

Кірічек Ю.О., д-р техн. наук, Балашова Ю.Б., канд. техн. наук,  
Стрельченко О.О.

## ПРОБЛЕМИ БУДІВНИЦТВА ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ВОДОПРОПУСКНИХ ТРУБ

**Анотація.** У статті на основі проведеного обстеження водопропускних труб у Дніпропетровській області запропонований найбільш раціональний варіант перетину водопропускної труби.

Близько 90% залізобетонних водопропускних труб мають круглий перетин. При багатьох безперечних перевагах, застосування водопропускних труб круглого перетину часто вимагає збільшення висоти насипу. Відсутність альтернативи по техніко-економічним характеристикам, за винятком металевих гофрованих труб, які застосовуються в деяких областях України, будівельники вимушені використовувати залізобетонні водопропускні труби кільцевого поперечного перетину. Застосування напівкільцевих водопропускних труб, які складаються з плоскої фундаментної плити і арочної оболонки, дає можливість усунути основні недоліки водопропускних труб кільцевого перетину. Дослідження водопропускних труб, встановлених на дорогах Дніпропетровської області, дозволили виявити деформації, пошкодження і дефекти залізобетонних труб, перш за все, в насипах малої висоти. За результатами досліджень встановлено, що найбільш поширені види комплексних пошкоджень водопропускних труб, які поєднують зсув і відносне осідання ланок з розвитком нерівномірності осідання дорожнього покриття.

Мета обстежень - виявлення найбільш характерних пошкоджень і дефектів водопропускних труб, а також з'ясування стану їх елементів. Необхідно було виявити причини явних пошкоджень і дефектів, а також розробити рекомендації для їх усунення і запобігання. В ході проведених робіт були обстежені водопропускні труби на автомобільних дорогах в Дніпропетровській області.

Встановлено, що водопропускні труби на автомобільних дорогах в Дніпропетровській області, знаходяться в умовах експлуатації при зростаючих транспортних навантаженнях, що передбачає необхідність більш раннього

проведення їх поточних і капітальних ремонтів зважаючи на розвиток пошкоджень і руйнувань. В Україні розроблені різні конструктивні варіанти малих водопропускних труб. Основними вимогами для них є зниження вартості виробництва, а також підвищення довговічності і експлуатаційної надійності. З'ясовано, що залізобетонні водопропускні труби кільцевого перетину є найбільш технологічно освоєним і поширеним варіантом водопропускних труб. Проте мають ряд недоліків. Виконані розрахунки показали, що при малій висоті насипу застосування водопропускних труб напівкільцевого перетину з невеликою будівельною висотою дозволяє отримати значний економічний ефект.

З'ясовано, що для забезпечення надійної експлуатації водопропускних труб необхідні впровадження прогресивних конструкцій, якісний моніторинг їх стану, аналіз експлуатаційних пошкоджень і руйнувань, а також облік реальних умов роботи при проектуванні водопропускних труб.

**Ключові слова:** водопропускні труби, автомобільні дороги, транспорт, штучні споруди, кільцевий і напівкільцевий переріз.

**Анотація.** В статті на основі проведеного обстеження водопропускних труб в Днепропетровской області пропонується найбільш раціональний варіант сечення водопропускної труби.

Около 90% железобетонных водопропускных труб имеют круглое сечение. При многих бесспорных преимуществах, применение водопропускных труб круглого сечения часто требует увеличения высоты насыпи. Отсутствие альтернативы по технико-экономическим характеристикам, за исключением металлических гофрированных труб, которые применяются в некоторых областях Украины, строители вынуждены использовать железобетонные водопропускные трубы кольцевого поперечного сечения. Разработка полукольцевых водопропускных труб, которые состоят из плоской фундаментной плиты и арочной оболочки, дала возможность устранить основные недостатки водопропускных труб кольцевого сечения. Исследования водопропускных труб, установленных на дорогах Днепропетровской области, позволили выявить деформации, повреждения и дефекты железобетонных труб, прежде всего, в насыпях малой высоты. По результатам исследований установлено, что наиболее распространены виды комплексных повреждений водопропускных труб, которые совмещают смещение и относительное

оседание звеньев с развитием неравномерности оседания дорожного покрытия. Цель проводимых обследований - выявление наиболее характерных повреждений и дефектов водопропускных труб, а также выяснение состояния их элементов. Необходимо было выявить причины явных повреждений и дефектов, а также разработать рекомендации для их устранения и предотвращения. В ходе проведенных работ были обследованы водопропускные трубы на автомобильных дорогах в Днепропетровской области.

