

УДК 625.748.32

СИСТЕМА БЕЗПЕКИ ПІШОХОДІВ RS PSS

Кандидати техн. наук О. О. Калмиков, Д. С. Захаров, асп. С. М. Грибенюк,
магістрант Д. А. Алатаєв

PEDESTRIAN SAFETY SYSTEM RS PSS

PhD (Tech.) O.O. Kalmykov, PhD (Tech.) D.S. Zakharov, applicant S.M. Hrybenyuk,
master D.A. Alataiev

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.202.2022.273667>



***Анотація.** Система безпеки пішоходів являє собою комплекс конструктивних рішень, основним призначенням яких є створення безпечних умов для пішоходів на потенційно небезпечних ділянках автомобільних доріг. У статті наведено скорочений аналіз статистичних даних щодо кількості ДТП у м. Харків протягом останніх років, за результатом якого обґрунтовується необхідність оновлення інфраструктури міста в розрізі безпеки пішоходів. Відомі конструктивні рішення влаштування островків безпеки пішоходів мають певні недоліки, що спонукало розроблення конструктивної системи RS PSS. У роботі наведено опис та обґрунтування конструктивних рішень системи RS PSS. Також*

подано аналіз напружено-деформованого стану запропонованих конструктивних рішень, за результатами якого складено рекомендації з використання певних типорозмірів досліджуваних конструкцій.

Ключові слова: безпека пішоходів, болард, рефюдж, пішохідна плита, кріплення боларду.

Abstract. The pedestrian safety system is a complex of constructive solutions, the main purpose of which is to create safe conditions for pedestrians on potentially dangerous sections of highways. The article provides an abbreviated analysis of statistical data on the number of road accidents in the city of Kharkiv in recent years, the result of which justifies the need to update the city's infrastructure in terms of pedestrian safety. Known constructive solutions for arranging pedestrian safety islands have certain shortcomings, which prompted the development of the RS PSS constructive system. A distinctive feature of the proposed system is that it consists of separate elements. The main structural elements of the system are a bollard - a protective element of the road infrastructure, a refuge - a reinforced concrete element into which the bollard and the pedestrian slab are attached. The developed system provides a line of standard sizes of each of the elements, which differ in size and ability to absorb external loads. Depending on the place of installation, the type of highways, and other factors, a certain combination of system elements is used. The work provides a description and justification of constructive solutions of all constituent elements of the RS PSS system. The most responsible part of the system is the attachment of the bollard to the refuge. The structural implementation of this node is made in the form of an embedded part, into which the bollard is directly attached. Special attention is paid to the reliable fastening of the part in the reinforced concrete shelter. The work also presents an analysis of the stress-strain state of the proposed constructive solutions. The calculations were performed in the Autodesk fusion 360 software complex. Based on the results of the calculations, recommendations were made for the use of certain standard sizes of the structures under study. This scientific study is the basis for the development of technical conditions for the manufacture of the RS PSS pedestrian safety system.

Keywords: pedestrian safety, bollard, refuge, pedestrian slab, bollard attachment.

Вступ. 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, що роблять правила дорожнього руху більш суворими, кількість ДТП зростає. Так, у Харківській області, і в м. Харків зокрема, за 10 місяців 2021 року в ДТП постраждало 1287 осіб [1]. До одного з найрезонансніших ДТП з постраждалими можна віднести аварію, що сталася в самому центрі міста, на проспекті Науки. Люди стояли на «острівці безпеки» (ОБ), але, на превеликий жаль, він їх не зміг захистити. 22-річний громадянин Єгипту на автомобілі Volkswagen Passat, грубо порушивши правила дорожнього руху,

налетів на острівець безпеки та збив чотирьох людей (рис. 1).



Рис. 1. Аварія на просп. Науки, м. Харків, 7 листопада 2020 року

На рис. 1 видно, що автомобіль просто наїхав на острівець безпеки та збив пішоходів. Острівець не сповільнив, не

зупинив і не перенаправив автомобіль в інший бік від пішоходів. У нормативних документах [2, 3] за висотою над проїзною частиною острівці поділяють на такі класи: **клас 0** – виділено на проїзній частині розміткою; **клас 1** – конструктивно підняті над проїзною частиною та обрамлені бордюром висотою (0,05–0,12) м, які транспортні засоби (ТЗ) можуть переїхати з незначними труднощами; **клас 2** – конструктивно підняті над проїзною частиною і обрамлені бордюром висотою 0,15 м, які ТЗ важко переїхати; **клас 3** – конструктивно підняті над проїзною частиною та обрамлені бордюром висотою понад 0,15 м або острівці, розташовані на розділювальній смузі та захищені огороженням першої групи. Як бачимо на цьому прикладі, острівець безпеки висотою 15 см недостатньо захищає пішоходів. У той же час збільшення його висоти в центральній частині міста, на історичних вулицях суперечить вимогам архітектурної виразності. Тому виникає необхідність

доопрацювати існуючі рішення та знайти консенсус між безпекою, нормативними документами та зовнішнім виглядом ОБ, встановлювані вулицями міста.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У країнах Європейського Союзу кількість ДТП в декілька разів менша, ніж в Україні. До країн з найбільш безпечними дорогами належить Швейцарія. У нормативних документах Швейцарії з дорожнього будівництва [3, 4] до геометричних розмірів ОБ висуваються приблизно такі самі вимоги, як і наших. Однак виключенням є те, що у Швейцарії на ОБ обов'язковим є встановлення захисних болардів (рис. 2). Болард – захисний елемент дорожньої інфраструктури, що являє собою несучу конструкцію для запобігання шкоди людському життю при дорожньо-транспортних пригодах. Конструктивно являє собою круглу порожню трубу, закріплену в бетонному фундаменті.



Рис. 2. Зовнішній вигляд острівця безпеки з захисним болардом, Швейцарія

У світовій практиці широко використовується система безпеки пішоходів від тарана автомобілів (болардів). За конструктивними особливостями вони поділяються на автоматичні, напівавтоматичні та стаціонарні. Залежно

від типу можуть виконувати функцію розмежування території, регулювання транспортних потоків, а також захисту об'єктів від можливих актів вандалізму з застосуванням великогабаритних автомобілів (у тому числі вантажних).

До основних виробників захисних болардів, можна віднести FAAC, BFT, SAME (Італія) і Hörmann (Німеччина) [5]. За несучою здатністю вони поділяються

так: від розмежувальних, що виконують функцію розділення потоків, до захисних, здатних зупинити вантажівку на швидкості 53 км/год (рис. 3).

