

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»



О.В. ІНКІН

ІНЖЕНЕРНІ СПОРУДИ

Навчальний посібник

Дніпро
НТУ «ДП»
2021

УДК 624.15 + 626/627

I 65

Рекомендовано до видання вченою радою Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» як навчальний посібник для бакалаврів спеціальності 103 Науки про Землю (протокол № 5 від 26.03.2019).

Рецензенти:

С.П. Мінеєв – д-р техн. наук, проф. (Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»);

А.А. Самойленко – канд. техн. наук (головний фахівець відділу водопостачання, водовідведення і гідротехнічних споруд Дніпровського проектного інституту житлового і цивільного будівництва).

Інкін О.В.

I 65 Іженерні споруди : навч. посіб. / О.В. Інкін ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2021. – 219 с.

ISBN 978-966-350-747-7

Навчальний посібник має десять розділів, у яких розглянуто основні особливості будівництва різних видів інженерних споруд (цивільних, промислових, гідротехнічних, лінійних і т. ін.) та їх взаємодії з геологічним середовищем. Висвітлені питання конструкції та ефективної експлуатації споруд, а також виконання робіт з продовження терміну їх служби експлуатації.

Посібник підготовлений на кафедрі гідрогеології та інженерної геології НТУ «Дніпровська політехніка» і призначений для студентів денної і заочної форм навчання за спеціальністю 103 Науки про Землю напряму підготовки «Природничі науки».

УДК 624.15 + 626/627

© О.В. Інкін, 2021

ISBN 978-966-350-747-7

© НТУ «Дніпровська політехніка», 2021

Присвячується

Національному технічному університету

«Дніпровська політехніка»,

найкращому закладу освіти

та альма-матер автора



ЗМІСТ

Передмова.....	6
Вступ.....	8
1. ОСНОВНІ ТИПИ ТА ЕЛЕМЕНТИ БУДІВЕЛЬ.....	10
2. ВИДИ І КОНСТРУКЦІЇ ФУНДАМЕНТІВ.....	25
3. ГІДРОТЕХНІЧНІ СПОРУДИ.....	41
4. АВТОМОБІЛЬНІ ТА ЗАЛІЗНИЧНІ ДОРОГИ.....	71
5. МОСТИ.....	95
6. ТУНЕЛІ.....	118
7. ЛІНІЙНІ ІНЖЕНЕРНІ СПОРУДИ.....	150
8. АЕРОДРОМИ.....	162
9. ДРЕНАЖНІ СПОРУДИ.....	177
10. ХВОСТОСХОВИЩА І СТАВКИ-ВІДСТІЙНИКИ.....	189
Підсумки.....	211
Список літератури.....	214
Предметний покажчик.....	217

ПЕРЕДМОВА

Проектування, будівництво та експлуатація інженерних споруд – складний і взаємопов'язаний процес, керувати яким повинні висококваліфіковані будівельники. Відповідну підготовку в цій галузі повинні мати і гідрогеологи, оскільки багатьом з них на практиці доводиться вирішувати питання будівництва та експлуатації мостів, гідротехнічних споруд і тунелів. Інженерно-геологічні та гідрогеологічні умови будівельних майданчиків визначають глибину закладення фундаменту, його конструкцію, технологію зведення, вживані матеріали та ін. Проект будь-якої інженерної споруди базується на інженерно-геологічних дослідженнях.

Роль гідрогеолога важлива на всіх стадіях: проектування, будівництва та експлуатації споруд. При ліквідації будівель вони дають вихідні дані для оцінки напрямків рекультивації звільненої площі і подальшого використання об'єкта. Діяльність гідрогеолога тісно пов'язана з проектуванням і спорудженням об'єктів в контакті з проектувальником і будівельником. Необхідно повне взаєморозуміння між цими фахівцями, тобто коли гідрогеологи добре розуміють своїх колег-будівельників, освоївши термінологію і основи будівельної справи, ази проектування і конструювання. Інженерні вишукування, проектування та будівництво ґрунтуються на нормативній базі – будівельних нормах, правилах і державних стандартах щодо виконання польових робіт, обробки, однозначної інтерпретації і правильного геологічного тлумачення кінцевих результатів.

Одним із найважливіших спільних завдань гідрогеологів та будівельників є продовження терміну служби інженерних споруд. Вік багатьох з них дорівнює 100 років, що свідчить про одночасну експлуатацію на території сучасних мегаполісів споруд побудованих за різними будівельними нормами. Тому для забезпечення їх надійної і тривалої експлуатації необхідно виконувати комплекс робіт, пов'язаних з обстеженням, випробуванням, оцінкою вантажопідйомності, ремонтом, підсиленням і реконструкцією. Необхідно відзначити, що проектування інженерних споруд у сучасних умовах вдосконалюється шляхом

розробки їх ефективних конструктивних складових з різних матеріалів, вдосконалення методів їх розрахунку, використання персональних комп'ютерів, а також за рахунок застосування комплексної механізації, організації поточного виготовлення елементів споруд та їх ритмічного монтажу.

Наведені особливості сучасного проектування і будівництва споруд у максимальній мірі знайшли відображення в цьому навчальному посібнику, основна ідея якого полягала в спробі об'єднання вивчення досить складних конструктивних елементів інженерних споруд з доступністю викладення, не уходячи при цьому в бік примітивізму. У зв'язку з цим, зміст посібника складений таким чином, що залежно від поставленого завдання користувач може самостійно визначити послідовність вивчення матеріалу і необхідний рівень інформації.

Автор при написанні роботи значною мірою спирався на власні дослідження, а також на досвід викладання дисципліни «Інженерні споруди». Окремі глави посібника побудовані на базі підручників і методичних рекомендацій, що добре зарекомендували себе в області проектування, будівництва і обслуговування будівель і споруд, таких авторів, як Л.О. Строкова [1], С.М. Максимов [2], В.А. Березнев і В.М. Шувалов [6], П.М. Саламахин [9, 11], Д.В. Рудаков [19] та ін.

Автор вдячний співробітникам кафедри гідрогеології та інженерної геології – докторам технічних наук, професорам Д.В. Рудакову і І.О. Садовенко за цінні консультації при написанні цієї роботи, начальнику навчально-методичного управління НТУ «Дніпровська політехніка» професору В.О. Салову за методичні поради і рекомендації, а також аспіранту Ю.В. Хрипливець за підготовку посібника до друку.

Всі зауваження щодо покращення викладеного матеріалу та структури посібника будуть прийняті автором з подякою.

ВСТУП

Матеріал навчального посібника «Інженерні споруди» за змістом відповідає вимогам стандарту вищої освіти й освітньо-професійної програми підготовки бакалаврів за напрямом 10 «Природничі науки» спеціальності 103 «Науки про Землю» (спеціалізація Інженерна геологія), а також робочій програмі початкової дисципліни «Інженерні споруди». У посібнику відображені нові досягнення в області проектування, будівництва та експлуатації споруд різного призначення. Він складається з 10 розділів: «Основні типи та елементи будівель», «Види і конструкції фундаментів», «Гідротехнічні споруди», «Автомобільні та залізничні дороги», «Мостові споруди», «Тунелі», «Лінійні інженерні споруди», «Аеродроми», «Дренажні споруди» та «Хвостосховища і ставки-відстійники». Простота змісту посібника досягнута за рахунок структурного і системного викладення навчального матеріалу, досконалості літературної мови, якості ілюстрацій, розвитку науки і техніки, а також впровадження євроінтеграційних процесів, що спостерігаються в Україні.

Мета посібника – формування у студентів системного інженерно-геологічного світогляду щодо особливостей конструкції елементів споруд різного призначення, а також технології забезпечення їх стійкості у різноманітних геолого-гідрогеологічних умовах.

За допомогою викладеного матеріалу студенти набувають такі компетенції:

за стандартом вищої освіти

– ініціативності, відповідальності та навичок до безпечної діяльності відповідно до майбутнього профілю, галузевих норм і правил, а також необхідного індивідуального та колективного рівня безпеки у надзвичайних ситуаціях (загальні);

– ідентифікувати та класифікувати відомі об'єкти і реєструвати нові у геосферах, їх властивості та притаманні ним процеси (спеціальні);

за освітньо-професійної програмою

- інтегрувати польові та лабораторні спостереження з теорією відповідно до послідовності: від спостереження до розпізнавання, синтезу і моделювання;
за робочою програмою начальної дисципліни
- класифікувати інженерні споруди у сучасному будівництві;
- розрізняти і характеризувати конструктивні елементи інженерних споруд, які забезпечують їх міцність і надійність;
- характеризувати особливості фундаментів споруд різного призначення для забезпечення їх стійкості в різноманітних геолого-гідрогеологічних умовах;
- розраховувати величину навантаження від цивільних будівель і фільтраційної дії в межах споруди.

Для отримання знань служать загальні відомості про: геологічне середовище, фізико-механічні властивості ґрунтів, закономірності фільтрації підземних вод у гірських породах, несприятливі фізико-геологічні явища і процеси.

Навчальний посібник «Інженерні споруди» призначений для підвищення рівня вищої освіти, який запланований в нормативних документах підготовки бакалаврів за спеціальністю 103 «Науки про Землю». Зміст посібника базується на узагальненні навчальної і наукової літератури як НТУ «Дніпровська політехніка», так і інших закладів вищої освіти і науково-дослідних інститутів.

1. ОСНОВНІ ТИПИ ТА ЕЛЕМЕНТИ БУДІВЕЛЬ

Зміст розділу. *Класифікація й основні вимоги до споруд і будівель. Основні елементи та типи будівель. Жорсткість споруд і види деформацій. Коефіцієнти надійності. Навантаження і впливи зовнішнього середовища при будівництві та експлуатації споруд.*

Навчальні цілі: спираючись на викладений матеріал, студент повинен вміти класифікувати інженерні споруди у сучасному будівництві, розрізняти і визначати їх основні конструктивні елементи, які забезпечують міцність і стійкість споруд.

Класифікація будівель. *Будівля* – це система, що складається з несучих і огорожувальних або сполучених (несучих і огорожувальних) конструкцій, які залежно від функціонального призначення утворюють наземний замкнений об'єм для проживання або перебування людей, а також для здійснення різного виду виробничих процесів. За призначенням будівлі поділяються на житлові, громадські та виробничі.

Споруда – об'ємна, площинна або лінійна наземна, надземна чи підземна будівельна система, яка складається з несучих, а в окремих випадках і огорожувальних конструкцій і призначена для здійснення різних виробничих процесів, зберігання матеріалів, виробів, обладнання, для тимчасового перебування людей і вантажів.

До житлових будівель відносять квартирні приміщення для постійного проживання людей і гуртожитки (готелі) – для тимчасового проживання або відпочинку. *Громадські будівлі* призначені для соціального обслуговування населення і розміщення адміністративних установ і громадських організацій. *Виробничі будівлі* – служать для розміщення промислових виробництв і забезпечення необхідних умов праці людей і експлуатації технологічного обладнання.

За об'ємно-планувальними рішеннями споруди поділяють на [1]:

- лінійні (трубопроводи, лінії електропередачі, дороги);
- майданні (стадіони, плавальні басейни, аеродроми);

– об'ємні (елеватори, вежі та ін.).

За планувальною ознакою споруди бувають наземні (дороги, майданчики), підземні (метрополітени, сховища) і наполовину заглиблені (мости, дамби).

За *критерієм конструкції стін* будівлі і споруди поділяють на дрібноелементні (з цегли, керамічних і силікатних каменів, дрібних блоків), великоелементні (з великих блоків та панелей). За *рівнем поверховості* розрізняють малоповерхові (до 5 поверхів), середньої поверховості (5 – 12), підвищеної поверховості (12 – 20) і висотні (понад 20 поверхів).

Основні вимоги до будівель і споруд. Будинки і споруди повинні бути функціонально доцільні, тобто відповідати своєму призначенню, бути надійними, стійкими, капітальними, довговічними, вогнестійкими та одночасно володіти архітектурною привабливістю.

Міцність будівлі – це здатність сприймати діючі навантаження, а також зусилля, що виникають в її конструктивних елементах. *Стійкість будівлі* – це здатність чинити опір перекиданню або зсуву. Міцність і стійкість забезпечуються доцільним вибором конструктивної схеми і несучих елементів будівлі. *Капітальність будівлі* характеризує рівень довговічності і вогнестійкості її основних елементів.

Довговічність визначається міцністю і стійкістю будівлі протягом певного часу без втрати необхідних експлуатаційних властивостей. Вона характеризується терміном служби основних конструктивних елементів: фундаментів, стін, колон, ригелів, перекриттів тощо. За довговічністю будівельні конструкції поділяють на три категорії: I – термін служби не менше 100 років, II – не менше 50 років і III – не менше 20 років.

Необхідний ступінь довговічності забезпечується: вибором матеріалу, якій має належну міцність, морозо- і вогнестійкість; застосуванням відповідних конструктивних рішень для захисту елементів будівель від руйнівних зовнішніх впливів; спеціальним захистом елементів, виконаних з недостатньо стійких матеріалів; можливістю заміни і ремонту окремих елементів конструкцій будівлі.

Вогнестійкість будівель і споруд характеризується ступенем займистості і межею вогнестійкості. *За ступенем займистості* всі будівельні матеріали поділяють на три групи: вогнетривкі, ті які важко згоряють і згоряють.

До *вогнетривких* відносять матеріали і конструкції будівлі, які під дією вогню або високих температур не піддаються займанню, тлінню або обвуглюванню. Такими матеріалами є кам'яна кладка, бетон, залізобетон, метал. До тих, які *важко згоряють*, відносять конструкції, виконані зі слабкопальних матеріалів, а також з пальних, але захищених від вогню штукатуркою або облицьовуванням з непальних матеріалів. Вони продовжують горіти або тліти тільки за наявності джерела вогню. Сюди входить суха гіпсова штукатурка, гіпсові деталі та глибоко просочена антипіренами деревина. До будівельних матеріалів, які *згоряють*, відносять конструкції, виконані з пальних матеріалів і не захищені від вогню. Під дією вогню або високої температури вони спалахують і продовжують горіти навіть після видалення джерела вогню.

Межею вогнестійкості будівельних конструкцій називається опір їх дії вогню (у годинах) до втрати несучої здатності і стійкості або до утворення наскрізних тріщин. Наприклад, межа вогнестійкості цегляної стіни товщиною 2,5 цегли становить 5,5 годин, межа вогнестійкості дерев'яної стіни товщиною 10 см – 45 хв. За ступенем вогнестійкості всі будівельні матеріали і конструкції поділяють на 5 груп: I, II, III – кам'яні конструкції; IV – дерев'яні поштукатурені; V – дерев'яні нештукатурені.

Морозостійкість характеризується опором будівельних матеріалів у водонасиченому стані впливу змінного заморожування і відтавання. Залежно від призначення споруди і середовища застосування потрібно, щоб зразки витримували 11,15, 20 та 25 циклів заморожування – відтаювання. Вважається, що зразки витримали випробування, якщо немає видимих пошкоджень та зниження їх міцності становить менше 25 %.

Економічність – одна з найважливіших вимог, що визначається вибором архітектурного і конструктивного рішення, яке забезпечує високу індустрію будівництва і мінімальні річні витрати. При цьому архітектурну привабливість

будівель створюють різними художніми засобами, з огляду на її призначення, особливості природних умов, національних традицій і т. ін. Важливими чинниками здешевлення будівель є використання місцевих матеріалів та застосування типових проектів.

Класифікація будівель. Визначальним у виборі *конструкції* будівлі та її окремих елементів є зовнішні впливи: силові (навантаження від власної маси будівлі, устаткування тощо) і несилові (впливи середовища, рис. 1.1).

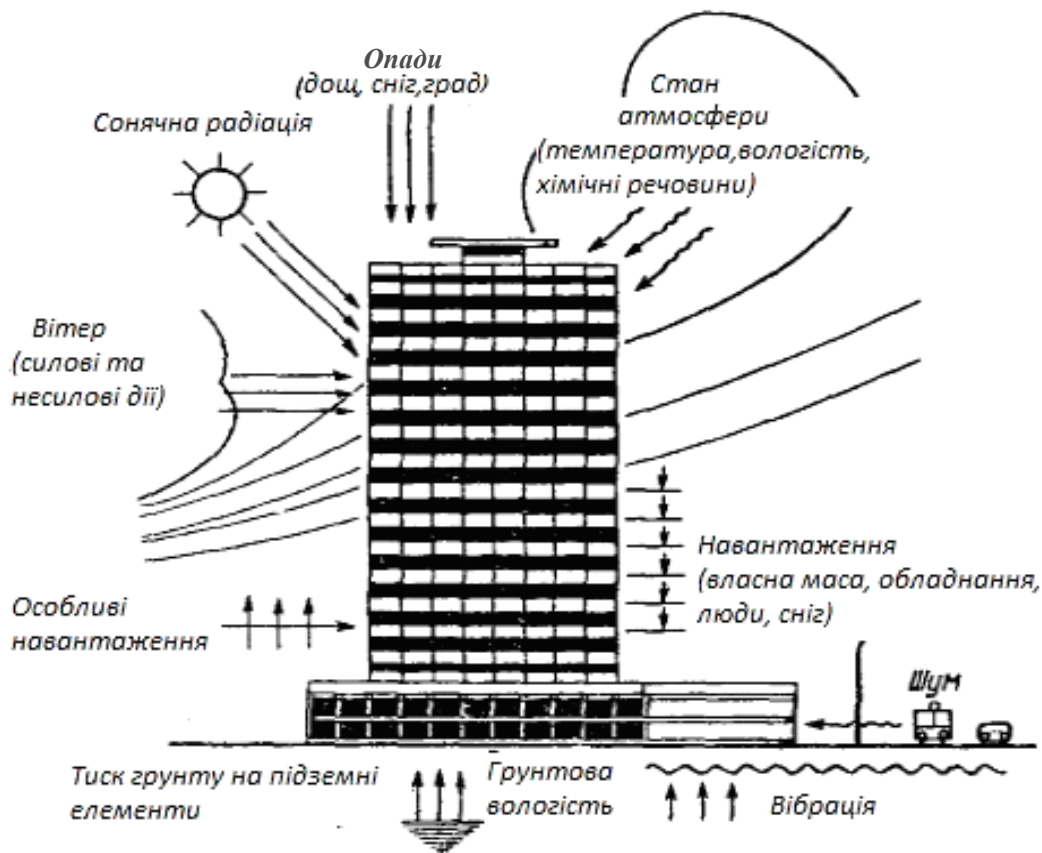


Рисунок 1.1 – Картина впливу на будівлю зовнішнього середовища [1]

Залежно від капітальності, експлуатаційних якостей, призначення та архітектурно-художньої привабливості будівлі і споруди поділяють на чотири класи [2]:

перший клас (1) – будівлі і споруди, до яких висуваються підвищені вимоги: монументальні споруди, розраховані на експлуатацію протягом тривалого періоду (театри, музеї, адміністративні будівлі, житлові будинки підвищеної

поверховості). Довговічність і вогнестійкість цих будівель повинна бути не нижче I ступеня;

другий клас (2) – житлові будівлі з кількістю поверхів не більше дев'яти, а також громадські та інші будівлі, їх довговічність і вогнестійкість повинна бути не нижче II ступеня;

третій клас (3) – малоповерхові будинки, громадські будівлі, які зводяться в районних центрах і сільських пунктах, довговічністю не нижче II ступеня, вогнестійкістю – не нижче III і IV ступенів;

четвертий клас (4) – споруди, що задовольняють мінімальним архітектурно-експлуатаційним вимогам. Їх вогнестійкість не нормується, а довговічність повинна бути не нижче III ступеня.

Основні елементи будівель. Всі будівлі незалежно від матеріалів, з яких вони виконані, призначення і класу складаються з певного числа взаємопов'язаних конструктивних елементів (рис. 1.2, [1]). При цьому залежно від призначення конструктивні елементи будівель поділяються на:

– несучі, тобто ті, які сприймають навантаження від верхніх конструкцій будівлі, обладнання, снігу, вітру і т. ін.;

– огорожувальні, що захищають приміщення від впливу зовнішнього середовища та забезпечують у них необхідний температурний і вологий режим, а також поділяють приміщення на окремі частини.

Будинки мають підземну й надземну частини. Фундаменти і стіни підвалів утворюють підземну частину будівлі; зовнішні і внутрішні стіни, міжповерхові перекриття, дах – надземну частину.

До основних конструктивних елементів будівель відносять фундаменти, стіни, перегородки, перекриття, опори, дах, сходи та ін.

Фундамент – підземна конструкція, яка передає навантаження від будівлі на ґрунт. Фундаменти бувають стрічкові, стовпчасті й пальові. Для спорудження фундаментів застосовують матеріали, що володіють високою міцністю, водо- і морозостійкістю: міцний камінь, збірні бетонні та залізобетонні вироби. Поверхня фундаментів, яка спирається на ґрунт, називається підшовою.

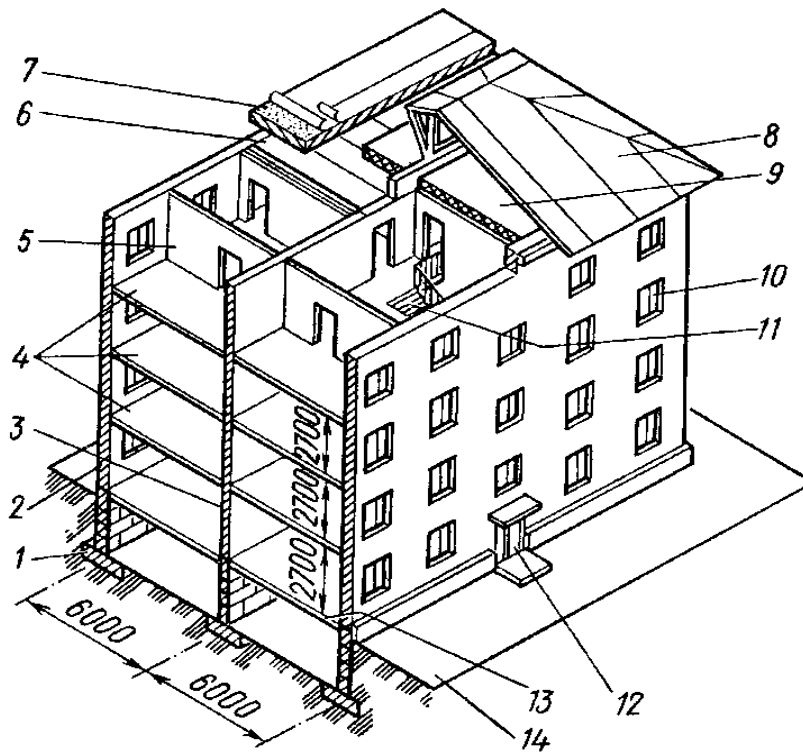


Рисунок 1.2 – Основні конструктивні елементи будівлі: 1 – фундамент;
 2, 3 – зовнішня і внутрішня стіна; 4 – міжповерхові перекриття; 5 – перегородка;
 6 – верхнє покриття; 7, 8 – безгорищні і горищні дахи; 9 – горищне перекриття;
 10 – вікно; 11 – сходи; 12 – входні двері; 13 – надпідвальне перекриття;
 14 – вимощення

Стіни служать для захисту приміщень від зовнішнього середовища (зовнішні) або для поділення їх між собою (внутрішні). Вони бувають несучими і самонесучими. У промислових будівлях несучі стіни для підвищення їх стійкості посилюють пілястрами, які можуть бути також опорами для підкранових балок і несучих конструкцій покриття. У каркасних будівлях самонесучі цегляні зовнішні стіни виносять за зовнішню грань колон каркаса і встановлюють на залізобетонні фундаментні балки, а перемички спирають безпосередньо на кладку стін.

Перегородки поділяють внутрішній простір будівлі в межах поверху на окремі приміщення. Вони бувають великопанельними або їх роблять із штуч-

них елементів. Товщина міжкімнатних перегородок 80 – 100 мм. Міжквартирні перегородки виконують подвійними з повітряним прошарком.

Перекрыття – конструкції, що розділяють внутрішній простір будівлі на поверхи та виконують несучі функції. Перекрыття поділяють на балкові (з несучими балками, які сприймають навантаження від плити перекрыття) і безбалкові (у вигляді несучої плити, яка спирається безпосередньо на стіни або колони).

Опори – колони або стовпи, конструкції круглого, квадратного або прямокутного перерізу, що сприймають навантаження від перекрыттів, покриттів, обладнання тощо.

Сходи призначені для сполучення між поверхами. Складаються зі збірних залізобетонних сходових маршів і площадок. У сходових клітках – приміщеннях з несучими стінами, де знаходяться сходи, в більшості випадків розташовані ліфти.

Дах (покрыття) – верхня захисна конструкція будівлі (споруди), яка призначена для захисту від зовнішніх кліматичних факторів. Верхній водонепроникний шар даху називають покрівлю, простір між дахом і горищним перекрыттям – горищем. За наявності горища дах називають горищним. Конструктивно дах може з'єднуватися (об'єднуватися) з горищним перекрыттям, у цьому разі його називають суміщеним. Найбільшого поширення суміщені покриття набули в промисловому будівництві. Безгорищне покриття включає покрівлю та несучі конструкції разом з термо- і пароізоляцією. Горищний дах має покрівлю з несучими та огорожувальними елементами. Горищне перекрыття таких дахів аналогічно конструкції міжповерхового перекрыття, тільки замість звукоізоляції вбудовують термо- і пароізоляцію і не роблять підлог.

Конструктивні типи будівель. Основні несучі елементи будівлі (фундаменти, стіни, колони, перекрыття) у сукупності утворюють просторову систему, названу несучим каркасом будівлі, що забезпечує її просторову жорсткість і стійкість. Згідно з конструкцією несучого каркаса, будівлі поділяють на безкаркасні, каркасні та з неповним каркасом.

Безкаркасні одно- і багатоповерхові будівлі з несучими поздовжніми або поперечними стінами являють собою коробку, просторова жорсткість якої забезпечується перекриттями і стінами, що утворюють жорсткі горизонтальні і вертикальні діафрагми. Стійкість і жорсткість таких будівель забезпечуються надійним зв'язком між стінами і перекриттями.

Діаграми співвідношення вартості різних конструктивних елементів будівель наведено на рис. 1.3.

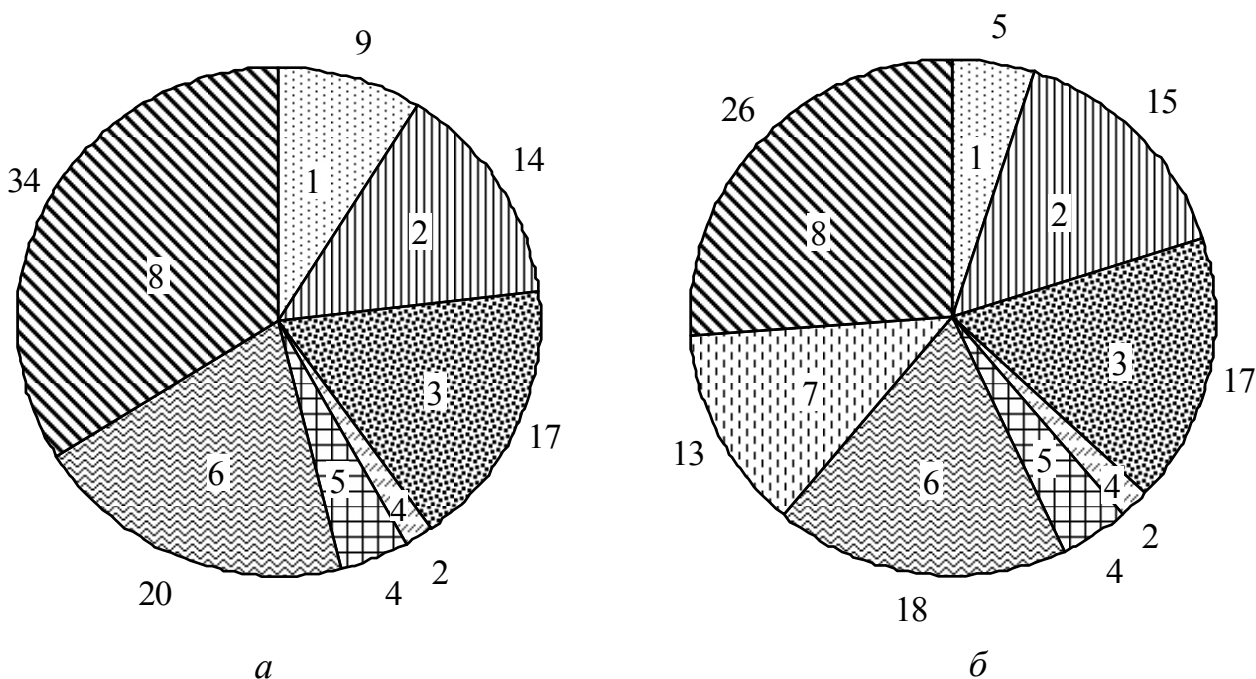


Рисунок 1.3 – Діаграми співвідношення вартості (%) основних елементів п'яти (а) і шістнадцяти (б) поверхових житлових будинків: 1 – підземна частина; 2 – зовнішні стіни; 3 – внутрішні стіни і перегородки; 4 – сходи; 5 – дах; 6 – міжповерхові перекриття і підлоги; 7 – ліфти, сміттєпроводи і технічні поверхи; 8 – різні спеціальні елементи

Каркасні будинки являють собою просторову систему колон, зв'язаних з перекриттями та покриттями, які утворюють каркас. Стіни каркасних будинків виконують огорожувальні функції. Відстань між поздовжніми рядами колон у таких будівлях називають прогоном, а відстань між колонами поздовжнього ряду – кроком. Розміри прогону і кроків колон називають сіткою колон. Конструктивний тип будівель з неповним каркасом відповідає зовнішнім несучим

стінам колон. Стійкість таких будівель забезпечується зовнішнім зв'язком елементів каркаса зі зовнішніми стінами. У сучасному будівництві такий тип конструкцій обмежений.

