



Національний університет
водного господарства
та природокористування

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування
Кафедра водопостачання, водовідведення та бурової
справи

03-06-96

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з навчальної дисципліни «Утримання інженерних споруд» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Мости та транспортні тунелі» спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» денної форми навчання

Рекомендовано науково-методичною радою з якості ННІБА
Протокол № 1
від 10.10.2019 р

Рівне – 2019



Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Утримання інженерних споруд» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Мости та транспортні тунелі» спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» денної форми навчання [Електронне видання] / Трач Ю. П., Трач Р. В. – Рівне : НУВГП, 2019. – 63 с.

Укладачі: Трач Ю. П., канд. техн. наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення та бурової справи; Трач Р. В., канд. ек. наук, доцент кафедри мостів і тунелів, опору матеріалів і будівельної механіки.

Відповідальний за випуск: Мартинов С. Ю., д-р. техн. наук, доцент, завідувач кафедри водопостачання, водовідведення та бурової справи.

Керівник групи забезпечення спеціальності Бабич Є. М., д-р. техн. наук, професор.



Зміст	3
Вступ	4
Тема 1 Довговічність будівельних конструкцій	5
Тема 2 Фізична та фізико-хімічна корозія бетону	8
Тема 3. Корозія металів. Електрохімічна корозія залізобетону	19
Тема 4. Біологічна корозія інженерних споруд.	27
Тема 5 Організація відведення води з мостів та транспортних тунелів	35
Тема 6 Освітлення транспортних тунелів	41
Тема 7 Тунельне повітря і джерела погіршення його стану. Природна система вентиляції тунелів	48
Тема 8 Системи штучної вентиляції транспортних тунелів	55
Рекомендована література	61



Вступ

Лекційний курс «Утримання інженерних споруд» побудовано з урахуванням взаємозв'язку фізико-хімічних процесів, що призводять до змін у структурі будівельних матеріалів під впливом агресивних факторів довкілля, з довговічністю та надійністю будівельних матеріалів і конструкцій. У ньому докладно розглядається механізм фізичної, хімічної, електрохімічної, електричної та біологічної корозії будівельних матеріалів і конструкцій. Показано вплив агресивних корозійних середовищ на стійкість і довговічність будівельних виробів. Відмічаються перспективні сучасні напрями захисту будівельних конструкцій в агресивних середовищах.

В перелік лекційних тем включені питання організації системи вентиляції в транспортних тунелях та світла. вивченню необхідності увага приділяється поведінці бетонних, залізобетонних і металоконструкцій. Лекційний курс закріплюється проведенням практичних занять і самостійною роботою студентів.



Лекція 1

Довговічність будівельних конструкцій

Способи забезпечення довговічності будівельних матеріалів

Термін корозія (з грецького «роз'їдання») означає процес руйнування будівельних матеріалів та конструкцій через хімічну, електрохімічну, біохімічну та інші види їх взаємодій з довкіллям.

Вона завдає народному господарству величезних збитків. Близько 10% маси щорічного виробництва чорних металів витрачається на відшкодування їх втрат від корозії. Часто через корозійне пошкодження доводиться замінювати окремих вузол чи навіть всю інженерну конструкцію. Витрати, пов'язані з виготовленням нової конструкції, набагато перевищують вартість зруйнованого її елемента. Сам ремонт споруди чи її частини, зазвичай, є дорогим через великі витрати праці та застосування дефіцитних матеріалів. При врахуванні витрат, що пов'язані з втратами виробництва в період ремонту й аварійних зупинок, то корозійні процеси заподіюють величезні збитки як окремим підприємствам, так і всьому господарчому комплексу держави. Отже, захист інженерних споруд від корозії є однією з головних і пріоритетних проблем у вирішенні питань забезпечення довговічності будівель і споруд.

З огляду на тенденцію останніх років використання у промисловості будівельних матеріалів відходів виробництва (золи, шлаків, золашлакових сумішей і т.п.), застосування для виготовлення бетонних і залізобетонних (з/б) споруд слід вирішувати проблему довговічності цих конструкцій навіть



при експлуатації в нормальних атмосферних умовах (житлові, адміністративні будівлі і т.п.).

Важливу роль у забезпеченні довговічності інженерних споруд відіграє культура виробництва та експлуатації, покращення якості виробів при їх виготовленні. Вибір будівельних матеріалів і конструкцій, засобів їх захисту треба здійснювати залежно від проектного терміну експлуатації будівлі.

Сучасні європейські норми проектування залізобетонних інженерних споруд включають аналіз впливів, поділяючи їх на впливи довкілля, хімічні, фізичні та непрямі впливи, розрахунок довговічності, вимоги до захисного шару, до будівельних матеріалів, здійснення робіт та до якості їх виконання.

Хімічний вплив може виникати внаслідок експлуатації споруди, наприклад, яка використовується для зберігання рідини; впливу довкілля; взаємодії з багатьма хімікаліями які є в газоподібному або рідкому станах, найчастіше розчинів кислот і сульфатних солей; вмісту хлоридів у складі бетону; реакцій між складовими бетону, наприклад, реакції луговмісних заповнювачів.

Фізичний вплив відбувається внаслідок дії сил тертя, впливу заморожування і відтавання, водопоглинання.

Непрямі впливи виникають унаслідок деформацій конструкції в цілому, окремих несучих або конструктивних елементів, викликаних навантаженнями, температурою, повзучістю, усадкою, мікротріщинами і т.д.

Забезпечення довговічності інженерних споруд досягається шляхом:



- використання конструктивних форм, що потребують мінімального водоцементного (В/Ц) відношення та води замішування;

- надання спорудам або деталям розміру і форми, що забезпечують необхідний водовідвід і відсутність застою води та тріщин, через які могла б просочуватися вода.

Довговічність зовнішніх будівельних елементів з бетону досягається при:

- обмеженні мінімальної товщини бетонного покриття;
- обмеженні максимально припустимого обсягу пор;
- обмеженні максимально припустимих розмірів тріщин;
- обмеженні вмісту необхідних пороутворюючих добавок.

Суттєвий вплив на структуру бетону мають тонкодисперсні наповнювачі. Їх можна умовно поділити на дві групи:

- наповнювачі-розріджувачі цементу (мелені шлаки, золи та інші);
- ультратонкі наповнювачі.

Введення ультратонких наповнювачів сприяє отриманню досить щільних та довговічних бетонів при незначному підвищенні В/Ц та гарантує його стійкість у випадках, коли зовнішній негативний вплив починається раніше, ніж цементний камінь прогрідає і бетон стане досить щільним.

Заходи щодо забезпечення тривалої довговічності бетону та бетонних інженерних споруд поділяються на внутрішні і зовнішні. Внутрішні заходи полягають у забезпеченні вимог до основних вихідних компонентів



бетону. Зовнішніми факторами є: вологість, температура, забруднення повітря й води, хімічні, механічні та біологічні.

Лекція 2

Фізична та фізико-хімічна корозія бетону

План

1. Температурна деформація бетону.
2. Морозне руйнування бетону.
3. Засоби антикорозійного захисту бетону.
4. Природні агресивні середовища.
5. Корозія бетону першого та другого видів.

Найбільший інтерес, з погляду впливу зовнішніх факторів, викликає бетон та залізобетон, які є найбільш дешевими і найбільш широко застосованими в сучасному будівництві.

До факторів, які призводять до фізичної корозії бетону, відносять нагрівання і охолодження, поперемінне насичення водою, заморожування і відтавання, циклічне насичення розчинами солей при наявності поверхні випару. Вищезгадані фактори призводять до розвитку внутрішніх напружень і деструктивних процесів у бетоні за рахунок температурних об'ємних змін компонентів, фазових перетворень води, кристалізації солей і т.п.

Температурні деформації бетону

Температурні деформації бетону є неминучими в громіздких гідротехнічних спорудах. Вільні температурні



деформації характеризуються коефіцієнтом лінійного розширення бетону. Він залежить від складу і віку бетону, виду заповнювача і вологісного режиму експлуатації. Через порушення вологісної рівноваги між бетоном і навколишнім середовищем, через нерівномірне протікання дифузії вологи в об'ємі бетону, то в ньому можуть виникати усадочні деформації (при висушуванні) або набрякання (при насиченні водою).

Морозне руйнування бетону

На морозне руйнування бетону впливають температура і вологість, фазові перетворення води й осмотичні сили. Встановлено, що основну роль у процесах морозного руйнування бетону відіграє характер капілярно-пористої структури матеріалів з яких він виготовлений.

Загальну пористість поділяють на капілярну, контракційну і гелеву. Морозостійкість будівельних матеріалів, у тому числі бетону, пов'язана головним чином з капілярною пористістю, яку необхідно звести до мінімуму, а для цього треба знижувати В/Ц до 0,3-0,4. При мінімальному В/Ц та оптимальній витраті цементу це забезпечить рівномірність розподілу пор по всьому об'єму і мінімальну загальну пористість.

При проектуванні морозостійких бетонів слід використовувати комплексний підхід. По-перше, необхідно враховувати кліматичні умови служби бетону: кількість циклів заморожування і відтавання і найбільш низьку температуру. По-друге, брати до уваги властивості компонентів бетону і здійснювати підбір оптимального складу з мінімальною капілярною пористістю.



Корозія від впливу солей

Сольова корозія бетону – це вид фізичної корозії, який виникає в результаті кристалізації солей через капілярне підсмоктування та випарування мінералізованих вод в умовах експлуатації бетону при позитивних температурах. Особливо небезпечно, коли в порах бетону спочатку кристалізуються безводні солі, а потім з появою відповідних умов ці солі перетворюються в кристалогідрати.

Такі перетворення спричиняють збільшення об'єму твердої фази і виникають суттєві внутрішні напруження у тілі бетону. Зміна температурних режимів вдень і вночі сильно змінює розчинність солей, умови підсмоктування та їх кристалізації. Найбільш небезпечні в осмотичному відношенні добре розчинні солі.

Для того, щоб запобігти цьому виду корозії, треба застосовувати бетони з відкритою пористістю не вище 2 % або захищати їх гідроізоляцією відповідно до ДСТУ 2.03.11-85.

Механічний знос

Механічний знос теж відноситься до фізичних факторів і враховує всі види механічних впливів: удари хвиль, дію стирання завислих часток, ударні і вібраційні навантаження і т.п.

Абразивний знос бетону і з/б проявляється через рух сипучого матеріалу по їх поверхні або ударно-стиральної дії частинок матеріалу. Абразивний знос у більшості випадків супроводжується корозійним зносом, якому сприяє наявність у сипучому матеріалі вологи і неорганічних солей.

З метою захисту від ударних впливів бетонних і з/б конструкцій інженерних споруд використовують захисні



футеровки, наприклад, листи сталі, шлакове лиття, що має дуже високу корозійну стійкість.

Враховуючи вище сказане постала необхідність класифікації корозійних впливів, залежно від виду середовищ експлуатації будівельних виробів та конструкцій з урахуванням техніко-економічних чинників, які пов'язані зі строками служби будівель та споруд. Агресивні середовища класифікують за їх фізичним станом на рідкі, тверді і газоподібні.

Природні рідкі середовища

Всі рідкі середовища вміщують воду. Її властивості обумовлюють протікання природних і технологічних процесів. Тому розгляд експлуатаційних рідких середовищ необхідно почати саме зі звичайної води.

Вода, як хімічна сполука, хоча й у малому ступені, але дисоціює на іони за схемою:



З підвищенням температури і тиску ступінь дисоціації води зростає. У зв'язку з тим, що вода має дуже велику діелектричну постійну та, вона може розчиняти багато речовин. Розчинення може супроводжуватися появою гідратів, тобто хімічних сполук, що містять молекули води, а також гідролізом, що змінює значення її рН.

