

ТЕХНОЛОГІЯ ЗАХИСТУ ВІД КОРОЗІЇ КОНСТРУКЦІЙ ДУБЛЮЮЧИХ КАНАЛІЗАЦІЙНИХ ТУНЕЛІВ У м. ХАРКОВІ

Каналізаційні тунелі м. Харкова протяжністю близько 56 км, діаметром 2000 мм і більше, що були прокладені із залізобетонних конструкцій понад 40 років тому, перебувають в аварійному чи перед аварійному стані внаслідок інтенсивної дії руйнівних чинників [1, 2, 3, 4].

Як свідчать дослідження [5, 6, 7, 8], для системи водовідведення найважливішим є довговічність бетону за умов кислотної агресії. Важливим критерієм довговічності є стійкість до дій кислот і сульфатів. Сірчана кислота (H_2SO_4), що міститься в ґрунтових водах, хімічні відходи або продукти окиснення з інших сполук сірки агресивно впливають на складові бетонної матриці та розчиняють їх. У каналізаційних трубопроводах і тунелях можуть виникати сильні пошкодження в результаті розвитку сірчано-кислотної корозії біогенного характеру (БСК – BSK) або в результаті несанкціонованого скидання брудних промислових вод, що містять кислоти або сульфати.

Ремонтно-відновлювальні роботи в каналізаційних тунелях глибокого залягання повинні проводитися за умов відсутності стічних вод і забезпечення необхідного вентилявання ділянок ремонту.

Під час розроблення організаційно-технологічних рішень ремонту та відновлення каналізаційних тунелів міста важливу роль відіграє наявність і функціонування дублюючих тунелів і пов'язана з ними система кільцювання, яка дає можливість звільнити ділянки, що підлягають обстеженню та ремонту, від стічних вод [9, 10].

На жаль, за майже п'ятидесятирічний термін експлуатації ні дублювання, ні кільцювання



Д.Ф. Гончаренко

проректор з науково-педагогічної роботи Харківського національного університету будівництва та архітектури,
д.т.н., професор

на каналізаційних тунелях м. Харкова не було виконано, що практично не дає змоги експлуатуваникам реалізувати розроблені ще в 1991 р. «Правила технічної експлуатації та ремонту каналізаційних колекторів діаметром більше 1500 мм», які передбачали припинення подавання стічних вод у ділянку, що підлягає обстеженню і відновленню.

Нині не завершено будівництво головного дублюючого колектора із спадним затвором, розташованого перед головною каналізаційною станцією. Слід зазначити, що при проектуванні не була врахована можливість пошкодження конструкцій корозією. Тому наразі є необхідність перегляду проекту і ухвалення рішень щодо додаткових заходів, які підвищують захист колектора від корозії з урахуванням його неповного затоплення ґрунтовими водами.

Окрім головного дублюючого тунелю в м. Харкові незавершеними будівництвом є каналізаційний тунель по пров. Досвідному, каналізаційний розвантажувальний тунель Салтівського житлового масиву, каналізаційний тунель «Селище П'ятихатки», на якому побудовано 4680 м із запроектованих 5420 м. На багатьох із них відсутня залізобетонна обробка.

Головний дублюючий тунель м. Харкова згідно з проектом має протяжність 1052 м (рис. 1).