Основні типи будівель і споруд за жорсткістю і формою їх деформацій. Всі будівлі за жорсткістю і характером деформацій підрозділяються: на абсолютно жорсткі, абсолютно гнучкі і ті, які володіють кінцевою жорсткістю [3].

Абсолютно жорсткі будівлі і споруди не скривляються та характеризуються зазвичай рівномірним осіданням при симетричному завантаженні. У разі появи нерівномірних осідань основи в цих конструкціях виникають додаткові напруження, проте вони не є небезпечними для таких будівель і споруд внаслідок значного запасу міцності на вигин. Нерівномірні деформації викликають крен без вигину конструкції. Абсолютно жорсткими проектують димові труби, доменні печі, будівлі АЕС і т. ін.

Абсолютно гнучкі споруди характеризуються тим, що у всіх точках контакту з поверхнею ґрунту вони прямують за переміщеннями ґрунтів основи споруди. У разі появи нерівномірних деформацій у конструкціях таких споруд додаткові напруження не виникають. Прикладом таких споруд є земляні насипи. Під час будівництва і експлуатації нерівномірне осідання насипу усувається шляхом підсипання землі.

Будинки й споруди з *кінцевою жорсткістю* (або відносно жорсткі) – найбільш поширені, оскільки в процесі нерівномірних деформацій вони отримують викривлення. Однак такі будівлі і споруди частково зменшують нерівномірність осідання шляхом деякого перерозподілу тиску в підшві фундаменту. Нерівномірні осідання викликають розвиток додаткових зусиль, які часто не враховуються при проектуванні конструкції, і зумовлюють появу тріщин. Тому для таких будівель і споруд треба особливу увагу приділяти спільному стану ґрунтів основи і несучим конструкціям (залізобетонний каркас, несучі стіни тощо).

Деформації основ споруд поділяють на дві групи: осідання та просідання. *Осідання* з'являються в результаті ущільнення ґрунту, або під впливом зовніш-

ніх навантажень, при цьому докорінної зміни структури ґрунту не відбувається. *Просідання* відбуваються в результаті ущільнення ґрунту під впливом зовнішніх навантажень і власної ваги ґрунту і супроводжуються докорінною зміною структури ґрунту. Просідання найчастіше відбуваються під впливом додаткових чинників, таких як замочування просадного ґрунту, відтавання мерзлого ґрунту тощо.

Залежно від причин виникнення деформації основ споруд їх поділяють на два види:

- 1) деформації від зовнішнього навантаження на основу – опади, просідання, горизонтальні переміщення;
- 2) деформації, які проявляються у вигляді вертикальних і горизонтальних переміщень поверхні основи та не пов'язані зі зовнішнім навантаженням (просідання ґрунтів від власної ваги).

Максимальна величина *абсолютних осідань* визначається виходячи з найбільш несприятливих умов для даного типу фундаментів. Величина *середніх осідань* визначається як середньозважене значення абсолютних осідань окремих фундаментів, що мають взаємопов'язану надземну конструкцію, тобто

$$s_{cp} = (s_1F_1 + s_2F_2 + \dots + s_nF_n) / F_1 + F_2 + \dots + F_n,$$

де s_i – абсолютне осідання окремих фундаментів, м;

F_i – площа подошви фундаментів, м².

Прогин, вигин, перекис і крен характеризують нерівномірність осідань. *Прогин або вигин*, як правило, виникають у протяжних будівлях і спорудах, що не володіють великою жорсткістю. При появі прогину найбільш небезпечна зона розтягування знаходиться в нижній частині будівлі або споруди, при вигину – у верхній зоні.

Залежно від нерівномірності деформування ґрунтів основи і жорсткості будівлі (споруди) в її конструкціях з'являються розтягувальні зусилля. Чим більше жорсткість будівлі на одних і тих самих ґрунтах, тим більше ці зусилля.

Перекіс будівлі або споруди характерний при різкому прояві нерівномірності просідання на ділянці найбільшої протяжності при збереженні відносно вертикальності несучих конструкцій (перекоси в каркасних будівлях).

Крен фундаменту будівлі або споруди являє собою її поворот відносно горизонтальної осі і проявляється при нерівномірному навантаженні основи або несиметричному нашаруванні ґрунтів за вертикальною віссю. Крен фундаментів розглядається як відношення різниці просідання крайніх точок фундаменту до його ширини або довжини. Він характерний для жорстких фундаментів, при цьому осідання основи в будь-якому напрямку змінюється за лінійним законом. Крен становить найбільшу небезпеку для високих споруд – димових труб, вузьких будівель підвищеної поверховості. Це призводить до появи додаткового моменту, що збільшує крен, і відповідно до втрати стійкості споруд. Внаслідок нерівномірного осідання крен можуть отримувати також колони і стіни, які не зв'язані жорстко з іншими конструкціями.

Кручення має місце при різних кренах будівлі (споруди) за довжиною, при цьому відбувається розвиток крену в двох перерізах споруди в різні боки. Наприклад, кручення виникає в прямокутній фундаментній плиті, коли відбуваються її осідання під протилежними кутами, що розташовані на одній діагоналі.

Горизонтальні переміщення фундаментів будівель мають місце при дії на ґрунти основи горизонтальних навантажень (наприклад, у розпірних конструкціях). Вони можливі також при проходці підземних виробок і розвитку зсувів.

Коефіцієнти надійності. У розрахунках за граничними станами визначають або граничні деформації, або граничну стійкість основи і споруди, перевищення яких неприпустиме. Безпечні деформації і стійкість основ і споруд гарантуються введенням розрахункових коефіцієнтів надійності, які дозволяють окремо враховувати особливості ґрунтів основи, конструктивних схем споруд, діючих навантажень, малу ймовірність одночасного навантаження фундаменту усіма найбільшими тимчасовими зусиллями. Залежно від проведеного розрахунку і прийнятої розрахункової схеми вибираються коефіцієнти.

Коефіцієнт надійності за матеріалом γ_m враховує можливість зменшення опору матеріалу в порівнянні з нормативним значенням. Він також враховує несприятливі умови стану матеріалу конструкції, невідповідність розрахункових схем і розрахункових формул умовам роботи ґрунтів основи, особливості, які не можна безпосередньо врахувати в розрахунках. Розрахунковий опір матеріалу визначають діленням його нормативного значення на коефіцієнт надійності. У розрахунках за несучою здатністю він завжди дорівнює 1,1.

Коефіцієнт надійності по ґрунту γ_g враховує випадковість вибору місця відбору проб і зразків ґрунту, неточність визначення розрахункових характеристик, можливість розкиду отриманих результатів. Розрахункові значення всіх характеристик визначають шляхом ділення їх нормативних значень на коефіцієнт. Для міцності коефіцієнт надійності визначають шляхом статистичної обробки даних за методом найменших квадратів. Для інших характеристик він завжди дорівнює одиниці (розрахункові характеристики прирівнюються до їх нормативних значень).

Коефіцієнт надійності споруди за призначенням γ_n враховує ступінь відповідальності і капітальності будівель і споруд, недостатню вивченість дійсної роботи і граничних станів окремих конструкцій і основ. На нього або ділять граничні значення несучої здатності основи, розрахункові опори ґрунтів, граничні деформації, або множать значення розрахункових навантажень чи зусиль. Для споруд I класу γ_n приймається відповідно 1,2, II класу – 1,15 і III класу – 1,1.

Коефіцієнт умов використання основи ґрунту γ_c враховує сприятливі і несприятливі умови роботи основи в цілому, а в ряді випадків окремих пластів ґрунту, які впливають на перехід основи в граничний стан, але не відображених у розрахунках прямим шляхом.

Коефіцієнт надійності за навантаженням γ_f враховує можливі відхилення в несприятливу сторону прийнятих у розрахунках навантажень від їх можливих значень і призначається в залежності від виду конструкції і типу ґрунту. Для ґрунтів природного залягання $\gamma_f = 1,1$. Цей коефіцієнт уводиться в тих ви-

падках, коли збільшення ваги ґрунту погіршує стан конструкцій і основ (ґрунт чинить активний тиск і сприяє втраті стійкості конструкцій). У розрахунках щодо деформацій $\gamma_f = 1$, а за стійкістю, його призначають шляхом диференціювання від виду навантаження. У розрахунках основ і фундаментів, крім коефіцієнта γ_f , додатково вводиться коефіцієнт поєднання навантажень, який враховує умови дії навантаження.

Навантаження та їх вплив при будівництві та експлуатації споруд.

При проектуванні основ будівель і споруд необхідно враховувати навантаження, які виникають при їх будівництві та експлуатації, а також при виготовленні, зберіганні та перевезенні будівельних конструкцій. Основні положення і правила визначення всіх видів навантажень наведені в нормативних документах. При цьому всі навантаження залежно від тривалості їх дії поділяють на постійні і тимчасові.

До постійних відносяться навантаження, які при спорудженні і в процесі експлуатації будівель і споруд діють і проявляються постійно. До них належать: вага частин будівлі і споруд, а також вага несучих і огорожувальних конструкцій, вага і тиск ґрунтів, гірський тиск та ін.

Тимчасові навантаження поділяють на:

– *тривалі* – вага тимчасових перегородок, стаціонарного обладнання (верстатів, апаратів, ємностей), тиск газів, рідин і сипких тіл у ємностях і трубопроводах, навантаження на перекриття від складованих матеріалів, людей, вертикальні навантаження від мостових і підвісних кранів та ін.;

– *короткочасні* – навантаження від устаткування в перехідному і випробувальному режимах, навантаження від рухомого підйомально-транспортного обладнання, снігові навантаження, ожеледі тощо;

– *особливі* – навантаження, викликані різкими порушеннями технологічного процесу і тимчасовою несправністю обладнання; деформаціями основи з докорінною зміною її структури у карстових районах або на ділянках гірничих виробок.

Розрахунки основ будівель і споруд за граничними станами повинні виконуватися з урахуванням найбільш несприятливих умов об'єднання навантажень.

Питання до самоконтролю

1. Що називається будівлею і інженерною спорудою?

2. Міцність будівлі – це (виберіть одну із відповідей): 1) здатність до руйнування, в якій б умови експлуатації вона не потрапляла; 2) міра використання матеріалів конструкції, з яких вона виготовлена; 3) зменшення ресурсів вартості і трудомісткості матеріалів, зниження маси будівлі і трудових витрат на зведення; 4) усі відповіді правильні.

3. Класифікація будівель за призначенням, поверховістю та ступенем поширення.

4. Перелічіть основні вимоги, що ставляться до будівель, та види навантажень, які на них діють.

5. Визначте об'ємно-планувальні елементи з перелічених найменувань: зовнішня стіна, поверх, перегородка, кухня, сходові кліть, перекриття, сходовий марш, підвальне приміщення.

6. Які основні конструктивні елементи будівлі визначають її структуру?

7. Визначте з наведених елементів: фундамент, стіни, перекриття, окремі опори, перегородки, сходи, вікна, двері, дах, ті, які виконують:

- а) тільки несучі функції;
- б) тільки огорожувальні функції;
- в) одночасно несучі та огорожувальні функції.

8. Коли у цивільному будівництві доцільно застосовувати безкаркасні та каркасні споруди? Від чого це залежить?

9. До якої частини будівлі відносять фундамент, стіни, окремі опори, перекриття і покриття? Виберіть одну із відповідей: 1) до об'ємно-планувальних

елементів; 2) до конструктивних елементів; 3) до будівельних виробів, з яких складаються конструктивні елементи; 4) немає правильної відповіді.

10. Поясніть фізичне значення коефіцієнта надійності ґрунту за призначенням.

2. ВИДИ І КОНСТРУКЦІЇ ФУНДАМЕНТІВ

Зміст розділу. *Конструкція, класифікація і проектування фундаментів. Види фундаментів та вибір глибини їх закладення. Пальові фундаменти. Фундаменти глибокого закладення, на структурно-нестійких ґрунтах і в сейсмічних районах. Захист фундаментів від ґрунтової вологи.*

Навчальні цілі: спираючись на викладений матеріал, студент повинен уміти характеризувати особливості фундаментів споруд різного призначення для забезпечення їх стійкості в різноманітних геолого-гідрогеологічних умовах.

Конструкція фундаментів. Фундамент є основним конструктивним елементом несучого остову будівлі, який приймає на себе навантаження від будівлі і передає їх на ґрунт основи. Матеріаломісткість фундаменту в об'ємі малоповерхового житлового будинку становить 10 – 30 %. Нижня поверхня фундаменту, яка безпосередньо спирається на ґрунт, називається *підшовою* фундаменту (рис. 2.1). Відстань від поверхні землі до підшови фундаменту називається *глибиною закладення фундаменту*, верхня межа фундаменту – *обрізом*, розширення в нижній частині фундаменту – *подушкою фундаменту*.

Класифікація фундаментів. Глибина закладення фундаменту d впливає на міцність і стійкість ґрунту (рис. 2.2). Тому при класифікації фундаментів за основу взято відношення d/b , де b – ширина підшови фундаменту [4]:

- при $d/b < 1/2$ – фундамент малої глибини закладення;
- при $d/b = 1/2 - 2$ – фундамент середньої глибини закладення;
- при $2 < d/b < 4$ – фундамент глибокого закладення.

Проектування основ і фундаментів у вітчизняній практиці виконується за двома групами граничних станів: перша група – за несучою здатністю і стійкістю, друга група – за деформацією.

Метою розрахунку основ за *несучою здатністю* є забезпечення міцності і стійкості ґрунтів основи, особливо на слабких водонасичених ґрунтах, недопущення зсуву фундаменту на підшові і перекидання або сповзання на схилах. Розрахунки цього виду стосуються *першої групи* граничних станів.

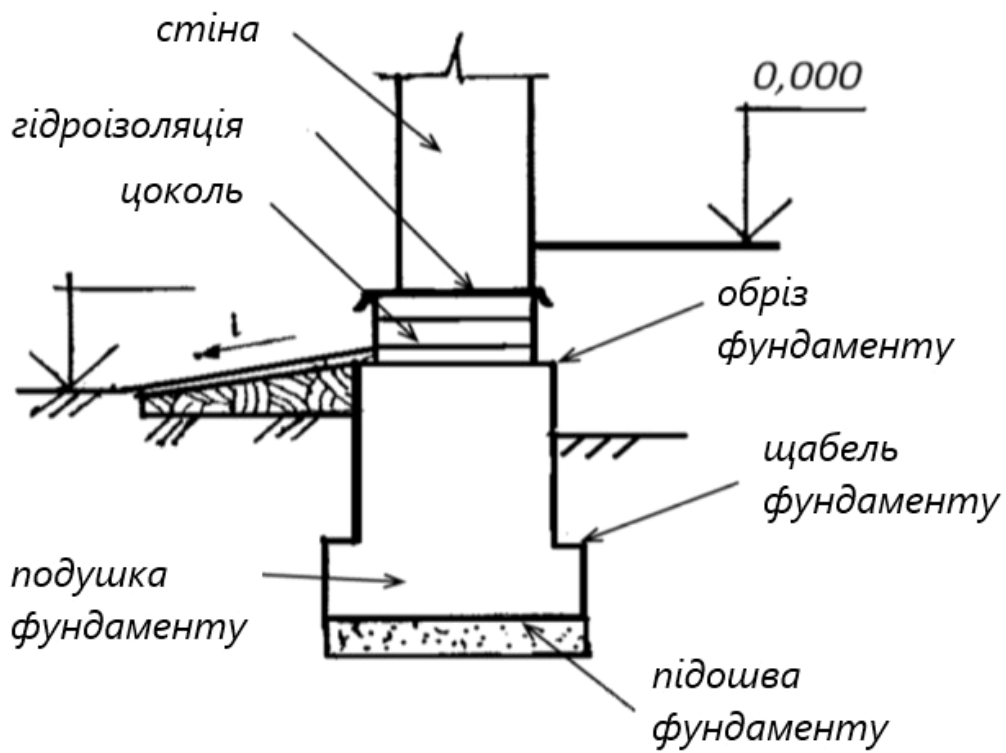


Рисунок 2.1 – Основні елементи фундаменту будівлі

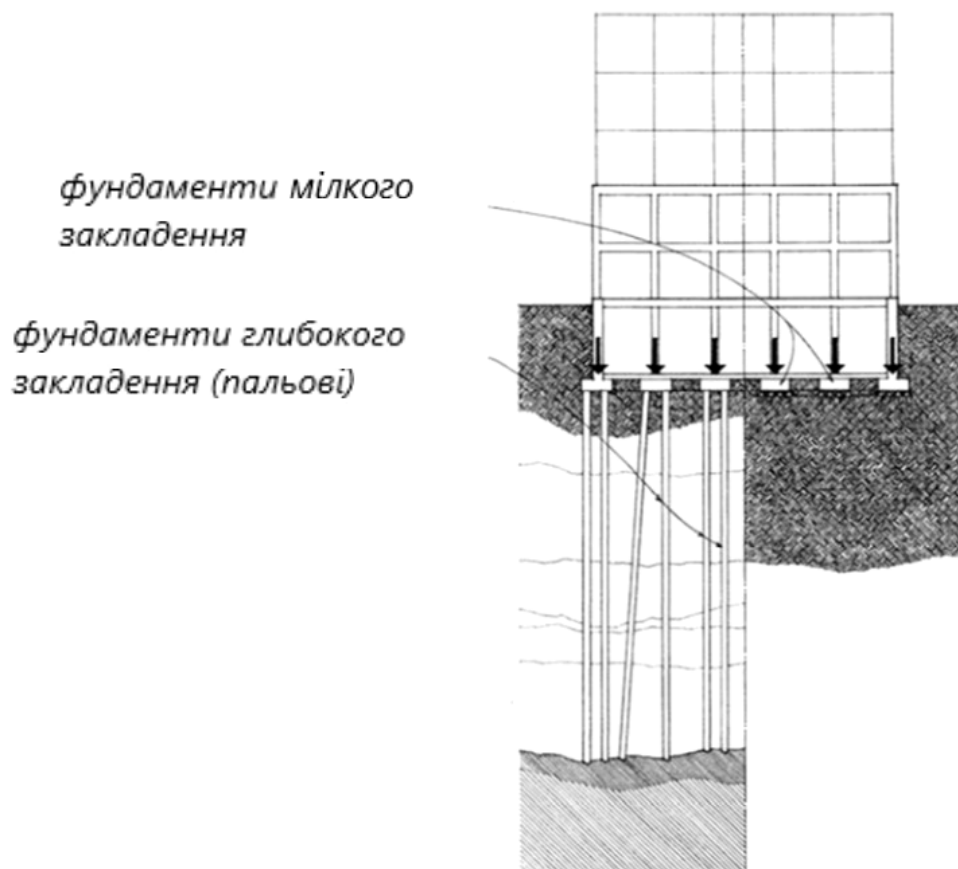


Рисунок 2.2 – Фрагмент фундаментів різної глибини закладення

Для промислових і цивільних споруд, як правило, основним є розрахунок основ *за деформаціями*, оскільки вони встановлюються виключно з умов нормальної експлуатації самих споруд. Розрахунки за першою групою граничних станів служать як перевірочні в тих випадках, коли основа може втратити міцність, а споруда – стійкість.

Під дією маси конструкцій і корисних навантажень від споруд фундаменти, побудовані на дисперсних ґрунтах, отримують вертикальні переміщення – осідання, як правило, нерівномірні. Це може стати причиною виникнення деформацій у надземних конструкціях будівель, призводячи до порушення надійної експлуатації споруди. Оскільки ті чи інші величини осідання отримують майже всі споруди, то розрахунок основ, насамперед, виконується *за другою групою граничних станів, тобто за деформаціями*.

Відповідно до нормативних документів цей розрахунок здійснюється з умови, що

$$S < S_u,$$

де S – спільна деформація основи і споруди, що розраховується;

S_u – граничне значення спільної деформації основи і споруди, яке встановлюється нормативними даними.

Обчислення виконуються з урахуванням *розрахункового опору ґрунту R* . *Розрахунковий опір* – це такий тиск на основу, при якому ще зберігається лінійна залежність на графіку осідання фундаментів, а глибина розвитку зон місцевого порушення міцності (глибина розвитку зон зрушень) під краями фундаментів не перевищує 1/4 ширини підшви.

Фундаменти, що зводяться у відкритих котлованах – це такі, в яких відношення висоти до ширини підшви не перевищує 4/1, та які передають навантаження на ґрунти основи, взагалі, через підшву. Тиск від ваги основних несучих конструкцій споруди передається на обріз фундаменту і далі через його підшву – на ґрунт основи. Фундамент повинен так знижувати тиск на підшву, щоб він не призводив до неприпустимих напружень і деформацій основи споруди.

Види фундаментів

1. *Окремі фундаменти* у вигляді бетонних, залізобетонних, цегляних або кам'яних стовпів з розширенням; вони витримують горизонтальні навантаження і моменти в створених виробках, заповнених бетоном.

2. *Стрічкові фундаменти* під стіни при великій жорсткості стін майже не працюють на вигин в поздовжньому напрямі. Ці фундаменти з метою зниження тиску на підшві можна розширяти тільки в поперечному напрямку (рис. 2.3).

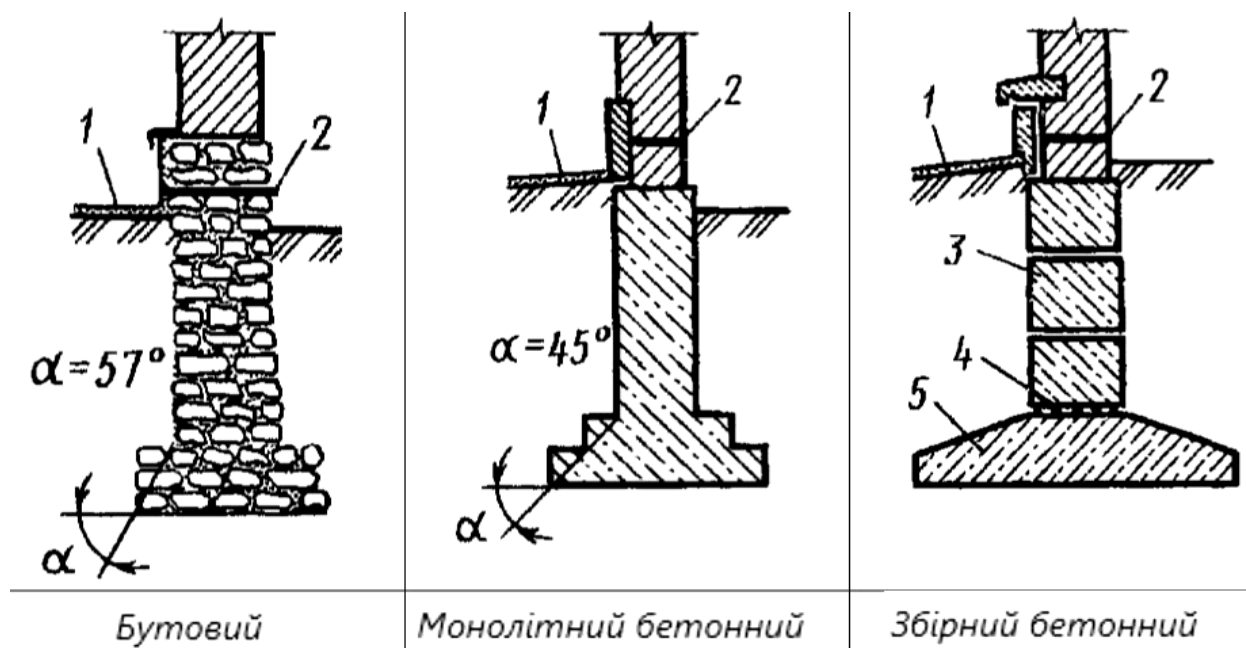


Рисунок 2.3 – Загальний вигляд стрічкових фундаментів: 1 – вимощення; 2 – гідроізоляція; 3 – збірні бетонні стінові блоки; 4 – армований пояс; 5 – подушка стрічкового фундаменту

3. *Суцільні фундаменти* влаштовуються під всією спорудою або її частиною у вигляді суцільних залізобетонних плит. Такі плити можуть вигинатися в двох взаємно перпендикулярних напрямках.

4. *Масивні фундаменти* – мають вигляд жорсткого масиву, який розташовується під невеликою в плані спорудою (димова труба, доменна піч). У більшості випадків основні розміри фундаментів неглибокого закладення визначаються виходячи з розрахунку основ за деформацією.

За своїм розрізом у профілі фундамент під кам'яну масивну стіну являє собою прямокутник. Ширину фундаменту поверху зазвичай роблять більше товщини стіни на 100 – 150 мм, влаштовуючи з кожного боку уступи, так звані обрізи. Наявність обрізів дозволяє трохи зрушити вісь стіни, якщо при первинній розбивці до початку кладки була виявлена неточність. Крім цього обрізи потрібні ще як міра попередження сколювання верхніх кромek фундаменту при тиску стіни. Прямокутна форма фундаменту (рис. 2.4, *a*) можлива лише для випадку, коли тиск у кладці не перевищує розрахунковий опір ґрунту. Однак частіше на кладку фундаменту передається значно більший тиск, ніж може витримати ґрунт. Тому для зниження тиску фундамент розширюють до підосви, надаючи йому форму трапеції (рис. 2.4, *б*). Розширення підосви не має бути надмірним, щоб уникнути утворення тріщин у виступних частинах. На базі досвіду встановлено граничні кути нахилу бічної грані фундаменту до вертикалі, при яких не виникають тріщини у виступних частинах. Цей кут α , званий кутом жорсткості, різний для різних матеріалів. Для бутового мурування на цементному розчині (1 : 4) $\alpha = 33^\circ 30'$, для бетону – $\alpha = 45^\circ$.

Фундаменти, які мають у профілі форму трапеції, практично мало зручні, оскільки при виконанні робіт важко дотримуватися необхідного нахилу бічної грані. Крім того, кладку неможна внизу закінчувати під гострим кутом. Тому трапецієподібна форма фундаменту замінюється східчастою (рис. 2.4, *в*). Для фундаментів будівель середньої поверховості в більшості випадків досить однієї сходинки, званої подушкою (рис. 2.4, *г*). Висота подушки зазвичай становить 0,4 – 0,5 м. Ширина підосви стрічкового фундаменту визначається розрахунком.

Стовпчасті фундаменти – складаються зі стовпів і фундаментних балок. Фундаментні балки встановлюють на всьому контурі стін (аналогічно стрічковому фундаменту). Вони приймають на себе навантаження від стін і передають його на стовпи, які встановлюють у місцях перетину стін і у проміжках між ними з певним кроком, який визначають розрахунком залежно від ваги будівлі і несучої здатності ґрунту.

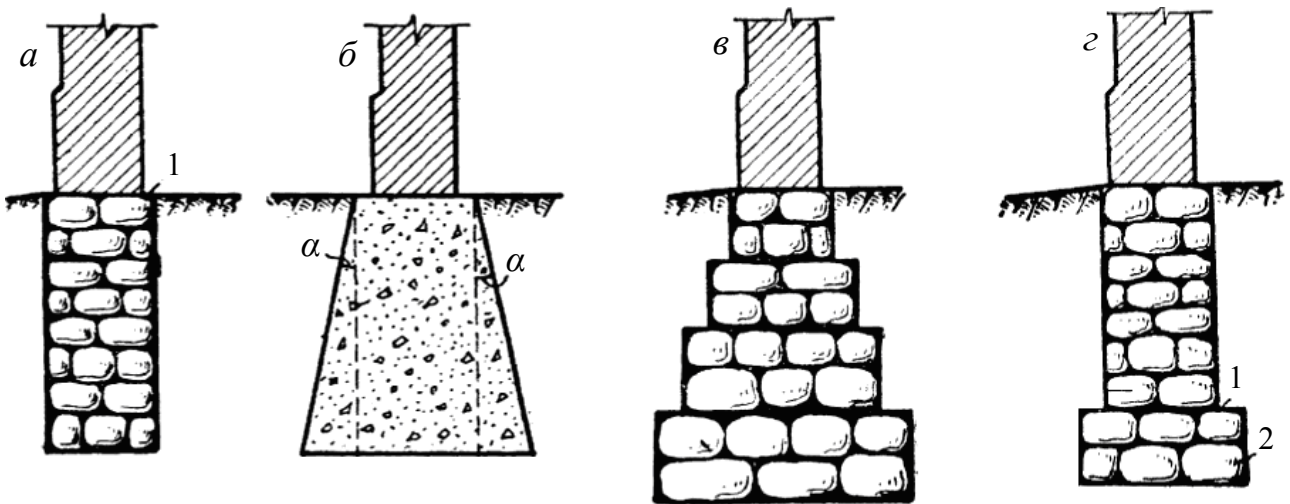


Рисунок 2.4 – Загальний вигляд стрічкових фундаментів: *а* – прямокутний;
б – трапецієподібний; *в* – східчастий; *г* – прямокутний з подушкою;
 1 – обріз; 2 – подушка

Конструктивні варіанти фундаментних балок та їх пропорції залежно від кроку встановлення стовпів наведені на рис. 2.5. Фундаментні балки з дерева використовують тільки під дерев'яні стіни. Між ґрунтом і низом фундаментної балки часто залишають повітряний проміжок, щоб попередити підймання балки і розташованої на ній стіни силами, які виникають при замерзанні ґрунту.

