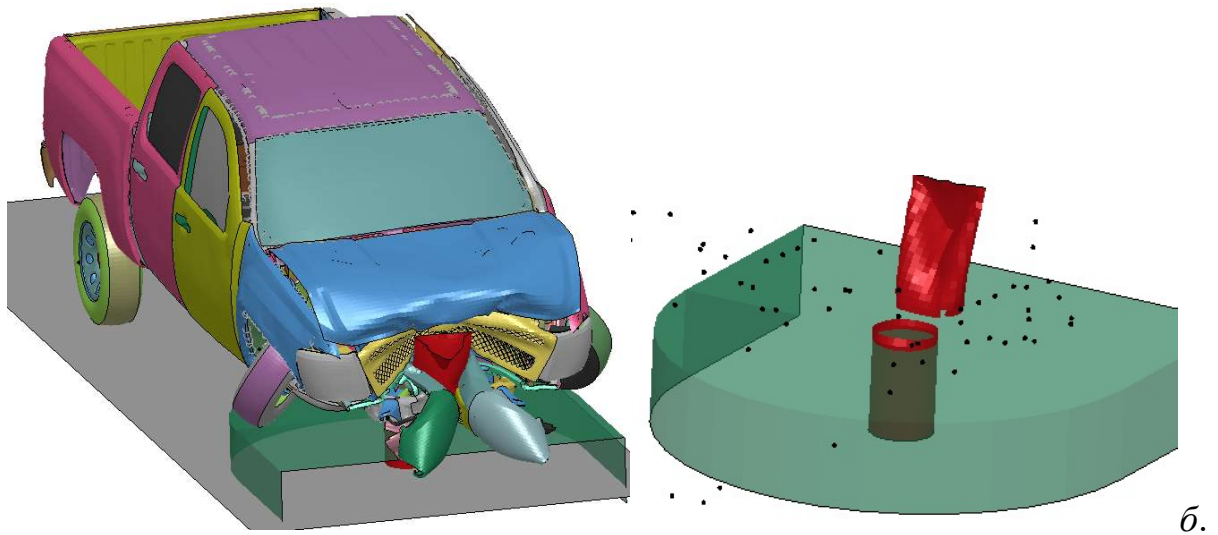


Рис. 3.28. Зображення зіткнень із порушенням обмеження руху автомобіля Chevrolet Silverado системою рефюдж-болард: *a* – діаметр боларда 108 мм, швидкість 50 км/год; *б* – діаметр боларда 273 мм, швидкість 90 км/год.

Для більш детального аналізу були побудовані графіки зміни переміщення та швидкості задньої частини автомобіля Chevrolet Silverado у поздовжньому напрямку. Побудовані графіки наведені на рис. 4.28.

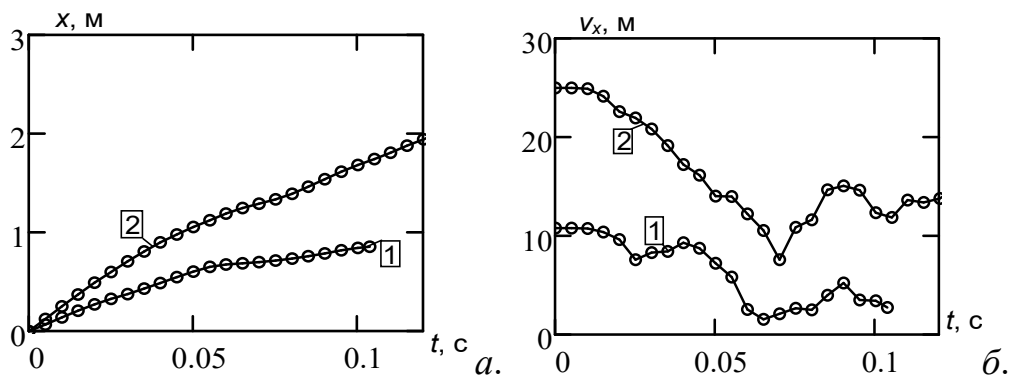


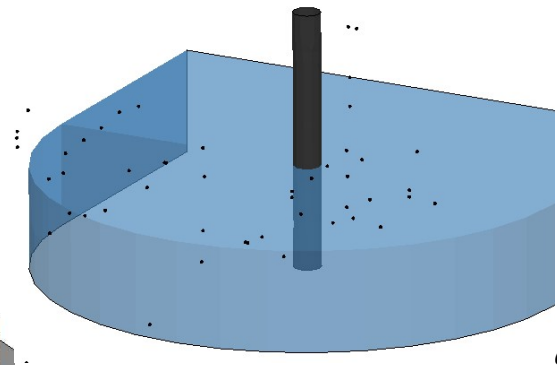
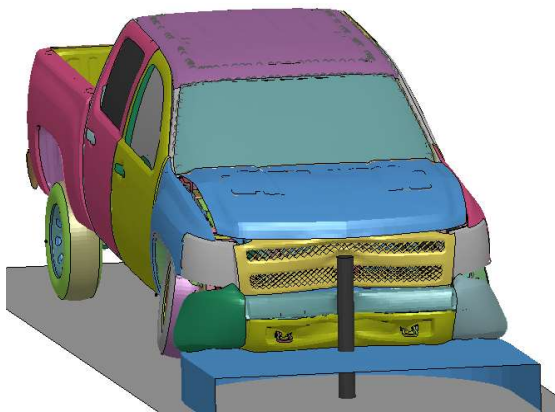
Рис. 3.29. Графіки зміни переміщення (*a*) та швидкості (*б*) задньої частини автомобіля Chevrolet Silverado у поздовжньому напрямку: 1 – діаметр боларда 108 мм, швидкість 50 км/год; 2 – діаметр боларда 273 мм, швидкість 90 км/год.

Графіки переміщень та швидкостей при параметрах коли діаметр боларда складає 159 мм та 203 мм, а швидкість відповідно 70 км/год мають подібний вигляд рис. 3.29.

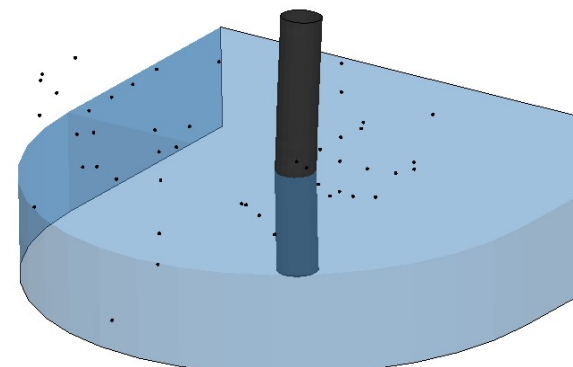
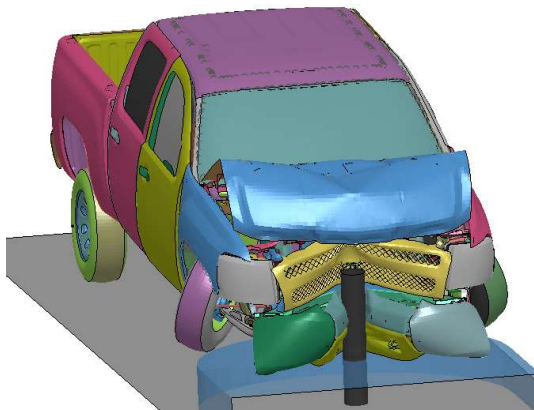
Аналізуючи наведені графіки на рис 3.29, слід зазначити, що вони підтверджують висновок про втрату здатності боларда обмежувати рух

автомобіля, оскільки видно, що переміщення автомобіля поступово зростає, а швидкість має додатне значення, це значить що автомобіль не зупиняється а його швидкість після просування за зону захисту боларда знаходиться у діапазоні від 4-14 м/с або 15-50.4 км/год. Це показує високу небезпеку автомобіля для пішоходів та транспортних засобів. Тож можна зафіксувати, що у випадку коли діаметр боларда 108 мм і швидкість 50 км/год; діаметр боларда 159 мм, 203 мм і швидкість 70 км/год, діаметр боларда 273 мм і швидкість 90 км/год відбувається втрата здатності системи рефюдж-болард обмежувати рух автомобіля.

На рис. 3.30 показані зображення випадків зіткнень коли порушення функції обмеження руху автомобіля Chevrolet Silverado системою рефюдж-болард не спостерігалось. Такий висновок робився за спостереженням руху автомобіля та поведінки боларда. Якщо рух автомобіля блокувався, а болард частково розділявся на окремі частини, то вважалось, що порушення функції обмеження руху автомобіля Chevrolet Silverado системою рефюдж-болард не спостерігалось.



а.



б.

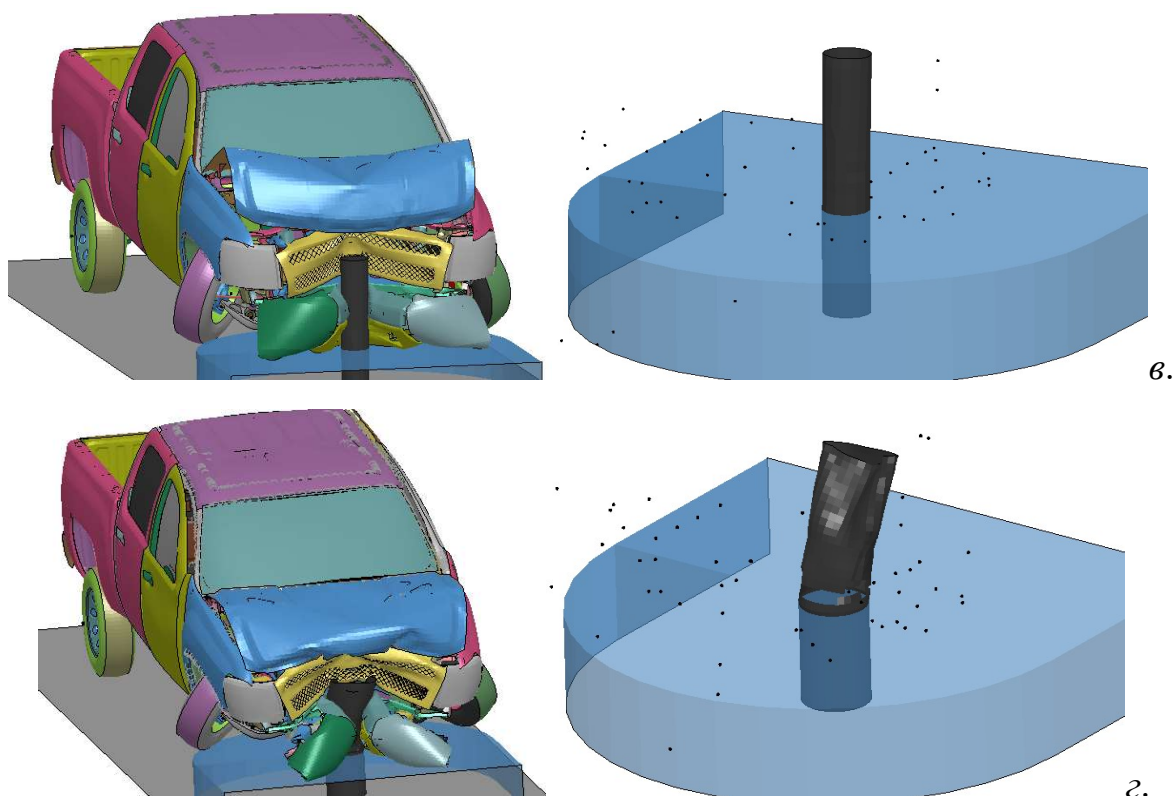


Рис. 3.30. Зображення зіткнень без порушення обмеження руху Chevrolet Silverado системою рефюдж-болард: *а* – діаметр боларда 108 мм, швидкість 30 км/год; *б* – діаметр боларда 159 мм, швидкість 50 км/год; *в* – діаметр боларда 203 мм, швидкість 50 км/год; *г* – діаметр боларда 273 мм, швидкість 70 км/год.

Аналізуючи зображення на рис. 3.30 можна зазначити, що не дивлячись на помітну пластичну деформацію, а в деяких випадках часткового руйнування втрати обмеження руху автомобіля Chevrolet Silverado системою рефюдж-болард не відбувається, тобто автомобіль із заданими кінематичними характеристиками блокується системою рефюдж-болард із даними конструктивними параметрами

Для більш детального аналізу були побудовані графіки зміни переміщення та швидкості задньої частини автомобіля Chevrolet Silverado у поздовжньому напрямку. Побудовані графіки наведені на рис. 3.31.

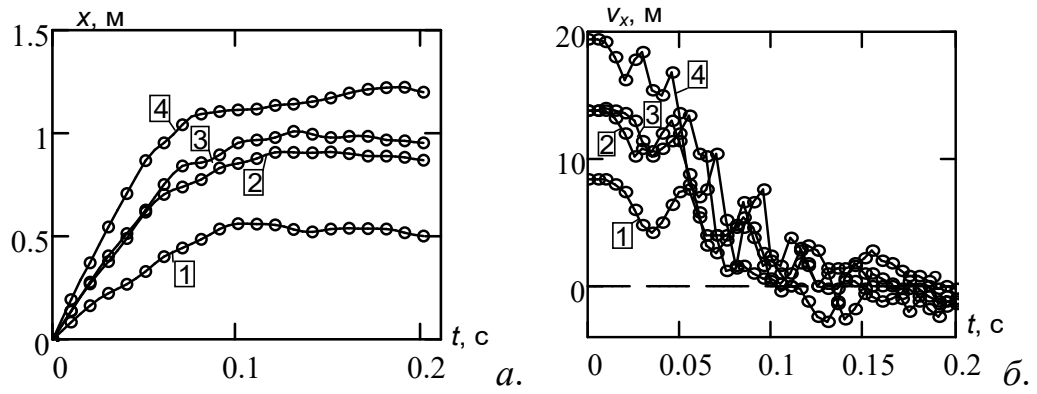


Рис. 3.31. Графіки зміни переміщення (а) та швидкості (б) задньої частини автомобіля Chevrolet Silverado у поздовжньому напрямку: 1 – діаметр боларда 108 мм, швидкість 30 км/год; 2 – діаметр боларда 159 мм, швидкість 50 км/год; 3 – діаметр боларда 203 мм, швидкість 50 км/год; 4 – діаметр боларда 273 мм, швидкість 70 км/год.

Графіки, наведені на рис. 3.31 мають подібний вигляд і накладаються одне на одного.

Аналізуючи наведені графіки, слід зазначити, що вони підтверджують висновок про відсутність втрати здатності боларда обмежувати рух автомобіля, оскільки видно, що переміщення автомобіля поступово зростають, а потім зменшуються. При цьому швидкість спочатку має додатне значення, а потім від'ємне чи нульове значення. Це свідчить, що автомобіль зупиняється а його просування за зону захисту боларда блокується. Це у свою чергу показує, що система рефюдж-болард забезпечує безпеку пішоходів та транспортних засобів у випадку зіткнення автомобіля типу Chevrolet Silverado і автомобілів із меншою масою з болардом. Таким чином, можна зафіксувати, що у випадку коли діаметр боларда 103 мм і швидкість 30 км/год; діаметр боларда 159 мм, 203 мм і швидкість 50 км/год; діаметр боларда 273 мм і швидкість 70 км/год втрати здатності боларда обмежувати рух автомобіля не відбувається.

На рис. 3.32 показані зображення випадків зіткнень із порушенням функції обмеження руху автомобіля Large ADS “Т-Pod” системою рефюдж-болард.

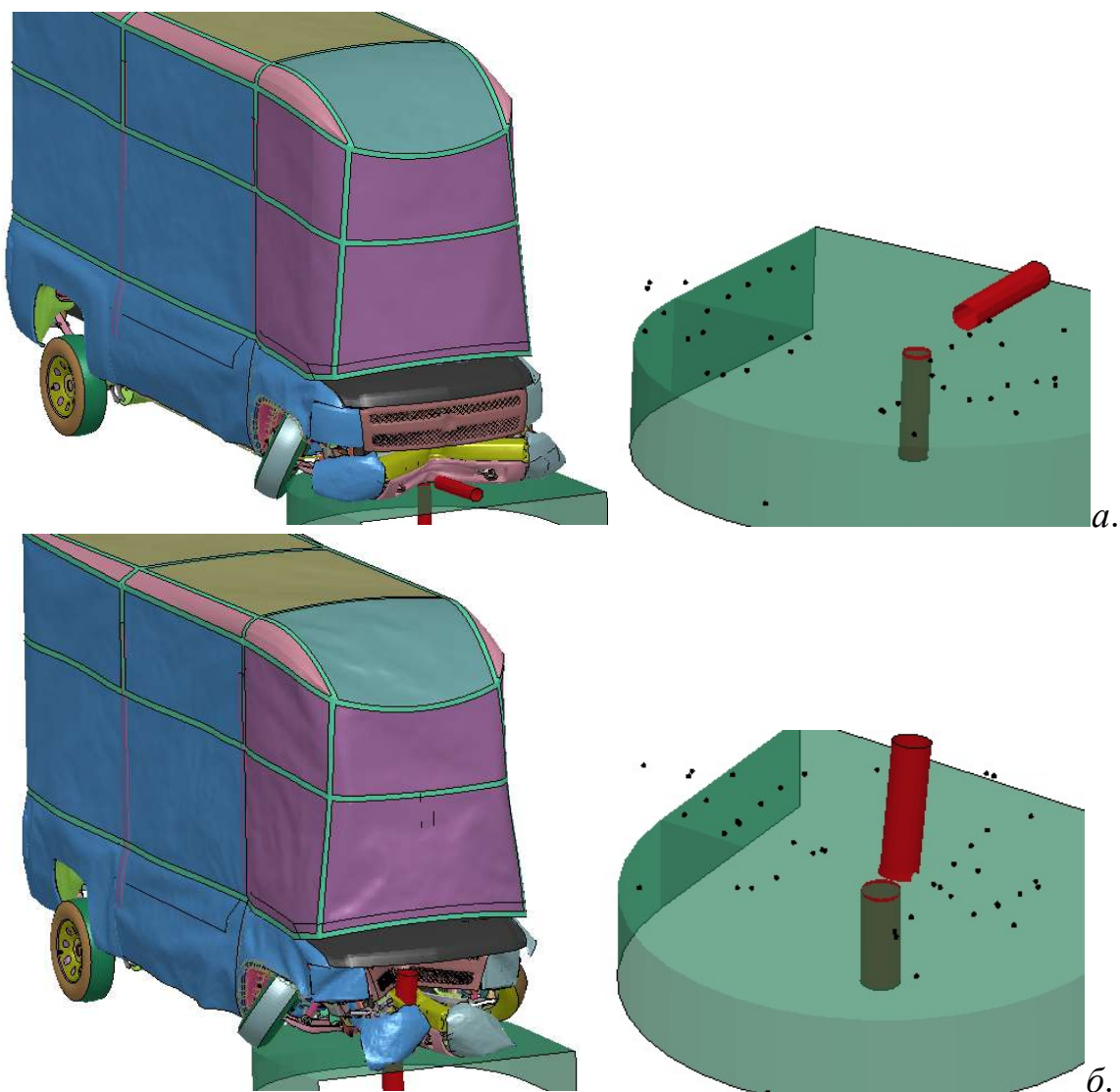


Рис. 3.32. Зображення зіткнень із порушенням обмеження руху автомобіля Large ADS “Т-Pod” системою рефюдж-болард: *а* – діаметр боларда 108 мм, швидкість 30 км/год; *б* – діаметр боларда 159 мм, швидкість 50 км/год.

Для більш детального аналізу були побудовані графіки зміни переміщення та швидкості задньої частини автомобіля Large ADS “Т-Pod” у поздовжньому напрямку. Побудовані графіки наведені на рис. 3.33.

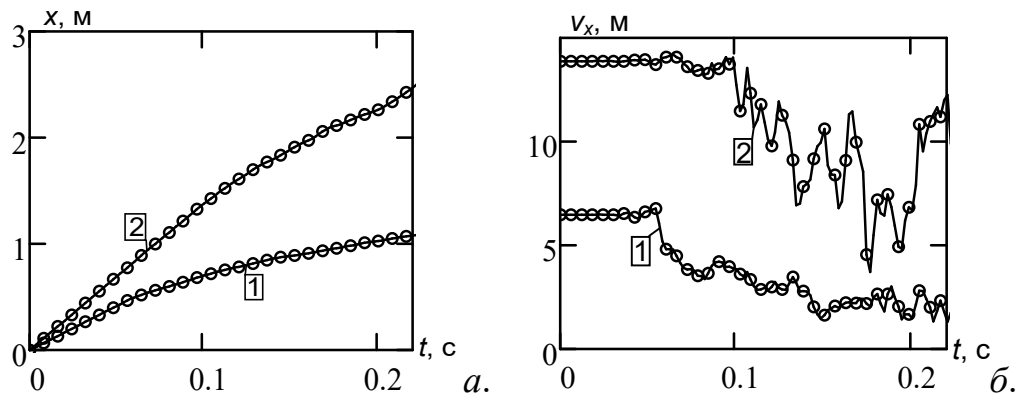


Рис. 3.33. Графіки зміни переміщення (а) та швидкості (б) задньої частини автомобіля Large ADS “Т-Pod” у поздовжньому напрямку: 1 – діаметр боларда 108 мм, швидкість 30 км/год; 2 – діаметр боларда 273 мм, швидкість 50 км/год.

Графіки переміщень та швидкостей при параметрах коли діаметр боларда складає 203 мм та 273 мм, а швидкість відповідно 70 км/год мають подібний вигляд до графіків, представлених на рис. 3.33.

Аналізуючи наведені графіки на рис 4.32, слід зазначити, що вони підтверджують висновок про втрату здатності боларда обмежувати рух автомобіля, оскільки видно, що переміщення автомобіля поступово зростає, а швидкість має додатне значення, це значить що автомобіль не зупиняється а його швидкість після просування за зону захисту боларда знаходиться у діапазоні від 2.5-12 м/с або 9-43.2 км/год. Це показує високу небезпеку автомобіля для пішоходів та транспортних засобів. Тож можна зафіксувати, що у випадку коли діаметр боларда 108 мм і швидкість 30 км/год; діаметр боларда 159 мм і швидкість 30 км/год, 203 мм і швидкість 70 км/год, діаметр боларда 273 мм і швидкість 70 км/год відбувається втрата здатності системи рефюдж-болард обмежувати рух автомобіля.

На рис. 3.34 показані зображення випадків зіткнень коли порушення функції обмеження руху автомобіля Large ADS “Т-Pod” системою рефюдж-болард не спостерігалось. Такий висновок робився за спостереженням руху автомобіля та поведінки боларда. Якщо рух автомобіля блокувався, а болард частково розділявся на окремі частини, то вважалось, що порушення функції

обмеження руху автомобіля Large ADS “Т-Род” системою рефюдж-болард не спостерігалося.

