



Doi:

УДК (045)



КАФІЄВ К. П.

Канд. техн. наук, завідувач відділу
Державного підприємства
«Державний науково-
дослідний інститут будівельних
конструкцій», м. Київ, Україна,
e-mail: kafiev.k@gmail.com
тел.: +38 067 466 80 75
ORCID: 0000-0002-7311-088X



КРИВЕЛЬОВ А. І.

Канд. техн. наук, доцент,
провідний інженер Державного
підприємства «Державний
науково-дослідний інститут
будівельних конструкцій»,
м. Київ, Україна,
e-mail: krevilev@ndibk.gov.ua
тел.: +38 097 213 02 41
ORCID: 0000-0002-5685-0042

ЗМІНИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОМУНІКАЦІЙНИХ КОЛЕКТОРІВ ПІСЛЯ ДОВГО ТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНИХ РІШЕНЬ ЇХ ПІДЗЕМНИХ ТРИМАЛЬНИХ СПОРУД

АНОТАЦІЯ

Актуальність проблеми. Сучасне місто є над-великим енерго- та інформаційним утворенням, функціонування якого неможливе без комунікаційних зав'язків. Їх надземне прокладання суперечить вимогам функціонування транспорту міста, безпеці та естетичним якостям міського середовища. Розташування нижче рівня денної поверхні території міста вимагає створення складних підземних споруд.

З розвитком Києва так звані комунікаційні колектори були побудовані і в нових районах міста в 50-70 роки минулого століття. Наразі більшість з них характеризується значною зношеністю головних будівельних конструкцій, що вимагає встановлення ступеня зносу і прийняття рішень щодо регенерації колекторів. Прикладом реалізації таких проблем є науково-технічний супровід реконструкції Чоколівського комунікаційного колектора в Солом'янському районі Києва.

Метою дослідження є встановлення ступеню зношеності головних будівельних конструкцій колектора і пропозиція першочергових і головних засобів забезпечення продовження функціонування колектора. Побічною метою є пропозиція застосування великорозмірних залізобетонних труб-оболонки для мікро тунелювання.

Завдання дослідження – створення масиву науково обґрунтованої інформації, щодо змін розмірів та фізико-механічних характеристик матеріалів конструкцій. Оцінкою таких змін є перевірені розрахунки конструкцій з реальними розмірами і механічними характеристиками.

Методи дослідження – експериментальні і аналітичні.

Основні результати, викладені в статті, отримані в перебігу виконання науково-технічного супроводу реконструкції колектора. Були виконані обстеження, виявлені і зафіксовані наявні дефекти та пошкодження, оцінений технічний стан конструкцій. На засаді виконаних авторами в попередні роки досліджень великорозмірних залізобетонних труб – оболонки для мікро тунелювання і впроваджених в будівництво сумісно з ТОВ «Київпідземшляхбуд» пропонується застосування їх при будівництві комунікаційних колекторів. При цьому мала би досягатися мета усунення карбонізації бетону, корозії арматури і продовження терміну експлуатації тунелю колектора.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: місто, інженерні системи, колектор комунікаційний, конструктивні рішення, Київ, Чоколівський колектор, технічний стан, залізобетонні труби – оболонки



CHANGES IN TECHNICAL CONDITION OF UTILITY TUNNELS AFTER LONG-TERM OPERATION AND JUSTIFICATION OF EFFECTIVE SOLUTIONS OF UNDERGROUND SUPPORTING STRUCTURES

KEYWORDS: city, engineering systems, utility tunnel, structural concept, Kyiv, Chokolivskyi utility tunnel, technical condition, reinforced concrete pipes.

ABSTRACT

Urgency of problem. Modern city is a very large energy and information entity and its operation is impossible without utility lines. The above-ground installation of those contradicts the requirements of the city's transport, safety and aesthetics. Location below the level of the day surface of city requires the arrangement of complex underground structures.

With the development of Kyiv, the so-called utility tunnels were built in new areas of the city in the 50-70s of last century. Currently, most of them are characterized by significant deterioration of the main engineering structures and that is why deterioration degree should be defined and decisions on reconstruction of utility tunnels should be made. An example of solution of such problems is scientific and technical support of reconstruction of the Chokolivskyi utility tunnel in the Solomyansky district of Kyiv.

Purpose of the research is to establish deterioration degree of main engineering structures of utility tunnel and to present of priority measures aimed at ensuring further operation of the tunnel. A secondary purpose is to propose the use of large reinforced concrete pipes for micro tunneling.

Task of the research is to create an array of scientifically proved information on changes in size and physical and mechanical characteristics of structural materials. The assessment of such changes is verified calculations of structures with real dimensions and mechanical characteristics.

Research methods are experimental and analytical.

Main results set out in the paper were obtained in scientific and technical support of reconstruction of the tunnel. Inspections have been performed, existing defects and damages have been identified and documented and technical condition of the structures has been assessed. On the basis of previous authors' research on large reinforced concrete pipes for micro tunneling and putting of those into production together with LLC "Kyivpidzemshlyakhbud", it is proposed to use these pipes in construction of utility tunnels. At the same time, the goal of eliminating the carbonization of concrete, corrosion of reinforcement and extending service life of utility tunnel should be achieved.

Сучасні мегаполіси мають розвинені мережі інженерних комунікацій. Звичайно мережа є комплексною системою, яка об'єднує всі типи комунікацій і споруд з урахуванням перспективного розвитку міста. На рис. 1 показаний схематичний план мережі інженерних комунікацій Києва зі включенням очисних станцій [1]. В місті комунікації розташовують нижче рівня денної поверхні спланованої території міста, об'єднуючи їх в комплексні колектори. Чоколівський комунікаційний колектор (далі - ЧКК) [2]. є складовою цього комплексу (рис.2).

Після ~40 років експлуатації технічний стан будівельних конструкцій колектора був обстежений колективом співробітників Державного підприємства «Державний науково-дослідний

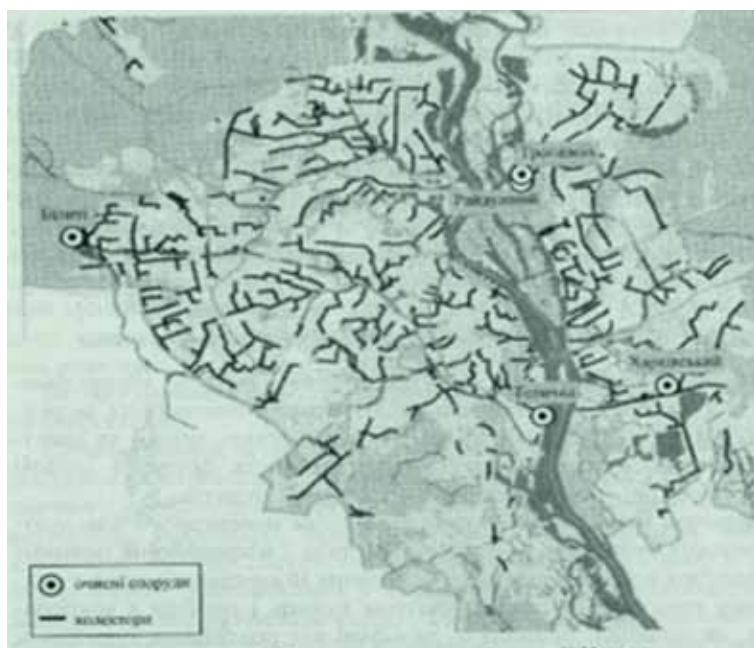


Рисунок 1 - Схематичний план мережі інженерних комунікацій Києва зі включенням очисних станцій [1]