Установлено, что водопропускные трубы на автомобильных дорогах в Днепропетровской области, находятся в условиях эксплуатации при возрастающих транспортных нагрузках, что предусматривает необходимость более раннего проведения их поточных и капитальных ремонтов ввиду ускоряющегося развития повреждений и разрушений. В Украине разработаны различные конструктивные варианты малых водопропускных труб. Основными требованиями для них являются: снижение стоимости производства, а также повышение долговечности и эксплуатационной надежности. Выяснено, что железобетонные водопропускные трубы кольцевого сечения являются наиболее технологично освоенным и распространенным вариантом водопропускных труб. Однако имеют ряд недостатков. Выполненные расчеты показали, что при малой высоте насыпи применение водопропускных труб полукольцевого сечения с небольшой строительной высотой позволяет получить значительный экономический эффект.

Выяснено, что для обеспечения надежной эксплуатации водопропускных труб необходимы: внедрение прогрессивных конструкций, качественный мониторинг их состояния, анализ эксплуатационных повреждений и разрушений, а также учет реальных условий работы при проектировании водопропускных труб.

**Ключевые слова:** водопропускные трубы, автомобильные дороги, транспорт, искусственные сооружения, кольцевое и полукольцевое сечение.

**Annotation.** On the basis of the performed investigation of culvert pipes in Dnepropetrovsk area there was offered the most rational option of section of the culvert pipe.

Approximately 90% of the reinforced concrete culvert pipes have a round section. With many indisputable advantages the application of the culvert pipes of round

section often requires the increase of height of embankment. In the absence of alternative on technique and economic descriptions, except for the metal corrugated pipes used in some areas of Ukraine, builders are forced to use the reinforced concrete culvert pipes of circular cross-section. Development of the semicircular culvert pipes, which consist of a flat base plate and an arched shell, enabled to remove the main shortcomings of the culvert pipes of circular section. Studies of the culvert pipes set on the roads of Dnepropetrovsk area, allowed exposing deformations, damages and defects of reinforced concrete pipes, foremost, in the embankments of small height. According to results of the studies it is established, that the types of complex damages of the culvert pipes, which combine displacement and relative settling of links with development of irregularity of the pavement settling, are the most widespread.

The purpose of the investigations being performed is a detection of the most characteristic defects and damages of the culvert pipes, as well as a clarification of the status of their elements. It was necessary to reveal reasons of apparent damages and defects as well as to develop guidelines of their prevention and removal. In the course of works performed there were investigated the culvert pipes on the highways of Dnepropetrovsk area.

It is established that the culvert pipes on the highways of Dnepropetrovsk area are in the conditions of exploitation with increasing traffic loads, what requires their earlier overhauls and in-line repairs due to accelerating damages and destructions. The different structural options of the small culvert pipes are developed in Ukraine. The basic requirements for them are reducing the cost of production as well as increasing the durability and operating reliability. It is found out that the reinforced concrete culvert pipes of circular section are the most technologically mastered and widespread option of the culvert pipes. However they have a lot of failings. The executed calculations revealed that with small height of embankment the application of the culvert pipes of semicircular section with small building height allows to get a considerable economic effect.

It is found out that in order to provide with reliable exploitation of the culvert pipes it is necessary the following: introduction of progressive constructions, high-quality monitoring of their state, analysis of operating damages and destructions as well as accounting the real terms of work when planning the culvert pipes.

**Keywords:** culvert pipes, highways, transport, artificial buildings, circular and semicircular section.

## Постановка проблеми

Досить важливою є проблема підвищення експлуатаційної надійності і довговічності залізобетонних водопропускних труб. Пошкодження елементів залізобетонних водопропускних труб мають силовий (тріщини, відколи), деформаційний (нерівномірність просідання), або корозійний характер («оголена» арматура, «лущення» і розтріскування бетону) [1,7]. Основними причинами силових ушкоджень водопропускних труб, є: значне збільшення транспортних потоків; використання сучасних великовантажних машин з осьовим навантаженням, що перевищує проектне. Слід зазначити, що більшість існуючих водопропускних труб не відповідає сучасним будівельним нормам [3-6] з транспортного навантаження [1,2].

