

**Супрунук В. В., к.т.н., доцент; Романюк В. В., к.т.н., доцент;
Фурсович М. О., к.т.н., доцент; Зятюк Ю. Ю., к.т.н., доцент;
Безнюк Л. І., аспірант (Національний університет водного
господарства та природокористування, м. Рівне, Україна)**

ВИБІР РАЦІОНАЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ РИГЕЛЯ НАДЗЕМНОГО ПІШОХІДНОГО ПЕРЕХОДУ

Виконано дослідження необхідності застосування надземних переходів у профілі автомобільних доріг. Розглянуто конструювання надземного пішохідного переходу та різні конструктивні варіанти поперечного перерізу його прольотної частини залежно від розмірів, механічних характеристик сталі та конструктивних особливостей. Отримано дані про область застосування сталевих елементів різного поперечного перерізу та з різними механічними характеристиками.

***Ключові слова:* балка; опора; елемент; перфорація; напруження; деформація; несуча здатність.**

Вступ. Для успішного розв'язання транспортних проблем населених пунктів, особливо це стосується великих населених пунктів, а також маленьких населених пунктів, які перетинають швидкісні магістралі, використовують підземні і надземні пішохідні переходи, які належать до споруд транспорту [3]. Метою їх використання є розведення в просторі автомобільного або залізничного транспорту і пішохідів, а в деяких випадках і велосипедистів.

Так, наприклад, одним із невирішених транспортних питань м. Рівне є скупчення пішохідів і транспортних засобів по вул. Київській в районі центрального автовокзалу (рис. 1). Це пов'язано зі значною кількістю пішохідів і транспортних засобів як громадських, так і приватних, оскільки на цій території є щільна забудова, а саме центральний автовокзал, продуктовий «Андріївський ринок», торгово-розважальний центр «Арена» з розміщенням в ньому супермаркетом «Тог-ба», великий супермаркет мережі «Сільпо» тощо.

Проведені транспортні дослідження, виконані відповідно до вимог [7], показали, що приведена інтенсивність руху транспортних засобів по вул. Київській в найбільш завантажений період, а саме з

8^{00} до 10^{00} і з 16^{00} до 18^{00} , становить 2947 авт/год, що перевищує допустиму – 2919 авт/год, а середня швидкість транспортного потоку 21,3 км/год. Така висока інтенсивність руху і незначна швидкість призводять до значних заторів. Концентрація викидів забруднюючих речовин, таких як оксиди вуглецю CO , вуглеводні CH , оксиди азоту NO , сполуки свинцю Pb тощо, перевищує гранично-допустимі значення. Інтенсивність руху пішоходів по тротуарах становить 1087 люд/год по одній стороні вулиці, при допустимій 800 люд/год [4].

Причину перевантаження системи «транспортний потік – пішохід» помітно зі схеми (див. рис. 1). Автовокзал розташовується у східній частині міста і тому пасажирів, які прибувають на автовокзал і далі прямують ближче до центру міста, повинні перетинати вулицю Київська по регульованому пішохідному переходу, а пасажирів, які відвідують заклади торгової мережі, також повинні постійно перетинати транспортну артерію. Крім того, зупинка громадського транспорту зі сторони автовокзалу розташована за 100–120 м від регульованого пішохідного переходу, тобто потік пішоходів проходить додатково 72,8–87,4 км за добу. Це змушує пішоходів порушувати правила дорожнього руху і перетинати дорогу поза межами пішохідного переходу, наражаючись на небезпеку та створюючи аварійну ситуацію.