Рисунок 2 - Схема розташування ЧКК [3]



інститут будівельних конструкцій» (ДП НДІБК). Згідно з результатами обстеження, виконанням перевірних розрахунків були розроблені першочергові заходи для забезпечення тримальної здатності конструкцій та рекомендації щодо ремонту та відновленню конструкцій [3]. Приклад ЧКК її характерним для демонстрації причин і характеру змін зношування підземних споруд.

Відзначаючи головну причину значного зношення підземної споруди колектора автори статті визнали за необхідне тезисно навести конструктивні рішення і дослідження конструкцій залізобетонних підземних споруд тунелів колекторів, виконані тим же колективом співробітників ДП НДІБК спільно з будівельниками Концерну «Київпідземшляхбуд». При цьому досліджувались конструкції в яких вплив такої причини, а саме – карбонізації бетону, був ефективно усунутий.

ЧКК розташований у Солом'янському районі м. Києва. Колектор побудований на початку 1980 р. Загальна протяжність траси колектора становить 1800 м. Він розташований в межах між Севастопольською площею (умовно далі – початок колектора) і вулицею Уманською (умовно далі – закінчення колектора). Колектор складається з наступних споруд: прохідний тунель для розміщення інженерних комунікацій, камери, вентиляційні шахти, компенсаторні ніші та диспетчерський пункт.

Тунель колектора проходить, в основному, під проїзною частиною Чоколівського бульвару по правій стороні при русі від початку колектора. Шар ґрунту та дорожнього покриття над перекриттям колектора складає від 1,5 м до 2,5 м. Тунель є прохідним.

В тунелі, переріз якого має внутрішні розміри завширшки 2,7 м і заввишки 3,0 м, прокладені дві магістральні труби теплопостачання діаметром 700-800 мм, магістральна труба холодного водопостачання діаметром 500 мм, кабелі електро мережі та всіх видів зв'язку (слабо точні кабелі).

Конструктивні рішення колектора були встановлені в перебігу візуального обстеження та уточнені порівнянням з рішеннями типових серій конструкцій колекторів. Схема поперечного розрізу тунелю типового багато функціонального колектора показана на рис.3 [1]. На рисунку помічені наступні елементи і комунікації колектора: 1, 2, 3 – кабельні комунікації; 4 – трубопроводи теплової мережі; 5 - водопровідний трубопровід; 6 – каналізаційний трубопровід (наявний рідко – за умови напірного режиму роботи); 7 – трубопровід попутного дренажу; 8 – металеві кронштейни кабельних комунікацій; 9 – залізобетонні елементи тунеля; 10 – бетонна підготовка. Загальний вигляд тунелю ЧКК показаний на рис.4.

З одного боку типового тунеля розташовуються труби теплопостачання в два яруси, з другого – труба холодного водопостачання і кабелі елек-

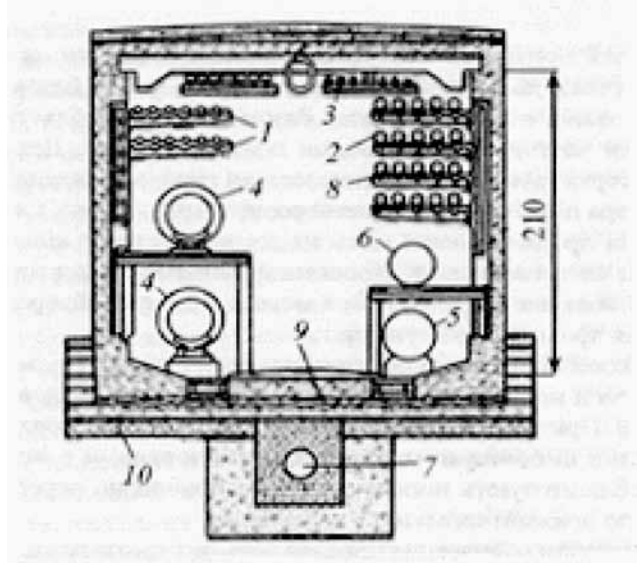


Рисунок 3 - Схема типового поперечного розрізу тунелю комплексного комунікаційного колектора [1]



Рисунок 4 - Загальний вигляд тунелю ЧКК

тричних комунікацій. Посередині між трубами передбачений прохід для обслуговуючого персоналу. Під проходом розташований канал попутного дренажу. На бічних стінках по обидва боки тунеля на сталевих кронштейнах і під стелею на підвісках розміщуються кабельні комунікації.

Кількість комунікацій в ЧКК менша ніж в типовому. Найвним є один трубопровід теплової мережі, відсутній напірний трубопровід каналізації, кабельні комунікації розміщуються тільки на одній стінці над трубопроводом холодного водопостачання.

Власне будівля колектора виконана зі збірних залізобетонних елементів. Монолітні ділянки стін і перекриття складають незначну частину колектора. Основним типом конструкцій тунеля є стінові елементи куткового перерізу завдовжки 1,8 м зі



стіною частиною завтовшки 0,2 м. (див. рис.3). Стінові елементи об'єднуються з плитами днища монолітними стиками.

Основною конструкцією перекриттів тунелю є збірні залізобетонні ребристі плити розмірами в плані 1,5×3 м з висотою поздовжніх ребер 0,27 м. Залізобетонні плити перекриттів у камерах виконані збірними ребристими і плоскими. Ділянки тунелів, які сполучають вентиляційні шахти з вентиляційними камерами, виконані зі збірних елементів лоткового профілю. До складу колектора відносяться також бетонні та металеві опори магістральних трубопроводів, металеві опорні кронштейни кабелів, перехідні містки, металеві драбини та решітки з люками у вентиляційних шахтах. Окрім цього, в тунелі розташовується технологічне обладнання та конструкції, що необхідні для експлуатації середовища тунелю - вентиляції повітря та дренажу попутної води.

В результаті порівняння фактичного виконання елементів колектора з архівними матеріалами встановлено, що конструкції відрізняються від типових конструкцій тунелів так і від типових конструкцій підземних переходів. В цілому, ЧКК слід вважати таким, що побудований за індивідуальним проектом, який до певної міри використовує типові рішення тунелів [2].