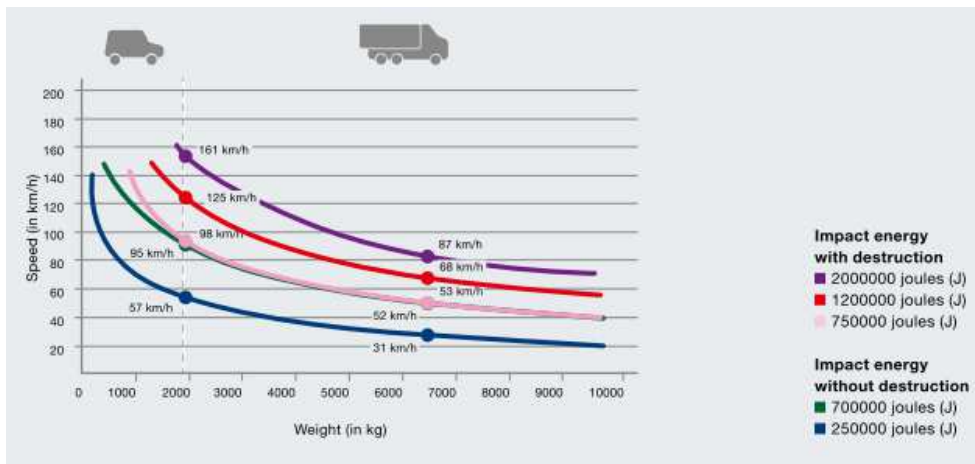


Рис. 3. Несуча здатність захисних болардів (Hörmann)

Чимало сучасних наукових досліджень присвячено розробленню інноваційних конструктивних рішень теоретичного та експериментального дослідження несучої здатності проти-таранних захисних конструкцій [7-11]. Наприклад, у роботі [12] запропоновано використовувати стільникову структуру. Відомо, що вона поглинає енергію удару з його поступовим пластичним руйнуванням і високою здатністю нести навантаження та допускати різноманітні структурні конструкції шляхом регулювання геометричних параметрів. Ця структура служить не тільки для безпеки пішоходів, але і водія (рис. 4).

Оглянуті варіації конструктивних рішень і продукція компаній з виробництва болардів [5-7] позитивно зарекомендувала себе на європейському ринку. У той же час оглянуті рішення мають певні недоліки, найвагомійший з яких – велика вартість болардів згаданих компаній. Наведена інформація дозволила сформулювати мету і завдання справжнього дослідження.

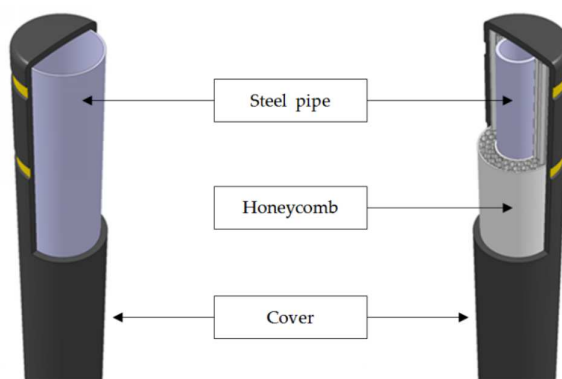


Рис. 4. Структура боларду зі стільниковим шаром

Визначення мети та завдання дослідження. Метою роботи є розроблення альтернативної системи безпеки пішоходів, пристосованої до умов м. Харкова.

Для досягнення сформульованої мети потрібно вирішити такі завдання:

- розроблення системи безпеки пішоходів, що складається з окремих конструктивних елементів із можливістю комбінованого підходу їхнього застосування;

- конструювання надійних вузлів з'єднання елементів системи;

- чисельне тестування розробленої системи.

Основна частина досліджень. Задля виконання заданої мети в роботі запропоновано конструктивну систему безпеки пішоходів RS PSS, що складається з окремих складових (рис. 5). 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. Система складається з таких елементів:

- болард RS RBL – визначення наведено вище;

- рефюдж RS RE – захисний залізобетонний елемент острівців безпеки на дорогах усіх типів у межах населених пунктів, що виготовляється з важкого залізобетону з ненапруженою арматурою.

Пішохідна плита RS BS – залізобетонний елемент, що покриває площу пішохідної зони острівця безпеки пішоходів і являє собою конструкцію для закріплення стримувальних елементів.

Система безпеки призначена для укладання на перехрестях автомобільних доріг, що мають острівець безпеки з регулятором руху, і в місцях улаштування пішохідних переходів.

Болард RS RBL являє собою прокатний профіль з безшовної гарячедеформованої труби з привареною до неї конструкцією фланцевого з'єднання з отворами під болти M8...M24, клас міцності 5, 6 (рис. 6). Верхній торець боларду закрито металевією накладкою. Матеріал прокату – Ст20.