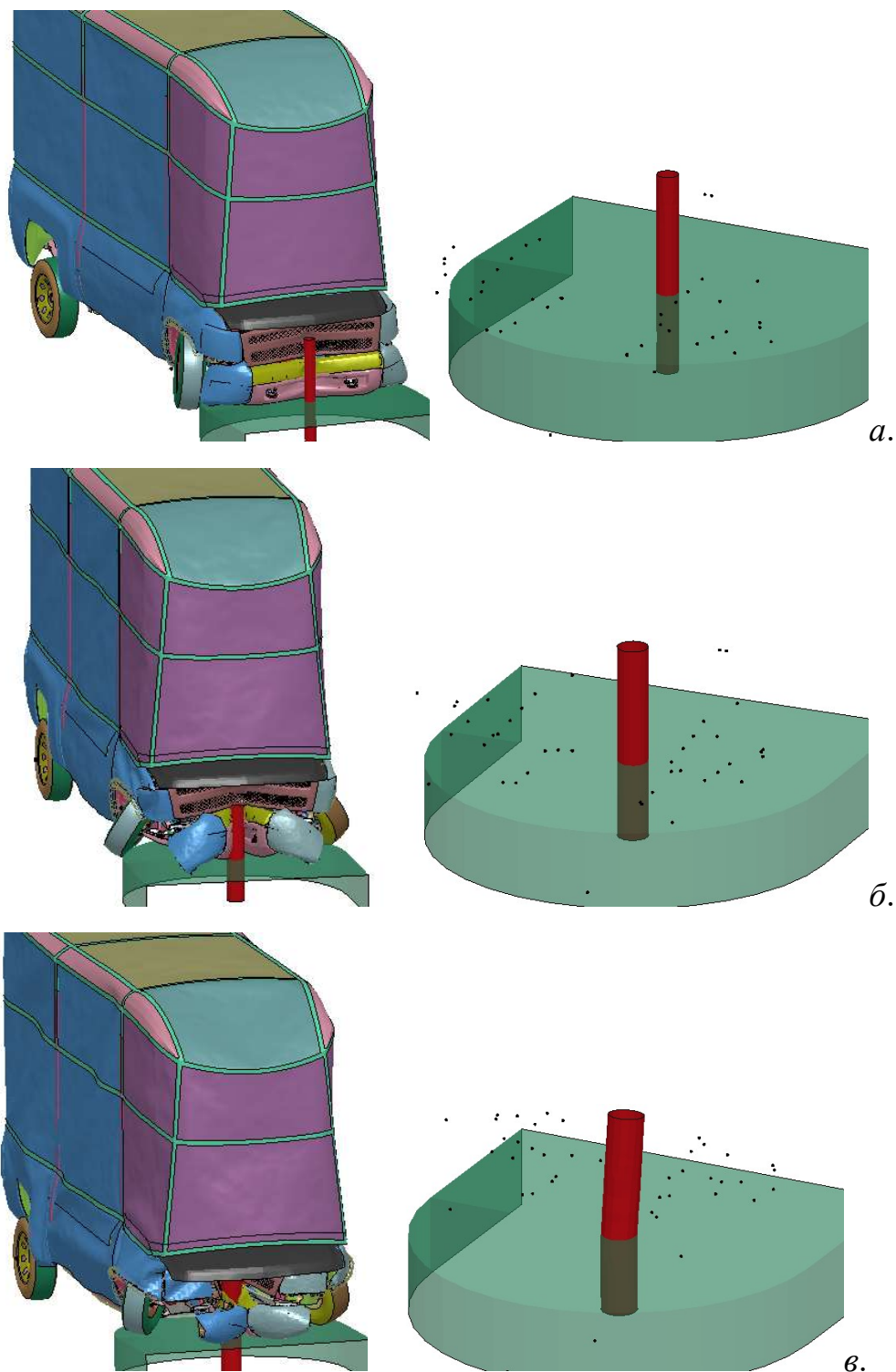


Рис. 3.34. Зображення зіткнень без порушення обмеження руху Large ADS “Т-Род” системою рефюдж-болард: *а* – діаметр боларда 108 мм, швидкість 20 км/год; *б* – діаметр боларда 159 мм, швидкість 30 км/год; *в* – діаметр боларда 203 мм, швидкість 50 км/год.

Для більш детального аналізу були побудовані графіки зміни переміщення та швидкості задньої частини автомобіля Large ADS “T-Pod” у поздовжньому напрямку. Побудовані графіки наведені на рис. 3.35.

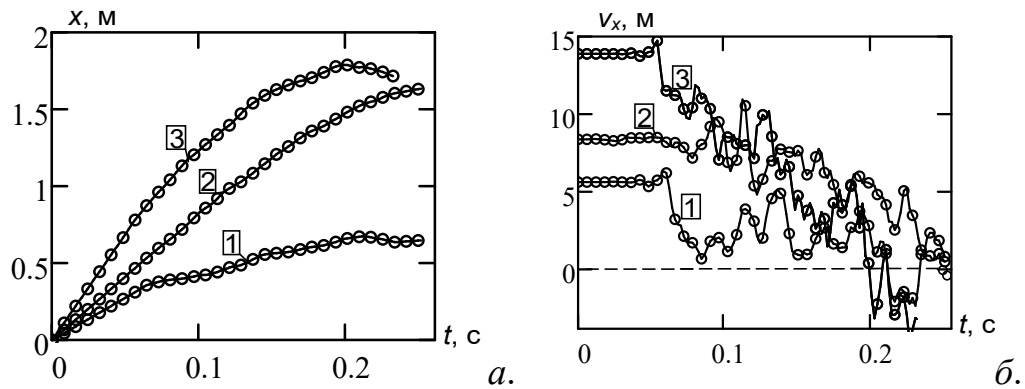


Рис. 3.35. Графіки зміни переміщення (а) та швидкості (б) задньої частини автомобіля Large ADS “T-Pod” у поздовжньому напрямку: 1 – діаметр боларда 108 мм, швидкість 20 км/год; 2 – діаметр боларда 159 мм, швидкість 30 км/год; 3 – діаметр боларда 203 мм, швидкість 50 км/год.

Графіки переміщень та швидкостей при параметрах коли діаметр боларда складає 273 мм, а швидкість відповідно 50 км/год мають подібний вигляд до графіків, представлених на рис. 3.35.

Аналізуючи наведені графіки, слід зазначити, що вони підтверджують висновок про відсутність втрати здатності боларда обмежувати рух автомобіля, оскільки видно, що переміщення автомобіля поступово зростають, а потім зменшуються. При цьому швидкість спочатку має додатне значення, а потім від’ємне чи нульове значення. Це свідчить, що автомобіль зупиняється а його просування за зону захисту боларда блокується. Це у свою чергу показує, що система рефюдж-болард забезпечує безпеку пішоходів та транспортних засобів у випадку зіткнення автомобіля типу Large ADS “T-Pod” і автомобілів із меншою масою з болардом. Таким чином, можна зафіксувати, що у випадку коли діаметр боларда 103 мм і швидкість 20 км/год; діаметр боларда 159 мм і швидкість 30 км/год; діаметр боларда 203 мм, 273 мм і



швидкість 50 км/год втрати здатності боларда обмежувати рух автомобіля не відбувається.

Кінцеві результати розрахунку подано в табл. 3.13, у якій прийнято такі позначення: ✓ – болард деформувався (поворотно або безповоротно), при цьому запобіг наїзду транспортного засобу на зону розташування пішоходів; × – болард деформувався безповоротно та не запобіг наїзду транспортного засобу на зону розташування пішоходів.

Таблиця 3.13

**Здатність забезпечувати безпечний рух пішоходів та транспортні засоби систем рефюдж-болард**

Діаметр боларду		Маса											
		Toyota Yaris, 1090 кг				Chevrolet Silverado, 2622 кг				Large ADS "T-Pod", 4172кг			
		108	159	203	273	108	159	203	273	108	159	203	273
Швидкість, км/год	10	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	20	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	30	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓
	50	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓	×	×	✓	✓
	70	×	✓	✓	✓	×	×	✓	✓	×	×	×	×
	90	×	×	×	✓	×	×	×	×	×	×	×	×

Аналізуючи дані, наведені у табл. 3.13 можна зазначити, що системи рефюдж-болард із діаметром більше 203 мм та товщиною стінки 10 мм можна використовувати у межах міста поза шляхопроводами де швидкість обмежена до 50 км/год.

### 3.6. Висновки до розділу 3

З огляду на проведені дослідження можна зробити такі висновки:

– була обґрунтована методика математичного моделювання зіткнення автомобілів із болардом та елементами рефюджу;

- обґрунтований комплекс положень та припущень для здійснення математичного моделювання зіткнення автомобілів із болардом та елементами рефюджу;
- обґрунтовано математичні моделі автомобілів, що застосовуються для проведення чисельного експерименту, якими були Toyota Yaris, Chevrolet Silverado та концепт-кар Large ADS “T-Pod”.
- обґрунтовано комплекс математичних моделей, що описує поведінку конструктивної систем рефюдж-болард в умовах ініціації зіткнення моделей реальних автомобілів із даною системою;
- обґрунтовано сценарії зіткнення моделей реальних автомобілів із системою рефюдж-болард;
- обґрунтовано критерії, при яких зберігається здатність систем рефюдж-болард зберігати здатність обмежувати рух автомобілів для забезпечення безпеки пішоходів та транспортних засобів;
- показано, що система рефюдж-болард комплексно впливає на блокування руху автомобілів у захищену зону за рахунок перешкоджання піднятою над дорожнім покриттям поверхні рефюджу та болардом;
- виявлено, що при пластичному деформуванні і частковому руйнуванні боларду система рефюдж-болард може зберігати свою функцію блокування руху автомобілів;
- показано, що системи рефюдж-болард із діаметром більше 203 мм та товщиною стінки 10 мм можна використовувати у межах міста поза шляхопроводами де швидкість обмежена до 50 км/год.

## **РОЗДІЛ 4. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА МОНТАЖУ ЗАПРОПОНОВАНОЇ КОНСТРУКЦІЇ СБП**

Враховуючи описані в попередньому розділі конструктивні особливості запропонованих СБП, процес монтажу власне готової конструкції передбачає використання окремих збірних елементів, заздалегідь виготовлених в заводських умовах, та їх подальший монтаж на ділянці в проектне положення. У зв'язку із цим, в даному розділі детально описано процедуру виготовлення окремих компоновочних елементів СБП та технологія їх поетапної установки на ділянці.

### **4.1. Процедура виготовлення компоновочних деталей конструкції**

Як вже зазначалося раніше, конструкція системи безпеки пішоходів в загальному випадку складається з наступних збірних елементів: двох рефюджів та пішохідної плити, яка розташована посередині між ними. Виготовлення кожного із зазначених елементів відбувається в заводських умовах відповідно до вимог технічних умов [67] та нормативних документів [95-97]. Оскільки типорозміри рефюджів можуть відрізнятися відповідно до особливостей кожної окремої ділянки установки, далі розглянемо поетапність виготовлення та монтажу конструкції на прикладі СБП, який складається з двох рефюджів RS REF 400.203 і RS REF 700.203 та пішохідної плити марки BS 400.200.25, як найбільш часто використовуваної в дорожніх умовах міста Харкова.

#### **4.1.1. Рефюдж**

##### **4.1.1.1. Опалубка**

Для бетонування рефюджів використовується спеціально розроблена інвентарна сталева опалубка (рис. 4.1), що дозволяє застосовувати автоклавну піч для прискорення твердіння бетону. Опалубка є унікальною розробкою, створеною спеціально для виготовлення розглянутих елементів. Допускається виготовлення рефюджів в опалубках з інших матеріалів, які забезпечують дотримання вимог ТУ [67] щодо якості та точності виготовлення елементів.



Рисунок 4.1 – Загальний вигляд опалубки для рефюджів

Для виготовлення опалубки рефюджа RS REF 400.203 використовуються сталеві листи товщиною 5мм (днище) та 4мм (борти). Підсилюючий каркас опалубки виконується із застосуванням профільної труби 80x80x1.5мм та 25x40x1.5мм. Фрагменти креслення опалубки наведені на рис. 4.2.

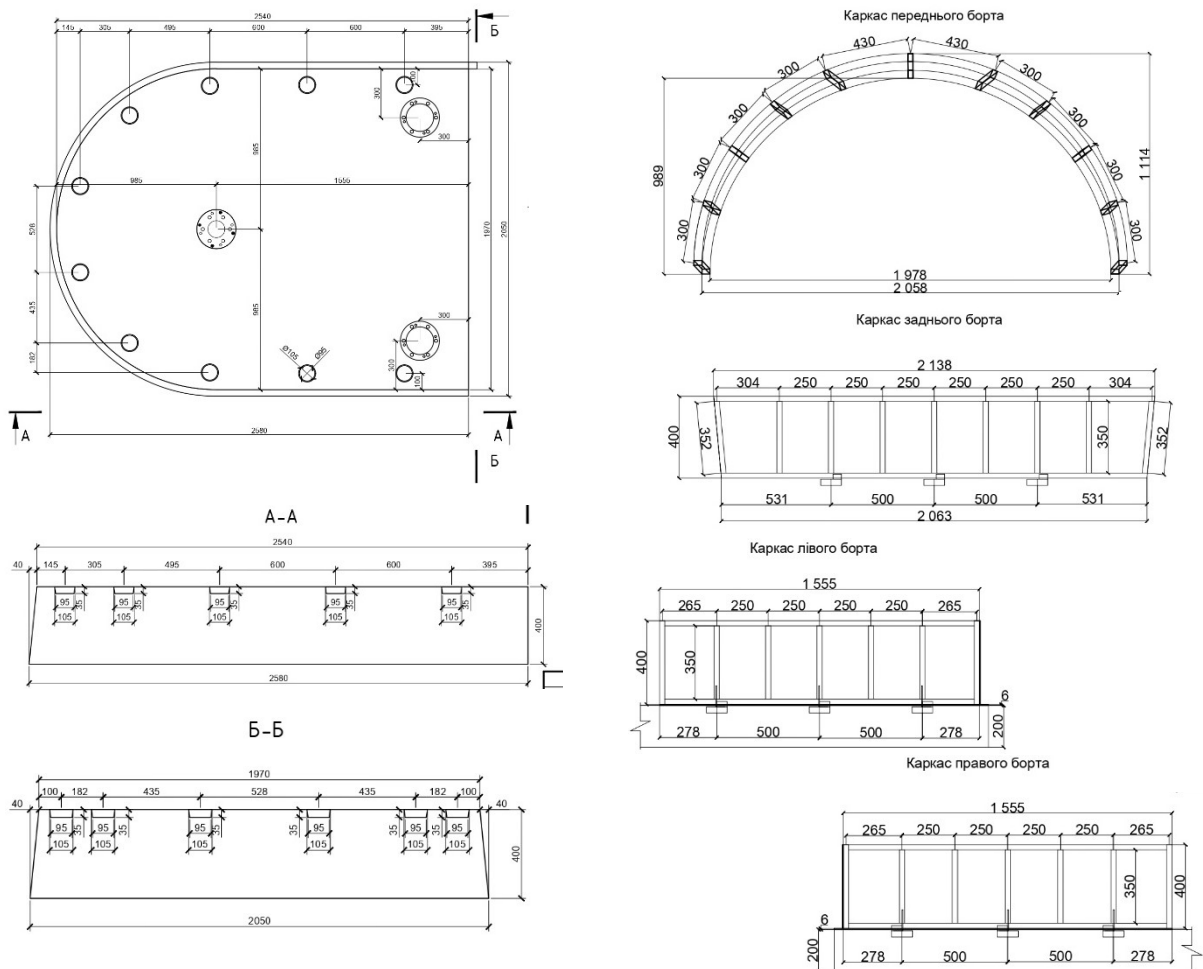


Рисунок 4.2 – Фрагменти креслення опалубки для RS REF 400.203

Виготовлення опалубки здійснюється з використанням ручного електродугового зварювання. Конструкція опалубки повинна бути поґрунтована для можливості її багатократного використання в камері пропарювання. Для кращого виймання готових виробів з форми, перед використанням опалубку слід змащувати спеціальним мастилом, наприклад, виробництва ТОВ «АГАТ-1» [97].

#### **4.1.1.2 Бетони**

Для бетонування рефюджів використовуються важкі бетони з класом міцності не менше ніж С32/40 відповідно до вимог ДСТУ 9208:2022 [70]. Для приготування бетону рефюджів використовується наступна номенклатура матеріалів:

- портландцемент ПЦІ-500Н згідно ДСТУ Б В.2.7-46:2010 [98];
- щебінь з природнього каменю згідно ДСТУ Б В.2.7-75-98 [99], ДСТУ Б EN 16120 [100];
- природній пісок згідно ДСТУ Б В.2.7-32-95 [101], ДСТУ Б EN 12620 [102] і пісок із відсівів подрібнення вивержених гірських порід згідно ДСТУ Б В.2.7-210:2010 [103];
- воду згідно ДСТУ Б В.2.7-273:2011 [104].

Для бетону рефюджів допускається застосування портландцементу типу II з добавкою шлаку не більше 20% (ПЦ ІІ/Ф-Ш) марки не нижче 500 за ДСТУ Б В.2.7-46:2010 [98] за умови вмісту С<sub>3</sub>А (трьохкальцієвий алюмінат) у клінкері цементу не більше 8%, гарантованого і документально підтвердженого забезпечення марки бетону за морозостійкістю не нижче F200, а також марки з водонепроникності W<sub>6</sub> або водопоглинення за масою не більше 4%.

У випадках, коли у заповнювачах наявні різновиди кремнезему у кількості, при якій можлива лужна корозія бетону, необхідно використовувати цемент з вмістом лугів не більше ніж 0.6% в перерахунку на Na<sub>2</sub>O. Вміст у заповнювачах аморфних різновидів кремнезему (халцедону, опалу, кременю

тощо, при якому можлива лужна корозія бетону слід перевіряти за деформаціями) розширення при випробуваннях згідно з ДСТУ Б В.2.7-71-98 [105].

Допускається застосування добавок в бетон з метою:

- покращення експлуатаційних властивостей бетону – підвищення морозостійкості, водонепроникності, стійкості до агресивних дій (агресивних середовищ, електричних струмів витоку);
- підвищення фізико-механічних властивостей бетону – міцності на стиск, згин, розтяг;
- покращення технологічних властивостей бетонної суміші;
- покращення якості ергономічних і естетичних характеристик рефюджів за рахунок фарбування її поверхні;
- збільшення продуктивності за рахунок скорочення циклу формувань та режиму теплової обробки при виготовленні рефюджів;
- економії матеріальних, енергетичних, трудових ресурсів (зниження виграє цементу, металоємності і парку форм, пари, електроенергії, трудомісткості тощо).

Добавки повинні відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-171 [71], їх застосування не повинно погіршувати будь-яких експлуатаційних властивостей бетону, що впливають на надійність конструкції.

Добавки не повинні спричиняти корозійний вплив на бетон і арматуру з урахуванням вимог ДСТУ Б В.2.6-145 [106].

Вміст добавок не повинен перевищувати меж, встановлених державними будівельними нормами і документацією виробника добавок.

При наявності в заповнювачах потенційно реакційно-здатних порід не допускається введення в бетон добавок солей натрію та калію.

Міцність бетону у віці 28 діб, визначена на зразках-кубах,  $f_{ck,cube}$  повинна бути (при коефіцієнті варіації міцності бетону 13.5%) згідно з ДСТУ 9208:2022 [70] не менше 51,4 МПа (523.9 кгс/см<sup>2</sup>).

Відпускна міцність бетону повинна бути не менше ніж 32 МПа (326 кгс/см<sup>2</sup>).

Міцність бетону у проектному віці, марка бетону за морозостійкістю та водонепроникністю повинні відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.6-2:2009 [96] та ДСТУ Б В.2.7-224:2009 [107].

Зокрема, для виготовлення рефюджу марки RS REF 400.203 використана наступна рецептура бетонної суміші (витрата наведена на 1м<sup>3</sup> суміші):

- цемент (марка ) – 390 кг;
- мінеральна добавка (МД) – 78 кг;
- пісок – 840 кг;
- щебінь фр. 5-10 мм – 840 кг;
- вода – 200 л ( $V / (Ц + МД) = 0.43$ ).

Отримана бетонна суміш характеризується параметрами, наведеними в таблиці. 4.1.

Таблиця 4.1 Показники бетонної суміші

№	Найменування показника	Значення показника (клас)
1	Легкоукладальність, РК, мм	675 (SF2)
2	Легкоукладальність (с блокувальним кільцем), РК <sub>кільце</sub> , мм	675 (-)
3	В'язкість, T <sub>500</sub> , сек	2.0 (VS2)
4	В'язкість, t <sub>воронки</sub> , сек	4.9 (VF1)
5	Здатність долати перешкоду (з трьома арматурними стрижнями)	0.91 (PA2)
6	Стійкість до розшарування, %	5 (SR2)

Окрім визначення власне параметрів бетонної суміші, виконується також визначення класів міцності та водонепроникності. Визначення міцності бетону виконано відповідно до діючого нормативу ДСТУ Б В.2.7-214:2009 [108]. Визначення міцності полягає у визначенні мінімальних зусиль, що руйнують спеціально виготовлені контрольні зразки бетону при статичному навантаженні з постійною швидкістю зростання навантаження та послідовним визначенням напружень при цих зусиллях.

Для визначення міцності на стиск форма і номінальні розміри контрольного зразка відповідали ДСТУ Б В.2.7-214:2009 [108], згідно якому, у випадку найбільшого розміру зерна заповнювача 20мм і менше, стандартний розмір куба складає 100мм. Зразки виготовлені та випробувані в кількості 6 штук. Відхилення від площини опорних поверхонь кубів, що прилягають до плит пресу, не перевищувало 0.1мм; відхилення від перпендикулярності суміжних граней кубів не перевищувало 1мм.

Відбір проб бетонної суміші для виготовлення контрольних зразків виконаний згідно вимог ДСТУ Б В.2.7-214:2009 [108]. Зразки виготовлювались в повірених формах. Перед випробуванням зразки були піддані візуальному огляду. Дефекти у вигляді сколів ребер, раковин, чужорідних включень не виявлені.

При випробуваннях зразки-куби встановлювались однією з вибраних граней на нижню опорну плиту пресу центрально відносно його поздовжньої вісі, використовуючи риски, нанесені на плиту пресу (рис. 4.3).



Рисунок 4.3 – Стандартні випробування по визначенню кубикової міцності бетону на стиск в пресі ПСУ-250

Максимальні зусилля, досягнуті в процесі випробувань, прийняті за руйнівне навантаження відповідного зразка (табл. 4.2). Зруйновані зразки також були піддані візуальному огляду з метою визначення: характеру пошкоджень, наявності крупних (обсягом більше 1 см<sup>3</sup>) раковин та каверн всередині зразка, наявності зерен заповнювача більше  $1.5d_{max} = 30\text{мм}$ , грудок



глини, слідів розшарування. Зразки, що мають перераховані дефекти структури та характеру руйнування, виявлені не були.

Міцність бетону визначають з точністю до 0.01 МПа згідно ДСТУ Б В.2.6-156:2010 [19] та ДБН В.2.6-98:2009 [96] для кожного зразка за формулою:

$$f_{ck, cube} = \alpha \frac{N_{руйн}}{A_c}, \quad (4.1)$$

де  $N$  – руйнівне навантаження, кН;  $A_c$  – площа робочого перерізу зразка, мм<sup>2</sup>;  $\alpha$  – масштабний коефіцієнт для приведення міцності зразка до міцності бетону базового розміру та форми (для куба 100x100x100  $\alpha=0.95$ ).

Міцність бетону визначалась як середнє арифметичне значення в серії з шести зразків за формулою:

$$f_{ck, cube} = \frac{\sum f_{ck, cube}}{n}, \quad (4.2)$$

де  $n$  – кількість  $i$  зразків кубів.

Таблиця 4.2 Визначення кубикової міцності бетону

№ зразка	Розміри куба, мм	Площа куба $A_c$ , $10^{-3}$ , м <sup>2</sup>	Руйнівне навантаж., кН	$f_{ck, cube, i}$ , МПа	$f_{ck, cube}$ , МПа	Згідно ДБН В.2.6-98:2009 [71]	
						Встановлений клас бетону	$f_{ck, cube}$ , МПа
1	100x100x99	0.99	541	51.9	51.6	С32/40	51.4
2	99x100x99	0.98	528	51.2			
3	101x100x100	1.01	549	51.6			
4	100x99x100	0.98	553	52.0			
5	100x100x101	1.01	546	51.4			
6	101x100x101	1.02	553	51.5			

В результаті проведених стандартних випробувань бетонних кубів на стиск було встановлено клас бетону рівний С32/40. Результати визначення класу водонепроникності підтвердили клас не менше W6.

#### 4.1.1.3 Арматура

Для армування рефюджів слід застосовувати:

- прокат арматурний для залізобетонних конструкцій слід використовувати згідно з ДСТУ 3760-2019 [72], для плоских сіток стрижні діаметром від 12 до 16мм класу 500С, для просторових каркасів стрижні діаметром від 20 до 28мм класу А500С, вертикальне армування виконується з стрижнів діаметром 10мм класу А400С.

- прокатний профіль ВСтЗкп2 ДСТУ 8943:2019 [73].

Допускається за згодою із споживачем використання інших діаметрів армування, за умови, що площа армування залишиться не менше ніж вказана в ТУ [67].

Зварні закладні елементи повинні відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.6-168 [110]. Зварні з'єднання слід виконувати контактним точковим зварюванням.