**Актуальність.** В умовах стрімкої глобалізації світової економічної системи, масштаб і рівень прогресивного розвитку сучасних країн визначається декількома ключовими факторами. Одним з найважливіших умов ефективного зростання в усіх галузях народного господарства є швидкісне, безперервне і безпечне транспортне сполучення.

Для України, що має площу 603,7 км<sup>2</sup>, розвиток сучасної транспортної системи - стратегічне завдання модернізації країни. Однак, тенденції розвитку транспортної системи України, в основному, схожі з світовими:

- збільшення транспортних потоків і осьових навантажень;
- підвищення якості елементів транспортної мережі;
- зниження вартості будівництва та експлуатації автомобільних доріг;
- підвищення швидкості, комфортності та безпеки руху.

Штучні споруди на автомобільних дорогах є невід'ємною і найважливішою частиною транспортної системи. Найпоширеніші штучні споруди - водопропускні труби .

Частка бетонних і залізобетонних водопропускних труб складає більше 95% [2]. На будівництво бетонних та залізобетонних водопропускних труб використовується 9 ÷ 11% матеріалу від витрат на штучні споруди. Більшість водопропускних труб становлять малі водопропускні труби, з діаметром отворів  $D = 0,5 \div 1,5$  м.

**Аналіз публікацій.** На території України в транспортному будівництві застосовується достатньо різноманітний конструктивний набір залізобетонних водопропускних труб. Залізобетонні водопропускні труби мають ряд переваг за рахунок високої технологічності, широкої номенклатури виробів, наявності

виробничих баз і можливості використання місцевих сировинних ресурсів [9,10]. Ці характеристики, що визначають вартість водопропускних труб на об'єкті будівництва, є ключовими, тому що частка транспортних витрат при будівництві автомобільних доріг досить значна і її зниження істотно впливає на вартість всього комплексу дорожніх будівельних робіт.

Конструкції залізобетонних водопропускних труб і технології їх виробництва постійно удосконалюються. Широко застосовується сталевібробетон, який дозволяє досягти значного поліпшення характеристик міцності та деформаційності залізобетонних водопропускних труб і сприйняття динамічних навантажень. Протягом останніх декількох десятиріч у нашій країні і за кордоном активно застосовуються металеві гофровані труби. Основними перевагами металевих гофрованих труб є низька потреба конструктивного матеріалу та можливість монтажу водопропускних труб без залучення підйомної техніки. Застосування металевих гофрованих труб дозволяє істотно знизити вартість і трудомісткість будівництва водопропускних труб. Однак, як показує досвід експлуатації водопропускних труб, металеві гофровані труби мають ряд істотних недоліків:

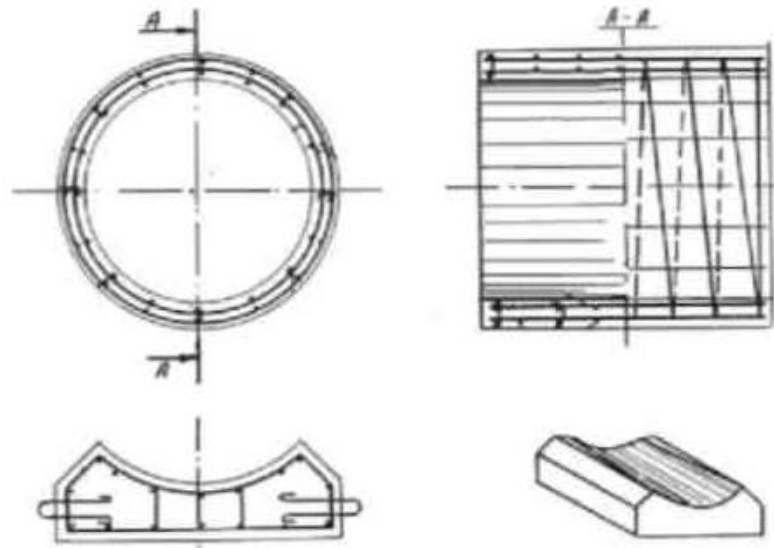
- на внутрішній поверхні водопропускних труб, в результаті переміщення по дну водотоку твердих мінералів, швидко стирається захисний шар цинку і активізується корозія;

- внаслідок значної гнучкості конструкції, зустрічаються випадки зміни форми і розмірів поперечного перерізу металевих гофрованих труб, як правило, через неякісне ущільнення ґрунту засипки, неналежну експлуатацію водопропускних труб.

