

УДК 624.21

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2024.104.0.96

ПІДХОДИ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОГО ОБҐРУНТУВАННЯ НОВОГО БУДІВНИЦТВА МОСТА

Давиденко О. О., Гаркуша М. В., Козарчук І. А., Гаркуша І. Ю.
Національний транспортний університет

Анотація. На сьогодні початковий проєкт моста може не відповідати наявним умовам експлуатації споруди через соціально-економічні та соціально-технічні розроблення, що потребує необхідності підвищення рівня обслуговування моста. У роботі наведено техніко-економічне обґрунтування нового будівництва моста через р. Черногузка в с. Голишів та Коршовець Луцького району Волинської області. Здійснено розрахування класів наслідків та інженерно-геодезичний й інженерно-геологічний аналізи. На основі досліджень розроблено технічні рішення. У роботі запропоновано як традиційні підходи до вирішення проблеми із застосуванням сучасних залізобетонних конструкцій, так і підходи із застосуванням прогресивних технологій з використанням металевих гофрованих конструкцій. Розглянуто найбільш раціональні підходи щодо вирішення цього питання зі здійсненням аналізу позитивних та негативних чинників технічних рішень, що дає можливість для проведення аналізу найбільш доцільного.

Ключові слова: інженерно-геодезичний аналіз, інженерно-геологічний аналіз, міст, клас наслідків, нове будівництво, техніко-економічне обґрунтування.

Вступ

Стан інфраструктурних об'єктів є важливим фактором, що визначає економічно-соціальний розвиток і безпеку кожної країни.

Стабільне, безперервне та ефективне функціонування інфраструктурних об'єктів є основним чинником успішної взаємодії всіх секторів економіки, підвищення добробуту населення країни, а також забезпечення оборонної спроможності держави.

Аналіз публікацій

Основним недоліком мостів є деградація їхніх елементів внаслідок старіння, аварій та інших факторів, що можна визначити індексом стану моста [1].

Початковий проєкт може не відповідати умовам експлуатації споруди (кількість смуг, вантажопідйомність, частота затоплення, стандарти тощо) через соціально-економічні та соціально-технічні розробки [1–5]. У цьому випадку виникає необхідність підвищення рівня обслуговування моста. З огляду на це необхідно визначити перелік дії для певного моменту часу для кожного моста:

- підтримувати міст у його поточному стані (якщо гарантується безпека) з мінімальним впливом на рух транспорту чи інші функції;
- здійснити процес незначної реабілітації з впливом на термін експлуатації моста;
- провести капітальний ремонт з метою

збільшення терміну подальшої експлуатації мосту;

- реконструювати новий міст.

Тому оптимальний вибір проєктних рішень впливає як на термін експлуатації споруди, так і на кількість ремонтних заходів протягом всього строку її експлуатації. Основним підходом для вибору раціональних рішень є їх техніко-економічне обґрунтування.

Мета та постановка завдання

Метою роботи є техніко-економічне обґрунтування нового будівництва мосту через р. Черногузка в с. Голишів та Коршовець Луцькому району Волинської області.

Для досягнення поставленої мети необхідно здійснити розрахування класів наслідків, інженерно-геодезичний та інженерно-геологічний аналіз, розробити технічні рішення.

Перспективна інтенсивність на 2041 рік становить 1806 авт./добу. Типи транспортних засобів у загальній інтенсивності (%): вантажний – 408 (22, 6%); легковий – 1084 (60,0 %); автобуси – 314 (17,4 %).

Рух транспортних засобів на сьогодні здійснюється за маршрутом Голишів–Коршовець. Довжина маршруту до будівництва моста становила 10 км, довжина маршруту після будівництва – 2 км.

Виклад основного матеріалу Розрахунок класу наслідків

Визначення категорії складності за класом наслідків (відповідальності) мосту як об'єкта транспортної інфраструктури здійснено відповідно до Закону України «Про регулювання містобудівної діяльності» [6], ДБН В.1.2-14 [7], ДСТУ 8855 [8]. «Методики оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного типів», затвердженою Постановою Кабінету Міністрів України від 15 лютого 2002 року № 175 [9], «Порядку віднесення об'єктів будівництва до IV і V категорій складності», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 27 квітня 2011 року № 557 [10], «Переліку видів діяльності та об'єктів, що становлять підвищену екологічну небезпеку», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 28 серпня 2013 року № 808 [11] та П-Г.1-218-113 [12].

Економічні збитки розраховують згідно з формулою

$$\Phi = C \cdot \sum P_i \cdot L \cdot \Gamma \cdot (1 - 0,5 \cdot T_{ef} \cdot k_{ai}) + C_3, \quad (1)$$

$$\Delta \Pi_{ікм} = T_{л} \cdot I_{\epsilon} \cdot \left(\frac{\Pi_{10км} - T - \Pi_{нає}}{10} \cdot l_1 - \frac{\Pi_{10км} - T - \Pi_{нає}}{10} \cdot l_0 \right), \quad (3)$$

де $T_{л}$ – час ліквідації наслідків НС, дн.; I_{ϵ} – розрахункова середньорічна добова перспективна (на 20 років) інтенсивність за типами вантажних транспортних засобів:

$$I_{\epsilon} = I \cdot \kappa_{\epsilon}, \quad (4)$$

де I – розрахункова перспективна інтенсивність руху; κ_{ϵ} – коефіцієнт, що визначає кількість вантажних транспортних засобів, $\kappa_{\epsilon} = 0,226$.

Збільшення витрат на перевезення пасажирів легковими автомобілями в разі зміни маршруту розраховують згідно з формулою

$$\Delta \Pi_{л} = T_{л} \cdot I_{л} \cdot (T_{m(км)} \cdot l_1 - T_{m(км)} \cdot l_0), \quad (5)$$

де $I_{л}$ – розрахункова середньорічна добова перспективна (на 20 років) інтенсивність руху легкового транспорту:

$$I_{л} = I \cdot \kappa_{л}, \quad (6)$$

I – розрахункова перспективна інтенсивність

де C – коефіцієнт, що враховує частку втрачених фондів, $C = 0,67$; $P_i = 62900$ грн – кошторисна вартість 1 м^2 ремонту моста внаслідок раптового руйнування, що дорівнює кошторисній вартості об'єктів-аналогів у цінах 2021 р.; L – довжина моста, $L = 21,00$ м; Γ – габарити проїзної частини, $\Gamma = 4,5$ м; T_{ef} – середнє значення терміну служби відповідно до таблиці 4.3 ДБН В.2.3-22 [13]: прогонів будови – 80 років; опори – 100 років, середнє значення терміну експлуатації становить 90 років; k_{ai} – коефіцієнт амортизаційних відрахувань (для споруд – 1 %); C_3 – соціально-економічні збитки від зміни маршруту перевезень.