Найважливішою характеристикою води є показник рН. У поверхневих водах значення рН знаходиться в діапазоні від 4,5 до 8,5, а в ґрунтах – від 4,0 до 9,0. У широких межах рН (4-8,5) повністю розчинні тільки солі лужних металів (K, Na) і в меншій мірі лугоземельних (Ca, Mg), а також галоїди (Cl, F).



Виходячи з умов формування природних вод за значенням рН, їх можна розділити на чотири групи (за класифікацією А. І. Перельмана):

- 1) сильнокислі ($\text{pH} < 3$). Кислотність у них обумовлена наявністю вільної сірки або соляної кислоти;
- 2) кислі й слабокислі ($3 < \text{pH} < 6,5$). Кислотність води залежить від наявності органічних та неорганічних кислот;
- 3) нейтральні й слаболужні ($6,5 < \text{pH} < 8,5$), що пов'язано наявністю $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$;
- 4) сильнолужні ($\text{pH} \geq 8,5$), що обумовлено присутністю сильних основ (лугів).

Важливою характеристикою водних розчинів є їхній окислювально-відновний потенціал – E_h . Величина E_h показує співвідношення різних форм хімічних речовин у водному розчині. Окисні процеси протікають за наявності у воді розчиненого кисню. Проте окислювачами можуть бути й інші елементи, здатні приймати електрони. Зі зменшенням вмісту кисню у воді вона набуває більш відновне середовище. У відновному середовищі кисню немає. При цьому значення E_h низьке – як правило, менше 0,1 В.

Газоповітряні агресивні середовища й аерозолі

У чистому та сухому атмосферному повітрі бетонні, залізобетонні, сталеві і природні кам'яні елементи інженерних споруд можуть безпечно експлуатуватися багато років. Типовий склад атмосферного повітря складається із таких газів, %: азоту – 78; кисню – 20,95; аргону – 0,92; вуглекислого газу – 0,03. Інша частина повітря, що складає 0,1 %, приходить на водень, інертні гази (неон, криптон, гелій, радон), а також на хімічноактивні та токсичні гази, такі як аміак, сірководень та інші.



Газоподібні хімічні речовини, які перевищують гранично-допустимі концентрації у повітрі, попадають до нього в результаті господарської діяльності людей. В результаті відбувається активізація корозійних процесів на поверхні інженерних споруд та обладнання. Основні газоподібні забруднювачі повітря – продукти згоряння палива на теплових електростанціях, у котельнях та різних паливних пристроях, двигунах внутрішнього згоряння і т.п. Корозійні процеси суттєво активізуються у приміщеннях та на території промислових підприємств, у технологічному процесі яких переробляються гази, агресивні щодо бетону або сталевий арматури.

Звичайне повітряне середовище є неагресивним по відношенню до щільних штучних будівельних матеріалів неорганічного походження, але для залізобетону слід враховувати температурно-вологісні умови його експлуатації, особливо коли матеріали експлуатуються у промислових приміщеннях.

Для оцінки ступеня агресивності газоповітряного середовища, слід здійснити хімічний аналіз повітря, встановити якісний та кількісний його склад, згідно ДСТУ Б В.2.6-145:2010 Захист бетонних і залізобетонних конструкцій від корозії. Загальні технічні вимоги (ГОСТ 31384:2008, NEQ) встановити групу агресивності газів. Відповідно до наявності в повітрі декількох газів до уваги беруть найбільш агресивну групу.

Відповідно до відносної вологості атмосферне повітря поділяється на сухе ($W \leq 60 \%$), нормальне ($W = 61-75 \%$) і вологе ($W \geq 75 \%$). Відносна вологість, температура і концентрація газів є основними характеристиками газоподібних середовищ, що визначають ступінь їхньої



агресивності стосовно матеріалів згідно зі ДСТУ Б В.2.6-145:2010.

Тверді агресивні середовища

До твердих агресивних середовищ, з якими можуть контактувати з/б конструкції, відносяться сухі мінеральні ґрунти й різні сипучі хімічні матеріали: добрива, фарби, гербіциди та інші хімікати. Корозійні процеси в твердих середовищах при звичайній температурі без участі рідкої фази не протікають. Агресивність сухих ґрунтів обумовлюється кількістю і складом солей, що містяться в них, умовами зволоження і вологістю клімату.

Для внутрішніх приміщень небезпека порошкоподібного твердого середовища визначається зволоженням за рахунок конденсаційної вологи. При вологості повітря менше 100 %, але більшої ніж рівноважна для даного розчину, останній буде поглинати воду з повітря доти, поки не відновиться рівновага з навколишнім середовищем. Ступінь агресивності твердих середовищ знаходиться у прямій залежності від їх гігроскопічності. Активний агресивний вплив пилоподібних твердих середовищ виникає у випадку, якщо під шаром пилу в результаті конденсації з пари утворюється плівка рідини – водного розчину пилу.

Корозія в рідких середовищах – це самий небезпечний й найпоширеніший вид корозії. За видами хімічної взаємодії іонів середовища з іонами порового електроліту бетону можна виділити дві групи реакцій корозії:

- обмінні хімічні реакції з утворенням легкорозчинних солей або важкорозчинних сполук, які не пов'язані між собою;



- реакції з утворенням важкорозчинних добре закристалізованих солей.

Аналіз реакцій першої групи показує, що найбільш небезпечними в розчині, який контактує з бетоном є катіони H^+ , Mg^{2+} , Zn^{2+} , Al^{3+} , Fe^{3+} , Cu^{2+} , NH_4^+ . Вони при взаємодії з гідроксильними іонами порового електроліту утворюють добре розчинні солі або незв'язані аморфні гідроксиди. При цьому знижується величина рН порового електроліту, що сприяє виникненню процесу гідролізу продуктів гідратації цементу і розвитку деструктивних процесів.

У протіканні реакцій другої групи особливе значення мають реакції з сульфат-іонами, а найбільш небезпечними є поєднання з катіонами NH_4^+ , Mg^{2+} , Zn^{2+} , Al^{3+} , Fe^{3+} та Cu^{2+} . Розчини цих солей за агресивністю можна порівняти з сірчаною кислотою. Використовують дві класифікації видів хімічної корозії бетону: за видом агресивного середовища і за механізмом агресивного впливу середовища на матеріал.

Корозія бетону першого виду

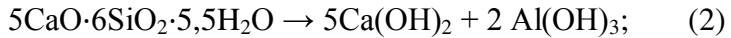
До першого виду хімічної корозії бетону й залізобетону відносять корозію вилугування. Процес вилугування виникає в цементному камені, бетоні або залізобетону при дії на них слабомінералізованих природних вод.

Вплив такої корозії відчувають труби, греблі, мостові конструкції, причальні стінки морських і річкових портів, палі підвалів тощо. Вилугування виникає при дії води з малою тимчасовою жорсткістю. Це призводить до фізико-хімічного розчинення продуктів гідратації цементу, а для конструкцій винос розчинених складових цементного каменю. Поки немає фільтрації, усі гідратні сполуки



цементного каменю знаходяться в рівновазі із $\text{Ca}(\text{OH})_2$, розчинність якого досить висока і дорівнює $1,2 \text{ г CaO/дм}^3$

У процесі фільтрації вапно вилугується і починається поступове розчинення всіх гідратних сполук цементного каменю за схемою (2) та (3):



Швидкість корозії при вилугуванні залежить не тільки від швидкості розчинення складових частин цементного каменю, але й від хімічного складу води. Особливо важливий вміст у ній бікарбонату кальцію і вугільної кислоти. Так, якщо в контакт з бетоном знаходяться вода з підвищеним вмістом бікарбонатів і карбонатів кальцію, то накопичення карбонатів кальцію в капілярах призводить до підвищення щільності бетону і зменшенню швидкості фільтрації. В іншому випадку, вода розчинить не лише складові частини цементу, але навіть той карбонат, що утворився ще до контакту бетону з водою.

Для захисту бетону від корозії I-го виду існують такі заходи:

- а) застосування пуцоланового цементу або цементу з добавкою активного кремнезему;
- б) низьке В/Ц;
- в) інтенсивне ущільнення бетонної суміші (W4 – W8);
- г) застосування різних видів гідроізоляції.

Корозія бетону другого виду

Це найбільш небезпечний та розповсюджений вид корозії. Він проявляється дією розчинів мінеральних кислот HCl , H_2SO_4 , HNO_3 , H_2CO_3 і органічних кислот: оцтової,

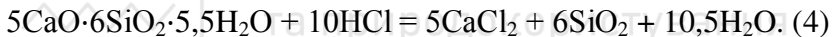


мурашиної, масляної, шавлевої та ін та бетон. Ці процеси характерні для підприємств хімічної і харчової промисловості, а також при дії стічних вод.

Основним показником, характерним для цих середовищ є значення рН середовища, тобто негативний десятковий логарифм молярної концентрації водневих іонів:

- нейтральне середовище – $\text{pH} (-\lg [\text{H}^+]) = 7$;
 $[\text{H}^+] = 10^{-7}$ г-моль $\text{H}^+ / \text{дм}^3$
- кисле середовище – $\text{pH} = 1-7$; $[\text{H}^+] = 10^{-1}-10^{-7}$ г-моль $\text{H}^+ / \text{дм}^3$
- лужне середовище – $\text{pH} = 12$ $[\text{H}^+] = 10^{-12}-10^{-7}$ г-моль $\text{H}^+ / \text{дм}^3$

Під впливом сильних неорганічних кислот бетон розчиняється внаслідок утворення розчинних сполук і швидко руйнується:

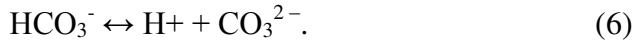
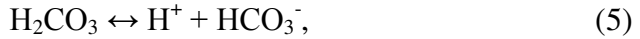


При $\text{pH} < 4$ жоден зі звичайних видів цементу не витримує впливу таких кислих рідких середовищ. Звичайний портландцемент витримує вплив кислих вод із $\text{pH} > 6$, при цьому коефіцієнт фільтрації повинен складати менше 0,1 м/добу. Отже, бетони на будь-яких видах цементу, що експлуатуються у водах із $\text{pH} < 6,5$, термодинамічно не стійкі, але по різному.

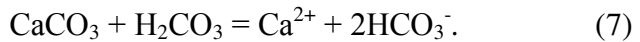
Особливий різновид корозії другого виду – вуглекислотна корозія. Відповідно до ДСТУ Б В.2.6-145:2010 показником агресивності цього виду корозії є вміст у воді вуглекислого газу CO_2 . Якщо його концентрація знаходиться в межах $10-40$ мг/дм³, то для бетону з показником водонепроникності W4 це середовище є слабкоагресивним,



при концентрації більше 40 мг/ дм³ для бетону з W4 – середньої агресивності, але неагресивне для бетону з показником водонепроникності W8. Вугільна кислота дисоціює у воді в два етапи:



Якщо бетон був вже частково карбонізований, корозія в чистому вигляді проявляється розчиненням карбонатної плівки на поверхні бетону:



Якщо вода, в якій розчинена вугільна кислота, рухається до бетону, вкритого карбонатною плівкою, і концентрації Ca^{2+} і HCO_3^- не збільшуються, то карбонатна плівка розчиняється безперешкодно. Тому, вугільна кислота є агресивною кислотою як для бетону, так і для металів, використовуваних як арматура в з/б конструкціях. У всіх випадках, коли вміст вугільної кислоти у воді перевищує рівноважний, у порах цементного каменю не утворюється карбонат кальцію з вапна і кислоти. Карбонат кальцію може утворитися тільки при концентраціях кислоти нижче рівноважних.