Є спроби застосування водопропускних труб із синтетичних та композитних (полімербетони, склопластики, полівінілхлорид та ін.) матеріалів. Однак, дані конструкції мають дуже обмежене застосування через специфічні властивості використаних матеріалів. Незважаючи на привабливі властивості опору водопроникності та агресивному хімічному середовищу, а також значне скорочення трудових витрат при виготовленні і монтажі, конструкції з синтетичних і композиційних матеріалів під дією зовнішнього середовища мають схильність швидкого старіння і зміни фізико-механічних характеристик, або недостатню твердість. Зустрічаються випадки використання водопропускних труб з інших галузей промисловості, які були у використанні, що відпрацювали свій профільний ресурс, однак мають достатній запас

надійності для використання в автомобільному дорожньому будівництві.

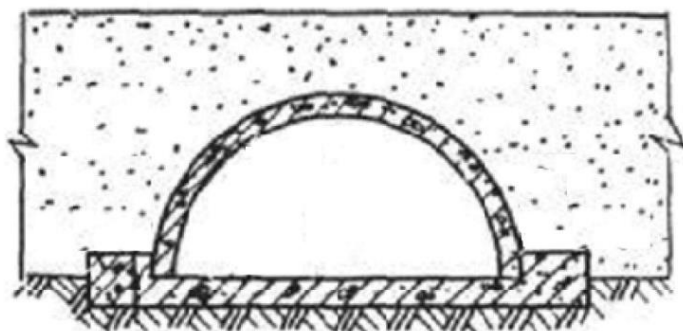
Розглянемо детальніше варіанти конструкцій залізобетонних водопропускних труб [8]. Близько 90% залізобетонних водопропускних труб мають круглий переріз (рис. 1).



**Рисунок 1** – Конструкція залізобетонної водопропускної труби круглого перерізу

При багатьох безперечних перевагах, застосування водопропускних труб круглого перерізу часто вимагає збільшення насипу. Зважаючи на відсутність альтернативи по набору техніко-економічних характеристик, за винятком металевих гофрованих труб, що застосовуються в деяких областях України, будівельники змушені використовувати залізобетонні водопропускні труби кільцевого поперечного перерізу.

Розробка напівкільцевих водопропускних труб (рис. 2) [8], які складаються з плоскої фундаментної плити і арочної оболонки, дозволила усунути основні недоліки водопропускних труб кільцевого перерізу. Менша будівельна висота водопропускних труб напівкільцевого поперечного перерізу не потребує збільшення висоти насипу. Ґрунт насипу біля водопропускних труб напівкільцевого перерізу по висоті ущільнюється рівномірно, при однаковій висоті насипу збільшується товщина засипки, що знижує нерівномірність просідання дорожнього покриття, тим самим дозволяє зменшити витрати на утримання автомобільної дороги.



**Рисунок 2** – Конструкція залізобетонної водопропускної труби напівкільцевого перерізу

Водопропускні труби напівкільцевого поперечного перерізу мають матеріаломісткість на 20% вище водопропускних труб кільцевого перерізу, який еквівалентній водопропускній площі. Конструкція водопропускних труб напівкільцевого перерізу складається з блоків трьох типів: напівкільцевої арки, оголовочної конічної арки, фундаментної плити, яка одночасно служить лотком для водотоку.

Дослідження водопропускних труб, встановлених на дорогах Дніпропетровської області, дозволили виявити пошкодження і деформації залізобетонних труб, перш за все, в насипах малої висоти (1,5 ÷ 2 м). За результатами дослідження встановлено, що найбільш широко поширені випадки комплексних ушкоджень водопропускних труб, що поєднують розсунення і відносного осідання ланок з розвитком нерівномірності осідання дорожнього покриття (рис. 3).

Осідання і розсунення ланок сприяють розкриттю стикових швів елементів водопропускних труб, активній фільтрації води в насип, вимивання ґрунту насипу і основи, що в комплексі може привести до руйнування споруди. Крім того, розкриття стикових швів і вихід ґрунту всередину водопропускної труби є однією з причин розвитку нерівномірності осідання верхніх шарів дорожнього одягу і появи явних нерівностей, що призводить до руйнування дорожнього покриття та необхідності його передчасного ремонту. Відзначено поширення випадків появи нерівностей дорожнього покриття без наявності виходу ґрунту всередину труби, що характерно для великої кількості водопропускних труб кільцевого перерізу і практично не зустрічалося при обстеженні водопропускних труб напівкільцевого перерізу.