Програма дослідження технічного стану ЧКК включала визначення фактичних розмірів всіх будівельних і технологічних елементів тунелю, притунельних приміщень, розмірів поперечних перерізів залізобетонних елементів. Основні геометричні параметри були, також, уточнені шляхом порівняння з результатами інженерно-геодезичних вимірювань.

Траса тунелю вздовж Чоколівського бульвару проходить в цілому у відповідності до наявних креслень проекту. Разом з тим, виявлений і ряд відхилень від проекту, а саме: наявність та відсутність деяких притунельних будівель, окремі елементи колектора зміщені в плані відносно проектного положення по довжині до 2 м.

Інженерно геодезичні вимірювання встановили фактичні розміри тунелю в плані і по висоті. Були уточнені його розміри та кути поворотів, побудовані поздовжні профілі. При порівнянні проектних і фактичних планів та профілів колектора були встановлені відхилення на деяких ділянках їх розмірів. Такі розбіжності інколи сягають ± 10 см. Фактичне заглиблення верху перекриттів відносно проїзної частини бульвару становить 1,5 – 3,0 м. На окремих ділянках мінімальне і максимальне значення заглиблення становить відповідно 0,82 м та 3,65 м.

Обстеження технічного стану конструктивних елементів ЧКК встановили характерні пошкодження і дефекти, які спостерігаються в підземних інженерних спорудах, експлуатація

яких відбувається з недодержанням відповідного температурно-вологісного режиму. Внутрішнє середовище тунелю колектора характеризується високою вологістю приміщення, конденсатом вологи на конструкціях, недостатнім водовідведенням в дренажній системі.

До цього додалися і дефекти, пов'язані з неналежним виконанням загальнобудівельних і гідроізоляційних робіт при спорудженні. Ці дефекти стосувались як головних конструкцій тунелю, так і опорних конструкцій комунікацій – трубопроводів та кабелів. Їх перелік, без розподілу на належність до груп елементів, наведений нижче.

На всіх залізобетонних елементах присутні сліди замокання і висолу, які є наслідком неякісно виконаної гідроізоляції стін і перекриттів. Є численні сколювання захисного шару бетону і оголення арматури внаслідок корозії арматури. Прояви корозії арматури є найбільш поширеним типом дефектів. Найвнрі і механічні пошкодження залізобетонних конструкцій.

До дефектів другорядних елементів слід віднести дефекти бетонних та металевих опорних елементів трубопроводів. Одна з ділянок тунелю (між пікетами ПК5 – ПК8) постійно заливається водою і має високу вологість. Масовою є корозія металевих опорних кронштейнів кабелів, перехідних містків, сходів, драбин. Є механічні руйнування кронштейнів.

В тунелі відсутня примусова вентиляція повітря. Підлога тунелю покрита мулом і сміттям, які суттєво знижують ступінь видалення води дренажними пристроями, в люках системи відсутні кришки, які мають запобігати засоренню дренажного трубопроводу твердими фракціями.

Суттєвою причиною корозії арматури залізобетонних конструкцій є постійна і довготривала карбонізація бетону, яка стає причиною руйнування захисного шару бетону. В окремих ділянках стін і перекриттів це викликає повне відшарування останнього і суттєву корозію арматури, розташованої з боку внутрішнього простору тунелю. При цьому слід зазначити, що саме ця арматура визначає тримальну здатність стін і стелі тунелю колектора.

Всі залізобетонні конструкції, що експлуатуються в повітряному середовищі, схильні до впливу кислих газів. Оскільки концентрація вуглекислого газу в повітрі в 10 – 104 разів є вищою за концентрацію інших кислих газів, основним процесом нейтралізації бетону є коксування. Будучи шпаристим, бетон добре поглинає вуглекислий газ, кисень і вологу, що присутні в атмосфері. Вапно, яке утворюється при гідратації цементу, створює в бетоні лужне середовище, з високим показником рН (близько 12). Сталева арматура випускається хімічно пасивною і захищеною від лугів неактивною плівкою (пасиваційним



шаром) окисданого заліза, що до деякого ступеню захищає арматуру від окислення.

Здатність бетону поглинати вуглекислий газ згубно впливає на арматуру, яка при пошкодженні бетону потрапляє в кислотне середовище і починає кородувати. Іржа, що формується при окисненні арматури, збільшує її об'єм, підвищує внутрішню напругу і призводить до розламів бетону і оголення кородуючої арматури, що призводить до швидкого зношування залізобетонної конструкції.

Вуглекислий газ CO_2 , наявний в атмосфері, в присутності вологи вступає у взаємодію як з продуктами гідратації клінкерних мінералів, так і з мінералами цементного каменю. У присутності CO_2 карбонізується $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (гідрооксид кальцію) бетону до CaCO_3 (карбонат кальцію), в такі ж реакції вступають і деякі інші продукти гідратації цементу.

Новоутворення гідратів цементного каменю також можуть піддаватися карбонізації. Кінцевими продуктами реакції є карбонат кальцію, гідратований кремнезем, глинозем, оксид заліза. Карбонат кальцію погано розчиняється у воді і, утворюючись, прагне герметично закрити шпарини на поверхні бетону. Цю позитивну роль карбонізація відіграє, поки вона не дійшла до глибоких шарів бетону, що контактують з поверхнею сталеві арматури.

Значення товщини шару бетону, в якій він втратив захисні властивості по відношенню до арматури, визначають індикаторним тестом і фізико-хімічним методом (методами рН і карбометрії).

Глибина карбонізації визначається за допомогою розчину в етанолі фенолфталеїну. При цьому, про карбонізацію бетону свідчить поява малинового кольору, тоді як бетон, що не піддався карбонізації, зберігає своє первісне забарвлення. Це відбувається через зміни вмісту кислоти від 8,5 – 9 (коксування бетону) до більш низької величини рН.

Дослідження залізобетонних конструкцій показують, що карбонізація бетону триває весь час їх експлуатації, проте процес карбонізації не поширюється на значну глибину. Результати натурних обстежень експлуатованих об'єктів свідчать про значне збільшення в останні роки числа аварійних ситуацій внаслідок карбонізації бетону і необхідності проведення масштабних робіт з ремонту конструкцій. В цілому, це зумовлене наближенням термінів експлуатації будівель і споруд до нормативних значень для більшої частини об'єктів, побудованих в 50-60-ті роки – періоду початку масового застосування залізобетону в СРСР. Однак, є також численні випадки ранніх проявів надмірної карбонізації (через 10 ... 15 років).

У сучасних умовах зросла частка реконструйованих об'єктів, в яких нові умови експлуатації можуть істотно відрізнятись від параметрів почат-

кового проекту, що також впливає на довговічність залізобетону.

Аналіз пошкодження залізобетонних конструкцій включає визначення глибини карбонізації, ступінь впливу середовища, товщину сталеві арматури, виявлення внутрішніх тріщин і повітряних кишень.