Щоб захистити інженерні споруди з бетону від руйнування вугільної кислоти використовують глиноземистий цемент. Менш стійким в цих умовах є пуцолановий цемент. Введення до складу портландцементу 25 % тонкомолотого вапняку істотно підвищує його стійкість до вод з вмістом вуглекислоти.



Лекція 3

Корозія металів. Електрохімічна корозія залізобетону.

План

1. Корозія металів.
2. Електрохімічна корозія залізобетону.
3. Протікання корозійних процесів залізобетону за електрохімічним механізмом.
4. Засоби захисту залізобетону від електрокорозії.

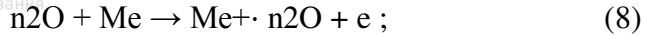
За механізмом протікання корозійних процесів слід розрізняти два типи корозії:

- Хімічна корозія;
- Електрохімічна корозія.

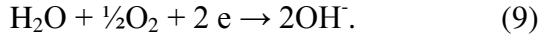
Хімічна корозія відбувається за законом хімічної кінетики гетерогенних реакцій і відноситься до випадків корозії, коли не виникає електричний струм (наприклад, корозія в сухих газах або неелектролітах). При хімічній корозії руйнування металічної поверхні відбувається без розділення на окремі ділянки; крім того продукти корозії утворюються безпосередньо на тих ділянках поверхні металу, де відбувається його руйнування.

Корозія металів найчастіше відбувається за електрохімічним механізмом, для чого необхідне виконання таких умов:

- 1) наявність різниці потенціалів між окремими ділянками поверхні металу, тобто його електрохімічна неоднорідність;
- 2) наявність електролітичного зв'язку між цими ділянками;
- 3) активний стан поверхні на анодних ділянках, де метал руйнується (розчиняється) за схемою



4) наявність достатньої кількості кисню, необхідного для асиміляції (уподібнення) надлишкових електронів на катодних ділянках поверхні металу:



Електрохімічна корозія підкоряється законам електрохімічної кінетики і відноситься до випадків корозії з можливістю виникнення електричного струму (наприклад, корозія металів в електролітах). Характерною особливістю електрохімічної корозії є одночасне протікання двох процесів — окислювального (розчинення металу на одній ділянці) і відновлювального (виділення катіону з розчину, або відновлення кисню на іншій ділянці).

Перший процес називається анодним, другий — катодним. Відповідно ділянка поверхні, на якій розчиняється метал, називається анодом, а ділянка поверхні на якій розряджаються катіони електроліту — катодом.

Корозійний процес, що супроводжується поглинанням і відновленням на катоді газоподібного кисню O_2 , називається корозією з кисневою деполяризацією

Процеси корозії арматурної сталі в залізобетоні мають електрохімічний характер і підкоряються закономірностям, за якими протікає електрохімічна корозія металів. Але в зв'язку з тим, що арматурна сталь у з/б завжди знаходиться під захисним шаром бетону, слід враховувати специфіку цього процесу.

Швидкість корозії арматури залежить як від властивостей самої сталі, так і від властивостей і структури бетону, товщини захисного шару, характеру навколишнього середовища. Захисний шар бетону захищає арматуру від зовнішнього середовища, але не ізолює її повністю. Слід



зазначити, що бетон завжди є проникним для вологи і кисню – основних необхідних речовин процесу електрохімічної корозії сталі.

Оскільки структура сталі і контактного шару бетону в її поверхні неоднорідні, то наявність різниці потенціалів між окремими ділянками поверхні металу має місце завжди.

Анодний процес на поверхні арматурної сталі являє собою реакцію окислювання заліза:



Анодний процес проходить тим легше, чим вище вологість бетону. Причиною цього можуть бути збільшення числа контактів поверхні сталі з електролітом у порах бетону і полегшення переміщення іонів на поверхні арматури.

Катодний процес, при наявності високолужного середовища, протікає з кисневою деполяризацією, тобто відбувається відновлення кисню з перетворенням його в присутності води в іон гідроксилу:



При реальних умовах служби з/б у бетоні будь-якої щільності вміст кисню в порах набагато більший, ніж це необхідно для одержання захисних плівок на арматурі. Величина потенціалу арматурної сталі в бетоні з різними добавками (CaCl_2) може на 0,5В відрізнятись від потенціалу в звичайному бетоні.

Поводження арматури в залізобетоні та способи її пасивації



Арматурна сталь може стати пасивною, коли створити окислювальне середовище. Це є складне завдання, оскільки на залізобетон можуть впливати різні агресивні агенти. Для того щоб попередити виникнення корозії, важливо визначити термодинамічні умови протікання електрохімічних реакцій і залежність їхнього окислювально-відновного потенціалу E_h від рН середовища. Окислювально-відновний потенціал не залежить від природи металу. Якщо значення рН середовища електроліту недостатнє для того, щоб іон двовалентного заліза, що утвориться на аноді, сформував захисну плівку безпосередньо на поверхні аноду, то арматурна сталь піддається корозії.

За певних умов метал, який знаходиться під впливом корозійних процесів, може покриватися безпористим шаром продуктів реакції, наприклад оксидом, що перешкоджатиме безпосередній взаємодії металу й електроліту, тобто наступить пасивний стан металу. Цей стан виникає при потенціалах вище деякого значення, що залежить від природи і складу електроліту, і значення рН.

Встановлено, що на залізі пасивна плівка складається з γ - Fe_2O_3 або Fe_3O_4 , кристалічні ґрати яких подібні. Ця плівка має товщину від 20 до 100 Å, градієнт потенціалу в ній досягає 3·10⁻⁶ В/см, це сприяє протіканню невеликого електричного струму через пасивні аноди за рахунок переносу іонів металу в порах плівки. Оскільки розчиняться може тільки пасивуюча плівка, постійна товщина якої підтримується за рахунок анодного процесу під нею, то швидкість корозії дуже мала.

Присутність водню запобігає утворенню гідроксиду:





Застосування добавок до бетону у вигляді летючих інгібіторів приводить до створення пасивних адсорбційних плівок на поверхні сталі. Крім цього летючі інгібітори, заповнюючи пори, зменшують парціальний тиск кисню в повітрі. У такий спосіб пасивність досягається в присутності досить сильного окислювача, на чому і заснована дія пасиваторів, таких як хромати, нітрити та ін.

Підвищення величини рН в бетоні сприяє тому, що кількість розчиненого кисню в поровому електроліті стає достатнім для збереження пасивності заліза. Різке зниження рН (при прониканні кислих газів) змінює рівновагу. Тому влужному середовищі бетону при $\text{pH} > 11,8$ для кор озії арматури контролюючим є анодний процес, якщо ж $\text{pH} < 11,8$, то утворення і наступна стійкість захисних плівок малоімовірні і контролюючим може виявитися катодний процес.

Для захисту арматурної сталі при катодному контролі потрібна дуже надійна ізоляція арматури від повітряного середовища. Продукти ж корозії, що утворюються внаслідок вторинних процесів в електроліті, сталь не пасивують.

Запобігати корозії арматурної сталі в цементних бетонах доцільно за допомогою прийомів і способів, що забезпечують лужне середовище ($\text{pH} \geq 12$) по всій поверхні контакту порового електроліту з арматурною сталлю. Це гарантує анодний контроль корозійного процесу. Вдаватися до повної ізоляції арматурної сталі від кисню повітря і водяної пари слід тільки в тих випадках, коли заздалегідь відомо, що рН у поровому електроліті бетону при агресивному впливі буде значно знижуватися.

Анодні інгібуючі домішки впливають на анодну реакцію. Це сполуки, які мають окислювальний вплив



(нітри, хромати). Вони сприяють утворенню на анодній частині металевого виробу дуже тонкої пасивної плівки, яка значно уповільнює швидкість корозії на цій ділянці. Анодні інгібітори називають ще пасиваторами. Механізм дії анодних інгібіторів: за рахунок утворення пасивної плівки площа анодної поверхні зменшується, гальмуванням анодного переходу основного металу у розчин.

Більшість анодних інгібіторів корозії вважається небезпечними, тому що при передозуванні або їх нестачі в розчині може спостерігатися ефект, зворотній захисному (збільшення швидкості корозії). До анодних інгібіторів відносяться фосфати, силікати, карбонати лужних металів, гідрофосфат і багато інших. При недостатніх концентраціях в корозійному середовищі анодних інгібіторів корозії спостерігається локалізація корозійних процесів, збільшення швидкості розчинення металу на окремих ділянках.

Катодні інгібітори уповільнюють катодну реакцію. Стаціонарний потенціал системи зсувається в негативний бік, йде зменшення корозійного струму.

На поверхні утворюється адсорбційна плівка. Проходить хімічна реакція, в результаті якої зв'язується деполяризатор. На поверхні, що захищається металу утворюються важкорозчинні сполуки, які уповільнюють корозію, блокуючи поверхню. Катодні інгібітори менш ефективні, ніж мішані або анодні, тому їх використання обмежене. Катодні, як і анодні, не застосовуються в кислих середовищах, тому що в них малоефективні. До них відносяться сульфід натрію, гідразин.

Мішані інгібітори корозії гальмують анодну і катодну реакції. Тому вважається, що мішані інгібітори більш ефективні. Більшість таких сполук працюють за



окислювальним типом. Яскравим прикладом цього виду речовин можна вважати хромати.

Електрокорозія залізобетону та способи захисту

В основі електрокорозії цементного каменю, бетону і залізобетону під дією електричного струму лежать електрохімічні й електроосмотичні процеси. Вони виникають під дією постійного і змінного струму. Впливу електричного струму піддаються всі компоненти залізобетонної інженерної споруди: цементний камінь, заповнювачі й арматурна сталь. Швидкість елетрокорозійних процесів у залізобетоні залежить від виду і параметрів струму, характеру його зміни, властивостей залізобетону та довкілля, включаючи температурно-вологісний режим, провідність, наявність агресивних компонентів.

Найчастіше електрокорозію залізобетону викликають блукаючі струми, джерелом яких можуть бути трамвайні колії, електрифіковані залізниці, метрополітен, внутрішньозаводський та інший промисловий транспорт, електричні установки електролізних цехів підприємств, лінії електропередачі постійного струму системи провід-земля. Корозійний стан споруд, що знаходяться під впливом блукаючих струмів, визначають виміром потенціалу, сили, напрямку і щільності струму в конструкції.

При вході струму в конструкцію утворюється катодна зона, а на виході – анодна. Анодні ділянки в бетоні мають позитивний потенціал щодо навколишнього середовища, а катодні – негативний. У всіх випадках електродом може бути тільки метал, тобто в з/б анодом і катодом можуть служити ділянки арматурної сталі або інших металевих конструкцій, що стикаються з бетоном.



По залізобетонних конструкціях електричний струм рухається шляхом найменшого опору. Найбільшому руйнуванню внаслідок електролізу піддаються місця виходу електричного струму, тобто анодні ділянки арматури.

Бетон має порівняно високий омичний опір, але у вологому стані його провідність може значно збільшуватися. Доведено, що чим вища провідність середовища, тим більша імовірність протікання струму тільки по середовищу, без переходу на металевий провідник. Під впливом електричного струму метали поведуться як провідники першого роду, а бетон, що є електролітом – як провідник другого роду.