Армування рефюджів висотою 400мм виконується двома плоскими зварними сітками, розташованими у верхній та нижній зонах конструкції, які з'єднуються за допомогою вертикальних допоміжних стрижнів. Рефюджі висотою 700мм армуються трьома плоскими сітками, розташованими з однаковим кроком. Заготовки сіток для армування представлені на рис. 4.4.



Рисунок 4.4 – Плоскі сітки для армування рефюджів

Захисний шар бетону у верхній частині конструкції до крайнього ряду арматури повинен складати 35-60мм. Сітки виготовляються заздалегідь с прорізуванням в них необхідних отворів для проходження закладних деталей. Під час армування конструкції в середині опалубки також встановлюються необхідні закладні деталі з пустотоутворювачами для послідуочого встановлення болардів та світлофорних стійок на фланцевих з'єднаннях (рис. 4.5). З чотирьох боків закладна деталь має металеві фасонки, через кожна з яких проходить основна робоча арматура рефюджу для надійного закріплення закладних деталей всередині арматурного каркасу. Забезпечення необхідного захисного шару бетону у верхній частині рефюджу застосовуються традиційні пластикові фіксатори.

Витрати арматури на 1 рефюдж різних марок наведені в таблиці 4.3.



#### **4.1.1.4. Технологія виготовлення**

Враховуючи наведену вище інформацію щодо підготовки власне форми для виготовлення рефюджів та необхідної для цього сировини, далі розглянемо поетапне виготовлення збірних залізобетонних виробів. Слід зауважити, що рефюдж виготовляється догори дном для зручності фіксації закладних деталей для встановлення болардів та спрощення процесу зняття опалубки, оскільки конструкція рефюджу має трапецієподібну форму.

1. **Армування.** Збір просторового армування рефюджу виконується безпосередньо в опалубній формі. В підготовлену та змащену опалубку на днище встановлюються фіксатори арматури (рис. 4.6, а), на які вкладається верхня арматурна сітка. Після встановлення сітки приступають до монтажу закладних деталей під боларди (рис. 4.6, б). Закладна деталь фіксується за допомогою шпильки з різьбою. Виконується монтаж закладних сталевих трубочок  $\varnothing 50\text{мм}$  (для утворення порожнин, в які можна встановити гладкі стрижні для стропування конструкції після зрізання монтажних петель). Далі встановлюється стрижні додаткового армування (підсилення) навколо закладної, які пропускаються в заздалегідь виготовлені для цього отвори. Далі встановлюють монтажні петлі, які використовуються для зручного виймання готового виробу з форми (петлі після виготовлення і транспортування по цеху зрізаються), а також вертикальні підтримуючі стрижні. Укладається нижня сітка та підварюється до вертикальних стрижнів. Поетапно процес армування рефюджу представлено на рис. 4.6.

а)



б)



в)



г)



Рисунок 4.6 – Монтаж арматурного каркаса: а) установка верхньої сітки на фіксаторах та закладній деталі під кріплення рефюджа; б) приварювання закладних трубочок для стропування; в) змонтоване додаткове армування і петлі для транспортування; г) повне армування рефюджу

## 2. Бетонування.

Після монтажу всіх елементів армування приступають до приймання бетону в форму. Бетон укладається в форму шарами по 20см з вібруванням кожного шару глибинним вібратором для забезпечення однорідності бетонної суміші. Після вкладання всього обсягу бетонної суміші обов'язково проводять вібрування всього виробу. Бетонування рефюджу наведено на рис. 4.7.

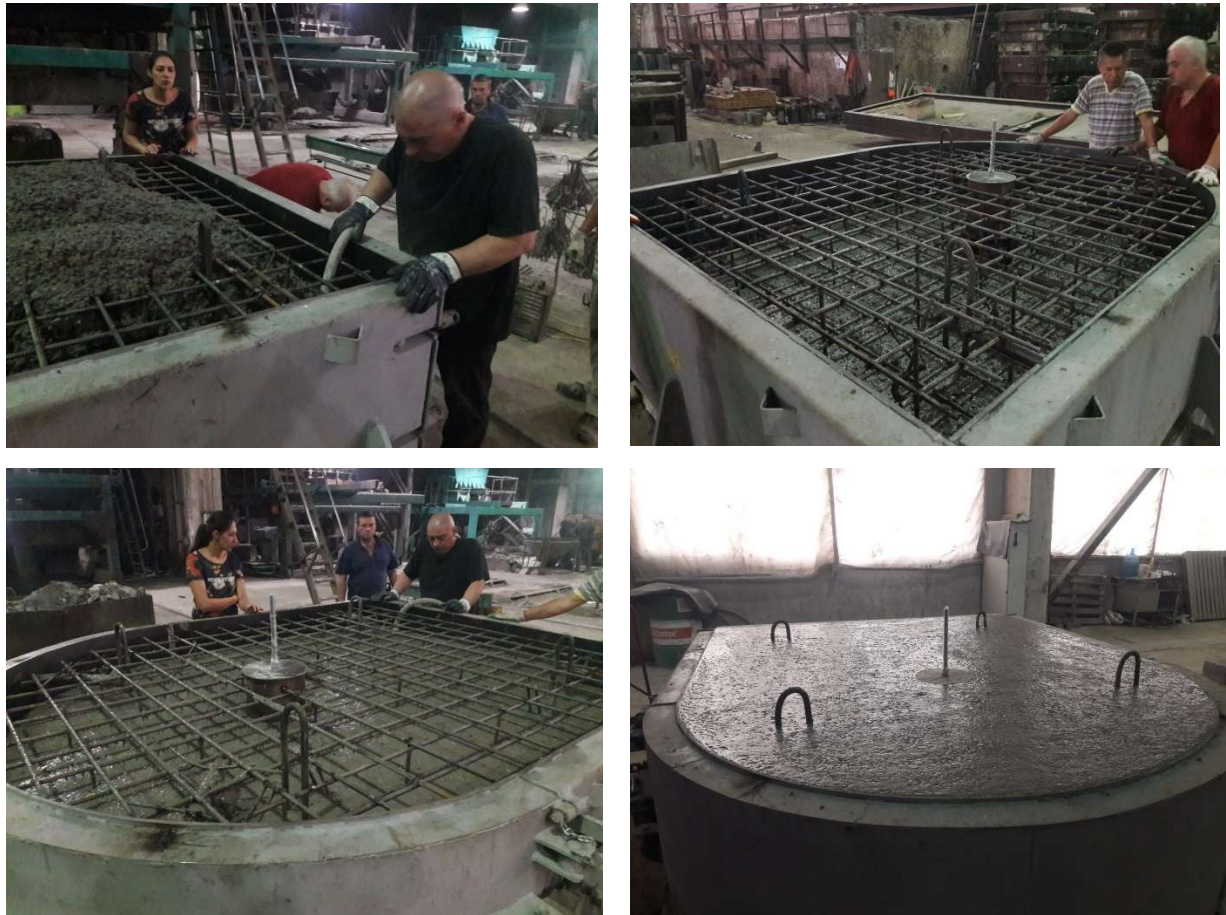


Рисунок 4.7 – Бетонування рефюджу в цеху

### 3. Набрання міцності.

В залежності від погодних умов допускається два сценарії для набору проектної міцності готовим виробом. У випадку, якщо зовнішня температура повітря нижче  $+10^{\circ}\text{C}$ , а вологість складає 60% і вище, то готовий рефюдж разом із формою поміщають в автоклав – спеціальну пропарочну камеру, де під впливом високого тиску і температури відбувається гідротермальна обробка. В камері рефюдж знаходиться 6 годин, де температура поступово підвищується до  $60^{\circ}\text{C}$ . Цей процес значно скорочує час затвердіння бетону і підвищує його міцність та довговічність. Якщо ж температура зовнішнього повітря складає  $+10^{\circ}\text{C}$  і вище, то готовий виріб набирає міцність в умовах приміщення цеху без використання автоклаву. Виріб залишається в формі протягом 2-х діб, після чого виконується його розпалублювання і виріб залишається в приміщенні цеху набирати проектну міцність протягом 28 діб

поки остаточна вологість виробу не сягне 4%. Загальний вигляд виробу після розпалублювання наведено на рис. 4.8.



Рисунок 4.8 – Вийняття готового виробу з форми

#### 4. **Вийняття з форм та обробка.**

Після того як виріб набере необхідну проектну міцність виконується кантування, тобто переверот конструкції в проектне положення, в спеціальному станку (рис. 4.9). Конструкція за допомогою монтажних петель стропується, переміщується в кантувальник і затискається в ньому, після чого монтажні петлі зрізаються. Конструкція перевертається знову верх дном і подальше її транспортування по цеху і за його межами (рис. 4.10) вже здійснюється за допомогою гладких штирів, які встановлюються в заздалегідь підготовані отвори по периметру конструкції (4 шт.).

Подальше доведення конструкції до готового вигляду полягає в його обробці спеціальним просоченням «Літурин» [111] для підвищення міцності. Далі в поверхні рефюджа просвердлюють отвори (рис. 4.11) для встановлення світлоповертаючих елементів ВРД.





Рисунок 4.9 – Покрокове кантування готового виробу

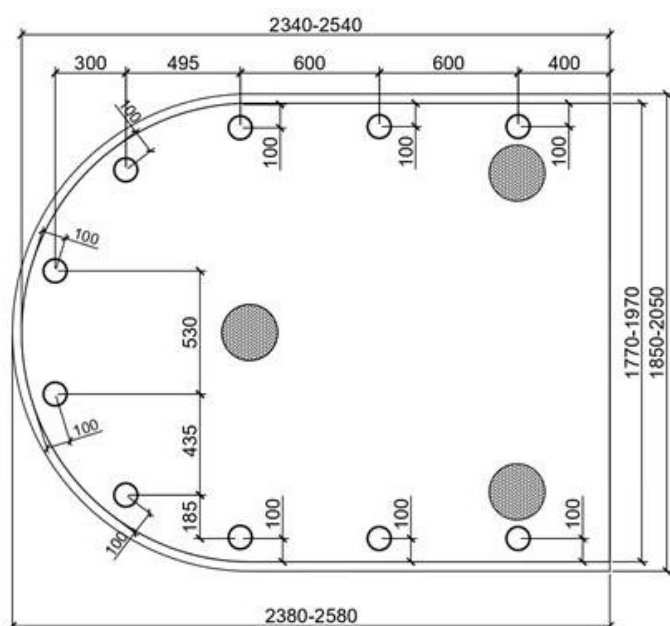


Рисунок 4.10 – Розмітка отворів під  
включення елементів ВРД



Рисунок 4.11 –  
Стропування виробу

Наступний етап – це нанесення спеціальної розмітки на поверхню рефюджю. Схема пофарбування наведена на рис. 4.12. В таблиці 4.4 наведені площі пофарбування для рефюджів висотою 400мм та 700мм.

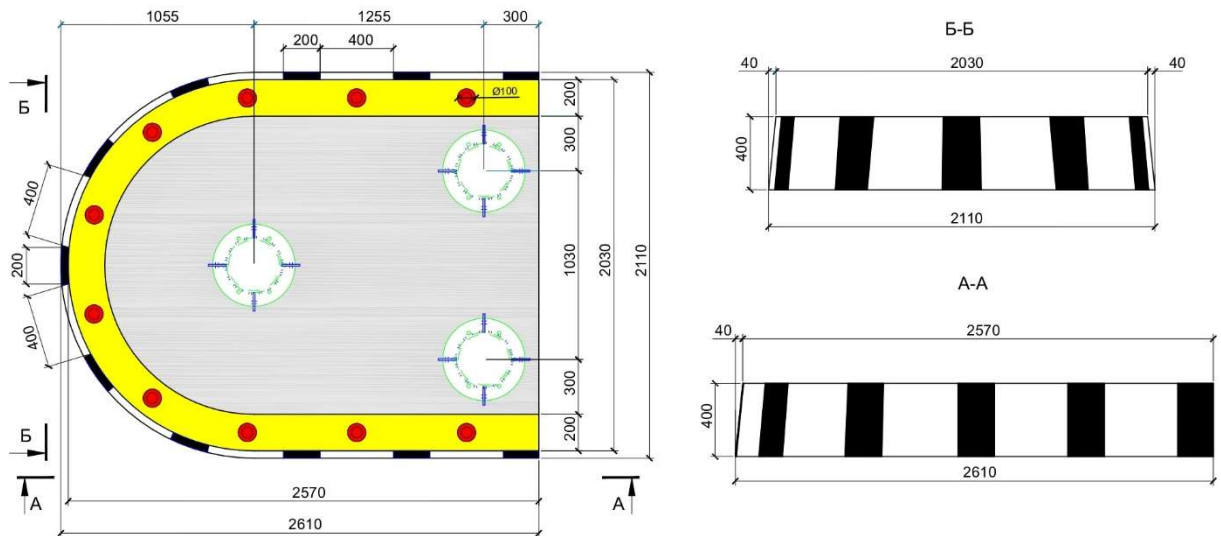


Рисунок 4.12 – Схема фарбування рефюджа RS REF 400

Таблиця 4.4 – Площа поверхонь пофарбування рефюджів

Висота рефюджю	Площа нанесення фарби, м <sup>2</sup> в залежності від кольору			
				
400мм	1.2	0.9	2.5	2.7
700мм	1.2	1.6	4.3	3.3

Перед фарбуванням просочуємо бетон просоченням для підвищення адгезії, міцності та захисту від вологи (просочування Grover Monolit ASK 61).

Рефюдж фарбують дорожньою фарбою ТМ «Zebra» згідно ДСТУ 4100:2021 [112], ДСТУ 2587:2021 [113] жовтим, білим та чорним кольорами згідно схеми. Паралельно наносять світлоповертаючі мікропризми (два пульверизатори розпилюють фарбу одночасно – один розпорошує фарбу, інший – мікропризми). Після завершення нанесення фарбового покриття виріб залишають до остаточного висихання і виконують вклеювання світлоповертаючих вставок ВДР. Готова конструкція представлена на рис. 4.13.



Рисунок 3.13 – Виріб, готовий до установки

#### ***4.1.1.5. Контроль якості***

Готові залізобетонні вироби проходять перевірку на відповідність стандартам якості. Здійснюється вимірювання міцності, геометричних параметрів та інших характеристик. Важливо звертати увагу на наступні вимоги:

- зовнішній вигляд рефюджів задовільний при повній відсутності тріщин шириною розкриття більше ніж 0.1 мм;

- зовнішній вигляд рефюджів задовільний при відсутності сколів площею більше 5 мм<sup>2</sup>;

- допускається виправлення дефектів бетонних поверхонь рефюджів, що не перевищують допуски, але за всіма іншими показниками відповідають вимогам цього стандарту, яке проводять згідно встановлених вказівок.

У рефюджах не допускаються:

- тріщини на поверхні рефюджів, за виключенням усадкових з розкриттям не більше ніж 0,1 мм і довжиною не більше 50 мм в кількості не більше п'яти на 1,5м<sup>2</sup> поверхні рефюджу згідно ДСТУ Б.В.2.6-2:2009 [97];

- масляні та іржаві плями;

- будь які тріщини біля закладних деталей;

При виробництві рефюджів повинен бути застосований пасивний захист від електрокорозії згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.6-145[106].

Основні технічні характеристики рефюджів та витрати матеріалів повинні відповідати даним, наведеним в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Технічні характеристики рефюджу

Марка рефюджу	Клас бетону	Витрати матеріалів		Маса, т*
		Арматура, т	Бетон, м <sup>3</sup>	
RS.REF.400.273	C32/40	0.293	1.81	4.818
RS.REF.400.203	C32/40	0.166	1.83	4.741
RS.REF.700.273	C32/40	0.349	3.31	8.624
RS.REF.700.203	C32/40	0.195	3.33	8.520

\*маса рефюджів вказана для важкого бетону щільністю 2.5/м<sup>3</sup>.

Фактичні відхилення геометричних параметрів рефюджів не повинні перевищувати граничних значень в мм, вказаних у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Допустимі граничні відхилення параметрів рефюджів

№	Найменування відхилення	Параметри	Граничні відхилення	Од. вим.
1	Відхилення лінійного параметру	Довжина	±5	мм
		Ширина	±3	мм
		Товщина	±5	мм
2	Відхилення від прямолінійності	Прямолінійність профілю верхньої поверхні рефюджів в будь-якому перетині на всій довжині або ширині	±5	мм
3	Відхилення від площинності	Площинність верхньої поверхні рефюджів (при вимірюванні від умовно	±5	мм
4	Різниця довжин діагоналей	Різниця довжин діагоналей робочої поверхні	±5	мм

5	Відхилення маси	Різниця між фактичною масою та масою, наведено в ТУ [67]	$\pm 50$	кг
---	-----------------	--	----------	----

#### 4.1.2 Пішохідна плита

Пішохідна плита встановлюється посередині між двома рефюджами та слугує власне конструкцією, де розташовуються пішоходи під час очікування зміни сигналів світлофору. Конструктивно плита може мати форму тавра або прямокутника в перерізі, в даному розділі увага приділена тестовому зразку таврового перерізу.

Отже, конструкція плити прямокутна в плані, а в перерізі має форму тавра полкою вниз та візуально нагадує плиту трамвайних колій. Для виготовлення також передбачається використання інвентарної опалубки, виготовленої по спецзамовленню. Загальний вигляд опалубки пішохідної плити наведено на рис. 4.14. Матеріали для виконання опалубки – сталевий лист  $b=5\text{мм}$ , труби профільні прямокутні перерізом  $80\times 80\times 1.5\text{мм}$  та  $25\times 40\times 1.5\text{мм}$ .



Рисунок 4.14 – Сталева опалубка пішохідної плити

Регламент виконання бетонних сумішей та рецептура аналогічні тому, що описано раніше для рефюджів. Клас бетону пішохідної плити має складати не менше ніж С32/40.

Щодо армування конструкції пішохідної плити, то воно виконується звареними сітками та окремими стрижнями. У верхній зоні та нижній зонах плити розташовуються плоскі сітки. На звісах полки розташовуються закладні деталі для встановлення болардів схожої конструкції як в рефюджах, але меншої висоти. Монтажні петлі розташовуються в нижній частині плити, як і закладні трубки для стропування (4 шт.). Поперечний переріз конструкції з армуванням наведено на рис. 4.15, а армування конструкції в заводських умовах – на рис. 4.16. Виготовлення конструкції в цеху виконується верх дном.

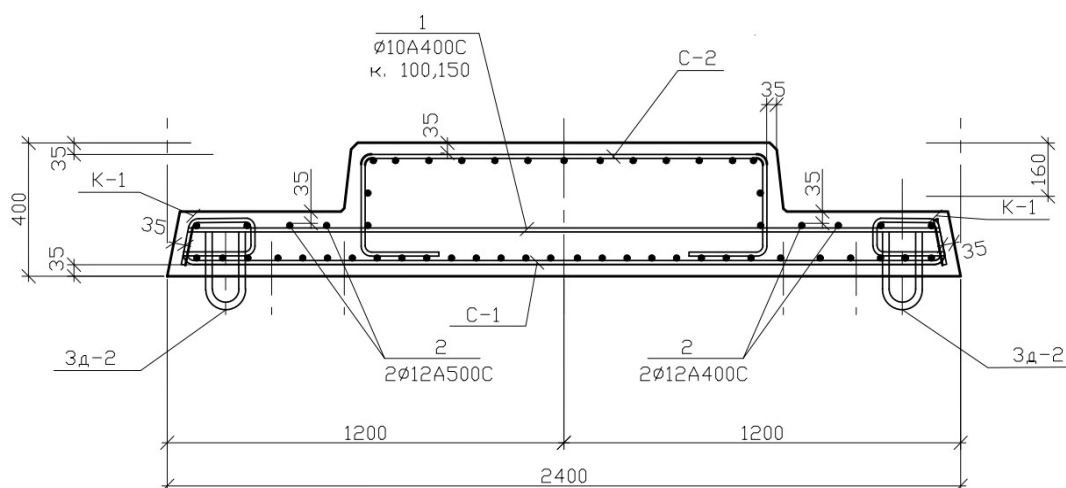


Рисунок 4.15 – Поперечний переріз пішохідної плити з армуванням



Рисунок 4.16 – Процедура армування пішохідної плити на заводі

Після виготовлення арматурного каркасу всередині опалубки плити виконується її бетонування, пошарово, з вібруванням кожного шару та вібруванням всієї конструкції. Далі набрання міцності конструкцією відбувається в приміщенні цеху з використанням автоклавної печі або без, як вже зазначалося раніше для рефюджів, в залежності від погодних умов. Розпалублення конструкції виконується через 28 діб коли залишкова вологість складає не більше 4%. Розпалублена конструкція представлена на рис. 4.17. В таблиці 4.6 наведені витрати матеріалів для виготовлення обох варіацій пішохідних плит.



Рисунок 4.17 – Загальний вигляд конструкції після розпалублення

Таблиця 4.6 – Технічні характеристики пішохідної плити

Марка плити	Клас бетону	Витрати матеріалів		Маса, т*
		Арматура, т	Бетон, м <sup>3</sup>	
BS 400.200.25	C32/40	0.5	3.4	9.0
BSR 400.200.30	C32/40	0.4	2.4	6.4

\*маса плити вказана для важкого бетону щільністю 2,5/м<sup>3</sup>.

Готову конструкцію плити кантують в проектне положення, зрізають монтажні петлі, просочують «Літурином» [111] для збільшення міцності і готують до пофарбування як і конструкцію рефюджів. Схема фарбування плити наведена на рис. 4.18, а в таблиці 4.7 наведені площі пофарбування конструктиву в залежності від кольору фарби.

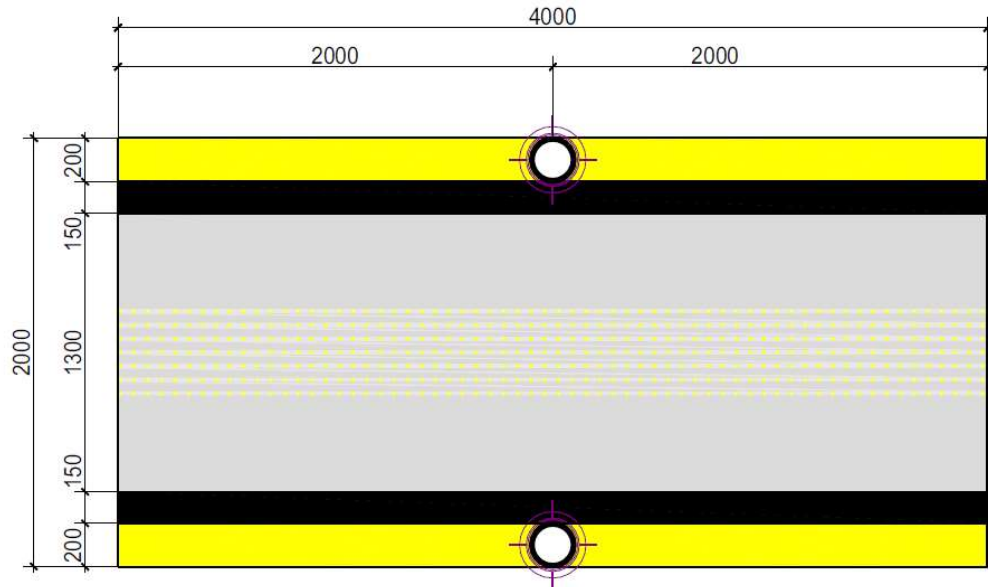

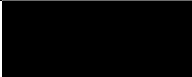



Рисунок 4.18 – Схема пофарбування пішохідної плити

Таблиця 4.7 – Площа поверхонь пофарбування плити

Марка плити	Площа нанесення фарби, м <sup>2</sup> в залежності від кольору		
			
BS 400.200.25 / BSR 400.200.30	1.6	1.2	5.2

В останню чергу в конструкції пішохідної плити виконується свердління отворів для встановлення тактильних індикаторів для маломобільних груп населення [114], продувка отворів повітрям під тиском та послідує їх встановлення на силіконових клеях (рис. 4.19). Завершальним етапом є установка болардів, після чого конструкція може транспортуватися на місце монтажу. Готова конструкція представлена на рис. 4.20.