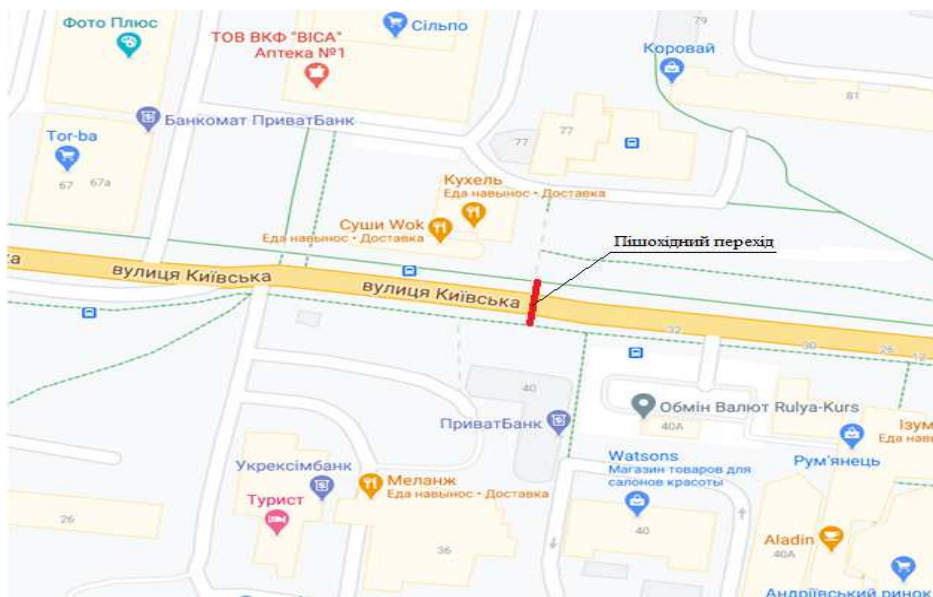


Рис. 1. Схема розміщення зупинок по вул. Київській в районі центрального автовокзалу м. Рівне

Тобто необхідність розведення у просторі транспортних засобів і пішоходів у цьому місці, як і у багатьох інших місцях Рівного та інших населених пунктів, є нагальною і актуальною. Як уже зазначено вище, вирішуються такі питання влаштуванням підземних або надземних переходів, завдяки чому необхідність регульованого пішохідного переходу зникає. Надземний варіант переходу в даному перетині дороги виходячи з умов рельєфу є найбільш доцільним.

Як показали численні дослідження [10; 11], пішохідний перехід з використанням сталевих конструкцій є найбільш економічним, технологічним та естетичним, оскільки дає можливість виконати будь-які конструктивні форми, що є значно легшими порівняно з використанням залізобетонних конструкцій. Саме тому дослідження, які призведуть до зменшення витрат на матеріали, є актуальними.

Аналіз останніх досліджень. Одним з перспективних варіантів для прольотних конструкцій пішохідного переходу є застосування перфорованих балок. Перфорованими називаються профілі, які мають у своїй стінці отвори різної конфігурації. Утворюється перфорований профіль, як правило, шляхом розрізання стінки прокатного профіля (найчастіше двотавра або швелера) по зигзагоподібній лінії чи методом пресування з подальшим з'єднанням розрізаних частинок в місцях примикання виступів за допомогою зварювання (рис. 2), утворюючи таким чином суцільні перемички [1; 2; 8]. Отвори в стінках перфорованої балки можуть бути різної конфігурації: шестикутні, квадратні, шахоподібні, подвійної перфорації тощо.

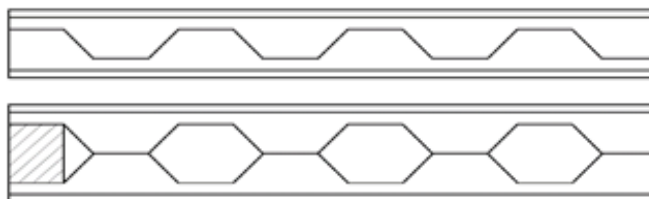


Рис. 2. Перфорована балка

Маса таких балок не збільшується порівняно з вихідними прокатними профілями, а несуча здатність, тобто міцність і жорсткість, значно вища за рахунок збільшення висоти перерізу. Вони є конкурентно спроможними порівняно з іншими складеними балками. Суттєвим недоліком таких балок, незважаючи на їх значно меншу матеріаломісткість ($\approx$ на 20...30%), є більш висока вартість виготовлення.

Розрахунок несучої здатності таких балок виконують, використовуючи різні методики, а саме: елементарну теорію згину як безрозкісну ферму Віренделя, числові методи теорії пружності, метод скінченних елементів, метод теорії складених стержнів, за граничним прогином [5; 6; 9].