Усі метали, в тому числі арматурна сталь, мають високу електричну провідність і значну теплопровідність, тому при протіканні струму через арматуру в ній не відбувається ніяких структурних змін, а спостерігається деякий розігрів або можуть виникнути значні напруження на контактній арматурній сталі-бетон. Якщо сталь виступає в ролі електродів, занурених в електроліт, то тоді ділянки сталі з боку негативного полюсу джерела струму будуть заряджені негативно, а ділянки, з'єднані з позитивним полюсом, заряджені позитивно. Арматурні стержні-анооди в міру анодного розчинення руйнуються, а на стержнях-катадах відбувається відновлення іонів H^+ до H_2 .

Найчастіше блукаючі струми входять у залізобетонну конструкцію з боку ґрунтового електроліту, тоді захисний шар бетону в конструкції трубопроводу, колектору та т.п. може піддаватися значному впливу електричного струму. Цей процес викликає в залізобетоні глибокі фізико-хімічні й структурні зміни. У всіх випадках на анодних ділянках арматури протікає реакція розчинення заліза. У процесі контакту поверхні сталеві арматури з поровою рідиною



цементного каменя ділянки, що є анодом, схильні до переходу в пасивний стан через сильну поляризацію в цьому лужному середовищі ($\text{pH} = 12-13$). Уже при малих значеннях густини блукаючого струму внаслідок різкого підвищення опору (за рахунок утворення захисних плівок) швидкість анодного розчинення заліза сильно сповільнюється.

Основними заходами боротьби з електрокорозією залізобетону є зменшення сил струмів витоку, застосування електрозахисту споруд, підвищення електричного опору самого бетону та використання ізоляційних покриттів, таких як бітумно-петролатумна суміш, бітумна мастика, органічні полімерні матеріали типу полімербетону, бетонополімеру.

Одним з різновидів катодного захисту споруд є протекторний захист - спосіб захисту споруди примусовою катодною поляризацією за допомогою підключення до споруди електродів з металів, які володіють у даному середовищі більш негативним потенціалом, ніж потенціал металу споруди. Але протекторний захист – не вимагає зовнішнього джерела струму. Необхідний для захисту електродний поляризаційний струм створює електрохімічний елемент, в якому роль катоду грає метал споруди, яка захищається, а роль аноду – більш електронегативний метал (магній, цинк та їх сплави).

Лекція 4

Біологічна корозія інженерних споруд.

План

1. Біокорозія металів.
2. Мікробіологічна корозія бетону.
3. Біокорозія органічних будівельних матеріалів.



4. Біокорозія деревини.

Під біокорозією розуміють порушення функціональних властивостей матеріалів і конструкцій об'єктами живої природи. В більшості випадків біокорозія супроводжує інші види корозії матеріалів, які спостерігаються в ґрунті та рідких середовищах (морська, річкова і стічні води). Пошкодження можуть бути зумовлені такими факторами:

а) біомеханічними, коли пошкодження утворені проникненням кореневої системи рослин через дефекти структури комунікацій, колекторів і т. п., або проростанням водоростей, моху прямо на конструкції або гризуни просто механічно дроблять матеріали;

б) біохімічними (наприклад, хробаки виділяють секрети зі своїх залоз, які призводять до корозії сталі або бактерії, як продукти своєї життєдіяльності, утворюють агресивні гази або кислоти).

Біокорозія металів

Найбільш руйнівним для металів є біохімічний фактор, від якого завдаються великі збитки підземним та підводним конструкціям. Найбільший збиток будівельним металоконструкціям та обладнанню спричиняють такі мікроорганізми, як бактерії (мікробіологічна корозія) і гриби (мікологічна корозія).

Мікробіологічна корозія підрозділяється на два види:

- аеробну (протікає в присутності кисню);
- анаеробну, що протікає без доступу кисню (як правило, в умовах стоків): метанове бродіння, гниття органічних речовин, амоніфікація сечовини, сульфатредуючі бактерії.



Так, тіонові бактерії живуть у середовищі, насиченому киснем, і сприяють окислюванню сірки сульфідів, тіосульфідів та інших сполук, що містять сірку, внаслідок чого, у кінцевому підсумку утворюється сірчана кислота. Значення рН при цьому знижується до 5 або 1. У такому середовищі руйнується не тільки сталь, але й інші метали (цей вид корозії був зафіксований при будівництві Київського метрополітену).

Джерелом життєдіяльності залізобактерій служить процес окиснення 2-х валентного заліза у 3-х валентне. Цей процес призводить до утворення гідроксиду заліза, який перетворюється на іржу.

Мікологічна корозія обумовлена дією продуктів життєдіяльності грибів – метаболітів. Цей вид найбільш поширений у гумусовому ґрунті. Існує багато видів грибів, а їх вигляд залежить від температурно-вологісного режиму. Вони розселюються великими колоніями, але зараження може здійснюватися і спорами.

Умовами зараження грибами є не тільки волога, але і різні забруднення поверхні. Руйнування відбувається продуктами життєдіяльності грибів, які, наприклад, порушують захисні плівки металів і прискорюють корозію.

На сьогоднішній день спеціальних нормативних документів по боротьбі з біокорозією не розроблено. Для захисту металів від цього виду корозії застосовують:

- обробку експлуатаційних середовищ засобами, що пригнічують ріст бактерій – бактерицидами (мідний купорос CuSO_4 , Cl_2 , срібна вода, концентрацією 0,1-0,5 мг/л)
- аерація середовища;
- забарвлення металів захисними біоцидними лакофарбовими покриттями (оксидними, фосфатними);



- підвищення якості стикових з'єднань колекторів, підземних комунікацій і використання біоцидних складів для закарбування стиків;
- розробка конструктивних спеціальних матеріалів, що володіють бактерицидними властивостями.

Мікробіологічна корозія бетону

Процес руйнування неметалевих будівельних матеріалів, таких як бетон, цегла, штукатурка, різного призначення сухі будівельні суміші також пов'язаний з дією на них мікроорганізмів. При цьому пошкодження або руйнування таких конструкцій викликано комплексним впливом мікроорганізмів, фізичної і хімічної корозії.

Середовище, яке контактує з бетоном і залізобетоном, буде небезпечним, коли має $pH = 7,2-7,6$, а $Eh \leq 0,1$. Як правило, будівля з бетону (або цегли) уражається грибами і бактеріями дуже сильно, при цьому фасад уражається звичайно цвілевими грибами і бактеріями на велику глибину (> 5 мм), а внутрішні приміщення, в яких спостерігаються ознаки протікання, практично тільки бактеріями різних видів.

Крім зазначених видів біоуражень, необхідно назвати і пошкодження паразитуючою рослинністю (зелені розводи на будинках), збудниками якої є водорість *Algae*, що призводить відчутного руйнування.

Широкі дослідження впливу бактерій на бетон встановили, що найбільше руйнують цементний камінь і бетон денітрифікуючі бактерії, які окислюють сірку. В результаті їх життєдіяльності утворюється сірчана кислота, що й руйнує бетон. Значно знижують міцність бетону й анаеробні азотфіксуючі бактерії. Вони утворюють масляну кислоту, яка також є агресивною. У цьому випадку



зменшуються сили зчеплення складових частин каменю внаслідок утворення олеату кальцію і відбувається розкладання вапна та гідратних новоутворів під впливом іонів водню.

Найбільш небезпечними щодо бетону і залізобетону є тіонові нітрифікуючі, вуглеводоокислюючі й сульфатредуючі бактерії, а також гриби, що утворюють у результаті своєї життєдіяльності неорганічні й органічні кислоти. Небезпечні для бетону й уролітичні бактерії. Вони діють в основному на сечовину (що міститься в стічних водах), гідролізують її, виділяючи при цьому аміак і вугільну кислоту. Аміак може взаємодіяти в присутності вапна цементу із сульфатами води й утворювати легкорозчинну сіль $\text{CaSO}_4 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$.

Метою активних заходів є мінімізація умов, що сприяють біогенному утворенню сірчаної кислоти. До них відносяться запобігання утворенню H_2S і його емісія. Це можна досягнути за допомогою спеціального проектування каналізаційної мережі і відповідних умов експлуатації, а саме:

- достатній ухил каналізаційного трубопроводу;
- запобігання застою стічних вод або турбулентності і завихрень потоку;
- вентилявання шахт (щоб було надходження кисню); очищення і промивання каналізаційних систем; видалення осаду за допомогою механічного чищення;
- по можливості підтримка температури стічних вод на рівні нижче 20°C , наприклад, за рахунок додавання свіжої води.

Пасивні методи захисту спрямовані на захист бетону від дії сірчаної кислоти. До них відносяться: нанесення покриттів і шпаклівок на синтетичній основі;



обшивання синтетичними плівками і плитами, а також захисними керамічними елементами. Ефективним методом захисту також є нанесення синтетичних смол, але цей спосіб дуже дорогий і виконується в декілька етапів, а саме: очищують поверхню пісковим струменем, нагрівають основу до $+20^{\circ}\text{C}$ і наносять смолу в кілька шарів товщиною до 3 мм.

Біокорозія полімерних матеріалів

В промисловості й будівництві досить широко впроваджуються синтетичні полімерні матеріали. Раніше вважалося, що пластики не піддаються дії біокорозії, але такі випадки спостерігаються досить часто. Результати досліджень показали, що самі по собі пластмаси менш піддані руйнуванню мікроорганізмами, ніж їх складові компоненти, такі як стабілізатори, пластифікатори, барвники, наповнювачі, що робить полімерні матеріали більш уразливими для мікроорганізмів, змінюючи їх забарвлення, викликаючи втрату еластичності й зниження міцності.

До матеріалів, що потребують захисту від біокорозії, відносяться герметики. На поверхні прозорих або білих герметиків під впливом цвілевих грибів з'являються плями і нальоти від коричневого до чорного кольору, що негативно позначається на зовнішньому вигляді споруди. На основі цих досліджень вироблені наступні рекомендації із захисту герметизуючих полімерних матеріалів:

- обов'язкове додавання антисептиків до їх складу;
- не допускати постійного зволоження герметика;
- герметик при необхідності треба обробляти чистою водою (без миючого засобу);
- поверхня герметика має бути чистою і періодично дезинфікуватися.



Для надання полімерним матеріалам стійкості до мікробіологічної корозії у ряді випадків можна обмежитися регулюванням температурного режиму, особливо на складах при їх зберіганні. Найбільш надійним способом є антисептування, причому введення антисептика більш ефективно на стадії виготовлення полімерного матеріалу.

Біокорозія лакофарбових матеріалів

Вплив біокорозії зазнають також багато видів лакофарбових матеріалів. Можуть уражатися мікроорганізмами емульсійні фарби і такі, що містять лляну олію, на основі алкідних смол, поліуретанів та ін. Так, цвілеві гриби звичайно утворюються на зволжених пофарбованих поверхнях стін, стель, віконних блоків, при цьому з'являються чорні й коричневі плями, відбувається відшарування фарби.

Ураження може бути прямим і непрямим. Установлено, що гриби синьої гнилі можуть уражати лакофарбову плівку, розвиваючись не на поверхні, а під нею. Попередити біологічні пошкодження лакофарбових матеріалів, таких як лаки, фарби, емалі і мастики, без погіршення їхніх експлуатаційних характеристик можна доданням до їх складу фунгіцидів, наприклад, «Картоциду» (це препарат нового покоління і відноситься до металовмісних сполук) у кількості 4 %. При санації приміщень з підвищеною вологістю (підвали житлових будинків і споруд, овочесховища і т.п.) бажано після обробки «Картоцидом» покрити оброблені поверхні гідроізолюючими матеріалами.

