

УДК 625.012.25
UDC 625.012.25

DOI:10.33744/0365-8171-2025-117.2-063-071

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФІЛЬТРАЦІЙНИХ ТА КОНСТРУКТИВНИХ
ДЕФОРМАЦІЙ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНУ ПРИДАТНІСТЬ ВОДОПРОПУСКНОЇ ТРУБИ**

**STUDY OF THE IMPACT OF SEEPAGE AND STRUCTURAL DEFORMATIONS ON THE
OPERATIONAL SUITABILITY OF A CULVERT PERFORMANCE**



Дем'янюк Алла Володимирівна, старший викладач кафедри гідротехнічного будівництва та гідравліки, Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне, Україна, e-mail: a.v.demianiuk@nuwm.edu.ua

<https://orcid.org/0000-0002-5669-8829>



Луцько Сергій Іванович, студент,, Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне, Україна, e-mail: sergeilutsko0504@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-4887-0972>



Павлюк Андрій Павлович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільних доріг, основ та фундаментів, Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне, Україна, e-mail: a.p.pavliuk@nuwm.edu.ua

<https://orcid.org/0000-0003-3958-0519>



Супрунюк Володимир Володимирович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільних доріг, основ та фундаментів, Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне, Україна, e-mail: v.v.supruniuk@nuwm.edu.ua

<https://orcid.org/0000-0001-9534-4460>



Фурсович Михайло Олександрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільних доріг, основ та фундаментів, Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне, Україна, e-mail: m.o.fursovych@nuwm.edu.ua

<https://orcid.org/0000-0003-4519-9589>

Анотація: Водопропускні труби одні із найпоширеніших штучних споруд на автомобільних дорогах. Практика проектування та обстеження даних споруд говорить про досить часті випадки некоректного їх обслуговування. Більше того, наявні випадки повної відсутності обслуговування водопропускних труб. Дані факти призводять до виникнення певних дефектів і пошкоджень. Серед них

часто можна виділити деформації різного роду (зміщення, прогини, переміщення). У випадках відсутності забезпечення пропуску води через трубу можуть виникати фільтраційні деформації. Поєднання даних видів деформацій із плином часу призводять до різноманітних негативних наслідків.

Величини деформацій конструктивних елементів залізобетонної труби мають великий вплив на її технічний стан та водопропускну спроможність. Перевищення їх нормативних значень, відсутність робіт із систематичного огляду та обслуговування водопропускних споруд призводять в сукупності до незворотніх негативних наслідків, які унеможливають забезпечення коректної роботи споруди.

В роботі розглянуті вплив фільтраційних та конструктивних деформацій на прикладі реальної водопропускної труби. Наведена характеристика труби, вказане місце її розташування. Також наведені дефекти і пошкодження, які виникли, в тому числі через відсутність коректного обслуговування водопропускної споруди. Аналіз стану водопропускної споруди вказує на важливість правильного проектування споруд в частині забезпечення механічного опору та стійкості.

Проведений аналіз технічного стан окремих елементів та споруди в цілому. Враховуючи їх стан, а також характеристики місцевості та витрати води, визначено основні можливі сценарії відмови водопропускної труби. Серед них є руйнування насипу, перелив води, руйнування секцій труби та обвал дороги.

Ключові слова: водопропускна труба, оголовок, технічний стан, насип автомобільної дороги, деформації конструктивних елементів, фільтраційні деформації.

Вступ. Водопропускні труби – одні із найпоширеніших штучних інженерних споруд на автомобільних дорогах, робота яких залежить від якості їх утримання. При експлуатації труб особливу увагу потрібно звертати на стан їх конструктивних елементів, закріплення русел і укосів насипу [1]. До основних заходів з утримання водопропускних труб можна віднести випрямлення вхідних і вихідних русел, їх розчищення, укріплення, заповнення виявлених розмивів. До початку весняного паводку отвори труб варто очищати від снігу, влаштовувати канали для стікання води [2,3]. Крім цього, водопропускні труби повинні знаходитись під систематичним наглядом організацій, які їх утримують. У випадку відсутності робіт з обслуговування водопропускних споруд можуть розвиватись деформації та відбуватись негативні наслідки, які в імовірній сукупності неточностей на етапах проектування та будівництва, в свою чергу, можуть призвести до аварійних ситуацій на автомобільних дорогах. Більше того, некоректна робота водопропускних споруд може привести і до затоплень певних територій, які входять до їх водозбірного басейну.