На сьогодні майже в усіх розвинутих країнах світу проведено достатню кількість експериментальних досліджень перфорованих елементів. Практично всі автори теоретичних досліджень проводили і експерименти, використовуючи різні схеми навантаження, прольоти і геометричні характеристики перфорованих елементів [10; 11].

З досліджень конструкцій, близьких до конструкцій надземних переходів, необхідно відмітити дослідження плоских рамних і арочних конструкцій із застосуванням перфорованих, як правило двотаврових, елементів, ферми з перфорованим верхнім поясом тощо.

Постановка проблеми. Очевидно, що несуча здатність перфорованих елементів і витрати матеріалу для їх виготовлення тісно пов'язані між собою. Така задача є багатофакторною, і цими факторами насамперед є: величина навантаження; характер дії навантаження (статичне чи динамічне); вид навантаження (зосереджене, рівномірно розподілене, комбінація рівномірно розподіленого і зосередженого навантажень); схема дії навантаження; міцність матеріалу балки (сталі звичайної міцності чи високоміцні); величина прольоту балки; геометричні параметри перерізу балки.

Постановка мети і завдань досліджень. В роботі поставлено за мету дослідити ефективність використання перфорованих елементів у конструкціях надземних пішохідних переходів та виконати порівняння конструкцій ригелів різного поперечного перерізу залежно від прольоту, міцності матеріалу та застосування окремих конструктивних особливостей. Завдання дослідження – встановити раціональні області застосування перфорованих балок в надземних переходах та економічний ефект від їх застосування; дослідити можливість використання сталі з підвищеними механічними характеристиками.

Методика досліджень. Аналіз літературних джерел, що присвячені теоретичним та експериментальним дослідженням перфорованих конструкцій, а також порівняння витрат сталі на балки різних поперечних перерізів, виконаних зі сталі з різними механічними характеристиками та з їх окремими конструктивними особливостями.

Виклад основного матеріалу. Конструкція сталевго надземного переходу складається, як правило з настилу, балок настилу, за

необхідності другорядних балок, головних балок і колон (рис. 3). Найефективнішим способом забезпечення просторової стійкості і загальної жорсткості споруди є використання вертикальних в'язей різної конфігурації. Іноді замість головних балок за наявності великих прольотів застосовують наскрізні конструкції, а саме ферми або арки.

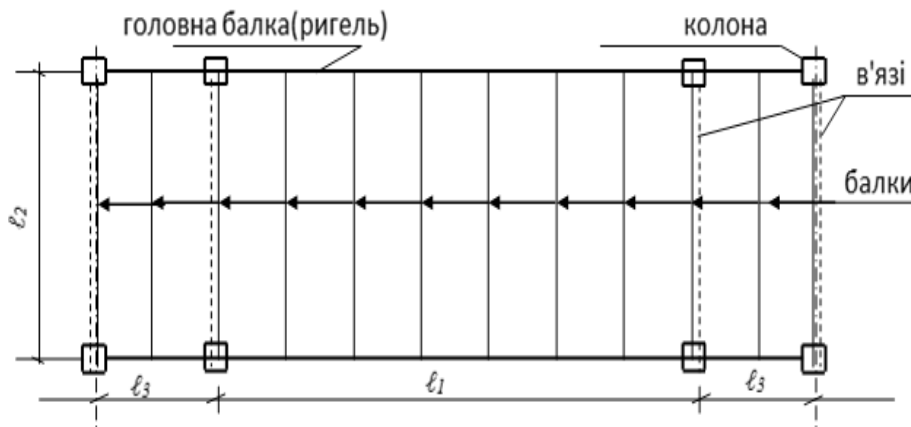


Рис. 3. Схема площадки надземного переходу

Габаритні розміри площадки переходу у плані, а саме: проліт визначається шириною проїзної частини дороги, ширина – пропускною здатністю пішоходів, відмітка верху площадки – в основному габаритами автомобільного транспорту.