Останнім досягненням є використання, в якості біодобавок для лакофарбової продукції і сухих сумішей (шпаклівки, штукатурки, ґрунтовки), наночасточок срібла.



Біокорозія деревини

Деревина, як будівельний матеріал відрізняється високими механічними і теплотехнічними властивостями, а низька щільність, транспортабельність, декоративність обумовлює економічну доцільність широкого її застосування в будівництві. Поряд з цим деревина має ряд недоліків, пов'язаних із впливом біологічних агентів – грибів, цвілі і комах. Деревина як субстрат, будучи неоднорідною за складом і структурою, є живильною речовиною і місцем існування мікроорганізмів, які селяться в ній.

Вологість і застій повітря сприяють розвиткові грибів у деревині. При огляді конструкцій необхідно звертати увагу на характерні ознаки ураження деревини, а саме: наявність мокрих плям і цвілі на стелі, перегородках, конструкціях типу крокв, балок та ін.; прогини і хиткість дерев'яних перекриттів; специфічний грибний запах у закритих приміщеннях; зміна кольору деревини, її руйнування, глухий звук при ударі. При наявності хоча б однієї з цих ознак треба провести більш ретельне обстеження конструкцій з їх розкриттям.

Коли в деревині з'явилися канали, проїдені жуками, займатися шприцюванням цих каналів вже марно, тому що жуки звідти вже пішли. Необроблений антисептиками або іншими захисними засобами сухий лісоматеріал також легко уражається термітами, причому терміти сильніше всього уражають вже уражену грибами деревину. Тому більше шести місяців навіть чиста, але не оброблена антисептиком деревина лежати не може. Зберігати її треба обов'язково в провітрюваних приміщеннях, не припустиме створення «парникового ефекту».

Основними методами захисту дерев'яних конструкцій від біопшкоджень є організація конструктивних заходів і



використання хімічних методів захисту. Конструктивні заходи розробляють на стадії проектування та організації будівництва, ремонту або реконструкції цивільних будинків з різним функціональним призначенням разом з прийнятими при цьому архітектурно-планувальними і конструктивними рішеннями. Основним їх завданням є виключення можливості зволоження дерев'яних конструкцій у період експлуатації будинків. Конструктивні заходи дають також змогу висушувати сиру деревину в будинках, хоч використання сирих лісоматеріалів не рекомендується.

Лекція 5

Організація відведення води з мостів та транспортних тунелів

План

1. Організація відведення води з тунелів.
2. Дренажна система перекачування води із тунелів
3. Загальні заходи водовідводу при експлуатації мостів та тунелів.

У процесі експлуатації тунелів необхідно з них відводити воду, яка може проникати через:

- портали, сходові або пандусні сходи у вигляді атмосферних опадів,
- просочуватися через конструкцію з ґрунтового масиву (у разі пошкодження гідроізоляції),
- накопичуватися всередині тунелю внаслідок конденсації водяної пари



- при митті облицювання, проїжджої частини, підлог, гасінні пожеж.

Витрата стоків, які потрапляють в тунель від дощу і снігу, визначають відповідно з періодом однократного перевищення дощу (снігу) розрахункової інтенсивності для даної місцевості.

Залежно від виду тунелю, району його розташування, глибини закладення і гідрогеологічних умов застосовують різні системи водовідведення. У гірських тунелях, які мають одно-або двосхилий поздовжній профіль опуклого обриси, відвід води здійснюється самопливом.

У підводних і міських автотранспортних тунелях, поздовжній профіль яких має увігнуте обриси, передбачають примусове відведення води. Утворений на рампових ділянках сток перехоплюється дощоприймачами у вигляді закритих лотків, прокладених поперек осі рампи. Відстані між дощоприймачами залежить від поздовжнього похилу рампи і приймають від 70 до 80 м.

Перші дощоприймачі встановлюють на початку поздовжнього ухилу рампи, в місці сполучення з відкритим ділянкою дороги. При такій розстановці дощоприймачів шар води на проїжджій частині рампи під час дощу не перевищує 6-7 см, що забезпечує безпеку руху автотранспортних засобів. Для запобігання зменшення проникнення води з рампової частини в тунель, в кінці рампи, перед тунелем, встановлюють ряд дощоприймачів, перекритих ґратами.

Для відведення води в гірських, підводних і міських автотранспортних тунелях влаштовують дренажну систему водовідведення. Зазвичай проїжджа частина в тунелях має поперечний ухил, і вода стікає в бік тротуарів, потрапляючи в водозабірні приямки, розташовані через кожні 50-100 м вздовж тунелю і перекриті чавунними ґратами - трапами.



З приямоків вода по пропускних трубах діаметром 150 мм надходить у магістральний трубопровід діаметром 400-600 мм, прокладений по осі двосмугового тунелю або уздовж кожного з відсіків багатосмугового тунелю.

Зазвичай магістральний трубопровід поміщають в дренажний лоток, обкладають його гранітним щебенем і покривають піщаним відсіпанням. Між ланками трубопроводу залишають проміжки (або роблять отвори в трубах) для прийому стоків. Через кожні 50 м влаштовують оглядові колодязі.

Дренажна система перекачування води із тунелів

У гірських тунелях вода з магістрального трубопроводу відводиться в кювети передпортальної виїмки, а в підводних і міських тунелях - у центральну дренажну перекачку. Вона являє собою камеру, розташовану поруч з тунелем у найбільш зниженій його частині, де розміщується насосне обладнання та водозбірники (для прийому та акумуляції стічних вод).

По мірі надходження води її відкачують грязьовими насосами по напірному трубопроводу до міського водостік або безпосередньо в перетинаються тунелем водну перешкоду (в підводних тунелях). У деяких випадках влаштовують місцеві дренажні перекачування у порталів міських і підводних тунелів для перехоплення стоку з рампових ділянок тунелю.

Щоб уникнути забруднення водойм та підземних вод, стічні води з тунелю повинні попередньо бути очищеними відповідно до санітарних норм. Для цього в камерах дренажних перекачок, перед входом до приймально-регулюючі резервуари насосних станцій, встановлюють ґрати з ручним очищенням, а в інших випадках - грязевідстійник, бензомаслоуловлювачі, фільтри. Розміри водовідвідних



лотків і труб, відстані між водозбірниками і прямками, а також тип насосного обладнання вибирають на основі гідравлічних розрахунків водовідвідної мережі.

Контроль за рівнем води в водозбірнику, а також управління насосними агрегатами в більшості випадків автоматизовані. У міру необхідності насоси можуть включатися і відключатися автоматично. Рівень води в зумпфах регулюється за допомогою датчиків з поплавковим реле, передають сигнали в центральне диспетчерське управління.

Для відведення води, що потрапляє в пішохідні тунелі через відкриті сходові або пандусні сходи, влаштовують прямки глибиною до 1,5 м на всю ширину пішохідного тунелю і довжиною не менше 2,5 м, перекриваються решітками. Іноді такі прямки роблять і під розділовими майданчиками сходових маршів. Якщо передбачається обігрів сходових сходів і розділових майданчиків, влаштовують прямки шириною 0,5 м.

Для перехоплення підземних вод під днищем пішохідного тунелю влаштовують лоток, в який укладають азбоцементні, залізобетонні або чавунні водопровідні труби діаметром 100 - 300 мм. У ці труби надходять також талі і поливальні води, що стікають з підлоги пішохідного тунелю.

Відповідно з ухилом підлоги вода потрапляє спочатку в лотки, влаштовані уздовж стін тунелю, а потім через прямки, розташовані через 30-40 м уздовж тунелю, скидається в дренажний трубопровід. Далі по перепускній трубі стічні води потрапляють в зумпф дренажної перекачування, розташованої звичайно в підсходовому приміщенні, звідки їх відкачують насосом в колектор міського зливостоку.

У транспортних і пішохідних тунелях, розташованих у районах з суворими кліматичними умовами, необхідно



передбачати утеплення дренажних лотків, труб та насосного обладнання, щоб не допускати замерзання в них води і утворення полою на проїжджій частині автотранспортних і на підлозі пішохідних тунелів.

Система поверхневого водовідведення з мостів

Система поверхневого водовідведення з мостів може бути точкового або лінійного типу. Точковий тип водовідведення — це мостові трапи, які можуть бути виготовлені з чавуну або металу. Лінійне водовідведення складається з мостових лотків SteelMax Most, виготовлених з металу, та чавунних решіток відповідного класу навантаження. Для відведення дренажної води з поверхні прогонової плити передбачені дренажні блоки, що в поєднанні з лотками або трапами утворюють загальну систему відведення поверхневих стічних вод за межі мостів та штучних споруд.

Мостові споруди, відрізняються великою протяжністю поверхневих покриттів. Відповідно дренажні труби і складальні лотки для дощових стоків на таких мостових переходах облаштовуються під нахилом не менше 7% в холодну пору року з урахуванням можливості намерзання - до 30%.

При величині нахилу 7-30%, довжині мосту 2 км і очисних спорудах, розташованих по обидві сторони від моста, перепад рівнів складального лотка повинен становити від 7 до 30 м. Для аналогічного мосту, в якому очисні споруди розташовані на одній стороні моста, перепад рівнів повинен складати від 14 до 60 м. Як видно, такі громіздкі дощоприймальні споруди спроектувати і побудувати практично неможливо.



Якщо витрата дощового стоку з поверхні моста або шляхопроводу не перевищує 41 л / с, на схилах можна поставити малі телескопічні лотки.

Якщо витрата стічних вод перевищує 41 л / с, розміри і конструкції укісних лотків вибираються виходячи з розрахунку поверхневого стоку.

Якщо на мостах і шляхопроводах організовані роздільні проїжджі частини або якщо автомобільна дорога розташована поблизу потоків води, збір дощових стоків проводиться вздовж проїжджої частини і скидається у відкосні водозбірні лотки.

Лінійне водовідведення

Системи лінійного водовідведення (водовідводу) стандартної серії складаються з бетонних, полімербетонних або пластикових лотків водовідведення і пісковловлювачів, які закриваються зверху відповідними решітками (сталевими, чавунними, мідними або нержавіючими). Ширина гідравлічного перерізу (100, 200, 300 мм), матеріали каналів та захисних решіток визначають клас навантаження і області застосування елементів лінійного водовідводу. Лінійний дренаж разом із точковим забезпечує комплексне поверхневе водовідведення.

Лінійне водовідведення

Лінійний водовідвід - система організації поверхневого дренажу, призначена для вирішення проблем із накопиченням дощової і стічної води на територіях з малоінтенсивним автомобільним і пішохідним рухом, що відповідає класу навантаження А15-С250:

- Приватні та дачні будинки;
- Гаражі;
- Багатоповерхові автостоянки;



- Парковки;
- Пішохідні зони і тротуари;
- Спортивні ділянки.

Кожна сучасна ділянка повинна бути оснащена системою лінійного водовідведення, так як збір і відведення стічних вод допоможе зберегти фундамент будівель від підмивання і руйнування водою, запобігти вимиванню рельєфу і вимиранню рослин.

Лінійний дренаж - це досить простий і ефективний метод створення водовідведення на території, який не потребує особливого монтажу і підготовки поверхні. Необхідно тільки, щоб від лінії водостоку був виконаний плоский ухил по обидва боки. Це забезпечить малоймовірність осідання ґрунту, зменшить протяжність дренажних каналів, збільшить водозбірну площа і скоротить кількість земельних робіт.

Лекція 6

Освітлення транспортних тунелів

План

1. Умови видимості об'єктів у тунелі й при під'їзді до нього.
2. Освітлювальні установки транспортних тунелів.