Дослідження ступеню карбонізації бетону конструкцій тунелю проводилось згідно з методикою, викладеній в Рекомендаціях [4]. З внутрішньої поверхні залізобетонних конструкцій тунеля висвердлювались керни діаметром 40 мм. На циліндричні внутрішні поверхні утворившихся шпарин наносився розчин фенолфталеїну в етанолі. По глибині появи малинового кольору на просоченій поверхні шпарини визначають глибину карбонізації.

Програма досліджень технічного стану конструктивних елементів ЧКК передбачала виконання розрахунків тримальної здатності залізобетонних стін і перекриттів тунеля. Цього вимагали в першу чергу відсутність проектних даних щодо складових конструктивних рішень цих елементів – механічних характеристик бетону, розмірів і механічних характеристик армування, та зміни нормативних вимог щодо навантаг, які прикладаються до споруд таких типів.

Габаритні розміри та розміри перерізів конструкцій колектора встановлені в результаті обмірів. Виконане також порівняння результатів обмірів з типовими рішеннями серій конструкцій аналогічного призначення.

Клас бетону залізобетонних конструкцій колектора визначений на основі результатів інструментального визначення показників міцності бетону ультразвуковим методом та методом відриву зі сколюванням.

Армування залізобетонних конструкцій встановлене шляхом інструментального визначення параметрів армування (діаметри і крок арматури, товщина захисного шару бетону магнітним методом) та уточнені шляхом вибіркового розкриття та обмірів арматури.

Зараз в Україні діють норми ДБН В.1.2-15-2009 [5], згідно з якими регламентуються навантаги від автомобільного транспорту. Правила визначають характеристичні тимчасові вертикальні навантаги від автотранспорту за двома моделями.

Модель 1 – навантаги «АК» від автотранспортних засобів у вигляді смуг автоколоні (рис. 5). Навантага від автотранспортних засобів на кожен смугу приймається рівномірно розподіленою з інтенсивністю $v = 0,1K = 0,1 \times 11 = 1,1 \text{ тс/м}$, та тандему з навантагою на вісь $P = 1K = 11 \text{ тс}$. Коефіцієнт надійності за навантаженням $\gamma_f = 1,5$.

При ширині проїзду 8 м на ньому можуть розташуватися дві смуги навантаження від автоколоні.

Модель 2 – навантага від одиночного колісного екіпажу «НК» (рис.5) з навантагою на вісь



$P=196$ кН (20тс). Коефіцієнт надійності за навантаженням $\gamma_f = 1,0$.

Розрахунки несучої здатності конструкцій стін і перекриття ЧКК виконані з метою оцінки їх придатності до подальшої експлуатації з врахуванням пошкоджень, отриманих за час експлуатації.

Розрахунки виконувалися в умовах відсутності як робочих креслень конструкцій стін і перекриттів колектора, так і виконавчої документації про їх фактичне виконання. Вони встановлені за результатами аналізу креслень технологічної частини проєкту [2], обмірів та обстеження елементів колектора.

Однією з найвагоміших проблем реконструкції забудови великих міст є високий ступінь зношення зовнішніх інженерних мереж. При вирішенні нагальних містобудівних завдань виникає проблема будівництва нових сучасних підземних колекторів. Будівництво останніх здійснюється з застосуванням залізобетонних конструкцій, зокрема з застосуванням залізобетонних труб.

В Україні впроваджується технологія будівництва колекторів методами щитового проходження тунелів з наступним футеруванням збірними залізобетонними трубами-оболонками великого діаметра.

В роботах [6,7] оприлюднені результати науково-технічного супроводу впровадження в будівництво збірних залізобетонних конструкцій безнапірних труб $D=2400/2640$ мм і $L= 2000$ мм для внутрішньої футерівки тунелів.

Конструкція таких тонкостінних залізобетонних труб розроблена на засаді її реалізації на технологічному обладнанні „Pedershaab” для виготовлення збірних елементів завдовжки $L=2000$ мм - залізобетонних труб з внутрішнім і зовнішнім діаметрами $D=2400/2640$ мм та

відповідно стінкою завтовшки $\delta=120$ мм.

Труба бетонується в вертикальній формі, що має зовнішню та внутрішню стінки. В проміжок між стінками вставляється і фіксується один арматурний кільцевий каркас-сітка, а на внутрішній стінці форми кріпиться поліетиленова вставка – футляр з Т-образними «анкерами» на зовнішній поверхні, яка з'єднується з бетоном труби. Матеріалом труби є бетон класу В40.

Особливістю конструкції труби є її армування в'язаною сіткою, в якій арматура в робочому положенні розташовується в кільцевому і спіральному напрямках. Кільцева арматура має $\varnothing 14$ А400С, спіральна арматура відповідно - $\varnothing 8$ А240С.

Для стикування труб в колекторі між собою з одного боку труб передбачена обичайка зі сталевого листа завтовшки 10 мм. З протилежного боку відповідно зменшена товщина стінки труби. Під час монтажу в стику між обичайкою і зовнішнім боком труб укладається ущільнювач. Труба має декілька отворів, через які між трубою і тримальною оболонкою тунелю нагнітається цементно-піщаний розчин. На рис. 7 і 8 показана конструкція труби і її армування.

Влаштування футерівки тунелів передбачає встановлення її за допомогою монтажно-транспортного обладнання тримальної оболонки тунелю, який проходиться у щитовий спосіб, попереднього розкріплення футерівки в проєктному положенні і ін'єктуванні поміж двома поверхнями – футерівки і тримальної оболонки - цементно-гіпсового розчину.

З метою встановлення можливості застосування труби-оболонки безпосередньо в якості тунелів колекторів при траншейному прокладанні з наступною засипкою були виконані розрахунки труби, розташованої безпосередньо в ґрунті з урахуванням впливу навантаження від важкого рухомого транспорту. Також, були виконані розрахунки і для основного виду застосування труб – в тримальному зовнішньому тунелі - на монтажний вплив гідростатичного тиску розчину.

В дослідженнях системи “залізобетонна труба - ґрунт”, в якій останній представлений у вигляді об'ємно-деформованого тіла, створена можливість моделювати роботу системи на всіх етапах навантаження з урахуванням зміни напружено-деформованого стану в її елементах в залежності від типу ґрунтових умов [8, 9].

В прийнятій розрахунковій схемі верх труби заглиблений на 2 м від рівня поверхні землі. Фізико-механічні характеристики ґрунтів (ІГЕ-1...ІГЕ-3), що були прийняті в розрахунку, наведені в таблиці 1.