Як показує практика проєктування та будівництва сталевих конструкцій надземних переходів, найбільші витрати сталі відносяться до прольотної частини головної балки, а на інші елементи витрати є більш-менш постійними. Тому існує необхідність провести дослідження з проєктування найбільш раціонального за витратами сталі варіанта ригеля прольотної частини, що призведе до зменшення витрат сталі і, як наслідок, до здешевлення самої конструкції переходу.

Найчастіше ригель проєктується у вигляді балки, яка призначена для сприйняття прикладених у прольоті навантажень і передачі їх на нижчерозташовані конструкції, якими можуть бути колони.

Розрахунки прольотних конструкцій надземного переходу проводяться як балки або ферми на двох опорах переважно на постійне навантаження від ваги самої конструкції та тимчасове від ваги людей та обладнання, оскільки вага снігового покриву є менш небезпе-

чним фактором (за виключенням випадків накритих переходів). Температурні деформації можна не враховувати через відносно невеликі розміри окремих елементів, а вплив вітрового навантаження переважно сприймається вертикальними елементами і компенсується системою в'язей.

Поперечний переріз балок приймають за максимальними нормальними і дотичними напруженнями (граничні стани першої групи) [5; 9] або ж за максимально допустимим прогином (граничні стани другої групи) [6].

Можна розглянути декілька варіантів поперечного перерізу головної балки надземного переходу шириною $\ell_2=3$ м під характеристичне навантаження 4 кН/м^2 , а саме з нерівнополицевих кутиків складених тавром, гнуто-зварного профілю, швелера, прокатного двотавра, складеного двотавра, перфорованого двотавра (рис. 4) і порівняти для кожного з них витрати сталі класу С235 для прольотів балки 6; 9; 12; 15; 18 і 21 м. Для порівняння також обчислено витрати сталі на ферму з паралельними поясами таких самих прольотів з тієї ж сталі. Елементи решітки ферми запроєктовано з рівнополицевих кутиків складених тавром. Результати досліджень наведено в табл. 1 та на рис. 5.

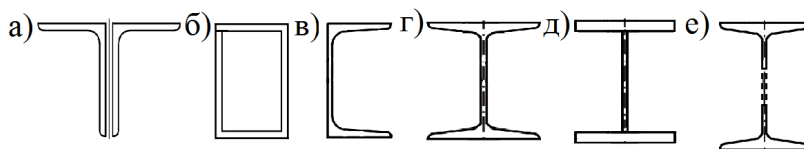


Рис. 4. Поперечний переріз балок

а – з двох нерівнополицевих кутиків; б – гнутозварний профіль;
в – швелер; г – прокатний двотавр; д – зварний двотавр;
е – перфорований двотавр

В результаті аналізу отриманих результатів встановлено, що при прольотах до 12 м включно більш раціональним є ригель у вигляді балки. Для прольотів 15 м і більше – наскрізні ферми.

Із балок найбільш ефективними для сприйняття згинаючих зусиль є двотаврові перфоровані балки.

Використання матеріалів з підвищеними механічними характеристиками дозволяє сприймати більше навантаження за незмінного перерізу або зменшити переріз відповідно до зростання міцності ма-

теріалу. В табл. 2 і на графіку (рис. 6) представлено показники витрат матеріалу на перфоровану двотаврову балку залежно від міцності матеріалу, з яких видно, що застосування матеріалів з підвищеними механічними характеристиками за незмінного навантаження дозволяє зменшити вагу балки на 10–40% при прольотах до 12–15 м.

Таблиця 1

Маса ригеля (балки) (кг) залежно від прольоту і перерізу
верхнього поясу

Проліт ℓ , м	Поперечний переріз						
	Тавр з кутиків	Гнuto-зварний профіль	Швелер	Прокатний двотавр	Зварний двотавр	Перфорований двотавр	Ферма з паралельними поясами
6	194	176	126	112	120	101	258
9	384	347	286	241	252	225	330
12	710	615	480	428	424	388	473
15	1195	1014	859	807	803	715	694
18	-	-	1579	1418	1385	1257	1112
21	-	-	-	2760	2583	2337	1403