Виключно важливе значення має освітлення автодорожніх тунелів. У тунелі має передбачатися загальне стаціонарне електричне освітлення. Розташування світильників повинно забезпечити рівномірне освітлення, без різких тіней на проїжджу частину тунелю.



Для забезпечення безпеки руху необхідно здійснювати:

- 1) контроль за висотою перевозяться по тунелю вантажів;
- 2) загальне візуальне спостереження за авторусі. В тунелях великої протяжності застосовується телебачення. Телевізійні камери встановлюють на підходах до тунелю і всередині нього. Зображення передають на телеекрани, встановлені в диспетчерському приміщенні;
- 3) для визначення швидкості руху автомобілів застосовують спеціальні магнітні детектори, фотоелектричні датчики, які розміщують через 80-100 м під проїзною частиною тунелю.
- 4) для впорядкування руху у порталів і по довжині тунелю встановлюють світлові сигнали, за допомогою яких здійснюють автоматичне регулювання потоку транспорту;
- 5) крім сигнальних пристроїв в тунелі встановлюють мережу гучномовців місцевого радіомовлення, за якими з диспетчерського пункту можна передавати повідомлення;
- 6) в тунелях розташовують камери через 250-300 м по обидва боки в шаховому порядку. Якщо довжина тунелю не перевищує 400 м, то влаштовують одну камеру в середині тунелю. Ширина і глибина камер повинна бути не менше 2 м, а висота-2,5 м.

Управління роботою всіх систем і пристроїв виробляють з центрального диспетчерського управління. Для запобігання можливих пожеж, а також швидкої їх ліквідації приймають спеціальні заходи:

- в автодорожніх тунелях великої протяжності провезення вогнебезпечних вантажів повинен бути обмежений і проводитися в основному в нічний час;
- для ліквідації виниклих пожеж в тунелях повинні бути встановлені через кожні 100 м в спеціальних нішах з боку службового проходу водорозбірні гідранти та розташовані



пожежні рукави і вогнегасники. По тунелю також прокладається протипожежний водогін.

Тунель як ділянка вулиці або дороги, що геометрично забезпечує сформовану інтенсивність руху, може виявитися перешкодою руху, тому що його наявність і властивості змінюють стан очей водіїв транспорту. Справді, освітленість дороги і яскравість її покриття в тунелі в набагато разів нижче, ніж освітленість і яскравість відкритої дороги. Тунель ізолює водія від оточення, погіршуючи його орієнтування, створює своєрідне звукове середовище, що ускладнює процес керування машиною. Тунель – довга порожнина, що має у світловому відношенні властивості абсолютно чорного тіла. Тому його в'їзний отвір, на будь-якому фоні буде здаватися чорним. Усякий об'єкт, що перебуває в тунелі на деякій відстані від порталу, стає невидимим спостерігачеві, який перебуває поза тунелем, зокрема водієві, який перебуває на відстані двох-трьох сотень метрів від в'їзду в тунель, автомобіль, що йде спереду, уявляється зниклим в «чорній дірі» порталу. Це явище зникнення видимості об'єктів називають «ефектом чорної дірки», що має на водіїв вплив не тільки фізіологічного, але й психологічного характеру. При русі в нормальних умовах поле зору водія досить велике, відповідає полю, створюваному вітровим склом автомобіля, становить близько 20° . При наближенні до тунелю поле зору звужується до величини, приблизно обумовленій порталом тунелю, тобто до 2° .

Чорний проріз тунелю, що збільшується в міру наближення до нього, займатиме все більшу й більшу площу на сітківці ока водія, це змінює його стан пристосованості до оточення. Однак на шляху до порталу тунелю в полі зору водія перебуває і займає його значну частину яскраво освітлена дорога і її оточення. У результаті цього процес пристосування ока до умов бачення всередині тунелю



виявляється дуже складним. Адаптація центральної частини сітківки до темного, а периферії — до світлого викликає індуктивні впливи станів цих областей однієї на іншу й прямо протилежний зіничний рефлекс. Водій, який потрапив до тунелю з таким станом зорового апарата, може на якийсь час повністю втратити здатність бачити.

Отже одним із завдань освітлення тунелю є створення поля зору таких яскравостей і такого розподілу, при яких водієві забезпечується можливість бачити всі потрібні об'єкти як при в'їзді в тунель, так і при русі в ньому.

За характером умов бачення, а відповідно і за рівнями яскравості (освітленості) тунелі можна розбити на такі зони:

1. Під'їзна зона.
2. В'їзна або гранична зона.
3. Перехідна зона.
4. Внутрішня зона.
5. Виїзна зона.

Очевидно, що недоцільно в довгих тунелях підтримувати протягом всієї довжини високу яскравість поверхонь, необхідну на початку тунелю. Освітлення тунелю повинне бути побудоване таким чином, щоб яскравість його поверхонь на обмеженій ділянці після в'їзду поступово знижувалася і до кінця ділянки досягала величини, що забезпечує потрібний ступінь безпеки й економічності. Природне припущення про необхідність дещо підвищити яскравість поверхонь виїзної частини тунелю з метою пом'якшення умов адаптації при виїзді.

Досвід спорудження і експлуатації тунелів і експерименти показали, що при дуже інтенсивному русі яскравість дорожнього покриття в глибині тунелю повинна досягати $10\text{--}20 \text{ кд/м}^2$, при помірній інтенсивності руху ця величина може бути знижена до 5 кд/м^2 . Установлення цього



рівня дає можливість визначити величину перепаду яскравості від початкової частини тунелю до його середини, як ту, що наближується до 100.

Процес адаптації до такої зміни яскравості займає декілька секунд. Беручи до уваги це й величину допустимої в тунелі швидкості руху, можна визначити довжину адаптаційної зони, у межах якої освітленість повинна бути знижена (плавно або ступінчаста) від величини, прийнятої на початку тунелю до мінімальної.

Таким чином, метою освітлення транспортних тунелів є забезпечення можливості бачити вдень і вночі з тим же ступенем надійності й комфортності, що й на дорозі.

Освітлювальні установки транспортних тунелів

Головними завданнями проектування освітлення тунелів є:

- мінімізація "ефекту чорної дірки", що досягається застосуванням як будівельних, так й освітлювальних заходів;
- створення достатнього числа зон і рівнів яскравості, що забезпечують нормальний хід процесу адаптації від яскравого сонячного світла до мінімального освітлення у глибині тунелю;
 - належне розташування світильників;
 - усунення сліпучої блискості;
 - усунення мерехтінь, обумовлених перериваним розташуванням світильників і чергуванням світлих і темних зон поверхонь тунелю;
 - забезпечення орієнтуючої дії пристроїв освітлення.

На характер світлотехнічного рішення впливають будівельні й конструктивні характеристики тунелю:

- довжина;
- розміри поперечного перерізу;
- число смуг руху;



- швидкість руху;
- наявність або відсутність закруглень й ухилів;
- світлотехнічні характеристики матеріалів облицювання поверхонь тунелю;
- характеристика поля зору при в'їзді в тунель (яскравість безпосереднього оточення порталу, його орієнтація, оцінена з погляду переважного напрямку, інтенсивності й тривалості природного освітлення, можливість спорудження екрануючих приладів).

Найпоширеніші схеми розташування світильників при освітленні довгих тунелів:

- дворядне на верхній частині стін;
- дворядне по кожній з осей руху;
- однорядне по осі тунелю.

Залежно від характеру світлорозподілу й орієнтації світильників розрізняють симетричну й асиметричну системи освітлення тунелів. Симетрична система підрозділяється на поперечну й поздовжню. Світильники, застосовувані в цій системі, мають симетричний світлорозподіл у двох головних площинах: поздовжній й поперечній. При поперечній системі поздовжні осі світильників (як правило, з люмінесцентними лампами й натрієвими лампами низького тиску) орієнтуються уздовж осі тунелю, що забезпечує переважний напрямок світлового потоку поперек тунелю. При такому освітленні створюються гарна світлова орієнтація, низька сліпимість, висока рівномірність освітлення проїзної частини й стін. До недоліків такої системи відносяться малий крок між світильниками, а значить велике число останніх, підвищені капітальні й експлуатаційні витрати.

При поздовжній системі поздовжні осі світильників орієнтуються поперек осі тунелю, що забезпечує переважний напрямок світлового потоку уздовж тунелю, при цьому забезпечується більш високий коефіцієнт використання



світлового потоку й більший крок між світильниками. Але така система характеризується гіршою рівномірністю розподілу яскравості проїзної частини, особливо стін. Асиметрична система підрозділяється на зустрічну й попутну.

Зустрічна система характеризується підвищеним рівнем яскравості дорожнього покриття і низкою яскравістю транспорту, що йде попереду, попутна система, навпаки, забезпечує добре освітлення транспорту, що йде попереду, на фоні низької яскравості, в зв'язку з чим вона практичного застосування не знаходить. Останнім часом велике поширення одержали асиметрична зустрічна система для граничної й перехідної зон. Симетрична поздовжня система застосовується для внутрішньої й виїзної зон у денному режимі й всій транспортній зоні в нічному режимі. У нічному режимі яскравість покриття протягом всього тунелю підтримується однаковою, на рівні 2–5 кд/м². Ділянки дороги перед в'їздом у тунель і безпосередньо за вихідним порталом у вечірній і нічний часи повинні бути добре освітлені до рівня, підтримуваного в тунелі.

Особлива увага приділяється освітленню дороги, що виходить з тунелю. Воно повинне виключати різкий перепад яскравості й давати можливість орієнтуватися в оточенні й вказувати напрямок подальшого руху. Потужність освітлювальної установки довгого тунелю часто становить кілька сотень кіловат. При необхідності забезпечити достатній ступінь надійності освітлення живлення установки електроенергією перетворюється в складну проблему, що вимагає відповідних технічних рішень і додаткових матеріальних витрат. Не можна вказати на які-небудь цілком сформовані принципи електропостачання тунелів, однак необхідність резервування підхідних ліній, трансформаторів і навіть магістральної й групової мережі освітлення є



неминучою. Міркування безпеки вимагають автономно діючого аварійного освітлення протягом всього довгого тунелю.

Лекція 7

Тунельне повітря і джерела погіршення його стану. Природна система вентиляції тунелів

План

1. Тунельне повітря і джерела погіршення його стану при експлуатації тунелів.
2. Експлуатаційні вимоги до якості тунельного повітря.
3. Вивчення можливості природного провітрювання транспортних тунелів.

Тунельне повітря і джерела погіршення його стану при експлуатації тунелів.

Склад повітря в транспортній зоні тунелю, ступінь його забруднення шкідливими газоподібними і пилоподібними речовинами, а також вологість та температура в процесі експлуатації безперервно змінюється. Основні причини, з якими пов'язується ці зміни є такі:

- виділення продуктів згоряння та тепла двигунами локомотивів та транспортних засобів;
- виділення тепла людьми які знаходяться в тунелі освітленням та постійним експлуатаційним обладнанням;
- обмін теплом між оточуючим природним середовищем і тунельний повітря;
- забруднення повітря в тунелі від зношення рейок колісних вантажів рухомого складу дорожнього покриття покришок коліс і транспортних засобів і пилом що заноситься



транспортом із відкритих ділянок залізничних ліній та автомобільних доріг;

- проникнення всередину тунелю вологі та природних газів із порід що оточують тунель.

Призначення вентиляції полягає в тому щоб постійно підтримувати параметри повітря транспортної зони та службових приміщень у належних межах згадані межі визначаються вимогами нешкідливості для перебування в тунелі людей безпеки руху нормального і безперерійного функціонування постійного експлуатаційного обладнання та автоматичного управління.