**Рисунок 3** – Результати дослідження водопропускних труб на автомобільних дорогах

**Мета статті.** На основі проведеного обстеження водопропускних труб у Дніпропетровській області вибрати найбільш раціональний варіант перетину водопропускної труби.

#### Виклад основного матеріалу

Метою проведених обстежень є виявлення найбільш характерних дефектів та пошкоджень, оцінка стану елементів водопропускних труб, виявлення причин наявних пошкоджень і розробка рекомендацій для їх запобігання та усунення.

У ході робіт були обстежені водопропускні труби встановлені на автомобільних дорогах у Дніпропетровській області. Термін експлуатації обстежених водопропускних труб кільцевого і напівкільцевого перерізів складав - від 2 років до 25 років. У більшості водопропускних труб напівкільцевого перерізу зруйновані, або мають значні пошкодження оголовки і зміщення б'єфів, що перешкоджає пропуску паводкових потоків і сприяє поширенню яружної ерозії ґрунтів водотоку і руйнування насипу автомобільної дороги. Внаслідок порушується загальний ухил по осі водопропускної труби (відхилення - до 30 см), з'являються зони застою потоку, що сприяють замулюванню водопропускного отвору і фільтрації води в насип, знижується надійність роботи водопропускної труби. Причинами розвитку деформацій водопропускних труб напівкільцевого перерізу є деформації ґрунту насипу в

перші роки після установки водопропускної труби та відсутність конструктивного рішення об'єднання ланок.

Характерними місцями ушкоджень оголовків є ділянки з мінімальним поперечним перерізом, розташовані над шелигою. Поросль чагарників на вході і виході водопропускної труби також чинять негативний вплив на роботу водопропускної труби. Причина - неналежна якість будівництва та утримання водопропускної труби. Дані ушкодження, насамперед, відносяться до водопропускних труб напівкільцевого перерізу з терміном експлуатації більше 10 років.

Поширені «розтяжки» і відносні осідання окремих ланок водопропускної труби напівкільцевого перерізу. В результаті - руйнується гідроізоляція водопропускної труби і «вимивання» ґрунту з тіла насипу та основи - це призводить до засмічення, замулювання водопропускного отвору, порушення цілісності та вологісного режиму ґрунту основи і насипу.

Є значні пошкодження залізобетонних елементів водопропускних труб: тріщини; відколи й ерозія бетону; корозія арматури; велика кількість ділянок з «відстрілом» захисного шару бетону і оголенням арматури. Тріщини в опорних плитах переважно спрямовані уздовж осі водопропускної труби і мають ширину розкриття до 10 мм. Дані пошкодження здатні призвести до дострокової втрати працездатності водопропускної труби. Причини зазначених явищ різноманітні: високі силові навантаження, дія агресивних середовищ, помилки проектування в зв'язку з недостатніми обстеженнями властивостей ґрунтів основ та низька якість виготовлення і монтажу елементів водопропускних труб.

Товщина засипки над водопропускною трубою напівкільцевого перерізу, переважно, знаходиться в межах 0,5÷1,5 м - у цих умовах обстежувані водопропускні труби піддані дії інтенсивних динамічних навантажень від транспорту. При обстеженні водопропускних труб напівкільцевого перерізу не виявлено значних осідань і руйнувань дорожнього полотна, здатних вплинути на безпеку дорожнього руху.

Характер пошкоджень водопропускних труб кільцевого перерізу схожий з водопропускними трубами напівкільцевого перерізу: пошкодження оголовків, руйнування бетону, корозія арматури та розсунення і осідання ланок. Однак, зважаючи на тривалий термін експлуатації без планового та капітального ремонту, водопропускні труби кільцевого перерізу мають більше число дефектів. Відмінними ушкодженнями є:

- високий ступінь замулювання водопропускних отворів;
- неприпустиме осідання дорожнього покриття над місцем установки водопропускної труби кільцевого перерізу.

Замулюванню водопропускних труб сприяє вихід ґрунту насипу та основи через розкриті стикові шви.