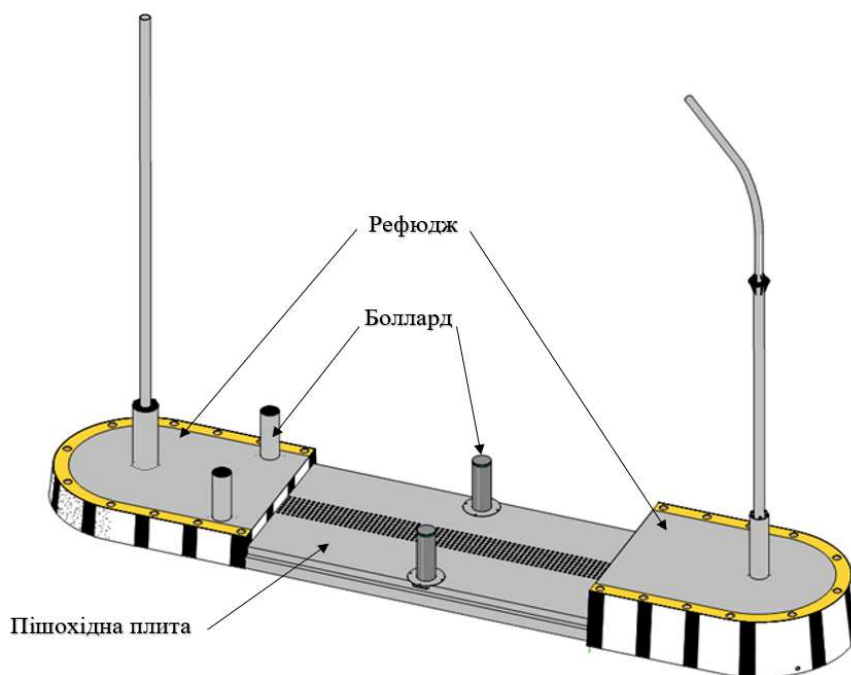


Рис. 5. Загальний вигляд системи безпеки пішоходів

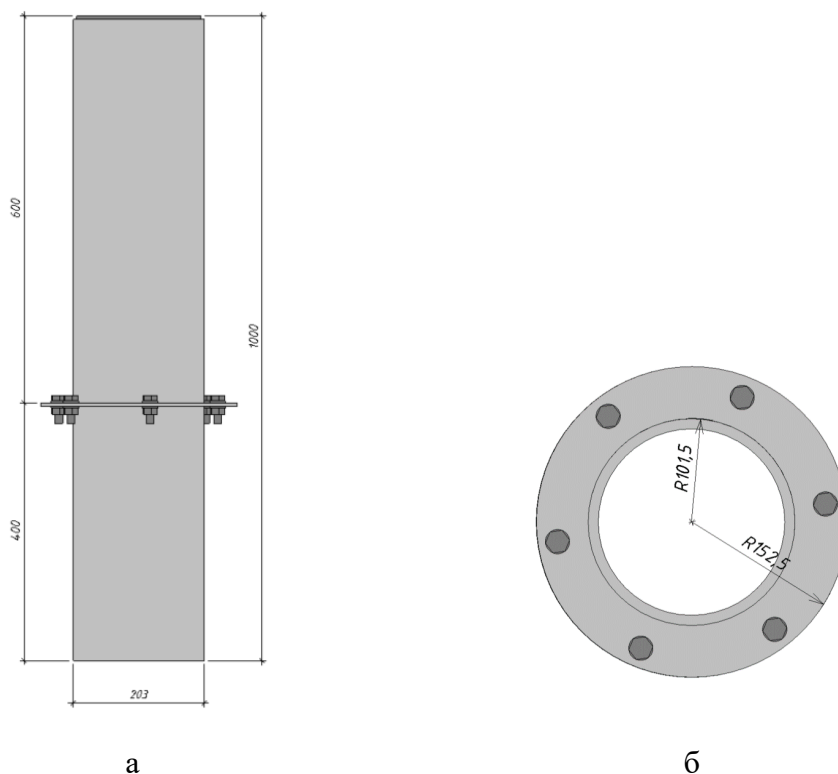


Рис. 6. Болард типу RS RBL 203.10.600.400: а – загальний вигляд; б – фланцеве з’єднання

Швидкісний режим руху автотранспортних засобів великих міст значно відрізняється – від паркінгу торговельних центрів, де боларди виконують суто обмежувальну рух функцію, до багатосмугових проспектів та естакад, де від несучої здатності боларду може залежати людське життя при виникненні дорожньо-транспортної

пригоди. Виходячи з аналізу інфраструктурних потреб сучасних мегаполісів розроблено чотири типорозміри болардів для різноманітності їх використання (табл. 1). Запропоновані конструкції болардів розрізняються діаметром, товщиною стінки, довжиною та несучою здатністю.

Таблиця 1

Типорозміри боллардів

Номер	Найменування	Діаметр, мм	Товщи-на стінки, мм	Надзем-на частина, мм	Підзем-на частина, мм	Момент опору, см ³	Підзем-на частина, мм
1	RS RBL 273.10.600.400	273	10	600	400	512.4	400
2	RS RBL 203.10.600.400	203	10	600	400	323.6	400
3	RS RBL 159.8.800.400	159	8	800	400	158.7	400
4	RS RBL 108.4.1000.400	108	4	1000	400	36.36	400

Рефюдж RS RE являє собою монолітний залізобетонний елемент із розмірами в плані 2580×2050 мм, з одного боку якого передбачено закруглення радіусом 1025 мм (рис. 7). Залежно від інтенсивності руху транспорту передбачено два типорозміри рефюджів за висотою. Основна ідея тут полягає в тому, що більші за висотою рефюджи передбачені для встановлення на перехрестях багатосмугових проспектів із великим трафіком автомобілів. За рахунок значного

виступу над дорожнім покриттям такий болард також являє собою протитаранний елемент і повністю або частково бере на себе удар від наїзду автомобіля. У рефюджи монтуються боларди діаметром 203 або 273 мм. Для кожного з рефюджів розраховано два типи армування відповідно до боларду, що буде використовуватись. Складові рефюджу: бетон класу С32/40, арматура класу А500С, сталеві закладні деталі (рис. 8). Технічні характеристики вказано в табл. 2.

Таблиця 2

Технічні характеристики і типорозміри рефюджів

Номер	Найменування	Висота, мм	Діаметр боларду, мм	Максимальний згинальний момент, кН×м	Витрати матеріалів		Маса плити, кг
					Бетон, м ³	Сталь, кг	
1	RS REF 400.273	400	273	214,6	1,81	293	4818
2	RS REF 400.203	400	203	132	1,83	166	4741
3	RS REF 400.273	700	273	214,6	3,31	349	8624
4	RS REF 700.203	700	203	132	3,33	195	8520