Метою даної роботи є оцінка впливу фільтраційних деформацій та деформацій конструктивних елементів водопропускної споруди на прикладі водопропускної труби автомобільної дороги О-230209 Великий Олександрів – Малий Олександрів.

Виклад основного матеріалу. Водопропускна труба, на прикладі якої проводилась оцінка впливу фільтраційних та конструктивних деформацій, знаходиться на автомобільній дорозі О-230209 Великий Олександрів – Малий Олександрів на території Вільковецької селищної ради Хмельницької області. Трубчаста водопропускна споруда призначена для пропуску вод водотоку (струмка), що перетинається насипом автодороги. Ділянка автодороги знаходиться в північній частині с. Великий Олександрів Хмельницької обл. В місці розташування труби закладання укосів насипу становило в межах від 1:1,5 (орієнтовно до середини укосу), до 1:1,75 (до відмітки дна). В створі розташування споруди насип має найнижчу відмітку поздовжнього профілю.

Трубчаста водопропускна споруда розташована на ПК 2+45 в нижній частині долини струмка, яку перетинає насип автодороги. Поперечний переріз труби – 2х2 м, довжина споруди – 66,3 м. Конструктивно транзитна частина водопропускної споруди складається із окремих залізобетонних елементів із широкими швами між окремими ланками, із ізоляцією стиків. Про наявність протифільтраційних елементів не вказано. Вхідна і вихідна частина влаштовані у вигляді бетонних оголовків із кріпленням дна монолітним бетоном.

Ситуаційна схема розташування водопропускної труби наведено на рисунку 1.

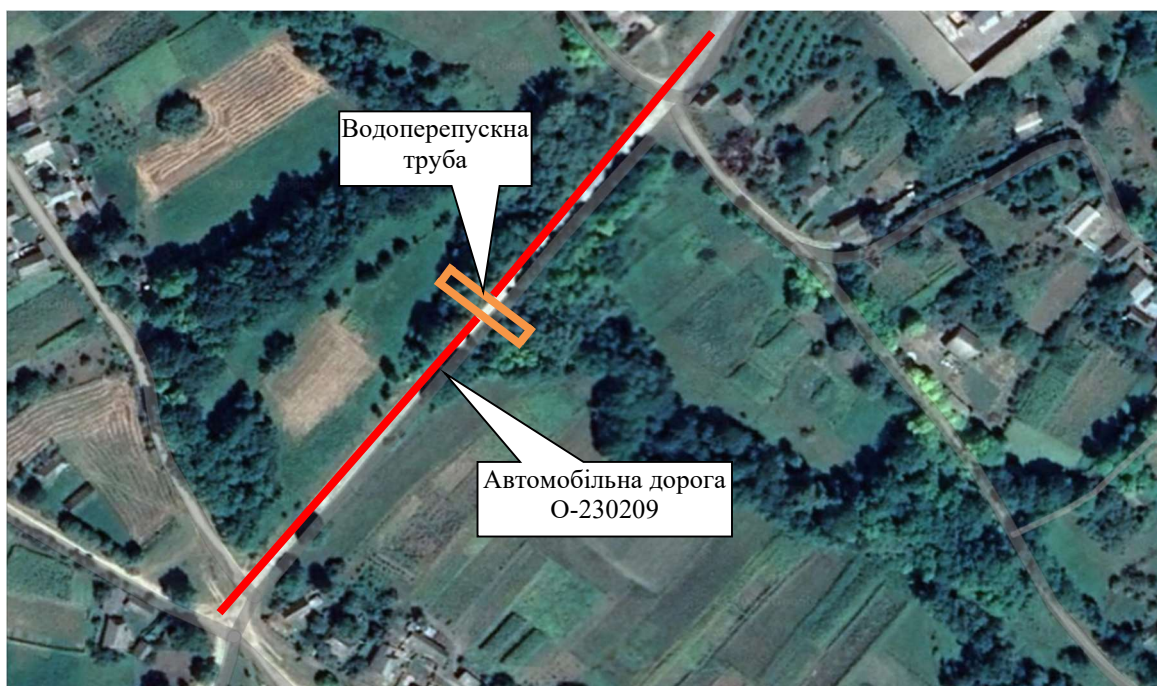


Рисунок 1 – Місце розташування водопропускної труби
Figure 1 – Location of the culvert

В процесі дослідження водопропускної труби був проведений аналіз наявної проектної документації. Відповідно до матеріалів проекту, споруда розрахована на пропуск витрати 3% забезпеченості. Відповідно до проекту прийнята розрахункова витрата 7,6 м³/год. Розрахунковий рівень води перед спорудою – 1,7 м. Проектний режим роботи споруди при пропуску розрахункової витрати – безнапірний. Рік побудови водопропускної труби – 1992.

