

## БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ

УДК 624.21.09, 624.271

DOI 10.31649/2311-1429-2022-2-60-71

В. О. Попов<sup>1</sup>  
А. В. Попова<sup>2</sup>

## КОМБІНОВАНІ ВОДОПРОПУСКНІ СПОРУДИ ТУНЕЛЬНОГО ТИПУ ДЛЯ ДОРОЖНЬОГО ГОСПОДАРСТВА

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет  
<sup>2</sup>Донецький національний університет імені Василя Стуса

У статті набув подальшого розвитку спосіб улаштування комбінованих споруд, як основ фрагментів доріг регіонального та місцевого значення над малими струмками та зливовими системами, що поєднують в собі функції стандартних монолітних мостових конструкцій плитного типу та водопропускних коробчастих споруд. Запропонований спосіб є більш надійною альтернативою сучасних рішень збірних водопропускних коробів, або безнапірних залізобетонних труб круглого перерізу, які прийнято улаштовувати над природними та штучними перешкодами малої протяжності. Крім того, запропоноване конструктивне рішення може мати подвійне використання – як водопропускна споруда в нормальному режимі роботи та, на момент повітряної тривоги – тимчасове укриття (залізобетонний бліндаж) для громадян. Виконано детальний опис запропонованого конструктивного рішення, розроблено скінчено-елементні модель напружено-деформованого стану споруди з урахуванням ґрунтових умов під дією комплексу навантажень, включаючи тимчасові впливи від колісної техніки. Локалізовані місця на конструкціях споруди в яких виникають найбільші внутрішні зусилля. Запропоновано раціональний варіант їх армування. В процесі аналізу результатів скінчено-елементного моделювання підтверджено надійність та ефективність запропонованих конструктивних рішень.

Узагальнено практичний досвід з проектування і будівництва комбінованої споруди тунельного типу у с. Джугастра Крижопільського району Вінницької області. Описано технологічну послідовність виконання будівельно-монтажних робіт по улаштуванню споруди за запропонованою авторами статті методикою.

**Ключові слова:** водопропускна споруда, тунель, перехідна плита, водоскидна плита, напружено-деформований стан, деформаційний шов.

## Вступ. Постановка проблеми

Ця робота є логічним продовженням попередніх досліджень, присвячених раціональному способу реконструкції споруд дорожнього господарства розглянутих у [1 – 3].

В Україні, в умовах воєнного стану та у рамках програми Президента «Велике будівництво», продовжується робота з модернізації морально застарілої автодорожньої системи, яка не відповідає вимогам сучасних норм з вантажопідйомності та пропускної здатності. Найбільш конструктивно складним та відповідальним структурним елементом автодороги є інженерні споруди, які служать основою доріг в місцях перетину з перешкодами у вигляді озер, річок, струмків, різноманітних водовідвідних зливових систем, глибоких ярів, тощо. У випадку великою протяжності перешкод рекомендованими чинними нормативними і методичними джерелами з проектування інженерними спорудами, що підтримують дорожнє полотно, є мостові споруди. При малій протяжності та невеликій глибині перешкоди більш доцільно використовувати водопропускні труби чи тунелі, які конструктивно простіші та дешевші за мости і служать виключно наскрізним шляхом водовідводу у неперервному земляному насипу земляної дамби, зведеної над перешкодою.

Однак, для забезпечення надійної та безвідмовної експлуатації дорожнього полотна, що прокладається поверх водопропускних труб, потрібно забезпечити значну відстань від верхнього обрізу труби до дорожнього покриття [1, 2]. Через малий діаметр та значну протяжність труби схильні до замулення та потребують постійного догляду. Труби малого діаметра, хоч і економічні, але їх достатньо важко обслуговувати. Водночас, в умовах воєнного стану в Україні катастрофічно не вистачає надійних залізобетонних укриттів, які б на момент повітряної тривоги могли б слугувати тимчасовим сховищем для людей.

Отже, постає задача дослідження: запропонувати конструктивне рішення споруди, яке б об'єднувало функції мостових споруд та водопропускних труб, а також, могло б слугувати надійним укриттям для тимчасового перебування громадян.

## Основна частина

Для доріг місцевого та регіонального значення пропонується комбіноване конструктивне рішення несучої інженерної споруди, що об'єднує в собі надійність та довговічність мостових споруд та

подвійне призначення підземних тунелів, як тимчасового укриття та, одночасно, водопропускної споруди на прикладі об'єкту поблизу села Джугастра Крижопільського району Вінницької області, як несучого елемента дороги місцевого значення С-02-09-04, яка за планом СМАД у Вінницькій області піддавалася капітальному ремонту у 2020 – 2022 році.

Пропонована конструкція являє собою тунель прямокутного перерізу довжиною близько 40 м (рис. 1, 2) на консолі стінок якого спираються перехідні плити. Перехідні плити можуть бути незаглибленого та напів заглибленого типу в залежності від ґрунтових умов. Поверхня кришки тунелю та перехідних плит утворюють опорну площину одягу автодороги. Це принципове конструктивне рішення було реалізовано в реальних умовах для водопропускної споруди на км 9+092 автомобільної дороги загального користування місцевого значення С-02-09-04 Петрунівка-Суша Долина (4 категорії), яка розташована в с. Джугастра Вінницької області (рис.3).

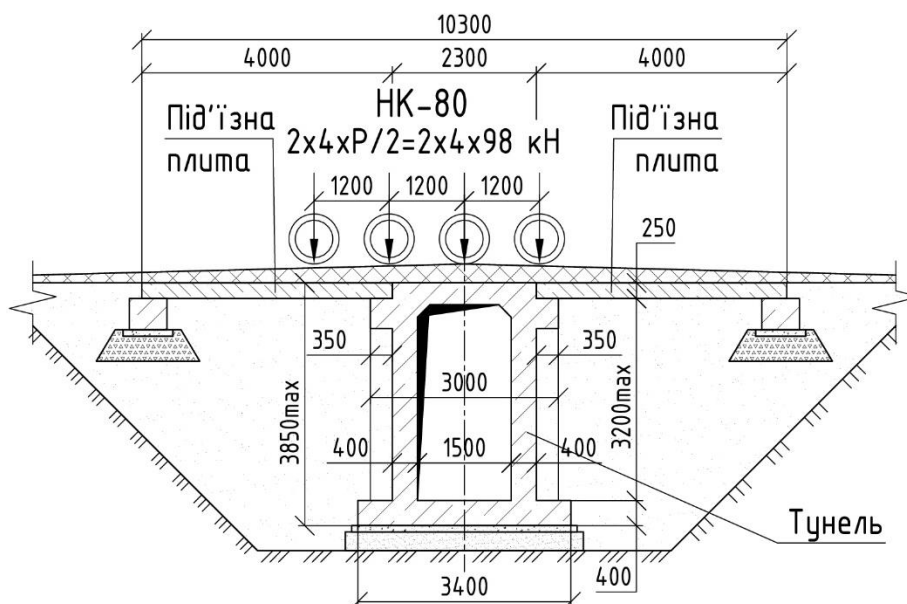


Рисунок 1 – Принципове конструктивне рішення (переріз) пропонованої комбінованої водопропускної споруди-тунелю під дією тимчасового навантаження НК-80.