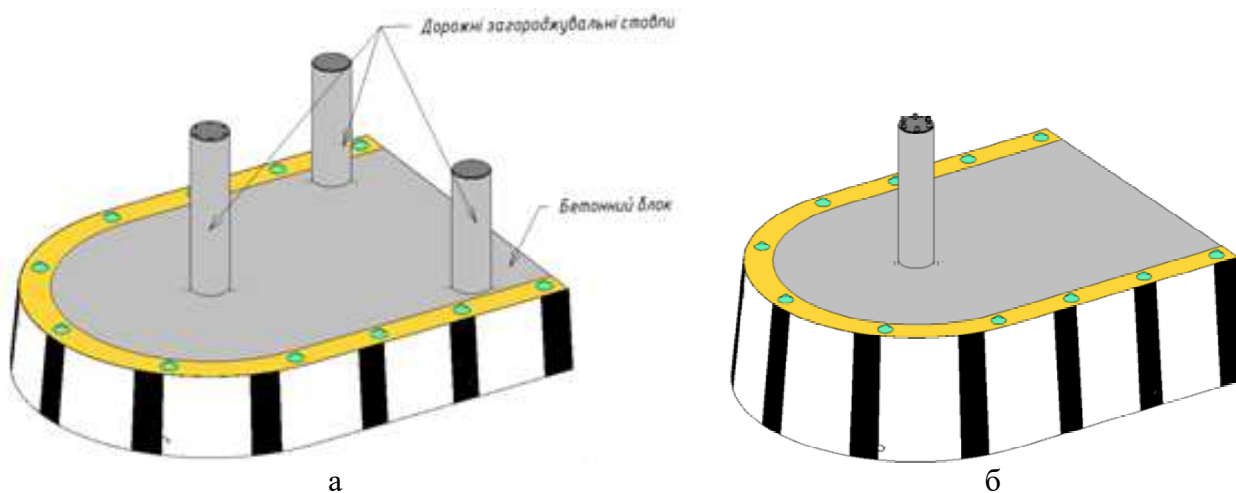


Рис. 7. Візуалізація системи болард-рефюдж:
а – RS REF 400; б – RS REF 700

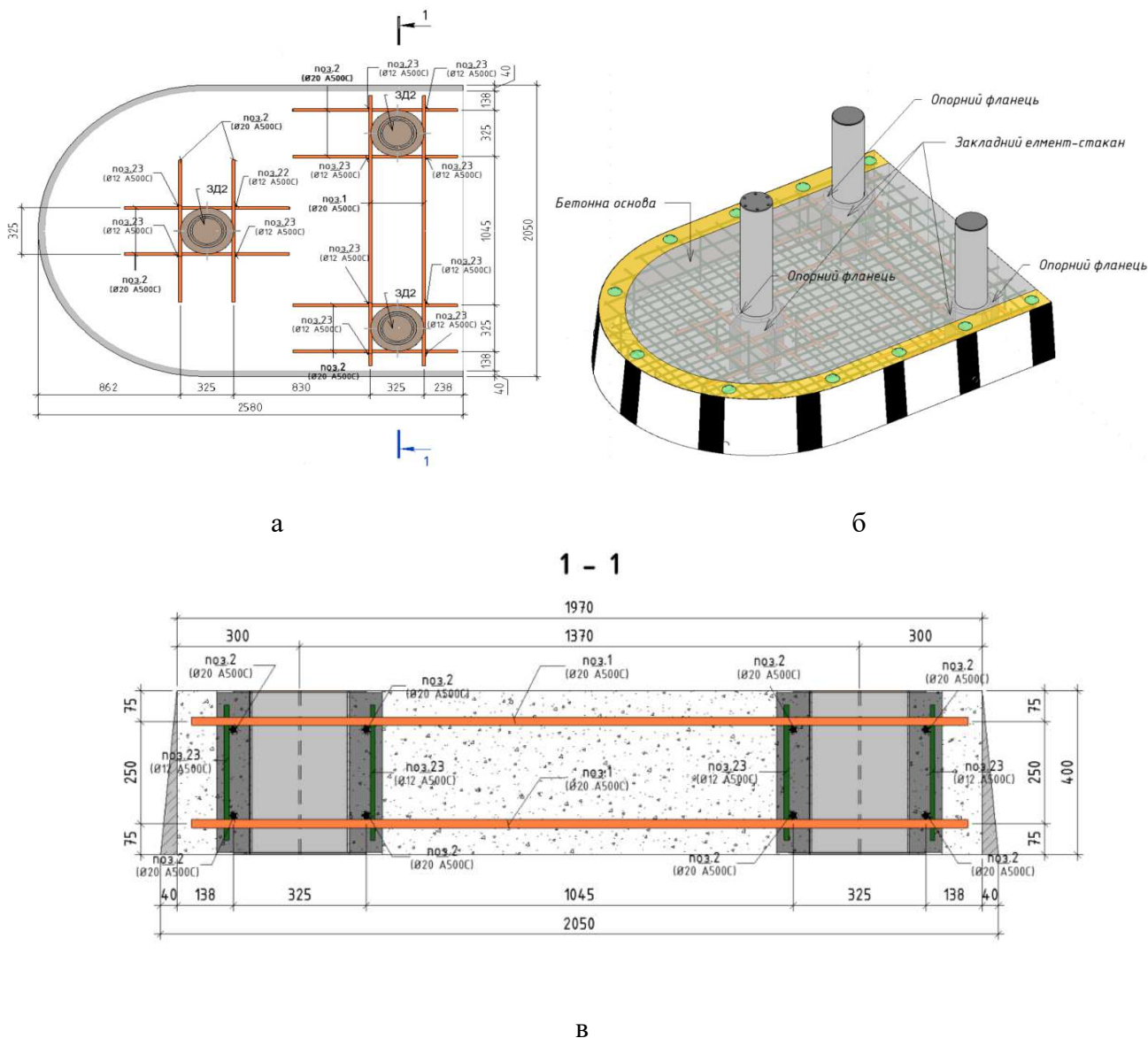


Рис. 8. Рефюдж RS RE у збірці з болардом RS RBL:
 а – план; б – 3D-видяд; в – розріз 1-1

Пішохідна плита RS BS призначена для встановлення безпосередньо на острівці безпеки між двома рефюджами RS RE (рис. 9). У цьому елементі також передбачено встановлення болардів RS RBL діаметром 203 мм. Окрім того, у пішохідну плиту RS BS встановлено тактильні елементи і спеціальне освітлення, що може бути скомутовано зі світлофором у разі такої потреби.

Плити виготовляються з важкого залізобетону з ненапруженою арматурою і містять у тілі плити сталеві рами з перфорованого двотавру (рис. 10). Складові плити: бетон класу C32/40; арматура класу A500C; профіль з прокатної сталі класу C235; закладні деталі виконані зі сталі C235. Пішохідні плити RS BS мають декілька типорозмірів (табл. 3).