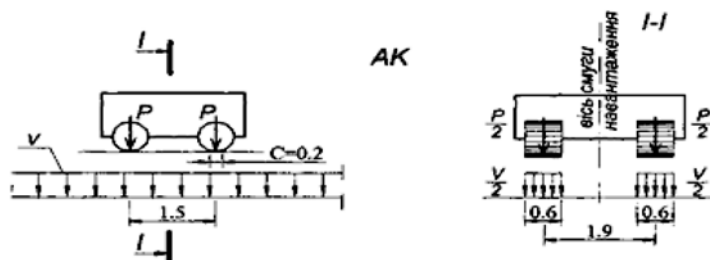


Рисунок 5 - Модель 1 завантаження «АК»



Рисунок 6 - Модель 2 завантаження «HK»

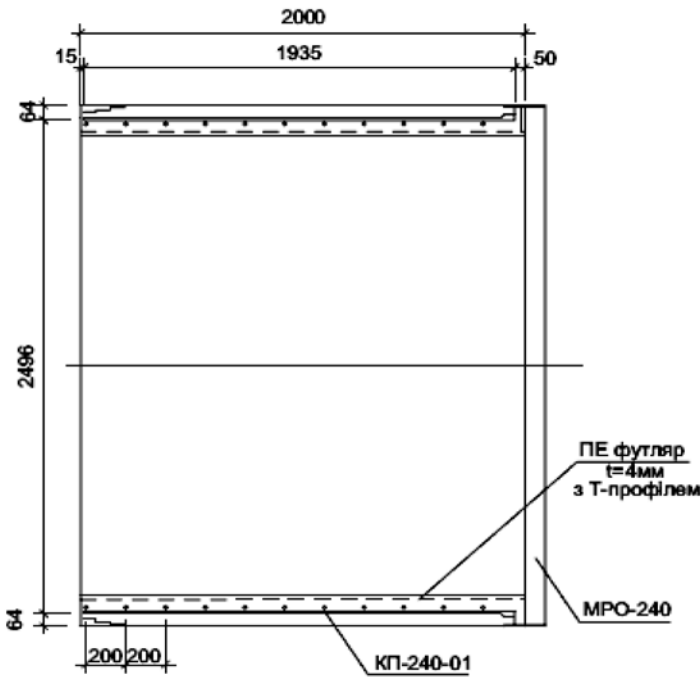


Рисунок 7 - Конструкція труби D=2400/2640

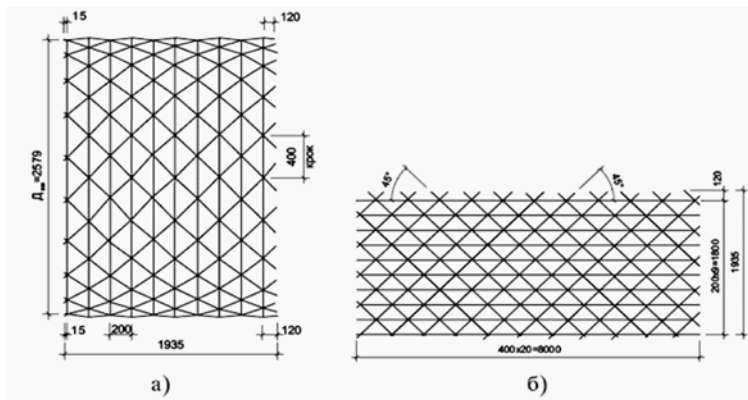


Рисунок 8 - Арматурний каркас труби: а - загальний вигляд в згорнутому стані; б - розгортка арматурного каркасу

Вважалось, що ґрунти, які залягають під низом труби (окрім лесових ґрунтів у водонасиченому стані) не будуть перевищувати допустимого значення осідання $s=8$ см для даного типу конструкцій.

Навантага, яка діє на трубу складається із постійної навантаги у вигляді власної ваги зворотної засипки ґрунту з пошаровим його ущільненням та тимчасової - сили від автотранспорту. Згідно з ДБН В.1.2-15-2009 [5] розглядалися дві схеми тимчасових навантаг від автотранспорту АК – рівномірно розподілена смугова навантага від автотранспортних засобів і НК-80 - колісна чотиривісна зосереджена навантага. Комп'ютерна розрахункова модель системи „ґрунт-труба” наведена на рис. 9.

Нижче, на рисунках 9 - 11, сформованих ПК, наведені результати розрахунку при впливі навантаг АК.

При впливі навантаги НК-80 якісна картина, напружено-деформованого стану, не відрізняється від показаної вище для навантаги АК.

В таблиці 2 приводиться порівняння внутрішніх зусиль в трубі, що виникають при впливі двох розрахункових тимчасових навантаг. Тут, за загальним принципом вважається, що додатні моменти викликають розтягування на внутрішньому боці елемента, від'ємні – на зовнішньому. Для орієнтації розташування розрахункових перерізів застосована звична географічна система азимутів.

Визначальними величинами зусиль є найбільший додатний момент при впливі навантаги АК. Значення від'ємного моменту по азимутах 90° та 270° на 30% менше. Водночас, в перерізах по азимутах 90° та 270° діють

Таблиця 1. Фізико-механічні характеристики ґрунтів

№ ІґЕ	Назва ІґЕ	Товщина шару H , см	Питома вага γ , т/м ³	Питоме зчеплення C , т/м ²	Модуль деформації E , т/м ²	Коефіцієнт Пуассона ν	Гранична напруга при розтягу R_t , т/м ²	Кут внутрішнього тертя, град
ІґЕ--1	Насипний ґрунт	150	1,8	0,1	800	0,30	0,01	30
ІґЕ--2	Пісок жовтий	350	1,7	0,1	3000	0,30	0,01	30
ІґЕ--3	Суглинок	950	1,7	0,8	2000	0,33	0,08	29

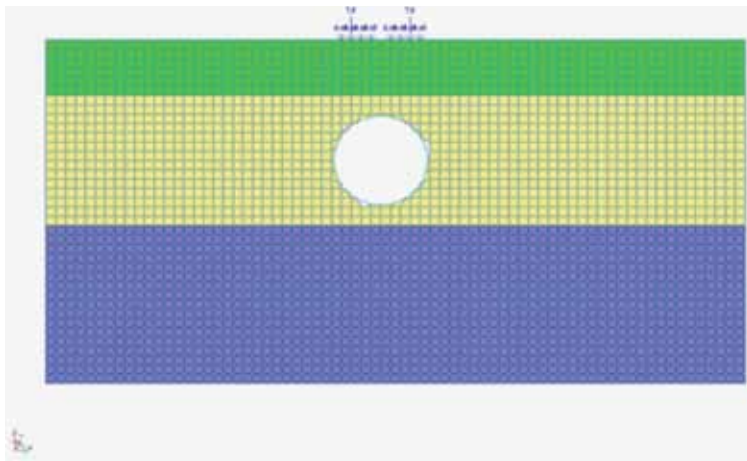


Рисунок 9 - Загальний вигляд комп'ютерної моделі

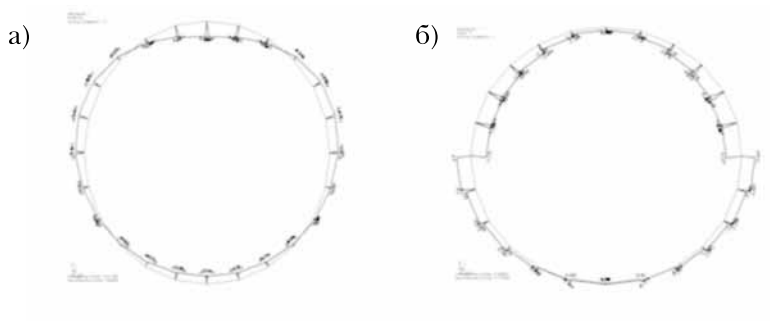


Рисунок 10 - Внутрішні зусилля в трубі при впливі навантаги АК:

- а) згинальні моменти в залізобетонній трубі M_u , тс.м;
- б) нормальні сили в залізобетонній трубі, N , тс.м

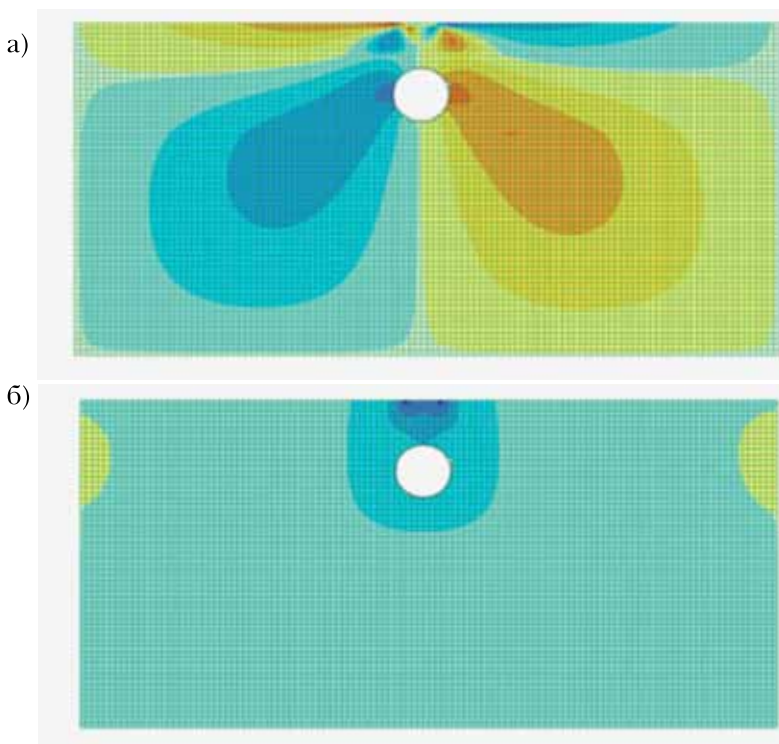


Рисунок 11 - Переміщення ґрунту при впливі навантаги АК:

- а) ізополя переміщень ґрунту в напрямку U_x , мм;
- б) ізополя переміщень ґрунту в напрямку U_z , мм

максимальні нормальні сили. Тобто, по цих перерізах спостерігається позацинтрне стиснення з відносно невеликим ексцентриситетом (~ 8 см).

Метою випробувань було визначення тримальної здатності труби оболонки, армованої одним циліндричним каркасом. Труба була навантажена рівномірно розподіленою навантагою, яка прикладалася вздовж утворюючої, у площині вертикального діаметрального перерізу горизонтально укладеної труби. На відміну від стандартних випробувань залізобетонних труб навантага прикладалася не жорсткою траверсою, а безпосередньо домкратами, які були гідравлічно об'єднані і прикладали до труби однакові сили незалежно від жорсткостей труби і траверси. Такий підхід до створення навантаги визначався тим, що труба за своїми розмірами є тонкостінною циліндричною оболонкою і має суттєву деформованість. Навантажування здійснювалось чотирма домкратами з максимальним силоутворенням 10 тс. Домкрати були розставлені рівномірно вздовж труби по серединях чвертей повздовжнього розміру труби.

В процесі випробувань визначалися переміщення труби в трьох її перерізах: в центрі, на бетонному краю і на краю підсиленому металевою обичайкою (див рис.13). При цьому визначалися видовження – скорочення горизонтального та вертикального діаметрів перерізів.

Перед проведенням основних експериментальних випробувань було проведено обтиснення системи навантаження, перевірена коректність закріплення приладів, перевірені заходи щодо безпеки випробувань. Було прикладено два ступеня навантаги, кожний з яких дорівнював 1,0 тс, на кожному з чотирьох домкратів. Вже на першому ступені при загальній навантазі на трубу 4,0 тс на зовнішній і внутрішній поверхнях труби вздовж утворюючих в місцях дії максимальних додатних і від'ємних моментів виникли тріщини з розкриттям $\sim 0,1$ мм. На другому ступені (загальна навантага на трубу 8,0 тс) тріщини отримали подальше розвинення. Після цього, навантага була знята. Було проведено два цикли обтиснення.

Метою випробувань було визначення тримальної здатності труби оболонки, армованої одним циліндричним каркасом. Труба була навантажена рівномірно

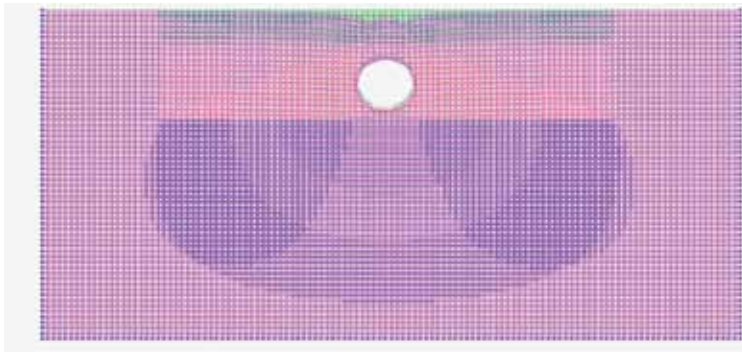


Рисунок 12 - Деформована схема системи "грунт-труба"

зовнішній і внутрішній поверхнях труби вздовж утворюючих в місцях дії максимальних додатних і від'ємних моментів виникли тріщини з розкриттям $\sim 0,1$ мм. На другому ступені (загальна навантага на трубу 8,0 тс) тріщини отримали подальше розвинення. Після цього навантага була знята. Було проведено два цикли обтиснення.

Після проведення обтиснення було виконано корегування розстановки приладів і остаточна підготовка до випробувань. В зв'язку з ранньою появою тріщин в процесі обтиснення системи, було прийнято рішення навантаження вести ступенями по 0,5 тс на один домкрат – 2,0 тс на всю трубу.

Процес проведення випробувань показаний на фотографії рис. 14.

Зростання навантаги супроводжувалось подальшим розкриттям тріщин і збільшенням зростання прогинів труби (див.рисунок 13 б та в).

Максимальна навантага на трубу склала 14,0 тс, після чого під час підкачки домкратів відбувалося збільшення переміщень та розкриття тріщин труби без збільшення тиску в останніх.