Гідрогеологічні умови ділянки характеризуються наявністю водоносного горизонту із розвантаженням ґрунтового потоку на схилах долини. До будівництва дороги вихід ґрунтових вод у вигляді джерела розташовувався на схилі яру в 20 м від створу майбутньої дороги. Насип та основа водопропускної труби сформовані з двох інженерно-геологічних елементів – суглинку текучопластичного та глини напівтвердої.

Для перехоплення напірних ґрунтових вод на контакті вапняку та глини з боку берега, з метою уникнення надмірного зволоження тіла насипу автодороги на ПК 1+45 влаштовано трубчастий дренаж (на відм. 30,01 – 29,70 м). Дренаж вкладено перпендикулярно до осі дороги, із скиданням перехоплених фільтраційних вод через відвідні труби по обидва боки насипу, розташовані паралельно до осі дороги, із виходом в кювет по підшві насипу. Відповідно до матеріалів проекту, конструкція дренажу включає перфоровані азбестоцементні труби із гідроізоляцією 2 шарами рубероїду та засипку щебенем дренажної траншеї, в якій розташований трубчастий дренаж.

В рамках дослідження проводився аналіз стану дорожнього насипу, автомобільної дороги та водопропускної труби.

Дорожній насип в місці влаштування водопропускної труби характеризувався зміною ухилу (від 1:1,15 до 1:1,75). На ділянці зміни ухилів з однієї сторони насипу спостерігалось місцеве (локальне) осідання ґрунту, яке виникло внаслідок руйнування секції водопропускної труби і, відповідно, обвалу ґрунту в середину перерізу труби. Більше того, в місці розташування водопропускної споруди виявлено значні деформації низового укосу насипу в створі водопропускної споруди. В межах всієї довжини

укося (від гребеня насипу до дна) на його поверхні спостерігаються ознаки розвитку фільтраційних деформацій (винесення часток ґрунту фільтраційним потоком), поверхневої ерозії ґрунту внаслідок дії поверхневого стоку, що утворюється при проходженні дощів. Фільтраційні деформаційні процеси в сукупності із зсувними деформаціями ґрунту призвели, в тому числі, до систематичного зволоження секцій водопропускної труби ззовні. В нижньому б'єфі труби внаслідок розвитку фільтраційних деформаційних процесів та через відсутність оголовок водопропускної споруди утворилися значні нерівності ґрунту із частковим «оголенням» крайніх секцій труби від ґрунтового покриву. Також через дані процеси крайні секції нижнього б'єфу труби були заповнені ґрунтом на дні, а також спостерігались локальні підмивання основи даних секцій. Укріплення русла на виході водопропускної труби було відсутнє, або знаходилось під значним шаром нанесеного ґрунту (див. рисунок 2).



Рисунок 2 – Стан водопропускної труби в нижньому б'єфі
Figure 2 – Condition of the culvert in the downstream section

Водопропускна труба. На прямокутних залізобетонних секціях труби виявлена значна кількість поперечних тріщин із шириною розкриття до 8 мм (див. рисунок 3). Враховуючи стан секцій та розвиток їх деформацій, можна зробити висновок, що дані тріщини силового характеру.

Внаслідок порушення суцільності покриття і захисного шару арматури залізобетонних секцій розпочалися процеси корудування арматурних стержнів. На деяких залізобетонних елементах виявлені сліди корозії. Разом з тим, наявні ділянки із тріщинами в бетоні від збільшення об'єму продуктів корозії арматурних стержнів. Більше того, в нижній частині поперечного перерізу водопропускної труби виявлені місця із руйнуванням захисного шару, сколюванням та корозією робочої арматури (див. рисунок 4).