Стовпи квадратного перерізу виготовляють із збірних бетонних блоків, з монолітного бетону, червоної цегли і природного каменю. Розміри стовпів приймають з розрахунку на міцність (матеріалу і ґрунту). Для малоповерхових житлових будинків розмір подушки стовпа не перевищує 1 м, а горизонтальний переріз стовпа має дорівнювати розміру підшви. В останньому випадку висоту подушки приймають 0,3 м. Розмір перерізу стовпів та їх кроків залежить від ваги будинку, матеріалу фундаменту і міцності ґрунту.

Дерев'яні стовпчасті фундаменти найчастіше зустрічаються при реконструкції старих будівель і можуть бути використані при будівництві нових дерев'яних будинків на болотистих ґрунтах і вічній мерзлоті. Проектують їх у вигляді тумб або стовпів на лежнях і хрестовинах. Тумби встановлюють на піщаних сухих ґрунтах, виготовляючи їх з дуба, осики або кедра діаметром не менше 0,4 м.

Пальові фундаменти. Даний вид фундаментів в основному застосовується в багатоповерховому будівництві, в малоповерховому – використовують обмежено тільки короткі палі, які утримуються за рахунок сил бічного зчеплення з ґрунтом. У районах вічної мерзлоти пальові фундаменти зручні для влаштування провітрюваного підпілля, яке зберігає структуру вічної мерзлоти ґрунту. Для будинків з дерева кращими є дерев'яні палі діаметром 0,2 – 0,3 м. Дерево перешкоджає передачі теплоти від приміщень до мерзлоти, попереджаючи небезпечне танення ґрунту в районі палі. В інших районах для малоповерхового будівництва використовують короткі залізобетонні забивні палі, частіше квадратного перерізу 150 x 150 мм, 200 x 200 мм, або буронабивні палі діаметром 200, 300, 400 мм і більше. Глибина закладення коротких палей приймається не більше 2,5 м.

Палі розташовують під стінами за аналогією зі стовпчастими фундаментами, але з меншим кроком, який визначають розрахунком. Зверху на палі роблять ростверк. Балки ростверку мають багато спільного з фундаментними балками. Для їх виготовлення використовують ті самі матеріали. Типи пальових ростверків класифікують залежно від їх розташування відносно поверхні ґрунту, що впливає на стійкість палі.

Низький ростверк розташовують нижче поверхні ґрунту. Такий ростверк може передавати частину вертикального навантаження від споруди своєю підшою і сприймати бічною поверхнею горизонтальні навантаження. При цьому палі повністю знаходяться в ґрунті і поздовжній вигин палей від вертикальних навантажень зазвичай враховують тільки в дуже слабких ґрунтах.

Підвищений ростверк розташовують безпосередньо на поверхні ґрунту. Для одиночних палей з підвищеним ростверком під час перевірки на поздовжній вигин слід враховувати її глибину закладення в ґрунті. Підвищені ростверки припустимі в непучикоподібних ґрунтах.

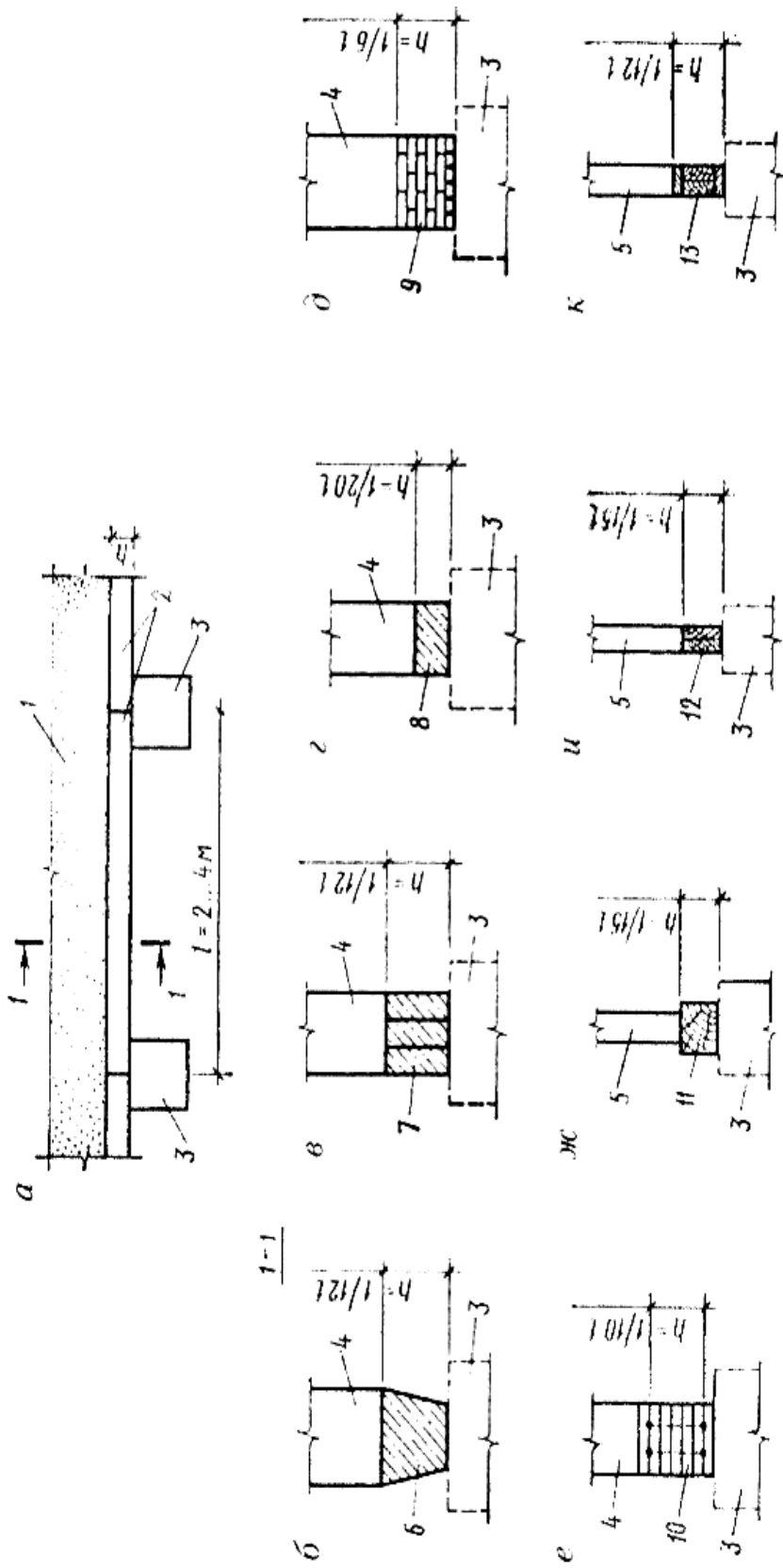


Рисунок 2.5 – Конструктивні схеми фундаментних балок стовпчастих фундаментів: а – фрагмент загального вигляду стовпчастого фундаменту; б – е – фундаментні балки під кам'яні і дерев'яні стіни; ж – к – фундаментні балки під дерев'яні стіни; 1 – стіна; 2 – фундаментна балка; 3 – стовп; 4 – кам'яна стіна; 5 – дерев'яна стіна;

6 – збірна залізобетонна балка; 7 – збірні залізобетонні перемички, балкові, посилені;

8 – монолітна залізобетонна балка; 9 – звичайна армоцегляна балка; 10 – армоцегляна

балка зі сталевими каркасами у вертикальних швах кладки; 11 – дерев'яна

балка; 12 – така сама з брусків; 13 – така сама з дощок

Високий ростверк розташовують вище поверхні ґрунту. Перевірку міцності вертикальних паль у цьому разі виконують з урахуванням поздовжнього вигину.

Залежно від розміщення паль у ростверку пальові фундаменти можуть бути виконані у вигляді:

- одиночних паль – під окремо стоячі опори;
- стрічок – під стіни будівель і споруд при передачі на фундамент розподілених за довжиною навантажень з розташуванням паль в один, два і більше рядів;
- кущів – під колони і стовпи, з розташуванням паль у плані на ділянці квадратної, прямокутної або іншої форми;
- пальового поля – під важкі споруди з розподіленими на всій площі навантаженнями і розташуванням паль під всією спорудою.

Методи занурення паль

Забивання є найбільш поширеним і дешевим способом занурення паль. Воно можливе у будь-які ґрунти, за винятком щільних пісків і великоуламкових ґрунтів.

Віброзанурення доцільно застосовувати за наявності шару насичених водою пісків. Для занурення паль використовують віброзанурювачі та вібромолоти. При дії вібратора, створювані ним коливання, передаються ґрунту через занурювану палю.

Вдавлювання паль застосовують там, де для їх занурення не можна використовувати динамічні дії (ударні впливи молота, віброзанурення). Таких умов дотримуються при спорудженні пальових фундаментів поблизу існуючих будівель з великою щільністю міської забудови.

Основні положення при проектуванні пальових фундаментів:

- оцінка інженерно-геологічних умов майданчика будівництва;
- вибір глибини закладення подошви ростверку;
- вибір типу, довжини і поперечного перерізу паль;

- визначення несучої здатності палі (за матеріалом – тільки для паль сто-яків і за ґрунтом – для всіх паль) і розрахункового навантаження, яке переда-ється на палі;

- визначення кількості паль у фундаменті;
- розміщення паль на плані і конструювання ростверку;
- перевірка навантажень, які припадають на палі;
- визначення величини осідання пального фундаменту.

Фундаменти глибокого закладення, за призначенням є конструкції, опорні частини яких закладаються на великій глибині. Причинами цього, як правило, є значні навантаження від споруд, які не можуть бути сприйняті слаб-кими поверхневими пластами.

Підземні споруди можуть виконуватися з розкриттям земної поверхні і без нього. Підземні споруди відкритого типу можуть зводитися в попередньо відритому на повну глибину котловані, стіни якого робляться з нахилом або кріпляться за допомогою тимчасового огородження (шпунту). Будівлі відкрито-го типу також можуть споруджуватися за допомогою опускання нарощуваних за висотою колодязів або оболонок, які відіграють роль постійного огорожен-ня котловану. Таки фундаменти бувають видів:

- опускні колодязі;
- кесони;
- тонкостінні оболонки;
- бурові опори, зводяться методом «стіна в ґрунті».

Опускні колодязі – являють собою замкнену в плані та відкрити зверху і знизу порожнисту конструкцію, бетоновану або зібрану з елементів на поверхні і занурену під дією власної ваги або додаткового навантаження в міру розробки ґрунту всередині неї. У міру занурення із середини колодязя виймається ґрунт. Для цього можуть застосовуватися екскаватори грейферного або іншого типів, іноді гідророзмив ґрунту. Після опускання колодязя до заданої позначки його внутрішня порожнина частково або повністю заповнюється бетоном.

Кесон – це перекинутий догори дном ящик, який утворює камеру, в яку нагнітається під тиском повітря таким чином, щоб видавити всю воду та осушити ґрунт, який розроблюється. Цей спосіб більш складний і дорогий, ніж застосування опускного колодязя, але він дозволяє «дістатися» до ґрунту, який розробляється вручну. Після закінчення опускання кесона його камера заповнюється бетоном.

Фундаменти глибокого закладення можуть бути виконані у вигляді *тонкостінних оболонок* (це пустотілі залізобетонні циліндри діаметром 1 – 3 м, товщина стінки – 0,12 м, секція має довжину 6 – 12 м, у міру необхідності секції нарощуються) або *бурових опор* – це бетонні стовпи, які встановлюють у пробурені свердловини, тобто набивні палі великого діаметра.

Фундаменти на структурно-нестійких ґрунтах. Іноді в природі зустрічаються ґрунти, в яких природна структура (в тому числі під навантаженням) є стійкою лише при збереженні певних умов. Такі ґрунти відносять до групи структурно-нестійких.

У багатьох випадках для виконання умов розрахунку фундаментів за граничними станами необхідно застосовувати спеціальні заходи. Наприклад, у разі можливості замочування ґрунтів і розвитку неприпустимих осідань слід передбачати один із заходів:

- а) усунення просадних властивостей ґрунтів у межах всієї товщі просідання;
- б) прорізом товщі просідання глибоким фундаментом;
- в) дотримання комплексу заходів, що включають підготовку основ, часткове усунення просадних властивостей ґрунтів, а також водозахисні конструкції.

Вибір зазначених заходів має здійснюватися з урахуванням типу ґрунтових умов, виду можливого замочування, розрахункової просадки, конструктивних особливостей споруд, взаємозв'язку проєктованих споруд із сусідніми об'єктами і комунікаціями.

При проектуванні фундаментів на ґрунтах, що набухають, розробляються заходи, спрямовані на зниження або повне виключення можливих деформацій: водозахисні заходи; попереднє замочування основи в межах всієї або частини товщі; застосування піщаних подушок; повна і часткова заміна шару ґрунту; конструктивні заходи, які дозволяють зменшити чутливість споруд до деформацій набухання та усадки.

Водозахисні заходи служать для запобігання локального замочування ґрунтів атмосферними або виробничими водами. З цією метою передбачають планування території з відводом атмосферних вод у каналізацію. Вимощення виконують такої ширини, щоб вони перекривали пазухи засипаних котлованів не менш ніж на 0,4 м. Вода з них має відводитися в спеціальні кювети і далі в зливостічну мережу. Водонесучі трубопроводи (каналізація, водопровід та ін.) виконують у вигляді залізобетонних лотків, що з'єднуються з оглядовими колодзями. У разі необхідності під всією спорудою застосовують водонепроникні екрани з полімерних матеріалів або асфальту.

Фундаменти в сейсмічних районах. Сейсмічні дії на фундаменти будівель і споруд обумовлені землетрусами, які відбуваються в результаті тектонічних розломів та інших процесів у земній корі. Від гіпоцентру у всіх напрямках поширюються пружні коливання, що характеризуються сейсмічними хвилями: поздовжніми (стиснення і розтягування) і поперечними (зсувні, перпендикулярні поздовжні). Крім того, від епіцентру на поверхні землі поширюються на всі боки поверхні хвилі, які призводять до найбільш сильних вертикальних коливань поверхневого шару.

Вертикальні коливання істотні для споруд, розташованих поблизу епіцентру землетрусу. У міру віддалення від нього вони загасають значно швидше горизонтальних, тому основну небезпеку становлять горизонтальні коливання. Тривалість землетрусів найчастіше вимірюється кількома секундами і рідше хвилинами. Силу землетрусу оцінюють у балах. В Україні прийнята 12-бальна шкала. За чинними нормами сейсмічні впливи враховуються при проектуванні будинків і споруд у районах із сейсмічністю 7 – 9 балів. На майданчиках, сейсмічність яких перевищує 9 балів, зводити споруди, як правило, не дозволяється.

Основні положення проектування і конструювання *сейсмостійких фундаментів*: головна вимога сейсмостійкості фундаментів полягає в тому, щоб при спільній дії на них звичайних навантажень і сейсмічних сил фундаменти не зруйнувались, не зсувалися і не перекидалися, їх основа не втрачала стійкості, тим самим забезпечуючи загальну стійкість і міцність зв'язку системи «споруда – основа». До сейсмічних відносяться сили взаємодії між ґрунтом основи, які зазнають коливання при землетрусах, і спорудою. За природою вони є інерційними, за характером – динамічними. Величина сейсмічного навантаження залежить не тільки від інтенсивності коливань, але і від динамічних характеристик споруди та її власних коливань, обумовлених початковими умовами руху ґрунту.

Фундаменти у сейсмічних районах розраховують виходячи з уявлення, що сейсмічні навантаження можуть мати будь-який напрямок у просторі. Дію сейсмічних навантажень у розглянутих напрямках приймають окремо і визначають за формулами.

Глибина закладення фундаменту – важливе питання, тому при її виборі необхідно враховувати [5]:

- глибину залягання шару ґрунту, який може бути взяти за природну основу;
- рівень ґрунтових вод;
- глибину промерзання ґрунту;
- особливості будівлі (наявність підвалу, фундаментів під обладнання і прилеглих будівель тощо).

Захист фундаментів від ґрунтової вологи. Фундаменти малоповерхових будівель, розташовані на відносно сухих ґрунтах, тобто з глибоким рівнем підземних вод, у першу чергу захищають від прямого впливу дощових і талих вод. З цією метою по периметру зовнішніх стін виконують вимощення з асфальту, асфальтобетону або плоских каменів на шарі піску з підстилкою жирної глини (рис. 2.6, а).

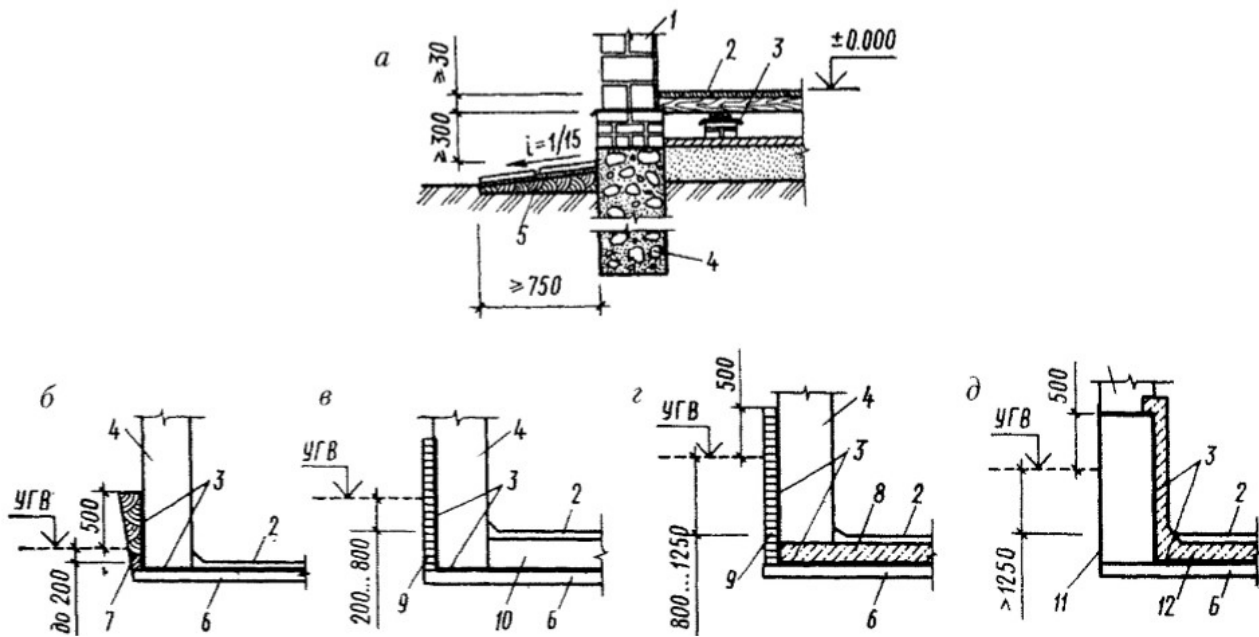


Рисунок 2.6 – Види захисту елементів малоповерхових будівель від вологи ґрунтів, побудованих на сухих ґрунтах стін (а) та підвалів і приміщів при високому рівні ґрунтових вод (б – д): 1 – стіна; 2 – підлога; 3 – гідроізоляція; 4 – фундамент стрічковий; 5 – вимощення; 6 – бетонна підготовка; 7 – глина; 8 – плита з монолітного залізобетону; 9 – захисна стінка з цегли; 10 – бетонна пригрузка гідроізоляції підлоги підвалу; 11 – дваразова обмазка гарячим бітумом; 12 – залізобетонний короб

У будь-яких ґрунтах міститься капілярна волога, яка проникає в тіло фундаменту і піднімається до зони з'єднання з конструктивними елементами надземної частини будівлі. Тому вся цокольна частина стіни нижче рівня гідроізоляції має виконуватися тільки з червоної глиняної звичайної добре обпаленої цегли. Щоб припинити надходження капілярної вологи в приміщення, на межі контакту фундаменту зі стінами роблять гідроізоляцію. Її виконують з двох шарів толю або розчину цементу з водонепроникними добавками і розташовують на певному рівні від поверхні вимощення та підлоги. Підлоги першого поверху, розташовані на ґрунті, теж мають горизонтальну гідроізоляцію. При цьому бічну поверхню фундаменту або стіни, яка стикається з ґрунтом підлоги, обмазу-

ють гарячим бітумом від рівня гідроізоляції стику стін з фундаментом до верху підготовки підлоги.

При високому рівні ґрунтових вод конструктивні елементи підземної частини малоповерхової будівлі опиняються у воді. Якщо вода пошкоджує стан фундаменту або підвалу, то їх виконують із спеціальних матеріалів, стійких до агресивного середовища. У будинках з підвалами або приямками рівень ґрунтових вод може знаходитися вище рівня підлоги. У таких випадках зовнішню поверхню стін і підлоги покривають рулонною гідроізоляцією на мастиці, починаючи від рівня землі, розташованого вище 0,5 м від встановленого рівня ґрунтових вод. Кількість шарів гідроізоляції приймають залежно від ступеня напору води на рівні підлоги. Наприклад, при напорі води до 200 мм роблять один шар гідроізоляції, а при напорі більше 1250 мм – чотири. Зверху на гідроізоляцію підлоги укладають захисний шар цементного розчину товщиною 20 – 30 мм. Щоб натиск води не розірвав гідроізоляційний шар, його нейтралізують масою конструкції підлоги, яка повинна перевищувати натиск маси води. При недостатній масі підлоги використовують додатковий шар з важкого бетону і укладають плиту з монолітного залізобетону або залізобетонний короб. В останніх двох випадках обов'язково перевіряють імовірність «спливання» дома під напором підземних вод.

Горизонтальні шари гідроізоляції підвалу укладають на шар бетонної підготовки товщиною не менше 100 мм, поверхню якої вирівнюють цементним розчином або шаром асфальту. Вертикальні шари гідроізоляції наклеюють мастикою на оштукатурену цементним розчином поверхню стіни підвалу. Для захисту вертикальних ділянок поверхні гідроізоляції від механічних пошкоджень роблять забивання із жирної глини або захисну цегляну стінку.

У деяких випадках складну конструкцію гідроізоляції виявляється доцільним замінити дренажем на ділянці землі під будинком. При застосуванні дренажу знижується рівень ґрунтових вод і значно спрощується конструктивне рішення захисту будівлі від дії вологи.

Питання до самоконтролю

1. Що таке глибина закладення фундаменту і від чого вона залежить?
2. Що являє собою другий граничний стан? Це розрахунок (виберіть правильний варіант відповіді): 1) за міцністю; 2) за деформаціями; 3) за несучою здатністю; 4) за розрахунковим опором ґрунту.
3. Які деформації є найбільш небезпечними для споруд? На яку глибину умовно допускається розвиток зон з граничним станом під подошвою фундаменту?
4. При нерівномірній стисливості ґрунтів рекомендується застосовувати фундаменти (виберіть одну із відповідей): а) монолітні; б) пальові; в) стрічкові; г) стовпчасті.
5. Що оцінюється за I граничним станом при розрахунку основи і фундаментів?
6. При якому об'єднанні навантажень розраховуються фундаменти (виберіть одну із відповідей): 1) постійні + особливі; 2) постійні + тимчасові (короткої дії); 3) постійні + тимчасові (тривалої дії); 4) постійні + додаткові?
7. У чому полягає відмінність напруженого стану під стовпчастими і стрічковими фундаментами?
8. Яка існує різниця між набивною палею і палею, яка виготовлена в ґрунті?
9. Згідно з яким граничним станом розраховується фундамент палі при визначенні їх числа?
10. Що рекомендується зробити для зниження величини просідання фундаменту?

3. ГІДРОТЕХНІЧНІ СПОРУДИ

Зміст розділу. *Загальні положення. Гідровузли. Греблі та їх класифікація. Прокладання водних шляхів. Шлюзи, суднопідіймачі і порти. Портові гідротехнічні споруди і набережні. Будівлі на іригаційних і осушувальних системах. Споруди для водопостачання та каналізації.*

Навчальні цілі: спираючись на викладений матеріал, студент повинен уміти розрізняти гідротехнічні споруди та визначати фільтраційні втрати в них на різних етапах експлуатації.

Загальні положення. *Гідротехнічні споруди* – це такі, які знаходяться під впливом водного середовища та призначені для використання й охорони водних ресурсів та запобігання шкідливій дії вод, у тому числі забруднених рідкими відходами. Гідротехнічні споруди вивчаються в розділі *гідротехніка* – різновидом галузі науки і техніки, що розглядає питання використання і охорони водних ресурсів та боротьби зі шкідливою дією вод за допомогою інженерних споруд.

Гідротехнічне будівництво дуже сильно впливає на природні умови. На ділянці водосховища змінюється положення базису ерозії навколишньої території і відповідно умови живлення і руху підземних вод, а також спостерігається активізація процесів на схилах (зсувів) і зміна мікроклімату району. Створення водосховищ з великим запасом води під час аварії може викликати катастрофічні затоплення долини річки нижче споруди. Все це вимагає повного ретельного вивчення природних умов території розміщення гідротехнічних споруд.

Гідротехніка – це:

- 1) використання водної енергії, тобто коли енергія води, яка рухається (падає), перетворюється в механічну, а потім в електричну;
- 2) меліорація (поліпшення) земель шляхом зрошення (іригації) посушливих районів і осушення заболочених, а також шляхом захисту від шкідливої дії води (затоплення, підтоплення, ерозії);

3) водний транспорт – покращення судноплавних умов річок і озер, будівництво портів, шлюзів, каналів тощо;

4) водопостачання і каналізація населених місць і підприємств.

Усі перелічені напрямки гідротехніки не є відокремленими, а тісно пов'язані між собою і перетинаються при комплексному вирішенні проблем водного господарства. За своїм призначенням гідротехнічні споруди поділяються на:

1. *Загальні*, які використовуються в усіх галузях гідротехнічного будівництва. До них відносяться:

- водопідпирні споруди, які створюють напір і підтримують його, – греблі, дамби тощо. Водозабірні споруди – гідротехнічні споруди, що призначені для відбору води з водойм, водотоків або підземних джерел для господарських цілей;

- водопропускні, призначенні для відведення води в заданому напрямку або скидання зайвих вод;

- водопровідні – канали, лотки, трубопроводи та тунелі, які призначені для підведення і відведення води в заданому напрямку;

- регуляційні – для регулювання русел, захисту берегів від підмиву, з'єднання б'єфів і різних гідротехнічних споруд;

2. *Спеціальні* (застосовуються тільки в певних умовах), до них відносяться:

- гідроенергетичні (машинні будівлі ГЕС, дериваційні споруди та ін.);

- воднотранспортні (шлюзи, канали, портові споруди);

- гідромеліоративні (водозабори, зрошувальні і осушувальні канали);

- водопровідні і каналізаційні (водозабори, водоводи, очисні споруди).

Гідротехнічні об'єкти зводять зазвичай у вигляді комплексу, який включає водопідіймальні, водопропускні, водозабірні, транспортні та енергетичні споруди. Такий комплекс споруд називають гідровузлом.

Гідровузли. Схема використання ресурсів водного потоку полягає в розбивці поздовжнього профілю річки на ряд ділянок, що являють собою частини долини річки, де будуть водосховища. Ці ділянки розміщують так, щоб водонепрохідність, створена греблею нижнього водосховища, виклинувалася перед

греблею вище розташованого водосховища. Система таких водосховищ дозволяє суттєво змінити водний режим водотоку, накопичувати воду в багатоводний період року і збільшувати витрати в маловодні періоди. При цьому створюються можливості для енергетичного використання річки, поліпшення умов судноплавства, полегшення забору води для цілей зрошення і водопостачання.

Водосховища розрізняються між собою характерними рівнями і об'ємами води (рис. 3.1): *нормальний підпірний горизонт* (НПГ) – найвищий нормальний рівень води у водосховищі; *форсований горизонт* (ФГ) – рівень, до якого допускається часове заповнення водосховища при багатоводному паводку; *горизонт мертвого об'єму* (ГМО) – найнижчий рівень допустимого осушення водосховища; *повний об'єм водосховища* – це такий, якій знаходиться між дном водосховища і горизонтом НПГ; *корисний об'єм* (V_k), що знаходиться між НПГ і ГМО і використовується для регулювання стоку (в тому числі для вироблення гідроенергії, цілей іригації і водопостачання); *резервна ємність* (V_p) – це така, яка знаходиться між НПГ і ФГ і використовується для зрізання піку паводка; *мертвий об'єм водосховища* (V_m) – це такий, якій знаходиться нижче водоспускових отворів і призначений для підтримки мінімальних рівнів води у водосховищі.