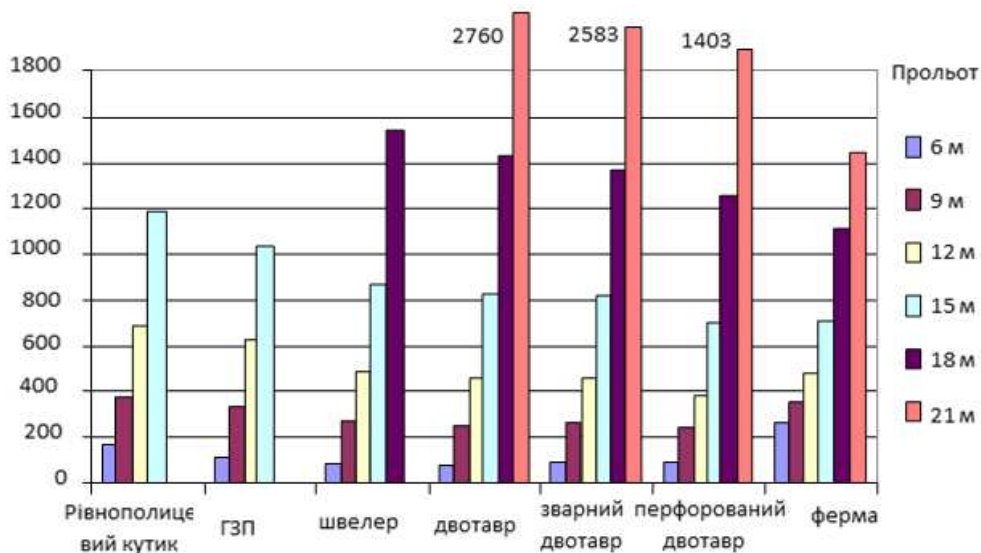


Рис. 5. Показники витрат сталі на конструкцію балки залежно від прольоту і поперечного перерізу

При більших прольотах витрати лишаються незмінними у зв'язку з тим, що переріз балок більшого прольоту приймається не за міцністю (граничні стани першої групи), а за граничним прогином (граничні стани другої групи). При цьому найбільш напружені перерізи все одно залишаються недонапруженими. Це пов'язано з тим, що на конструкції надземних переходів діє менше навантаження, ніж на конструкції виробничих та громадських будівель. Тому немає потреби використовувати більш якісну сталь, яка є дорожчою.

Таблиця 2

Маса перфорованої балки (кг) залежно від прольоту і механічних характеристик сталі

Проліт ℓ_1 , м	Розрахунковий опір R_y , МПа					
	230	250	270	280	315	335
6	101	93	86	83	74	69
9	225	207	191	187	164	153
12	388	357	330	324	324	324
15	715	658	608	608	608	608
18	1257	1156	1156	1156	1156	1156
21	2337	2337	2337	2337	2337	2337

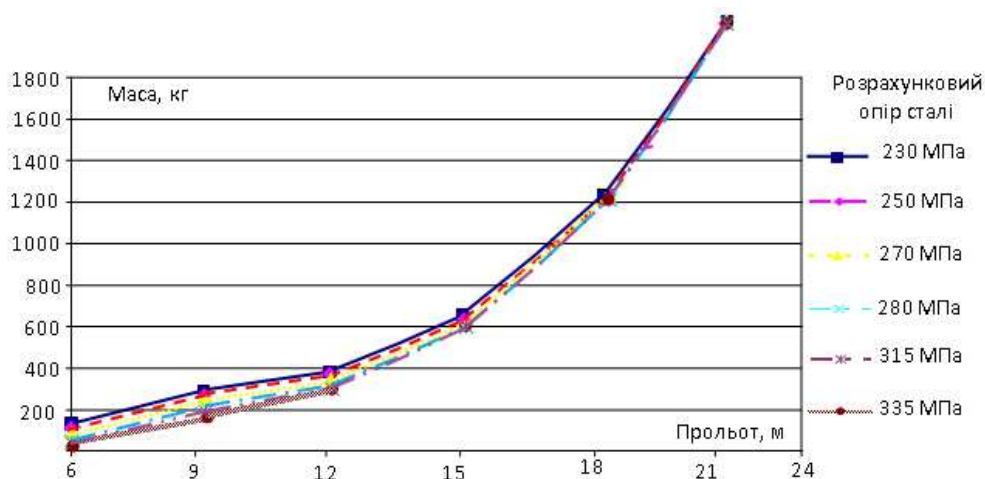


Рис. 6. Показники витрат сталі на перфоровану балку залежно від прольоту та міцності матеріалу