Рисунок 4.19 – Вклеювання тактильних індикаторів



Рисунок 4.20 – Готова конструкція пішохідної плити

## 4.2. Монтаж елементів конструкції на місцевості

Установка готової конструкції на місцевості передбачає декілька послідовних технологічних операцій з підготовки ділянки до виконання робіт, власне монтажу елементів конструкції та завершальних операцій із благоустрою майданчика. Вибір типу елементів СБП здійснюється проектувальником в залежності від особливостей та умов експлуатації конструкції в межах обумовленої ділянки проїжджої частини в місті.

Початку власне будівельних робіт зі спорудження нової конструкції передують ряд підготовчих операцій, зокрема:

1. Отримання дозволів і узгодження проекту з місцевими органами влади та дорожньою поліцією; отримання необхідних дозволів на будівництво та тимчасове обмеження руху транспорту.

Відповідно до ст. 12 п. 3. та ст. 23 Закону України «Про дорожній рух» [115] посадові особи, які відповідають за будівництво, реконструкцію, ремонт, експлуатацію та облаштування автомобільних доріг, вулиць та залізничних переїздів, мостів, шляхопроводів, інших споруд, зобов'язані забезпечувати утримання їх у стані, що відповідає встановленим вимогам щодо забезпечення безпеки дорожнього руху.

2. Тимчасова організація руху: встановлення тимчасових знаків, бар'єрів та розмітки для забезпечення безпеки руху під час будівництва; організація об'їздів або тимчасового обмеження руху в разі потреби.

Обов'язково позначати місця виконання робіт, місця, де залишено на дорозі, вулиці, залізничному переїзді машини і механізми, будівельні матеріали тощо, відповідними дорожніми знаками, огорожувальними і направляючими засобами, а в темний час доби і при тумані – сигнальними вогнями, передбаченими діючими нормами; а також обладнувати їх технічними засобами регулювання дорожнього руху .

Своєчасно виявляти перешкоди дорожньому руху та забезпечувати їх усунення, а у разі неможливості – невідкладно позначати дорожніми знаками, огорожувальними і направляючими засобами.

### 3. Попередні роботи на місцевості:

- очищення майданчика від сміття та рослинності у випадку, якщо на ділянці не було попередньо встановлено інших систем безпеки для пішоходів;
- проведення геодезичних робіт для визначення точного розташування конструкції;
- розмітка місця на проїжджій частині під будівництво відповідно до проекту.

4. Роботи по влаштуванню будівельного майданчика. Дані роботи виконуються згідно будівельного генерального плану: встановлюють інвентарні будівлі та споруди, розміщують складські ділянки, виконують геодезичні роботи, встановлюють та підготовлюють будівельну техніку та обладнання.

Після влаштування будівельного майданчика виконують демонтажні роботи. Першочергово виконується нарізання щілин в асфальтобетонному покритті та розробка верхнього шару існуючого дорожнього одягу. Демонтують дорожнє покриття за допомогою ручного пневматичного і електричного інструмента та екскаватора, також демонтуються існуючі острівці безпеки. Демонтажні роботи необхідно виконувати з дотриманням охорони праці та промислової безпеки в будівництві за ДБН А.3.2-2-2009 [116] і відповідно до ПВР.

На прикладі встановлення СБП в м. Харкові розглянемо послідовність демонтажу. Для виконання демонтажних робіт на місцевості використовується ручний швонаріжчик (рис. 4.21) та міні-екскаватор зі змінним навісним обладнанням – гідромолотом (рис. 4.22) та ковшем. Спочатку по заздалегідь наміченій розмітці робочий прорізає асфальт, після чого за допомогою гідромолота на базі екскаватору виконується розбиття асфальтового покриття та існуючих конструкцій острівців безпеки, якщо вони мали місце раніше. Допускається також використання ручного відбійного молотка для виконання демонтажних робіт.



Рисунок 4.21 – Прорізання асфальтового покриття дороги



Рисунок 4.22 – Демонтаж існуючого острівка безпеки екскаватором

Механізовану розробку котловану виконують за допомогою екскаватора. Доробку ґрунту до проектних відміток виконують вручну. Відповідно до технічного завдання відстань відвезення будівельного сміття складає 30 км, відстань відвезення зворотних матеріалів від демонтажу складає 30 км, відстань відвезення зайвого ґрунту складає 30 км. Перевезення розробленого ґрунту здійснюється за допомогою автосамоскидів. Схема розробки ґрунту наведена на рис. 4.23. Земляні роботи слід виконувати відповідно до ДБН В.2.1-10:2018 [117], ДБН А.3.2-2-2009 [116] та ПВР.

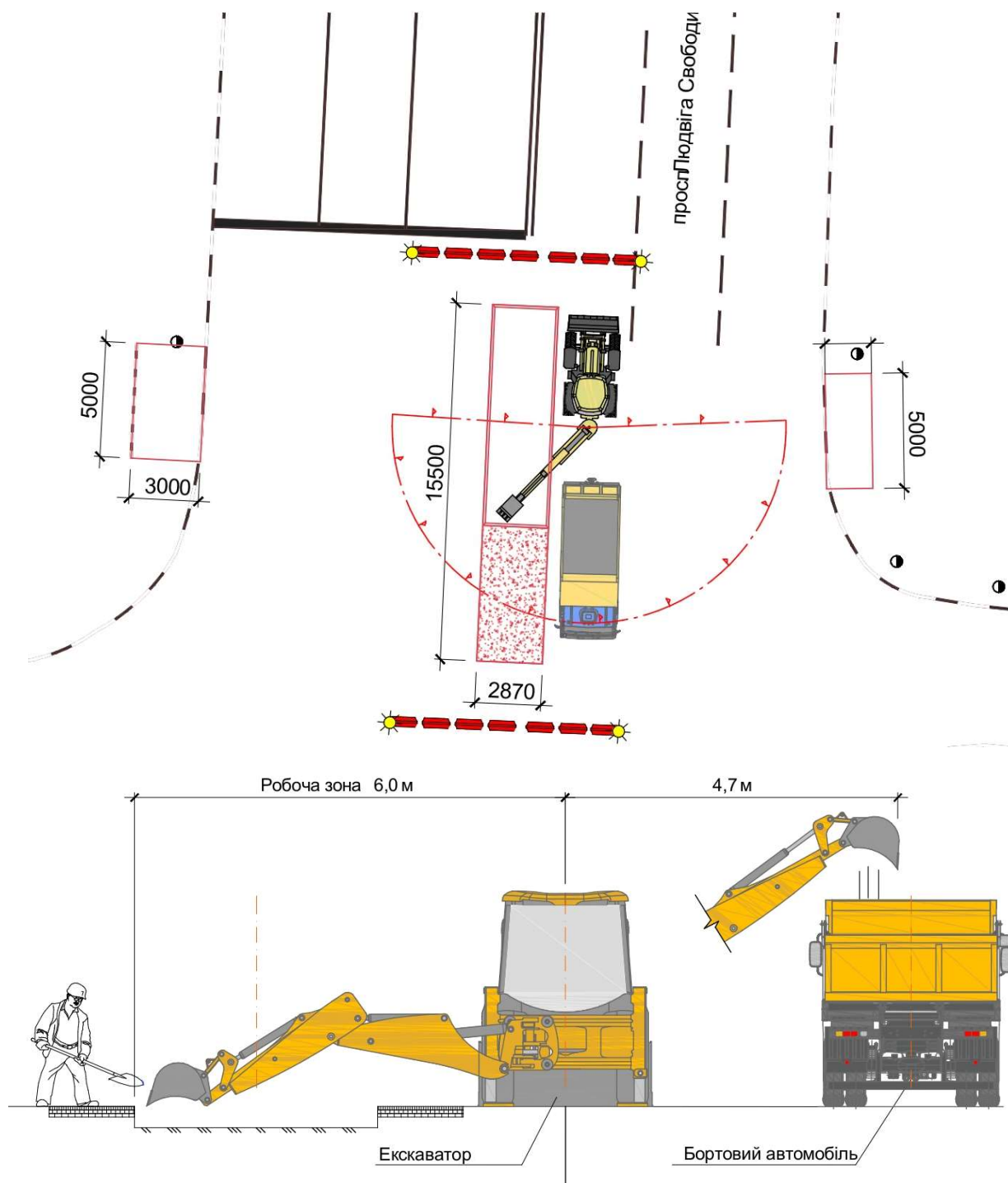


Рисунок 4.23 – Схема розробки ґрунту

Після розробки котловану по проектним відміткам, виконують планування та ущільнення ґрунту дна котловану ручною вібротрамбовкою. Якщо при виконанні робіт пройшов дощ, водонасичений ґрунт виймається та замінюється на щебінь фракції 25-60 мм, який потім розклинцюється. Далі обов'язково прокладаються електрокабелі для підключення світлофору в

захисних трубах. На ущільнений ґрунт основи виконується підсипка щебенем фр. 20-40мм з послідуочим ущільненням. Після чоо основи доводять до проектної відмітки (-0.200м) за допомогою щебеню дрібної фракції або піску. Далі на бортовому автомобілі готові вироби – рефюджи та пішохідна плита – підвозяться до місця установки та монтуються в проектне положення за допомогою автомобільного крану. Організаційно-технологічна схема монтажу залізобетонних елементів показана на рис. 4.24.

Для заповнення вертикальних каналів між збірними блоками конструкції використовують готову бетонну суміш класу С8/10, для опорних поверхонь та промазки горизонтальних та вертикальних швів застосовують розчин готовий кладочний важкий цементний, марка М100.

Після монтажу збірних залізобетонних конструкцій приступають до монтажу стійкових елементів, зокрема стійки світлофору. Монтаж стійки виконують з телескопічних вишок. Останнім етапом будівельних робіт є обетонування змонтованої конструкції та відновлення асфальтового дорожнього покриття довкола. Поетапна схема монтажу конструкції СБП наведена на рис. 4.25.

Календарний план установки СБП наведено в таблиці 4.6, в основу якого закладено нормативні показники СОУ 42.1-37641918-098:2012 [118] та ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи [119]. При складанні календарного плану прийнято, що роботи виконуються в 2 зміни по 8 годин. Згідно наведеного календарного плану виробництва робіт, монтаж конструкції відповідно до нормативних вимог займає 3 доби при виконанні робіт в 2 зміни. В справжній час, враховуючи умови воєнного стану в Україні, роботи в темну пору доби після початку комендантської години не допускаються, тому роботи можуть займати до 6 робочих днів, що все одно є прийнятним для даного виду дорожньо-будівельних робіт. Прискорення робіт можливо за рахунок суміщення певних технологічних операцій, які допустимо робити паралельно.

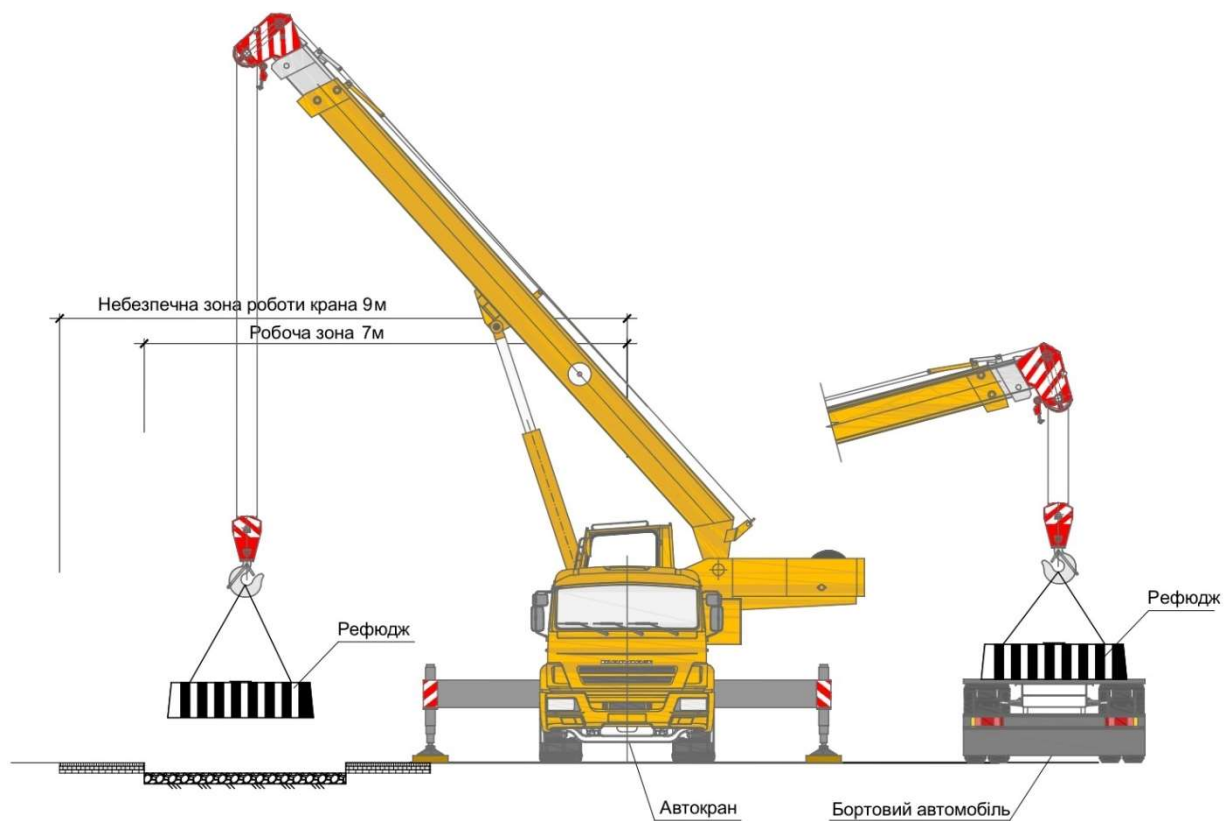
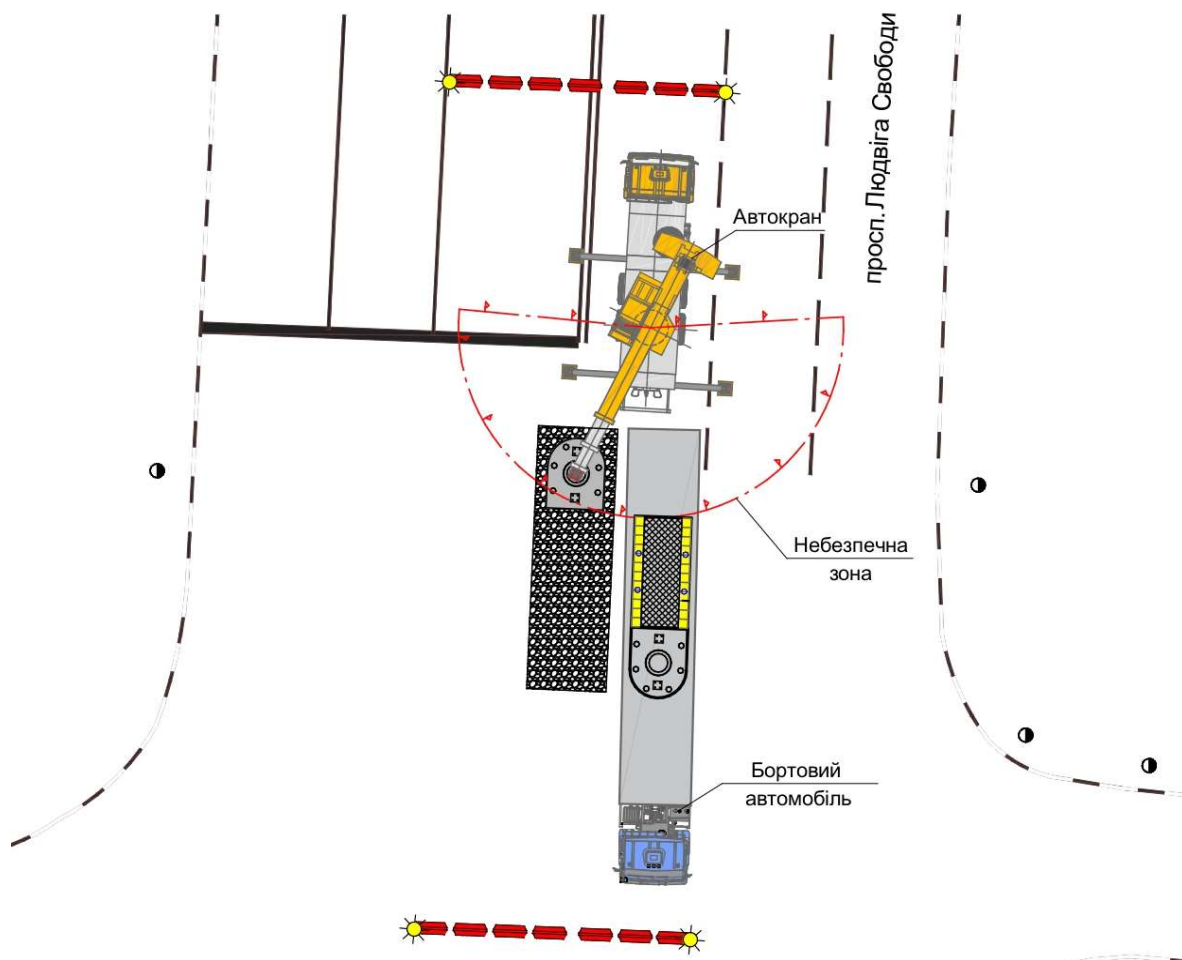


Рисунок 4.24 – Організаційно-технологічна схема монтажних робіт

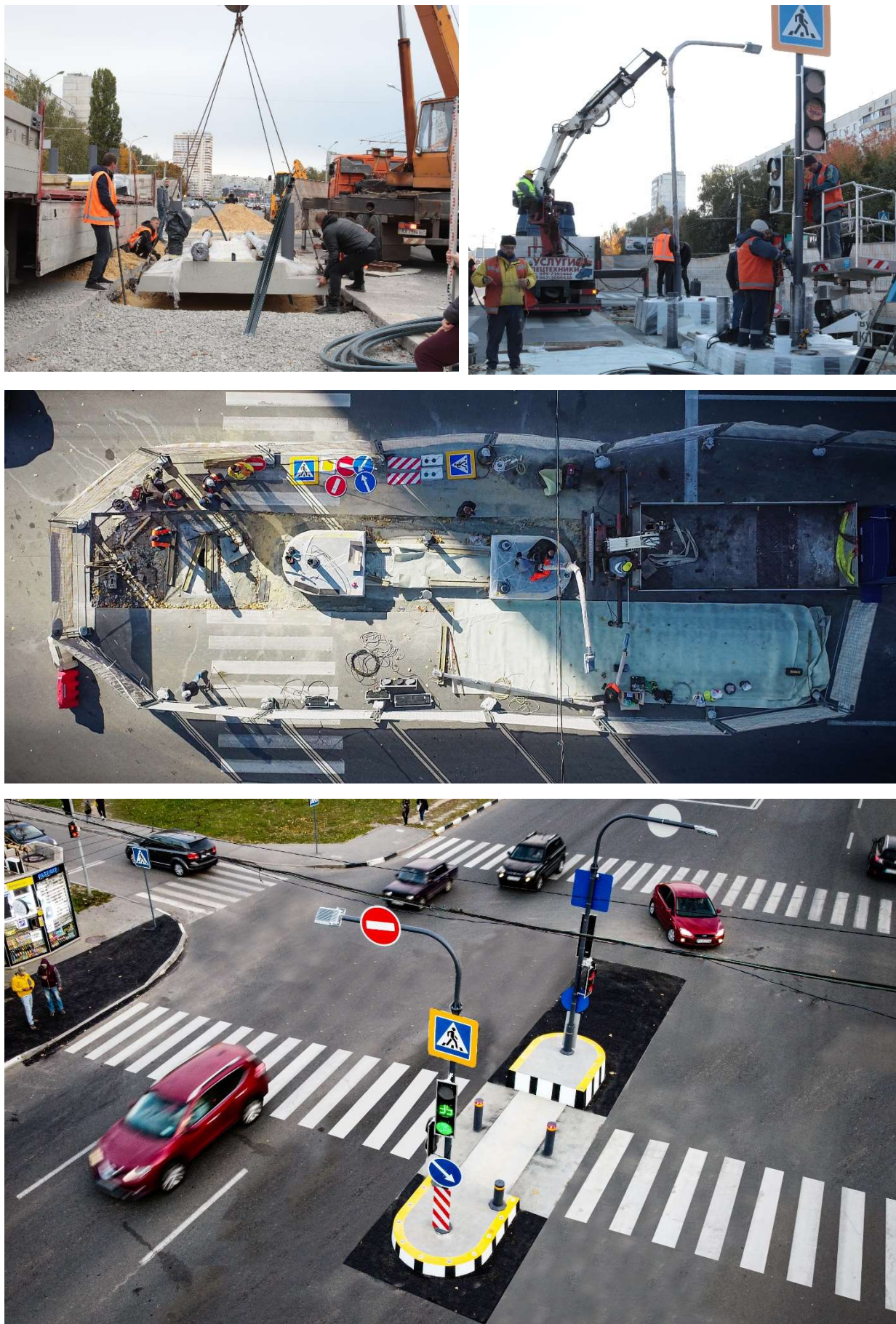


Рисунок 4.25 – Поетапний монтаж СБП на вулицях м. Харкова



Таблиця 4.6 – Календарний план виробництва робіт з монтажу СБП нового типу

№	Вид робіт	Посилання на ДБН	Од. виміру	Обсяг робіт	Норма часу		Трудоємність нормативна		Трудоємність прийнята		Склад бригади	Зміни	Дні
					люд.- год.	маш.- год.	люд.- год.	маш.- год.	люд.- год.	маш.- год.			
1	Нарізання швів в асфальтобетонном у покритті на глибину 15 см	СОУ 42.1-37641918-098:2012, п. 5.32	100м	0.316	4.02	4.02	1.27	1.27	2	2	дорожні робітники 2 розр. – 2 оператор швонарізки 5розр. - 1	1	1
2	Зняття технічних засобів регулювання дорожнього руху (демонтаж світлофорів та дорожніх знаків)	СОУ 42.1-37641918-098:2012, п. 6.15	1000м	0.0012	4.84	1.21	0.01	0.001	1	1	машиніст 3 розр. – 1 дорожні робітники 3 розр. – 3	1	
3	Демонтаж бетонних рефюджів (40 см)	РЕСН 27, 27-67-5	100м <sup>3</sup>	0.031	60.81	12.34	1.88	0.38	2	1	машиніст 6 розр. – 1 дорожній робітник 5 розр. – 1	1	
4	Демонтаж бортового каменю БР100.30.15	РЕСН 27, 27-68-2	100м	0.125	26.4	4.61	3.3	0.57	3	1	дорожній робітник: 3 розр. – 1 2 розр. – 1	1	
5	Демонтаж асфальтобетонного покриття (15 см)	РЕСН 27, 27-67-4	100м <sup>3</sup>	0.027	203.9	92.7	5.5	2.5	6	3	машиніст 6 розр. – 1 дорожній робітник 5 розр. – 1	2	
6	Демонтаж щелевеної основи	РЕСН 27, 27-67-2	100м <sup>3</sup>	0.11	18.37	2.67	2.02	0.29	2	1	машиніст 5 розр. – 1 дорожній робітник 5 розр. – 1	2	

## Продовження таблиці 4.6.

№	Вид робіт	Посилання на ДБН	Од. виміру	Обсяг робіт	Норма часу		Трудоємність нормативна		Трудоємність прийнята		Склад бригади	Зміни	Дні
					люд.- год.	маш.- год.	люд.- год.	маш.- год.	люд.- год.	маш.- год.			
7	Ущільнення ґрунту вручну	СОУ 42.1-37641918-098:2012, п. 4.9	100м <sup>2</sup>	0.3155	2.20	-	0.69	-	1	-	дорожній робітник: 4 розр. – 1 3 розр. - 1	1	2
8	Улаштування прошарку з нетканого синтетичного матеріалу	РЕСН 27, 27-20-4	1000м <sup>2</sup>	0.035	43.49	-	1.5	-	2	-	дорожній робітник: 3 розр. – 1 2 розр. – 1	1	
9	Укладання щебеню фракції 20-40мм (30 см)	РЕСН 27, 27-13-1	1000м <sup>2</sup>	0.0632	32.03	2.08	2.02	0.13	2	1	Асфальтобетонники: 5 розр. – 1 4 розр. – 1 3 розр. – 1 3 розр. – 3	1	
10	Монтаж рефюджів (у зборі: стійка, знаки, боларди)	РЕСН 27, 27-54-1	1 шт.	2	1.16	0.13	2.32	0.26	3	1	дорожній робітник: 3 розр. – 2 2 розр. – 1 машиніст крана - 1	1	
11	Монтаж плити пішохідної (у зборі: боларди, тактильні елементи)	РЕСН 27, 27-54-1	1 шт.	1	1.16	0.13	1.16	0.13	2		дорожній робітник: 3 розр. – 2 2 розр. – 1 машиніст крана - 1	2	

## Продовження таблиці 4.6.

№	Вид робіт	Посилання на ДБН	Од. виміру	Обсяг робіт	Норма часу		Трудоємність нормативна		Трудоємність прийнята		Склад бригади	Зміни	Дні
					люд.-год.	маш.-год.	люд.-год.	маш.-год.	люд.-год.	маш.-год.			
12	Укладання асфальтобетонної суміші (3 шари по 5 см)	СОУ 42.1-37641918-098:2012, п. 5.10	1000 м <sup>2</sup>	0.04	43.34	3.94	1.73	0.16	2	1	машиніст 7 розр. – 1 помічник машиніста 6 розр. – 1 Асфальтобетонники: 6 розр. – 1 5 розр. – 1 4 розр. – 2 3 розр. – 2	2	2
13	Встановлення технічних засобів регулювання дорожнього руху (демонтаж світлофорів та дорожніх знаків)	СОУ 42.1-37641918-098:2012, п. 6.15	1000м	0.0012	4.84	1.21	0.01	0.001	1	1	машиніст 3 розр. – 1 дорожні робітники 3 розр. – 3	2	
14	Нанесення горизонтальної дорожньої розмітки	РЕСН 27, 27-45-2	10 м <sup>2</sup>	3.6	2.97	0.9	10.69	3.24	11	3	машиніст 6 розр. – 1 дорожні робітники 3 розр. – 3	1/2	3
<b>Всього</b>												<b>3</b>	

### **4.3 Висновки до розділу 4.**

1. В розділі наведено інформацію щодо технологічних регламентів виготовлення збірних залізобетонних елементів пропонованої системи безпеки пішоходів. Детальна увага приділена процедурам та умовам поетапного виготовлення елементів відповідно до вимог нормативних документів, а також наведені витрати матеріалів та перераховані граничні допуски відхилення параметрів конструкції. Запропоновані технологічні регламенти бетонних сумішей та проведені необхідні лабораторні випробування, що підтверджують необхідні фізико-механічні параметри.