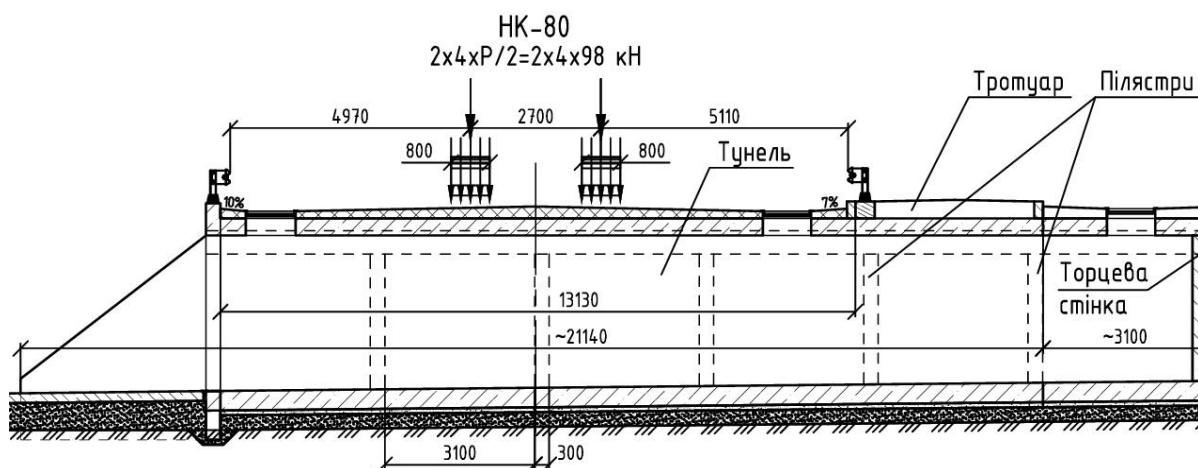


Рисунок 2 – Повздовжній вигляд пропонованої комбінованої водопропускної споруди-тунелю під дією тимчасового навантаження НК-80.

До основних функцій споруди належить відведення поверхневих вод, що виникають при рясних опадах з прилеглої території автодороги, сільради, сусідніх пагорбів площею близько 10 Га у річку Марківка.

Будівельні конструкції водопропускної споруди являють собою систему з двох конструктивно подібних тунелів, об'єднаних у єдине ціле. Перший фрагмент тунелю знаходиться безпосередньо під автомобільною дорогою С-02-09-04, другий, співосно приєднаний до нього фрагмент (довжиною близько 3,1 м), знаходиться під пішохідною частиною та територією благоустрою селищної ради с. Джугастра Крижопільського району.



Рисунок 3 – Загальний вигляд комбінованої споруди тунельного типу з боку водоскидного отвору на автодорозі місцевого значення С-02-09-04 у с. Джугастра Крижопільського району Вінницької області. Тут: 1 – опорні стінки тунелю, 2 – верхня плита тунелю, 3 – водоскидна плита, 4 – відкрilки, 5 – плита днища тунелю, 6 – земляний насип.

Споруда являє собою монолітний короб ефективним перерізом 1500 (b)×(3200 ... 2795) мм, основу якої формує монолітна залізобетонна фундаментна плита товщиною 400 мм, улаштована на вирівнюючій підсипці та бетонній підготовці. Ширина тунелю визначена за гiдралiчним розрахунком, а також, з умов зручної та безпечної роботи обслуговуючого персоналу. Крім того, габаритні розміри тунелю враховують ергономiчні фактори при його використанні, як тимчасового сховища. Внутрішня поверхня плити служить для відведення атмосферних опадів від дороги, сусідньої території сільради, та системи примикаючих водоскидних труб, які, в різних місцях, приєднуються до стінок тунелю. До фундаментної плити основи, яка за проектом, має ухил в бік річки 1,0%, приєднані стінки водопропускної споруди у вигляді монолітних вертикальних плит-стінок товщиною 300 мм з локальними потовщеннями (пілястрами), спрямованими назовні тунелю. Пілястри перерізом 350×300 мм, улаштовані з кроком 3 400 мм, підпирають потовщення стінок тунелю (консолі) на які, в межах проїзної частини, обпираються перехідні плити прольотом 4 м з монолітного залізобетону. Між кришкою тунелю та перехідними плитами улаштовано деформаційні шви. У пішохідній частині консолі та перехідні плити не улаштовуються. Кришка тунелю товщиною 350 мм виконує опорну та захисну функцію. Верхній обріз кришки співпадає з верхнім обрізом перехідних плит. У кришці улаштовується водоприймачі. Над кришкою та під'їзними плитами в просвіті дороги улаштовується асфальтобетонний дорожній одяг товщиною 220 мм. З обох боків проїзної частини улаштовується бордюрне огороження та захисне бар'єрне огороження. З боку існуючого земляного схилу до тунелю приєднується оголовок тунелю у вигляді монолітної вертикальної стінки з відкрilками та водоскидною плитою.

Пропонована споруда має ряд переваг над стандартними трубами-водовідводами. По-перше, у неї суттєво більший умовний прохід для водовідводу. Висота та ширина тунелю дозволяють здійснювати регулярне очищення споруди як ручним, так і механізованим способом. По-друге, така споруда після капітального ремонту, загалом, виконує суміщену функцію водопропускання та безпосереднє сприйняття навантажень від проїзної частини, тому може бути класифікована як суміщена водопропускна мостова споруда. Наявність перехідних плит суттєво покращує умови експлуатації дорожнього одягу в зоні водопропускної споруди та забезпечує безпечне функціонування дороги, навіть, за умови підмивання ґрунтових основ поблизу тунелю.

У суху пору року, коли рівень ґрунтових вод нижчий за рівень підшви тунелю, та, за умови комплектування гирла тунелю металевими розсувними двостулковими броньованими дверима, його можна використовувати, як тимчасове найпростіше укриття (бетонний бліндаж) для цивільного населення та військовослужбовців. Густо армована залізобетонна кришка значної товщини, над якою улаштоване дорожнє покриття, витримує за розрахунками, пряме попадання осколково-фугасного мінометного снаряда діаметром 82 мм. Вентиляційну функцію та функцію допоміжних евакуаційних

виходів при цьому виконують каналізаційні водопропускні решітки.