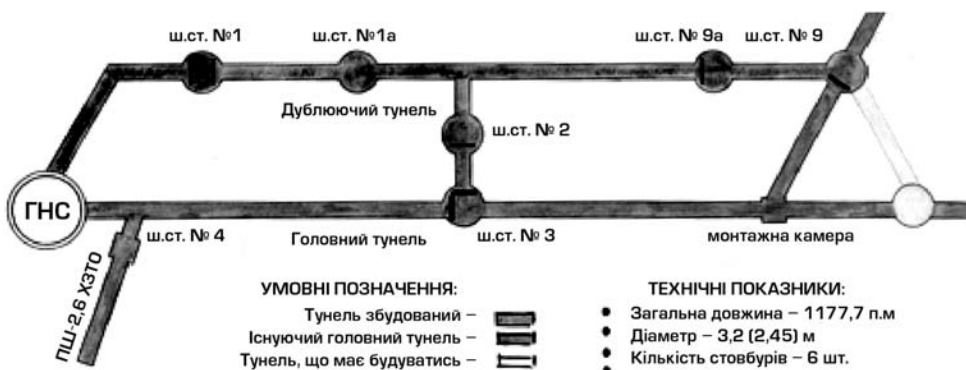


Рис. 1.
Схема головного дублюючого тунелю

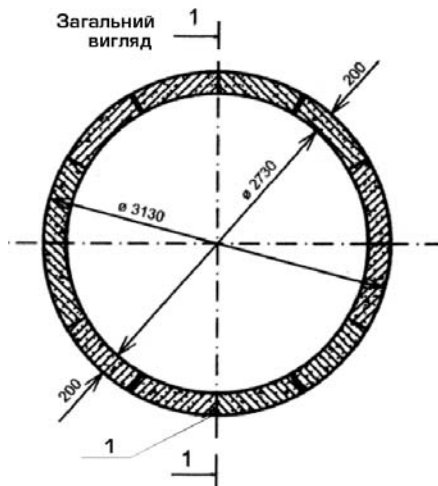


Рис. 2. Конструктивне рішення головного дублюючого тунелю

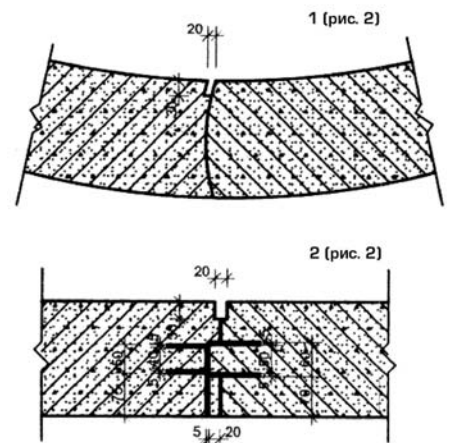


Рис. 3. Стикування тюбінгів головного дублюючого тунелю

Він споруджується з застосуванням щита ПЩ-3,2 (рис. 2, 3) і здатний пропускати близько 70 % стоків, що направляються (у перспективі) по головному колекторному тунелю.



Рис. 4. Загальний вигляд головного дублюючого каналізаційного тунелю

Наразі головний каналізаційний тунель пропускає до 700 тис. м³ стоків за добу, а в перспективі буде пропускати 1000 тис. м³ стоків за добу, дублюючий колекторний тунель – 730 тис. м³ стоків за добу.

Будівництво головного дублюючого каналізаційного тунелю було розпочато ще в 1992 р. і до сьогодні не закінчено (рис. 4, 5, 6).

Враховуючи тривалий термін консервації тунелю (25 років, 1992–2017 рр.), необхідно провести його обстеження, скоректувати проектно-кошторисну документацію, вирішити питання фінансування для завершення будівництва.

Введення його в експлуатацію дозволить ліквідувати п'ять каналізаційних насосних станцій та підвищити надійність усієї системи водовідведення.



Рис. 5. Стан конструкцій головного дублюючого каналізаційного тунелю



Рис. 6. Оглядова шахта на головному дублюючому каналізаційному тунелі

Згідно з прийнятими у 2013 р. нормативними документами [11] при виборі матеріалів і розрахунку обробки тунелів необхідно враховувати вимоги СНиП 2.06.08, СНиП 2.06.09, ДСТУ Б В.2.7-43, ДБН В.2.3-7. Конструкції залізобетонних обробок повинні відповідати вимогам щодо міцності, водонепроникності, стирання, корозійної стійкості.

Обробку тунелів рекомендується проектувати зі збірного залізобетону, монолітного бетону або залізобетону, а при спорудженні тунелів у складних інженерно-геологічних умовах – із чавунних тюбінгів. Товщина елементів обробки тунелів визначається розрахунком.