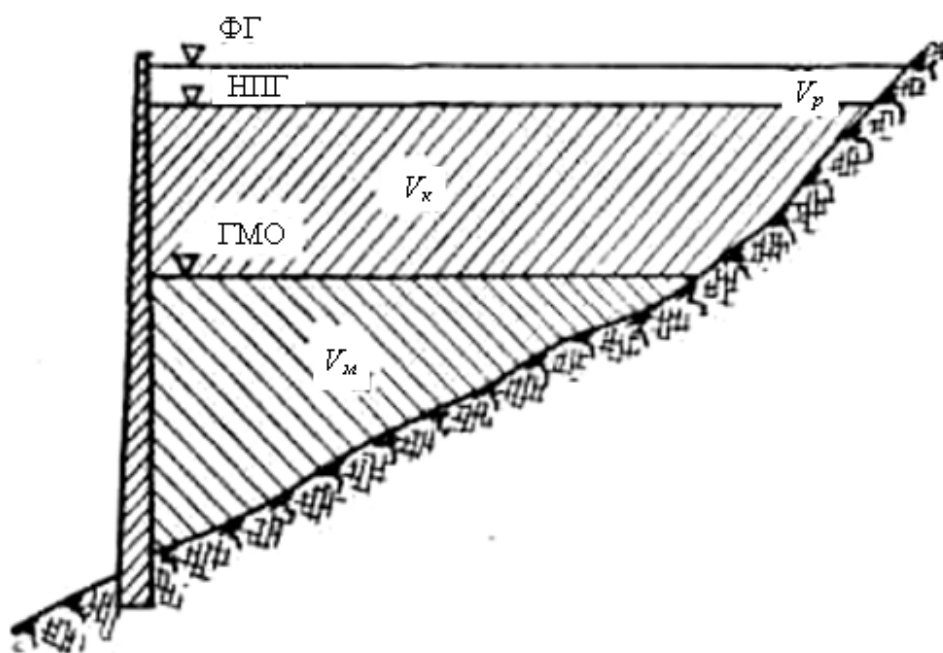


Рисунок 3.1 – Картина характерних рівнів та об'ємів води у водосховищі [6]

Вибір типу споруд гідровузла та їх взаємне розташування (компоновка) так само, як і способів їх зведення, є взаємопов'язаними і визначаються призначенням гідровузла та інженерно-геологічними умовами. Велика кількість цих умов, а також відмінність у масштабах і призначенні окремих споруд приводить до великого різноманіття їх взаєморозташування. Однак на практиці виділяють такі основні схеми розташування гідровузлів.

1. Річкові низьнапірні. Складаються вони зазвичай з греблі, машинного відділення, шлюзів і водозабірних споруд (рис. 3.2, [6]), які входять в напірний фронт. Будують такі гідровузли на рівнинних річках з греблями висотою не більше 25 м.

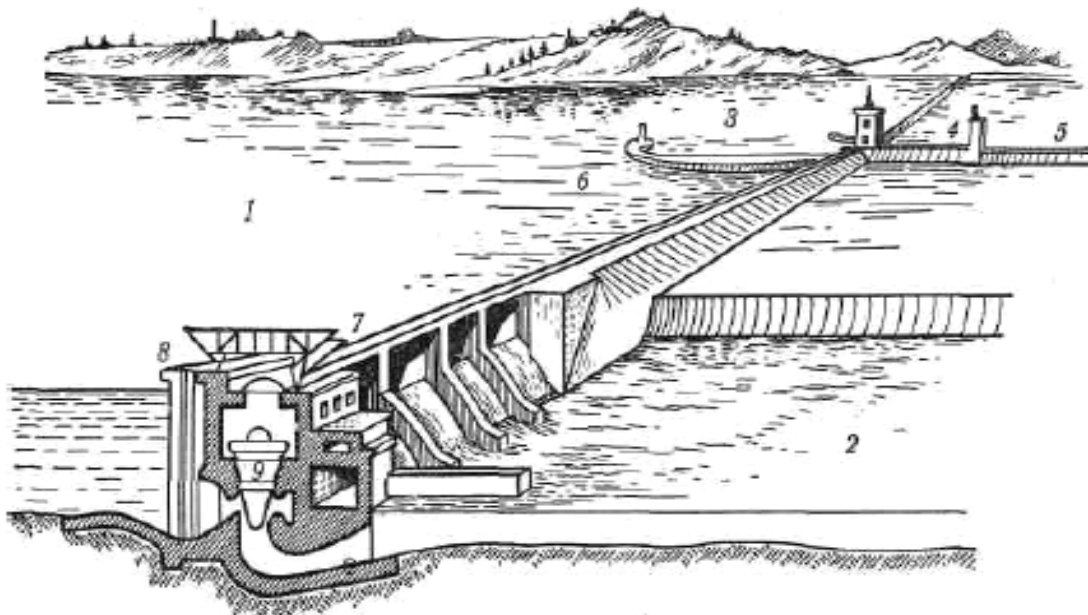


Рисунок 3.2 – Вигляд річкового низьнапірного гідровузла: 1, 2 – верхній і нижній б'єф; 3 – аванпорт; 4 – шлюз; 5 – нижній підхідний канал; 6 – земляна гребля; 7 – бетонна водозливна гребля; 8 – машинне відділення; 9 – турбіна і генератор

2. Пригребельні ГЕС, до складу гідровузла яких входять ті самі споруди, що і за схемою 1, але їх машинне відділення винесено в нижній б'єф за межі напірного фронту, і вода до турбін підводиться за допомогою турбінного трубопроводу (рис. 3.3). Такі гідровузли також будуються на рівнинних річках або в передгірській місцевості з глибоким врізанням долини і можливістю зведення

гребель середнього і високого напору (> 25 м). За цією схемою побудовано багато великих гідроелектростанцій.

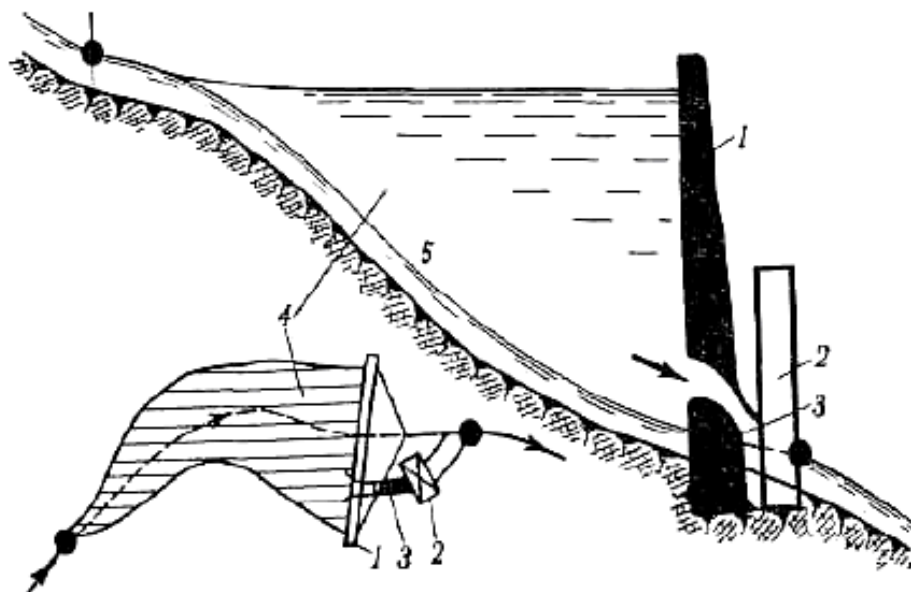


Рисунок 3.3 – Схема розташування споруд пригреблевої ГЕС [6]: 1 – гребля;
2 – машинна будівля; 3 – турбінні трубопроводи; 4 – водосховище;
5 – природне русло річки

3. Дериваційні гідровузли, які будують головним чином у гірській місцевості, відрізняються від перших двох схем тим, що в них натиск створюється шляхом надходження води в дериваційні споруди (канали, тунелі тощо) з ухилами, меншими ніж у природному руслі, і підведенням її напірними трубопроводами до турбін. При цій схемі гідровузла (рис. 3.4, [6]) до його складу входять: головні споруди (гребля і водозабір), деривація (канали, які підводять воду до напірного басейну), турбінний трубопровід і машинне приміщення. Для таких вузлів характерно розташування машинного приміщення на значній відстані від головних споруд і отримання великих напорів без будівництва високих гребель. При цьому, серед дериваційних бувають гідровузли з безнапірної деривації, коли вода надходить по схилу у відкритий лоток, та з напірної деривації, коли після водозабору вода потрапляє в напірний тунель і далі – в турбінний трубопровід. За цією схемою побудовано багато гідроелектростанцій. Так, ряд гідроелектростанцій у Швейцарії, Північній Італії та Австрії побудовані з перекиданням стоку одних річок у долини інших, нижче розташованих.

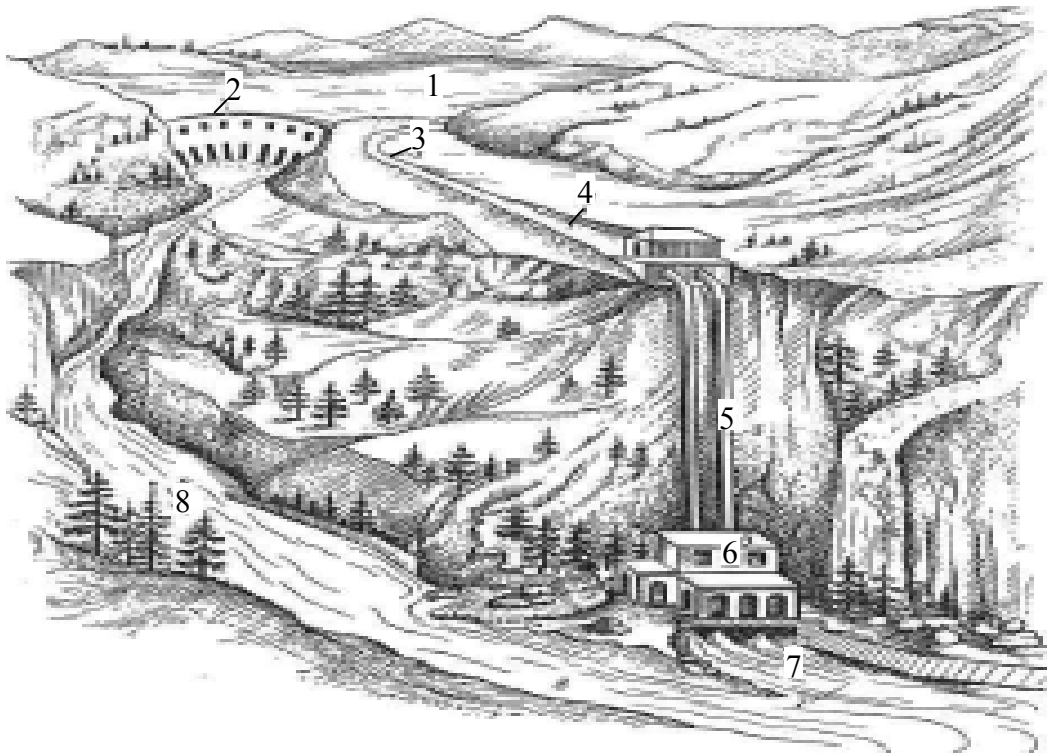


Рисунок 3.4 – Схема гідровузла з безнапірної деривації: 1 – водосховище; 2 – гребля; 3 – дериваційний канал; 4 – напірний басейн; 5 – турбінний трубопровід; 6 – машинне приміщення; 7 – відвідний канал; 8 – природне русло річки

Греблі та їх класифікація. *Гребля* – гідротехнічна споруда, яка загорожує річкове русло або річкову долину і створює напір води. Частина водотоку перед греблею, з більш високим рівнем води, називається *верхнім б'єфом*, а з іншого боку греблі, з низьким рівнем води, – *нижнім б'єфом*. Різниця рівнів води верхнього і нижнього б'єфів називається *напором*. Гребля зазвичай входить до складу вузла гідротехнічних споруд (гідровузла) і є найбільш відповідальною гідротехнічною спорудою. *Класифікація гребель* наведена в табл. 3.1, а нижче розглянута їх стисла характеристика.

За водогосподарським призначенням:

- водопідіймальні (служать для відносно невеликого підняття рівня води в річці, для покращення умов водозабору, судоходства тощо);

- водосховувальні – будують для створення водосховищ і накопичення води для подальшого її витрачання в міру потреб. Це зазвичай досить високі греблі, які утворюють великі водосховища, штучно регулюють і перерозподіляють витрати води річки за сезонами року (сезонне регулювання) або навіть протягом ряду років (багаторічне регулювання).

Таблиця 3.1 – Класифікація гребель

Ознака	Вид			
За призначенням	Водопідіймальні		Водосховувальні	
За висотою	Низьконапірні	Середньонапірні		Високонапірні
За гідравлікою	Водозливні		Глухі	
За роботою	Гравітаційні	Арочні	Контрфорсні	Анкерні
За матеріалом	Земляні	Кам'янонабросні	Кам'яні	Дерев'яні

За висотою: низьконапірні (до 10 м), середньонапірні (від 10 до 40 – 50 м), високонапірні (більше 50 м).

За гідравлічною ознакою (тобто за умовами пропускання води):

- водозливні (дозволяють перелив води через гребінь або мають спеціальні водозливні отвори);
- глухі (через які неможливе пропускання води).

За умовами роботи або конструктивними ознаками (рис. 3.5):

- гравітаційні греблі (земляні, кам'яні, дерев'яні, бетонні) характеризуються тим, що їх стійкість проти зсуву забезпечується в основному силами тертя між подошвою греблі і ґрунтом основи, які пропорційні вазі споруди;
- арочні греблі (переважно бетонні) являють собою в плані криволінійну стінку, що відіграє роль склепіння, через п'яти якого майже повністю передається горизонтальний тиск води скельним берегам;
- контрфорсні греблі (переважно залізобетонні і бетонні) складаються з плоских, арочних або масивних перекриттів, які безпосередньо сприймають тиск води, і стінок-контрфорсів, що служать опорами для перекриттів;

- анкерні греблі пручаються зсуву у великій мірі завдяки своїй конструкції, в основу якої покладено встановлення зварювального чи шпунтового фундаменту, глибоких зубців або сталевих тросів.

За матеріалом, з якого зводять споруду

Земляна гребля являє собою насип трапецоїдального поперечного перерізу з однорідних або різнорідних ґрунтів. Вони набули значного поширення, оскільки застосовуються у підпірних спорудах усіх призначень. Їх поширенню сприяє простота зведення, надійність і довговічність під час експлуатації, можливість будівництва з дуже великої різноманітності місцевих матеріалів і практично на будь-яких навіть найслабших ґрунтах, а також відносна дешевизна.

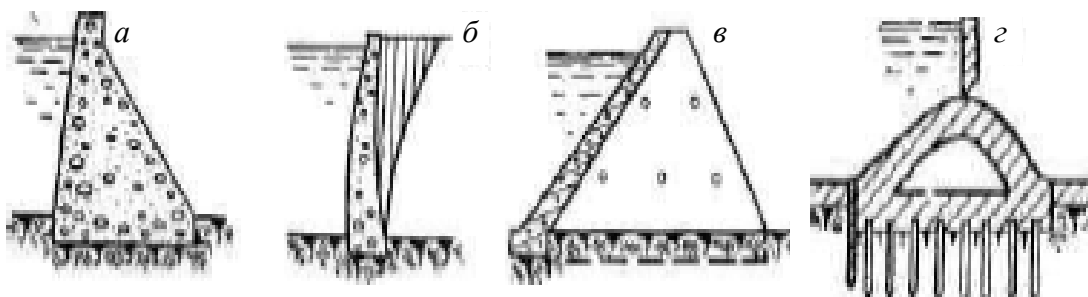


Рисунок 3.5 – Схеми гребель [6]: *a* – гравітаційна; *б* – арочна;
в – контрфорсна; *г* – анкерна

Для земляних гребель характерно:

- стійкість, яка досягається її великою вагою;
- тіло земляної греблі можна зводити з пісків, суглинків і глин, при вмісті в них не більше 1 % органічних і 3 % водорозчинних речовин, при цьому ведеться ретельний контроль за якістю ґрунту (щільністю, водопроникністю і іншими властивостями);
- водопроникність матеріалу тіла греблі створює умови для розвитку фільтраційного потоку, при якому відбувається ущільнення ґрунту, що збільшує стійкість укосу; при швидкому зливанні води з водосховища спостерігається розшарування ґрунту і зниження його стійкості;

– земляні греблі завжди є глухими і щоб уникнути розмиву і руйнування в них не повинно відбуватися переливу води. Тому їх будують завжди з гребенем, розташованим вище максимально допустимого рівня води;

– у складі гідровузла, в якого значна частина напірного фронту створюється земляними дамбами, мають бути передбачені спеціальні водоскидні споруди. Сполучення земляної греблі з водозливними спорудами, а також судноплавними та іншими пристроями гідровузла здійснюється за допомогою з'єднання підвалин, що являють собою підпірні стінки;

– при проектуванні земляних гребель одним з основних розрахунків є фільтраційні. При їх виконанні враховують водопроникність не тільки тіла споруди, а й товщі порід її основи;

– для зменшення втрат води на фільтрацію в основу закладають протифільтраційні елементи: зубці, які з'єднують ядро з непроникними шарами основи, завіси, шпунтові стінки і т. ін.

Кам'яно-набросні греблі зводять як на скельному, так і нескельному ґрунті, переважно в гірських областях, де можна організувати видобуток великої кількості каменю поблизу будівельного майданчика. Укладання каменю в тіло таких гребель здійснюється без використання в'язучих матеріалів. Греблі цього типу зазвичай будують глухими, і пропускання паводкових вод забезпечується спеціальними водоскидними спорудами, які входять до складу гідровузла. Основну, несучу частину тіла гребель цього типу складає кам'яна накидка, що являє собою сильно водопроникне середовище. Для утримання такими спорудами напору води у водосховищі необхідно розтушувати спеціальні протифільтраційні елементи: екрани, діафрагми, ядра тощо. Як матеріал для кам'яної кладки використовують виверженні або осадові породи будь-якого петрографічного складу, але досить морозо- і водостійкі.

Кам'яні греблі зводяться з кам'яної кладки на розчині. Вони мають у поперечному перерізі форму трапеції, але з більш крутим нахилом ніж земляні. Бетонні та залізобетонні кам'яні греблі – найбільш поширені серед великих і середніх гребель. За конструктивною ознакою вони поділяються на гравітаційні, аркові, контрфорсні. Гребля в плані може мати прямолінійну або криволі-

нійну форму. Масивні греблі споруджуються з бетону, який володіє водонепроникністю, достатньою міцністю, довговічністю і морозостійкістю. Висота сучасних бетонних гребель досягає 300 м.

Дерев'яні греблі в основному споруджують із сосни. Навантаження від води сприймаються в основному дерев'яною конструкцією, а стійкість проти зсуву забезпечується закладенням паль в її основу. Ці греблі утримують зазвичай невеликі напори (від 2 до 8 м). Дерев'яні греблі дешеві, але не довговічні. Нині вони практично не зводяться.

Гребля, як будь-яка гідротехнічна споруда, знаходиться під постійним впливом води. Вона в свою чергу суттєво змінює природний режим того потоку, якому вона заважає. У верхньому б'єфі швидкість руху потоку зменшується, що викликає випадання ваблених потоком наносів та замулення водосховища. Для регулювання рівнів води у верхньому б'єфі і витрат води використовують затвори, які дозволяють закривати або відкривати водоскидні отвори повністю або частково. Водозливні отвори відокремлюються один від одного биками, крайні із яких називаються засадами і з'єднують греблю з берегами або сусідніми спорудами. Зверху биків і підвалин розташовують службовий міст.

Прокладення водних шляхів і спорудження портів. Серед водних шляхів розрізняють *зовнішні* і *внутрішні*. Перші з них з'єднують нашу державу з іншими країнами, і цей вид зв'язку забезпечується переважно морськими водними шляхами, ще тоді, як внутрішніми водними шляхами є переважно річки, водоймища, озера та частково моря.

Моря, озера і річки, які використовуються для судноплавства без зведення на них гідротехнічних споруд, що змінюють їх режим, називають природними водними шляхами. Канали, водосховища і річки, режим течії яких змінено зведенням гідротехнічних споруд, являють собою штучні водні шляхи.

Для прийняття судном вантажу і розвантаження його служить *порт* – складний комплекс споруд і приміщень, якій забезпечує надійну стоянку суден та дозволяє виконувати перевантажувальні операції (із судна на берег і навпаки). Зазвичай у порту розташовуються приміщення для ремонту суден та їх укриття під час шторму і в період між навігаціями.

Для забезпечення руху по річках часто потрібне виконання робіт з підтримки глибин необхідних для судноплавства. Це можуть бути виправні споруди, землечерпальні роботи, а в багатьох випадках і створення водопідіймальних систем для водосховищ і шлюзів. Навіть на великих річках зустрічаються перешкоди для судноплавства: підводні предмети на фарватерах, пороги, мілини, перекати. Першим кроком в освоєнні річки для судноплавства є складання лоцманських і судноплавних карт, на яких зазначаються перекати, а також інші елементи русла (рис. 3.6).

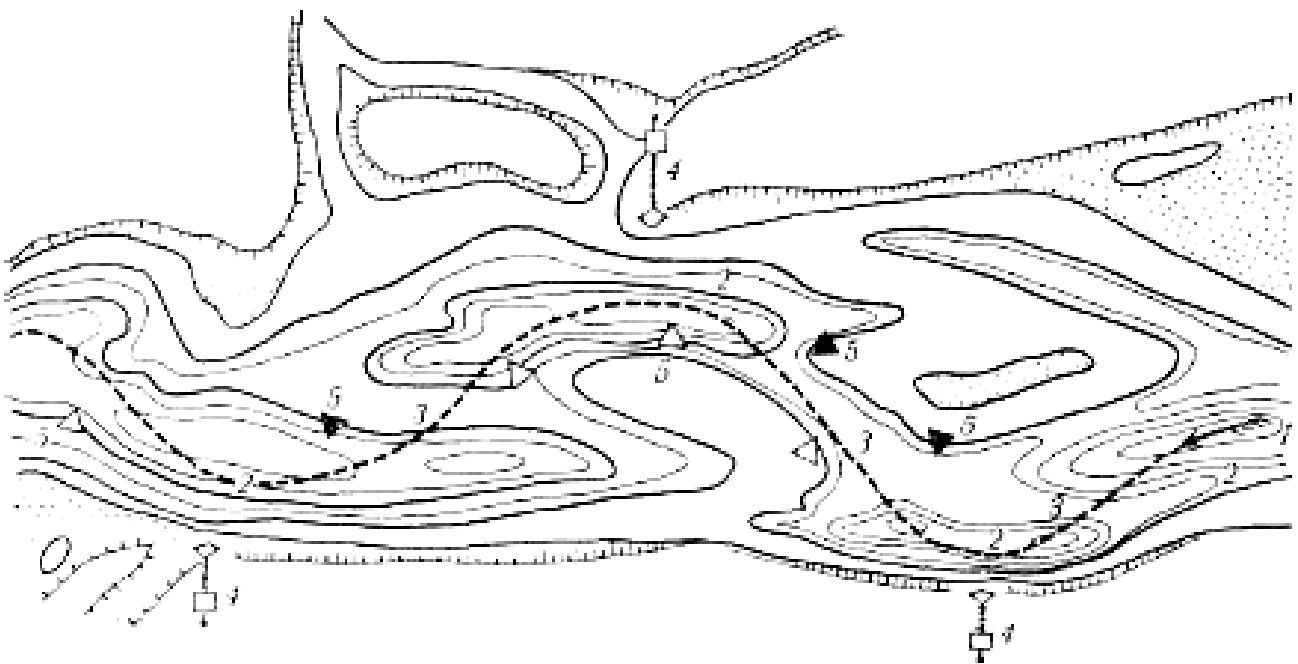


Рисунок 3.6 – Схематична судноплавна карта: 1 – фарватер; 2 – плеса; 3 – перекати; 4 – знаки берегової обстановки; 5 – знаки плавучої обстановки

Зміна русла річок розглядається вже більше двох з половиною століть, що дозволило розробити систему заходів, в основу яких покладено використання транспортуючої здатності водного потоку з підвищеними швидкостями. Тому головними є два принципи: *стиснення русла* і *напрямку струменя*. Система, основана на стисненні русла, виникла на самому початку робіт, пов'язаних зі змінною русла, і передбачала створення поздовжніх і поперечних дамб, які звужують русло. За конструктивними ознаками ці системи поділяються на споруди великого (тяжкі) і малого (полегшені) типу. Перші зводять з ґрунту, а най-

більш великі – каменю. Нині, крім того, застосовують пальові, збірні бетонні конструкції (головним чином плити, блоки), а також ґрунтоасфальт, ґрунтобетон і геотекстиль.

Серед важких гідротехнічних споруд найбільшого застосування набули дамби та берегоукріплення. Дамби мають вигляд як поздовжніх конструкцій, які змінюють напрямок потоку, так і поперечних полузапруд, шпор і т. ін. (рис. 3.7). При будівництві таких споруд часто застосовують великі мішки з полімерних сіток, які наповнюють кам'яною або піщаною сумішшю. Тіло споруди часто прошивають палями. Мішки добре зберігаються під водою, тому їх укладають у нижню частину дамби.

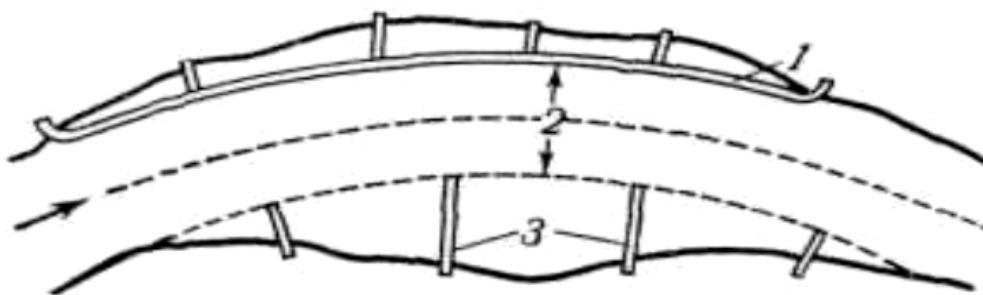


Рисунок 3.7 – Схема зміни русла річки при побудові поперечних і поздовжніх споруд: 1 – поздовжня дамба; 2 – траса суднового ходу; 3 – полузапруд

Шлюзи і суднопідіймачі. Шлюзування річок – один із основних заходів, які докорінно поліпшують судноплавні умови. Воно полягає в будівництві гребель, які підіймають рівень води на певній ділянці річки, і камерних шлюзів, що забезпечують перехід судна з одного рівня на інший. Для створення необхідних судноплавних глибин у меженний час на ділянці річки зводиться ряд гребель зі шлюзами при них. Місце розташування і висоту цих споруд вибирають так, щоб напір, створюваний нижче розташованою греблею, поширювався до вище розташованої. При цьому інженерно-геологічні умови є одним з основних чинників у виборі місця розташування гідровузла, а саме, визначальними у встановленні висоти греблі.

Греблі зі шлюзами ділять річку на ряд дотичних між собою ділянок – б'є-фів. Відносно до греблі розрізняють: верхній б'єф – ділянка річки, що розташована вище за течією, і нижній – розташований нижче греблі. Судноплавний *камерний шлюз* являє собою напірну гідротехнічну споруду, яка призначена для проходження водного транспорту з одного б'єфу в іншій (рис. 3.8, [6]). Шлюз складається з камери, в якій розташовуються судна під час шлюзування, та верхньої та нижньої голів, що з'єднують камеру з верхнім і нижнім б'єфом. У головах шлюзу маються ворота або особливі затвори, які забезпечують у камері потрібний рівень води, і вікна для проходження суден. Для наповнення та спорожнювання камери зводять *водопровідні галереї*, обладнані відповідними затворами. Розташовують шлюзи або в руслі річки одного з берегів, у верхньому або нижньому б'єфі, або в обвідному каналі (рис. 3.9). Сучасні шлюзи будують з різних матеріалів, в основному з бетону та залізобетону, а такі конструкції, як ворота та затвори – з металу. Найбільш відповідальною частиною шлюзу є *шлюзові ворота* або інші спеціальні затвори, що забезпечують проходження суден у шлюзову камеру і назад. За конструкцією серед них розрізняють *двостулкові* або *одностулкові*, плоскі підймальні або спускальні, сегментні і секторні. Частина з них обертається навколо вертикальної осі (двостулкові), а більшість – навколо горизонтальної.

Послідовність шлюзування залежно від характеру руху (одностороннього і двостороннього) буває різною. Однак перед шлюзуванням камера повинна бути підготовлена і рівень води в ній має дорівнювати рівню того б'єфу, звідки почнеться рух суден. Для цього відкриттям водопровідних галерей відбувається наповнення (через верхню голову шлюзу) або опорожнення (через нижню голову) камери шлюзу, і після цього відкривають відповідні ворота. Після заходу судна в камеру ворота закриваються і виконується основна операція шлюзування: при проходженні з нижнього б'єфу у верхній камера заповнюється, а при проходженні в зворотному напрямку – опорожняється. Після вирівнювання рівня води в камері з б'єфом, куди йде судно, відкривають другі ворота, і судно покидає шлюзову камеру.