Приблизно на 1/3 довжини труби від початку вхідного "оголовка" її поперечний переріз повністю завалений ґрунтом внаслідок руйнування декількох залізобетонних секцій. Через виникнення даного завалу вільний пропуск води не здійснюється. Більше того, у зв'язку із руйнуванням секції, існує імовірність потрапляння води під секції труби та виникнення процесів підмивання основи. Даний факт в сукупності із деформуванням секцій призвів до викривлення рівнів внутрішнього поперечного

перерізу водопропускної труби (див. рисунок 5). Це говорить, в тому числі, про пошкодження і руйнування швів між секціями труб і додаткового зволоження й підмивання основи.



Рисунок 3 – Поперечні тріщини секції водопропускної труби
Figure 3 – Transverse cracks in the culvert section



Рисунок 4 – Руйнування в нижній частині секцій водопропускної труби
Figure 4 – Damage in the lower part of the culvert sections

Основні дефекти водопропускної труби наведені на рис.6.

Руйнування секцій труби та завал її ґрунтом призводить до затримання поверхневих вод, які надходять із верхової частини долини. Води струмка та поверхневого стоку, які утворюються під час дощів та сніготанення, акумулюються перед водопропускною трубою, утворюючи невелику водойму. Накопичені води частково випаровуються з поверхні, частково фільтруються через ґрунт завалу, про що говорить його зволожений стан. Варто відмітити, що частина акумульованої води перед входом у водопропускну трубу також призводить до обводнення ґрунтового масиву. Даний факт потенційно може призвести до збільшення впливу фільтраційних деформацій на насип, автомобільну дорогу та водопропускну споруду відповідно.

Водопропускна труба, відповідно до класифікаційних характеристик [4, 5, 6], знаходилась в аварійному стані.



Рисунок 5 – Деформації зміщень секцій водопропускної труби
Figure 5 – Displacement deformations of the culvert sections

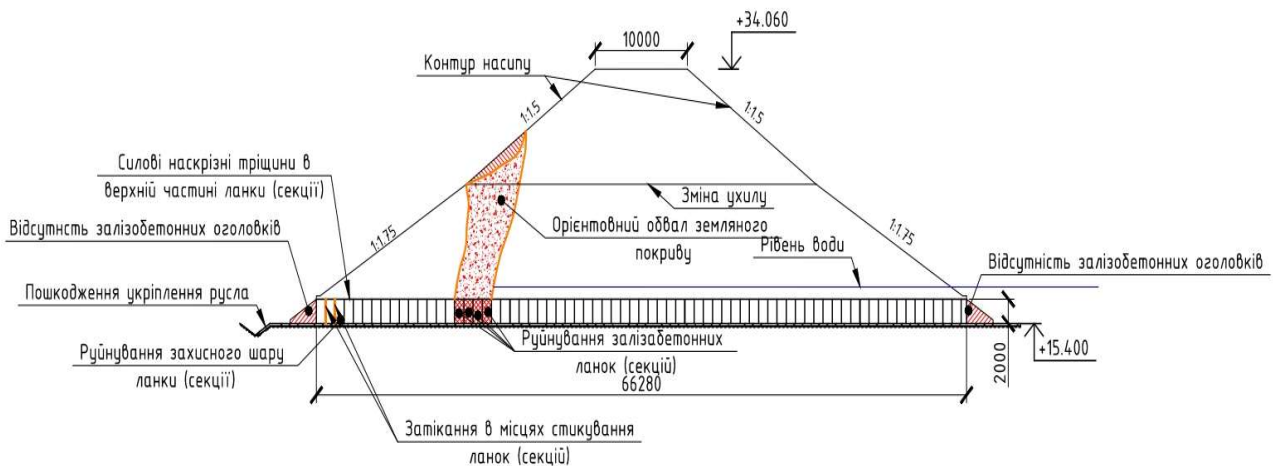


Рисунок 6 – Деформації зміщень секцій водопропускної труби
Figure 6 – Main defects of the culvert

Автомобільна дорога над водопропускною спорудою виконана із двосхилим поперечним профілем. Дорожній одяг - нежорсткого типу. На покритті автомобільної дороги не виявлені ознаки значних деформацій осідання або ямковості, які могли виникнути в результаті руйнування секцій труби безпосередньо під поперечним перерізом дороги. Тому можна зробити висновок, що секції безпосередньо під дорожнім полотном ще виконують утримуючі функції насипу.