Проектні класи бетону конструкцій каналізаційних тунелів за міцністю на стиснення рекомендується приймати не нижче ніж клас, вказаний у таблиці 1 [11].

Таблиця 1

Клас бетону конструкцій за міцністю на стиснення

Вид конструкцій	Клас бетону за міцністю на стиснення, не нижче
Залізобетонні блоки обробки суцільні або ребристі	B30
Залізобетонні блоки обробки монолітні	B25
Бетонні обробки монолітні	B15
Внутрішні бетонні та залізобетонні конструкції монолітні	B15
Внутрішні залізобетонні конструкції збірні	B25
Попередньо напружені залізобетонні конструкції	B25

Облицювання тунелів, що складається з первинної збірної конструкції та вторинної обробки монолітної залізобетонної, повинне розраховуватися на сприйняття і навантаження від гірського тиску тільки першою обробкою. Вторинна обробка призначена для гідроізоляції та в розрахунок на навантаження від гірського тиску не включається.

Відповідно до нормативних вимог [11] бетон для елементів конструкцій каналізаційних тунелів необхідно визначати в проекті залежно від гідрогеологічних умов у районі будівництва, можливого внутрішнього тиску та з урахуванням заходів із захисту залізобетонних і бетонних конструкцій від корозії, але не нижче від марки W12-W20 (не нижче W6) за водонепроникністю, яку рекомендується приймати.

Проектні марки бетону конструкцій каналізаційних тунелів за морозостійкістю слід призначати залежно від умов їх роботи, але не нижче F75.

Для залізобетонних тунелів і шахтних стовбурів з агресивним газоподібним внутрішнім середовищем рекомендується приймати бетон згідно з СНиП 2.03.11 (2.50).

Строк тужавлення (вік) бетону, який відповідає його маркам за міцністю на стиснення, осьовим розтягуванням, водонепроникністю та морозостійкістю, прийнято таким, що дорівнює 180 діб.

Каналізаційні тунелі необхідно захищати від інфільтрації поверхневих і ґрунтових вод, а також ексфільтрації стічних вод. Водонепроникність обробки забезпечується застосуванням відповідних матеріалів, обклеюванням обробки гідроізоляційними матеріалами, металоізоляцією, ущільненням прилеглого до тунелю ґрунтового масиву, цементацією, глинізацією, силікатизацією або іншими методами, нагнітанням за обробку спеціальних розчинів, закладанням швів і отворів із зачеканюванням швидко-тужавними матеріалами або пневмобетоном (відповідно до 4.26-4.29 СНиП 11-44).

Відповідно до розділу 8.13.13 [11] слід передбачати техніко-економічні обґрунтовані заходи щодо захисту бетону каналізаційних тунелів, шахтних стовбурів і свердловин від газової корозії для збільшення терміну їх служби, а саме: спеціальні антикорозійні покриття, камери дегазації, примусове провітрювання, зниження турбулентності потоку, застосування спеціальних добавок, збільшення товщини вирівнюючої (не несучої) обробки, гідроізоляції тощо.

Дослідження стану конструкцій головного дублюючого тунелю показало, що у тунелі відсутня герметизація стиків тюбінгів, внаслідок чого спостерігається інфільтрація стічних вод, про що свідчить наявність сталактитів (рис. 5).

Конструкції дублюючих тунелів, як і конструкції експлуатованих тунелів, не відповідають нормативним показникам (табл. 2). Якщо за існуючими нормами [11] клас міцності на стиснення залізобетонних блоків обробки повинен відповідати класу бетону B30, то згідно з проектними даними він відповідає класу B25. Бетонна обробка з монолітного залізобетону класу B15, як впливає з проектних даних, відповідає нормативним показникам, тобто класу бетону B15.