Соціально-економічні збитки від зміни маршруту перевезень розраховуються згідно з формулою

$$C_3 = \Delta \Pi_{ікм} + \Delta \Pi_{а} + \Delta \Pi_{л} + \Delta \Pi_{зб.л} + \Delta \Pi_{зб.а}. \quad (2)$$

Збільшення витрат на перевезення вантажів вантажними автомобілями в разі зміни маршруту перевезення внаслідок збільшення плати за перевезення та довжини маршруту визначено згідно з формулою

руху; $\kappa_{л}$ – коефіцієнт, що враховує кількість вантажних транспортних засобів, $\kappa_{л} = 0,60$.

Збільшення витрат на перевезення пасажирів автобусами визначають згідно з формулою

$$\Delta \Pi_{а} = T_{л} \cdot I_{а} \cdot (T_{m(км)} \cdot l_1 - T_{m(км)} \cdot l_0), \quad (7)$$

де $I_{а}$ – розрахункова середньорічна добова перспективна (на 20 років) інтенсивність руху автобусів:

$$I_{а} = I \cdot \kappa_{а}, \quad (8)$$

де I – розрахункова перспективна інтенсивність руху; $\kappa_{а}$ – коефіцієнт, що визначає кількість автобусів, $\kappa_{а} = 0,174$.

Збільшення кількості втрат пасажирями автобусів у разі затримки в дорозі визначають згідно з формулою

$$\Delta \Pi_{зб.а} = T_{л} \cdot I_{а} \cdot \left(\frac{l_1}{V_1} - \frac{l_0}{V_0} \right) \cdot \epsilon_{а} \cdot \kappa_{п} \cdot C_{п}, \quad (9)$$

де V_1 – експлуатаційна швидкість автобуса на зміненому маршруті, 49 км/год; V_0 – експлуатаційна швидкість автобуса в умовах автодороги, 40 км/год; e_a – середня пасажиромісткість автобусів, 40 чол.; κ_n – коефіцієнт використання пасажиромісткості автобуса, $\kappa_n = 0,7$; C_n – кількість витраченого часу пасажирів у випадку уповільнення транспортного обслуговування.

Збільшення витрат пасажирями легкового автомобіля в разі затримки в дорозі визначають згідно з формулою

$$\Delta P_{зб.т} = T_{т} \cdot I_{т} \cdot \left(\frac{l_1}{V_1} - \frac{l_0}{V_0} \right) \cdot e_{т} \cdot \kappa_{т} \cdot C_{п}. \quad (10)$$

Клас наслідків (відповідальності) мосту – СС2 (середні наслідки). Для визначення класу наслідків (відповідальності) за ознакою можливої небезпеки для здоров'я та життя людей, які періодично перебувають на об'єкті дорожнього будівництва, для об'єктів дорожнього будівництва лінійного типу ця характеристика не нормується.

Інженерно-геодезичні роботи

Згідно з інженерно-геодезичним аналізом об'єкт розташований між населеними пунктами Голишів та Коршовець Луцького району Волинської області за координатами МСК-07 (УСК2000 Волинської області) 5616253,370, 335770,811.

На об'єкті було здійснено топографо-геодезичну зйомку та інвентаризацію земельної ділянки в масштабі 1:500 з перерізом рельєфу 0,5 м загальною площею 1,75 га.

Пункти планово-висотної геодезичної зйомочної мережі визначені GNSS-приймачем cNav i70 №1180081035142 з використанням мережі референцих GNSS-станцій.

Як координатну основу під час здійснення робіт із землеустрою було використано послуги мережі референцих GNSS-станцій компанії System Solution, що розташовані на базових станціях мережі, сертифіковані згідно з нормами та мають метрологічні атестати. Положення базових станцій визначені в системі координат УСК2000 і належать до пунктів УПМ ГНСС. GNSS-приймач, за допомогою якого здійснювались вимірювання, сертифікований відповідно до норм. Під час спостережень максимальне значення СКП не перевищувало 0,05, що задовольняє вимогам точності здійснюваних робіт. Система висот балтійська.

Тахеометрична зйомка здійснювалась електронним тахеометром «Торсон ES-65». Оброблення матеріалів польових вимірювань здійснювали з використанням програмного забезпечення Digital на комп'ютері IBM PC. Схема побудови планово-висотної зйомочної мережі наводиться в технічному звіті з інженерно-геодезичних робіт.

Зйомочні точки Т1, Т2 закріплені металевими штирями та лінійною прив'язкою до місцевих предметів.

Параметри знімального обґрунтування відповідають вимогам інструкції (ГКНТА-2.04-02-98) [14]. Топографічну зйомку здійснено полярним методом з вимірюванням фасадів будівель і споруд. Місцезнаходження підземних мереж погоджено з експлуатаційними організаціями.

Топографо-геодезичні роботи здійснено відповідно до вимог [14].

Інженерно-геологічні роботи

Категорія складності інженерно-геологічних умов майданчика – III складна [15]. Буріння свердловин здійснювалось ударно-канатним та колонковим способами.

З бурових свердловин були відібрані зразки ґрунту з порушеною та непорушеною структурами.

Лабораторний аналіз ґрунтів здійснювали відповідно до нормативних документів [16–20] статистичне опрацювання результатів – відповідно до [17], фізичні властивості було визначено способом статистичного оброблення лабораторних досліджень згідно з [17] для ґрунтів ПЕ 2,4,5. Розрахункові параметри ґрунтів визначені згідно з лабораторним аналізом [21] та архівними матеріалами аналізу на близьких ділянках району.

Під час буріння з ґрунтів було відібрано 18 монолітів, які підлягали лабораторному аналізу за методикою [9]. Фізико-механічні властивості ґрунтів, тобто їхні параметри, визначались згідно з вимогами [21, 22].