2. Розроблена технологічна карта монтажу конструкції, яка складається з різновисоких рефюджів та пішохідної плити, на місцевості та представлений календарний план виробництва робіт.

## РОЗДІЛ 5. ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Розробка та впровадження нових залізобетонних конструкцій для систем безпеки пішоходів є критично важливою для підвищення рівня безпеки на дорогах. У сучасних міських умовах зростаюча інтенсивність руху транспорту та підвищені вимоги до безпеки пішоходів вимагають застосування інноваційних інженерних рішень. Пропонована в даній роботі конструкція острівців безпеки з використанням типових залізобетонних виробів та металевих болардів була протестована шляхом виконання математичного моделювання. Результати чисельного експерименту підтвердили здатність пропонованої системи блокувати рух в автомобілів в зону розташування пішоходів завдяки достатньому підняттю конструкції над площиною дорожнього полотна. Крім того, конструкція здатна зберігати свою функціональність навіть за умови часткового руйнування та деформації. У зв'язку з чим, можна констатувати життєздатність даної системи та можливість її використання в реальних умовах міста.

Для перевірки ефективності та практичності запропонованої конструкції важливо провести її тестування на місцевості. Реальні умови експлуатації дозволять оцінити здатність конструкції витримувати навантаження, спричинені автомобільним рухом, а також її вплив на потік пішоходів і транспортних засобів. Таке тестування є ключовим етапом у процесі впровадження розробок у міське середовище, оскільки воно надає можливість не лише підтвердити теоретичні результати дослідження, але й виявити потенційні недоліки та можливості для подальшого вдосконалення конструкції. Таким чином, тестування на місцевості є невід'ємною частиною процесу розробки та інтеграції нових інженерних рішень, які мають на меті підвищення рівня безпеки пішоходів та зниження ризику дорожньо-транспортних пригод.

Перший тестовий зразок запропонованої конструкції було встановлено в м. Харкові за адресою просп. Людвіга Свободи, 37 (рис. 5.1). Ділянка дороги на проспекті Людвіга Свободи, 37 в Харкові є однією з важливих

транспортних артерій міста, оскільки розташована на території великого спального мікрорайону міста (житловий масив Олексіївка) та має по декілька полос руху в кожному напрямку. В цьому районі зосереджені не тільки чисельні багатоповерхові будинки, але також і крупні гіпермаркети та торгівельні центри, що визначає постійний жвавий рух як транспортних засобів, так і пішоходів. Згідно з даними з Головного управління статистики у Харківській області [120], ця ділянка характеризується високою інтенсивністю руху транспортних засобів. Частота дорожньо-транспортних пригод (ДТП) на цьому проспекті є значною, що свідчить про підвищений ризик для пішоходів, особливо на перехрестях та біля пішохідних переходів не дивлячись на наявність пішохідних світлофорів.

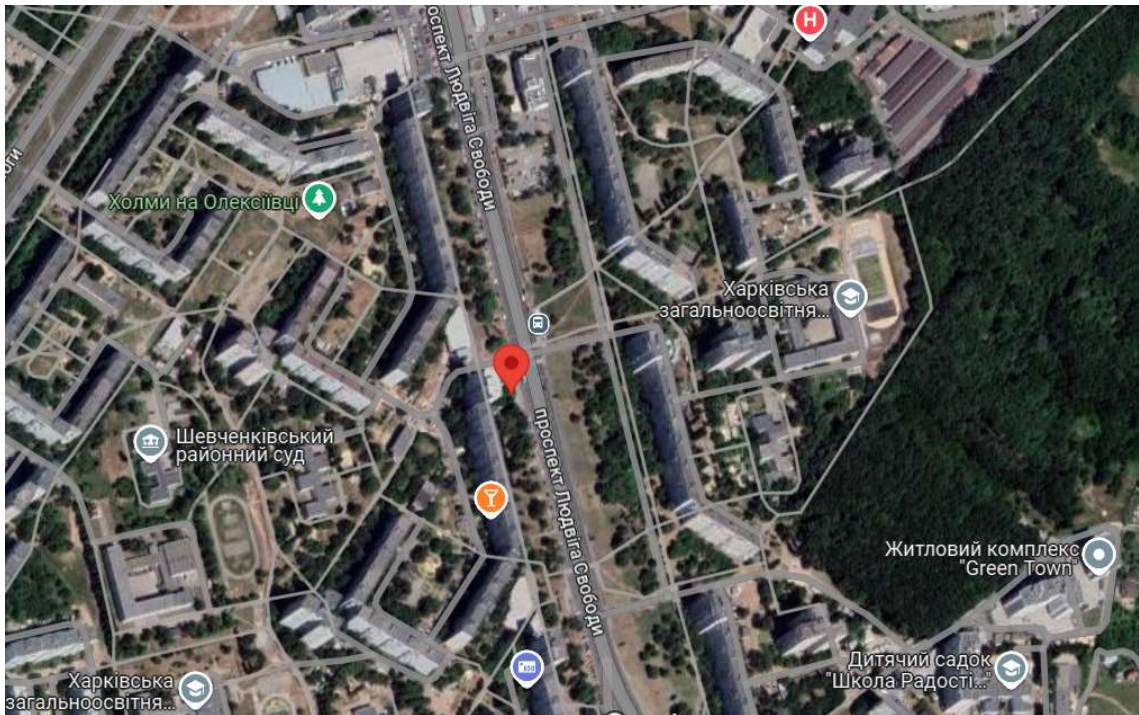


Рисунок 5.1 – Ділянка встановлення тестової СБП по просп. Людвіга Свободи, 37

На ділянці встановлення пропонуваної системи безпеки пішоходів раніше був розташований острівець безпеки, що представляв собою бетонну конструкцію, яка виступає на 15-20 см над поверхнею дорожнього полотна, окантовану бордюрним каменем з розміткою. В межах даного островка

розташовані дорожні знаки 5.35.1 та 5.35.2 на опорах (2 шт.), а також великогабаритний рекламний щит, що ускладнює видимість дорожньої ситуації водіям транспортних засобів та зручність і безпеку пішоходів (рис. 5.2). Відсутність захисних болардів та недостатній підйом конструкції островка над поверхнею дорожнього полотна не здатний забезпечити необхідний рівень безпеки учасників дорожнього руху, що спонукає до пошуку альтернативних систем безпеки.

В період виконання підготовчих робіт на ділянці будівництва рекламний щит на перехресті було демонтовано (рис. 5.3) та нанесено розмітку для встановлення пропонованої системи безпеки пішоходів.

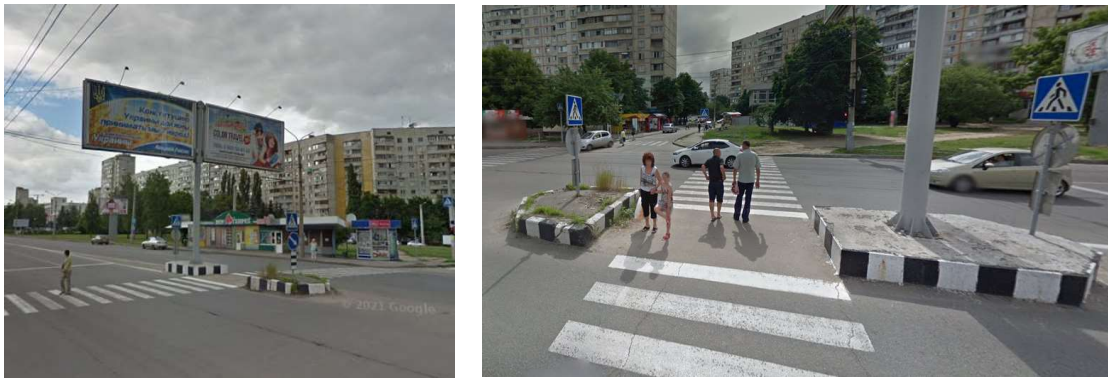


Рисунок 5.2 – Конструкція існуючого островка безпеки по просп. Людвіга Свободи, 37



Рисунок 5.3 – Підготовчий етап будівництва на розглянутому перехресті

Пропонована конструкція СБП для встановлення на обговорюваному перехресті представляє собою систему, що складається з рефюджу марки RS REF400.203 (висотою 400 мм), пішохідної плити марки BS 400.200.25 та рефюджу марки RS REF700.203 (висотою 700мм). Комбінація різновисоких рефюджів в єдиній СБП обумовлена різною інтенсивністю руху з різних сторін від перехрестя: у зв'язку із віртуальною можливістю проїзду перехрестя на миготливий жовтий сигнал світлофора – більш високий рефюдж встановлюється із цієї сторони. Потреби у встановленні рефюджів однакової висоти немає, тому використання другого рефюджу висотою 400мм здатне забезпечити необхідну безпеку пішоходів та економію коштів. В таблиці 5.1 наведено перелік будівельно-монтажних робіт з встановлення обговорюваних елементів системи.

Таблиця 5.1 – Перелік БМР по встановленню СБП

№	Найменування робіт	Од. виміру	Обсяг робіт
1	Нарізання швів в асфальті на глибину 15 см	м	31.6
2	Демонтаж стійки для дорожніх знаків	шт.	2
3	Демонтаж дорожнього знаку 5.35.1	шт.	2
4	Демонтаж дорожнього знаку 5.35.2	шт.	2
5	Демонтаж існуючих бетонних рефюджів висотою 20 см	м <sup>3</sup>	3.1
6	Демонтаж бортового каменю БР100.30.15 (обіг рефюджу)	м	12.5
7	Розбирання щебеневого покриття 15см	м <sup>3</sup>	0.9
8	Демонтаж асфальтобетону 15 см	м <sup>2</sup>	18
9	Демонтаж щебеневої основи 25 см	м <sup>2</sup>	19
10	Ущільнення основи	м <sup>2</sup>	31.55
11	Укладання геотекстилю	м <sup>2</sup>	34.7
12	Укладання щебеню фракції 20-40мм (30см)	м <sup>2</sup>	31.6
13	Монтаж рефюджа RS REF400.203 (в комплекті зі стійкою, знаками, болардами)	шт	1
14	Монтаж рефюджа RS REF700.203 (в комплекті зі стійкою, знаками, болардами)	шт	1



## Продовження таблиці 5.1.

№	Найменування робіт	Од. виміру	Обсяг робіт
15	Монтаж плити пішохідної (у зборі: боларди, тактильні елементи)	шт	1.5
16	Укладання асфальтового покриття (3 шари по 5 см)	м <sup>2</sup>	13.55
17	Нанесення дорожньої розмітки 1.14.1	м <sup>2</sup>	36

Роботи зі встановлення систем безпеки пішоходів за адресою просп. Людвіга Свободи, 37 виконувались відповідно до технологічних регламентів, детально охарактеризованих у розділі 4. На рисунках 5.4-5.5 наведено фотофіксацію обговорюваного перехрестя після реконструкції та встановлення пропонованої системи СБП.



Рисунок 5.4 – Фотофіксація СБП по просп. Л.Свободи, 37 в денний час (жовтень 2021 року)

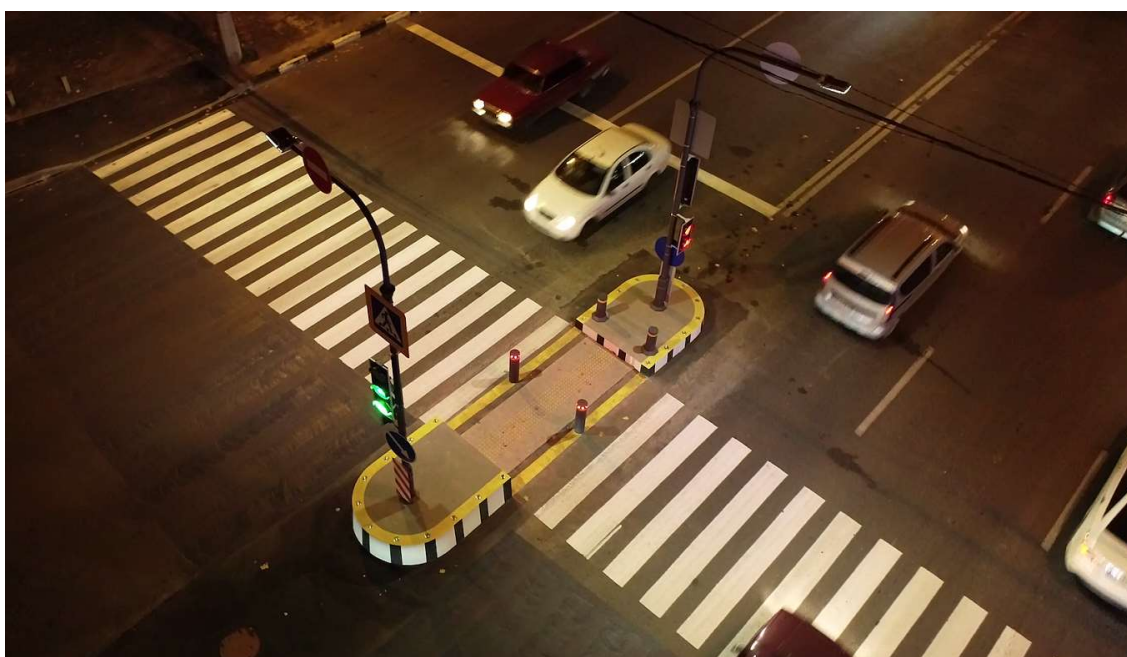
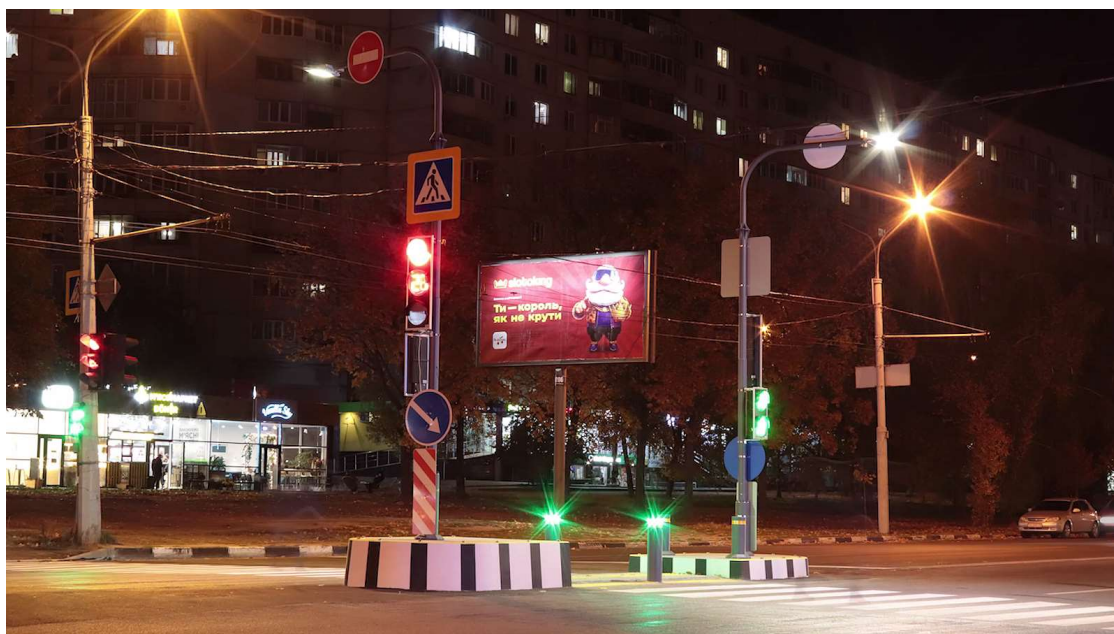


Рисунок 5.5 – Функціонування СБП в нічний час доби (жовтень 2021р.)

На момент написання дисертаційного дослідження конструкція за обговорюваною адресою функціонувала майже три повних роки. За цей час система продемонструвала гарну зносостійкість конструктивних елементів – було проведено поточні ремонти у 2023р із заміни світлодіодів в болардах. Крім того, на звернення від 11.09.2024 до Департаменту будівництва та шляхового господарства Харківської міської ради було отримано інформацію, що чисельність дорожньо-транспортних пригод на згаданому перехресті

склала 4 випадки за період 2022-2024 рр., у порівнянні із 21 випадком за період 2018-2021рр. (дивись ДОДАТОК Б).

Отримані результати апробації пропонованої системи стали приводом для впровадження її масового використання на дорогах міста Харкова. На поточний момент на 15 з 52 перспективних місць встановлення СБП в м. Харкові, визначених в першому розділі дисертації, вже було впроваджено обговорювані конструкції в різних модифікаціях. Карта встановлених СБП наведена на рис. 5.6, а в таблиці 5.2 наведено інформацію про тип застосованих конструктивних елементів, рік встановлення та точну адресу. Впровадження даних систем і надалі має місце, не зважаючи на складні умови, в яких перебуває місто Харків в даний час.

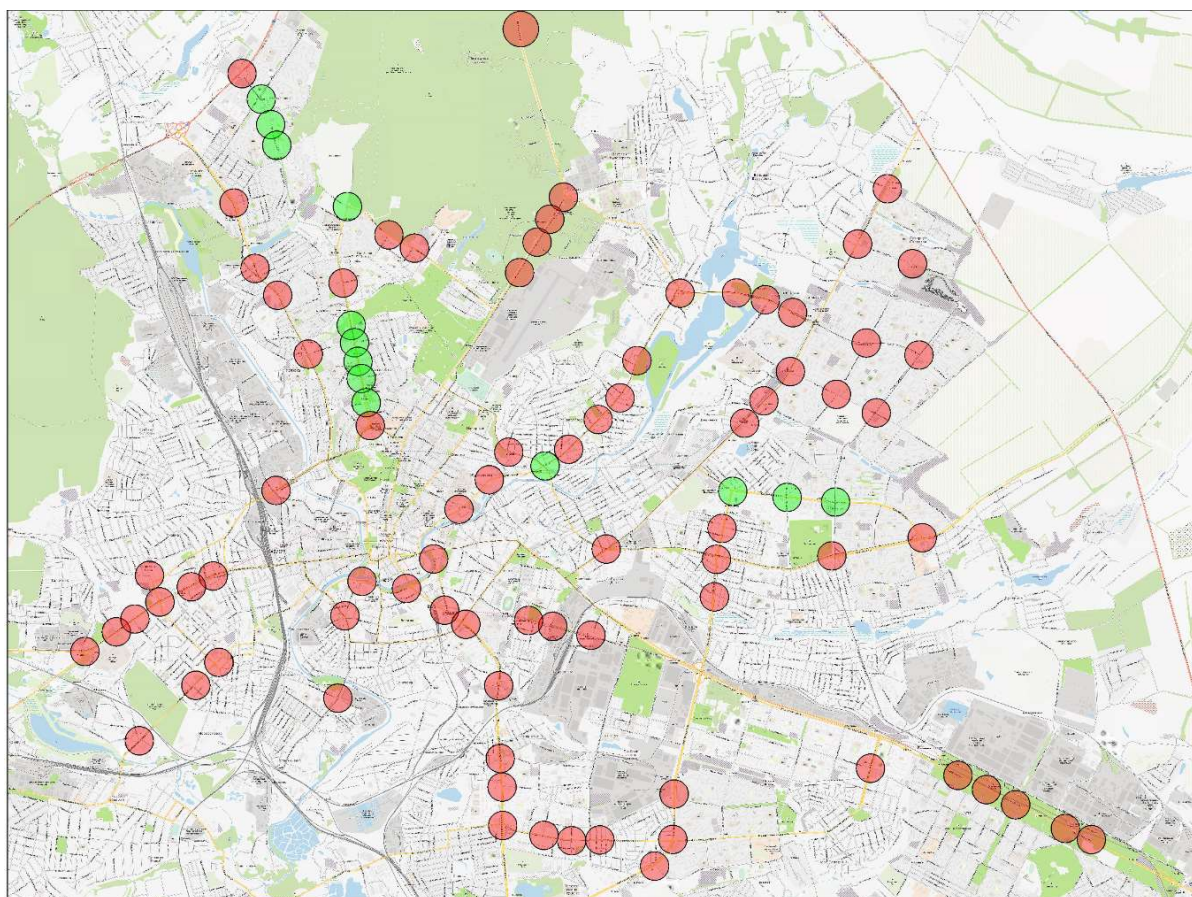


Рисунок 5.6 – Місця встановлення пропонованих СБП (червоним позначено перспективні місця, зеленим – вже встановлені)

Таблиця 5.2 – Перелік адрес зі встановленими СБП пропонованої конструкції

№ п/п	Адреса	Тип	Рік встановлення
1	просп. Людвіга Свободи, 43 (с/м Клас)	RS REF400, RS REF700	2023
2	просп. Людвіга Свободи, 37	RS REF400, RS REF700	2021
3	просп. Людвіга Свободи, 33	RS REF400, RS REF700	2023
4	просп. Людвіга Свободи, 32	RS REF400, RS REF700	2023
5	просп. Науки – вул. Дерев'янка	RS REF400, RS REF700	2023
6	просп. Науки – вул. Дмитра Антоненка	RS REF400	2023
7	просп. Науки – вул. Європейська	RS REF400	2023
8	просп. Науки – вул. Космічна	RS REF400	2023
9	просп. Науки – вул. Євгенія Єніна	RS REF400	2023
10	просп. Науки – вул. Культури	RS REF400	2023
11	вул. Шевченка – вул. Матюшенка	RS REF400, RS REF700	2024
12	просп. Ювілейний – просп. Льва Ландау	RS REF400, RS REF700	2024
13	просп. Ювілейний – вул. Гвардійців-Широнінців	RS REF400, RS REF700	2024
14	просп. Ювілейний, 52	RS REF400, RS REF700	2024
15	просп. Ювілейний – просп. Тракторобудівників	RS REF400, RS REF700	2024

Слід також навести техніко-економічні показники даної системи у порівнянні з іншими аналогами, що пропонуються до встановлення вітчизняними виробниками. Зокрема, на ринку представлена система виробництва ТОВ «СОЦІАЛЬНЕ ПІДПРИЄМСТВО УВВ ІНЖИНІРИНГ» [121], що представляє собою два півострівці, між якими розташовується пішохідний перехід. Конструкція півострівця виготовляється в збірному залізобетоні з бетону марки М350 та має габарит 2х3х0.15м. Конструкція кріпиться на поверхню дорожнього полотна та має світлоповертаючу фарбу на видимій водієві частині острівця. Додатково на ній можуть встановлюватись дорожні знаки. Приклад такої конструкції наведено на рис. 5.7.