Характеристика залізобетонних конструкцій головного дублюючого тунелю

Конструкції	Клас міцності на стиснення		Водонепроникність W		Морозостійкість F	
	нормативний	проектний	нормативна	проектна	нормативна	проектна
Залізобетонні блоки обробки суцільні або ребристі	B30	B 25	12	4	75	100
Залізобетонні блоки обробки монолітні	B 25					
Бетонні обробки монолітні	B 15	B 15	12	4	75	100
Внутрішні бетонні та залізобетонні конструкції монолітні	B 15					
Внутрішні залізобетонні конструкції збірні	B 25					
Попередньо напружені залізобетонні конструкції	B 25					

Одним із головних показників при експлуатації конструкції в агресивному середовищі є водостійкість. Якщо за нормами водостійкість повинна бути в межах W_{12} – W_{20} , але не нижче W_6 , то згідно з проектними даними водонепроникність як несучих, так і захисних конструкцій тунелю відповідає показнику W_4 .

Щодо зменшення впливу агресивного середовища на конструкції каналізаційних тунелів, то в його основі лежить запобігання тим чи іншим механізмам мікробіологічного руйнування будівельних конструкцій. Одним із них є вентиляція тунелів, що при значних відстанях між оглядовими шахтами є неможливою для м. Харкова.

Як свідчать проведені дослідження [9, 12], для бетонів, що зазнають сильної хімічної дії, важливо створювати перешкоду при проникненні агресивного середовища в бетонну матрицю або ж початкові матеріали бетону повинні мати достатню стійкість до цієї агресивної дії.

Одним із варіантів захисту несучих конструкцій тунелів від корозії є застосування самоущільнюваних бетонів [12], які запропоновані для влаштування обробки в головному дублюючому тунелі.

Характерною властивістю бетону (СУБ – SVB) є його самоущільнення від власної ваги. Завдяки своїй високій рухливості бетон звільняється від повітря без будь-яких енерговитрат. А його підвищена рухливість забезпечує отримання комплексних структур із високим ступенем армування. Завдяки таким властивостям самоущільнюваний бетон є альтернативою звичай-

ному бетону за економічними, екологічними і планувальними показниками.

Через безліч видів складів бетону довговічність самоущільнюваного бетону порівняно зі звичайним мало вивчена. Виходячи з цього, метою досліджень, що проводяться, є розроблення самоущільнюваного бетону із підвищеною стійкістю до хімічної агресії в системах водовідведення.

Для влаштування залізобетонної монолітної обробки дублюючих тунелів згідно з нормативними документами [11] використовується бетон класу B15. Роботи з влаштування обробки виконуються з використанням тунельної опалубки.

Дібрано склад важкого бетону класу B15 (марки M200 на цементі марки ПЦ500).

Для досягнення високої структурної щільності запропоновано комбінацію з цементу і золи-винесення в кількості 15 % від маси цементу і гідрофобної добавки Sika-1 у кількості 0,8 % від ПЦ. При цьому гідрофобна добавка вводиться з водою замішування.

У системах водовідведення через наявність мікробіологічних процесів слід було б піддавати бетон випробуванню на стійкість і довговічність у спеціальному біореакторі, зважаючи на біогенну кислотну (сульфатну) корозію та шкідливу дію сірчаної кислоти (H_2SO_4) [12]. Для використання результатів випробувань на практиці потрібні подальші дослідження щодо ступеня агресивності середовища і часу протікання його агресивної дії в тунелях.

Через відсутність спеціального біореактора було запропоновано провести випробування виготовлених кубиків на міцність у лабораторних умовах із подальшим випробуванням цілих кубиків з цієї партії на їх стійкість до дії агресивного середовища в одній з оглядових шахт.

Після набору міцності впродовж 28 діб випробування кубиків показали, що їх міцність перевищує проектну. Тобто, при запроектованій міцності В15 (200 кг/см²) у результаті випробувань отримали міцність 205 кг/см².

Тривале перебування кубиків в оглядовій шахті показало їх високу стійкість до агресивного середовища, що свідчить про можливість використання розробленого складу бетону для влаштування обробки дублюючих тунелів.

Висновки.