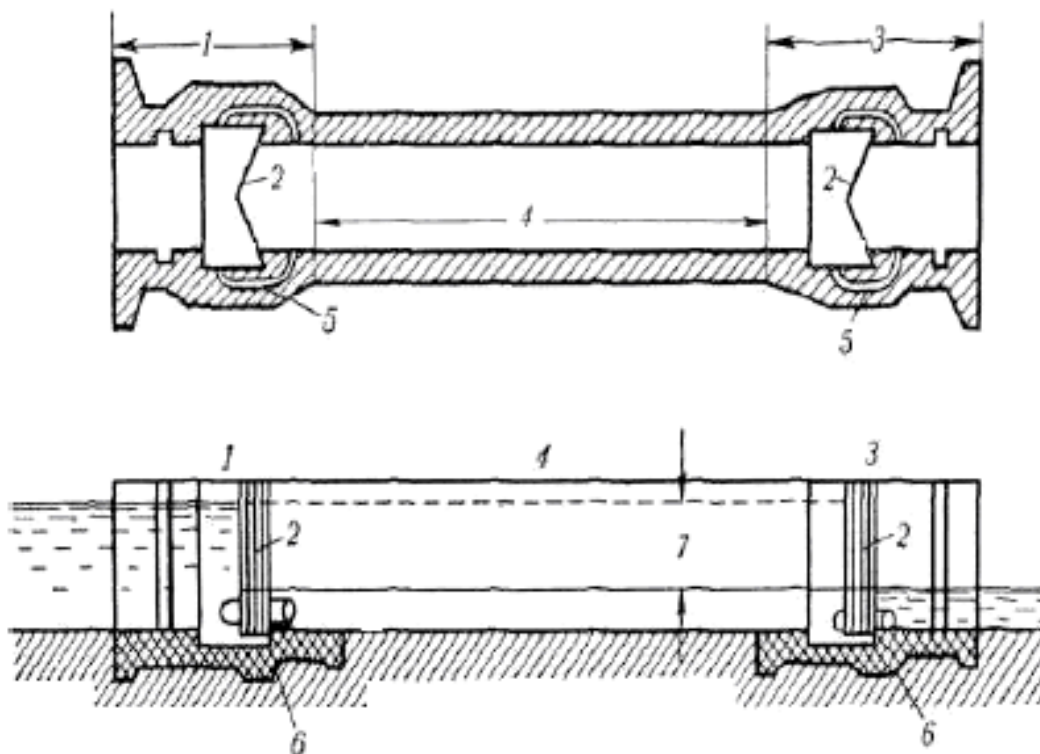


Рисунок 3.8 – Конструкція судноплавного камерного шлюзу: 1 – верхня голова; 2 – ворота; 3 – нижня голова; 4 – камера; 5 – водопровідна галерея; 6 – поріг; 7 – натиск шлюзу

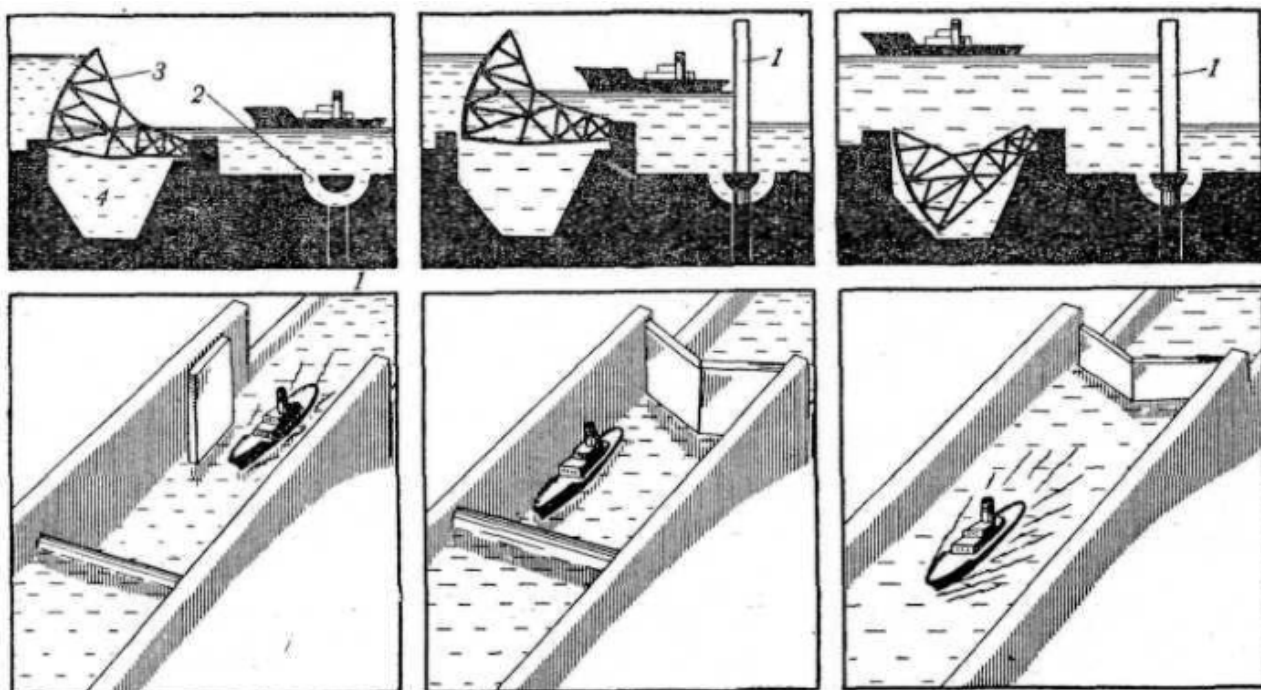


Рисунок 3.9 – Схема роботи шлюзових воріт і затворів: 1 – щитові ворота; 2 – водопровідна галерея; 3 – сегментний затвор; 4 – підводна галерея

У ряді випадків для перевodu суден з нижнього б'єфу у верхній і назад, а також з каналу, розташованого на одному рівні, в канал на іншій висоті застосовують спеціальні споруди, названі суднопідіймачами. Їх будують у тих випадках, коли при шлюзуванні в подібних умовах у багатокамерному шлюзі треба багато часу.

Порт – це прибережний пункт на березі моря, озера або річки, якій має пристань і володіє зручними підходами для суден. З боку берега порт має бути зв'язаний з мережами залізничних і автомобільних доріг. Портове господарство, крім причалів, повинно мати все необхідне обладнання для навантаження і розвантаження суден і перевантаження із сухопутних транспортних засобів на судно і назад. Крім того, в порту має бути обладнання для обслуговування пасажирів, склади для зберігання вантажів, споруди навігаційного обслуговування суден, а також служби постачання паливом, водою і матеріалами. В цілому порт – складний транспортний вузол, що володіє в сучасних умовах високим ступенем механізації вантажно-розвантажувальних робіт, складними комунікаціями, а також засобами зв'язку та сигналізації.

Для виконання своїх функцій порт повинен мати зручну *акваторію* – водний простір у межах порту, якій складається з водних площ, суднових проходів і підходів до причалів, маючих достатні глибини і ширину для безперешкодного проходження і маневрування. Крім того, порт повинен мати *рейд* – частина акваторії за межами суднового ходу, де судна можуть відстоюватися і проводити різні операції на плаву. На березі порт повинен мати територію, що примикає до акваторії, де заходяться портові споруди, виробничі, адміністративні та комунальні будівлі, а також під'їзні шляхи до причалів, складів та інших служб порту.

Причальний фонд порту складається з окремих причалів, обладнаних пристроями для швартування судна і механізмами для вантажно-розвантажувальних робіт (у тому числі і для посадки і висадки пасажирів). Всі порти можна поділити на дві основні групи: *порти внутрішніх водних шляхів* та *морські порти*.

Згідно з розташуванням русла річки порти поділяються на руслові, позаруслові і змішані. У *русловому порту* причали розташовуються вздовж одного або обох берегів, тоді як у *позарусловому* вони розміщені в затоці або штучно виритому ковші поза руслом річки і з'єднуються з ним спеціальним судним ходом. У *портах змішаного розташування* причали обладнуються як в основному руслі річки, так і в затоці або штучному басейні.

Морські порти так само, як і порти внутрішніх водних шляхів, можуть розташовуватися в різних умовах: в природних захищених або частково захищених від хвилювання бухтах (рис. 3.10, а); на відкритому морському узбережжі (рис. 3.10, б); в гирлах судноплавних річок; всередині території, розташованої на штучних каналах. При цьому порти, які розташовуються в добре захищених від хвилювання природних бухтах (Владивосток), не вимагають будівництва огорожувальних споруд, тоді як порти на відкритому узбережжі (Сочі) повинні захищатися спеціально побудованими дамбами, молами, хвилеломами. Багато портів розташовують і в частково захищених природних бухтах (Одеса) або лагунах, віддалених від моря піщаною косою (Іллічівськ). У цьому випадку обсяг захисних заходів виявляється значно меншим, ніж для портів на відкритому узбережжі. Часто порти розташовуються в гирлах річок або на невеликій відстані вгору по річці (Лондон, Гамбург), а в окремих випадках – на значній відстані (Монреаль на р. Св. Лаврентія).

Портові гідротехнічні споруди і набережні. Серед різноманітних споруд сучасного порту основними є гідротехнічні. За своїм призначенням вони поділяються на [7]: *зовнішні огорожувальні* (моли, хвилерізи, лідозахист і т. ін.), *службові* – для захисту портових акваторій і підходів до них; *причальні*, які зводяться безпосередньо біля берега (набережні) і поблизу нього (естакади, пірси); *берегоукріплювальні* – які захищають ділянки берега від руйнування хвилями або течією; *судноремонтні* (елінги, сліпи, доки) – для підняття суден з води на час ремонту.

За умовами взаємодії з основою портові гідротехнічні споруди можуть бути гравітаційного типу, пальовими або складними. *Гравітаційні* – це важкі

споруди, стійкість яких обумовлюється їх великою вагою; вони можуть бути суцільними або у вигляді окремих масивних опор, зв'язаних верхньою будовою. *Пальові портові споруди* – являють собою тонкі (шпунтові) стінки або пальові ростверки з естакадами. При складних основах застосовують палі великого діаметра, опускні колодязі або кесони, що занурюються в днище водойми.

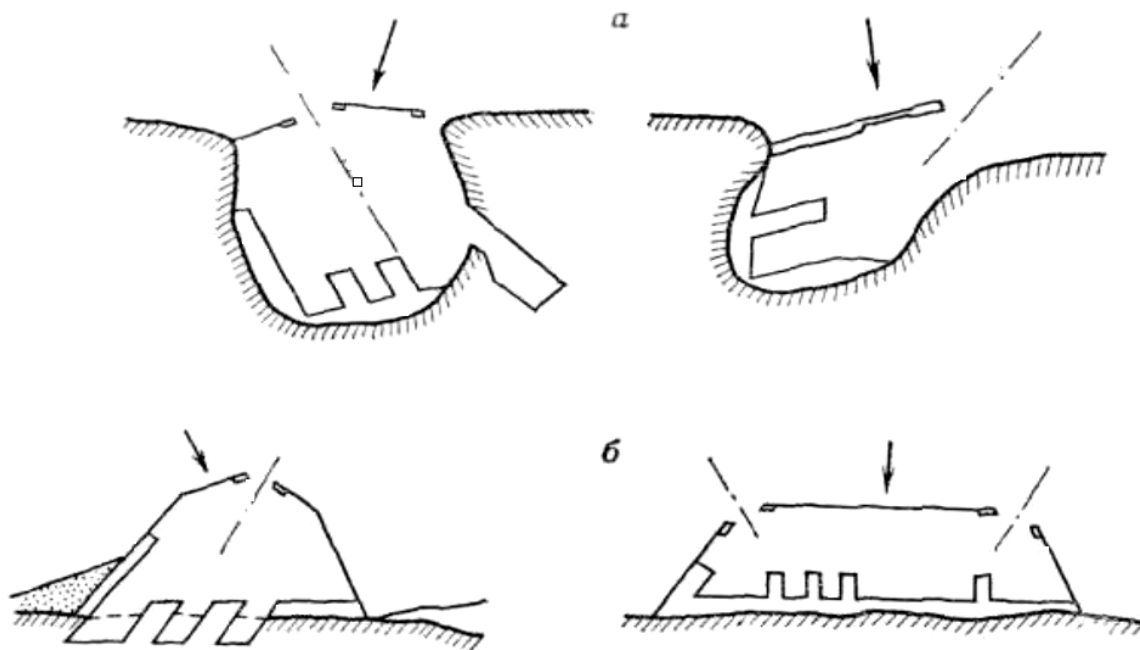


Рисунок 3.10 – Вигляд морських портів у частково захищених бухтах (а) та на відкритому узбережжі (б)

Захисні споруди, які стоять ізольовано від берега, називають *хвилеломами*, а що примикають до берега – *молами*. За формою перерізу захисні споруди можуть бути *зрізаного профілю* (рис. 3.11, а), *вертикального* (рис. 3.11, б) або *змішаного* (рис. 3.11, в); в останніх нижня частина являє собою зрізане спорудження, а верхня – вертикальну стінку. У ряді випадків споруди вертикального профілю зводять у вигляді пальової конструкції із застосуванням звичайних залізобетонних паль, шпунтових циліндрів, а також колон-оболонок.

Захисні споруди *зрізаного профілю* найчастіше зводять з кам'яної начерки, для чого використовують рваний камінь і уламки скельних порід (від вивержених до міцних осадових) вагою від 10 – 15 кг до декількох тонн. При неве-

ликих глибинах і слабкому хвилюванні камінь може бути несортований, і його укладають під нахилом 1:3 – 1:5 (хвилювання іноді вирівнює їх до 1:8 – 1:12 і доводиться проводити досипання споруди). Крутизна зовнішнього зрізу, що сприймає удари хвиль, має бути менше тилового, тому споруди цього типу мають несиметричний профіль. У нижній частині зрізу на глибині, яка приблизно дорівнює подвійній висоті хвилі, спостерігається перелом профілю, і нахил на дно збільшується. У зоні обвалення хвиль зріз має найменший нахил. Гребінь споруди зазвичай розташовують дещо вище нахату хвилі.

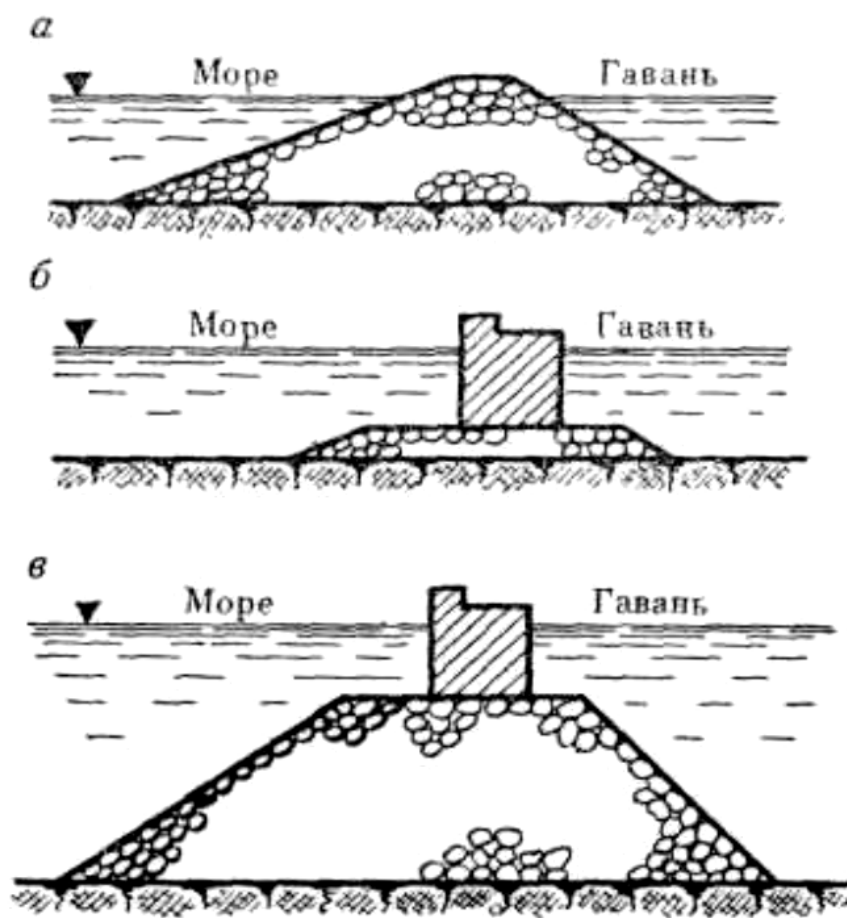


Рисунок 3.11 – Типи захисних споруд: *а* – зрізані; *б* – вертикальні; *в* – змішані

У районах сильного хвилювання при висоті хвиль понад 5 м для забезпечення стійкості зрізи потрібно покривати брилами каменю вагою дещо 15 т. Отримати такі природні блоки (моноліти) не завжди можливо, і тоді зрізні споруди зводять з начерки сортованого каменю з покриттям укосів бетонними пли-

тами вагою до 50 – 60 т (рис. 3.12, [6]). Якщо в районі будівництва немає каменю, придатного для кам'яної начерки, то споруди цього типу зводять цілком з начерки штучних масивів, які мають форму паралелепіпедів. Для споруд, що зводяться на слабкій основі (м'яких і нестійких ґрунтах), обов'язковим є створення кам'яно-накидної або піщано-гравійної підстілки.

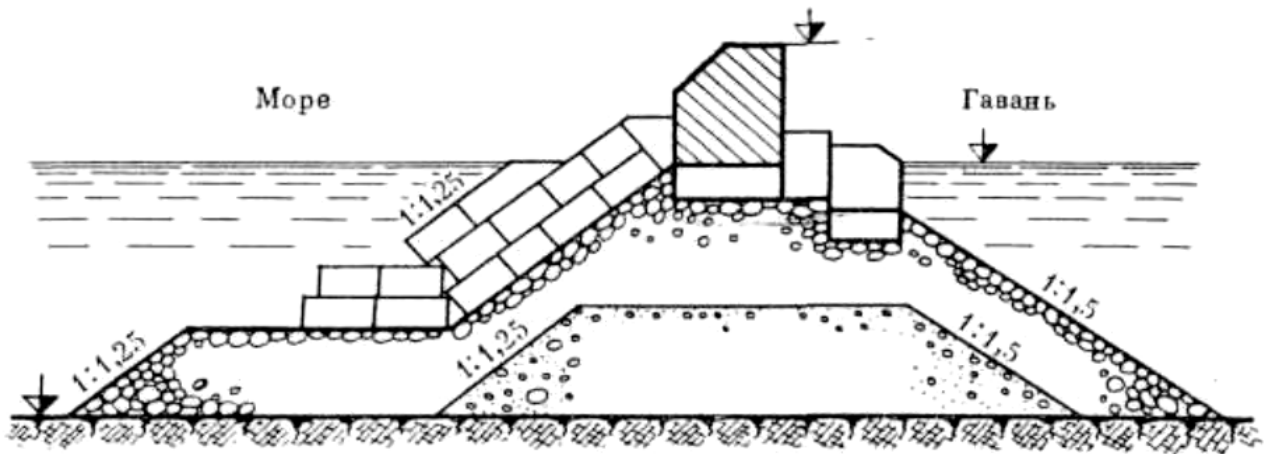


Рисунок 3.12 – Розріз кам'яно-накидного спорудження з покриттям укосу кладкою з бетонних плит

В останні роки разом з масивами-гігантами широко стали використовуватися палі-оболонки. Це стало можливо завдяки застосуванню вібраційного методу занурення. Використання даного типу споруди часто виявляється більш економічним, ніж гравітаційних, оскільки це дозволяє зменшити обсяг бетону для підводної частини споруди і замінити частину його більш дешевшим матеріалом (у разі пористих шпунтових циліндрів або тонкостінних бетонних оболонок, заповнених ґрунтом), рис. 3.13.

Причальні споруди призначаються для стоянки суден при портових вантажно-розвантажувальних операціях. У морських портах – це переважно вертикальні споруди, тоді як у річкових портах, розташованих на річках зі значним коливанням горизонту вод, також і зрізні споруди. Споруди, які являють собою оброблення берега річки, портового басейну або іншої водойми, називають *набережною*. Рейдові причальні споруди можуть виконуватися у вигляді *пірсів*.

За конструктивними особливостями набережні і пірси можуть бути гравітаційними, пальовими і змішаного типу. Будують їх з бетону, залізобетону, каменю і дерева, часто із застосуванням металоконструкцій, проте в сучасних спорудах переважає бетон і залізобетон (за можливості із застосуванням збірних елементів). Серед цих споруд найбільш поширені пальові конструкції, що є в багатьох випадках наслідком особливостей геологічної будови берегових територій, в межах яких у верхніх горизонтах часто зустрічаються ґрунти з низькою несучою здатністю. Тому для надійного обпирання споруд палі погружають до більш глибокого залягання. В умовах річки і водосховищ при малих коливаннях горизонту води у водоймі, а також при малій висоті самої набережної над рівнем води, застосовують шпунтові заанкерні стінки (рис. 3.13, *г*).

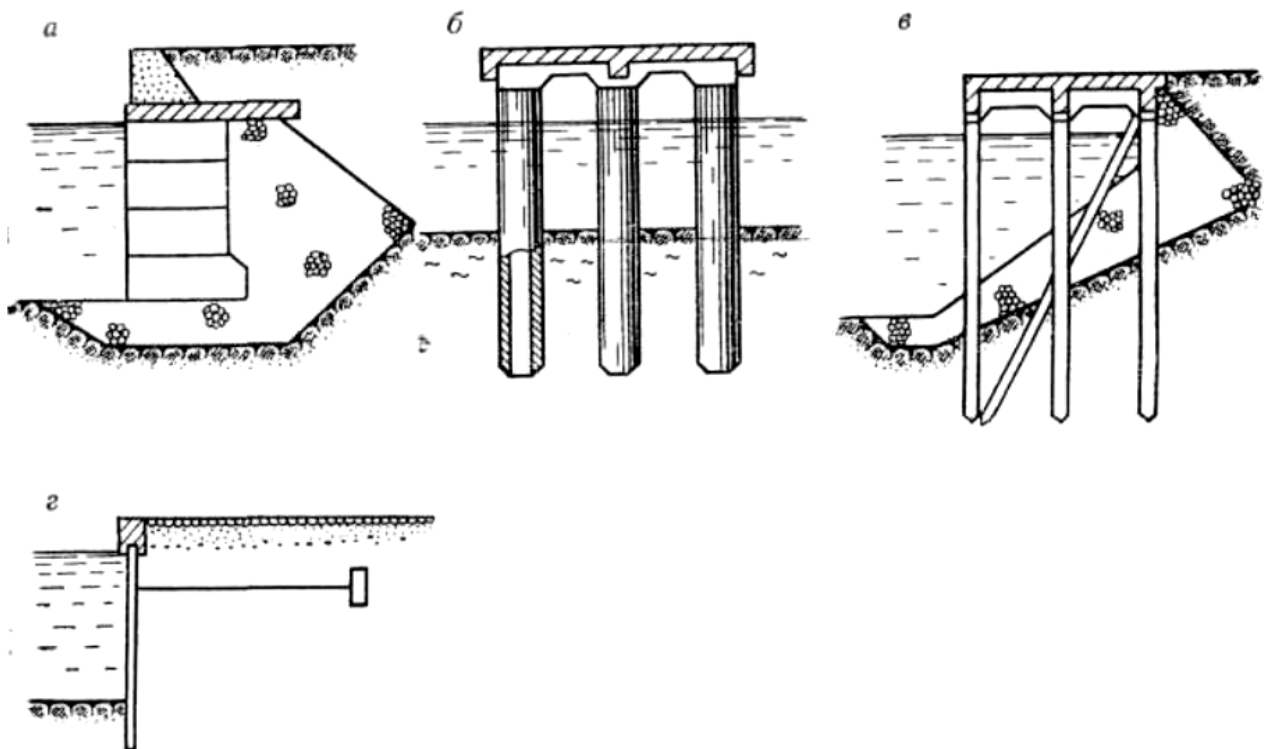


Рисунок 3.13 – Типи вертикальних причальних споруд: *а* – гравітаційна причальна стінка; *б* – пірс на колонах-оболонках; *в* – пальова набережна; *г* – шпунтова набережна

У великих морських портах, де до причалу повинні підходити кораблі з глибокою осадкою, причальні споруди виконуються у вигляді високих і потуж-

них конструкцій (гравітаційних підпірних стін – набережних, високих пальових пірсів і т. ін.). При їх обчисленні враховуються не тільки навантаження, створювані розпором ґрунту за стіною споруди і навалом судна, але і навантаження від вантажно-розвантажувальних механізмів, сухопутних транспортних засобів. У багатьох випадках з метою економії матеріалів їх роблять «наскрізної» конструкції. Берегоукріплювальні споруди служать для захисту берега і прилеглих територій від руйнівної дії хвиль і течій. У ряді випадків їх застосовують також і для розширення портових територій.

Для морських берегів найбільш потужним руйнівним чинником є хвилі, тому *берегоукріплювальні споруди* спрямовані переважно проти дії цих сил. Тут існують два способи захисту: *пасивний*, коли зводять хвилезахисні споруди, які сприймають на себе енергію хвиль і гасять її, та *активний*, коли зводять споруди, що затримують наноси, внаслідок чого утворюється захисна смуга пляжу, на якій спадає сила дії хвилі, що підходить до берега. При першому способі берег зміцнюють потужними підпірними (зазвичай гравітаційними) стінами з крутокриволінійними морськими гранями. Такі споруди можна зводити головним чином на міцній стійкій основі. При другому способі створюється система поперечних споруд – бун і поздовжніх хвилеломів (затоплених або незатоплених, рис. 3.14), що утримують і накопичують наноси, які утворюють пляжну зону. Зведення таких споруд можливо при будь-яких геологічних умовах берега, хоча конструкція споруд вибирається виходячи з конкретних особливостей геологічної ситуації. Другий спосіб, якщо вдасться відразу створити достатню ширину пляжної зони, виявляється досить ефективним.

Зміцнення річкових берегів у межах міських і портових територій так само, як і берегів усередині морських портів, здійснюється за допомогою підпірних стін різної конструкції. У багатьох випадках – це масивні підпірні або більш легкі стінки, основним призначенням яких є захист берега від розмиву течією і невеликим хвилюванням (рис. 3.15). Крім того, ці споруди створюють упорядковану прибережну територію – набережну, яка використовується для транспортних та інших цілей. У багатьох населених пунктах і містах набережні

входять у комплекси паркових зон і зон відпочинку. Такі набережні створені в містах-курортах Сочі, Ялті та інших населених пунктах. Нині берегоукріплювальні споруди набережних зводять переважно з бетону та залізобетону, застосовуючи в окремих випадках декоративне каміння як оздоблювальний матеріал.