Другим аналогом до порівняння прийнято острівці безпеки, які масово встановлюються в місті Києві [122], та мають вигляд пластикової сигнальної тумби, встановленої на рефюджі висотою 5-20 см, який може мати вигляд обігу з бортового каменю, заповненого бетоном або щебенем та заасфальтованого зверху або покритого вимощенням. На таких острівцях можуть бути розташовані боларди. Обговорювані острівці безпеки наведено на рис. 5.8.



Рисунок 5.7 – Острівці безпеки, розроблені ТОВ «Соціальне підприємство УВВ ІНЖИНІРИНГ»



Рисунок 5.8 – Острівці безпеки з сигнальними тумбами в м. Києві

Для порівняння прийняті витрати матеріалів та трудових ресурсів на встановлення одного рефюджу, тобто тільки половини конструкції для кожної з порівнюваних систем. Результати порівняння наведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Техніко-економічне порівняння пропонованої системи та вітчизняних аналогів\*

№ п/п	Найменування показника	Од. виміру	Рефюдж RS REF400.203			УВВ ІНЖИНІРИНГ м. Вінниця			Острівець безпеки м. Київ		
			К-ть	Ціна	Вартість	К-ть	Ціна	Вартість	К-ть	Ціна	Вартість
1	Арматура	т	0.17	36 900	6 125	1	17 500	17 500	-	-	-
2	Бетон	м <sup>3</sup>	1.83	3 700	6 771				-	-	-
3	Болард	шт	2	4 000	8 000				6	500	3 000
4	Щебінь	м <sup>3</sup>	0.20	700	140				1.5	700	1 050
5	Бортове каміння	шт	-	-	-				10	1200	12 000
6	Облаштування (фарба, знаки, світлоповертаючі елементи тощо)	грн	1	5 000	5 000				1.00	4100	4 100
Всього			<b><u>46 036</u></b>			<b><u>45 000</u></b>			<b><u>40 150</u></b>		

\*таблиця була розрахована в поточних цінах станом на вересень 2024 року. Ціни конструкцій аналогів прийняті на основі інформації з відкритих джерел.

Як видно з наведеної таблиці, пропонована конструкція СБП на 13% дорожча за систему, пропоновану ТОВ «СП УВВ ІНЖИНІРИНГ» та на 27% дорожча за систему з сигнальними тумбами, разом з тим, варто зауважити, що безпека пішоходів на таких острівцях забезпечується умовно, адже як видно з рисунків 5.7-5.8 захисні боларди системою або не передбачені взагалі (рис. 5.7), або просто відсутні (рис. 5.8). Таким чином, вони виконуються виключно інформаційну функцію для учасників дорожнього руху та не здатні гарантувати необхідну безпеку пішоходів. А за відсутності захисних болардів висоти підйому рефюджів над поверхнею дорожнього полотна просто недостатньо для зупинки рухомого автомобіля та попередження наїзду на пішоходів у випадку аварійної ситуації.

Якщо ж порівнювати пропоновану конструкцію та світові аналоги, які зарекомендували себе по всьому світу – Normann, FAAC, тощо – то слід зауважити, що станціонарний болард марки FAAC J200 F H600 коштує від 65 000 грн. [123], таким чином, пропонована система в рази дешевша ніж відомі європейські альтернативи з гарантованим рівнем надійності. Крім того, варіативність компонування елементів системи між собою в залежності від потреб та умов подальшої експлуатації дозволяє використовувати їх на ділянках з інтенсивним дорожнім рухом як в межах міста, так і за межами населених пунктів. Одночасне застосування активних та пасивних засобів безпеки – боларди, світлоповертаюча фарба та вставки ВРД – не лише підвищує обізнаність учасників дорожнього руху, але й реально здатна гарантувати безпеку пішоходів в аварійних ситуаціях. З точки зору ж експлуатації системи, то технологія виробництва конструкції та закладення всіх необхідних компонентів на етапі виробництва в заводських умовах збільшує термін експлуатації СБП та зменшує необхідність регулярного проведення поточних ремонтів, що перевірено на тестовому зразку конструкції по просп. Л. Свободи, 37.

Приклади реалізованих конструкцій СБП з використанням пропонованих елементів наведені в ДОДАТКУ А.

## 5.1 Висновки до розділу 5

На основі проведених теоретичних та чисельних досліджень запропоновано та впроваджено в проектування та будівництво конструктивне рішення систем безпеки пішоходів зі збірних залізобетонних елементів. Співставлення даного рішення з відомими конструкціями острівців безпеки дозволяє переконатися в повній ідентичності як технологічних операцій зведення, так і використовуваних машин і механізмів. Запропонований конструктив гарантує безпеку пішоходів у випадку ДТП, що було підтверджено шляхом математичного моделювання аварійних ситуацій, та сприяє зменшенню їх кількості, про що свідчать досвід експлуатації встановлених конструкцій за останні три роки. Порівняння з вітчизняними системами безпеки пішоходів демонструє, що пропонована конструкція дорожча на 15-30%, але даний показник позитивно нівелюється більш високим рівнем безпеки пропонованої конструкції за рахунок використання комплексу заходів, що включають високий рівень підняття над поверхнею проїжджої частини, надійний вузол кріплення болард-рефюдж, використання світлопвертаючого пофарбування та ВРД, підсвітку болардів, яка повторює сигнали світлофорів, тощо. Крім того, пропоновані конструкції конкурентоздатні на світовому ринку СБП, оскільки суттєво поступаються в ціні.

Подальшого перспектива вивчення позначеного конструктиву полягає у дослідженні підвищення ефективності безпеки за рахунок різних типів стримувальних елементів та оптимізація та раціоналізація конструкції.



## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертації вирішено важливу науково-технічну проблему підвищення безпеки пішоходів шляхом розробки інноваційної системи острівця безпеки для пішохідних переходів на міських і магістральних автомобільних дорогах. Проведені дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

1. На підставі проведеного критичного огляду наявних вітчизняних та міжнародних систем безпеки пішоходів запропоновано ефективні параметри універсальної системи острівця безпеки, що включає систему болардів та рефюджів для підвищення безпеки пішоходів. Зокрема, за даними моделювань, найбільш ефективними для умов міста виявились боларди діаметром понад 203 мм, які зберігали свою стримувальну здатність на швидкостях до 50 км/год та були здатні зупинити легкові автомобілі з масою до 3000 кг.

2. Розроблено конструктивну систему з уніфікованими болардами та острівцями безпеки, яка може бути реалізована у 48-ми комбінаціях в залежності від дорожніх умов як у межах міста, так і на магістралях.

3. Запропоновані раціональні рішення для з'єднання основних елементів системи, що забезпечують надійність та довговічність конструкції в залежності від умов експлуатації.

4. На підставі проведеного скінченно-елементного моделювання напружено-деформованого стану конструкції типу рефюдж-болард встановлено, що запропонована система безпеки забезпечує ефективний захист пішоходів у 87% випадків. Максимальне навантаження, яке система здатна витримати, становить 1680 кДж при зіткненні з транспортом масою 4000 кг на швидкості 50 км/год.

5. Запропонована технологічна карта виготовлення та монтажу системи безпеки пішоходів забезпечує високий рівень стандартизації, що зменшує витрати матеріалів на 15-20%, та скорочує час монтажу конструкції на 25%.

6. Результати дослідження впроваджено в практику проектування та будівництва островців безпеки на магістралях міста Харкова. На даний час запропонована система встановлена на 15 перехрестях. За три роки експлуатації кількість аварій на цій ділянці знизилася на 30%, що свідчить про її ефективність.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Патрульна поліція України | Офіційний сайт. URL: <https://patrolpolice.gov.ua/wpcontent/uploads/2024/01/12.2023.xlsx> (дата звернення: 23.09.2024).
2. Road safety statistics in the EU - Statistics Explained. *Language selection | European Commission*. URL: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Road\\_safety\\_statistics\\_in\\_the\\_EU](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Road_safety_statistics_in_the_EU) (дата звернення: 23.09.2024).
3. ДСТУ 9214:2023. Автомобільні дороги. Терміни та визначення понять. Чинний від 2023-06-01. Вид. офіц. Київ, 2023. 48 с.
4. Обмежувальні стовпчики від Hörmann – великий вибір, універсальність використання. Hoermann.ua | Гаражні ворота, входні двері до будинків і внутрішні двері. URL: <https://www.hormann.ua/promislovist-ta-biznes/sistemi-kontrolju%20vjizdu/obmezhuvalni-stovpchiki/> (дата звернення: 23.09.2024).
5. URL: <https://faactechologies.com/> (дата звернення: 23.09.2024).
6. CAME Urbaco. URL: <https://urbaco.came.com/> (дата звернення: 23.09.2024).
7. BFT | home, building, urban access automation. Country Choice. URL: [https://www.bft-automation.com/en\\_INT/](https://www.bft-automation.com/en_INT/) (дата звернення: 23.09.2024).
8. Mediacenter. Garagentore, Haustüren und Innentüren | Hörmann. URL: [https://www.hoermann.de/mediacenter/query/\\*/product/0/mediatype/9/language/32753/](https://www.hoermann.de/mediacenter/query/*/product/0/mediatype/9/language/32753/) (дата звернення: 23.09.2024).
9. Series Bollards EN. calameo.com. URL: <https://www.calameo.com/read/0006815786424dafelc47> (дата звернення: 23.09.2024).
10. SD-STD-02.01, Revision A Test Method for Vehicle Crash Testing of Perimeter Barriers and Gates, 2003
11. ASTM F2656 - Standard Test Method for Crash Testing of Vehicle Security Barriers, ASTM International, Technical Rule, 2020

12. BS PAS 69:2013, Guidance for the selection, installation and use of vehicle security barrier systems (withdrawn 2023), Beuth Verlag GmbH, Technical Rule, 2013.
13. ДСТУ 8751:2017. Безпека дорожнього руху. Огородження дорожні і напрямні пристрої. Правила використання. Загальні технічні вимоги. Чинний від 2019-01-01. Вид. офіц. Київ. 39 с.
14. ДСТУ Б В.2.3-12-2004. Огородження дорожнє металеве бар'єрного типу. Загальні технічні умови. Чинний від 2012-01-01. Вид. офіц. Київ, 2012. 5 с.
15. ДСТУ Б В.2.3-10-2003. Споруди транспорту. Огородження дорожнє парашютного типу. Загальні технічні умови. Чинний від 2004-07-01. Вид. офіц. Київ, 2004. 12 с.
16. ДСТУ Б В.2.3-25:2009. Огородження дорожнє тросового типу. Загальні технічні умови. Чинний від 2010-10-01. Вид. офіц. Київ, 2010. 12 с.
17. ISO 22343-1:2023, Security and resilience — Vehicle security barriers — Part 1: Performance requirement, vehicle impact test method and performance rating', Beuth Verlag GmbH, Technical Rule, 2023
18. Field Tests and Numerical Modeling of Vehicle Impacts on a Boulder Embedded in Compacted Fill / L. Reese та ін. International Journal of Protective Structures. 2014. Т. 5, № 4. С. 435–451. URL: <https://doi.org/10.1260/2041-4196.5.4.435> (дата звернення: 23.09.2024).
19. Field test and numerical modeling of vehicle impact on a boulder with impact-induced fractures / Y. Zhou та ін. International Journal of Protective Structures. 2016. Т. 7, № 1. С. 3–17. URL: <https://doi.org/10.1177/2041419615622725> (дата звернення: 23.09.2024).
20. Development of shallow foundation streetscape vehicular anti-ram (SVAR) systems through modeling and testing / E. O'Hare та ін. Proc 83rd Shock and Vibr. 2012.
21. A Study on Shock Absorption Bollard using Honeycomb Geometry / S. Seon та ін. Korean Soc. Precis. Eng. 2018..

22. A Study on Shock Absorption Characteristics of Honeycomb-Inserted Bollards / S. Seon та ін. *Applied Sciences*. 2020. Т. 10, № 9. С. 3014. URL: <https://doi.org/10.3390/app10093014> (дата звернення: 23.09.2024).
23. Cellular solids: Structure and properties / ред. А. М. Ф. 2-ге вид. Cambridge : Cambridge University Press, 1997. 510 с.
24. *Damageability, Repairability and Safety of Automobile at Low Speed Frontal and Rear Crash Test*, Kim, G.H., та ін. *Korean Soc. Automot. Eng.*, 1998.
25. Design analysis of hybrid composite anti-ram bollard subjected to impulsive loadings / P. Tran та ін. *Composite Structures*. 2018. Т. 189. С. 598–613. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2018.01.093> (дата звернення: 23.09.2024).
26. A novel re-entrant auxetic honeycomb with enhanced in-plane impact resistance / H. Wang та ін. *Composite Structures*. 2019. Т. 208. С. 758–770. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2018.10.024> (дата звернення: 23.09.2024).
27. Experimental and numerical investigation on 3D printed PLA sacrificial honeycomb cladding / H. B. Rebelo та ін. *International Journal of Impact Engineering*. 2019. Т. 131. С. 162–173. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2019.05.013> (дата звернення: 23.09.2024)..
28. Hu B. An assessment of current maximum impact force models for anti-ram bollard systems subjected to truck impact. *International Journal of Protective Structures*. 2017. Т. 8, № 3. С. 368–383. URL: <https://doi.org/10.1177/2041419617721551> (дата звернення: 23.09.2024).
29. Hirsch TJ (1986) Longitudinal Barriers for Buses and Trucks (Transportation Research Record no. 1052). Washington, DC: National Research Council, pp. 95–102.
30. Harrison, T. L. (2004). Design of fixed ram-resistant vehicle barriers for perimeter security. In *Structures 2004: Building on the past, securing the future* (pp. 1-10).

31. European Committee for Standardization (CEN) (2002) Eurocode 1. Actions on structures, Part 1-1: general actions-densities, self-weight, imposed loads for buildings, Brussels. Available at: [http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/doc/WS2008/EN1991\\_2\\_Malakatas.pdf](http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/doc/WS2008/EN1991_2_Malakatas.pdf)
32. Siddall D. E., Day T. D. Updating the Vehicle Class Categories. International Congress & Exposition. 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA, United States, 1996. URL: <https://doi.org/10.4271/960897> (дата звернення: 23.09.2024).
33. HU Bo, LI Guo-qiang. MODIFIED CALCULATION METHOD FOR MAXIMUM IMPACT FORCE BETWEEN TRUCK AND ANTI-RAM BOLLARD BASED ON CAMPBELL'S MODEL[J]. Engineering Mechanics, 2017, 34(7): 79-88,155. DOI: 10.6052/j.issn.1000-4750.2016.01.0023.
34. Hu B., Li G.-q., Sun J.-y. Numerical investigation of K4-rating shallow footing fixed anti-ram bollard system subjected to vehicle impact. International Journal of Impact Engineering. 2014. Т. 63. С. 72–87. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2013.08.006> (дата звернення: 23.09.2024).
35. Simulation and Physical Testing of an Innovative 'floating' Shallow Mount Hostile Vehicle Barrier / J. Farley та ін. LS-Dyna Forum 2022. 2022.
36. Mey M., Guichun W., Ameen T. The Analysis on Dynamic Responses of Bridge Pier due to Vehicle Impact. American Journal of Engineering Research. 2022. Т. 11, № 06. С. 169–181.
37. Ministry of Communications of the People's Republic of China, "JTG D60-2015 general code for design of highway bridges and culverts," Beijing: People's Communications Press, 2015.
38. W. F. Buth et al., Collision Loads on Bridge Piers: Phase 2. Report of Guidelines for Designing Bridge Piers and Abutments for Vehicle Collisions, Texas A&M Transportation Institute, 2012.
39. A. K. Agrawal, C. Chen, "Bridge Vehicle Impact Assessment," University Transportation Research Consortium, New York Department of Transportation, 2008.

40. Design and Validation of a Crash Rated Bollard as per SD-STD-02.01 Rev. A (2003) Standard using LS-DYNA / Saurabh R. Deshpande та ін. 14th International LS-DYNA Conference, 12-14 черв. 2016 р.
41. LSTC, LS- DYNA Keyword Users' Manual Volume I, Livermore Software Technology Corporation
42. LSTC, LS- DYNA Keyword Users' Manual Volume II (Materials Models), Livermore Software Technology Corporation
43. HORIBA MIRA - Making Journeys Safer, Cleaner, Smarter - HORIBA MIRA. HORIBA MIRA. URL: <https://www.horiba-mira.com> (дата звернення: 23.09.2024).
44. ISO, IWA 14-1 Vehicle security barriers — Part 1: Performance requirement, vehicle impact test method and performance rating, 2016
45. Ibrahim Yumrutas H., Yurdabal Apak M. CRASHWORTHINESS OF THE BOLLARD SYSTEM BY EXPERIMENTALLY VALIDATED VIRTUAL TEST. *Engineering Failure Analysis*. 2023. С. 107167. URL: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2023.107167> (дата звернення: 23.09.2024).
46. A novel modular shallow mounted bollard system design and finite element performance analysis in ensuring urban roadside safety / М. У. Апак та ін. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering. 2022. С. 095440702211255. URL: <https://doi.org/10.1177/09544070221125534> (дата звернення: 23.09.2024).
47. European Norm EN1317-2 Road Restraint Systems, EN1317-2 Road Restraint Systems, 2010.
48. BS EN 16303 : 2020 BSI Standards Publication Road restraint systems — Validation and verification process for the use of virtual testing in crash testing against vehicle restraint system, (2020)
49. Development of Roadside Safety Barriers Using Natural Building Materials / G. Amato та ін. *Itrn2011*. 2011

50. A novel modular shallow mounted bollard system design and finite element performance analysis in ensuring urban roadside safety / М. У. Арак та ін. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*. 2022. С. 095440702211255. URL: <https://doi.org/10.1177/09544070221125534> (дата звернення: 23.09.2024).
51. Roque C., Moura F., Lourenço Cardoso J. Detecting unforgiving roadside contributors through the severity analysis of ran-off-road crashes. *Accident Analysis & Prevention*. 2015. Т. 80. С. 262–273. URL: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.02.012> (дата звернення: 23.09.2024).
52. Finite element simulation and failure analysis of fixed bollard system according to the PAS 68:2013 standard / М. У. Арак та ін. *Engineering Failure Analysis*. 2022. Т. 135. С. 106151. URL: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106151> (дата звернення: 23.09.2024).
53. PAS 68 2013 Impact Test Specifications for Vehicle Security Barrier Systems
54. Yumrutaş H. İ., Othman Ali Z. Experimental performance evaluation of an innovative hybrid barrier system filled with waste materials. *Construction and Building Materials*. 2022. Т. 316. С. 125231. URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125231> (дата звернення: 23.09.2024).
55. B.J.M. Shapiro, I.C. Consultants, Vehicle Impact Bollards No Longer Required for Cylinder Storage and Exchange Cabinets (n.d.).
56. Design analysis of hybrid composite anti-ram bollard subjected to impulsive loadings / P. Tran та ін. *Composite Structures*. 2018. Т. 189. С. 598–613. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2018.01.093> (дата звернення: 23.09.2024).
57. Choon-Keat ANG, Siew-Fern LIM, Jing-Yan KONG. Test and Numerical Simulation of Fixed Bollard and Removable Bollard Subjected to Vehicle Impact. *14 th International LS-DYNA Users Conference*, 12-14 черв. 2016 р.



58. ASTM F2656-07. Standard Test Method for Vehicle Crash Testing of Perimeter Barriers.
59. TAY S. K., LIM B., NG S. H. Crash Impact Modelling Of Security Bollard. *12 th International LS-DYNA Users Conference*, Singapore, 12-14 черв. 2012 р..
60. Goel M. D., Pawar P. Numerical Simulation of Anti-ram Bollard under Vehicle Impact. *Procedia Engineering*. 2017. Т. 173. С. 1595–1601. URL: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.12.264> (дата звернення: 23.09.2024).
61. ДБН В.2.3-5:2018. Вулиці та дороги населених пунктів. Чинний від 2018-09-01. Вид. офіц. Київ, 2018. 61 с.
62. Opendatabot. В Україні за десять місяців кількість ДТП збільшилась на 14% – Опендатабот. Опендатабот. URL: <https://opendatabot.ua/analytics/dtp-2021> (дата звернення: 23.09.2024).
63. Офіційний сайт Харківської міської ради, міського голови, виконавчого комітету. Генеральний план міста. URL; <https://www.city.kharkiv.ua/uk/dokumenty/generalnyj-plan-goroda.html> (дата звернення: 23.09.2024).
64. СОУ КЗПС 74.9-02568182-003:2016. Технічні умови України. Настанови щодо типової побудови, викладення, оформлення, позначення, прийняття та надання чинності. Чинний від 2016-01-13. Вид. офіц. Київ, 2016. 47 с.
65. ДСТУ-Н 4486:2005. Система конструкторської документації. Настанови щодо типової побудови технічних умов. Чинний від 2006-07-01. Вид. офіц. Київ, 2006. 31 с.
66. ГОСТ 2.114-95. Единая система конструкторской документации. Технические условия. Чинний від 1996-07-01. Вид. офіц. Мінск, 1996. 14 с.
67. ТУ У 23.6-41049388-019:2021. ЕЛЕМЕНТИ ЗАХИСНІ RS REF ДОРОЖНЬОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ. Чинний від 2021-09-15. Вид. офіц. Харків, 2021. 72 с.