Під час камерального аналізу в процесі польових інженерно-геологічних робіт та лабораторних випробувань у геологічному розрізі ділянки було відібрано 5 різновидів ґрунтів або інженерно-геологічних елементів (ПЕ):

– насипний ґрунт (ПЕ-1): гумусовані супіски та суглинки, чорнозем, злежаний – $\rho = 1,70$ (г/см³), $\gamma_2 = 17,0$ (кН/м³);

– торф низинний, розкладений, насичений водою, коричневий (ПЕ-2): $\rho = 1,14$ (г/см³), $\gamma_2 = 17,3$ (кН/м³); $E = 0,5$ (МПа), $e = 4,270$,

$W = 2,08$;

– супісок гумусований пластичний, пористий, з ходами землероїв, сірий з гніздами темно-сірого (ПГЕ-3): $\rho = 1,65$ (г/см³), $\gamma_2 = 16,5$ (кН/м³);

– супісок пластичний, шаруватий, сірий, жовтувато-сірий (ПГЕ-4): $\rho = 2,02$ (г/см³), $\gamma_2 = 20,1$ (кН/м³); $E = 13,0$ (МПа), $C_2 = 10,0$ (кПа), $L_p = 0,06$, $I_L = 0,44$ $e = 0,599$, $W = 0,21$;

– суглинок м'якопластичний, шаруватий, з прошарами суглинку текучопластичного, блакитно-сірий (ПГЕ-5): $\rho = 1,93$ (г/см³), $\gamma_2 = 19,2$ (кН/м³); $E = 6,0$ (МПа), $C_2 = 14,0$ (кПа), $L_p = 0,12$, $I_L = 0,60$ $e = 0,763$, $W = 0,27$.

У геоморфологічному співвідношенні район пошуку розташований у межах Волинської лісової височини. Ділянка забудови знаходиться в заболоченій заплаві долини р. Черногузка, яка перекрита насипними ґрунтами. Рельєф ділянки техногенний, низинний.

Інженерно-геологічна модель, наведена на інженерно-геологічному розрізі I-I, – потужна супіщано-суглинста товща, яка перекрита насипними, болотними та гумусованими ґрунтами ПГЕ-1,2,3.

Інженерно-геологічні умови ділянки ускладнені наявністю в районі Св. 1, болотних ґрунтів ПГЕ-2, здатних до нерівномірних і довготривалих стискань з високим рівнем ґрунтових вод.

За допомогою розвідувальних свердловин ґрунтові води досліджують на глибині 1,8–2,5 м з позначкою 180,30 м, що відповідає рівню води в р. Черногузка. Високий рівень паводкових вод можливий на позначці 181,50–182,00 м. У літні сухі періоди можливе зниження РГВ до 1 м. Ділянка розташована в межах підтопленої території, заплава в паводкові періоди здатна затошлюватись.

Природною основою фундаментів проектного мосту рекомендовані ґрунти ПГЕ 4,5 які залягають на ділянці з глибини 2,0–5,4 м.

У межах майданчика спостерігається заболочення та підтоплення території.

Нормативна глибина промерзання $d_{fn} = 0,9$ м. За ступенем морозної здимальності ґрунти ПГЕ 2,3,4 є середньоздимальними.

Сейсмічність району згідно з [23] та картою ОСР 2004А України дорівнює 5 балам. Майданчик складається з ґрунтів III категорії за сейсмічними властивостями.

Гідрологічні розрахунки

Гідрологічна характеристика річки Черногузки: – річка в Україні, розташована в межах Локачинського (витоки) та Луцького районів

Волинської області (рис. 1). Ліва притока Стиру (басейн Прип'яті). В історичних документах також відома під назвою Олень.

Загальна довжина – 54 км. Довжина річки до створу мостового переходу – 49,5 км. Площа водозбірного басейну – 552 км². Площа водозбірного басейну до створу мостового переходу – 530 км² (рис. 2). Середній похил річки – 0,00067 (0,67 ‰). Похил у створі моста – 0,0003 (0,3 ‰).

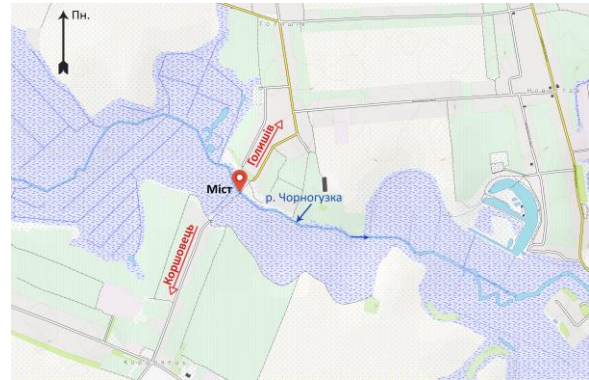


Рис. 1. Карта-схема розташування мосту та річки

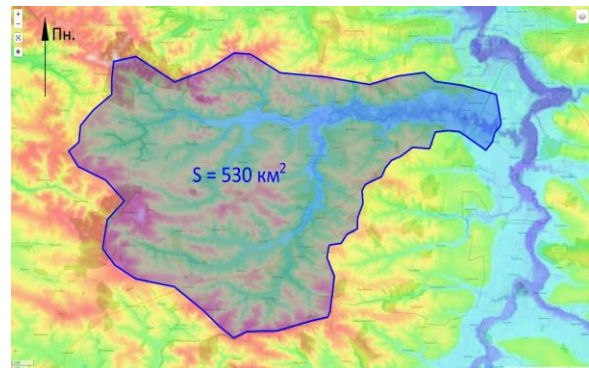


Рис. 2. Водозбірний басейн річки до створу мостового переходу

Долина коритоподібна, завширшки до 3 км, завглибшки до 40 м. Заплава, розташована з двох боків, завширшки 300–400 м (до 700 м), заболочена, на окремих ділянках осушена. Річище подекуди випрямлене, звивисте, завширшки 1–3 (до 30 м), завглибшки до 1,4–2 м. Використовується для побутового водопостачання та сільськогосподарських потреб, рибництва. Наявні штучні водойми.

Черногузка бере початок з джерел поблизу села Бубнів. Тече переважно на схід у межах Волинської височини. Впадає в р. Стир на сході від села Новостав. Основна притока – Полонка (праворуч).

Водомірні пости на річці відсутні. Найближчий водомірний пост, де здійснюється

спостереження за водним режимом, – Луцьк на р. Стир (рис. 3).

Оскільки дані багаторічних натурних спостережень за р. Черногузка відсутні, необхідно визначити розрахункові гідрологічні параметри з використанням теоретико-емпіричних залежностей для норми стоку від зливи та сніготанення.

Розрахункові максимальні витрати можуть бути такими:

- від зливогого стоку (дощові паводки);
- від танення снігу (весняні повені).

Під час розрахування використовують такі максимальні витрати, за яких створюються найбільш несприятливі умови для роботи споруди, а також витрату, визначену більшим об'ємом стоку повені або паводка.