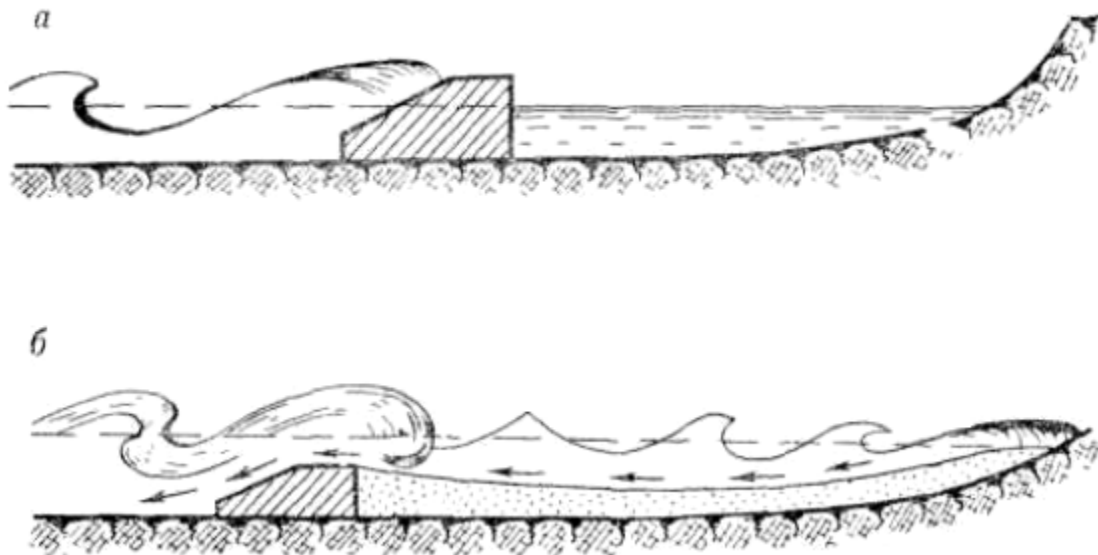


Рисунок 3.14 – Вигляд поздовжніх незатоплених (а) та затоплених (б) хвилерізів [6]

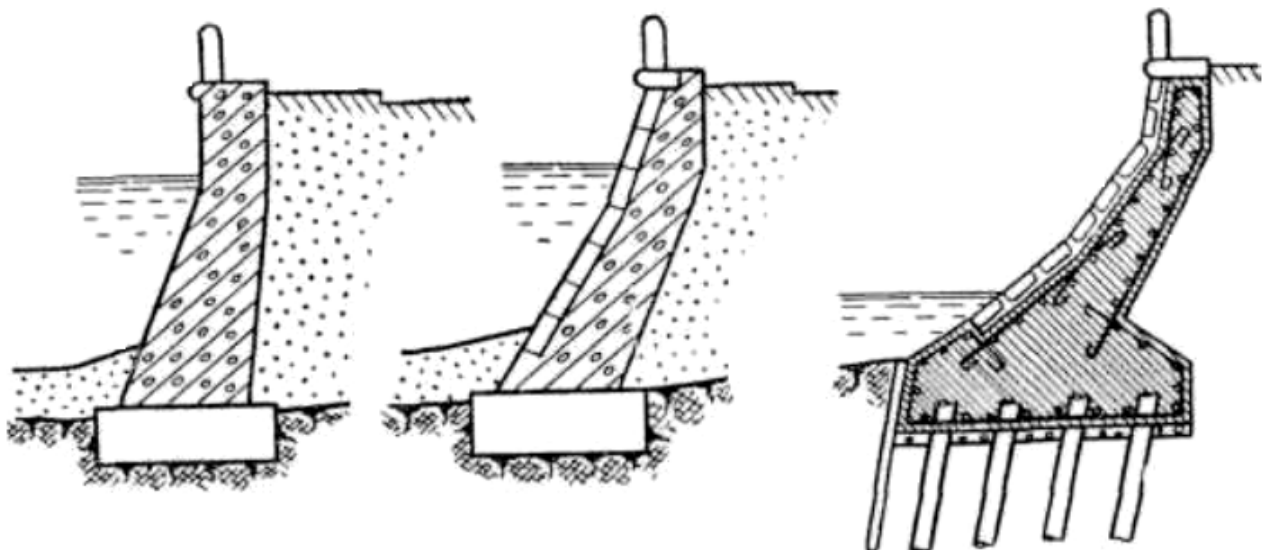


Рисунок 3.15 – Розріз масивних підпірних стінок набережних

Спорудження на іригаційних і осушувальних системах. Дуже великим розділом гідротехніки є будівництво споруд, які входять в іригаційні системи, що служать для зрошення сільськогосподарських угідь у зонах недостатнього зволоження і підвищення врожайності полів. *Іригаційні системи* можуть бути *постійно діючими* або *періодичними*, причому перші з них бувають *самопливними* або з *механічною подачею води* насосами. До складу іригаційної системи входять:

- 1) джерело зрошення, яке живить систему (зазвичай – це річка);
- 2) головне спорудження або водозабір, що забирає воду із джерела зрошення;
- 3) магістральний канал;
- 4) зрошувальна мережа, яка складається з розподільників, зрошувачів, вивідних каналів і борозен.

Джерело зрошення має давати воду потрібної якості і достатньої кількості для покриття потреб зрошення даної площі, а також у режимі, який задовольняє стану системи зрошення. *Головні споруди*, які знаходяться в голові системи зрошених каналів (і тому так званих), складаються з водозабору і комплексу інших гідротехнічних будівель, що входять до складу гідровузла. Це греблі, споруди з регулювання річкового потоку, гідроелектростанції, судноплавні та інше обладнання. Основним елементом головних споруд будь-якого іригаційного гідровузла є водозабір. Розрізняють два основних типи водозаборів:

– *біс-греблі*, застосовують у разі, коли забір води можна забезпечити без регулювання природного рівня і витрати води в річці;

– з *греблею*, споруджують тоді, коли для надходження води в іригаційну систему потрібно підняти її рівень вище низького межового рівня або коли потрібно забезпечити регулювання витрати води шляхом накопичення її у водосховище. Найбільш простим водозабором біс-греблі є відкритий канал без будь-яких споруд в його голові.

Штучне осушення територій застосовується переважно в областях помірного клімату, де кількість опадів перевищує випаровування і стік, і де в ре-

зультаті цього відбувається заболочування територій, яке супроводжується високим підняттям рівня ґрунтових вод. Здійснюють осушення як для сільськогосподарського використання території, так і для благоустрою майданчиків промислових підприємств або населених пунктів. У ряді випадків осушення проводять на вже освоєних ділянках річкових долин, де в результаті створення водосховищ спостерігається підняття рівня ґрунтових вод. В інженерній практиці існують дві основні схеми роботи осушувальних систем: горизонтальна і вертикальна. Іноді застосовують комбіновану (змішану) систему. На практиці сільськогосподарського осушення найбільшого поширення набула горизонтальна система, оскільки при осушенні промислових майданчиків і територій населених пунктів – вертикальна або комбінована.

Горизонтальна система осушення із самопливним відведенням вод застосовується тоді, коли заболочування обумовлено уповільненим поверхневим стоком, але нахил місцевості достатній для нормальної роботи водовідвідних пристроїв. Горизонтальна система осушення складається з таких елементів: 1 – нагірні канали, які захищають територію від припливу поверхневих вод; 2 – осушувальні мережі каналів або дрен, що безпосередньо осушують верхню частину ґрунтової товщі і знижують рівень ґрунтових вод; 3 – водовідвідні канали (збирачі, колектори і магістральні канали), які відводять зібрану воду у водоприймач. Існують такі типи систем горизонтального осушення: відкритий, закритий, проміжний (змішаний або комбінований). При *відкритій системі* всі канали, від осушувачів до магістрального каналу, виконуються у вигляді відкритих траншей, тоді як при *закритій системі* всі вони зверху закриті. Відкрита система є найбільш дешевою при будівництві та експлуатації, але істотно зменшує осушувану територію і погіршує можливості механізованої обробки ґрунту, транспортного та будівельного використання території. Тому зараз її застосовують лише в сільськогосподарських цілях і далеко не всюди. Закрита система обходиться значно дорожче при будівництві і більш складна в експлуатації (особливо у разі необхідності ремонту), проте вона дозволяє здійснювати будь-

які роботи на поверхні, створює більш безпечні умови для транспорту, переміщення людей і тварин. Також, вона більш довговічна.

Вертикальна система дозволяє домогтися осушення місцевості, яка не має нахилів, потрібних для вільного водовідведення, тому її найчастіше застосовують там, де потрібна примусова відкачка води. *Змішана система*, де як осушувачі можуть використовуватися горизонтальні дрени, а вода з водозбірних колодязів відкачується насосами, застосовується приблизно в тих самих умовах, що і вертикальна.

Споруди для водопостачання та каналізації. Для забезпечення життя і господарської діяльності людини в сучасних умовах потрібна велика кількість води, яка витрачається на господарсько-питні потреби, забезпечення виробництва і гасіння пожеж. Величина питомого водоспоживання на господарсько-питні цілі на одну людину коливається у великих межах і залежно від досконалості організації населеного пункту складає від 60 – 80 дм³ на добу. У селищах міського типу, не маючих каналізації, втрата води досягає 200 – 250 дм³/добу і збільшується при гарячому водопостачанні, наявності ванн у квартирах і каналізаційному відводі використаних вод. Для великого сучасного міста з населенням близько 1 млн чоловік тільки на ці потреби необхідно подавати не менше 200 тис. м³ води на добу. Забезпечення водою міст і населених пунктів, включаючи розташовані в них промислові і сільськогосподарські підприємства, здійснюється комплексом інженерних споруд, які входять в *систему водопроводу*. Використана забруднена вода скидається і відводиться від споживачів комплексом споруд, що входять в *систему каналізації*.

Існують дві основні системи водопостачання: прямоточна і зворотна. У ряді випадків застосовують комбіновані, тобто з частковим обігом води. *Прямоточна система* передбачає забір води з джерела, розподіл її до споживачів для використання, після чого проводиться скидання води в каналізаційну мережу або інші приймальні споруди стічних вод. При цій системі вода корисно використовується тільки один раз. *Зворотна система* передбачає багаторазове використання води, взятої із джерела, шляхом повернення її після участі в тому чи іншому технологічному процесі на повторне очищення і нове розподілення.

Водопровід, який живить водою населений пункт з його житловим фондом і промисловими підприємствами, включає (рис. 3.16): водоприймач з водоприймальним колодязем, насосну станцію першого підняття, очисне обладнання (відстійники і фільтри), резервуар чистої води, насосну станцію другого підняття, напірну вежу, мережу магістральних і розвідних трубопроводів.

У разі, коли водопостачання міст базується на підземних водах, їх відбір здійснюється за допомогою каптажних або шахтних колодязів, водозабірних галерей і т. ін. Звідси насосна станція першого підняття подає воду на очисні споруди, де вона звільняється від всіх механічних домішок і проходить знешкодження (зазвичай хлорування, а іноді опромінення ультрафіолетовими променями або озонування). Очищена вода збирається в спеціальні резервуари, звідки насосною станцією другого підняття подається в мережу магістральних і розвідних трубопроводів, в якій підтримується постійний тиск водонапірними вежами.

Насосні станції водопроводів – це відносно складні споруди з встановленими в них насосно-моторними агрегатами, для нормальної роботи яких, з огляду на створюване ними вібраційне навантаження, необхідно закладення важких і складних фундаментів. *Магістральні водоводи* мають закладатися на глибину, яка перевищує глибину промерзання ґрунтів. В умовах сучасних населених пунктів їх зазвичай розміщують у спеціальних підземних тунелях (колекторах) разом з мережами теплофікації і засобів зв'язку. Магістральні трубопроводи підводять воду до розвідної мережі і до споживачів з постійним тиском, якій підтримується водонапірною вежею. Однак цього напору може бути недостатньо для забезпечення подачі води у верхні поверхи багатоповерхових будівель. У зв'язку з цим в подібних будівлях встановлюють насоси, що підтримують у внутрішньому водопроводі необхідний тиск. Для водопроводів застосовують зазвичай сталеві, азбестоцементні та пластмасові труби, які мають витримувати робочий тиск 0,4 – 0,5 МПа.

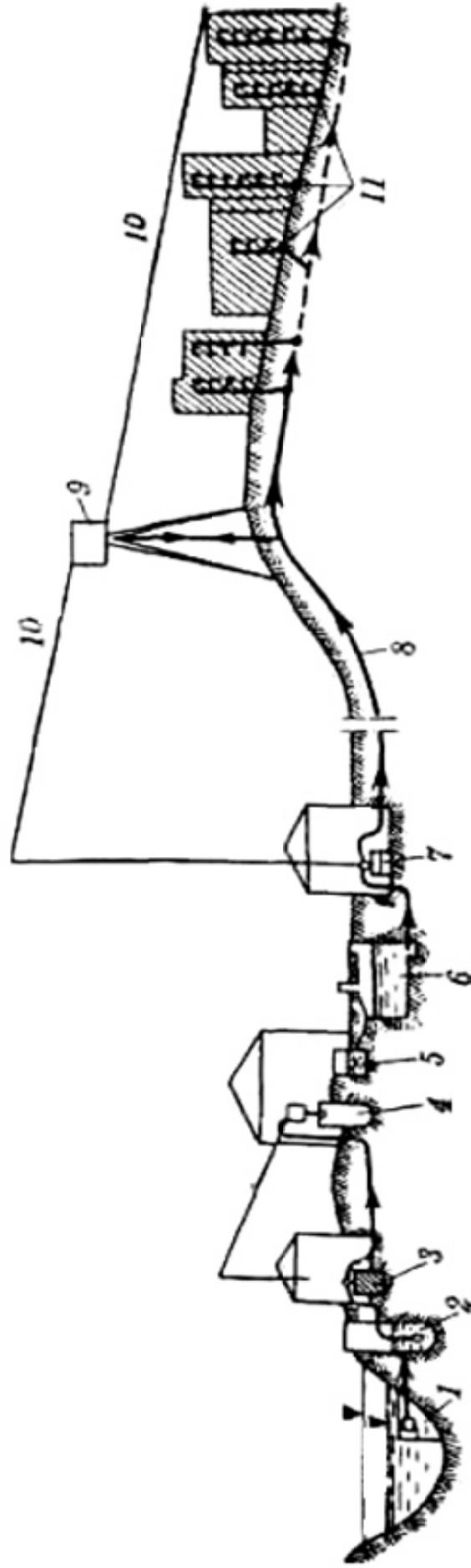


Рисунок 3.16 – Загальна схема водопостачання: 1 – джерело водопостачання; 2 – водозабір; 3 – насосна станція 1-го підняття води; 4 – відстійники; 5 – очисні споруди; 6 – резервуар чистої води; 7 – насосна станція 2-го підняття води; 8 – магістральний водопровід; 9 – водонапірна вежа; 10 – п’єзометричні рівні; 11 – розподільна мережа

Очисні споруди водопроводів входять в кожен систему водопостачання і повинні забезпечувати отримання води належної якості. Для цього має здійснюватися її освітлення (зменшення каламутності) і знешкодження забруднювачів. Крім того, у ряді випадків виконують пом'якшення, знезалізнення, опріснення тощо. Освітлення відбувається шляхом відстоювання води в спеціальних відстійниках і подальшому пропусканні води через фільтри.

Каналізація. Видалення всіх видів забруднень у сучасних населених пунктах здійснюється шляхом спливу їх через системи каналізаційних споруд. Такий метод більше економічний і гігієнічний, ніж вивезення нечистот, тому він знаходить повсюдне застосування. Існують дві основні системи каналізації: *загальносплавна* і *роздільна*. Перша являє собою єдину систему труб, каналів і очисних споруд, де всі види стічних вод відводяться з території населених пунктів, очищаються від нечистот і відходів виробництва та в новому очищеному стані скидаються у водоприймач. При другій системі операції відведення забруднених вод та їх очищення виконуються окремо: промислові та побутові забруднені води збираються і відводяться своєю системою споруд, а атмосферні і умовно чисті промислові стоки майже без очищення відводяться системою зливової каналізації (або системою водостоків).

Каналізація включає в себе систему споруд для водовідведення як всіх забруднених вод від житлового фонду і підприємств, так і атмосферних вод (дощових, від сніготанення), і вод, які надходять у водостоки від поливу вулиць. До її складу входять: вулична каналізаційна мережа; насосні станції; очисне обладнання; водовипускаючі.

Рух стічної рідини в каналізаційній мережі має бути безнапірним, тому всі системи каналізаційних труб і каналів устанавлюють з нахилом, що забезпечує стік цих вод. Зазвичай забруднені води стікають у певні басейни, звідки їх відкачують насосними станціями перекачування. Вся каналізаційна мережа має закладатися нижче глибини сезонного промерзання ґрунтів.

Каналізаційні труби роблять чавунними або пластмасовими (для внутрішніх мереж), а також керамічними, азбоцементними або залізобетонними. Для покращення умов руху внутрішню поверхню труб роблять більш гладкою і

стійкою проти корозії. Площа перерізів каналізаційних труб набагато більше, ніж водопровідних, і для залізобетонних колекторів досягає 2 – 2,5 м². За формою труби малого перерізу (до 150 – 250 мм в діаметрі) круглі, а труби великого перерізу – яйцеподібні, напівкруглі або квадратні. В мережі каналізаційних труб роблять оглядові колодязі з відстійниками для відсіювання важких домішок.

Очисні споруди каналізаційних систем працюють за трьома основним принципам очищення: механічний, хіміко-механічний і біологічний. При *механічному очищенні* уловлюються тільки великі нерозчинені домішки, а при *хіміко-механічному* – відбувається не тільки випадання дрібних частинок, але й осадження їх з розчину. Останнє здійснюється в спеціальних відстійниках, де до рідини, що очищується, додають хімічні препарати, які забезпечують реакцію очищення. Для цих видів очищення будують фільтрувальні установки і відстійники, які за конструкцією близькі до очисних споруд систем водопроводу. *Біологічне очищення* ґрунтується на використанні життєдіяльності мікроорганізмів, які прискорюють окислення органічних забруднень. Виконується це в природних умовах на полях зрошення або фільтраційних полях, куди надходять забруднені води.

Питання до самоконтролю

1. Що являють собою гідротехнічні споруди? Наведіть їх класифікацію.
2. Охарактеризуйте основні завдання гідротехніки і вимоги до компонування комплексних гідровузлів.
3. Які з перелічених споруд не відносяться до гідротехнічних: 1) греблі, будівлі гідроелектростанцій; 2) водоскидні, водоспускові і водовипускні споруди; 3) призначені для використання водних ресурсів і запобігання негативній дії води і рідких відходів; 4) земснаряди (земленосні, черпакові, скеляподрібнювальні); 5) сховища, які ізолюють рідкі відходи промислових і сільськогосподарських організацій? Виберіть одну із відповідей.
4. Перелічіть основні цілі створення гребель та наведіть їх класифікацію.

5. Клас постійних гідротехнічних споруд визначається залежно від: 1) наслідків порушення їх експлуатації (соціально-економічної відповідальності); 2) їх висоти; 3) типу ґрунтів основи; 4) матеріалу споруди. Виберіть одну із наведених відповідей.

6. Відносно чого визначається відмітка гребеня ґрунтових гребель?

7. До протифільтраційних споруд гребель належать: 1) екран; 2) шандор; 3) понур; 4) діафрагма; 5) ростверк. Виберіть одну із наведених відповідей.

8. Яке призначення водопідпірних споруд?

9. Перелічіть гідроспоруди за умовами використання та формою їх взаємодії з водним середовищем.

10. Якій показник характеризує стійкість гідроспоруд від зсуву?

4. АВТОМОБІЛЬНІ ТА ЗАЛІЗНИЧНІ ДОРОГИ

Зміст розділу. *Загальні положення. Стисла історична довідка. Проектування доріг. Автомобільна дорога. Пошкодження та руйнування дороги в процесі експлуатації. Залізничні дороги. Водопропускні штучні споруди. Взаємодія дорожньо-транспортної інфраструктури з навколишнім середовищем.*

Навчальні цілі: спираючись на викладений матеріал, студент повинен уміти ідентифікувати розташування доріг та їх окремих елементів у літосфері, оцінювати ступені пошкодження доріг у процесі експлуатації та інтенсивність взаємодії дорожньо-транспортної інфраструктури з навколишнім середовищем.

Загальні положення. *Дорогами* називають сухопутні шляхи. Серед них розрізняють безрейкові і рейкові (залізничні) дороги. *Безрейкові дороги* за характером транспортних засобів поділяються на: автомобільні, кінні, велосипедні та пішохідні. За адміністративно-господарським значенням розрізняють: державні, республіканські, крайові, обласні, районні, дороги сільського призначення і внутрішньогосподарські безрейкові. Крім того, вони поділяються на *класи*: до I та II класів належать найбільш важливі за своїм призначенням дороги, вони складають основну дорожню мережу України; до III – IV класів – дороги місцевого значення. Дорога, розташована в межах населеного пункту, носить назву вулиці.

Згідно з мірою технічної досконалості безрейкова дорожня мережа може бути поділена на три основні групи.

A. Дороги вищого технічного типу, коли швидкісний транспорт рухається по спеціальному земляному полотну з розділеною проїзною частиною в кожному напрямку. Проїзна частина цього типу доріг виконується з високоміцних матеріалів, що забезпечує цілорічний рух з великими швидкостями при тривалому терміні служби. Водопропускні споруди тут будуються капітального типу. Перетин цих доріг з іншими здійснюється на різних рівнях.

Основні технічні характеристики автомобільних доріг різного класу наведені у відповідній таблиці [1].

Характеристики автомобільних доріг	Класи доріг				
	I	II	III	IV	V
Розрахункова швидкість руху, км/год	120	100	80	60	40
Кількість смуг руху	4	2	2	2	2
Ширина смуги руху, м	3,5	3,5	3,5	3,0	2,75
Ширина проїзної частини, м	14,0	7,0	7,0	6,0	5,50
Ширина земляного полотна не менше, м	23,0	12,0	11,0	10,0	9,5
Найбільший припустимий поздовжній нахил, %	4	5	6	7	9

Б. Дороги середнього технічного типу, коли рух також здійснюється по спеціальному полотну із жорстким покриттям і водопропускними спорудами. Рух на цих дорогах забезпечується круглий рік.

В. Дороги низького технічного типу, також, мають спеціальне земляне полотно або являють собою природну поверхню, пристосовану для руху транспорту. На дорогах цього типу іноді здійснюється покращення ґрунту домішками гравію або піску, а водовідведення забезпечується найпростішими пристроями. В період інтенсивного зволоження (навесні і восени) рух на таких дорогах може перериватися. Ці дороги звичайно називають ґрунтовими.

Залізничні дороги за характером обслуговування потреб народного господарства поділяються на дороги загального і незагального користування. Перші або магістральні залізничні дороги обслуговують усі відомства та організації, а другі використовуються як під'їзні колії до підприємств, пристаней, складів, а також як внутрішньозаводські або внутрішньокар'єрні.

Залізничні дороги щодо ширини колії поділяються на дороги нормальної (широкої) і вузької колії. У країнах колишньої співдружності ширина нормальної колії дорівнює 1524 мм, а в країнах Західної Європи – 1435 мм. Вузькоколіїні залізничні дороги будують шириною колії 750, 900 і 1000 мм. Зазвичай ці дороги мають спеціальне призначення і застосовуються на торфорозробках і лісозаготівлях, гірничих роботах і т. ін. Як залізничні дороги загального користу-

вання для перевезень пасажирів і вантажів вузькоколіїні дороги використовуються мало.

Існує ряд інших спеціальних типів рейкових доріг, більшість з яких ще не набули широкого застосування. До їх числа належать, зокрема, підвісні монорейкові дороги, які нині все більше визначені як дороги великих швидкостей. У деяких країнах вже побудовані такі дороги (Японія).

Комплекс дорожніх будівель, крім власного шляху, включає в себе велику кількість різноманітних інженерних споруд і обладнання. Це так звані *штучні дорожні споруди* – мости та труби, а також численні споруди, пов'язані з нормальною експлуатацією доріг, що складаються з житлових будинків, ремонтних майстерень, вокзалів, депо, бензозаправних станцій тощо. На залізничних дорогах таких споруд більше, ніж на безрейкових, і вони зазвичай більш капітальні.

Стисла історична довідка. Дороги як інженерні споруди, пристосовані для руху тих чи інших колісних екіпажів, відомі з глибокої давнини. Залежно від природних умов, у тому числі і геологічних, у різних країнах будувалися дороги різного призначення і з різних матеріалів. Так, до періоду Римської імперії відомі знахідки досить досконалих конструкцій кам'яного покриття доріг.

На території нашої країни також відомі знахідки, що свідчать про існування доріг доскіфського і скіфського часу. В більш пізні століття (XI – XV) було розвинене кам'яне мощення дворів і площ. Однак для цього і пізнішого періоду українського дорожнього будівництва характерно широке застосування деревини як будівельного матеріалу. Однак, зважаючи на недовговічність дерев'яних покриттів від них стали поступово відмовлятися і, починаючи з кінця XIII ст., стало широко застосовуватися кам'яне покриття доріг.

Перші рейкові дороги з кінною тягою на території колишньої співдружності були побудовані в кінці XVIII – на початку XIX ст. на Алтаї та Уралі. Перша залізниця загального користування довжиною 27 км (Петербург – Павловськ) була побудована в 1836 – 1837 рр. У 1860 р. було побудовано вже 1600 км залізничних доріг (включаючи першу магістральну дорогу Петербург –

Москва довжиною 650 км). Швидкий розвиток залізничного будівництва у другій половині XIX ст. викликало уповільнення в будівництві безрейкових доріг, оскільки на всій території Росії в 1913 р. було побудовано всього 27 тис. км доріг з кам'яним покриттям, тоді як вже до 1900 р. протяжність залізничних доріг перевищувала 53 тис. км

Проектування доріг. Всяка сучасна дорога являє собою складний комплекс інженерних споруд, призначених для тривалого використання транспорту, причому враховується як сучасна необхідність у транспорті, так і перспектива розвитку перевезень. Питання щодо будівництва дороги вирішується після виконання спеціальних досліджень та складання проекту. Вишукування та проектування доріг поділяються на *економічні* та *технічні*. Перші визначають тип дороги, вантажонасиченість і т. ін. Далі вибираються основні параметри дорожніх споруд. Технічні вишукування включають топографічні, гідрологічні та інженерно-геологічні дослідження, які дають характеристику природних умов згідно з трасою споруд, включаючи і забезпеченість місцевими будівельними матеріалами. В цілях вибору оптимального рішення проект дороги, особливо на ранніх стадіях проектування, складається з декількох варіантів.

Проектування всіх видів доріг виконується згідно з діючими будівельними нормами і правилами, а також за спеціальними нормами і технічними умовами на будівництво доріг. В основі проекту дороги лежать матеріали вишукувань, серед яких надзвичайно важливі – матеріали, що стосуються інженерно-геологічних умов, оскільки вони часто є визначальними при виборі варіанта траси, а також вирішальними при виборі конструкції земляного полотна, типу покриття, системи інженерних споруд тощо. Велика протяжність дороги і відносна вузькість смуги охоплення покладені в специфіку дорожніх вишукувань. Вони проводяться у вигляді лінійних досліджень траси за окремими варіантами дороги з використанням матеріалів інженерно-геологічних зйомок.

За матеріалами вишукувань складається проектна документація, що подається у вигляді інженерно-геологічного плану, на якому нанесені «червоні позначки» проектного профілю дороги. При проектуванні доріг існують різні при-

пустимі нахили (див. таблицю). Так, для сучасних доріг I класу припускаються поздовжні нахили в 4 %, а для магістральних залізничних доріг – 12 – 20 %. Для інших класів доріг ці величини відповідно змінюються. Згідно з вимогами безпеки руху кривизна шляху на заокругленнях і поворотах регламентується. Для магістральних залізничних доріг шляхи з радіусом, меншим за 600 м у рівнинній і 500 м у гірській місцевості, не допускаються.

Автомобільна дорога. Головний елемент автомобільної дороги – *проїзна частина*, що забезпечує безперешкодний рух автомобіля з необхідною швидкістю. Для цього вона повинна займати певне положення в просторі, мати смугоподібний геометричний обрис і являти собою досить рівну та стійку поверхню. На рис. 4.1 наведено поперечний профіль дороги, з якого видно, що поряд з *проїзною частиною* розташовуються *узбіччя*, які разом створюють *дорожнє полотно*. По краях дорожнього полотна йдуть бічні канали – *кювети*, що служать для відведення поверхневих вод. Дорожнє полотно разом з кюветами являють собою конструкцію, звану *земляним полотном*.

Міські вулиці відрізняються від позаміських доріг відсутністю узбіч та кюветів і наявністю пішохідних смуг – *тротуарів*. При інтенсивному русі міського транспорту вулиці часто поділяють на окремі поздовжні смуги з різною інтенсивністю руху. Ширина проїзної частини встановлюється залежно від інтенсивності руху (з перспективою на майбутнє) у найбільш завантажені періоди часу. Нині дороги будують з дво-, три- і чотирирядним рухом і шириною проїзної частини 7 – 10 м для руху в одному напрямку. Для стоку води з проїзної частини дороги робиться поперечний ухил, тим менший, чим рівніше дорожнє покриття. Так, для цементобетонних і асфальтових покриттів він становить 1,5 %, для чорних покриттів 2 – 2,5 %, для бруківки – 3 % і для ґрунтових доріг – 3,5 %.

Земляне полотно в умовах рівної місцевості зазвичай слідує за природною поверхнею землі і підноситься над нею тільки для забезпечення стоку поверхневих вод. При пересіченому рельєфі місцевості, для згладжування нерівностей природної поверхні, земляне полотно розташовують або вище поверхні землі в насипах, або нижче цієї поверхні у виїмках.