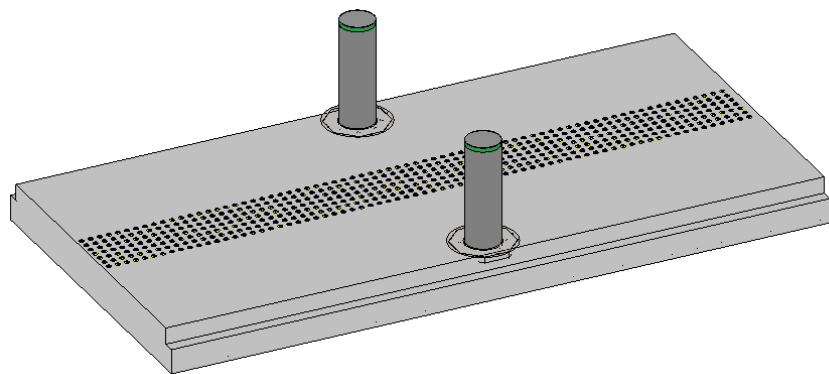


Рис. 9. 3D-вигляд пішохідної плити зі встановленими болардами

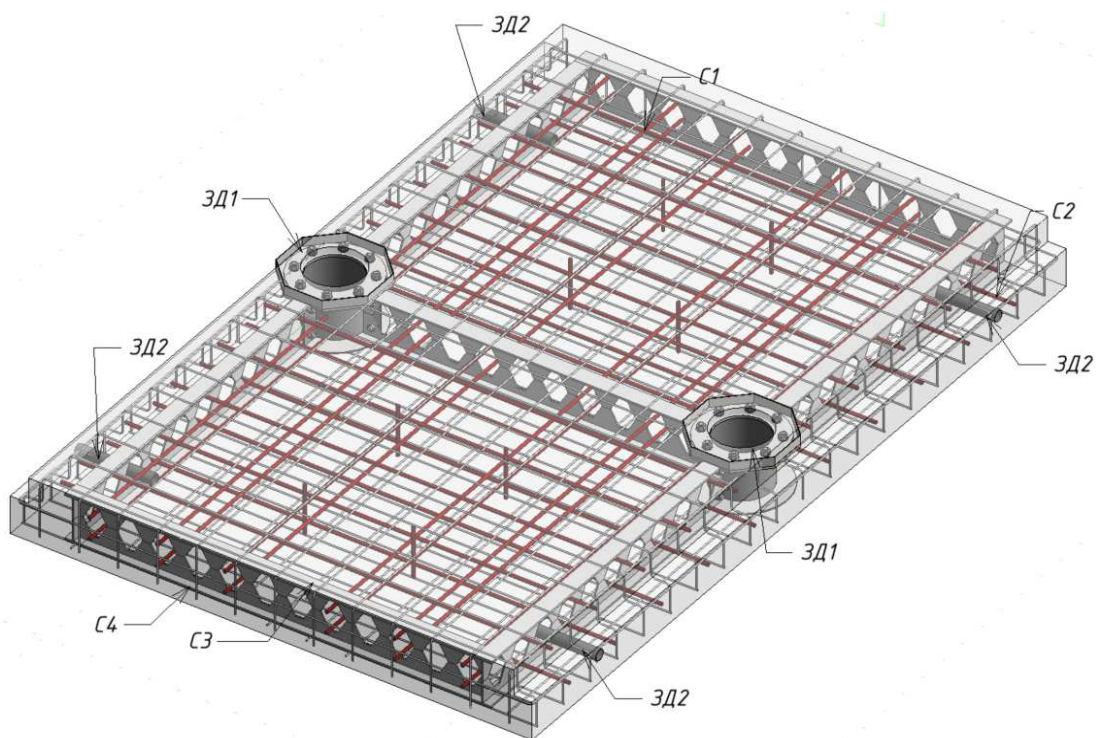


Рис. 10. 3D-вигляд конструктиву плити типу RS BS

Таблиця 3

Типорозмір і технічні характеристики плит

Номер	Найменування	Висота, мм	Довжина, мм	Діаметр стримувального елемента, мм	Ширина, мм	Максимальний згинальний момент, кН*м	Витрати матеріалів		Маса плити, кг
							Бетон, м ³	Сталь, кг	
1	BS 300.200.25	250	3000	203	2000	80	1,44	196,9	3806
2	BS 400.200.25	250	4000	203	2000	80	1,9	252,15	5002

Вузол кріплення боларду до рефюджу сконструйовано у збірному виконанні. Подібне рішення значною мірою підвищує практичність конструктиву в цілому, але в той же час потребує додаткових конструктивних заходів з підвищення надійності вузла, оскільки цей вузол є одним з найголовніших факторів

надійності конструкції в цілому. Кріплення болардів до рефюджу виконується через закладну деталь – металевий стакан (ЗД2 на рис. 8), замонолічений у тілі рефюджу. Стакан являє собою металеву прокатну трубу, внутрішній діаметр якої на 20 мм більший за діаметр боларду, що в неї встановлюється (рис. 11).

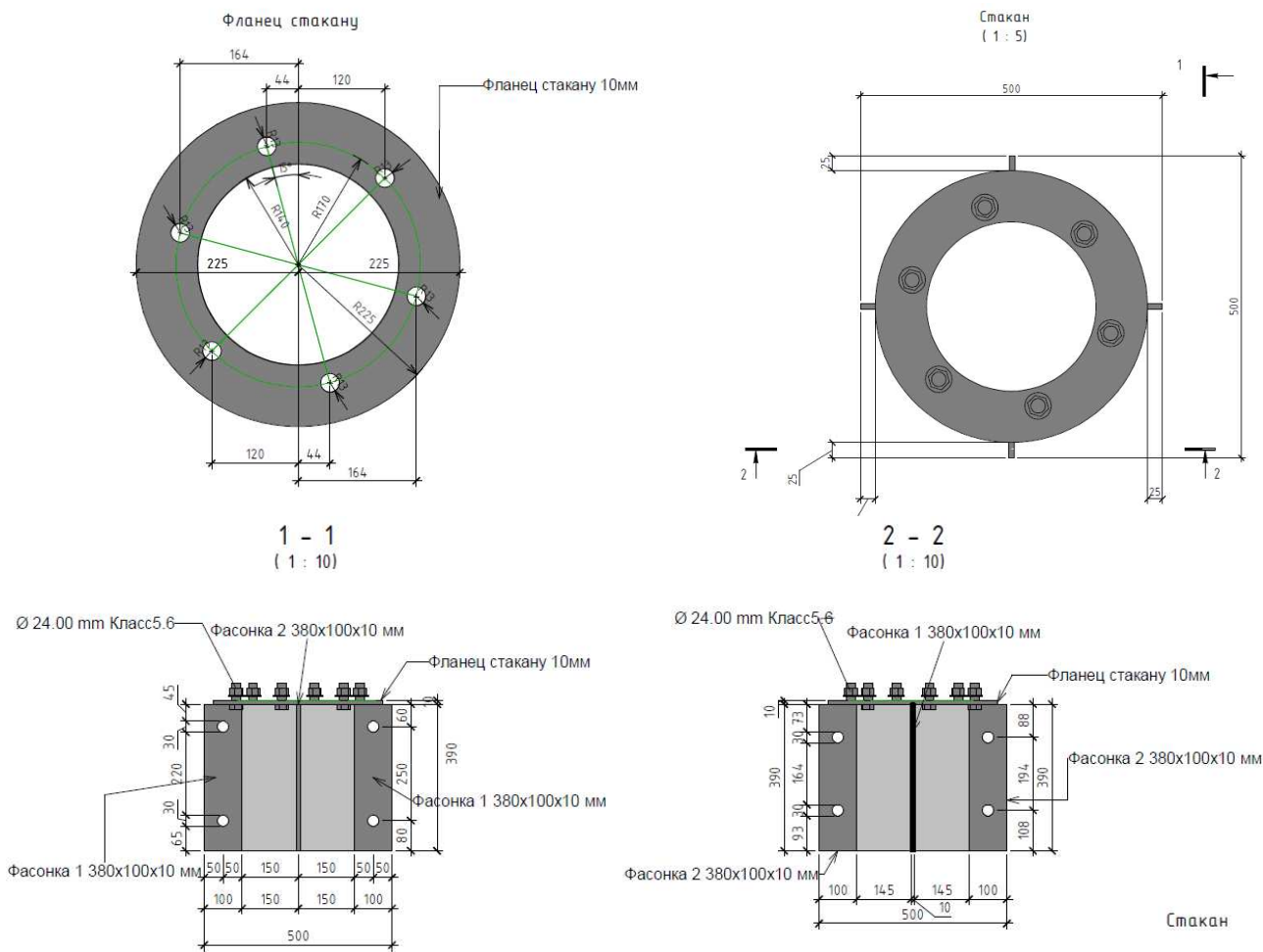


Рис. 11. Стакан у рефюджі типу RS REF 400.203

З чотирьох боків до труби приварені металеві фасонки, через кожен з яких проходить основна робоча арматура рефюджу (рис. 8). Фіксація боларду в стакані забезпечується шляхом заповнення простору між болардом і стаканом в'язучою сумішшю типу Ceresit. Зверху стакана передбачено фланцеве з'єднання, до якого болард додатково кріпиться болтами.

Стакан для пішохідних плит відрізняється від стакана рефюджу. Як несучий елемент, що тримає стакан у тілі плити, виступає металевий каркас з перфорованого двотавру. Він кріпиться до фасонки стакана високоміцними болтами (рис. 12). Така обставина зумовлена тим, що висота дорожньої плити менше за рефюдж, через що прокатної арматури стає недостатньо задля сприйняття критичного зовнішнього зусилля.