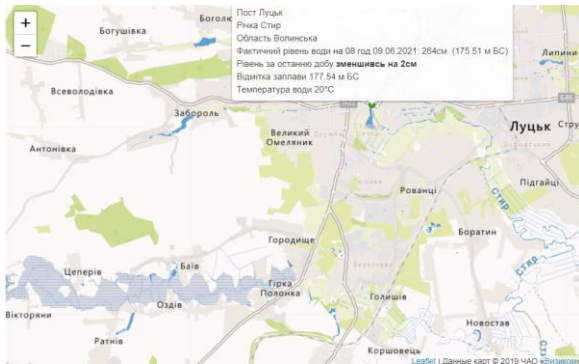


Рис. 3. Водомірний пост Луцьк (дані Укргідрометцентру)

Розрахунковими є максимальні миттєві витрати води. На великих річках вони дорівнюють середнім добовим максимальним витратам води. На малих річках внаслідок внутрішньодобової нерівномірності стоку середньодобовий максимум менший за миттєву максимальну витрату води, тому під час розрахунків для малих річок до проектів вносять відповідні зміни.

Розрахування максимальних витрат за відсутності відповідного аналізу здійснюється згідно з [24].

Оскільки міст має довжину 21 м і належить до малих споруд (< 25 м), а дорога має IV категорію, згідно з [16] імовірність перевищення розрахункових максимальних витрат повені $P = 2\%$.

Для розрахування максимальної витрати від зливогого стоку використовується емпірична формула

$$Q_{зл} = q_{200} \cdot \left(\frac{200}{F} \right)^{n_3} \cdot \delta \cdot \delta_2 \cdot \delta_3 \cdot \lambda_p \cdot F = , \quad (11)$$

$$= 111,73 \text{ м}^3 / \text{с}$$

де $Q_{зл}$ – максимальна витрата імовірності перевищення P , $\text{м}^3/\text{с}$; q_{200} – модуль максимального дощового стоку (1%), зведений до площі водозбору 200 км^2 , $\text{м}^3/\text{с} \cdot \text{км}^2$; F – площа водозбірного басейну до розрахункового створу, км^2 ; n^3 – показник ступеня редукції модуля максимальних витрат; δ – коефіцієнт, що враховує вплив озерності басейну на зниження величини максимальних витрат; δ_2 – коефіцієнт, що визначає вплив заболоченості водозбору на зниження величини максимальних витрат; δ_3 – коефіцієнт зміни величини максимальної дощової витрати q_{200} залежно від зміни середньої висоти водозбору в гірських районах, визначається за даними гідрологічного аналізу річок; λ_p – коефіцієнт переходу від 1-% забезпеченості до розрахункової.

Для розрахування максимальної витрати від танення снігу використовується емпірична редукційна формула Воскресенського-Соколова:

$$Q_{сн} = \frac{k_0 \cdot h_p \cdot \mu}{(F + F_1)^{n_1}} \cdot \delta \cdot \delta_1 \cdot \delta_2 \cdot F =$$

$$= 173,83 \text{ м}^3 / \text{с} , \quad (12)$$

де $Q_{сн}$ – розрахункова миттєва максимальна витрата води від сніготанення (весняної повені) забезпеченістю P , $\text{м}^3/\text{с}$; h_p – шар стоку весняної повені тієї самої розрахункової забезпеченості, мм; k_0 – коефіцієнт дружності весняної повені; μ – коефіцієнт, що визначає нерівність статистичних параметрів шару стоку та максимальних витрат; F – площа водозбірного басейну до розрахункового створу, км^2 ; F_1 – додаткова площа водозбору, що визначає зниження редукції, км^2 ; n_1 – показник ступеня, що визначає редукцію модуля максимального стоку залежно від площі водозбору; δ , δ_1 , δ_2 – коефіцієнти впливу озер, ставків і водосховищ (δ); лісистості (δ_1) і заболоченості (δ_2) водозбору на зниження величини максимальних витрат.

Оскільки максимальні витрати від сніготанення більші за витрати зливогого стоку ($Q_{сн} = 173,83 \text{ м}^3/\text{с} > Q_{зл} = 111,71 \text{ м}^3/\text{с}$), то розрахунковою є витрата від сніготанення: $Q = Q_{сн} = 173,83 \text{ м}^3/\text{с}$.

Розрахунковий рівень високої води (РРВВ) визначається методом послідовних наближень. Розрахункова витрата води заданої імовірності перевищення – $Q = 173,83 \text{ м}^3/\text{с}$; похил русла поблизу мосту (на ділянці 200 м перед і 100 м за мостом) – $i = 0,0003$; коефіцієнти шорсткості русла і заплав – $n_p = 0,045$, $n_{зап} = 0,06$). Поперечний переріз русла наведено на рис. 4.

На основі проведених досліджень та розрахунків побудовано графік залежності витрати від рівня води (рис. 5).

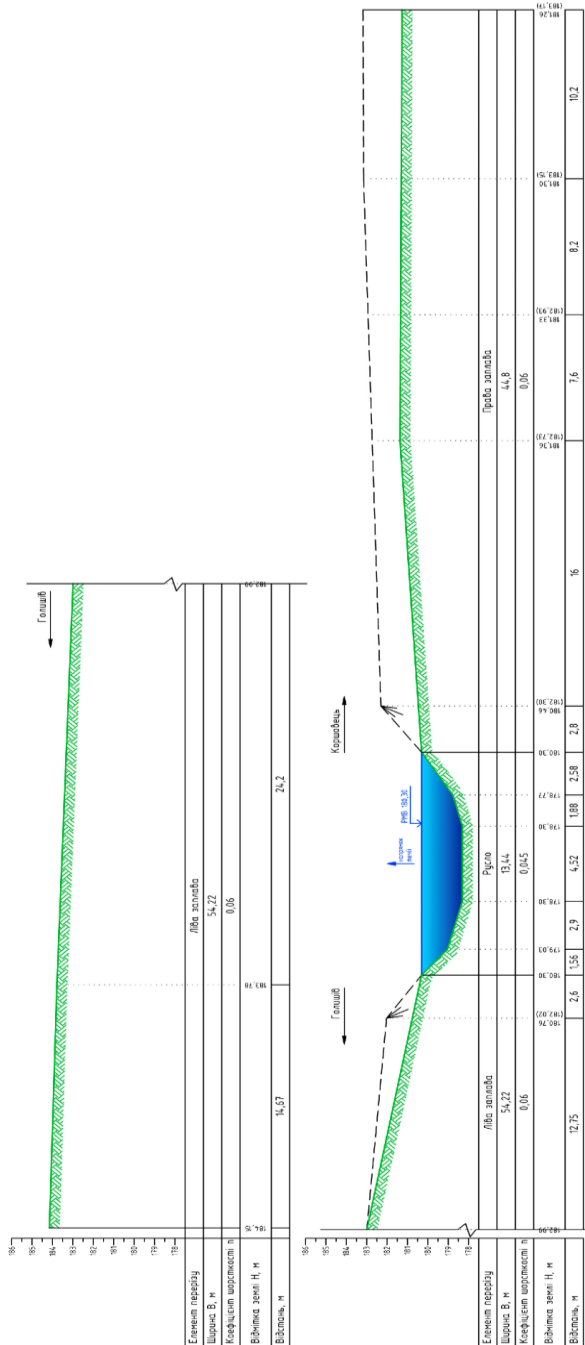


Рис. 4. Поперечний переріз русла вздовж осі мостового переходу

У процесі гідрологічних та гідравлічних розрахунків визначено розрахункову витрату та рівень високих вод, загальний розмив та підпір. На основі цього рекомендовані мінімальні відмітки насипу підходів і проїзної частини в процесі пропуску високих вод з імовірністю перевищення розрахункової витрати $P = 2 \%$.