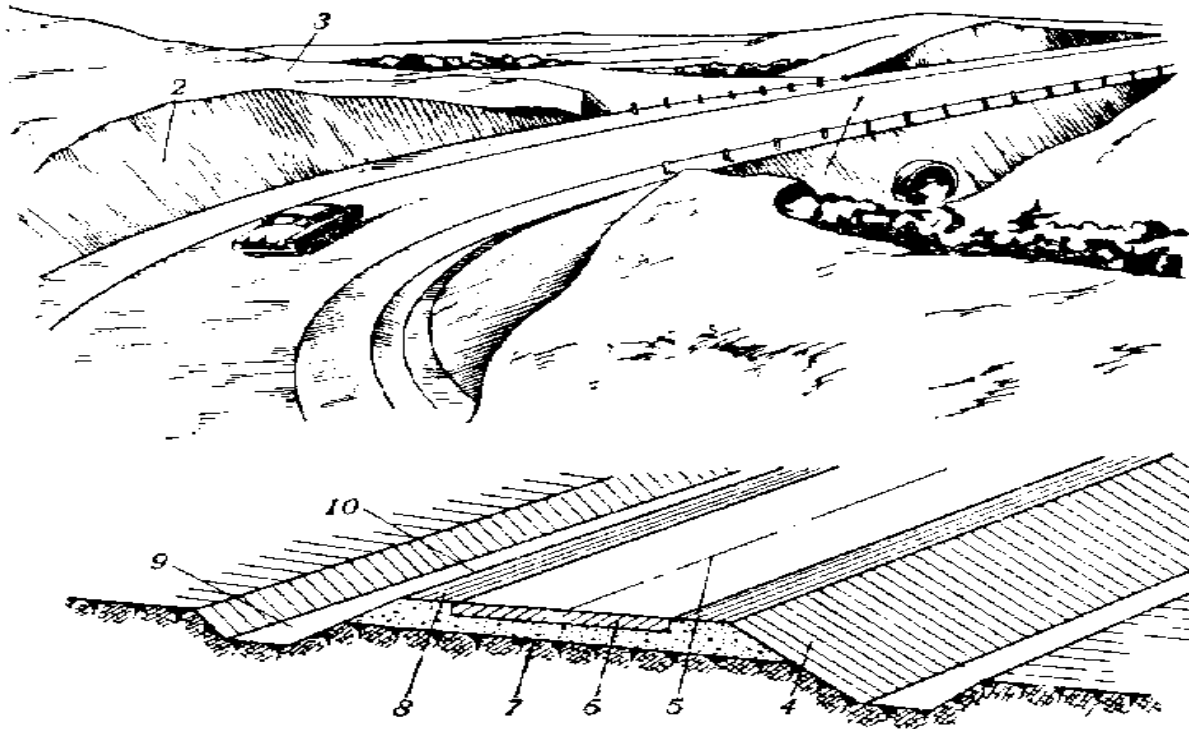


Рисунок 4.1 – Загальний вигляд земляного полотна та елементів конструкції автомобільної дороги [1]: 1 – вал; 2 – виїмка; 3 – поверхня землі; 4 – укіс насипу; 5 – вісь дороги; 6 – дорожнє покриття; 7 – поверхня ґрунту основи полотна дороги; 8 – узбіччя; 9 – кювет; 10 – брівки насипу

Високі насипи зводяться з ґрунтів, які виймаються зі суміжних ділянок дороги, що прокладається у виїмках, або доставляються з кар'єрів. Зайвий ґрунт, який виймається при розробці виїмки і не використовується на суміжній ділянці для зведення насипу, укладається в кавальєри збоку від дороги. Зазвичай прагнуть так спроектувати земляне полотно, щоб за можливості весь ґрунт виявився корисним, а вийнятий у межах виїмок був покладений в насипи. При цьому бажано, щоб обсяг перевезення ґрунтів уздовж дороги був мінімальним.

Однак такі ідеальні умови прокладення доріг зустрічаються дуже рідко, в більшості випадків для земляного полотна використовують ґрунти, які доставляються з резервів. Це пов'язано ще і з тим, що при експлуатації доріг у зимових умовах розташування земляного полотна на насипу певної висоти забезпечує меншу кількість снігу, а також кращі показники роботи у вологий період часу (навесні і восени).

Крутизна укосів насипів і виїмок залежить від властивостей ґрунтів, з яких вони зводяться. Для більшості насипів невеликої висоти (до 10 – 15 м), що зводяться з піщано-глинистих ґрунтів, зазвичай досить стійким виявляється укіс крутизною 1:1,5 (висота – 1 м, закладення – 1,5 м). Однак для більш високих насипів (понад 20 м) нижня частина насипу повинна мати більш полого закладення. Таке положення нижньої частини укосу одночасно сприяє зменшенню швидкості стікання дощових і талих вод, що оберігає укоси від розмиву. Іноді укіс високого насипу проектується із збереженням однакової крутизни, а розширення нижньої частини досягають шляхом створення горизонтальних майданчиків – *берм*, які до того ж полегшують огляд, зміцнення і ремонт укосів.

Укоси виїмок, зроблені у щільних ґрунтах непорушеного складу, можуть виявитися стійкими і при більш крутому закладенні – 1:1,5 і 1:1, а в скельних ґрунтах і при ще більшій крутизні – 1:0,5; 1:0,2 і навіть вертикальні. Взагалі високі насипи і глибокі виїмки потребують спеціального проектування, і стійкість їх укосів перевіряється розрахунками.

Насипи можна зводити з різних ґрунтів і різними методами. Із супіщано-суглинистих ґрунтів насипи зазвичай зводять «сухим» відсипанням з наступним ущільненням. Піщані ґрунти також можна укладати шляхом підсипання, але в багатьох випадках виявляється доцільним укладати їх за допомогою гідромеханізації. Розроблення виїмок у нескельних ґрунтах здійснюється головним чином за допомогою землерийних машин або гідромеханічних снарядів. У скельних ґрунтах при проходженні виїмок застосовують розпушування породи вибухами. В окремих випадках виїмки розробляються за допомогою вибухів на викид.

На ділянках траси, де дорога розташовується на схилі і смуга місцевості, що примикає до траси має поперечний ухил, земляне полотно складається із більшої кількості компонентів. Великі труднощі виникають при прокладенні доріг у горах, де доводиться враховувати не тільки наявність великих поперечних ухилів і крутих обривів, але і геологічний склад цих схилів та можливий розви-

ток на них таких несприятливих фізико-геологічних процесів, як зсуви, осипи, обвали, лавини, а також карст. У цих умовах повинні проводитися спеціальні інженерно-геологічні дослідження з оцінки стійкості косогорів як в природних умовах, так і після прокладення дороги.

При прокладенні дороги на косогорі та його ухилах менше 20 % найбільш простим рішенням є будівництво *полувиїмки – полунасіпи* (рис. 4.2, [1]). При більшій крутизні схилу, для підвищення стійкості земляного полотна основу насипу роблять у вигляді уступів, а при ще більшій крутизні для низового укосу встановлюють упори – *контрфорси*. При прокладенні дороги на дуже крутому схилі, коли укіс насипу більш пологий, ніж природний схил, доводиться споруджувати *підпірні стінки*.

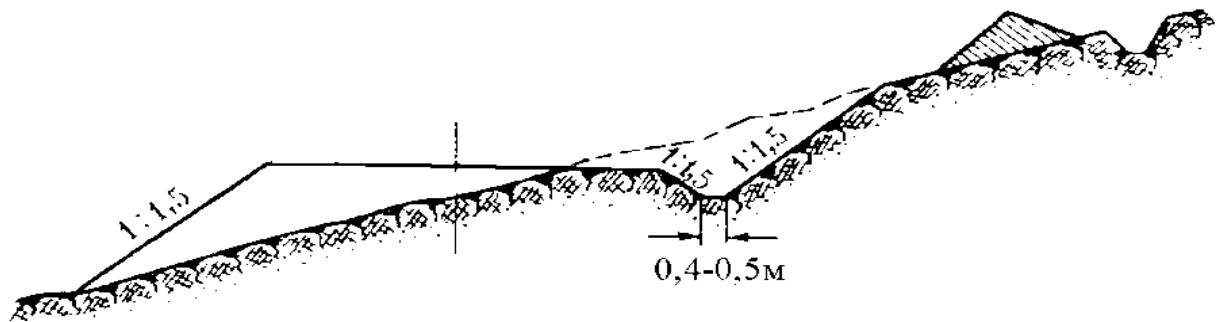


Рисунок 4.2 – Вигляд полувиїмки – полунасіпи при прокладенні доріг на косогорі

При прокладенні дороги на косогорі для утримання укосів виїмки від сповзання, а також для зменшення її розміру укоси зміцнюють підпірною стінкою. Підпірні стінки повинні надійно протидіяти ґрунтовому тиску та є дуже відповідальними спорудами на гірських дорогах. Всяке їх зміщення або руйнування порушує рух на дорозі. Схеми підпірних стінок наведені на рис. 4.3, де разом з важкими стінками, які розглядаються як гравітаційні споруди (А), зображені легкі стінки, що з'єднані з тілом насипу (Б) або закріплені за допомогою анкерів до основного гірського масиву (В).

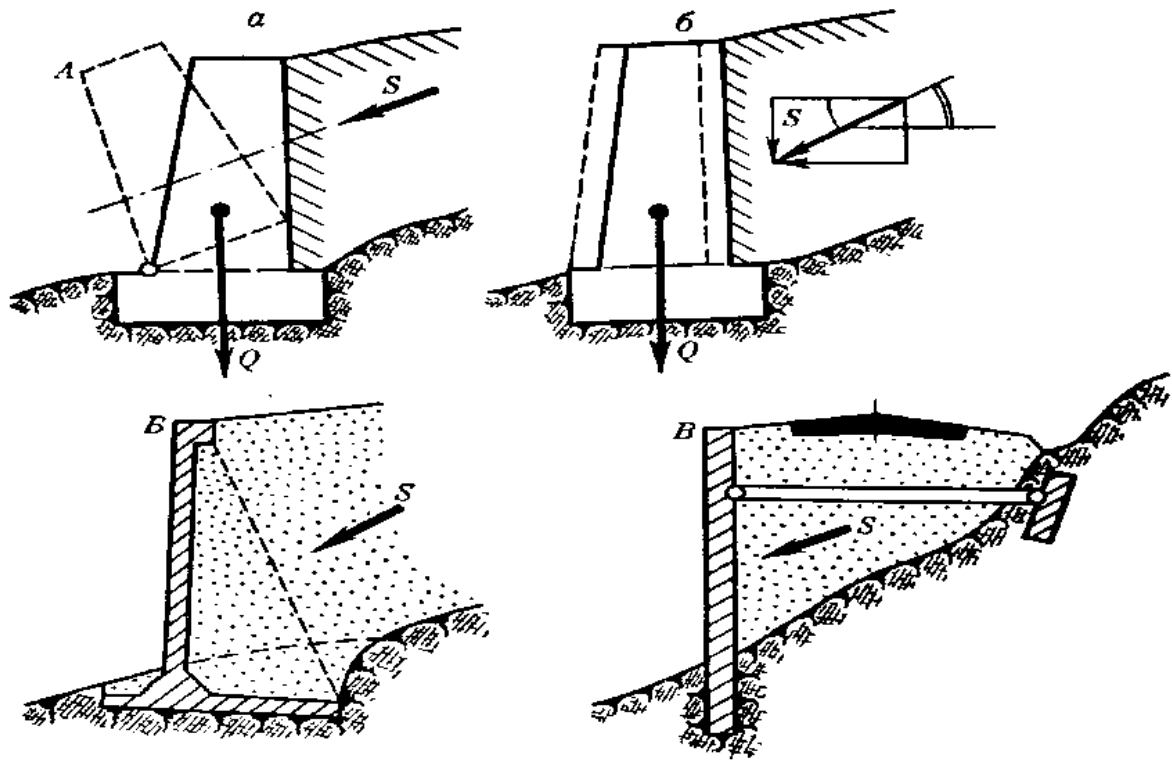


Рисунок 4.3 – Схеми підпирних стінок [1]: *A* – гравітаційні (*a* – перекидна; *б* – зрушена); *B* – легка залізобетонна з навантаженою плитою на фундаменті; *B* – анкерна; *Q* – вага стінки; *S* – тиск ґрунту на стінку

Проте в горах зустрічаються випадки, коли круті схили складені настільки міцними скельними ґрунтами, що дорога може бути прокладена на площадці, вирубаної в скелі, а укїс зроблений вертикальним або навіть навісним. Однак у цих умовах скельні породи можуть виявитися такими, що легко піддаються процесу вивітрювання, і тоді укїс варто оберегати від руйнування шляхом створення легких стінок, розташованих зверху дороги. Такі стінки не використовуються як підтримуючі підпирні споруди, а служать лише поверхневим покриттям. Іноді при проектуванні дороги на крутому обриві виникає необхідність винесення частини ширини земляного полотна в бік ущелини. В такому випадку роблять балкони, які нависають над урвищем.

Підпирні стінки зводять зазвичай з кам'яної кладки, бетону або залізобетону. Нині багато таких конструкцій монтується із збірних елементів, виготов-

лених заздальгідь на заводах і полігонах. Однак частина з них може бути виготовлена безпосередньо на місці будівництва. У ряді випадків, наприклад, при великій нестійкості схилу, перетинанні ділянок проходження селів, лавин, каменепадів, виявляється доцільним розташовувати дорогу у середині масиву, укладаючи її в тунель або інше захисне спорудження (галерею, полутунель тощо).

Відведення води від дороги і захист земляного полотна від зволоження поверхневими і ґрунтовими водами є надзвичайно важливим завданням дорожнього будівництва. Поверхнева або ґрунтова вода, що проникає в земляне полотно, розм'якшує ґрунт та суттєво знижує його несучу здатність. Тому при проектуванні доріг прагнуть зменшити шкідливий вплив на них води шляхом трасування по більш сухих і високих місцях. Проте дотримання цих умов рідко виявляється можливим, оскільки дорога повинна прокладатися за певним напрямом, не відхиляючись істотно від можливо найкоротшого варіанта руху. В цих умовах приплив води до дорожніх споруд виявляється неминучим і виникає необхідність у спеціальних заходах щодо відведення її від дороги. Загальна система таких заходів носить назву *дорожнього водовідводу*. Види і розміри споруд, що входять в систему дорожнього водовідводу, вибираються згідно з кількістю води і шляхами її руху.

Для відводу поверхневих вод застосовують системи нагірних і водовідвідних каналів, зливостоків, захисних берм, банкетів та інших споруд (рис. 4.4, [1]). Для пропускання поверхневих вод під земляним полотном влаштовують фільтруючі насипи, прокладають труби та будують мости. Вся система дорожнього водовідводу повинна працювати таким чином, щоб не допускати скупчення поверхневих вод біля насипу і взагалі у земляного полотна, чим забезпечується їх захист від перезволоження і як наслідок цього втрати стійкості.

Особливо велике значення водовідведення має в пересіченій місцевості, де через великі ухили денної поверхні може утворитися значна концентрація стічних вод і виникнути швидкі поточні потоки, які здатні розчиняти поверхневі ґрунти. У таких умовах дорожнє водовідведення повинне являти собою сис-

тому споруд, яка включає міцно укріплені канали, каскади перепадів з водобійними колодзями (для гасіння енергії води під час руху), лотки, перешкоди і т. ін.

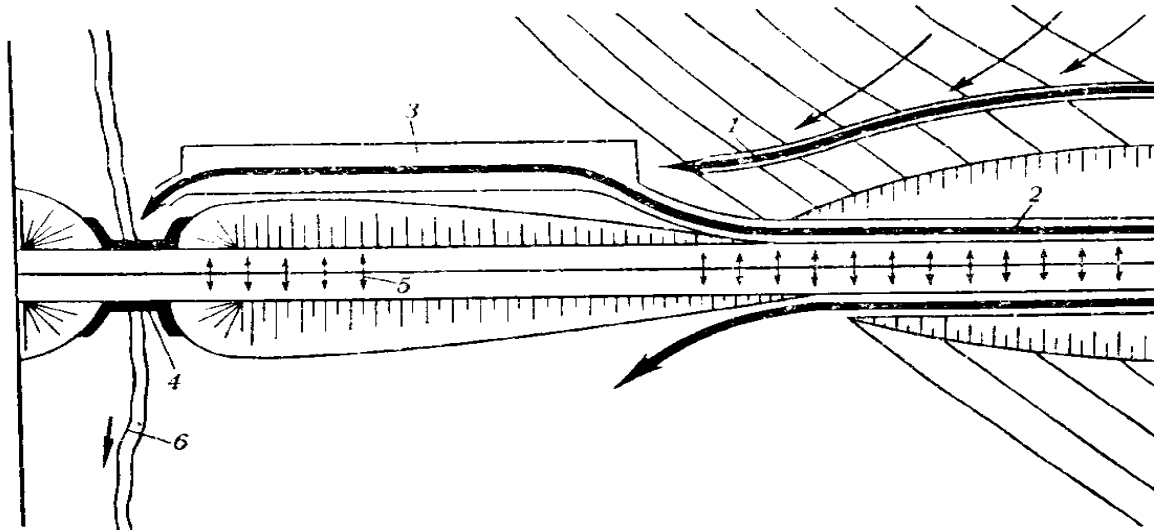


Рисунок 4.4 – Система дорожнього водовідводу: 1 – нагірна канава; 2 – бічна канава; 3 – резервуар; 4 – міст або труба; 5 – дорожнє покриття; 6 – водотік

При будівництві доріг поза межами населених пунктів дорожнє водовідведення виконується зазвичай у вигляді споруд відкритого типу на поверхні землі в стороні від проїзної частини дороги.

У міських умовах поверхнева вода, яка стікає з дахів будівель та дворів територій, скидається на поверхню вулиці [8]. Тому проїзна частина міської дороги (вулиці) розташовується дещо нижче, ніж прилегла до неї територія забудови (квартал). Для відведення цих вод під проїзною частиною вулиць прокладаються системи водовідведення – *зливостоки*, які мають відводити поверхневі води з території вулиці і прилеглого кварталу та забезпечувати нормальний стан проїзної частини і тротуарів. Для цього в мережу вуличного водовідведення включають *систему підземних колекторів* великого перерізу, що забезпечує своєчасний і швидкий відвід зливових і талих вод.

Крім поверхневих вод велику небезпеку для стійкості земляного полотна становлять підземні води. Шари поверхневих ґрунтів, зазвичай четвертинного

періоду, часто є водонасиченими. Якщо вони залягають на невеликій глибині, то це викликає зволоження земляного полотна. Для усунення цього може виявитися необхідним штучне зниження рівня ґрунтових вод і відведення їх із земляного полотна. При цьому підземний стік так само, як і поверхневий, змінюється посезонно. В осінньо-весняний час, тобто в період сніготанення і тривалих і сильних дощів, коли відбувається інтенсивна інфільтрація поверхневих вод у товщу ґрунтів, рівень ґрунтових вод істотно підвищується. В сухі періоди року він відповідно знижується. Ці зміни положення рівня ґрунтових вод мають враховуватися під час проектування дороги. Дієвим заходом захисту земляного полотна від шкідливого впливу підземних вод є їх «перехоплення» та відведення. Повне «перехоплення» можливе тільки у разі близького залягання водонепроникного шару, оскільки в пластах великої потужності воно практично неможливе і доводиться обмежуватися місцевим зниженням рівня. Крім цих простих випадків існує цілий ряд інших більш складних, коли доводиться споруджувати потужні системи ґрунтового водозниження та інші комплекси.

Пошкодження та руйнування дороги в процесі експлуатації. *Дорожнє полотно* є основним елементом конструкції дороги, оскільки воно призначено для зміцнення проїзної частини [8]. Для нормального руху автомобілів проїзна частина відповідно має бути міцною та рівною. Під впливом руху транспорту і кліматичних факторів вона не повинна деформуватися і нерівномірно зношуватися. У зв'язку з тим, що різні типи доріг призначені для руху неоднакових транспортних засобів (за складом і інтенсивністю), дорожнє полотно повинно мати різну структуру. Причому, чим більш тяжкий та інтенсивний рух очікується на дорозі, тим міцніше має бути її дорожнє покриття.

Окремі шари дорожнього полотна знаходяться під різним тиском, тому вони мають володіти різною міцністю і створюватися з різних матеріалів (рис. 4.5). Верхній шар дорожнього полотна, на який безпосередньо спираються колеса автомобіля і діють атмосферні опади, називається *покриттям*. Це порівняно тонкий шар міцного матеріалу, що лежить на більш товстих і менш міцних шарах – *основах покриття*. При переході до більш глибоких шарів до-

рожньої конструкції тиск, якій створюється автомобілем, падає і на глибині 0,6 – 1 м становить не більше 5 – 10 % від власної ваги конструкції. Тому верхні шари дорожнього полотна відчують найбільше навантаження і повинні будуватися з досить міцних матеріалів.

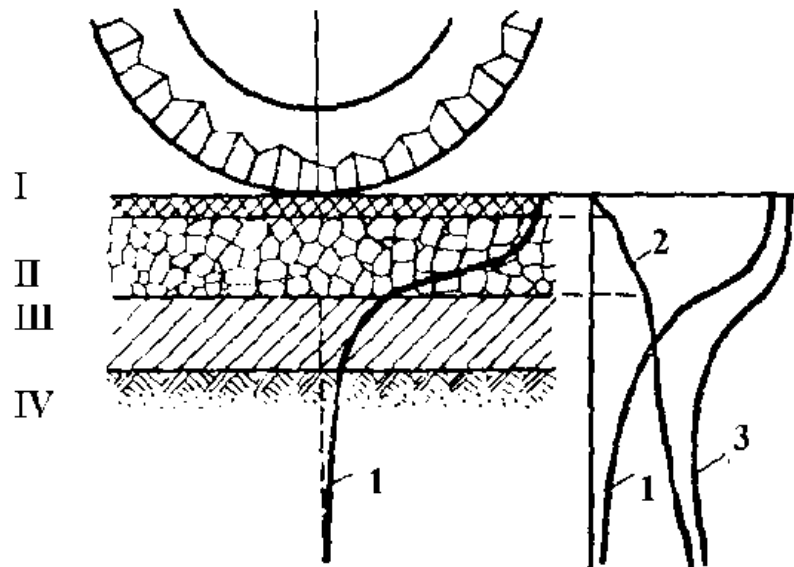


Рисунок 4.5 – Схема будови дорожнього полотна та розподіл напружень у його основі: I – покриття; II – III – шари основи покриття; IV – природна основа; 1 – епюра напружень від тиску колеса; 2 – те саме від власної ваги конструкції; 3 – епюра сумарних напружень по глибині

Дорожнє полотно своїм нижнім шаром спирається на поверхню, утворену земляним полотном дороги та звану *грунтовою основою*. Під впливом ваги транспорту, що рухається, дорожнє полотно буде прогинатися. Важливо, щоб цей прогин був пружним (оборотним), оскільки в противному разі незворотні деформації будуть сприяти утворенню тріщин і подальшому руйнуванню дороги.

Дорожнє полотно буває *жорстким* і *нежорстким*. До першого належать цементобетонні покриття, а до другого – всі інші, створювані з незв'язних або нев'язких матеріалів, просочених органічним в'язучим складом (рис. 4.6 [1]).

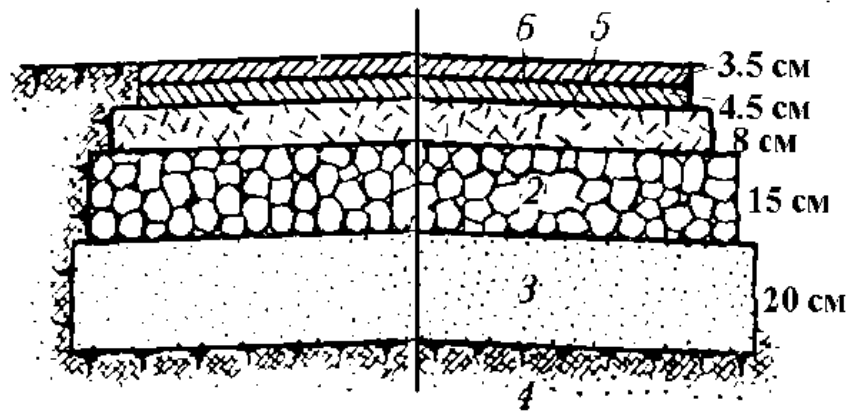


Рисунок 4.6 – Конструкція нежорсткого дорожнього полотна капітального типу: 1 – чорний щебінь; 2 – щебневий шар; 3 – пісок; 4 – природний ґрунт; 5, 6 – асфальтобетон

Залежно від інтенсивності руху, типу і ваги транспортних засобів, а також призначення відповідно вибирають типи покриття і структуру основи дороги. При дуже малій інтенсивності руху і використанні відносно невеликих автомобілів до теперішнього часу будують найпростіші дороги, де дорожнім покриттям служить верхній ущільнений шар земляного полотна. Це так звані *ґрунтові дороги*, які будуються шляхом вирівнювання денної поверхні, додання поперечного ухилу, створення кюветів від проїзної частини і укочування самої дороги. Якість таких доріг залежить від ґрунтів, в яких вони прокладені, і суттєво змінюється за сезонами року. У ряді випадків їх покращують, укладаючи у верхньому шарі земляного полотна «оптимальної суміші», яка дозволяє при ущільненні досягати максимальної міцності. Як дороги місцевого призначення, вони і до цього часу широко застосовуються, але зі зростанням вантажопотоку повинні замінюватися на більш досконалі.

Основа дорожнього покриття являє собою земляне полотно і може створюватися у вигляді насипу з місцевих ґрунтів [8]. Для цього можуть використовуватися будь-які ґрунти, але для верхньої частини земляного полотна, яка безпосередньо підстиляє *дорожнє полотно*, вони повинні незначно змінювати свої властивості при зволоженні і при поперемінному замерзанні і відтаванні (у зв'язку із знаходженням цих ґрунтів у межах глибини сезонного промерзання). Се-

зонні зміни стану ґрунту в земляному полотні, що відбуваються під впливом зазначених вище двох факторів, створюють так званий водно-тепловий режим земляного полотна дороги, який відбувається за такою загальною схемою. З осені, через сильні дощі, які викликають підняття рівня вод у порах ґрунтів, спостерігається накопичення вологи. В першу половину зими відбувається повільне промерзання земляного полотна з поверхні, яке супроводжується пересуванням води в порах до границі мерзлого ґрунту. Вода, замерзаючи насамперед у великих порах і порожнинах ґрунту, перетворюючись на лід, збільшується в об'ємі та створює тиск на сусідні маси ґрунту і віджимає з них ще незамерзлу в невеликих порах воду. Ця вода рухається до центрів замерзання, з'єднується з раніше замерзлою водою і таким чином збільшує об'єм утвореного льоду. В результаті цього формуються горизонтальні прошарки або лінзи льоду. Тому через виникнення взимку в ґрунтах включень льоду відбувається підняття покриття, яке називається обдиманням. Якщо це підняття незначно за величиною і рівномірно на площі, то воно не завдає великої шкоди дорожньому полотну. Якщо ж воно відбувається нерівномірно, то на дорозі можуть утворюватися горби, які порушують її нормальну експлуатацію і створюють умови для руйнування покриття.

У другу половину зими промерзання відбувається швидко, і умови для нового льодоутворення виявляються мало сприятливими. Тому в цей період нових деформацій дорожнього покриття майже не спостерігається. У цей час найбільша глибина промерзання буде мати місце під проїзною частиною дороги, яка очищається від снігу, під узбіччями вона буде менше (з огляду на те, що узбіччя не покриті каменем і сніг з них очищається не повністю), а під кюветами, наповненими снігом, зовсім незначною.

Навесні спостерігається найбільш шкідливий вплив осінньо-зимового накопичення води на верхній частини земляного полотна та утворення в мерзлій товщі ґрунтів льодових прошарків. Спочатку танення відбувається більш інтенсивно під проїзною частиною (з-за великої теплопровідності дорожнього полотна та зняття снігового покриву), ніж під узбіччями. При цьому вода, що утво-

рюється при таненні льодових прошарків, не буде мати виходу з талих ґрунтів під проїзною частиною та буде сильно зволожувати і розм'якшувати ґрунтову основу дорожнього полотна. Особливо інтенсивно цей процес перебігає в межах горбів і може супроводжуватися руйнуванням дорожнього полотна та видавлюванням розрідженого ґрунту з-під покриття. На початку літа, при повному відтаванні ґрунту, положення нормалізується і звичайний водний режим земляного полотна відновлюється. Однак отримані порушення дорожнього полотна потребують проведення ремонтних робіт.

Утворення горбів під час накопичення льоду у вигляді лінз і прошарків у різних ґрунтах відбувається по-різному. Цей процес майже не розвивається в пісках, пори яких порівняно великі і при охолодженні незамерзла вода встигає віджатися без утворення скупчення льоду. Жирні глини, пори яких настільки малі, що рух води в них не відбувається, також мало небезпечні. Найбільш загрозові до утворення горбів – пилуваті ґрунти, пори яких вельми неоднорідні за розмірами. У таких ґрунтах легко виникають окремі центри раннього льодоутворення, відбувається інтенсивна міграція води до цих центрів і з'являються льодові прошарки та лінзи. Для боротьби з інтенсивним утворенням горбів застосовують підняття дорожнього полотна на достатню висоту над рівнем підземних вод, підсипання морозостійкого (піщаного) ґрунту у верхню частину земляного полотна та ізоляцію ґрунтової основи від джерела зволоження.

Прокладення доріг через болота – дуже складне завдання, для вирішення якого потрібне спеціальне вивчення того болотного масиву, який буде перетинати дорога. Як відомо, болота утворюються в результаті поступового заростання водойм або заболочування суші, тому їх структура може бути досить різноманітною. Існують болота, які до дна заповнені торфом, причому його щільність з глибиною неоднорідна. Можуть бути випадки, коли щільність торфу настільки мала, що дорожній насип має проходити крізь товщу торфу до його «мінерального дна», а в інших випадках він може тиснути на товщу торфу, який буде тільки сильно стискатися під навантаженням від насипу. Особливий випадок – це болота, які зарослі не до дна, у яких верхній торф'яний шар плаває на

воді. У цих умовах земляне полотно, укладене на поверхні болота, може розірвати торф'яний шар і поринути у воду. Ці особливості прокладення доріг через болота вимагають проведення спеціальних інженерно-геологічних досліджень з детальним визначенням генезису болота, вивченням його розрізу, властивостей торфу і ґрунтів, які знаходяться під ним.