Однак, все ж таки, основною функцією такого тунелю є сприйняття статичних навантажень від дорожнього покриття та динамічних впливів від рухомого складу. На водопропускну споруду під час нормальної роботи згідно з чинною нормативною документацією [4, 5] впливають:

- постійні навантаження (власна вага споруди, вага бар'єрного огороження, конструкцій асфальтобетонного покриття середньою товщиною 220 мм по підбетонці 50 мм, тиск ґрунту на бічні стінки споруди...);

- тимчасові навантаження, що приймаються у відповідності до ДБН В.1.2-15:2009 «Мости та труби. Навантаження та впливи» [4], які складаються з навантаження на проїзну частину (НК-80 та А-11) та тимчасове навантаження на тротуарну частину від натовпу людей, яке складає 400 кг/м<sup>2</sup>;

- змінне навантаження від водного потоку;

- температурні, ожеледні та інші кліматичні впливи.

Розрахункова схема споруди показана на рис. 4.

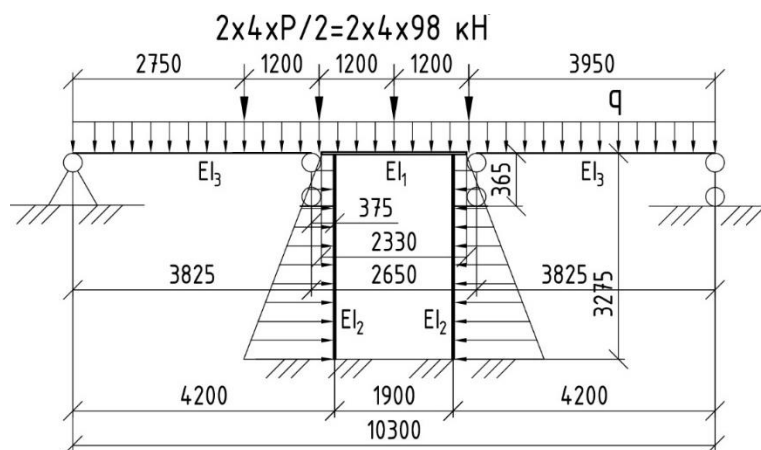


Рисунок 4 – Розрахункова схема перерізу пропонованої водопропускної споруди під дією тимчасового навантаження НК-80.

Розрахунок напружено-деформованого стану тунелю виконаний шляхом деталізованого моделювання основних елементів споруди у вигляді тривимірної моделі за допомогою програмного комплексу «Lira-Windows», що є комп'ютерною системою для структурного аналізу та проектування. Теоретичною основою використаної програми є метод скінчених елементів реалізований за принципом можливих переміщень. Модель водопропускної мостової споруди прийнята у вигляді просторової системи, що складається із пластинчатих елементів, які імітують роботу кришки, стінок, пілястр та фундаментів тунелю, а також, під'їзних плит. Товщина пластинчастих скінчених елементів споруди прийнята у відповідності до проекту. Крок дискретизації пластинчастої моделі – 100×100 мм (рис. 5).

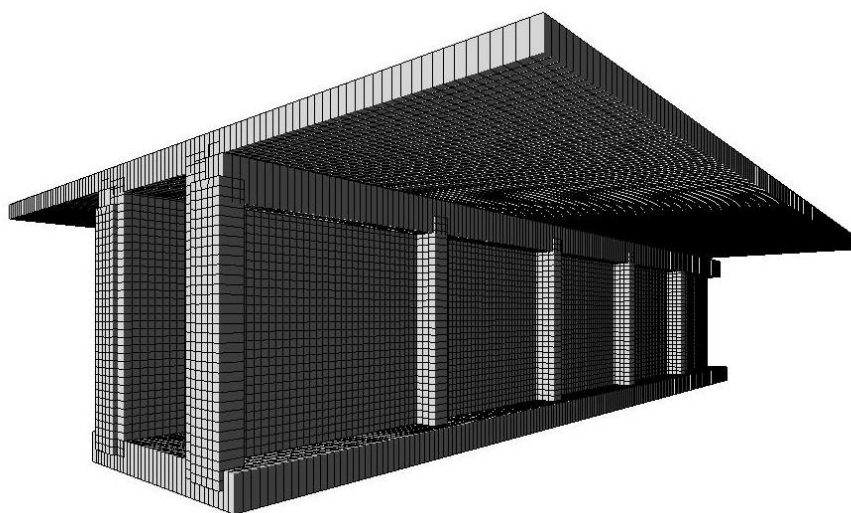


Рисунок 5 – Зовнішній вигляд тривимірної скінчено-елементної моделі тунелю.

При моделюванні ґрунтова основа врахована коефіцієнтами жорсткості (коефіцієнтами постелі), які розраховані для відповідного будівельного майданчику за результатами геологічних вишукувань. Асфальтобетонне покриття проїзної та пішохідної частин, гідроізоляція, бордюрне і бар'єрне огородження, поруччя, наплавна гідроізоляція змодельовані корисним навантаженням.

Навантаження та впливи на конструкції споруди, прийняті згідно з ДБН В.1.2-15:2009 «Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи» [4] та ДБН В.1.2-2-2006 «Навантаження і впливи. Норми проектування» [5].

Згідно з цими нормами до тимчасових впливів на споруду відносять:

- колісний вплив НК-80 (яке є невідповідним для локальної роботи кришки та під'їзної плити);
- колісного навантаження А-11 (невідповідне з огляду на загальну міцність основ та фундаментів);
- тимчасового навантаження від натовпу пішоходів та кліматичні впливи.

При розрахунку за 1-ю групою граничних станів використовувались розрахункові навантаження, за 2-ю групою – експлуатаційні. Модель водопропускної споруди під дією комплексу тимчасових навантажень за комбінацією з трьома візками А-11 в прольоті показана на рис.6. Вибірка з результатів розрахунків – на рис. 7 ... 10.

Аналіз результатів розрахунку показав, що максимальні вертикальні переміщення вузлів водопропускної споруди в цілому від дії постійних і тимчасових впливів виникають при корисному тимчасовому навантаженні А-11 (три розрахункових візки у прольоті в момент одночасного наїзду їх коліс на центр кришки тунелю). Найбільше деформує водоскидний переріз споруди. Вертикальні деформації від розрахункових впливів в цьому випадку рівні  $f = 7,1 \text{ мм}$  (рис. 7), що менше гранично допустимого значення  $f_u = 26 \text{ мм}$ :  $f = 7,1 \text{ мм} < f_u = 26 \text{ мм}$ .

Найбільші відносні деформації перехідної плити виникають при одночасному наїзді коліс візків тимчасового навантаження А-11 на центр перехідної плити. Вертикальні деформації плити в цьому випадку рівні  $f = 8,5 \text{ мм}$ , що менше гранично допустимого значення  $f_u = 10 \text{ мм}$ :

$$f = 8,5 \text{ мм} < f_u = 10 \text{ мм}.$$

Всі умови жорсткості виконано. Отже, загальна жорсткість елементів водопропускної споруди від дії основних сполучень навантажень, та усієї споруди, в цілому, забезпечена.