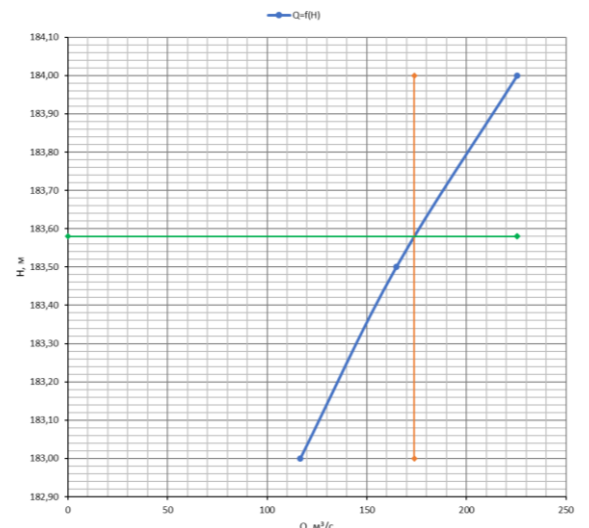


Рис. 5. Графік залежності витрати від рівня води $Q = f(H)$

З огляду на розраховану величину загального розмиву та геологічну будову русла як заплавну частину отвору моста рекомендується укріплювати конуси габіонами, а русла габіонними матрацами.

Основні технічні рішення

Під час розрахування визначено формулу параметрів функції інтенсивності можливих відмов для елементів конструкцій:

$$\lambda(t) = \lim_{\delta t \rightarrow 0} \frac{P(t < T \leq t + \delta t)}{\delta t P(T > t)} = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - F(t)}, \quad (13)$$

де P – ймовірність відмови; T – термін експлуатації; $f(t)$ – щільність розподілу часу; $R(t)$ – функція надійності – ймовірність того, що не відбудеться відмова на відтинку $[0, t]$; $F(t)$ – інтегральна функція часу на відтинку $[0, t]$.

Конструктивне рішення нового будівництва мосту крізь річку Черногузка між населеними пунктами Голишів та Коршовець Луцького району Волинської області прийняте з огляду на розрахунки надійності та терміну експлуатації споруди та внаслідок чого розроблене в 3-ох варіантах під проектне навантаження А11 та НК80 [25].

Варіант 1.

Передбачас однопрогоновий збірно-монолітний балочний міст загальною довжиною 21,10м, габаритом 4,5м та двома тротуарами шириною 0,75 та 1,8м. Балки прогонових будов розроблені відповідно до вимог [13, 26, 27] і відповідають II категорії тріщиностійкості. Балка БМ-21, впроваджена ТОВ «Бетон Комплекс» і ПБГ «Ковальська», розрахована для застосування в прогонових будовах автодорожніх і міських мостів у комплексі з монолітною залізобетонною плитою проїзної частини завтовшки 20 см у процесі сумісної роботи з балками. Для омоноличування залізобетонної плити проїзної частини в проміжку між балками використовується незнімна опалубка. Відстань між балками становить 1,6м, кількість балок в поперечному перерізі дорівнює 5 шт. (висота – 0,9 м, повна довжина – 21,0м). Виліт тротуарної консолі від осі крайньої балки становить 0,5 м. Проектне рішення забезпечує пропуск тимчасового рухомого навантаження А11, НК-80 згідно з типовим проектом балок БМ 2100.90.60 163/21-КЗ.В. Для виготовлення балок прогонових будов використовується бетон з середньою щільністю від 2200 до 2500 кг/куб. м згідно з вимогами [26]. Клас бетону за міцністю на стискання – В40; за морозостійкістю – F200; за водонепроникністю – W6. У нижній зоні балка армована попередньо-напруженими канатами діаметром 12,5мм у кількості 30 шт., у верхній зоні – двома канатами діаметром 12,5 мм. Частина канатів «обривається» в прогоні.

Використовуються деформаційні шви виробництва Maurer (Німеччина) або аналогічні для проїзної частини та тротуарів однопрофільні з шириною розкриття 50мм.

Для зменшення власної ваги та збільшення технологічності процесу будівництва з огляду на досвід інших країн запроєктовано використання тротуарного полімерного покриття на епоксидній ґрунтовці та фарби на основі акрилових смол виробництва Марей (Італія) або аналогічних. Передбачено заходи із захисту бетону від корозії, тобто нанесення захисного покриття, зокрема акрилової ґрунтовки та фарби виробництва Марей (Італія). Рекомендується використовувати напильну гідроізоляцію проїзної частини (просочувальну), яка є найбільш сучасною та має найбільший термін експлуатації, а також забезпечує кращу адгезію із залізобетонною плитою проїзної частини мосту на відміну від з рулонної. Рідка бітумно-полімерна двокомпонентна емуль-

сія Elastofalt Spraykote 90 (Нідерланди) або аналогічна забезпечує регламентований термін експлуатації та водонепроникність залізобетонної плити проїзної частини та використовується в інших країнах, оскільки має переваги, як порівняти з рулонною:

- нанесення здійснюють без нагрівання, матеріал є екологічно безпечним;
- нанесення можливе на поверхню будь-якої геометричної форми;
- нерівності оброблювальної поверхні не впливають на якість утворюваної мембрани;
- теплостійкість не менше 230°C дозволяє пряме укладення асфальтобетону;
- матеріал має стійку адгезію до оброблювальної поверхні вздовж всієї її площі.

Фундаменти стоянів пальові зі збірних забивних залізобетонних паль перерізом 0,35x0,35м у два ряди по 11 паль загальною кількістю 22 палі, об'єднаних монолітним залізобетонним низьким ростверком. Фундаменти проектувалися на підставі спрощеного розрахування пальових фундаментів глибокого закладання за несної здатності за ґрунтом. Забивні збірні палі використовували як найбільш економічний та простий щодо технології виробництва варіант фундаментів глибокого закладання, що забезпечує регламентовану надійність та найбільший термін експлуатації за найменшою вартістю. Передбачається гідроізоляція поверхні бетону стоянів та перехідної плити для забезпечення нормативного безремонтного терміну експлуатації з метою запобігання розмиву насипу з боку дороги під перехідними плитами. Застосовано обмазувальну гідроізоляцію Mapelastic виробництва Марей (Італія) або аналогічну. Тип покриття на підходах визначається розрахуванням на стадії РП. Для стадії ТЕО використано типове для IV категорії автомобільної дороги двошарове асфальтобетонне покриття.