Відновлення нормативних експлуатаційних характеристик каналізаційних тунелів м. Харкова, підвищення їх довговічності – вит-

ратне і технічно складне завдання, що потребує негайного вирішення для запобігання аваріям, у тому числі таким, що мають серйозні екологічні наслідки. Це також стосується дублюючих тунелів, конструкції яких за своїми характеристиками не відповідають вимогам державних будівельних норм України і не можуть бути прийняті в експлуатацію.

Для підвищення корозієстійкості конструктивних елементів тунелів і шахт особливу увагу слід приділяти бетонним сумішам із хімічними добавками, самоущільнюваним бетонам, полімерним матеріалам і конструкціям.

Для підготовки до експлуатації дублюючих тунелів, водонепроникність конструкцій яких не відповідає нормативним вимогам, запропоновано склад бетонної суміші, нанесення якої передбачається або торкрет-бетонними установками, або з використанням тунельної опалубки.

- [1] *Абрамович И.А.* Сети и сооружения водоотведения. Расчет, проектирование, эксплуатация / И.А. Абрамович. – Харьков: Глобус, 2005. – 288 с.
- [2] *Абрамович И.А.* Новая стратегия проектирования и реконструкции систем транспортирования сточных вод / И.А. Абрамович. – Харьков: Основа, 1996. – 316 с.
- [3] *Гончаренко Д.Ф.* Эксплуатация, ремонт и восстановление сетей водоотведения: [монография] / Д.Ф. Гончаренко. – Харьков: Консум, 2008. – 400 с.
- [4] *Гончаренко Д.Ф.* Состояние канализационных сетей Харькова / Д.Ф. Гончаренко, О.В. Старкова, А.А. Гармаш // Научный вестник строительства. – Харьков: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2015. – Вып. 2(80). – С. 75–78.
- [5] *Parker C.D.* The corrosion of concrete. – Austral. J. Exp. Biol. Med. Sci., 1947, 23, pp. 81–98.
- [6] *Юрченко В.А.* Кинетика биогенной коррозии бетона в канализационных сетях (химия, микробиология и контроль процесса) / В.А. Юрченко, Бригада Е.В., Архипов О.В. – Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2014. – 69 p.
- [7] *Юрченко В.А.* Кинетические характеристики микробиологической коррозии бетона в сетях водоотведения / В.А. Юрченко, Е.В. Бригада // Вода и экология: проблемы и решения. – СПб.: ЗАО «Водопроект-Гипрокоммунводоканал Санкт-Петербург», 2014. – Вып. 1 (57). – С. 51–61.
- [8] *Alexei Garmash, Dmitrii Bondarenko, Gennadii Zubko, Dmitrii Goncharenko.* On renovation of the destroyed tunnel sewer collector in Kharkiv // World Journal of Engineering, 2016. – Vol. 13 Iss: 1, PP. 72–76.
- [9] *Гончаренко Д.* Пути повышения эксплуатационной надежности канализационных тоннелей / Д. Гончаренко, А. Гармаш, В. Булгаков // MOTROL. – Commission of motorization and energetics in agriculture: Polish Academy of sciences. – Lublin, 2016. – Vol. 18. – № 6. – С. 3–10.
- [10] *Гончаренко Д.Ф.* Фактори, що визначають ремонтноздатність каналізаційних тунелів / Д.Ф. Гончаренко, О.О. Гармаш // Тези доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції «Ефективні організаційно-технологічні рішення та енергозберігаючі технології в будівництві». – Харків, ХНУБА, 2016. – С. 22–23.
- [11] ДБН В.2.5-75:2013 Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. – 96 с.
- [12] *Daniel Ufermann, Manfred Lohse, Jochen Müller-Rochholz.* Untersuchungen zur Korrosionsbeständigkeit von Selbstverdichtendem Beton unter Schwefel – Sanreexposition // Korrespondenz Abwasser, Abfall, 2010 (57), № 3. – S. 231–239.

Надійшла 10.07.2017 р.