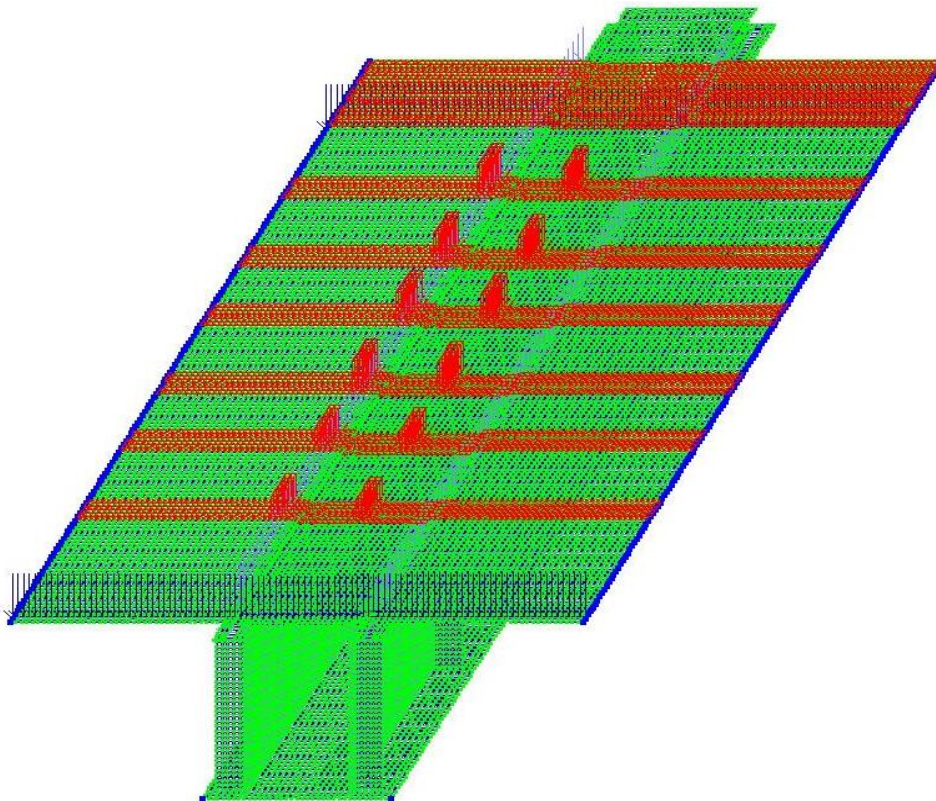


Рисунок 6 – Модель тунелю під дією тимчасових колісних впливів А-11 (три візки у перерізі) та натовпу людей (виділено червоним).

На рис. 7 видно, що у найбільш невідгідному випадку торцевий край під'їзної плити припіднімається над краєм кришки тунелю до 1 мм та зміщується по горизонталі до 2 мм від розрахункових впливів тимчасового навантаження А-11. Ці деформації компенсують передбачені проектом деформаційні вставки закритого типу між перехідними плитами та кришкою тунелю.

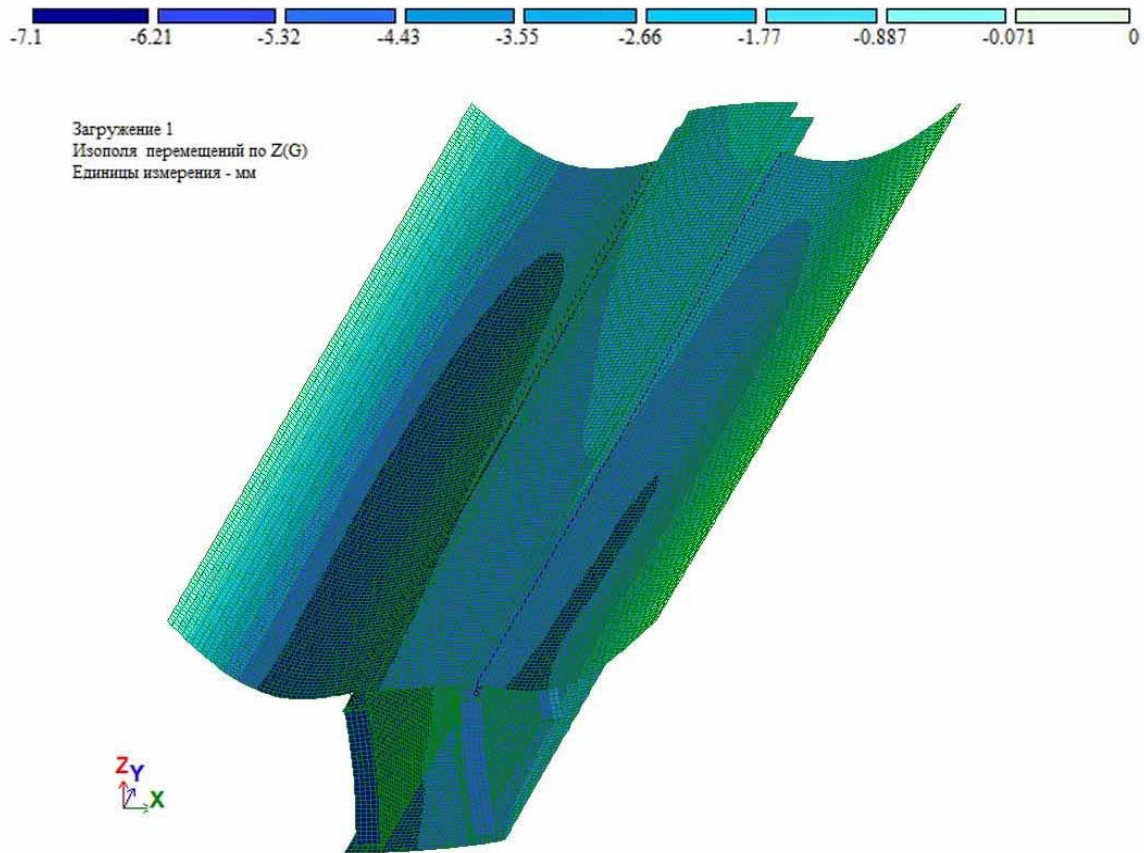


Рисунок 7 – Просторова робота водопропускної споруди під дією тимчасового навантаження А-11 (три візки у перерізі) з урахуванням нелінійної поведінки ґрунтової основи. Результати розрахунку деформацій по осі Oz.