Нерівномірність просідання дорожнього покриття обумовлені процесами ущільнення ґрунту насипу, зменшенням товщини стиснуваного ґрунту над водопропускними трубами, яка є жорстким включенням в масив насипу та недостатнє ущільнення «пазух» нижче діаметра поперечного перерізу водопропускної труби кільцевого перерізу. Пошкодження дорожнього покриття внаслідок нерівномірності просідання негативно впливають на безпеку дорожнього руху і вимагають якнайшвидшого усунення. Крім того, виявлено багато випадків наскрізних пошкоджень елементів водопропускних труб кільцевого перерізу.

На основі результатів вибіркового обстеження водопропускних труб на автомобільних дорогах Дніпропетровської області встановлено, що стан великого числа водопропускних труб не задовольняє вимогам забезпечення надійності роботи.

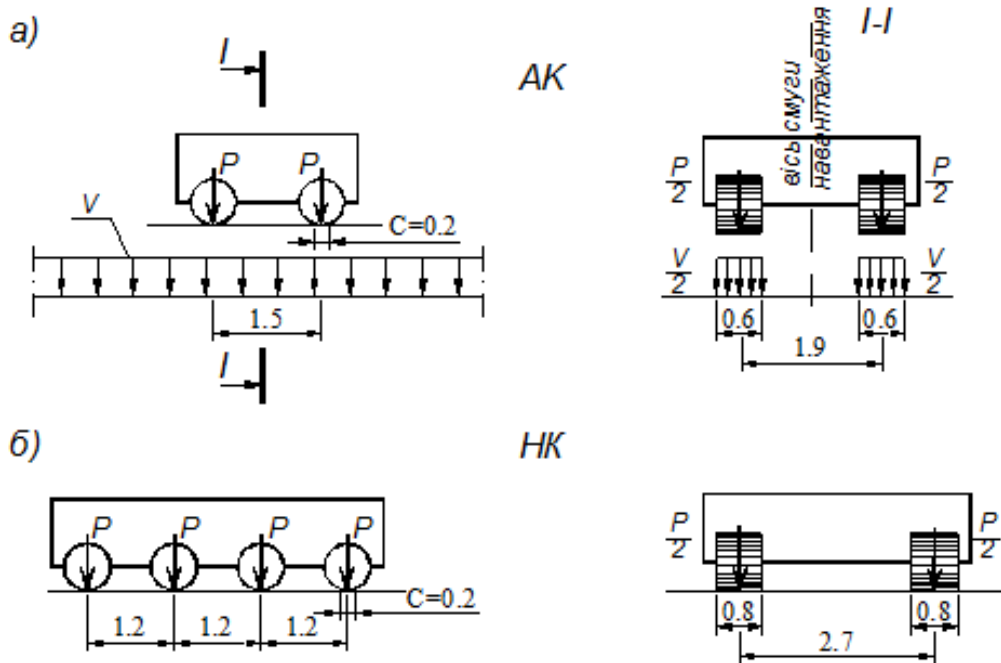
Проблеми водопропускних труб, пов'язані з силовими дефектами через збільшення транспортних потоків і осьового навантаження, деформаційними ушкодженнями у тілі насипу, що призводять до осідання, розсушення та інших деформацій споруд, тому це питання вимагає подальшого пошуку ефективних економічних і технологічних рішень.

Згідно сучасним будівельним нормам [3-6], розрахунок водопропускних труб, які встановлюються в насипах автомобільних доріг всіх категорій, необхідно виконувати на дію нормативного навантаження від транспортних засобів НК-100.

Навантаження НК-100 відповідає характеру розподілу навантаження НК-80, проте вага візка дорівнює 102,8 тс (1028 кН), замість раніше 80 тс (800 кН). Передумовою для запровадження нових нормативних навантажень є адаптація транспортних об'єктів до сучасних умов експлуатації автомобільних доріг.

В наш час збільшується парк автопоїздів, маса яких з осьовим навантаженням понад 10 т, при цьому відстань між осями помітно менше, ніж у вантажівок попередніх років. Автопоїзди часто переміщаються колонами і здатні розвивати швидкість більше 100 км/год. В наслідок цього навантаження

на автомобільні дороги, мости і водопропускні труби значно перевищують раніше враховані при проектуванні, крім того, значно зростає динамічний вплив транспорту. Схема прикладення навантажень АК та НК наведена на рис. 4 [5].