Переваги:

- найменша вартість будівництва;
- найменші строки будівництва, як порівняти з варіантами 2 та 3;
- поєднання сучасних будівельних матеріалів з класичними та перевіреними часом будівельними технологіями;
- використання будівельних матеріалів, сертифікованих УкрСЕПРО та ДП «ДерждорНДІ»;
- менша вартість подальшого експлуатаційного утримання, як порівняти з варіантами 2 та 3.

Недоліки:

- мінімально можливий габарит для забез-

печення переміщення транспортного потоку із безпекою дорожнього руху згідно зі стандартами на перспективу 20 років, затверджений Замовником для забезпечення найменшої вартості будівництва.

Варіант 2.

Пропонуються проєктні рішення, що є аналогічними варіанту 1. Основна відмінність полягає в геометричних розмірах габариту: $0,75+Г-6+1,8$ з двома смугами безпеки шириною 0,5 м. У такому проєктному рішенні в перерізі розміщується 6 балок з відстанню 1,6 м між осями, а ширина тротуарних консолей збільшуються до 0,92 м. Основною відмінністю варіантів 1 та 2 є кількість балок, посилене армування залізобетонної плити проїзної частини на консолях, а також фундаменти. Для варіанта 2 пропонується використовувати фундаменти глибокого закладання, тобто буронабивних стовпів діаметром 0,8 м в один ряд, об'єднаних залізобетонним ростверком. Такий тип фундаментів є найбільш технологічно сучасним у виробництві, але потребує новітнього будівельного обладнання та забезпечення високої якості товарного бетону, що негативно вплине на кількість потенційних будівельників, а також з огляду на довжину споруди буде недоцільним щодо економічної складової.

Переваги:

- габарит споруди, що забезпечить найбільш комфортний та безпечний дорожній рух для користувачів.

Недоліки:

- значне збільшення вартості будівельних робіт, як порівняти з варіантом 1;
- підвищена вартість подальших процесів експлуатації споруди, як порівняти з варіантом 1.

Варіант 3.

Пропонується прогонова будова у вигляді металеві гофрованої конструкції (МГК) SuperCor (рис. 6) виробництва «Viason» прольотом 13,5 м та стрілою підйому 4,61 м з наявністю закладних деталей у монолітному ростверку.

Збірна металева гофрована конструкція SuperCor має такі переваги: зменшена власна вага, підвищена міцність конструкції, додаткова оцинковка для забезпечення регламентованої експлуатації до 100 років. Сталь, що застосовується для виробництва конструкцій SuperCor, відповідає стандарту ДСТУ EN 10149-1 [28] або стандарту EN 10025-2 [29]. Марка сталі – S315MC. Мінімальна межа текучості становить 315 МПа. Товщина листів – $t = 5,5-7$ мм. Розмір гофри 1–40 x 381 мм.



Рис. 6. Об'єкт аналога МГК виробництва SuperCor

Для варіанта №3 пропонується використання додаткового укріплення підмостового русла, запроєктовано облаштування габіонних конструкцій (матраці Рено) вздовж всієї ширину споруд та на вхідному й вихідному отворах.

Недоліки:

- значно менший отвір моста, як порівняти з варіантами 1 та 2, що не задовольняє умовам гідравлічного режиму споруди;
- економічно дорожча пропозиція. У разі збільшення прогону для забезпечення нормального гідравлічного режиму вартість будівництва значно збільшується та перевищує вартість класичного балкового моста;
- потребує додаткового захисту від загального розмивання за заданого прогону;
- додаткові об'єми земляних (прихованих) робіт.

Висновки

У роботі досліджено підходи техніко-економічного обґрунтування нового будівництва моста з метою підвищення терміну експлуатації та пропускної спроможності нової споруди.

У роботі визначено клас наслідків. Здійснено інженерно-геодезичний та інженерно-геологічний аналізи.

Розглянуто варіанти технічних проведення ремонтних заходів.

Література

1. Сайт організації «Світова асоціація автомобільних магістралей» (ПІАРК) [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.piarc.org/> (дата звернення: 02.02.2024).
2. Hartmann A., & Bakker J. (2023). The end-of-life of bridges: Integrating functional, technical and economic perspective. *Life-Cycle of Structures and Infrastructure Systems*. 1st