Конструкція тіла дорожнього насипу (коефіцієнт закладання укосів насипу, відсутність протифільтраційних пристроїв та дренажу за спорудою) в проектних режимах не передбачає роботу насипу в якості водопідпірної споруди, що тримає напір водойми за нею. Відповідно, стійкість та міцність споруди не може гарантуватися при таких непроєктних навантаженнях. Передбачений проектом трубчастий дренаж, за його працездатного стану, мав би перехоплювати ґрунтові води з боку берегу. Проте, за вказаної конструкції дренажу, його ефективність є сумнівною.

Ймовірними матеріальними наслідками руйнування насипу, крім втрати сполучення, яке забезпечувала автодорога, є також виникнення динамічної хвилі прориву, яка може спричинювати руйнування.

З урахуванням конструкції тіла дорожнього насипу було проведено розрахунок параметрів хвилі прориву для найгіршого сценарію – руйнування насипу із переливом води через нього. Орієнтовний об'єм води, який може бути накопичений за насипом із геометричних міркувань 300 тис. м³. Висота хвилі прориву в створі руйнування, в залежності від розмірів утвореного прорану, може становити від 7 до 10 м. Час спорожнення водойми при цьому становитиме, відповідно, 40 та 25 хв. Контрольним створом, для якого було розраховано час добігання, є місце впадіння долини струмка в долину більш крупного струмка на відстані 700 м. Час добігання хвилі прориву до контрольного створу становить 6 хв. Розрахункова висота хвилі в контрольному створі складає 6,3 та 9 м відповідно.

Висновки. В результаті проведеного обстеження водопропускної труби можна зробити висновки:

- величини деформацій конструктивних елементів залізобетонної труби мають значний вплив на її технічний стан та водопропускну спроможність. Перевищення їх нормативних значень, відсутність робіт із систематичного огляду та обслуговування водопропускних споруд в сукупності призводять до незворотніх негативних наслідків, які унеможливають забезпечення роботи споруди відповідно до її функціонального призначення;

- недотримання умов міцності залізобетонних елементів секцій в сукупності із процесами систематичного зволоження насипу, збільшення ваги ґрунту насипу через акумульований об'єм води перед входом в трубу призводить до руйнування несучих конструктивних елементів водопропускної споруди;

- вплив фільтраційних деформацій на технічний стан водопропускної споруди в цілому збільшується із збільшенням дефектів і деформації конструктивних несучих елементів труби;

- за сучасного стану водопропускної споруди можливі такі відмови щодо її роботи:

руйнування насипу при незаповненій водою долині струмка. Продовження надходження ґрунту всередину труби. Відповідно, утворення порожнин в ґрунтовому масиві над трубою. Поступовий розвиток деформацій, що, при появі додаткових несприятливих обставин (посилення обводнення масиву (при сильних зливах, при піднятті рівня води перед спорудою), збільшення навантаження при проходженні важкого транспорту, динамічних навантажень від транспорту тощо призведе до раптового зсуву насипу та, відповідно, пошкодження дорожнього полотна;

руйнування насипу при частково заповненій водою долині струмка. Накопичення вод поверхневого стоку в верховій частині долини (через відсутність пропуску води через трубчастий водопропуск). При збільшенні рівня води за спорудою збільшуються фільтраційні напори та, відповідно, швидкості фільтраційного потоку через тіло насипу, основу та зосереджені ходи фільтрації, які вже наявні навколо конструкцій водопропускної споруди. Результатом накопичення води за насипом буде прогресування існуючих деформацій насипу, що, зрештою, може призвести до руйнування насипу із раповим вивільненням мас води (проривом тіла насипу).

руйнування насипу із переливом води через нього. Накопичення води за насипом можливе до відмітки верху дорожнього насипу в створі трубчастій споруди. При заповненні цього об'єму, оскільки скид води через трубчастий водопропуск не відбувається, почнеться перелив води через насип. Зважаючи на стан насипу, перелив води через гребінь насипу призведе до його руйнування (та вивільнення мас води).