Процес вентиляції слід розуміти як постійний або періодичний (циклічний) обмін повітря яке розбавляють концентрацію шкідливих газів до допустимого рівня і виводить із тунелю надлишків тепла водяну пару, дим та пил.

У складі вихлопних газів дизельних двигунів міститься від 0,02 до 0,5% оксиду вуглецю або чадного газу, від 0,005 до 0,1% оксидів азоту, від 0,01 до 0,06% ненасичених та недозаміщених вуглеводнів, від 0,0005 до 0,007% парів простішого ненасиченого альдегіду - акролеїну та незначна кількість деяких інших газоподібних речовин.

Вихлопні гази карбюраторних двигунів містять від 1,5 до 13 % оксиду вуглецю, від 0,0005 до 0,2% оксидів азоту, від 0,02 до 2,5% вуглеводнів, від 0,0005 до 0,03% акролеїну і в досить незначній кількості деякі інші речовини.

Вміст сажі у вихлопних газах дизельних двигунів складає від 0,1 до 1,1 г/м³, а карбюраторних - приблизно 0,04 г/м³. При цьому є дуже важливим одне зауваження. Декілька десятиліть тому тверді частинки сажі що завжди виникають у процесі горіння і які містяться в складі вихлопних газів двигунів внутрішнього згорання, уважали не досить небезпечною складовою цих газів. Відносно сажі мова, як правило йшла лише про зниження видимості в тунелі та про



забруднення його внутрішньої поверхні. Однак, пізніше було встановлено що сажа містить в своєму складі Дуже незначний для здоров'я людей компонент – складний вуглеводень бензопирен 3,4, який є активною канцерогенної речовиною.

Зрозуміло, що ці процентні вміст згаданих речовин у вихлопних газах можуть дещо змінюватися залежно від виду і якості палива та від режиму руху транспорту.

Для з'ясування питання щодо кількості токсичних речовин, які виділяються в транспортну зону під час перебування в ньому будь-якої окремої пересічної транспортної одиниці, доцільно розглянути весь механізм перетворення погодинної кількості витраченого двигуном цієї транспортної одиниці пального у вихлопні гази з наведеним вище процентним складом токсичних складових. При цьому необхідно враховувати, що згадана транспортна одиниця може бути обладнаною як карбюраторним, так і дизельним двигуном внутрішнього згоряння. Крім того, ця транспортна одиниця може рухатися як на спуск, так і на підйом, по ділянці тунелю з певним уклонами та відповідними V_c чи $V_{п.}$

Величина погодинної витрати палива p (кг/год) для конкретної транспортної одиниці певної марки, яка рухається зі швидкістю V (км/год) по ділянці тунелю з поздовжнім уклоном $\pm i$, розташованому у гірській місцевості на висоті H (км) над рівнем моря, знаходиться за формулою:

$$p_i = 0,01 \cdot p_0 p_n V K_H C^i, \quad (13)$$

де p_0 – питома витрата пального (л/100 км) за паливною характеристикою конкретної транспортної одиниці; p_n – щільність пального, яка для бензину знаходяться у межах 0,79-0,83 кг/л; K_H – коефіцієнт, що враховує розрідженність повітря у високогір'ї та пов'язану з цим додаткову витрату палива, а формула визначення цього коефіцієнту має вигляд:

$$K_H = 1 + 0,022H \quad (14)$$



де C^i – коефіцієнт впливу поздовжнього ухилу на витрату пального, який залежить від типу двигуна (карбюраторного чи дизельного), від величини і знаку поздовжнього ухилу шляху та від швидкостей руху на спуск та підйом. Крім того, коефіцієнт C^i враховує особливості режиму руху при подоланні спусків та підйомів, а також досить поширені прийоми керування транспортними одиницями, які при цьому застосовувалися (наприклад, використання накату на початкових ділянках підйомів або гальмування двигуном на спусках зі значним поздовжніми ухилами).

Під час проходження через тунель будь-якої пересічної транспортної одиниці, оснащеної двигунами внутрішнього згоряння, окрім токсичних речовин виділяється певна кількість тепла. Це пов'язане з неповним перетворенням енергії пального (його теплотворної спроможності) в механічну роботу руху згаданої транспортної одиниці.

Кількість тепла w_i (Вт), що виділяється за одиницю часу (год) карбюраторним або дизельним двигуном внутрішнього згоряння пересічної транспортної одиниці при русі з певною швидкістю V (км/год) по ділянці шляху з встановленим ухилом $\pm i$ на висоті H (км) над рівнем моря, знаходяться за формулою:

$$w_i = \frac{P_i \gamma \lambda}{3,6}, \quad (15)$$

де P_i – погодинна витрата палива (км/год) для конкретної транспортної одиниці певної марки, яка рухається зі швидкістю V (км/год) по ділянці тунелю з поздовжнім ухилом $\pm i$, розташованому у гірській місцевості на висоті H (м) над рівнем моря, яка визначається за формулою (1); γ – теплотворна спроможність бензину або дизельного пального, яка відповідно дорівнює 44000 або 42500 кДж/кг; λ – частка загальної енергії використаного транспортною одиницею бензину або дизельного пального, що виділяється у вигляді тепла і може бути прийнятою рівною відповідного 0,6 та 0,45.



Числові коефіцієнти 3,6 у знаменнику правої частини (3) враховано те, що $1 \text{ Вт} = 3,6 \text{ кДж}$.

Крім того, слід враховувати погодинне тепловиділення:

- пристроїв освітлення, які розташовані на ділянці тунелю довжиною 1 км;

- людей, які знаходяться на кілометровій ділянці тунелю (залежить від роду роботи, що виконуються людиною і орієнтовно приймається для ремонтних і експлуатаційних робітників рівною 170 Вт, для водіїв автотранспортних засобів, членів локомотивів – 115-145 Вт, для пасажирів 80 Вт).

На температурний режим у тунелі окрім тепловиділення з розглянутих вище джерел впливає і теплообмін через оправу між внутрішнім простором тунелю та оточуючим його породним середовищем.

Все викладене визначає з якісного і кількісного боків основні джерела виникнення в транспортній зоні тунелю підвищених рівнів загазованості та температури повітря. Наведені розрахункові залежності відкривають всі можливості для аналізу та практичної оцінки впливу кожного окремого вихідного фактору на рівень газо- та тепловиділення в транспортну зону тунелю під час його експлуатації.

Експлуатаційні вимоги до якості тунельного повітря

Згідно з чинними нормами [] рівень загазованості транспортних залізничних та автодорожніх тунель обмежується величиною гранично допустимої концентрації ГДК оксиду вуглецю, який розглядаються як індикатор всього набору токсичних речовин, що виділяються транспортом. При цьому вважається, що проведені оксиду вуглецю або зниження його концентрації автоматично переводиться до допустимого рівня вміст і інших токсичних



газоподібних речовин та сажі. Регламентовані значення гранично допустимої концентрації оксиду вуглецю для транспортних тунелів наводяться у таблиці 4.

Таблиця 1.

Гранично допустима концентрація (ГДК) оксиду вуглецю у повітрі транспортної зони тунелю)

Час знаходження транспорту в тунелі t , хв.	Гранично допустима концентрація (ГДК) оксиду вуглецю у повітрі транспортної зони тунелю, $\text{г}/\text{м}^3$	
	Залізничні тунелі	Автодорожні тунелі
< 15	0,050	0,15
Від 15 до 30	0,05	0,10

Вимоги до температурного, а також суттєво залежного від нього вологу температурного режиму в тунелі базуються на необхідності забезпечення їхньої стабільності в часі. Змінність цих режимів у певній мірі зменшує довговічність тунельних конструкцій вкрай негативно відбивається на надійності роботи всіх експлуатаційних устроїв (колії, електротехнічних та комунікаційних мереж, обладнання).

Більш сучасні норми вимагають здійснення вентиляції транспортних тунелів за загазованістю у трьох режимах руху. Режим **A** (нормальний) передбачає безупинний рух транспорту з максимальною розрахунковою швидкістю, що відповідає піковій інтенсивності. В режимі **B** (сповільнений) здійснюється безупинний рух транспорту в тунелі зі швидкістю меншою за 20 км/год. В режимі **B** (транспортний затор) має місце зупинка транспорту з працюючим двигуном тривалості до 15 хвилин.



Вивчення можливості природного провітрювання транспортних тунелів.

Природне провітрювання транспортних тунелів реалізовується завдяки виникненню в ньому поздовжнього руху повітря під впливом трьох природних факторів – напорів: теплового, барометричного і вітрового.

Тепловий напір h_m , Па, виникає через різницю щільності повітря в тунелі та на земній поверхні біля його порталів, розташованих на різних позначках з перевищенням верхнього порталу над низовин ΔH , м. Загальновідомо, що за згадана різниця щільності повітря $\Delta \rho_t = \rho_t - \rho_n$ залежить від різниці його відповідних температур. формула для визначення теплового напору має вигляд: $h_m = 9,81 \Delta \rho_t \Delta H$.

Взимку при температурі повітря на поверхні, нижчій за його температуру в тунелі, рух повітря, викликаний тепловим напором, буде спрямовано від низового порталу до верхнього, а влітку – навпаки.

Барометричний напір пов'язується з можливою різницею атмосферного тиску біля порталів тунелю. Якщо ізобара, яка проходить через низовий портал має більше значення ніж ізобара біля верхнього порталу, то рух повітря, обумовлений дією барометричного напору буде спрямований від низового порталу до верхнього, а сама величина напору h_b Па, буде знайдена за формулою:

$$h_b = P_n - P_v \quad (16)$$

де P_n та P_v - значення атмосферного тиску відповідно біля низового та верхнього порталів тунелю, Па.

Вітровий напір h_v , Па, визначається в залежності від напрямку та сили (швидкості) домінуючих вітрів у місцях розташування порталів тунелю.



Лекція 8

Системи штучної вентиляції транспортних тунелів

План

1. Системи штучної вентиляції транспортних тунелів.
2. Вентиляційні установки транспортних тунелів.

Системи штучної вентиляції транспортних тунелів.

Застосування вентиляції в тунелях обумовлено необхідністю зниження до допустимої концентрації шкідливих газів, усунення задимлення і запиленості повітря, створення нормального температурного режиму. За нормативами, автодорожні тунелі довжиною до 150 м можуть провітрюватися природним шляхом, тунелі довжиною 150-400 м повинні мати природне провітрювання при обґрунтуванні його розрахунками і в разі потреби обладнуватися штучною вентиляцією, а тунелі довжиною понад 400 м обов'язково повинні мати примусову вентиляцію. Штучна вентиляція автодорожніх тунелів проводиться за рахунок повітрообміну шляхом подачі свіжого повітря, видалення забрудненого або одночасною подачею свіжого і витяжкою відпрацьованого повітря. При цьому застосовують подовжню, поперечну або комбіновану системи вентиляції, що відрізняються один від одного характером повітрообміну, напрямком руху повітря, наявністю або відсутністю спеціальних припливних і витяжних каналів.

В залежності від конфігурації тунелю і транспортних потоків можуть бути наступні рішення для організації вентиляції:

Поперечна вентиляція.

Повітря подається з одного боку тунелю і витягується з іншого по двох паралельних повітропроводів, підбираючи чадні пари по ходу руху. Це найбільш підходить для довгих



тунелів, але обходиться досить дорого через великі повітропроводи.

Напівоперечна вентиляція.

Свіже повітря подається рівномірно по повітропроводу по всій довжині тунелю, виштовхуючи забруднене повітря уздовж тунелю (тобто повітропроводом для забрудненого повітря служить сам тунель). Це тип організації передбачає використання в меншій мірі повітропроводів, але часто передбачає використання потужних вентиляторів в особливо чутливих областях тунелю.