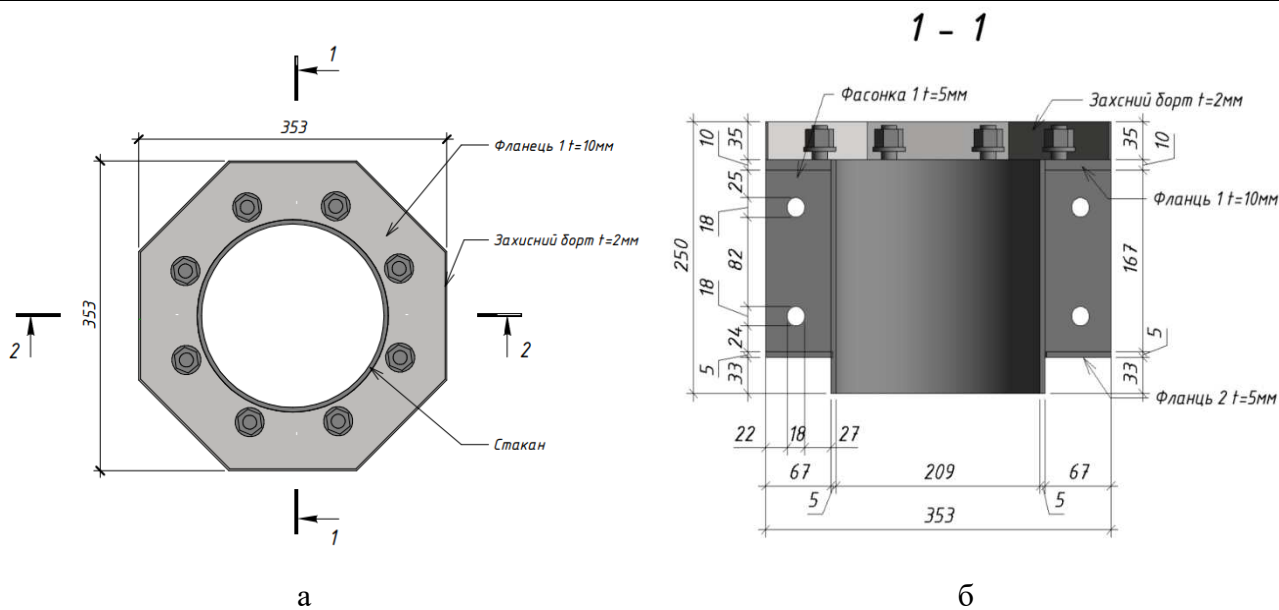


Рис. 12. Стакан у пішохідній плиті типу BS 300.200.25:
а – вигляд стакана зверху; б – розріз 1-1

Аналіз несучої здатності запропонованої системи. Розрахунок складено з метою визначення стримуальної здатності захисних споруд – болардів і складання рекомендацій щодо їх використання.

При визначенні граничної несучої здатності болардів були прийняті такі припущення:

1. Відповідно до табл. 4 ДСТУ Б В.2.3-13:2006 [13] максимальна висота прикладання навантаження до огорожувальних складає 0,53 м. У подальшому для запасу прийнято висоту прикладання навантаження до боларду на рівні 0,6 м незалежно від його висоти, у зв'язку з чим у розрахунках розглядалися чотири типорозміри болардів із різними діаметрами та товщинами стінок відповідно до табл. 5 і з однаковою висотою 600 мм.

2. Податливість вузла примикання боларду до рефюджу та віртуальні переміщення рефюджу як жорсткого тіла не враховувалися. Кріплення боларду в рефюджі, отже, прийнято абсолютно жорстким.

3. Для всіх варіантів розрахунку було прийнято припущення, що швидкість у момент удару об захисну конструкцію не змінюється, тобто вважається, що в момент

удару швидкість автомобілю не зростає і не зменшується.

4. Об'ємне тіло, що моделює рухомий транспорт, було прийнято у вигляді призми з розмірами 1000 × 1500 × 600 мм з ізотропного матеріалу. Об'ємна маса матеріалу призми підбиралася з умови дорівнювання загальної маси тіла відповідному необхідному транспортному засобу. Оскільки кузов автомобіля та інші елементи його підкапотного простору виконані з різних матеріалів і мають складну геометрію, прийнято для запасу, що поглинання кінетичної енергії за рахунок деформації рухомого транспорту не відбувається. Призма моделювалася як умовно абсолютно жорстке тіло з модулем пружності першого роду $E = 206$ ГПа.

5. У розрахунках розглядалися такі комбінації маси/швидкості рухомого транспорту.

- маси: 1500, 2500, 3500 кг;
- швидкості: 10, 20, 30, 50, 70, 90 км/год.

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

Скінчено-елементна модель створена в середовищі програмного комплексу Fusion 360. Сітка об'ємних скінчених елементів сгенерована з кроком 20 мм. Модель складається з трьох основних частин (рис. 13):

1. Об'ємний блок, що моделює частину плити (рефюджу), закріплену за

допомогою інструменту Structural constraints типу Fixed за нижню та бокові грані.

2. Об'ємний блок, що моделює автомобіль, пі має розмір 1000 x 1500 x 600 мм.

3. Об'ємне тіло з параметрами та розмірами боларду, прийнятими відповідно до заданого типорозміру.

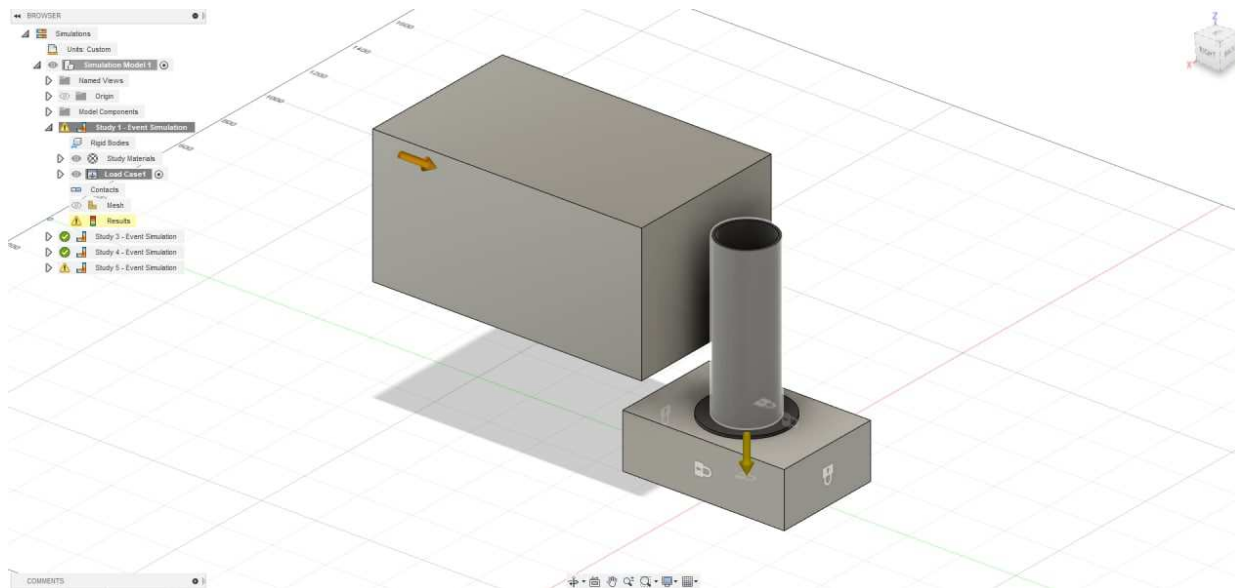


Рис. 13. Вигляд моделі в програмному комплексі

Навантаження в розрахунковій моделі створено за допомогою інструменту Initial linear velocity і прикладене до тіла 2. Тілу задавалась відповідна швидкість у напрям-