Максимальні переміщення, що відповідали навантазі 14,0 тс становили:

- зменшення вертикального діаметра в залізобетонних перерізах - 15,47 та 15,02 мм;
- збільшення горизонтального діаметра в залізобетонному перерізі - 14,76 мм;
- збільшення горизонтального діаметра, підсиленого металевою обичайкою, - 11,21 мм.

На останньому ступеню навантаження розкриття тріщин по напрямках утворюючих на внутрішній і зовнішній поверхнях труби в зонах дії максимальних додатних і від'ємних моментів становила 1,0–1,5 мм. На фотографії (рис. 15) показана бічна поверхня труби з тріщинами в бетоні розтягнутої зони з зовнішнього боку труби.

Чисельні дослідження напружено-деформованого стану труби встановили наступне:

При траншейній прокладці колектора без зовнішньої тримальної оболонки тунелю при стандартизованих ґрунтових умовах і

розподіленою навантагою, яка прикладалась вздовж утворюючої у площині вертикального діаметрального перерізу горизонтально укладеної труби. На відміну від стандартних випробувань залізобетонних труб навантага прикладалась не жорсткою траверсою, а безпосередньо домкратами, які були гідравлічно об'єднані і прикладали до труби однакові сили незалежно від жорсткостей труби і траверси. Такий підхід до створення навантаги визначався тим, що труба за своїми розмірами є тонкостінною циліндричною оболонкою і має суттєву деформованість. Навантажування здійснювалось чотирма домкратами з максимальним силоутворенням 10 тс. Домкрати були розставлені рівномірно вздовж труби по середині чвертей повздовжнього розміру труби.

В процесі випробувань визначалися переміщення труби в трьох її перерізах: в центрі, на бетонному краю і на краю підсиленому металевою обичайкою (див. рисунок 11). При цьому визначалися видовження – скорочення горизонтального та вертикального діаметрів перерізів.

Перед проведенням основних експериментальних випробувань було проведено обтиснення системи навантаження, перевірена коректність закріплення приладів, перевірені заходи щодо безпеки випробувань. Було прикладено два ступеня навантаги, кожний з яких дорівнював 1,0 тс на кожному з чотирьох домкратів. Вже на першому ступені при загальній навантазі на трубу 4,0 тс на

Таблиця 2. Порівняння внутрішніх зусиль в трубі, що виникають при впливі тимчасових навантаг АК і НК-80

Вид тимчасової навантаги	Азимут 0° ("північ")		Азимут 90° („схід")		Азимут 180° („південь")		Азимут 270° („захід")	
	М, т*м	N, т	М, т*м	N, т	М, т*м	N, т	М, т*м	N, т
АК	0,584	-1,095	-0,412	-5,229	0,294	-0,380	-0,394	-5,384
НК-80	0,536	-1,618	-0,414	-3,664	0,351	-0,728	-0,412	-3,689

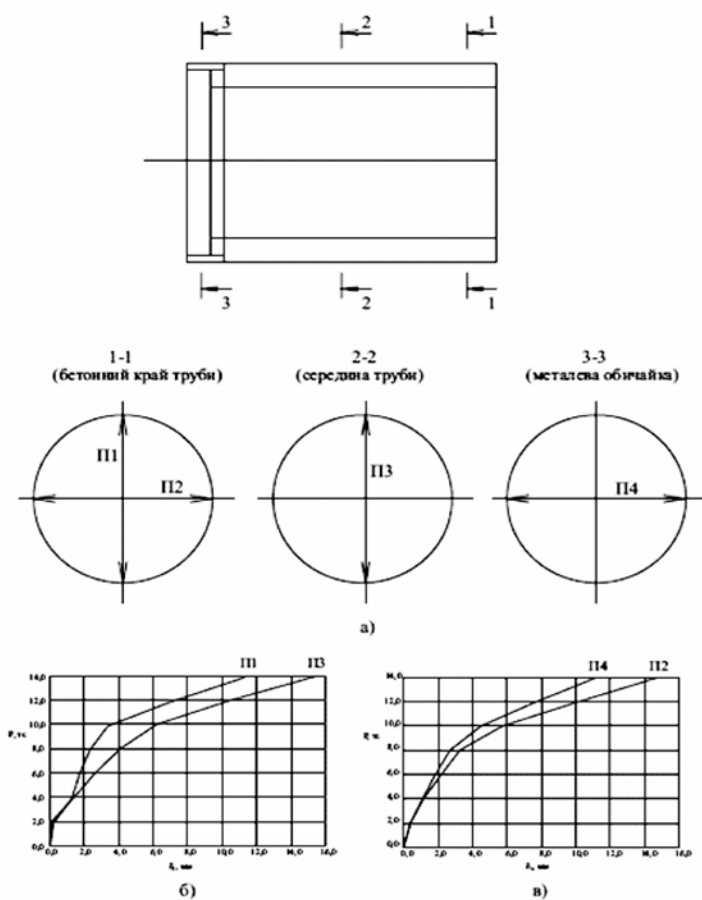


Рисунок 13 - Схема визначення переміщень труби в трьох її перерізах.
 а - повздовжній переріз труби, розташування приладів;
 б - графік зменшення вертикального діаметра труби;
 в - графік збільшення горизонтального діаметра труби

глибині закладення колектора найбільші зусилля викликає прикладення тимчасової двокісної рухомої навантаги АК. При цьому розрахунковими значеннями на 1 м довжини труби будуть максимальний додатний момент і відповідна нормальна сила $M=0,584 \text{ тс} \cdot \text{м}$ та $N=-1,095 \text{ т}$ та максимальна нормальна сила і відповідний від'ємний момент $N=-5,384 \text{ т}$ та $M=-0,394 \text{ тс} \cdot \text{м}$.

При стандартизованих випробуваннях труби встановлено, що гранична величина вертикальної стискаючої сили на всю довжину труби становить 14 тс, що відповідає навантазі на 1 п.м. труби 7,0 тс.

Розрахункова величина граничної сили стиску на трубу завдовжки 2,0 м за схемою стандартизованих випробувань дорівнює 10,9 тс. При цьому розрахунковий тримальний момент перерізу становить 4,33 тс•м, що більше ніж моменти, які виникають в трубі під час тунельного і траншейного прокладання колекторів.

Розміри труб-оболонки дозволяють застосовувати їх для влаштування колекторів для комплексного прокладання комунікацій. При

цьому мають бути застосовувані методи відмінні від усталеного прокладання «зверху» при знятій покрівлі короба тунеля. Внутрішній розмір $D=2400 \text{ мм}$ дозволить розміщення тільки двох труб діаметром $\sim 500 \text{ мм}$.

Для влаштування комплексного колектора та прокладання двох труб – теплопостачання та холодного водопостачання достатньо однієї труби. Це припускає і проміжок для проходу між трубами. Для кабельних комунікацій необхідно прокладання ще однієї труби.