- Edition. CRC Press. P. 981–988. DOI: [10.1201/9781003323020-119](https://doi.org/10.1201/9781003323020-119)
3. Chang J., & Garvin M. J. (2008). A new model for infrastructure service life with applications to bridge assessment and management. *Public Works Management & Policy*. 12(3). 515–532.
 4. Britchenko I., Bezpartochnyi M., Levchenko Y. Development of methodology of alternative rationale for financial ensuring of bridges building. *VUZF review*. VUZF, Sofia (Bulgaria). 2020. № 5 (1). 2020. P. 43–49.
 5. Давиденко О. О. Функція інтенсивності відмов елементів споруд. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. 2017. Вип. 167. С. 88–95. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpudazt_2017_167_11.
 6. Про регулювання містобудівної діяльності: Закон України від 2011 р. №34. База даних Законодавство України. Верховна Рада України. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17#Text> (дата звернення: 02.02.2024).
 7. ДБН В.1.2-14:2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. Київ, 2022.
 8. ДСТУ 8855:2019. Будівлі та споруди. Визначення класу наслідків (відповідальності). Київ, 2019.
 9. Методики оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру», затверджені Постановою Кабінету Міністрів України від 15 лютого 2002 року №175. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/175-2002-%D0%BF#Text> (дата звернення: 02.02.2024).
 10. Порядок віднесення об'єктів будівництва до IV і V категорій складності», затверджений Постановою Кабінету Міністрів України від 27 квітня 2011 року №557. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/557-2011-%D0%BF#Text> (дата звернення: 02.02.2024).
 11. Перелік видів діяльності та об'єктів, що становлять підвищену екологічну небезпеку, затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 28 серпня 2013 року № 808. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/808-2013-%D0%BF#Text> (дата звернення: 02.02.2024).
 12. П-Г.1-218-113:2009. Технічні правила ремонту та утримання автомобільних доріг загального користування України. Київ, 2009.
 13. ДБН В.2.3-22:2009. Мости та труби. Основні вимоги проектування. Київ, 2010.
 14. Про затвердження Інструкції з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98): Наказ Головного управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів України від 09.04.98
 - N 56. База даних Законодавство України. Верховна Рада України. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0393-98#Text> (дата звернення: 02.02.2024).
 15. ДБН А.2.1-1-2008. Вишукування, проектування і територіальна діяльність. Вишукування. Інженерні вишукування для будівництва. Київ, 2008.
 16. ДСТУ Б В.2.1-4-96. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності і деформованості. Київ, 1997.
 17. ДСТУ Б В.2.1-5-96. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи статистичної обробки результатів випробувань. Київ, 1997.
 18. ДСТУ Б В.2.1-17:2009. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей. Київ, 2010.
 19. ДСТУ Б В.2.1-19:2009. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення гранулометричного (зернового) та мікроагрегатного складу. Київ, 2010.
 20. ДСТУ Б В.2.1-12:2009. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Метод лабораторного визначення максимальної щільності. Київ, 2010.
 21. ДБН В.2.1-10:2018. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення. Київ, 2019.
 22. ДСТУ Б В.2.1-2-96. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Класифікація. Київ, 1997.
 23. ДБН В.1.1-12:2014. Будівництво в сейсмічних районах України. Київ, 2014.
 24. М 42.1-37641918-788:2023. Методика прогнозування руслових деформацій в зоні впливу мостових переходів. Київ, 2024.
 25. Звіт про техніко-економічне обґрунтування. Том 1 Пояснювальна записка. Нове будівництво мосту через р. Черногузка, Голишів– Коршовець в Луцькому районі Волинської області. ТОВ «Юкреїнен Брідж Компані». Київ, 2021.
 26. ДБН В.2.3-14:2006. Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування (Частина 1). Київ, 2007.
 27. ДБН В.1.2-15:2009. Споруди транспорту. Навантаження та впливи. Мости та труби. Київ, 2010.
 28. ДСТУ EN 10149-1:2009. Вироби зі сталі з високою границею плинності, плоскі гарячекатані для холодного формозмінювання. Частина 1. Загальні умови постачання (EN 10149-1:1995, IDT). Київ, 2012.
 29. ДСТУ EN 10025-2:2022. Вироби гарячекатані з конструкційної сталі. Частина 2. Технічні умови постачання нелегованих конструкційних сталей (EN 10025-2:2019, IDT). Київ, 2023.

References

1. Hromads'ka orhanizatsiya «Svitova asotsiatsiya avto-mobil'nykh mahistraley» (PIARK) [Electronic resource]. Rezhym dostupu: <https://www.piar.org/>. (access date: 02.02.2024) [in English].
2. Hartmann, A., Bakker, Dzh. (2023). Kinets' terminu sluzhby mostiv: intehratsiya funktsional'noyi, tekhnichnoyi ta ekonomichnoyi tochky zoru. Zhyttyevyy tsykl struktur ta infrastrukturykh system. 1-e vydannya. CRC Press. R. 981–988. DOI: 10.1201/9781003323020-119. [in English].
3. Chanh, Dzh., Harvin, M. (2008). Nova model' terminu sluzhby infrastruktury z dodatkami dlya otsinky ta upravlinnya mostamy. Upravlinnya ta polityka hromads'kykh robit., 12(3). 515–532. [in English]
4. Britchenko, I., Bezpartochnyi, M., Levchenko, Y. Rozrobka metodolohiyi al'ternatyvnoho obgruntuvannya finansovoho zabezpechennya budivnytstva mostiv. Retsenziya VUZF. VUZF, m. Sofiya (Bolhariya). № 5(1). 2020. S. 43–49. [in English].
5. Davydenko, O. O. Funktsiya intensyvnosti vydmov elementiv hehyzyl. Zbirnyk naukovykh prats' Ukrayins'koyi storinky universytetu zhyttyevoho transportu. 2017. Vyp. 167. S. 88–95. Rezhym dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpudazt_2017_167_11. [in Ukrainian].
6. Pro rehulyuvannya mistobudivnoyi diyal'nosti: Zakon Ukrayiny vid 2011 r. №34. Baza danykh Zakonodavstvo Ukrayiny. Ukrayina Rada Ukrayiny. [Electronic resource]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17#Text> (access date: 02.02.2024) [in Ukrainian].
7. DBN V.1.2-14:2018. Systema zabezpechennya nadiynosti ta bezpeky budivel'nykh ob'yektiv. Zahal'ni pryntsypy nadiynosti ta bezpeky konstruksiyi. Kyi'v, 2022. [in Ukrainian].
8. DSTU 8855:2019. Budivli ta sporudy. Vyznachenye klasu vykorystannya (vidpovidal'nist'). Kyi'v, 2019. [in Ukrainian].
9. Metodyky osoblyvykh zoriv vydiv on-layn nadzvychaynykh situatsiy tekhnohennoho ta pryrodno-ho kharakteru» prodano Postanovi Kabinetu Ministriv Ukrayiny vid 15 lyutoho 2002 roku №175. [Electronic resource]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/175-2002-%D0%BF#Text> (access date: 02.02.2024). [in Ukrainian].
10. Poryadok vyznachennya obyektu storinky do IV i V katehoriyi skladnosti», zatverdzenoho Kabinetom Ministriv Ukrayiny vid 27 kvitnya 2011 roku № 557. [Electronic resource]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/557-2011-%D0%BF#Text> (access date: 02.02.2024). [in Ukrainian].
11. Perelyku vydu duzhe ta ob'yekt, shcho stavyt' produktsiyu ekolohinu nebezpeku prohrafinoho Postanovi Kabinetu Ministriv Ukrayiny vid 28 serpnya 2013 roku №808. [Electronic resource]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/808-2013-%D0%BF#Text> (access date: 02.02.2024). [in Ukrainian].
12. P-H.1-218-113:2009. Tekhnichni pravyla remontu ta utryni avtomobil'nykh dorih za-hal'noho vantazhoperevezennya Ukrayiny. Kyi'v, 2009. [in Ukrainian].
13. DBN V.2.3-22:2009. Mosty ta truby. Osnovno-proektyvnyy proektual'nyy. Kyi'v, 2010. [in Ukrainian].
14. Pro prohrafuvannya Instruksiyi z topohrafichnoho vymiryuvannya u mash-tabakh 1:5000, 1:2000, 1:1000 ta 1:500 (HKN): Nakaz HOlovnogo produktu heodeziyi, kar-tohrafiyi ta kadastru pry Kabineti Ministriv Ukrayiny vyd 09.04.98 N 56. TA-2.04-02-98). Baza danoho Zakonodavstva Ukrayiny. Ukrayina Rada Ukrayiny. [Electronic resource]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0393-98#Text> (access date: 02.02.2024) [in Ukrainian].
15. DBN A.2.1-1-2008. Vyshukuvannya, proektyvna i terytorial'na vidpovisty. Vyshuku-vanna. Inzhenerni vyshukuvannya dlya budivnytstva. Kyi'v, 2008. [in Ukrainian].
16. DSTU B V.2.1-4-96. Fundamenty ta pidvaly budivel' i sporud Grunty. Metody laboratorno-nohoho natychnoho zobrazhennya darkhasty i deformovanosti. Kyi'v, 1997. [in Ukrainian].
17. DSTU B V.2.1-5-96. Fundamenty ta pidvaly budivel' i sporud Grunty. Metodyka statystychnykh perevirok rezul'tativ. Kyi'v, 1997. [in Ukrainian].
18. DSTU B V.2.1-17:2009. Osnovy ta pidvaly-ny dobavky i hazyly. Grunty. Metod laboratorno-tornoho vyznachennya fizychnykh vlastyvostey. Kyi'v, 2010. [in Ukrainian].
19. DSTU B V.2.1-19:2009. Osnovy ta pidvaly-ny dobavky i hazyly. Grunty. Metod laboratorno-tornoho vyznachennya hranulometrychnoho (zernovoho) ta mikroahrehatnoho skladu. Kyi'v, 2010. [in Ukrainian].
20. DSTU B V.2.1-12:2009. Osnovy ta pidvaly-ny dobavky i hazyly. Grunty. Metod laboratorno-tornoho natykhaye maksymal'nu tryvalist'. Kyi'v, 2010. [in Ukrainian].
21. DBN V.2.1-10:2018. Fundamenty i osnovy Osnovni polozhennya. Kyi'v, 2019. [in Ukrainian].
22. DSTU B V.2.1-2-96. Fundamenty ta pidvaly budivel' i sporud Grunty. Klasyfikatsiya. Kyi'v, 1997. [in Ukrainian].
23. DBN V.1.1-12:2014. Budivnytstvo v seysmichnykh rayonakh Ukrayiny Kyi'v, 2014. [in Ukrainian].
24. M 42.1-37641918-788:2023. Metodyka prohnozuvannya ruslovykh deformatsiy v zoni vyrobnychoyi mostovykh perekhodiv. Kyi'v, 2024. [in Ukrainian].
25. Zvit tekhniko-ekonomichne obhranuvane. Poyasnyval'na zapyska. Nove budivnyts-tvo