Виходячи з цього можна зробити висновок, що зменшення прогину призведе до більшої економії сталі. Це можливо за рахунок збільшення жорсткості перфорованого перерізу посередині прольоту, або утворенням будівельного підйому посередині прольоту, величину якого можна визначити за граничним прогином, хоча це і призведе до появи незначних зусиль розпору в місці з'єднання головної балки з опорою.

Основні результати. В результаті досліджень встановлено, що для прольотних конструкцій надземних пішохідних переходів найбільш раціональним перерізом порівняно з перерізами з нерівнополицевих кутиків складених тавром, гнutoзварного профілю, швелера, прокатного двотавра і зварного двотавра є сталеві перфоровані балки при її прольоті до 12 м включно. Економія сталі може становити від 12% до 57%. При більших прольотах економічнішою буде наскрізна конструкція у вигляді ферми або арки. Дослідження також показали, що використання балок зі сталі з підвищеними механічними характеристиками за незмінного навантаження дозволяє зменшити вагу балки на 10–40% при прольотах до 15 м. При більших прольотах економічного ефекту можна досягти змінним перерізом або влаштуванням посередині прольоту балки будівельного підйому, які зменшать витрати сталі на 5–10%.

Висновки. За результатами проведених досліджень можна зробити висновок, що застосування надземних переходів в найбільш напружених точках вулиць і доріг дозволяє збільшити пропускну здатність доріг за рахунок збільшення швидкості транспортного потоку; зменшити можливість травмування пішоходів за рахунок розведення транспортних засобів і пішоходів в просторі; покращити сполучення об'єктів міської території, що розділені дорогою; зменшити забруднення міської території. Крім того, раціональне проектування елементів надземного пішохідного переходу, а саме прольотної частини, може зменшити його вагу на 19–67% залежно від прийнятого поперечного перерізу і на 12–17% від використання перфорованого профілю порівняно з вихідним прокатним.

1. А. с. 391245 (СССР). Балка с перфорированной стенкой / Я. А. Каплун, А. П. Бобровников, В. В. Березин и др. № 31. Оpubл. в Б.И. 1973.
2. А. с. 1323681 (СССР). Металлическая перфорированная балка / С. Ф. Тольских, А. А. Заборский, В. А. Песков, А. А. Корешов. № 33. Оpubл. в Б.И., 1987.
- 4 с.
3. ДБН В.2.3-4:2007. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. [Чинний від

2008-03-01]. К. : Мінрегіонбуд України, 2007. 91 с. (Державні будівельні норми України). **4.** ДБН В.2.3.-5:2018. Вулиці та дороги населених пунктів. К. : Мін. РРБЖКГ України, 2018. 61 с. **5.** ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. К. : Мінбуд України, 2006. 78 с. **6.** ДСТУ Б В.1.2-3:2006. Прогини і переміщення. К. : Мінбуд України, 2006. 12 с. **7.** ПОР-218-141-2000. Порядок обліку руху транспортних засобів на автомобільних дорогах загального користування. Київ : Мінрегіонбуд України. **8.** Стальна двосхила попередньо напружена перфорована арка: пат. / Романюк В. В., Супрунюк В. В. UA (11) 4373 Україна : Оpubл. 17.01.2005 ; Бюл. № 1. **9.** Eurocode 3: Design of steel structures. EN 1993-1-8:2005. **10.** Романюк В. В., Супрунюк В. В. Міцність та деформативність перфорованих елементів сталевोї арки : монографія. Рівне : НУВГП, 2013. 106 с. **11.** Романюк В. В., Василенко В. Б., Супрунюк В. В. Несуча здатність перфорованих прогонів Z-подібного профілю за косого згину : монографія. Рівне : НУВГП, 2017. 206 с.