Поздовжня вентиляція.

Вентилятори створюють поздовжній потік повітря в тунелі, спрямований уздовж осі руху транспортного потоку. Оскільки при цьому відсутній обмін забрудненого повітря зі свіжим, то для зниження концентрації забруднюючих речовин зазвичай використовуються вентиляційні шахти, які оснащуються осьовим вентилятором, що працюють на витяжку, чим і досягається можливість підтримувати концентрацію забруднення в допустимих межах. Для довгих тунелів з поздовжньою вентиляцією зазвичай використовують зональне підмішування свіжого повітря. В кінці кожної зони у вентиляційні шахти ставиться витяжний вентилятор, який забирає з потоку забруднене повітря, і припливне, що подає в наступну зону спрямованого потоку незабруднене повітря.

Оскільки при поздовжній вентиляції відсутні громіздкі і дорогі складові повітропроводи, цей спосіб є найбільш економічно вигідним, особливо для коротких тунелів (до 1 км в довжину).

При поздовжній системі повітря подається і видаляється по всьому перетину тунелю вентиляторами, встановленими у порталів (рис. 1.1, а). Швидкість руху повітря в тунелі не повинна перевищувати 6 м/с. Таку систему найбільш



доцільно застосовувати в автодорожніх тунелях з одностороннім рухом транспорту довжиною не більше 1 км, а також в залізничних тунелях. У тунелях довжиною до 1,5-2 км знаходиться застосування поздовжньо-струменева система вентиляції, що є різновидом поздовжньої системи. Для інтенсифікації провітрювання вздовж тунелю (на стінах чи на склепінні) через 50-100 м встановлюють високошвидкісні струменеві вентилятори (рис. 1.1, б).

Найбільш ефективною для автодорожніх тунелів, що мають особливо значну протяжність, є поперечна система вентиляції з подачею і витяжкою повітря по поздовжнім каналам, розташованим за межами габариту наближення споруд. Швидкість руху повітря в поздовжніх каналах - до 15-20 м / с. Довжину поздовжніх каналів приймають не більше 600 - 800 м з умови забезпечення рівномірного випуску повітря по тунелю. Повітря з припливного каналу надходить зі швидкістю 3 - 5 м/с по поперечних каналах.

Розширення каналів для подачі та відведення повітря залежить головним чином від форми поперечного перерізу тунелю. Так, в тунелях кругового поперечного перерізу припливний канал розміщують під проїжджою частиною, а витяжний канал - над нею. При склепінчастому контурі тунелю припливний і витяжний канали розташовують найчастіше над проїзною частиною (під склепінням), причому можлива як двостороння, так і одностороння подача повітря. В тунелях прямокутного поперечного перерізу канали найбільш доцільно розміщувати збоку від проїзної частини, поруч з бічними стінами, а в двопролітних тунелях один з каналів може розташовуватися між проїзними частинами. Застосовують також **комбіновані системи вентиляції**.

У деяких випадках може виявитися раціональної напівпоперечна система штучної вентиляції. При цьому свіже



повітря подається по каналу, а забруднене віддаляється по транспортній зоні тунелю за рахунок "поршневого ефекту" і природної тяги повітря.

Знаходить застосування і напівпоздовжня система, при якій свіже повітря подається по тунелю, а видаляється по витяжному каналу. Комбіновані (напівпоперечна і напівпоздовжня) системи штучної вентиляції поєднують в собі переваги і недоліки поздовжньої і поперечної систем і застосовуються в тунелях довжиною до 1,2-1,5 км.

Проте використання полу поперечної системи пов'язане з викидом забрудненого повітря безпосередньо в повітряний басейн.

Можливо також використання напівпоперечно-поперечної системи вентиляції, при якій продуктивність витяжних вентиляторів становить приблизно 50% продуктивності припливних. Ними видаляється половина припливного повітря, а інша його частина виводиться через портали або шахтні стовбури.

У ряді випадків може виявитися доцільним застосування змішаної вентиляції. Наприклад, при незначній щільності руху в тунелі можна використовувати більш просту і дешеву поздовжню систему, а в години пік-ефективнішу і дорогу поперечну систему.

Найбільші труднощі виникають при штучному провітрюванні тунелів глибокого закладення, і великої протяжності (більше 3-5 км). При цьому різко зростає потужність вентиляційних установок навіть при порівняно невеликій інтенсивності руху транспортних засобів в тунелі. Зазвичай при провітрюванні протяжних тунелів застосовують шахтну вентиляцію з проходкою по трасі тунелю через певні інтервали шахтних стовбурів або свердловин великого перетину, над якими розміщують вентиляційні установки.



Для провітрювання підводних тунелів також використовують шахтні стовбури, розташовуючи їх на берегах водотоку, а іноді і в межах природних або штучних островів по трасі тунелю. Незалежно від числа і місць розташування шахтних стовбурів тунель провітрюють по одній з існуючих систем: поздовжньої, поперечної або комбінованої, подаючи і видаляючи повітря через шахтні стовбури.

Пішохідні тунелі довжиною до 30-50 м провітрюються природним шляхом через входи і виходи. У більш протяжних пішохідних тунелях "лінійного" типу, а також у тунелях зі складною планувальною схемою і пішохідних рівнях потрібно штучна вентиляція. Примусове провітрювання обов'язково і в службових приміщеннях пішохідних тунелів.

Вентиляцію лінійних пішохідних тунелів завдовжки менше 100 м можна робити по припливно-витяжній поздовжній системі. Для цього у протилежних входів і виходів розмішують відповідно припливні і витяжні вентилятори, за допомогою яких за повітроводам нагнітають свіже і видаляють забруднене повітря.

У тунелях довжиною більше 100 м з складним плануванням застосовують поперечну або напівпоперечну системи вентиляції з пристроєм каналів вздовж стін тунелю. При цьому свіже повітря подають у тунель на рівні 1,5 - 2 м від рівня підлоги, а видаляють його у верхній частині тунелю.

Проектування вентиляції автодорожніх тунелів передбачає визначення необхідної витрати і тиску повітря для провітрювання, вибір вентиляційних установок, розміщення вентиляційних каналів, перегородок та ін.

Вибір вентиляторів при проектуванні тунелів

Для провітрювання автодорожніх тунелів слід застосовувати компактні, реверсивні і економічні



вентилятори з високим коефіцієнтом корисної дії. В даний час використовують багатошвидкісні вентилятори, які можуть працювати в різних режимах з різною продуктивністю.

Застосовують осьові вентилятори з одним робочим колесом, які дозволяють змінювати напрям Руху-повітря за рахунок зміни напрямку обертання електродвигуна і перестановки лопатей.

Для поліпшення аеродинамічних показників вентилятори оснащують дифузорами довжиною до 5 м, які перетворюють частина динамічного напору в статичний. Включення і відключення вентиляторів може здійснюватися автоматично і дистанційно, проте повинні бути передбачені пристрої для можливості місцевого, ручного включення і відключення.

Вентиляційні будівлі повинні мати акустичну захист, щоб зменшити проникання шуму в тунель і на прилеглу до нього територію. Управління та контроль за роботою вентиляційних установок у великих тунелях автоматизовані.

Залежно від ступеня концентрації шкідливих газів, ступеня задимлення і температури повітря в тунелі може встановлюватися певний режим провітрювання.

Пристрій штучної вентиляції, в автотранспортних тунелях вимагає значних витрат. Крім того, що видаляється з тунелю відпрацьоване повітря потрапляє на прилеглу територію і забруднює атмосферу. Вентиляційні установки створюють шум і вібрацію, що призводить до порушення нормальних умов життя в даному районі.

Враховуючи ці обставини, приймають різні заходи, спрямовані на очищення забрудненого повітря, зняття задимлення, запиленості та зниження температури в тунелі. Мається на увазі установка у порталів або над шахтними стовбурами різного типу відстійників і пиловловлювачів.



Може виявитися доцільною вентиляція тунелів по замкнутому циклу, що виключає попадання в атмосферу шкідливих газів.

Оригінальну систему очищення повітря застосували в ряді тунелів у Німеччині та Австралії. Так, в історичній частині м. Регенсбурга побудований тунель завдовжки 1,3 км для руху автобусів з чотирма зупинками для входу та виходу пасажирів. У перекритті тунелю встановлена наскрізна колекторна труба з поздовжньою прорізом, обрамлена гумовими ущільнювачами. Вихлопні труби дизельних автобусів виведені догори і забезпечені насадками з напрямними роликками, які переміщуються по гумовим ущільнювачам колекторної труби.

Вступники з вихлопної труби відпрацьовані гази по колекторної трубі подаються у спеціальні камери, очищаються і викидаються в атмосферу. Одночасно труби служать своєрідними напрямними для рухомих автобусів, що дозволяє зменшити ширину проїзної частини в тунелі. Роботи з переобладнання автобусів досить незначні.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

БАЗОВА

1. Барашиков А. Я. Оценка технического состояния строительных конструкций, зданий и сооружений / А. Я. Барашиков, А. М. Малишев. К. : НМЦ Держнаглядохоронпраці України, 1998. 232 с.
2. Признаки аварийного состояния несущих конструкций зданий и сооружений. Гроздов В. Г.: Изд-во Дон книга, 2000. 41 с.
3. Эксплуатация и реконструкция мостов и труб на автомобильных дорогах / В. С. Кирилов. М.: Транспорт, 1971. 194 с.



4. Бабушкін В. І., Плугін А. А., Казімагомедов І. Е., Скорик О. О. Захист будівельних конструкцій та споруд від агресивних дій з рішенням практичних задач : навчальний посібник. Харків, 2006. 214 с.
5. Скороходов В. Д., Шестакова С. И. Защита строительных материалов от биокоррозии: учебное пособие. М., 2004. 202 с.
6. Чехов А. П., Глущенко В. М. Захист будівельних конструкцій від корозії. К., 1994.
7. Експлуатація і реконструкція мостів / Н. Є. Страхова та ін. / К. : Транспортна академія України, 2000. 384с.
8. Лучко Й. Й. Методи дослідження та випробування будівельних матеріалів і конструкцій / Й. Й. Лучко, П. М. Коваль, М. Л. Дем'ян. Львів: Каменяр, 2001. 433с.

ДОПОМІЖНА

1. ДБН В.2.3-6:2009 «Мости та труби. Обстеження і випробування». Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 63 с.
2. ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2009 «Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів». Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 53 с.
3. ДБН В.2.3-14: 2006 «Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування». Київ. : МБАЗКГ, 2006. 359 с.
4. ДБН В.2.3-22: 2009 «Споруди транспорту. Мости і труби. Основні вимоги проектування». Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. 73с.
5. ТР – 218 – 060 – 2000. По влаштуванню гідроізоляційного захисту прольотних будов автодорожніх мостів і шляхопроводів із бітумнополімерних рулонних мембран. К. : ДерждорНДІ, 2000. 65с.



6. Технологические правила ремонта каменных, бетонных и железобетонных конструкций эксплуатируемых мостов / МПС России М. : Транспорт, 1997. 87с.

ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ

1. Нормативно-правова база Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. URL: <http://www.minregion.gov.ua/base-law/> (дата звернення 10.10.2019 р.).

2. Законодавство України. Закон від 08.09.2005 №2862-IV («Про автомобільні дороги»). URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2862-15> (дата звернення 10.10.2019 р.).

3. Цифровий репозиторій Національного університету водного господарства та природокористування. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/view/shufr/> (дата звернення 10.10.2019 р.).