Таким чином, колектор в змонтованому вигляді буде двотрубним, в якому труби – оболонки будуть прокладатися в траншеї зі зворотньою засипкою в якості тримальних елементів тунелів. Збільшення кількості монтажних елементів повинне компенсуватися наступними заходами.

В таких колекторах мають бути застосовані комунікаційні труби великих діаметрів – 500 – 1200 мм з поліпропілену. Технологія прокладання і з'єднання таких труб освоєна будівельним комплексом України і має властивості, які забезпечують підгонку елементів, що з'єднуються, і наступне їх зварювання, або пайку.

На місце монтажу можуть надсилатися не тільки окремо будівельні і технологічні елементи, а і готові блоки у складі труби – оболонки, змонтованих в середині труби металевих опор і вста-



Рисунок 14 - Загальний вид процесу випробування



Рисунок 15 - Тріщини на бічній поверхні труби (азимут 90°)

новлених на опори відрізків технологічних труб з пластику. При застосуванні опор, які припускають протягування технологічних труб – можливий і роздільний процес: монтаж труб – оболонки з змонтованими в них опорами в межах секції, поміж двома вентиляційними камерами, і наступна протяжка гілок технологічних труб. При цьому буде зменшуватися кількість стиків, а сам процес стикування буде проводитися перед входом в трубу колектора в більш зручних умовах. Гілка кабельних комунікацій колектора має монтуватися з блоків «труба+змонтовані кронштейни» з наступним протягуванням кабелів.

При організації перетинання колектором широкої транспортної магістралі доцільно застосувати попереднє щитове проходження і створення тримальної частини, а після цього виконувати монтаж футерівки з труб – оболонки. Проміжок поміж трубною і кабельною частинами колектора при цьому має бути збільшеним для забезпечення щитового паралельного прокладання двох гілок.

ВИСНОВКИ

1. В результаті обстежень ЧКК виявлені дефекти і пошкодження головних тримальних елементів як то, прояв ознак предаварійного руйнування конструкцій перекриттів, які визначають головну ознаку конструктивної системи тунеля. Окрім цього, наявні зменшення розмірів елементів внаслідок корозії металу, карбонізація і зміни механічних характеристик бетону.
2. В сукупності з перевірними розрахунками встановлено, що ЧКК на час дослідження перебуває в аварійному стані. Для тимча-

сового запобігання руйнуванню колектора запропоновані тимчасові заходи підсилення аварійних конструкцій, паралельно з якими повинний бути здійснений капітальний ремонт з заміною, підсиленням і відновленням конструкцій.

3. Зважаючи на прояв карбонізації бетону внутрішньої поверхні, що є головною причиною розвинення аварійного стану залізобетонних конструкцій, в подальшому при будівництві комунікаційних колекторів на засаді залізобетонних тримальних конструкцій тунелів необхідне застосування на внутрішній поверхні (стосовно простору тунеля) ефективного шару газоізоляції для виключення впливу вуглекислого газу. При цьому, слід враховувати категоричну вимогу наявності примусової вентиляції внутрішнього середовища тунеля.

4. Доцільно в подальшому при будівництві комунікаційних колекторів застосовувати нові ефективні технології і конструктивні рішення, як то великорозмірні залізобетонні труби – оболонки для конструкцій тунелів і великорозмірні труби з поліпропілена для тепло- і водопостачання.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Чемакіна О.В., Агеева Г.М. Инженерный благоустрой населенных мест: навч. посібник. К.: НАУ, 2017. 168 с.
2. Тепловые сети ТЭЦ-5. Магистраль №4. Участок от Севастопольской площади по бульвару Ленина до ул. Уманской. ВНИИПИ Энергопром. Украинское отделение. К. 1979. 41 с.
3. Слюсаренко Ю.С. Обстеження, виявлення та фіксація наявних дефектів та пошкоджень, оцінка технічного стану будівельних конструкцій Чоколівського комунікаційного колектора в м. Києві у складі проекту «Реконструкція Чоколівського комунікаційного колектора». Звіт про НТР. К.: ДП НДІБК. 2016. Кн.1-7.
4. Рекомендации по оценке состояния железобетонных конструкций при эксплуатации в агрессивных средах. НИИЖБ Госстроя СССР. М. 1984.
5. ДБН В.1.2-15-2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи.
6. Кривельов А.І., Карпенко О.А., Ремінець Г.М., Чернишов С.М., Кушевський С.А. Наукотехнічний супровід впровадження в виробництво великорозмірних залізобетонних труб-оболонки. Реконструкція житла. 2009.



- Вип. 11. С. 66-77. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/gesj_2009_11_10
7. Альбом КК.ТС-240.20-4. Ч.1. Робочі креслення тонкостінних залізобетонних труб $D=2400$ для футерівки каналізаційних колекторів. ТОВ Інжкомпроект. К., 2009. С. 16.
 8. Клейн Г.К. Расчет труб, уложенных в земле. М.: Госстройиздат, 1957. 186 с.
 9. Давыдов С. С. Расчет подземных конструкций. М.: Госиздат строит. лит-ры, 1950.

REFERENCES

1. Chemakina, O.V., & Aheeva, H.M. (2017). Engineering improvement of populated cities: Textbook. Kyiv: NAU.
2. Energoprom All-Union Research and Design Institute. Ukrainian Branch. (1979). Heat networks of CHPP-5. Main heating system number 4. Area from Sevastopol Square along Lenin Boulevard to Umanskaia St. Kiev.
3. Sliusarenko, Yu.S. (2016). Inspection, detection and recording of the existing defects and damages and assessment of the technical condition of the Chokolivskiy utility tunnel civil structures in Kyiv as a part of the "Reconstruction of the Chokolivskiy utility tunnel" project. Scientific and technological work report (Books 1-7). Kyiv: NIISK.
4. NIIZhB of USSR Gosstroii. (1984). Recommendations for assessing the condition of reinforced concrete structures during operation in aggressive environments. Moscow.
5. Transport facilities. Bridges and pipes. Loads and effects: DBN V.1.2-15-2009. (2010).
6. Kriveliov, L.I., Karpenko, O.A., Reminets, H.M., Chernyshov, S.M., & Kushevskiy, S.A. (2009). Scientific and technical support for the introduction of large-scale iron in production reinforced concrete pipes-shells. Reconstruction of housing, 11, 66-77. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/gesj_2009_11_10
7. Inzhkomproekt TOV. (2009). Album КК.ТС-240.20-4 (part 1). Working drawings of thin-walled reinforced concrete pipes $D = 2400$ for lining of sewer collectors. Kyiv.
8. Klein, G.K. (1957). Calculation of pipes laid in the earth. Moscow: Gosstroiiizdat.
9. Davydov, S.S. (1950). Calculation of underground structures. Moscow: Gosstroiiizdat.

Стаття надійшла до редакції 26.05.2021 року