REFERENCES:

1. A. s. 391245 (SSSR). Balka s perforirovannoy stenкой / Ya. A. Kaplun, A. P. Bobrovnikov, V. V. Berezin i dr. № 31. Opubl. V B.I. 1973. **2.** A. s. 1323681 (SSSR). Metallichesкая perforirovannaya balka / S. F. Tolskih, A. A. Zaborskiy, V. A. Peskov, A. A. Koreshov. № 33. Opubl. v B.I., 1987. 4 s. **3.** DBN V.2.3-4:2007. Sporudy transportu. Avtomobilni dorohy. [Chynnyi vid 2008-03-01]. K. : Minrehionbud Ukrainy, 2007. 91 s. (Derzhavni budivelni normy Ukrainy). **4.** DBN V.2.3.-5:2018. Vulytsi ta dorohy naselenykh punktiv. K. : Min. RRBZhKH Ukrainy, 2018. 61 s. **5.** DBN V.1.2-2:2006. Navantazhennia i vplyvy. K. : Minbud Ukrainy, 2006. 78 s. **6.** DSTU B V.1.2-3:2006. Prohyny i peremishchennia. K. : Minbud Ukrainy, 2006. 12 s. **7.** POR-218-141-2000. Poriadok obliku rukhu transportnykh zasobiv na avtomobilnykh dorohakh zahalnoho korystuvannia. Kyiv : Minrehionbud Ukrainy. **8.** Stalna dvoskhyla poperedno napruzhena perforovana arka: pat. / Romaniuk V. V., Supruniuk V. V. UA (11) 4373 Ukraina : Opubl. 17.01.2005 ; Biul. № 1. **9.** Eurocode 3: Design of steel structures. EN 1993-1-8:2005. **10.** Romaniuk V. V., Supruniuk V. V. Mitsnist ta deformatyvnist perforovanykh elementiv stalevoi arky : monohrafiia. Rivne : NUVHP, 2013. 106 s. **11.** Romaniuk V. V., Vasylenko V. B., Supruniuk V. V. Nesucha zdatnist perforovanykh prohoniv Z-podibnoho profilu za kosoho zghynu : monohrafiia. Rivne : NUVHP, 2017. 206 s.

Supruniuk V. V., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor; Romaniuk V. V., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor; Fursovych M. O., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor; Ziatyuk Y. Y., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor; Bezniuk L. I., Post-graduate Student (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine)

CHOICE OF RATIONAL STRUCTURE OF RIGEL OF OVERGROUND PEDESTRIAN CROSSING

A study of the need to use overground pedestrian crossing in the profile of roads depending on traffic intensity, traffic speed and road capacity was done.

The construction of an overground pedestrian crossing depending on its overall dimensions, mechanical characteristics of steel, design features and various design options of the cross section of its main beam is considered, namely from corners with different shelves, forming a T-section, from bent-welded profile, channel, rolled I-beam, welded I-beam and perforated I-beam. Methods for calculating the strength and deformability of span elements under the action of external constant and temporary loads at the limit state of the first and second groups are studied.

Based on the determined cross-sections of the main beam, the steel costs are calculated for each of the options with the determination of the most economical depending on the span. Data on the expenses of steel of different strength for perforated I-beam with the same span and load was received and the limits of the effectiveness of this measure was found out. It is proved that the use of design features, namely the construction lift in the middle of the span, gives a positive effect.

According to the results of research, it is concluded that the use of overground pedestrian crossing in the busiest points of streets and roads allows you to: increase the capacity of roads by increasing the speed of traffic; reduce the possibility of injuring pedestrians by breeding vehicles and pedestrians in space; to improve the connection of objects of the city territory, separated by a road; reduce pollution of urban areas. In addition, the rational design of the elements of the

overground pedestrian crossing, namely the span, can reduce its weight by 19–67% depending on the accepted cross section and 12–17% from the use of perforated profile compared to the original rolled I-beam.

***Keywords:* beam; support; element; perforation; stress; deformation; bearing capacity.**