68. ТУ У 25.9-41049388-020:2021. ЕЛЕМЕНТИ СТРИМУВАЛЬНІ RS RVL ДОРОЖНЬОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ. Чинний від 2021-09-15. Вид. офіц. Харків, 2021. 35 с.
69. ДСТУ 4036:2021. Безпека дорожнього руху. Вставки розмічальні дорожні. Загальні технічні вимоги. Чинний від 2021-08-01. Вид. офіц. Київ, 2021. 23 с.
70. ДСТУ 9208:2022. Бетони важкі. Технічні умови. Чинний від 2023-09-01. Вид. офіц. Київ, 2023. 24 с.
71. ДСТУ Б В.2.7-171:2008. Будівельні матеріали. Добавки для бетонів і будівельних розчинів. Загальні технічні умови (EN 934-2:2008, NEQ). Чинний від 2010-04-01. Вид. офіц. Київ, 2010. 93 с.
72. ДСТУ 3760:2019. Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови. Чинний від 2019-08-01. Вид. офіц. Київ, 2019. 18 с.
73. ДСТУ 8943:2019. Труби сталеві електрозварні. Технічні умови. Чинний від 2021-01-01. Вид. офіц. Київ, 2021. 20 с.
74. ДСТУ 4484:2005/ГОСТ 535-2005. Прокат сортовий і фасонний зі сталі вуглецевої звичайної якості. Загальні технічні умови. Чинний від 2006-09-01. Вид. офіц. Київ, 2006. 12 с.
75. ДСТУ 4738:2007/ГОСТ 2590-2006 Прокат сортовий сталевий гарячекатаний круглий. Сортамент (EN 10060:2003, NEQ; ГОСТ 2590-2006, ІДТ). З поправками. Чинний від 2007-10-01. Вид. офіц. Київ, 2007. 7 с.
76. ДСТУ 4747:2007 (ГОСТ 103-2006) Прокат сортовий сталевий гарячекатаний штабовий. Сортамент (EN 10058:2003, NEQ). З поправками. Чинний від 2009-01-01. Вид. офіц. Київ, 2009. 14 с.
77. ДСТУ 8539:2015 Прокат для будівельних сталевих конструкцій. Загальні технічні умови. Чинний від 2016-07-01. Вид. офіц. Київ, 2016. 19 с.
78. ДСТУ 8936:2019 Труби сталеві водогазопровідні. Технічні умови. Чинний від 2021-01-01. Вид. офіц. Київ, 2021. 99 с.
79. ДСТУ ISO 12944-4:2019 Фарби та лаки. Захист від корозії сталевих конструкцій захисними лакофарбовими системами. Частина 4. Типи поверхні

- та її готування (ISO 12944-4:2017, IDT). Чинний від 2019-06-01. Вид. офіц. Київ, 2019. 28 с.
80. ДСТУ ISO 12944-5:2020 Фарби та лаки. Захист від корозії сталевих конструкцій захисними лакофарбовими системами. Частина 5. Захисні лакофарбові системи (ISO 12944-5:2019, IDT). Чинний від 2021-11-01. Вид. офіц. Київ, 2021. 22 с.
81. ДСТУ ISO 12944-7:2019 Фарби та лаки. Захист від корозії сталевих конструкцій захисними лакофарбовими системами. Частина 7. Виконання та контролювання фарбувальних робіт (ISO 12944-7:2017, IDT). Чинний від 2019-06-01. Вид. офіц. Київ, 2019. 10 с.
82. ДСТУ EN ISO 1461:2024 Покриття, нанесені методом гарячого цинкування на вироби із чавуну та сталі. Технічні вимоги та методи випробування (EN ISO 1461:2022, IDT; ISO 1461:2022, IDT). Чинний від 2024-01-12. Вид. офіц. Київ, 2024. 10 с.
83. ТУ У 25.9-41049388-023:2023 ЕЛЕМЕНТИ СТІЙКОВІ RS TLS СИСТЕМИ БЕЗПЕКИ ПШОХОДІВ. Чинний від 2023-10-25. Вид. офіц. Харків, 2023. 36 с.
84. ДСТУ 7809:2015 Прокат сортовий, калібрований зі спеціальним обробленням поверхні з вуглецевої якісної конструкційної сталі. Загальні технічні умови. Чинний від 2023-04-01. Вид. офіц. Київ, 2016. 21 с.
85. PEDESTRIAN SAFETY SYSTEM RS PSS / О. Kalmykov та ін. *Collection of Scientific Works of the Ukrainian State University of Railway Transport*. 2022. № 202. С. 117–131. URL: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.202.2022.273667> (дата звернення: 23.09.2024).
86. Zakharov D. S., Hrybenyuk S. M. ANALYSIS OF MODERN APPROACHES AND WORLD EXPERIENCE IN THE USE OF PEDESTRIAN SAFETY SYSTEMS. *Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture*. 2024. № 6 (018). С. 62–68. URL: <https://doi.org/10.30838/j.bpsacea.2312.261223.62.1007> (дата звернення: 23.09.2024).

87. Belytschko T., Chiapetta R. L., Bartel H. D. Efficient large scale non-linear transient analysis by finite elements. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*. 1976. Т. 10, № 3. С. 579–596. URL: <https://doi.org/10.1002/nme.1620100308> (дата звернення: 23.09.2024)..
88. Hallquist, J.O. *LS-DYNA Theory Manual*, Livermore Software Technology Corporation: California, USA 2005.
89. Bakeer T., Jäger W. Collapse analysis of reinforced and unreinforced adobe masonry structures under earthquake actions—case study: Bam Citadel. *STREMAH 2007*, м. Prague, Czech Republic, 4–6 лип. 2007 р. Southampton, UK, 2007. URL: <https://doi.org/10.2495/str070541> (дата звернення: 23.09.2024).
90. C. K. Tay, B. Lim, S. H. Ng. Crash impact modeling of security bollard. 12th International LS-DYNA Users Conference. Automotive. 2012. pp. 1-9.
91. R. Reichert, C.K. Park, R.M. Morgan. Development of Integrated Vehicle-Occupant Model for Crashworthiness Safety Analysis. NHTSA Report No. DOT HS 812 087, December 2014
92. Marzougui, D., Kan, C., Samaha, R.R., Cui, C., & Nix, L. (2013). Extended Validation of the Finite Element Model for the 2007 Chevrolet Silverado Pick-Up Truck (MASH 2270kg Vehicle).
93. Reichert, R., Marzougui, D., & Kan, C.-D. (2020, June). Crash simulations between non-occupied automated driving systems and roadside hardware (Report No. DOT HS 812 871). National Highway Traffic Safety Administration.
94. ДСТУ Б В.2.6-120:2010. Конструкції будинків і споруд. Плити залізобетонні для покриття міських доріг. Технічні умови. Чинний від 2011-07-01. Вид. офіц. Київ, 2017. 24 с.
95. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. Чинний від 2020-06-01. Вид. офіц. Київ, 2020. 73 с.
96. ДСТУ В.2.6-2:2009. Конструкції будинків і споруд. Вироби бетонні і залізобетонні. Загальні технічні умови. Чинний від 2010-10-01. Вид. офіц. Київ, 2010. 34 с.

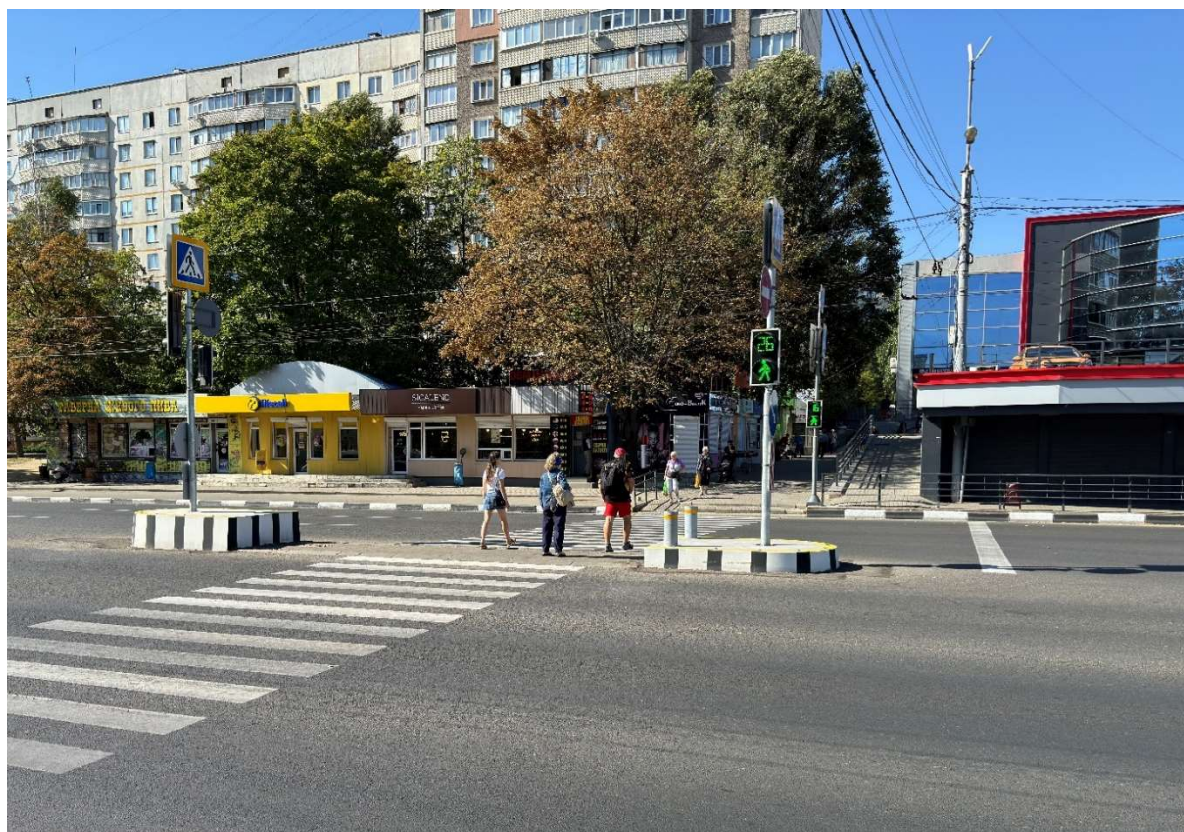
97. Мастило. АГАТ. Виробництво мастила для форм та опалубки. *agat*. URL: <https://agat1.com.ua/uk/> (дата звернення: 23.09.2024).
98. ДСТУ Б В.2.7-46:2010. Будівельні матеріали. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови. Чинний від 2011-09-01. Вид. офіц. Київ, 2011. 20 с.
99. ДСТУ Б В.2.7-75-98. Будівельні матеріали. Щебінь та гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт. Технічні умови. Чинний від 1999-01-01. Вид. офіц. Київ, 1999. 16 с.
100. ДСТУ EN ISO 16120-4:2017. Катанка з нелегованої сталі для перероблення на дріт. Частина 4. Особливі вимоги до катанки спеціальної призначеності (EN ISO 16120-4:2017, IDT; ISO 16120-4:2017, IDT). Чинний від 2018-02-01. Вид. офіц. Київ, 2018. 11 с.
101. ДСТУ Б В.2.7-32-95 Будівельні матеріали. Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови. Чинний від 1996-01-01. Вид. офіц. Київ, 1996. 35 с.
102. ДСТУ Б EN 12620:2013 Заповнювачі для бетону (EN 12620:2002+A1:2008, IDT). Чинний від 2014-10-01. Вид. офіц. Київ, 2014. 56 с.
103. ДСТУ Б В.2.7-210:2010. Будівельні матеріали. Пісок із відсівів дроблення вивержених гірських порід для будівельних робіт. Технічні умови. Чинний від 2016-07-01. Вид. офіц. Київ, 2016. 45 с.
104. ДСТУ Б В.2.7-273:2011. Вода для бетонів і розчинів. Технічні умови (ГОСТ 23732-79, MOD). Чинний від 2012-12-01. Вид. офіц. Київ, 2026. 4 с.
105. ДСТУ Б В.2.7-71-98. Щебінь і гравій із щільних гірських порід і відходів промислового виробництва для будівельних робіт. Методи фізико-механічних випробувань (ГОСТ 8269.0-97). Київ, 1999. 47 с.
106. ДСТУ Б В.2.6-145:2010. Конструкції будинків і споруд. Захист бетонних і залізобетонних конструкцій від корозії. Загальні технічні вимоги (ГОСТ 31384-2008, NEQ). Київ, 2011. 35 с.
107. ДСТУ Б В.2.7-224:2009 Бетони. Правила контролю міцності. Київ, 2010. 16 с.

108. ДСТУ Б В.2.7-214:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками. Київ, 2010. 38 с
109. ДСТУ Б В.2.6-156:2010 Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. Київ, 2011. 118 с
110. ДСТУ Б В.2.6-168:2011 Арматурні та закладні вироби зварні, з'єднання зварні арматурні і закладних виробів залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови (ГОСТ 10922-90, MOD). Київ, 2012. 26 с
111. Литурин® Сил - Lindec. Lindec. URL: <https://lindec.com.ua/ua/materialy/liturin/liturin-sil.html> (дата звернення: 23.09.2024).
112. ДСТУ 4100:2021 Безпека дорожнього руху. Знаки дорожні. Загальні технічні умови. Правила застосування. Київ, 2021. 140 с
113. ДСТУ 2587:2021 Безпека дорожнього руху. Розмітка дорожня. Загальні технічні умови. Київ, 2021. 99 с
114. ДБН В.2.2-40:2018 Інклюзивність будівель і споруд. Основні положення. Із Зміною № 1. Київ, 2023. 67 с
115. Про дорожній рух : Закон України від 30.06.1993 р. № 3353-ХІІ : станом на 1 січ. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3353-12#Text> (дата звернення: 23.09.2024).
116. ДБН А.3.2-2-2009 Система стандартів безпеки праці. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення (НПАОП 45.2-7.02-12). Київ, 2012. 116 с
117. ДБН В.2.1-10:2018 Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення. Київ, 2018. 36 с
118. СОУ 42.1-37641918-098:2012. Автомобільні дороги. Норми часу на ремонтно-будівельні роботи. Київ, Укравтодор, 2017. 219с.
119. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Збірник 27. Автомобільні дороги. Міністерство розвитку громад і територій, Київ 2021р. 80с.

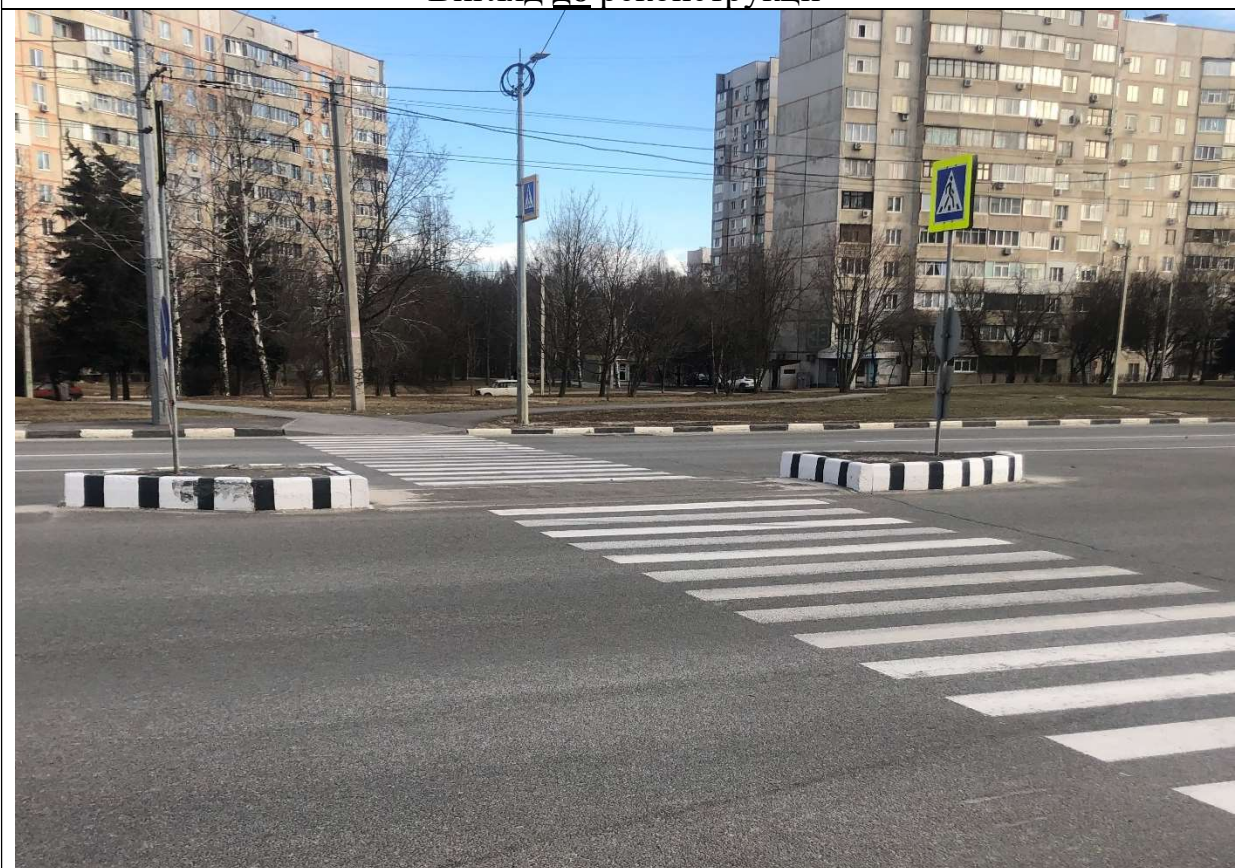
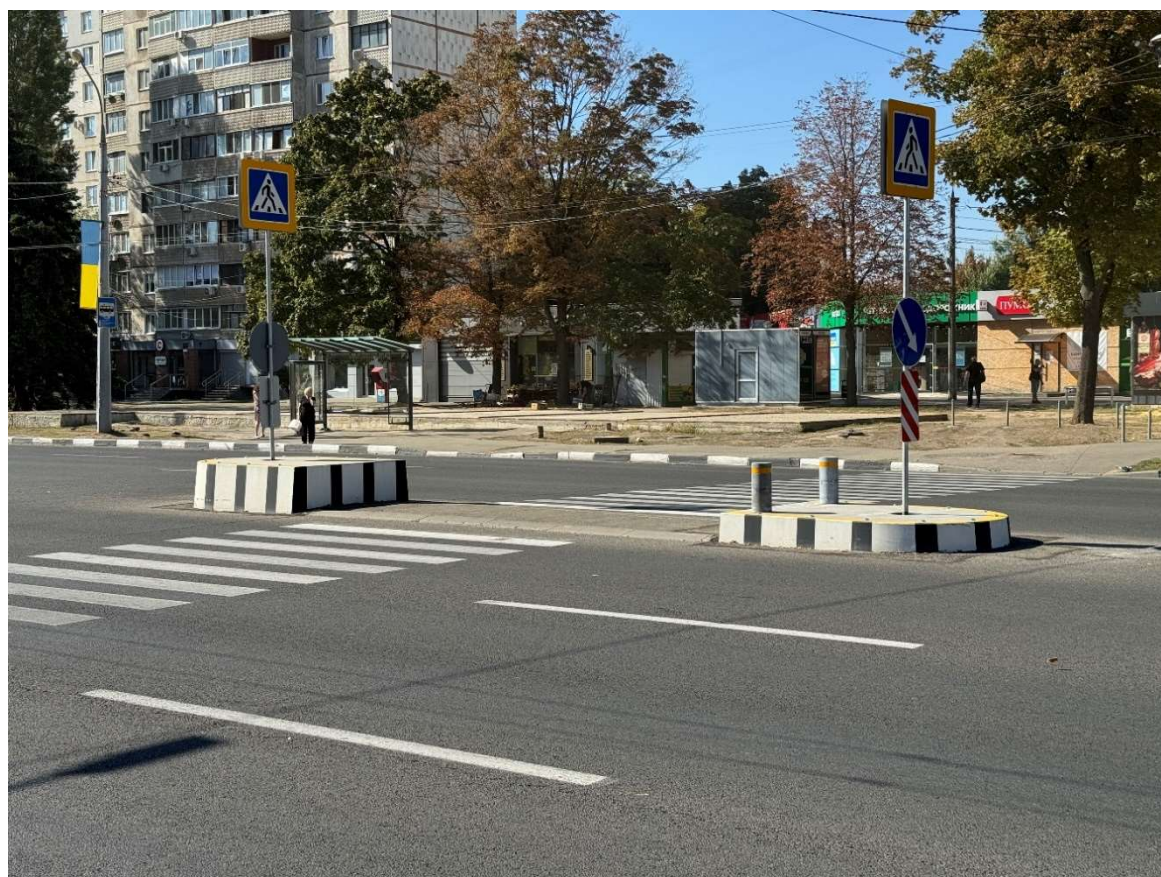
120. Статистична інформація – Головне управління статистики у Харківській області. Головна – Головне управління статистики у Харківській області. URL: <https://kh.ukrstat.gov.ua/stat-informatsiya> (дата звернення: 23.09.2024).
121. Офіційний портал КМДА - Головна. URL: [https://kyivcity.gov.ua/news/oleksandr\\_gustyelyev\\_u\\_2020\\_rotsi\\_u\\_kiyevi\\_oblasti\\_tovano\\_62\\_ostrivtsya\\_bezpeki\\_kapitalnogo\\_i\\_modulnogo\\_tipu\\_foto/](https://kyivcity.gov.ua/news/oleksandr_gustyelyev_u_2020_rotsi_u_kiyevi_oblasti_tovano_62_ostrivtsya_bezpeki_kapitalnogo_i_modulnogo_tipu_foto/) (дата звернення: 23.09.2024).
122. Офіційний сайт ТОВ «СА УВВ ІНЖИНІРИНГ» Продукція. Головна. URL: <http://www.uvv.works/Продукція/> (дата звернення: 23.09.2024).
123. Дорожні блокатори - Купити Боларди | i-vorota.com.ua. Інтернет-магазин i-vorota.com.ua: URL: <https://i-vorota.com.ua/ua/g22407955-bollardy-dorozhnye-blokiratory> (дата звернення: 23.09.2024).

ДОДАТОК А  
Встановлені острівці безпеки в м. Харкові



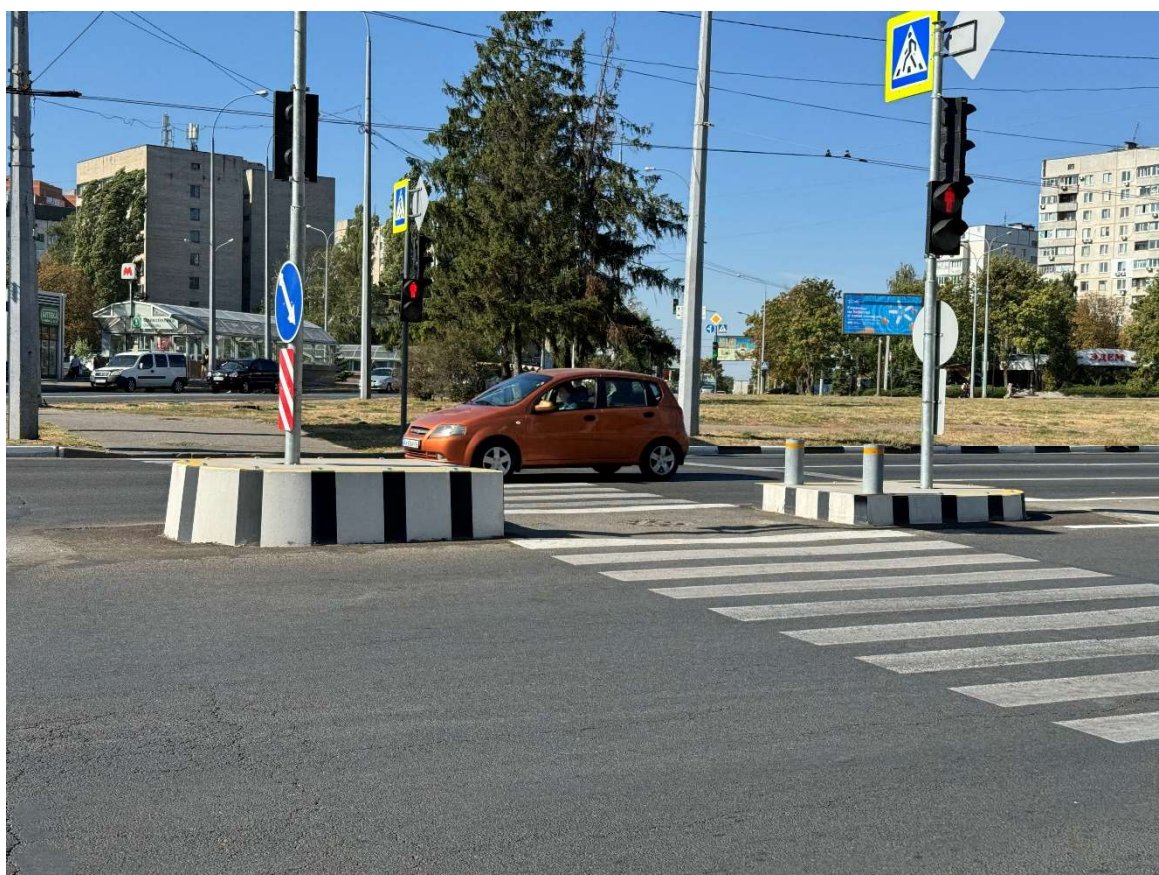
**1. просп. Людвіга Свободи, 43 (с/м Клас)****Вигляд до реконструкції****Вигляд після реконструкції**