ку руху до тіла 3. Інтервал часу розрахунку для окремих варіантів задавався в діапазоні від 0,03 до 0,05 с. Інтенсивність створеного навантаження зображена на рис. 14.

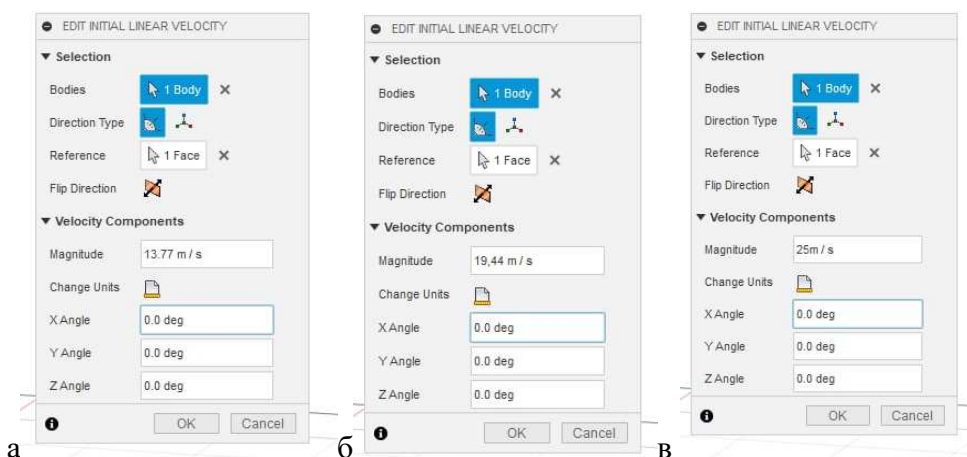


Рис. 14. Характеристики прикладеного навантаження зі швидкістю руху:
а – 50 км/год; б – 70 км/год; в – 90 км/год

Отже, розрахунок зведено до визначення спроможності/неспроможності певного типорозміру боларду сприйняти удар від наїзду рухомого транспорту певної маси з певною швидкістю. Аналіз результатів розрахунку проводиться за деформованою моделлю боларду і траєкторією руху тіла 2 після зіткнення з болардом. Виділено два можливих сценарії

стану боларду після наїзду рухомого транспорту:

1) болард деформувався (безповоротно або поворотно) і змінив траєкторію руху транспортного засобу на зворотний напрям (рис. 15);

2) болард деформувався поворотно та не змінив траєкторію руху транспортного засобу (рис. 16).

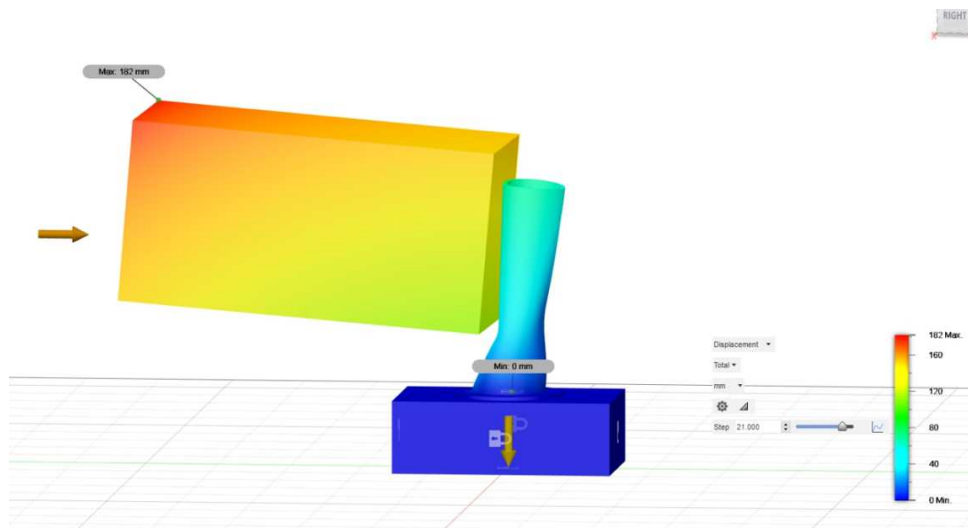


Рис. 15. Деформована модель після контакту в комбінації «1500/50» при розрахунку боларду «RS RBL 203»

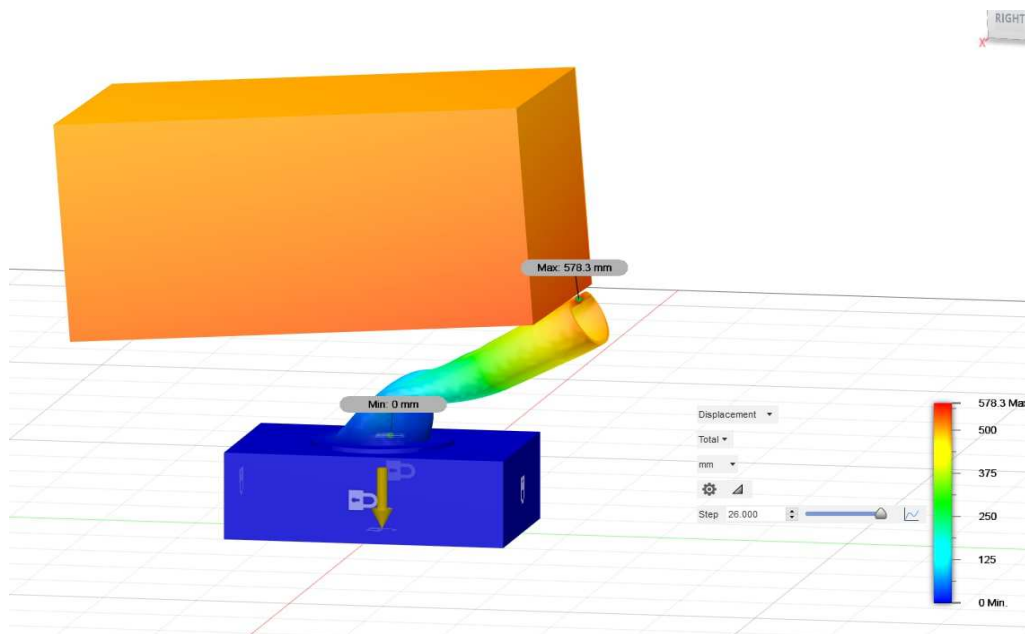


Рис. 16. Деформована модель після контакту в комбінації «3500/90» при розрахунку боларду «RS RBL 203»

Якщо відповідна комбінація маса/швидкість не відповідала успішному результату виконання захисної функції, то всі інші комбінації з більшою швидкістю при такій масі вважаються навантаженням, що перевищує несучу здатність. Так само оцінюється несуча здатність для поворотних варіантів, коли несуча здатність достатня.