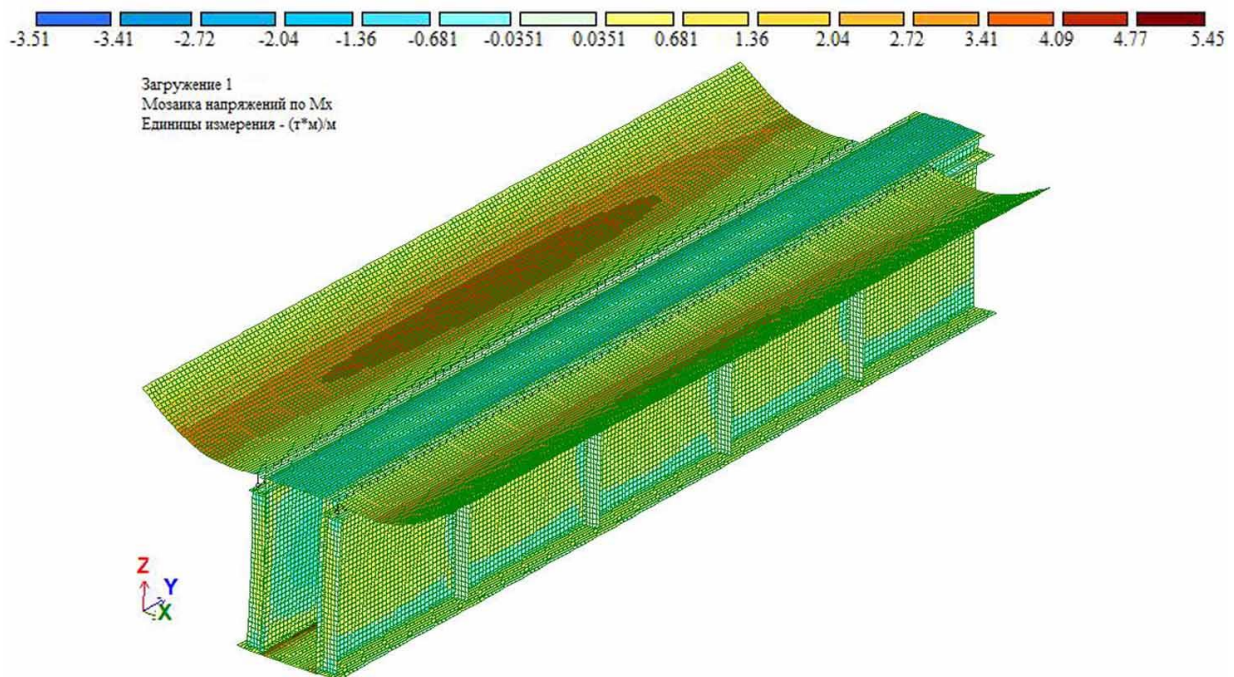


Рисунок 8 – Результати розрахунку згинальних моментів Mx від невідгідної схеми навантажень А-11 (три візки у перерізі).

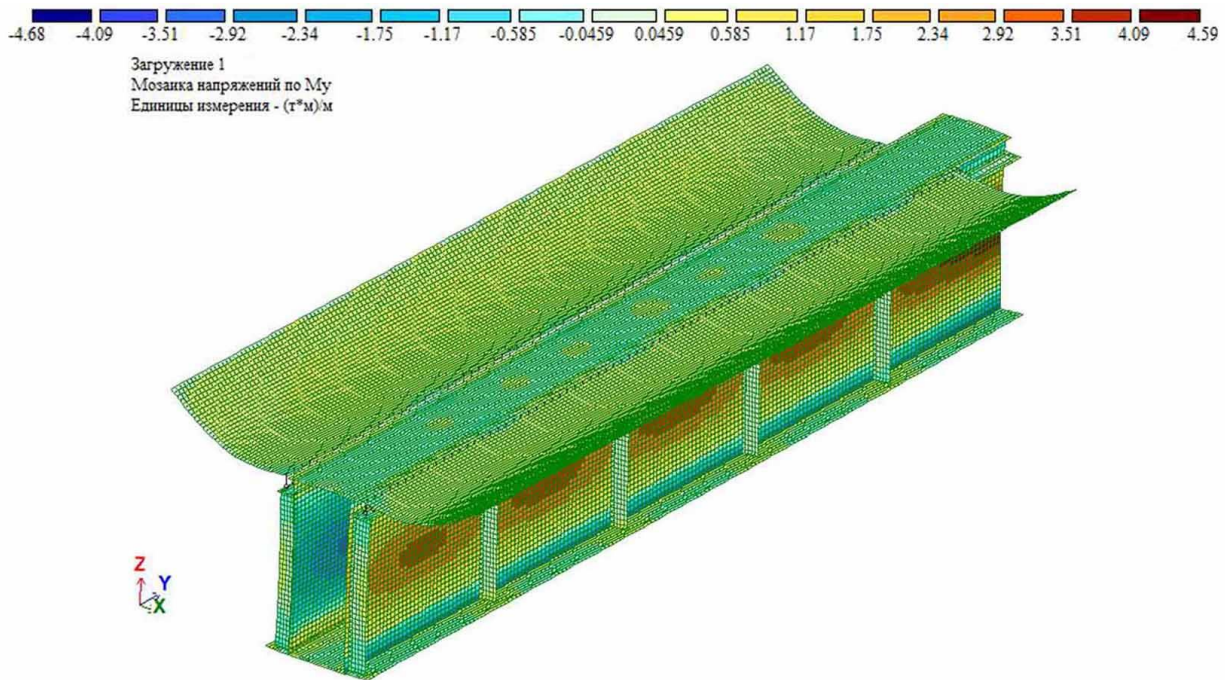


Рисунок 9 – Результати розрахунку згинальних моментів  $M_y$  від невідгідної схеми навантажень А-11 (три візки у перерізі).

На рис. 8 ... 10 видно, що найбільші згинальні моменти виникають у середній (пролітній) частині перехідних плит, в середньому перерізі вертикальних стін та в місцях примикання стінок до фундаментної плити. Максимальні осьові напруження виникають у пілястрах (рис. 11). При розрахунках виявлено найбільш небезпечні ділянки конструкції на стику стінок, консолей та пілястр, де можуть виникати тріщини (рис. 12). Згідно з виконаними розрахунками, було підібрано робоче армування всіх конструктивних елементів (рис. 13...14). Просторове армування рекомендовано здійснювати просторовими каркасами у вигляді двох рядів сіток з окремих, об'єднаних у просторові блоки поперечною арматурою (рис. 15). Завершальний етап будівництва споруди на момент нанесення гідроізоляції та трамбування основи дороги показано на рис. 16.