**2. просп. Людвига Свободи, 37****Вигляд до реконструкції****Вигляд після реконструкції**

**3. просп. Людвига Свободи, 33**Вигляд до реконструкціїВигляд після реконструкції

**4. просп. Людвига Свободи, 32**

Вигляд до реконструкції

Вигляд після реконструкції

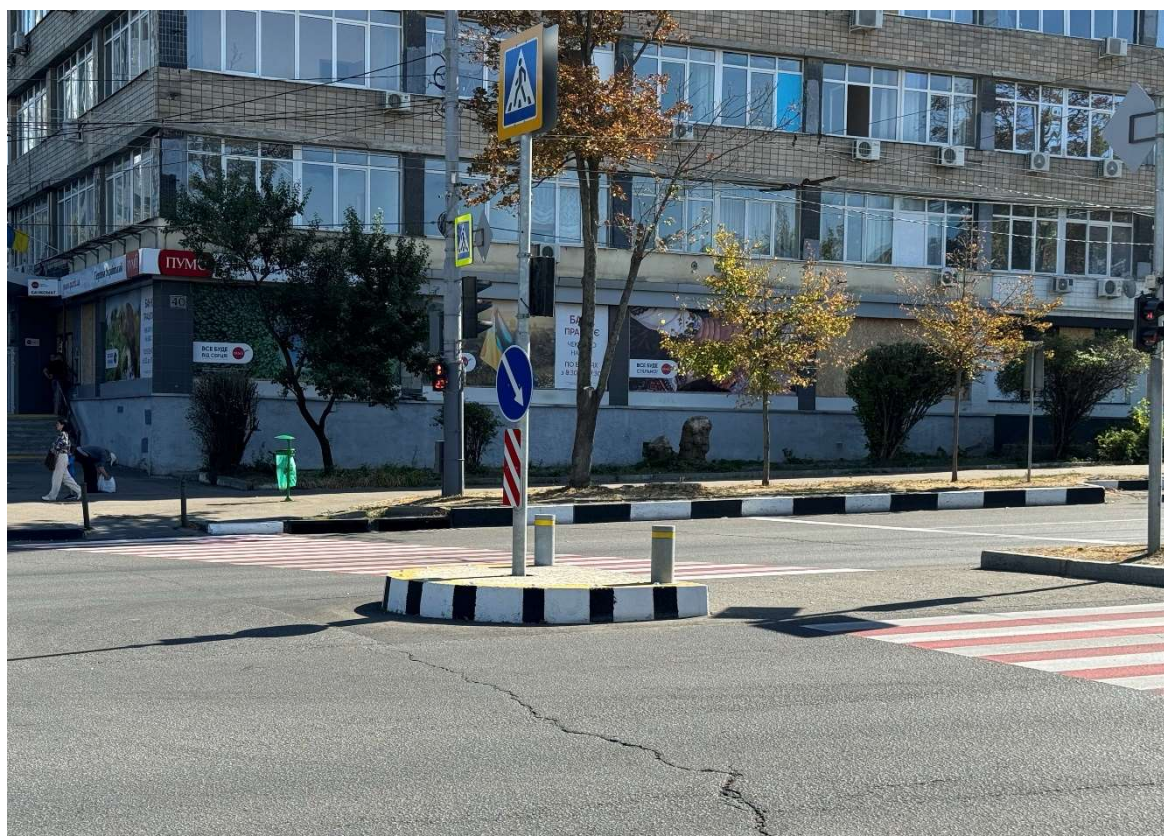
**5. просп. Науки – вул. Дерев'янка**

Вигляд до реконструкції



Вигляд після реконструкції



**6. просп. Науки – вул. Дмитра Антоненка**Вигляд до реконструкціїВигляд після реконструкції

**7. просп. Науки – вул. Європейська**  
**Вигляд до реконструкції**



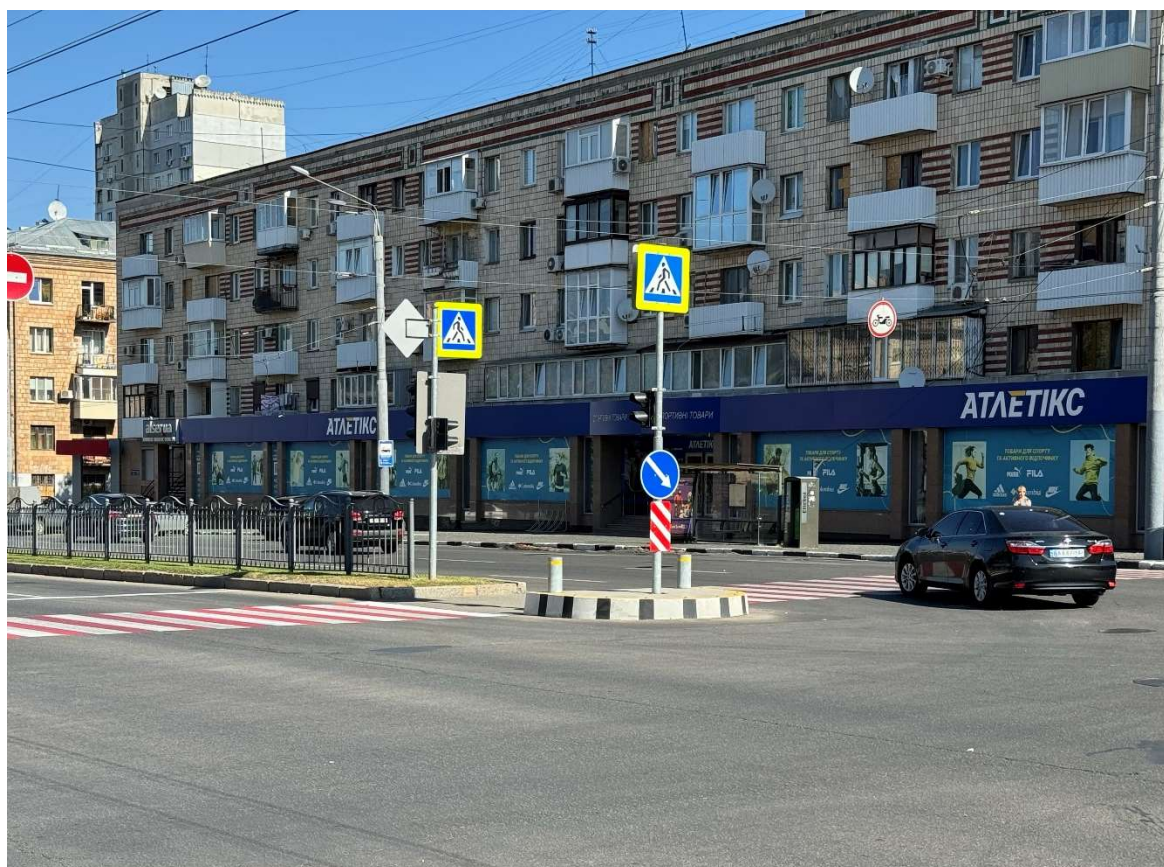
**Вигляд після реконструкції**



**8. просп. Науки – вул. Космічна**  
Вигляд до реконструкції



Вигляд після реконструкції



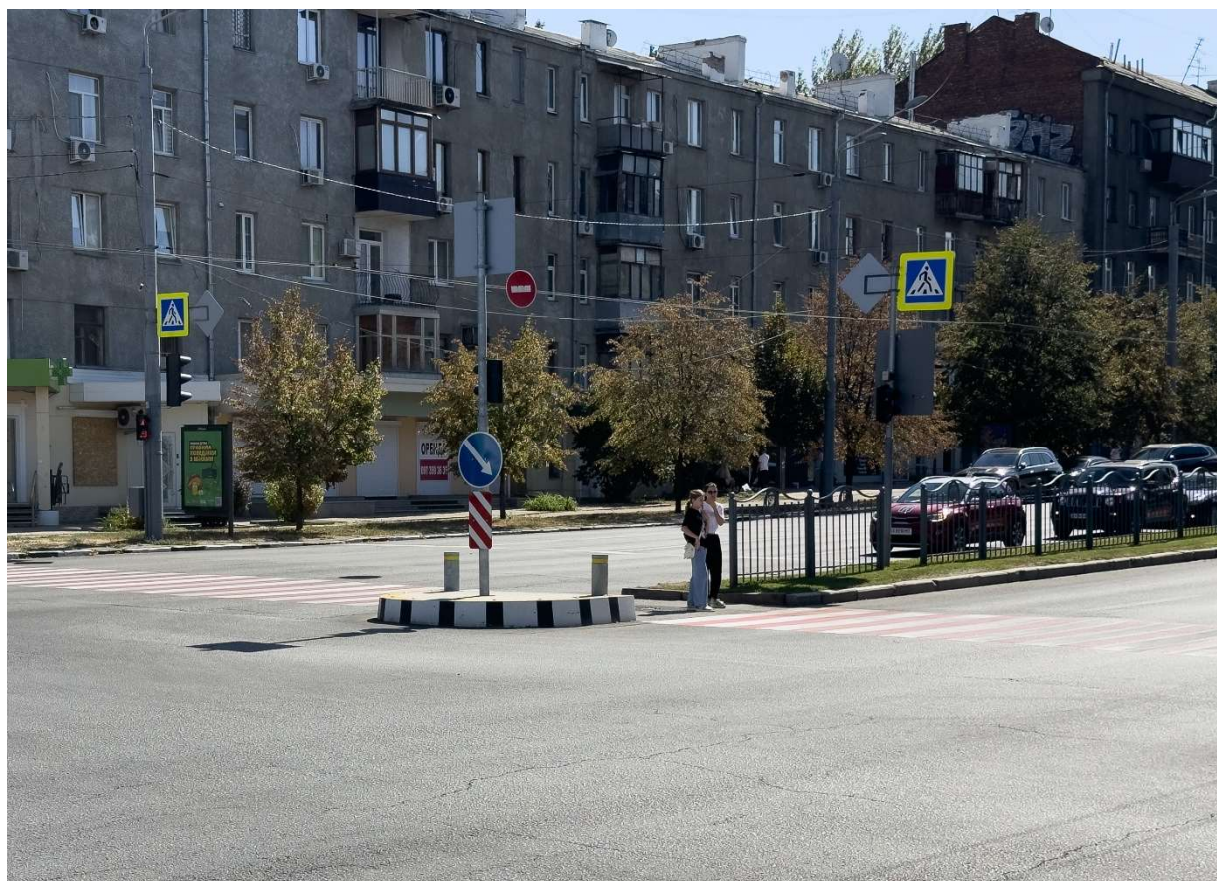


**9. просп. Науки – вул. Євгенія Єніна**Вигляд до реконструкціїВигляд після реконструкції

**10. просп. Науки – вул. Культури**  
**Вигляд до реконструкції**

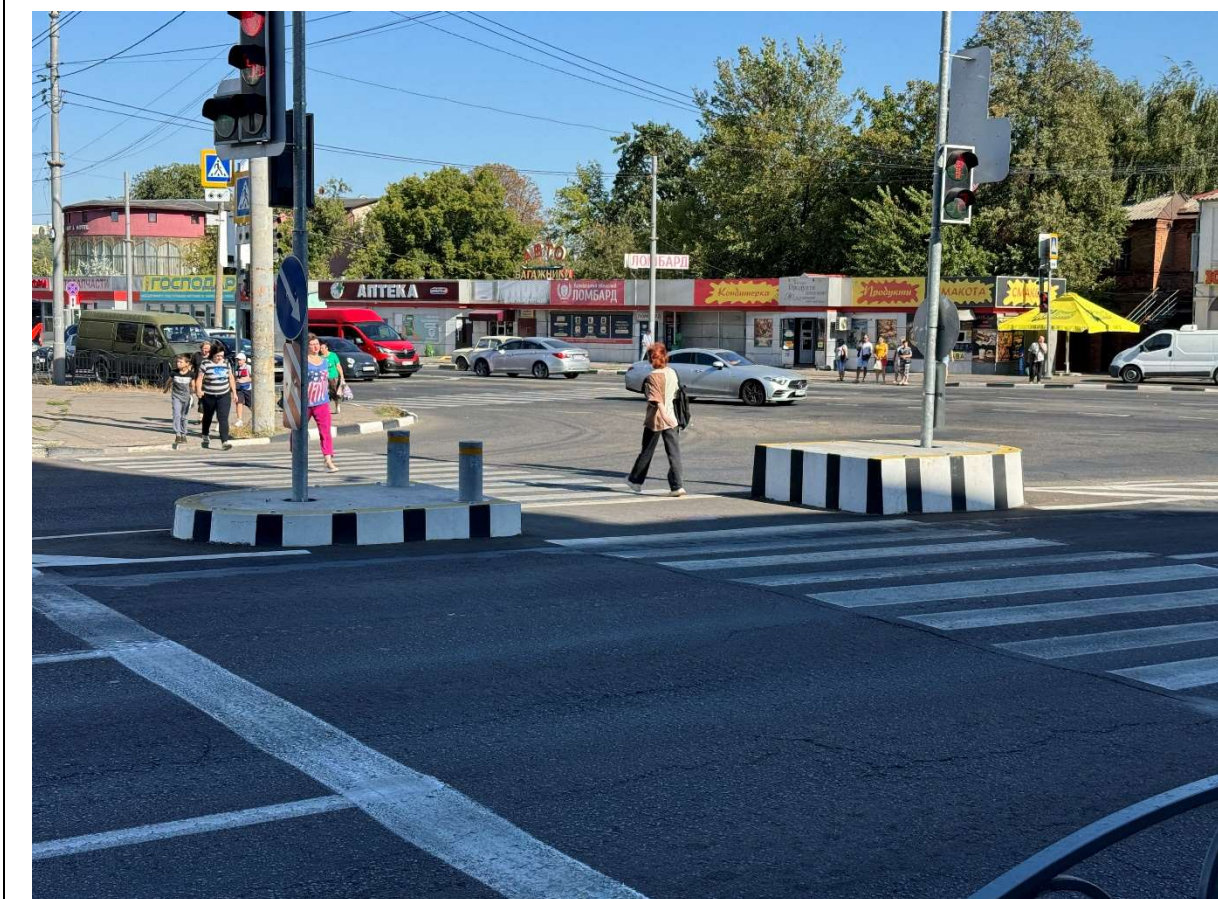


**Вигляд після реконструкції**



**11. вул. Шевченка – вул. Матюшенка**

Вигляд до реконструкції

Вигляд після реконструкції

**12. просп. Ювілейний – просп. Льва Ландау**

Вигляд до реконструкції

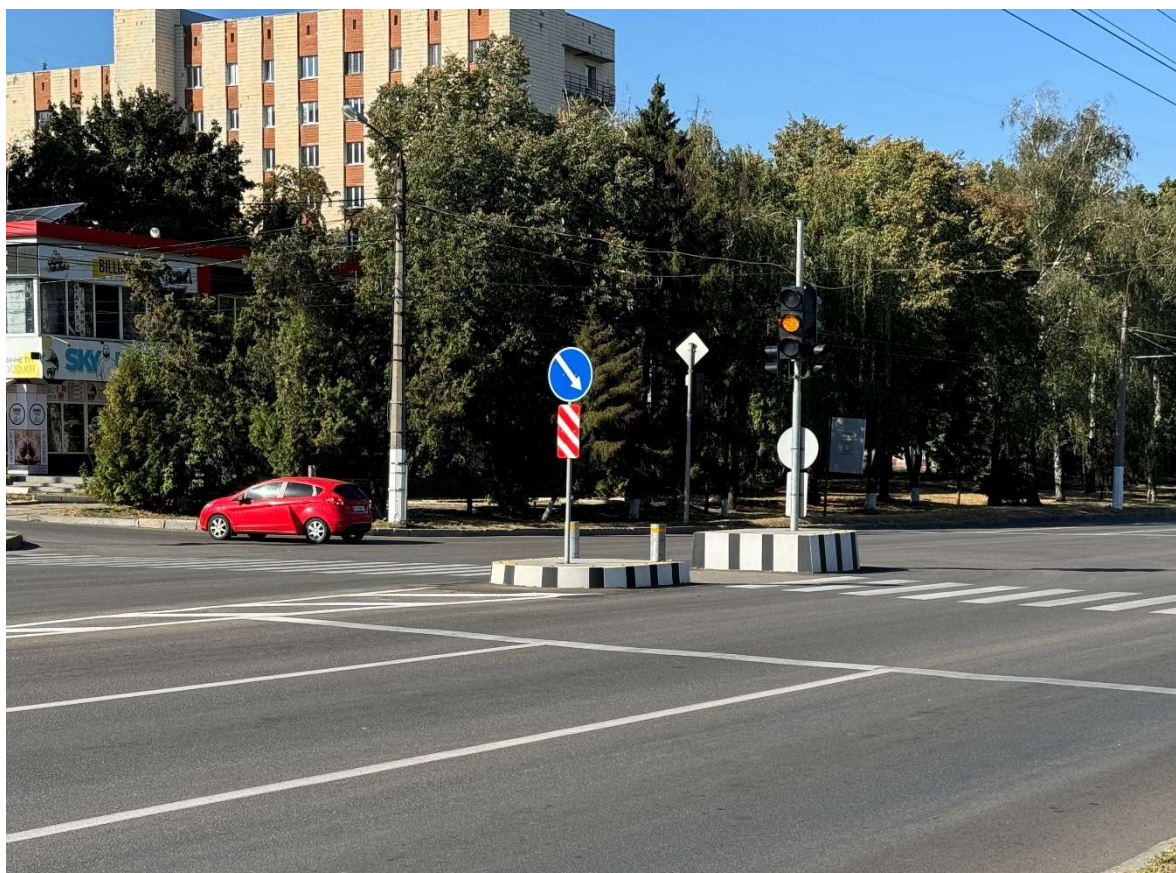
Вигляд після реконструкції

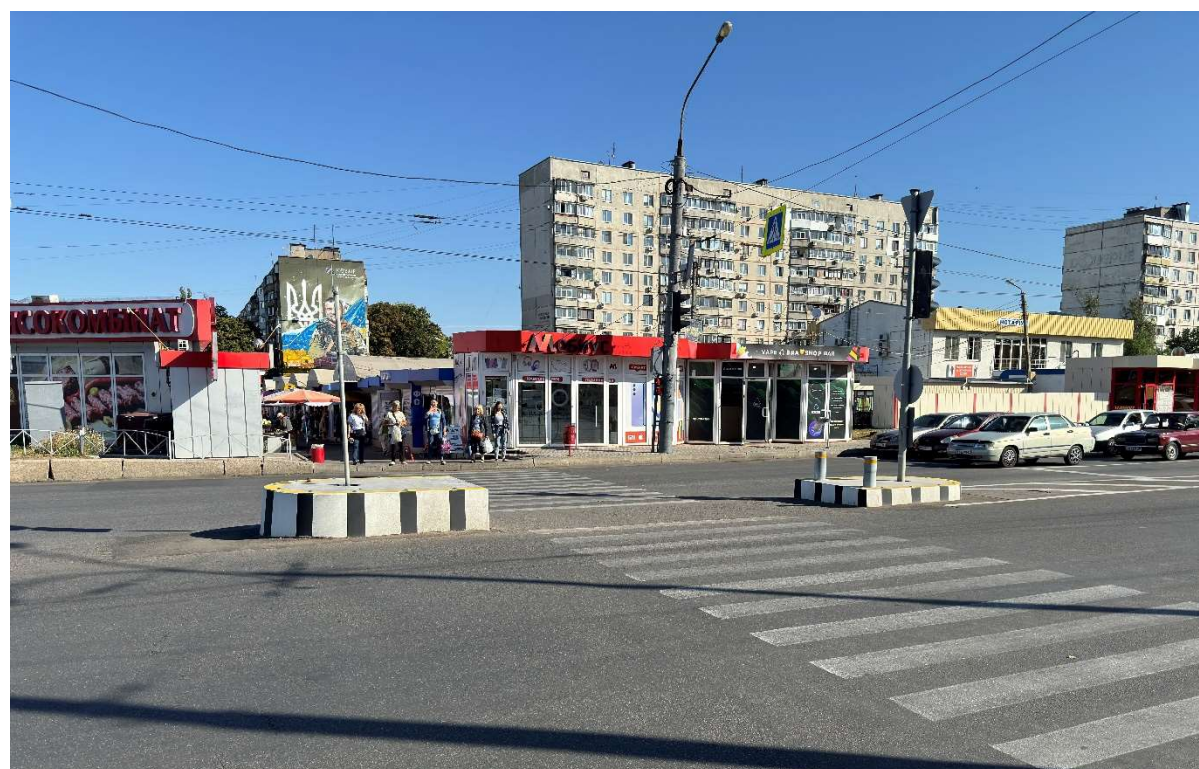
**13. просп. Ювілейний – вул. Гвардійців-Широнінців**Вигляд до реконструкціїВигляд після реконструкції

**14. просп. Ювілейний,52**  
**Вигляд до реконструкції**



**Вигляд після реконструкції**



**15. просп. Ювілейний – просп. Тракторобудівників**Вигляд до реконструкціїВигляд після реконструкції

## ДОДАТОК Б

Кількість дорожньо-транспортних пригод за адресою: проспект Людвіга  
Свободи, 37, за період з 2018 по 2024 роки





УКРАЇНА

ХАРКІВСЬКА МІСЬКА РАДА  
ХАРКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ  
ВИКОНАВЧИЙ КОМІТЕТДЕПАРТАМЕНТ  
БУДІВНИЦТВА ТА ШЛЯХОВОГО  
ГОСПОДАРСТВА

майдан Конституції, 7. м. Харків, 61003

телефон / факс +38 (057) 760-75-62 E-mail: dsdh@city.kharkiv.ua, сайт: www.city.kharkiv.ua., код ЄДРПОУ 34861610

12 вересня 2024 р.  
№ Г-7-60/0/64-24 - 595/0/131-24Сергію Грибенюку  
вул. Бібліка, 35, кв. 12,  
м. Харків, 61115  
gribenuks@gmail.com

Про розгляд звернення

Ваше звернення стосовно надання наявної статистики дорожньо-транспортних пригод, які сталися в районі будинку №37 по просп. Людвіга Свободи в м. Харкові, розглянуто.

За результатами розгляду повідомляємо, що за інформацією відповідних територіальних підрозділів Національної поліції України, в районі будинку №37 по просп. Людвіга Свободи було здійснено наступну кількість дорожньо-транспортних пригод, а саме:

- у 2018 році - 5 дорожньо-транспортних пригод;
- у 2019 році - 4 дорожньо-транспортних пригоди;
- у 2020 році - 4 дорожньо-транспортних пригоди;
- у 2021 році - 8 дорожньо-транспортних пригод;
- у 2022 році - дорожньо-транспортні пригоди за даною адресою відсутні;
- у 2023 році - 2 дорожньо-транспортних пригоди;
- за 8 місяців 2024 року - 2 дорожньо-транспортних пригоди.

Заступник міського голови - директор  
Департаменту будівництва та  
шляхового господарства

Дмитро ЛИПОВИЙ

Шевченко Володимир, (096)993-25-54

ДОДАТОК В  
Патент на корисну модель – «Острівець безпеки з системою стримувальних  
елементів»



(11) **156640**(19) **UA**

(51) МПК

**B60R 21/34 (2011.01)**

<p>(21) Номер заявки: <b>u 2024 01577</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>27.03.2024</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: <b>18.07.2024</b></p> <p>(46) Дата публікації відомостей про державну реєстрацію та номер Бюлетеня: <b>17.07.2024, Бюл. № 29</b></p>	<p>(72) Винахідники: <b>Захаров Денис Сергійович, UA, Грибенюк Сергій Миколайович, UA</b></p> <p>(73) Володілець: <b>ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ "РС ІНЖЕНЕРІНГ", вул. Полтавський шлях, буд. 57, м. Харків, 61052, UA</b></p>
---	--

(54) Назва корисної моделі:

**ОСТРІВЕЦЬ БЕЗПЕКИ З СИСТЕМОЮ СТРИМУВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

(57) Формула корисної моделі:

1. Острівець безпеки, що містить центральну пішохідну частину, рефюдж, який **відрізняється** тим, що рефюдж виконаний суцільним, має світлоповертальну вертикальну розмітку, посадкові місця для монтажу вставок розмічальних дорожніх.
2. Острівець безпеки за п. 1, який **відрізняється** тим, що додатково містить боларди, встановлені на рефюджі та/або на центральній пішохідній частині.
3. Острівець безпеки за п. 1, який **відрізняється** тим, що додатково містить у рефюджі посадкові місця для монтажу стійок.
4. Острівець безпеки за п. 1, який **відрізняється** тим, що центральна пішохідна частина містить покриття, що забезпечує зчеплення, тактильні елементи, світлоповертальну розмітку.