- mostu cherez r.Chornohuzka, Holyshiv–Korshovets' v Luts'komu rayoni Volyns'kiy obl. TOV «Yukreynen Brydzh Kompani. Tom 1. Kyi'v. 2021 rik. [in Ukrainian].
26. DBN V.2.3-14:2006. Sporudy transportu. Mosty ta truby. Pravyla proektuvannya (Chas-tyna 1). Kyi'v, 2007. [in Ukrainian].
27. DBN V.1.2-15:2009. Sporudy transportu. Vantazhno-rozvantazhuval'ni roboty. Mosty ta truby. Kyi'v, 2010. [in Ukrainian].
28. DSTU EN 10149-1:2009. Vyroby zi stali z khoroshoi hranytseyu plynnosti ploskoho horcheka-tany dlya kholodnoho formozminyunya. Chastyna 1. Fohrafiyi umy platty (EN 10149-1:1995, IDT). Kyi'v, 2012. [in Ukrainian].
29. DSTU EN 10025-2:2022. Vyroby horcheka-tany z konstruktsiyanoi stali. Chastyna 2. Tekhnichni umi pastuvannya nelehovanykh konstruktsiynykh staley (EN 10025-2:2019, IDT). Kyi'v, 2023. [in Ukrainian].

Давиденко Олександр Олександрович, к.т.н., доц. каф. мостів, тунелів та гідротехнічних споруд, oleksandr.davydenko@ntu.edu.ua, тел. +38 050-471-33-99, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0176-3256>

Гаркуша Микола Васильович, к.т.н., доц. каф. мостів, тунелів та гідротехнічних споруд, mykola.harkusha@ntu.edu.ua, тел. +38 096-628-79-05, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5388-0561>

Козарчук Ігор Анатолійович, к.т.н., доц. каф. транспортного будівництва та управління майном e-mail: igorkozarchuk@ntu.edu.ua, тел. +38 093-889-56-46, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4972-6016>

Гаркуша Інна Юрїївна, асист. каф. іноземної мови, inna.maschinina@gmail.com, тел. +38 044 284-65-07, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-9765-3711>

Національний транспортний університет, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, м. Київ, 01010, Україна.

Approaches to technical and economic substantiation of new bridge construction

Abstract. Problem. Today, the initial project of the bridge may not meet the existing conditions of opera-

tion of the structure due to socio-economic and socio-technical developments, which will require the need to increase the level of maintenance of the bridge. **Goal.** The goal is technical and economic substantiation of the new construction of a bridge across the Chornoguzka River, Golyshiv–Korshovets, in the Lutsk district Volyn region. **Methodology.** Calculation of classes of consequences was carried out, engineering and geological surveys were performed. **Results.** Technical solutions have been developed on the basis of the conducted research. **Originality.** The work offers both traditional approaches to solving the given problem using modern reinforced concrete structures and the use of progressive technologies using metal corrugated structures. **Practical value.** The work considers the most rational solutions of the given task with the analysis of the positive and negative sides of the selected ones, which makes it possible to analyze the most appropriate solution.

Key words: engineering and geodetic surveys, engineering and geological surveys of cities, class of consequences, new construction, technical and economic substantiation.

Davydenko Oleksandr, Ph.D., Associate Professor, Department of Bridges, Tunnels and Hydraulic Structures, oleksandr.davydenko@ntu.edu.ua, tel. +38 050-471-33-99, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0176-3256>

Harkusha Mykola, Ph.D., Associate Professor, Department of Bridges, Tunnels and Hydraulic Structures, mykola.harkusha@ntu.edu.ua, tel. +38 093-889-56-46, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5388-0561>

Kozarchuk Ihor, Ph.D., Associate Professor, Department of Transport Construction and Property Management, e-mail: igorkozarchuk@ntu.edu.ua, tel. +38 093-889-56-46, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4972-6016>

Harkusha Inna, Assistant Lecturer, Department of Foreign Languages, inna.maschinina@gmail.com tel. +38 044 284-65-07, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-9765-3711>

National Transport University, 01010, Ukraine, Kyiv, str. M. Omelyanovicha-Pavlenka, 1.