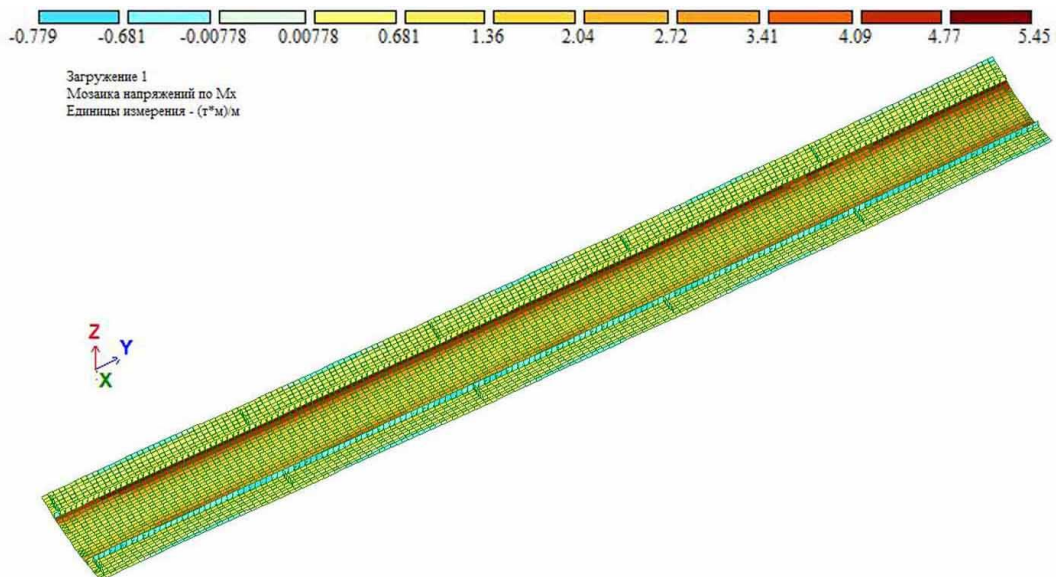


Рисунок 10 – Результати розрахунку згинальних моментів  $M_x$  у фундаментній плиті від невідгідної схеми навантажень А-11 (три візки у перерізі).

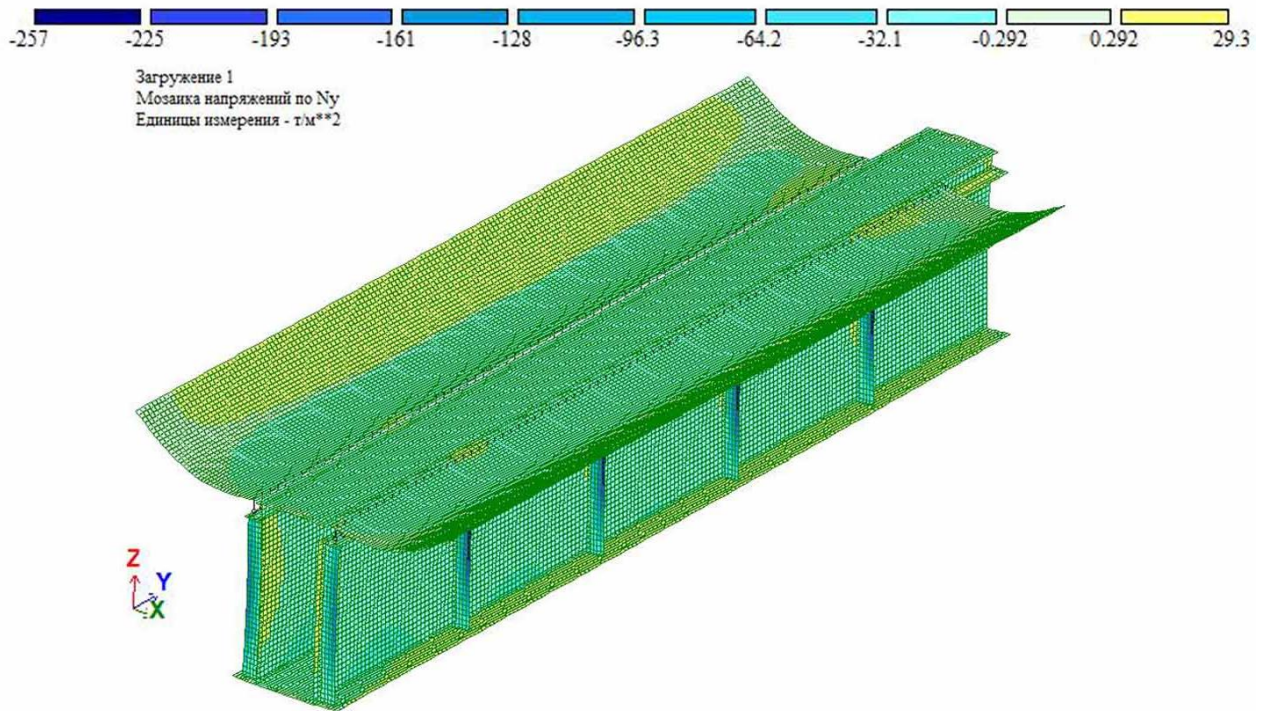


Рисунок 11 – Результати розрахунку згинальних моментів  $N_y$  від невігідної схеми навантажень А-11 (три візки у перерізі).

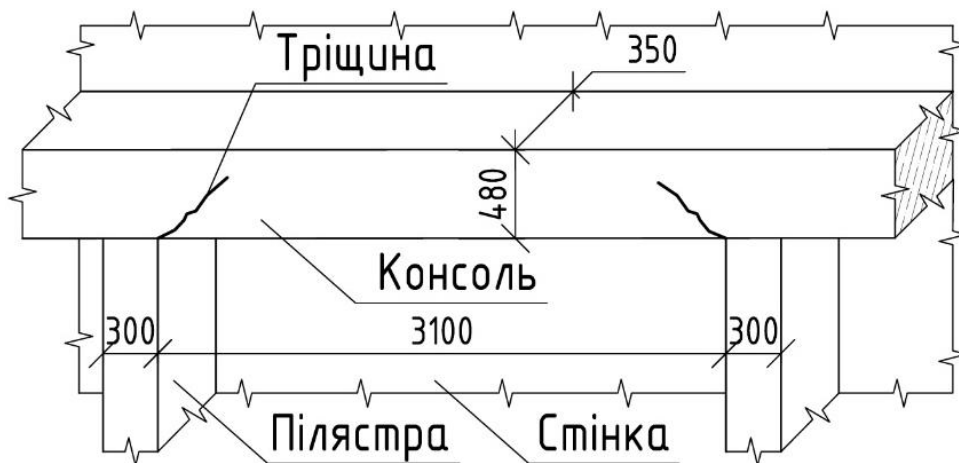


Рисунок 12 – Небезпечна ділянка в зоні примикання консолей, стінок та пілястр.

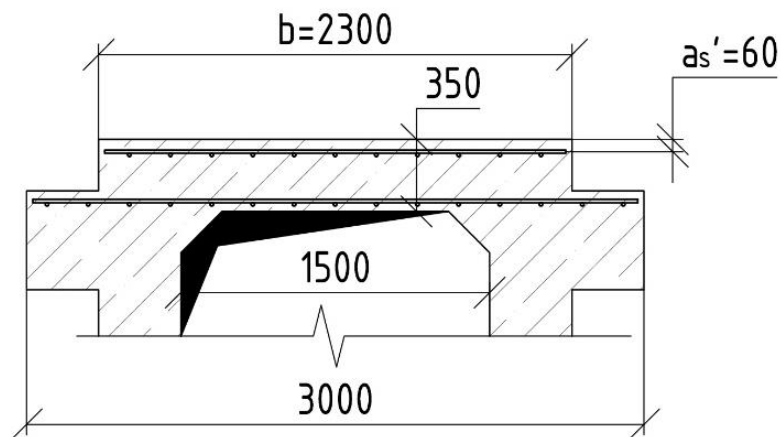


Рисунок 13 – Принципова схема армування кришки тунелю.