а - автомобільне навантаження АК у вигляді смуги рівномірно розподіленого навантаження інтенсивністю  $v$  і одиночного тандема з тиском на вісь  $P$ ;  
 б - важке одиночне навантаження НК

**Рисунок 4** – Схеми нормативних навантажень

Величина максимальних навантажень на вісь і вага візка при різних класах транспортного навантаження зведені у таблиці 1.

**Таблиця 1** – Характеристики навантажень транспортних засобів

Тип навантаження	НК-80	НК-100
Максимальне навантаження на вісь, кН	100	257
Максимальна вага візка, кН	800	1028

Залежності величин нормативних навантажень від товщини засипки визначались для водопропускних труб кільцевого та напівкільцевого перерізів, еквівалентних за площею водопропускного отвору водопропускної труби  $D = 1$  м (табл. 2).

**Таблиця 2** – Характеристики вертикальних постійних та тимчасових навантажень НК-100 для водопропускних труб

Висота насипу, м	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,5	2,0	3,0	5,0	7,0	10
Навантаження НК-100, кН/м <sup>2</sup>	145	115	100	95	70	60	55	50	40	30	21	19
Навантаження від власної ваги насипу, кН/м <sup>2</sup>	10	12	15	17	19	20	30	42	72	137	195	215

Аналіз отриманих даних (табл. 2) дозволив встановити, що при використанні навантаження НК-100 і висоті засипки водопропускної труби  $h_{\text{насипу}} \leq 3$  м величина транспортної складової зовнішнього навантаження стає визначальною. При висоті насипу  $h_{\text{насипу}} > 3$  м визначальною є навантаження від тиску вище розташованого масиву насипу автомобільної дороги.

Раціональний варіант конструктивного ряду водопропускних труб еквівалентної площі водопропускного отвору у порядку зменшення будівельної висоти для будь-яких значень розрахункових витрат водопропускних труб визначаються залежно від проектної відмітки насипу з урахуванням вартості елементів конструкції і можливих додаткових витрат у разі, якщо для забезпечення нормативних вимог по засипці необхідно збільшити висоту дорожнього насипу.

Як приклад розглянуто вибір раціонального варіанту водопропускної труби за проектною висотою насипу  $H_{\text{вн}} = 1,3$  м і величиною розрахункової витрати для водопропускної труби  $Q = 1$  м<sup>3</sup>/с, що відповідає гідравлічній роботі водопропускної труби кільцевого перерізу діаметром  $D = 1$  м і площі водопропускного отвору  $A = 0,79$  м<sup>2</sup>, довжина труби  $l = 15$  м.

Для водопропускної труби кільцевого перерізу:

$$\min H_{\text{вн}} = h_{\text{к}} + 0,5 = (1,0 + 0,12) + 0,5 = 1,62 \text{ м, отже, підйом відмітки насипу}$$

$$\Delta H_{\text{вн}} = \min H_{\text{вн}} - H_{\text{вн}} = 1,62 - 1,3 = 0,32 \text{ м.}$$

Для водопропускної труби напівкільцевого перерізу:

$$\min H_{\text{вн}} = h_{\text{к}} + 0,5 = (0,88 + 0,12) + 0,5 = 1,50 \text{ м,}$$

отже, підйом відмітки насипу

$$\Delta H_{\text{вн}} = \min H_{\text{вн}} - H_{\text{вн}} = 1,50 - 1,3 = 0,20 \text{ м.}$$

У зазначених умовах підйом відмітки насипу автомобільної дороги над водопропускною трубою вимагає для водопропускних труб кільцевого перерізу збільшення обсягу ґрунту насипу на 309 м<sup>3</sup>, а для водопропускних труб напівкільцевого перерізу на 191 м<sup>3</sup>. У відповідності з орієнтовним кошторисом розрахункових витрат, з урахуванням транспортних витрат і витрат на роботу техніки складуть для водопропускних труб кільцевого і напівкільцевого перерізу, відповідно, 13108 грн. і 8109 грн. У розцінках 2015 підйом насипу автомобільної дороги над водопропускною трубою на кожен 1 см збільшує вартість її пристрою на 410 грн при довжині водопропускної труби  $l=15$  м.

Таким чином, при малій проектній висоті насипу застосування водопропускних труб напівкільцевого перерізу з невеликою будівельною висотою дозволяють отримати значний економічний ефект.