Перелік посилань

1. Сушков В.Ф. Інструкція по утриманню штучних споруд / В. Ф. Сушков, Л. П. Ватуля, М. М. Літвінов // – К.: Транспорт України, 1999. – 96 с.
2. Лучко Й.Й. Будова та експлуатація штучних споруд / Й.Й. Лучко, О.С. Распонов // -Львів: Каменяр, 2010.-868 с.
3. Бойчук В.С. Довідник дорожника / В.С. Бойчук // - К.: Урожай, 2002.-560 с.
4. ДСТУ Б В.2.3-24:2009 Труби дорожні. Обстеження та оцінювання технічного стану.
5. ДБН В.2.3-6:2009 Споруди транспорту. Мости та труби.Обстеження та випробування.

6. ДСТУ 9123:2021 Настанова з обстеження та випробування мостів і труб.

STUDY OF THE IMPACT OF SEEPAGE AND STRUCTURAL DEFORMATIONS ON A CULVERT PERFORMANCE

Demianyuk Alla V., Senior Lecturer at the Department of hydrotechnical construction and hydraulics, National University of Water and Environmental Engineering, e-mail a.v.demianiuk@nuwm.edu.ua, tel.+380506823661, <https://orcid.org/0000-0002-5669-8829>.

Lutsko Serhii I., Senior Lecturer at the Department of Transport Construction and Property Management, National University of Water and Environmental Engineering, e-mail: sergeilutsko0504@gmail.com, tel.+380969524405, <https://orcid.org/0000-0003-4887-0972>.

Pavluk Andrii P., PhD (Candidate of Technical Science), Senior Lecturer at the Department of Automobile Roads, Bases, and Foundations, National University of Water and Environmental Engineering, e-mail: a.p.pavliuk@nuwm.edu.ua, tel.+380964496168, <https://orcid.org/0000-0003-3958-0519>.

Supruniuk Volodumir V., PhD (Candidate of Technical Science), Senior Lecturer at the Department of Automobile Roads, Bases, and Foundations, National University of Water and Environmental Engineering, e-mail: v.v.supruniuk@nuwm.edu.ua, tel.+380977329901, <https://orcid.org/0000-0001-9534-4460>.

Fursovych Muhailo O. PhD (Candidate of Technical Science), Senior Lecturer at the Department of Automobile Roads, Bases, and Foundations, National University of Water and Environmental Engineering, e-mail: a.p.pavliuk@nuwm.edu.ua, tel.+380980254205, <https://orcid.org/0000-0003-4519-9589>.

Summary. Culverts are among the most common artificial structures on highways. Design and inspection practices indicate frequent cases of improper maintenance. Furthermore, instances of complete lack of culvert maintenance are not uncommon. Such issues lead to specific defects and damages, often including various types of deformations, such as displacements, deflections, and shifts. When water flow through the culvert is not maintained, filtration deformations may also occur. Over time, the combination of these types of deformations leads to a range of negative consequences.

This study examines the impact of filtration and structural deformations using a real-world culvert as a case study. The characteristics of the culvert and its location are detailed, along with the defects and damages that have arisen, including those due to improper maintenance. Analysis of the culvert's condition highlights the importance of proper design to ensure mechanical resistance and stability.

A technical assessment was conducted for specific elements of the structure as well as the structure as a whole. Considering the current condition, local terrain characteristics, and water flow rates, key potential failure scenarios for the culvert have been identified, including embankment collapse, water overflow, culvert section damage, and road collapse.

The extent of deformation in the structural elements of the reinforced concrete culvert significantly affects its technical condition and water throughput capacity. Exceeding standard deformation values and the lack of systematic inspection and maintenance collectively lead to irreversible negative consequences, hindering the culvert's proper operation.

Keywords: technical condition, culvert, road embankment, headwall, deformations of structural elements, filtration deformations.

References

1. Sushkov V.F. Manual for the Maintenance of Artificial Structures / V.F. Sushkov , L. P. Vatulia, M.M. Litvinov// - К.: Transport of Ukraine, 1999.- P.96
2. Luchko Y.Y. Structure and Operation of Artificial Constructions / Y.Y. Luchko, O.S. Rasponov // - Lviv: Kameniar, 2010. – P.868.
3. Boichuk V.S. Road Engineer's Handbook / V.S. Boichuk // - К.: Urozhai, 2002.- P.560.
- 4.DSTU B V.2.3-6:2009 Culvert: Inspection and Assessment of Technical Condition
- 5.DBN V.2.3-6:2009 Transport Structures: Bridges and Culverts. Inspection and Testing.
6. DSTU 9123:2021 Guidelines for the Inspection and Testing of Bridges and Culverts.