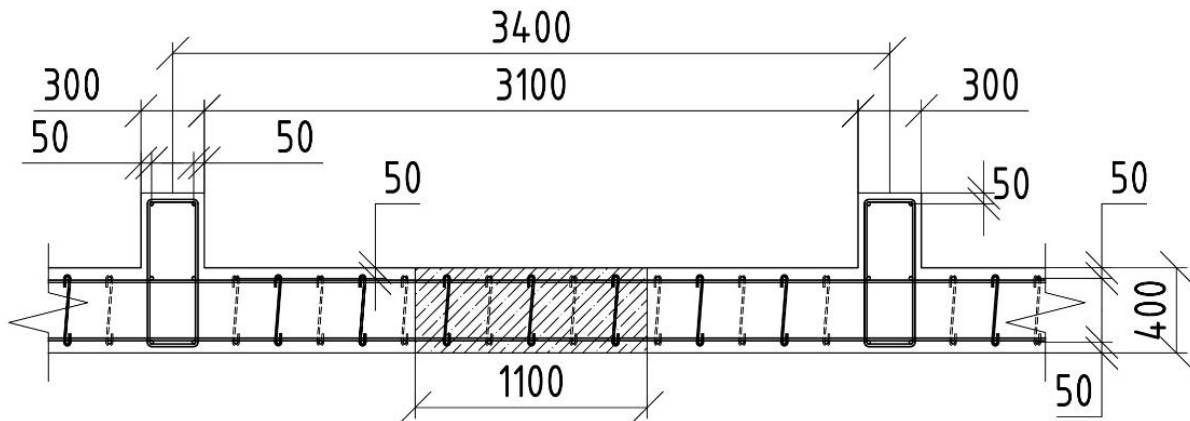


Рисунок 14 – Принципова схема армування стінок тунелю з пілястрами.



Рисунок 15 – Армування конструкцій тунелю просторовими каркасами.

Запропонована технологічна послідовність будівництва комбінованої споруди тунельного типу включає такі роботи:

А) Відкопування котловану з улаштуванням тимчасових шпунтових стінок поблизу суміжних будівель і споруд для забезпечення безпеки їх експлуатації протягом терміну будівництва.

Б) Демонтаж конструкцій, що заважають будівництву комбінованої водопропускної споруди (наприклад, старих водовідводів, каналів, тунелів); тимчасова закупорка водовідводів, які будуть врізатися у водопропускну споруду з організацією тимчасових водовідвідних шляхів.

В) Вирівнювання днища котловану, улаштування гравійно-піщаної підсипки та підбетонки з організацією проектної розуклонки.

Г) Улаштування конструкцій нової водопропускної споруди тунельного типу шляхом встановлення опалубки, армування та бетонування фундаментної плити, стінок, пілястр, кришки з організацією з'єднання з існуючими водоприймальними спорудами з суміжної території.

Д) Улаштування водоскидної плити та відкритків. Улаштування лежневих опор та перехідних плит. Встановлення деформаційних вставок між плитами та кришкою тунелю. Гідроізоляція конструкцій.

Е) Зворотна засипка пазух котловану з пошаровим трамбуванням. Демонтаж шпунтової захисної системи.

Ж) Відновлення дорожнього покриття та улаштування захисного бар'єрного огороження.

З) Встановлення сучасних водоприймачів.

І) Укріплення насипів дороги, улаштування насипів поблизу відкриттів трамбування ґрунту. Укріплення насипів засівом трав.

К) Влаштування розмітки та дорожніх знаків.

Л) За потреби встановлення броньованих воріт з водоскидними решітками у нижній частині для використання тунелю як тимчасового сховища на момент воєнних дій, здійснення загального маскуванню конструкцій.

Досвід реального будівництва комбінованої споруди тунельного типу (див. рис. 3, 15, 16) довів ефективність запропонованих конструктивних та технологічних рішень.



Рисунок 16 – Завершальний етап будівництва тунелю в момент улаштування горизонтальної гідроізоляції та підготовки основ дорожнього одягу (вид з боку, протилежного водоскидному отвору).

### Висновки

Набув подальшого розвитку метод улаштування водопропускних комбінованих споруд тунельного типу, які поєднують в собі переваги, як трубних так і мостових конструкцій.

Досліджено напружено-деформований стан моделі запропонованої споруди під дією комплексу постійних та тимчасових навантажень з урахуванням ґрунтових умов. Виявлено найбільш небезпечні з точки зору міцності ділянки, якими виявилися пілястри, ділянки консолей, перехідні плити. За результатами виконаних аналітичних розрахунків за методикою ДСТУ Б В.2.6-156:2010, розділу 3 ДБН В.2.3-14:2006 [7] та скінчено-елементного моделювання водопропускної споруди виявлено, що прийняті конструктивні рішення забезпечують її подальшу надійну експлуатацію протягом встановленого терміну.

Запропоновано ефективну технологію виконання будівельно-монтажних робіт з улаштування тунелю, яка апробована в реальних умовах при будівництві водопропускної споруди у с. Джугастра Крижопільського району Вінницької області на дорозі місцевого значення С-02-09-04.

Доведено можливість використання запропонованої споруди в сухий період року у якості найпростішого укриття (залізобетонного бліндажу) для здійснення тимчасового захисту людей на час воєнних дій у випадку відповідного доукомплектування та маскуванню.

Рекомендовано продовжити дослідження за цим напрямком, узагальнені результати яких можуть бути взяті за основу при розробці вітчизняних нормативних джерел на комбіновані водопропускні споруди подвійного призначення.