Описана процедура розрахунку здійснена для всіх типорозмірів болардів і

комбінацій швидкість/маса транспортного засобу. Кінцеві результати розрахунку подано в табл. 4, 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 4

Несуча здатність болардів

Діаметр боларду		Маса, кг											
		1500				2500				3500			
		108	159	203	273	108	159	203	273	108	159	203	273
Швидкість, км/год	10	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	20	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	30	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓
	50	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓
	70	✗	✗	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✗	✗	✗	✓
	90	✗	✗	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗

Із наведених результатів розрахунку випливає, що боларди діаметром 203 та 273 мм здатні витримати наїзд легкового автомобіля та середнього позашляховика зі швидкісним режимом, дозволеним у межах міста. У той же час боларди діаметром 108 та 159 мм не рекомендується для застосування на автомобільних дорогах із обмеженням швидкості до 50 км/год.

Висновки. Аналіз світової практики проектування систем безпеки пішоходів виявив певні недоліки відомих

конструктивних рішень. Ця обставина зумовила доцільність розроблення альтернативної системи RS XXX, що повною мірою відповідає інфраструктурним потребам сучасних міст. За результатами аналізу напружено-деформованого стану складових систем можна зробити висновок, що боларди RS RBL діаметром 203 та 273 мм придатні для застосування на всіх типах автомобільних доріг у межах міста.

Список використаних джерел

1. Оpendatabot: За 10 місяців кількість ДТП в Україні збільшилася на 14 %. URL: <https://opendatabot.ua/analytics/dtp-2021> (дата звернення: 30.09.2022).
2. ДБН В.2.3-5:2018. Вулиці та дороги населених пунктів: затв. Мінрегіоном України 24.04.2018 р. Київ: Мінрегіон України, 2018. 61 с.
3. ДСТУ 8751:2017. Безпека дорожнього руху. Огородження дорожні і напрямні пристрої. Правила використання. Загальні технічні вимоги. Київ, 2019. 44 с.

4. Verkehrsunfälle 2021: Weniger Getötete, mehr Schwerverletzte. URL: <https://www.astra.admin.ch/astra/de/home/dokumentation/medienmitteilungen/anzeige-meldungen.msg-id-87635.html> (дата звернення:30.09.2022).
5. Anlagen für den leichten Zweiradverkehr des Kantons Zürich. URL: <https://docplayer.org/46766481-Anlagen-fuer-den-leichten-zweiradverkehr-des-kantons-zuerich.html> (дата звернення:30.09.2022).
6. Kanton Zürich Volkswirtschaftsdirektion Amt für Verkehr Ausbaustandard für Staatsstrassen Leitfaden für die Projektierung Version. URL: <https://docplayer.org/111492357-Kanton-zuerich-volkswirtschaftsdirektion-amt-fuer-verkehr-ausbaustandard-fuer-staatsstrassen-leitfaden-fuer-die-projektierung-version.html> (дата звернення:30.09.2022).
7. Seon S., Kim K., Bae C., Yi W. A Study on Shock Absorption Characteristics of Honeycomb-Inserted Bollards. *Appl. Sci.* 2020. 10. 3014. URL: <https://doi.org/10.3390/app10093014>.
8. Field Tests and Numerical Modeling of Vehicle Impacts on a Boulder Embedded in Compacted Fil / Reese L et. al. *International Journal of Protective Structures*. 2014. Vol. 5. No 4. P. 435-451.
9. Bo Hu. An assessment of current maximum impact force models for anti-ram bollard systems subjected to truck impact. *International Journal of Protective Structures*. 2017. Vol. 8(3). P. 368–383.
10. A Study on Shock Absorption Bollard using Honeycomb Geometry / Seon S.W. et. al. *Korean Soc. Precis. Eng.* 2018. № 1. P. 531.
11. Cha E. H., Jeon D. J., Han S. E. Performance Evaluation and Proposal on Standard Establishment of the Bollard through Impact Analysis. *J. Korean Assoc. Spat. Struct.* 2016. P. 59-66.
12. Design Analysis of Hybrid Composite Anti-ram Bollard Subjected to Impulsive Loadings. / Tran J.P. et al. *Compos. Struct.* 2018. P. 568-613.
13. ДСТУ Б В.2.3-13:2006. Споруди транспорту. Огородження дорожні першої групи. Порядок проведення натурних випробувань. Київ, 2006. 23 с.

Калмиков Олег Александрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельних конструкцій, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова. ORCID ID: 0000-0001-7294-4279. Тел.: +38(067)9929427. E-mail: olegkalmikov010@gmail.com.

Захаров Денис Сергійович, кандидат технічних наук, директор ТОВ «РС ІНЖЕНЕРІНГ». ORCID ID: 0000-0002-8275-9939. Тел.: +38(050)3177737. E-mail: zakharov.denys.mail@gmail.com.

Грибенюк Сергій Миколайович, здобувач кафедри будівельних конструкцій, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова. ORCID ID: 0000-0002-9699-9116. Тел.: +38(099)0301663. E-mail: gribenuks@gmail.com.

Алатаєв Джамалдїй Аслудїйовч, здобувач кафедри будівельних конструкцій Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова. ORCID ID: 0000-0003-1570-8469. Тел.: +38(097)1398944. E-mail: alataev123@gmail.com.

Kalmykov Oleg, PhD (Tech), Associate Professor, Building Structures department, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. ORCID ID: 0000-0001-7294-4279. Tel.: +38(067)9929427. E-mail: olegkalmikov010@gmail.com.

Zakharov Denys, PhD (Tech), director of «RS ENGINEERING» LLC. ORCID ID: 0000-0002-8275-9939. Tel.: +38(050)3177737. E-mail: zakharov.denys.mail@gmail.com.

Serhiy Hrybenyuk, applicant, Building Structures department, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. ORCID ID: 0000-0002-9699-9116. Tel.: +38(099)0301663. E-mail: gribenuks@gmail.com.

Alataiev Dzhamaaldii, master student, Building Structures department, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. ORCID ID: 0000-0003-1570-8469. Tel.: +38(097)1398944. E-mail: alataev123@gmail.com.

Статтю прийнято 04.12.2022 р.