### **Висовки**

1. З аналізу встановлено, що водопропускні труби встановлені на автомобільних дорогах Дніпропетровської області, знаходяться в умовах експлуатації при зростаючих транспортних навантаженнях, що передбачає необхідність більш раннього проведення їх поточних і капітальних ремонтів через прискорений розвиток пошкоджень та руйнувань.

2. Вартість водопропускних труб складає значну частку вартості будівництва та експлуатації автомобільних доріг. В Україні і за кордоном конструктивні варіанти малих водопропускних труб численні і у кожному з них закладено прагнення знизити вартість їх виробництва, підвищити експлуатаційну надійність споруд, збільшити безпеку транспортного руху.

3. Залізобетонні водопропускні труби кільцевого перерізу є найбільш поширеним і технологічно освоєним варіантом водопропускних труб, однак мають ряд недоліків.

4. Найбільш вдалим реалізованим варіантом є залізобетонні напівкільцеві водопропускні труби, що поєднують високі експлуатаційні та технологічні якості. Основним недоліком водопропускних труб напівкільцевого перерізу є висока вартість.

5. Металеві гофровані труби є альтернативою залізобетонним водопропускним трубам. Ці конструкції високотехнологічні і мають низьку вартість, однак досвід їх застосування показує, що початковий економічний ефект істотно знижується за рахунок високих витрат на їх утримання та більш

високих вимог до проектування та будівництва доріг.

**Перспективи.** Водопрпускні труби - невід'ємна частина дорожнього господарства країни. Для забезпечення надійної експлуатації водопрпускних труб необхідні впровадження прогресивних конструкцій, якісний моніторинг їх технічного стану, аналіз експлуатаційних ушкоджень, урахування при проектуванні реальних умов роботи водопрпускних труб.

### Література

1. Петрович В.В. Досвід експлуатаційного утримання водопрпускних труб на дорозі Т-08-15 в Запорізькій області / В.В. Петрович, Т.В. Скрипник, В.Ю. Скрипник, О.С. Чечуга, М.М. Малько // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. - Київ: НТУ, 2011. - Вип. 81. - С. 160-167.
2. Чечуга О.С. Математичне моделювання процесу взаємодії круглої залізобетонної труби з ґрунтом середовища під дією зовнішнього навантаження / О.С. Чечуга, В.І. Каськів, В.В. Петрович // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. - Київ: НТУ, 2012. - Вип. 85. - С. 193-199.
3. Мости та труби. Обстеження і випробування: ДБН В.2.3-6-2002.- [чинний від 23.09.2002]. К.: Державний комітет України з будівництва та архітектури, 2002. – 25 с.
4. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи: ДБН В.1.2-15:2009. - К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 22 с.
5. Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування: ДБН В.2.3-22:2009. - К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 52 с.
6. Споруди транспорту. Автомобільні дороги: ДБН В.2.3-4:2007. -[чинний від 31.10.2007]. - К.: Мінрегіонбуд України, 2007. – 91 с.
7. Журавлєв М. М. Дефекты малых искусственных сооружений на автомобильных дорогах / М. М. Журавлєв // Труды Союздорнии: Проектирование и строительство искусственных сооружений на автомобильных дорогах. - М., 1969. - Вып. 31. - С. 104-136.
8. Янковский, О. А. Водопрпускные трубы под насыпями / Е. А. Артамонов, Г. Я. Волченков, Р. С. Клейнер, Р. Е. Подвальный, А. С. Потапов, К. Б. Щербина, О. А. Янковский, под ред. О. А. Яноковского. - М.: Транспорт, 1982. - 232 с.
9. Бойчук В.С. Сільськогосподарські дороги та майданчики : підручник / В.С. Бойчук, Ю.О. Кірічек – К.: Урожай, 2000. - 312 с.
10. Бойчук В.С. Штучні споруди на автомобільних дорогах. Підручник. / В.С. Бойчук, Ю.О. Кірічек, О.С. Сергєєв – Дніпропетровськ. - 2004. – 364 с.

### Рецензенти

В.Я. Савенко, д-р техн. наук, НТУ (Київ)

В.І. Каськів, канд. техн. наук, НТУ (Київ)

### Reviewers

V.Ya.Savenko, Dr.Tech.Sci., professor, NTU (Kyiv)

V.I. Kaskiv, Ph.D., NTU (Kyiv)