Окреслено напрямки подальших досліджень запропонованих споруд, які полягають у моделюванні нестандартних впливів на такі споруди при їх використанні як тимчасового укриття (вибух у

безпосередній близькості артилерійських та мінометних снарядів); визначення ступеня захисту споруди, як найпростішого укриття; дослідження поведінки споруди при тривалій експлуатації.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Popov VOLODYMYR, Voitsehivskiy OLEXANDR The effective method of strengthening of reinforced concrete beam bridges by arrangement of the horizontal steel-concrete cover system. Concrete structures for resilient society. Proceeding of the FIB Symposium 2020, 22-24 November, China, Shanghai. Chapter 12. P. 1258 – 1264.
2. В.О. Попов, І.В. Масевська, А.В. Попова, і М.Я. Жилівський. Метод реконструкції балочних мостів без зупинки їх експлуатації улаштуванням нової збірно-монолітної пролітної будови. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. Науково-технічний збірник. Вінниця, ВНТУ, 2021-2. С. 5-15.
3. Попов В.О., Войцехівський О.В. Метод підсилення залізобетонних мостових опор улаштуванням бітрапецеїдальної обойми. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. Науково-технічний збірник. Вінниця, ВНТУ, 2022-1. С. 5 - 13.
4. ДБН В.1.2-15:2009 Мости та труби. Навантаження та впливи. [На заміну ДБН В.2.3-14:2006]. [Чинний від 2009-11-11] – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. (Національні стандарти України).
5. ДБН В.1.2-2-2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. Введ. З 1 січня 2007 р. на заміну СНиП 2.01.07-85 (крім розділу 10). К.: Мінбуд України, 2006. – 71 с.
6. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2011. – 118 с. – (Національні стандарти України).
7. ДБН В.2.3-14:2006 Мости та труби. Правила проектування. [На заміну СНиП 2.05.03-84]/ [чинний від 2006-05-06]. К.: Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2006. – 217 с. – (Національні стандарти України).
8. ДБН В.2.3-22:2009 Мости та труби. Основні вимоги проектування. [На заміну ДБН В.2.3-14:2006]. [Чинний від 2009-11-11] – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. (Національні стандарти України).

### REFERENCES

1. Popov VOLODYMYR, Voitsehivskiy OLEXANDR The effective method of strengthening of reinforced concrete beam bridges by arrangement of the horizontal steel-concrete cover system. Concrete structures for resilient society. Proceeding of the FIB Symposium 2020, 22-24 November, China, Shanghai. Chapter 12. P. 1258 – 1264.
2. V.O. Popov, I.V. Mayevs'ka, A.V. Popova, i M.YA. Zhylovs'kyy. Metod rekonstruktsiyi balochnykh mostiv bez zupynky yikh ekspluatatsiyi ulashtuvannyam novoyi zbirno-monolitnoyi prolitnoyi budovy. Suchasni tekhnolohiyi, materialy i konstrukttsiyi v budivnytstvi. Naukovo-tekhnichnyy zbirnyk. Vinnytsya, VNTU, 2021-2. S. 5-15.
3. Popov V.O., Voytsekhivskiy O.V. Metod pidsylennya zalizobetonnykh mostovykh opor ulashtuvannyam bitrapetseidal'noyi oboymy. Suchasni tekhnolohiyi, materialy i konstrukttsiyi v budivnytstvi. Naukovo-tekhnichnyy zbirnyk. Vinnytsya, VNTU, 2022-1. S. 5 - 13.
4. DBN V.1.2-15:2009 Mosty ta truby. Navantazhennya ta vplyvy. [Na zaminu DBN V.2.3-14:2006]. [Chynnyy vid 2009-11-11] – K.: Minrehionbud Ukrayiny, 2009. (Natsional'ni standarty Ukrayiny).
5. DBN V.1.2-2-2006. Navantazhennya i vplyvy. Normy proektuvannya. Vved. Z 1 sichnya 2007 r. na zaminu SNyP 2.01.07-85 (krim rozdil 10). K.: Minbud Ukrayiny, 2006. – 71 s.
6. DSTU B V.2.6-156:2010. Betonni ta zalizobetonni konstrukttsiyi z vazhkoho betonu. Pravyla proektuvannya. K.: Ministerstvo rehional'noho rozvytku ta budivnytstva Ukrayiny, 2011. – 118 s. – (Natsional'ni standarty Ukrayiny).
7. DBN V.2.3-14:2006 Mosty ta truby. Pravyla proektuvannya. [Na zaminu SNyP 2.05.03-84]/ [chynnyy vid 2006-05-06]. K.: Ministerstvo budivnytstva, arkhitektury ta zhytlovo-komunal'noho hospodarstva Ukrayiny, 2006. – 217 s. – (Natsional'ni standarty Ukrayiny).
8. DBN V.2.3-22:2009 Mosty ta truby. Osnovni vymohy proektuvannya. [Na zaminu DBN V.2.3-14:2006]. [Chynnyy vid 2009-11-11] – K.: Minrehionbud Ukrayiny, 2009. (Natsional'ni standarty Ukrayiny).

**Попов Володимир Олексійович** — к.т.н., доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури. Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, email: [v.a.popov.vntu@gmail.com](mailto:v.a.popov.vntu@gmail.com). ORCID 0000-0003-2379-7764

**Попова Аліна Володимирівна** — студент. Факультет хімії, біології та біотехнологій, Донецький національний університет імені Василя Стуса, м. Вінниця, e-mail: [alina.popova260702@gmail.com](mailto:alina.popova260702@gmail.com)

**V. Popov<sup>1</sup>**  
**A. Popova<sup>2</sup>**

## COMBINED TUNNEL TYPE FLOODGATES FOR ROAD FACILITIES

<sup>1</sup>Vinnytsia National Technical University

<sup>2</sup>Vasyl' Stus Donetsk National University

*The paper consist developed the method of arranging combined structures used as foundations for fragments of regional and local roads over small streams and spillways, which combine the functions of standard monolithic slab-type bridge structures and floodgate box structures. The proposed method is a more reliable alternative to modern standard solutions in the form of prefabricated concrete spillways or non-pressure pipes of a round cross section, which are installed over natural and artificial barriers of short length. In addition, the proposed constructive solution can have a dual use – as a floodgate in normal mode and a temporary shelter (reinforced concrete dugout) for the civilian population at the time of the air raid. Have been detailed described the proposed design solution, have been developed a finite element model of the stress-strain state of a structure, taking into account soil conditions under the action of a complex of loads, including temporary effects from wheeled vehicles. Have been localized the sections of the structures where the largest tension. Have been proposed a rational variant of their reinforcement. Have been confirmed the reliability and effectiveness of the proposed design solutions in the process of analyzing the results of finite element modeling.*

*Have been generalized practical experience in the design and construction of a combined tunnel-type structure in the Dzhugastra village, Kryzhopil'skyj district, Vinnytsia region. Have been described the technological sequence of performing construction and installation works on the installation of a structure according to the methodology proposed by the authors of the article.*

**Key words:** floodgate, tunnel, adapter plate, spillway plate, openings, stress-strain state, expansion joint.

**Popov Vladimir O.** — Ph.D. Docent of department of civil engineering, architecture and municipal economy, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia national technical university, Vinnytsia city, email: [v.a.popov.vntu@gmail.com](mailto:v.a.popov.vntu@gmail.com)

**Popova Alina V.** — student, Department of Chemistry, Biology and Biotechnology, Vasyl Stus Donetsk National University, Vinnytsia city, e-mail: [alina.popova260702@gmail.com](mailto:alina.popova260702@gmail.com)