Залізничні дороги. Вони призначені для пересування потягів та складаються з нижньої і верхньої будови. *Нижня будова* являє собою земляне полотно, водопропускні споруди (включаючи і мости), а також підпірні стінки, тунелі тощо. За умовами свого призначення залізна дорога близька до аналогічних елементів автомобільної, однак має бути розрахована на більш велике навантаження (статичне зосереджене навантаження від локомотива доходить до 10 – 13 т на колесо, а, враховуючи швидкість руху потяга в 100 км/год і вище, динамічне навантаження досягає 25 – 30 т на колесо). *Верхню будову* колії (рис. 4.7) складають рейки, що кладуться на шпали, які в свою чергу спираються на баластний шар, що лежить на земляному полотні. *Рейки* служать для підтримки і напрямку руху коліс потяга, безпосередньо сприймають від нього тиск і передають його шпалі. Баласт служить подушкою, яка передає тиск шпал на земляне полотно.

Рейки з верхньою голівкою, по якій котиться колесо, забезпечені розширеною опорною підшвою, що спирається на шпали. Вони виготовляються зі сталі і бувають декількох типів (за величиною перерізу, а отже, і за несучою здатністю). Шпали виготовляються з дерева, бетону і металу. Баластний шар укладається з гравію або щебеню і повинен бути водопроникним. Земляне полотно залізничного шляху так само, як і автомобільної дороги, служать для вирівнювання нерівностей денної поверхні, тому воно місцями розташовано у насипу або виїмці. За наявності поперечних ухилів місцевості земляне полотно прокладається в полувиїмках-полунасипах та полицях.

Питання водовідведення поверхневих та ґрунтових вод від земляного полотна залізничної колії вирішуються так само, як і при будівництві автомобільних доріг, та будуть стисло викладені далі.

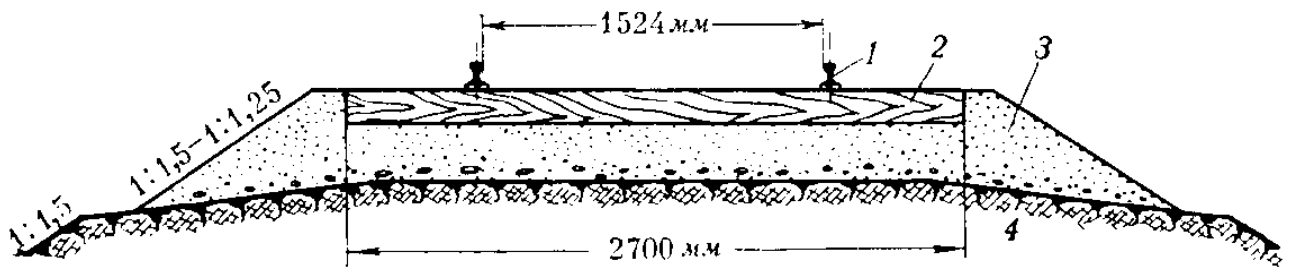


Рисунок 4.7 – Верхня будова залізнично-дорожнього шляху:

1 – рейка; 2 – шпала; 3 – баласт; 4 – основа

Велика частина труднощів, які виникають під час залізничного будівництва, є спільними з іншими видами дорожнього будівництва, проте серед них є і специфічні. До їх числа відносяться деформації (поглиблення) основної площадки земляного полотна в результаті утворення так званих *баластних корит* (лож, гнізд, кишень, мішків тощо), які виникають при малій товщині баластного шару та недостатній несучій здатності ґрунтів земляного полотна. Вони являють собою заглиблення, які утворюються під кожною шпалою. По мірі експлуатації дороги ці заглиблення поступово розширюються, захоплюючи ділянки кількох сусідніх шпал. Утворюється місцеве зниження поверхні, де може збиратися вода та розріджуватися ґрунт. Взимку в цих місцях відбувається скупчення льоду, який при таненні створює ще більш важкі умови зволоження. Такі місцеві ями у процесі поточного ремонту шляху засипаються баластом, який надалі занурюється в тіло земляного полотна, утворюючи великі кишень, корита і т. ін. Баластні корита за місткістю зазвичай не перевищують 1 м, тоді як *глибокі кишень і мішки* іноді досягають 3 м і більше.

Як заходи, що попереджають утворення цього виду деформацій, є забезпечення належної щільності ґрунту земляного полотна та недопущення зволоження його поверхневими і ґрунтовими водами. Якщо ж баластні корита (і особливо мішки і кишень) все ж утворилися, то усунути їх можна або шляхом суцільного зрізання, або осушенням (наприклад, закладенням водовідвідних свердловин, рис. 4.8, [1]).

Утворення *баластних корит* в дуже великій мірі залежить від гідрогеологічних умов. Зазвичай вони утворюються у піщано-глинистих ґрунтах з невисокою водопроникністю і малою щільністю (легкі супіски і суглинки). У піщаних ґрунтах так само, як і в щільних водонепроникних глинистих ґрунтах, ці деформації зазвичай не спостерігаються. Близьке залягання ґрунтових вод також сприяє появі баластних корит.

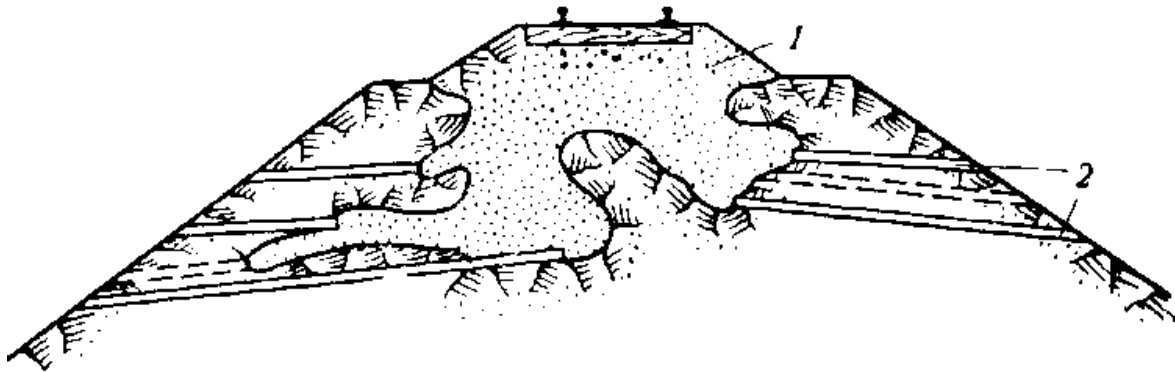


Рисунок 4.8 – Схема осушення баластного корита:

1 – баластне корито; 2 – дренажні свердловини

Водопрпускні штучні споруди. Як зазначалося раніше, при розгляді питань стійкості земляного полотна автомобільних доріг вода, яка надходить до дорожніх споруд, має бути відведена від них, або протікати під ними. Відведення води від дорожніх споруд здійснюється за допомогою спеціальних водовідвідних систем, а протікання – за допомогою водопрпускних, так званих *«штучних споруд»*. У число останніх входять мости, труби і лотки, а в деяких випадках естакади, акведуки, дюкери і т. ін. Найбільш поширеними водопрпускними спорудами є *мости і труби*.

У випадках, коли кількість води, яку необхідно пропустити під земляним полотном – невелика, то прокладають труби і споруджують лотки. Труби укладаються в тіло насипу в нижній частині долини водотоку, зазвичай в напрямку, перпендикулярному осі насипу (щоб мати найменшу довжину), хоча іноді виходячи з гідравлічних умов їх розташовують за напрямком потоку. Нині більшість труб прокладається шляхом складання їх із залізобетонних секцій. Як

правило, вони витримують змінне навантаження. В період повені труба може не тільки пропускати своїм повним перерізом, але і бути повністю затопленою. У звичайний час труба пропускає стічну воду не повним перерізом і не повинна створювати ніякого напору вод у долині.

Взаємодія дорожньо-транспортної інфраструктури з навколишнім середовищем. Радикальні економічні і соціальні зміни в Україні неминуче диктують необхідність прискореного розвитку дорожньо-транспортної інфраструктури, яка складається із залізничної і зовнігалузевої індустрій, автомобільних доріг і споруд на них, а також транспортних засобів. Кожна складова чинить індивідуальну негативну дію на довкілля, проте, в цілому вплив інфраструктури носить не лише регіональний, але і глобальний характер (рис. 4.9).

Автомобільна і залізнична дорога як інженерна споруда порушує природні ландшафти, змінює режим стоку поверхневих і підземних вод. При перетині річкових долин на підходах до штучних споруд порушується середня швидкість циркуляції вітрів, що призводить до зміни мікроклімату і взаємозв'язаних з ним явищ у флорі і фауні. Дорога може порушити традиційні сезонні шляхи міграції тварин і комах. Прагнення шляховиків до зниження витрат за рахунок застосування у будівництві конструктивних шарів з місцевих некондиційних матеріалів і відходів промислового виробництва не завжди виправдано, оскільки піритові огарки, відходи яких містять ртуть, кам'яновугільні дьогті, смоли, піски, радіоактивні породи і різноманітні шлами кольорової металургії, здатні забруднювати придорожню смугу токсичними речовинами.

З моменту введення дороги в експлуатацію відбувається міграція хімічних речовин з дорожніх терпких матеріалів: 1) переміщенням частинок та їх перемішуванням в приземних шарах повітря в результаті зносу і механічного пошкодження дорожніх покриттів; 2) дифузиею з поверхні полотна дороги.

Продукти зносу покришок, гальмівних накладок і покриття дороги, втрачена і роздроблена колесами частина вантажів, а також матеріали, які застосовуються проти ожеледі турбулентним потоком повітря, розпилюються в атмосферу, системою водовідвідних споруд переносяться у водойми з акумуляцією їх

в донному мулі і подальшим отруєнням живого організму. Крім того, при існуючій дорожньо-транспортній інфраструктурі і характері розселення людей прокладення нової дороги вносить іноді досить значні соціальні зміни, які позитивні для користувачів транспорту і негативні для населення міст, через які проходить транзитний рух. Вже сьогодні будівництво нових доріг викликає обґрунтовані протести місцевого населення і громадських організацій, оскільки залежно від їх складу і інтенсивності руху відбувається побутове забруднення ґрунту, рослин придорожньої смуги і водойм.

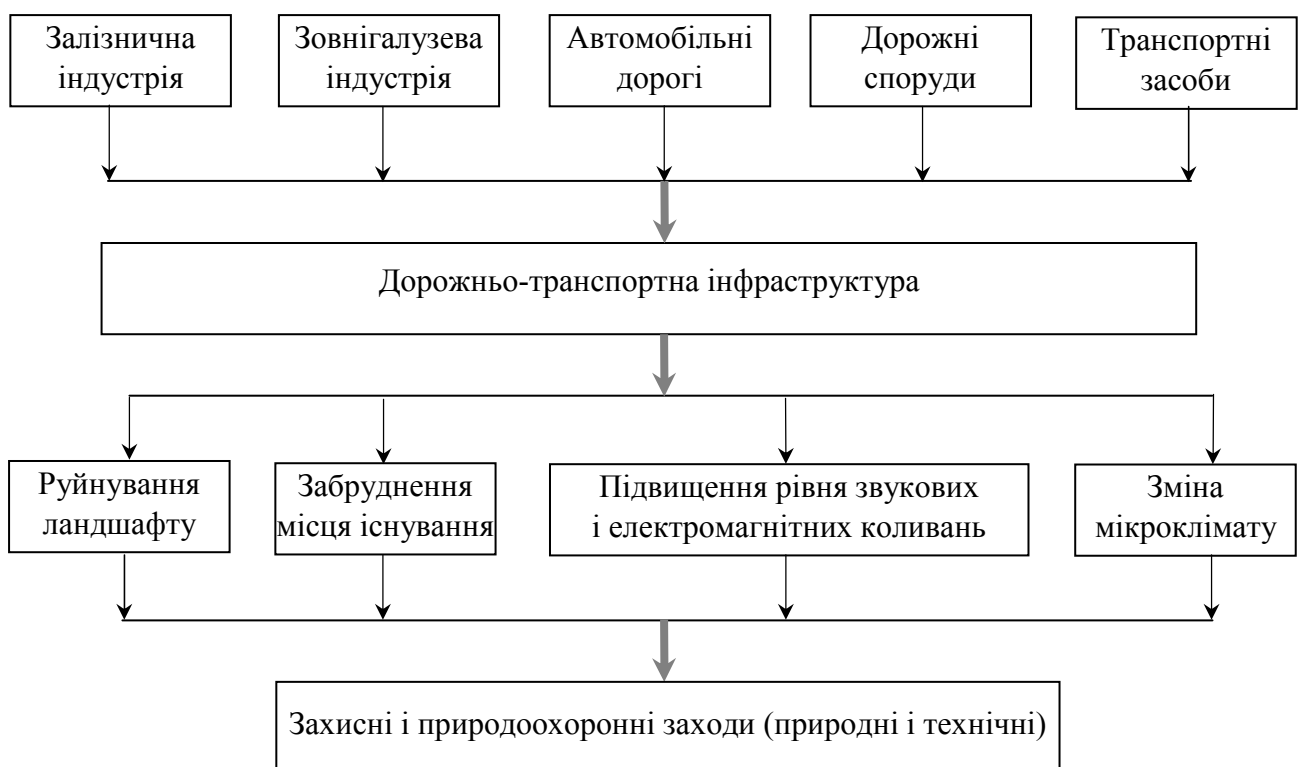


Рисунок 4.9 – Схема взаємодії дорожньо-транспортної інфраструктури з навколишнім середовищем

Інженерні споруди, до яких належать мостові переходи, трубопроводи, розв'язки, тунелі різного заставляння і підпірні стінки мають свою специфіку впливу на довкілля. При будівництві мостових переходів відбувається переформування берегової лінії, зміна перерізу потоку і контурів водойми, порушується гідрологічний режим, з'являються розмиви і втрата загальної стійкості

масиву, частенько виникає необхідність охорони рибних запасів, оскільки можуть бути знищені нерестовища і зимувальні ями, в які щорічно спрямовуються косяки. Значну шкоду доквіллю, ґрунтам і рослинності роблять викиди автомобілів, в яких містяться більше 200 токсичних речовин, у тому числі оксид вуглецю, діоксид азоту і сірки, сажа, альдегіди, з'єднання свинцю та інші важкі метали. Транспортні теплові і газоподібні викиди істотно змінюють якісний і кількісний склади атмосферного повітря, його ентропію, що спричиняє за собою погіршення мікроклімату в придорожній смузі. У зв'язку з цим у великих населених пунктах мікрокліматичні зміни характеризуються збільшенням температури повітря на декілька градусів, зниженням ультрафіолетової радіації до 30 %, зменшенням видимості, збільшенням хмарності й опадів, зміною циркуляції повітря.

Взаємодія автомобільного транспорту й усієї дорожньої мережі з природним доквіллям є нині однією із складових частин світової екологічної проблеми. Глобальна екологічна криза призвела до визнання «меж зростання» в різних сферах. Особливо гостро і швидко ця проблема спостерігається при спорудженні автомагістралей і доріг високих категорій. Усвідомлення того, що велику дію на розмивання і часткове руйнування захисних меж біосфери чинять токсичні викиди транспортних потоків зажадало погоджених дій світової спільноти. Слід зазначити, що роботи, які проводяться останніми роками з дослідження забруднення атмосфери і ґрунтів викидами транспорту, поверхневих і підземних вод – продуктами змиву шкідливих речовин з поверхні доріг, а також шумових і вібраційних дій, виконуються як приватні без урахування їх спільного впливу. Із-за недостатнього числа вивчених функціональних залежностей взаємодії дорожнього руху з доквіллям і труднощів, пов'язаних з оцінкою взаємного впливу численних варіаційних параметрів, відсутній математичний апарат, що дозволяє робити адекватну оцінку забруднення і прогнозування для реальних умов експлуатації. Екологічні недоліки існуючої мережі доріг у світлі концепції її стійкого розвитку диктують необхідність їх поступового пом'якшення і усунення в процесі експлуатації.

Як засвідчили дослідження вітчизняних і закордонних учених, найбільшу складність при оцінці стану довкілля в зоні впливу доріг і відповідних наслідків представляють перехід від якісних показників до кількісних і відсутність єдиного узагальнюючого комплексного критерію. Тому розробка системного підходу до техніко-екологічних показників для оцінки взаємодії дорожньо-транспортного комплексу з довкіллям є актуальною проблемою. Її рішення ускладнене відсутністю методики визначення синергізму між окремими компонентами під впливом сонячного випромінювання та інших природно-кліматичних чинників. Існуючими моделями розсіювання викидів транспорту в атмосфері із-за недостатньої достовірності можна користуватися за умови накопичення статистичних даних про зв'язки між концентраціями окремих забруднюючих речовин та метеорологічними і ландшафтними умовами. Різноманіття і недостатня досконалість використовуваних методів оцінки дії транспортного забруднення на людей, рослинний і тваринний світ, а також глобальне накопичення окремих компонентів у біосфері Землі викликає невиправдані великі втрати в соціально-економічній сфері.

Питання до самоконтролю

1. Обґрунтуйте класи автомобільної дороги загального користування і що вони визначають: 1) інтенсивність руху; 2) розрахункову швидкість автомобіля; 3) осьове навантаження; 4) тип дорожнього покриття; 5) число смуг руху. Виберіть одну із відповідей.

2. Назвіть основні параметри плану та поздовжнього профілю доріг звичайного типу.

3. Наведіть нормовані і розрахункові геометричні елементи автомобільних доріг та опишіть послідовність проектування плану траси.

4. При виборі варіантів траси слід враховувати міру дії дороги на довкілля під час: 1) будівництва; 2) експлуатації; 3) будівництва і експлуатації; 4) міграції тварин; 5) немає правильної відповіді. Виберіть одну із відповідей.

5. Опишіть основні елементи поперечного профілю дороги (накресліть профіль насипу і виїмки, охарактеризуйте профіль дороги на заокругленні).
6. Обґрунтуйте призначення та конструкцію водопровідних труб на автомобільних дорогах.
7. Наведіть типи дорожнього полотна (жорстке і нежорстке) та їх конструктивні шари і призначення.
8. Опишіть міцність та надійність дорожніх покриттів.
9. Охарактеризуйте залізничну колію. Це є: 1) земляне полотно для укладення рельсо-шпальних грат; 2) комплекс інженерних споруд, призначений для руху потягів зі встановленою швидкістю; 3) рейки; 4) шпали. Виберіть одну із відповідей.
10. Наведіть основні елементи залізничної колії та обґрунтуйте їх призначення.

5. МОСТИ

Основні види й елементи мостів. Класифікація мостових споруд. Вимоги до мостових споруд на автомобільних і міських дорогах. Послідовність проектування мостових споруд. Взаємодія мостів з геологічним середовищем у процесі їх експлуатації.

Навчальні цілі: спираючись на викладений матеріал, студент повинен знати послідовність проектування мостових споруд та їх класифікацію, а також уміти оцінювати ступінь взаємодії мостів з геологічним середовищем.

Основні види мостів. *Мостові споруди* використовуються для руху транспорту над водними перешкодами, ущелинами, ярами та іншими дорогами. На відміну від труб вони перекривають земляне полотно дороги своїми конструкціями, які складаються з прогонових будов і опор. При цьому *прогонові будови* перекривають простір між опорами, сприймають навантаження від переміщення транспортних засобів і передають їх та власну вагу на опори. *Опори* сприймають зусилля від прогонових будов і передають їх через фундаменти на ґрунт. *Різновидністю мостових споруд* є власне мости, шляхопроводи, віадуки, акведуки та естакади (рис. 5.1, [9]).

Власне *мостом* називається споруда, яка призначена для прокладення дороги над будь-якою водною перешкодою. *Шляхопровід* – мостова споруда, яка служить для прокладення однієї дороги над іншою у різних рівнях. *Віадук* – мостова споруда на переході через глибокий яр, ущелину, суходіл, балку з високим рівнем розташуванням проїзної частини над дном перешкоди. Характерною особливістю віадуків є опори великої висоти (від декількох десятків до сотень метрів). *Акведуками* називаються мостові споруди, побудовані на переході водоводу через яр, ущелину, річку, суходіл або дорогу. *Естакадами* називаються мостові споруди, що призначені для прокладення дороги на деякій висоті над природною поверхнею місцевості, щоб простір під ними міг бути використаним для різних цілей. Естакади зводять також замість насипів для прокладення до-

роги над долинами річок, болотистими ділянками місцевості, на підходах до мостів і шляхопроводів. Їх застосовують також для прокладення швидкісних автомагістралей над міською забудовою, при розширенні набережних і для руху в міських умовах уздовж річок.

Мостовим переходом називається комплекс інженерних споруд, що зводяться при перетині дорогою водної перешкоди. До його складу входять міст, підходи до нього, регуляційні споруди, берегоукріплювальні споруди і льодорізи (рис. 5.2).

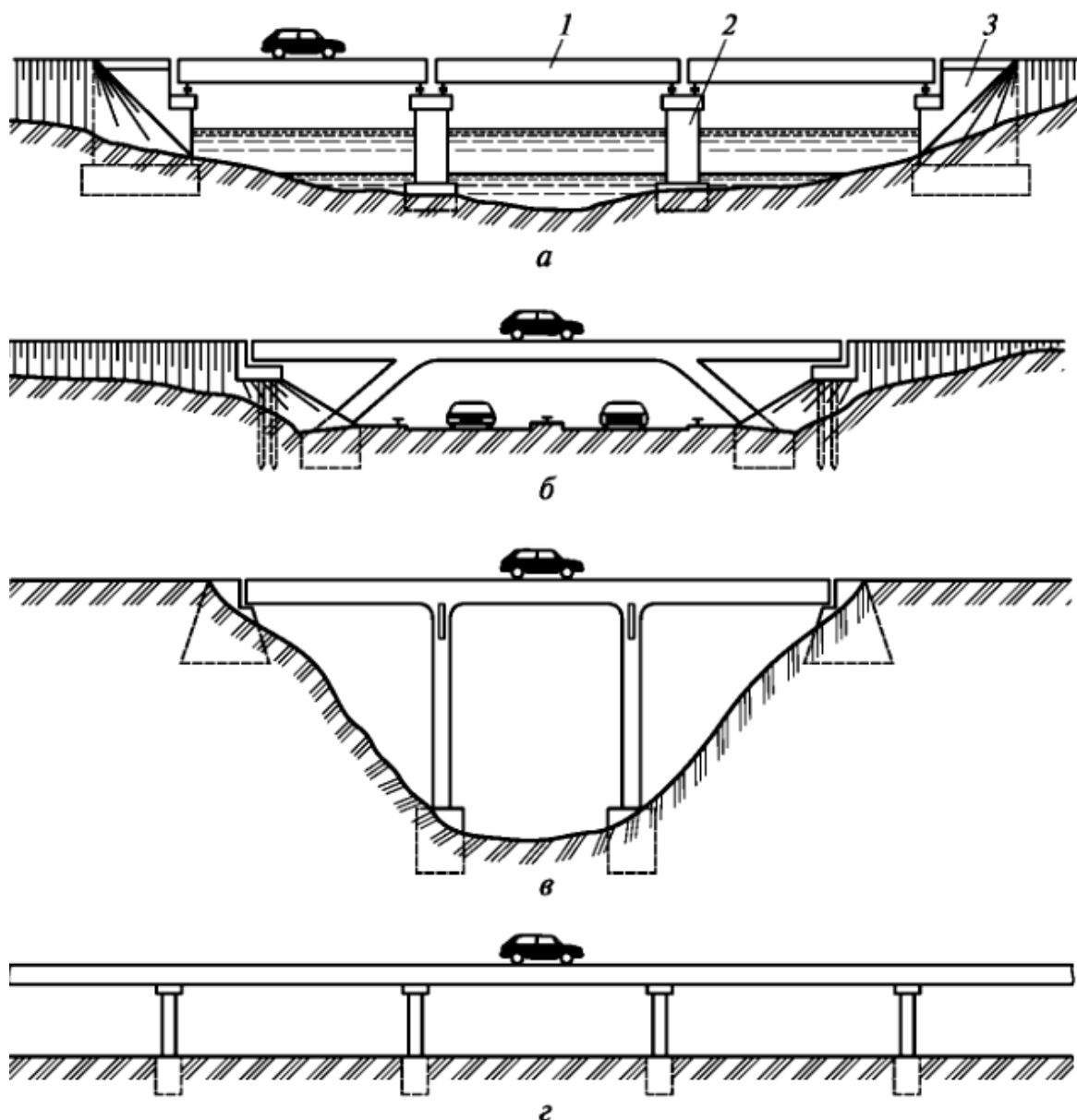


Рисунок 5.1 – Види мостових споруд: *а* – міст; *б* – шляхопровід; *в* – віадук; *г* – естакада; 1 – прогонова будова; 2 – проміжна опора; 3 – підвалина

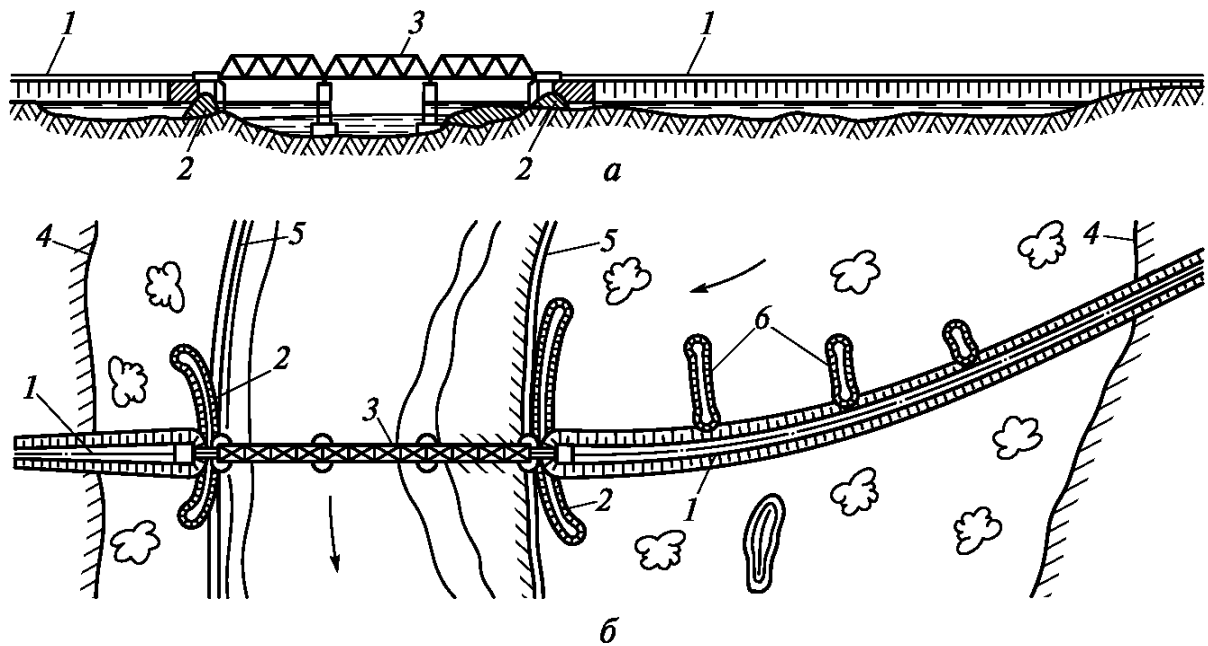


Рисунок 5.2 – Профіль (а) і план (б) мостового переходу [9]:

1 – насип підходу; 2 – струмененапрямна дамба; 3 – міст; 4 – межа затоплення заплави; 5 – зміцнення берега; 6 – траверс

Міст своїми конструкціями перекриває русло і частину заплави річки. *Підходи до моста* забезпечують спеціальні з'єднання дороги з мостом. Їх влаштовують у вигляді земляних насипів або естакад. *Регуляційні* (у вигляді струмененапрямних дамб) і *берегоукріплювальні споруди* застосовуються для захисту берегів річки біля моста від значного розмиву. *Струмененапрямні дамби* споруджують біля берегових опор у вигляді земляних насипів з трапецієподібним поперечним перерізом, надаючи їм у плані обрис, який і сприяє плавному перебігові в отвір моста водного потоку з верхньої частини річки.

Льодорізи – споруди для захисту проміжних опор мосту від безпосереднього впливу льодоходу, який може бути дуже небезпечним для опор. Їх зводять перед кожною опорою з верхньої сторони моста на тій частині ширини річки, де можливий льодохід. У мостах з масивними опорами (кам'яними, бетонними, залізобетонними) льодорізи зазвичай з'єднують з тілом опори.

Елементи мостів. Мости складаються з прогонових будов і опор. У прогонових будовах мостів виділяють такі основні частини: проїзну частину, несучі елементи, систему зв'язків і опорні частини.

Під *проїзною частиною* прогонової будови (в первісному і широкому сенсі цього поняття) розуміють сукупність конструктивних елементів, які сприймають навантаження від транспортних засобів і пішоходів та передають їх на несучу частину. Проїзна частина в широкому сенсі включає в себе несучі елементи й мостове полотно (рис. 5.3, [9]).

Несучі елементи проїзної частини сприймають навантаження від транспортних засобів і пішоходів та передають їх на основні несучі конструкції прогонової будови. Застосовують три головних види несучих елементів проїзної частини:

- балочна кліть – сукупність поздовжніх і поперечних блоків;
- плоска або ребриста залізобетонна або дерев'яна плита;
- металева плита – зварена конструкція, яка складається з листа настилу, закріпленого поздовжніми і поперечними ребрами.

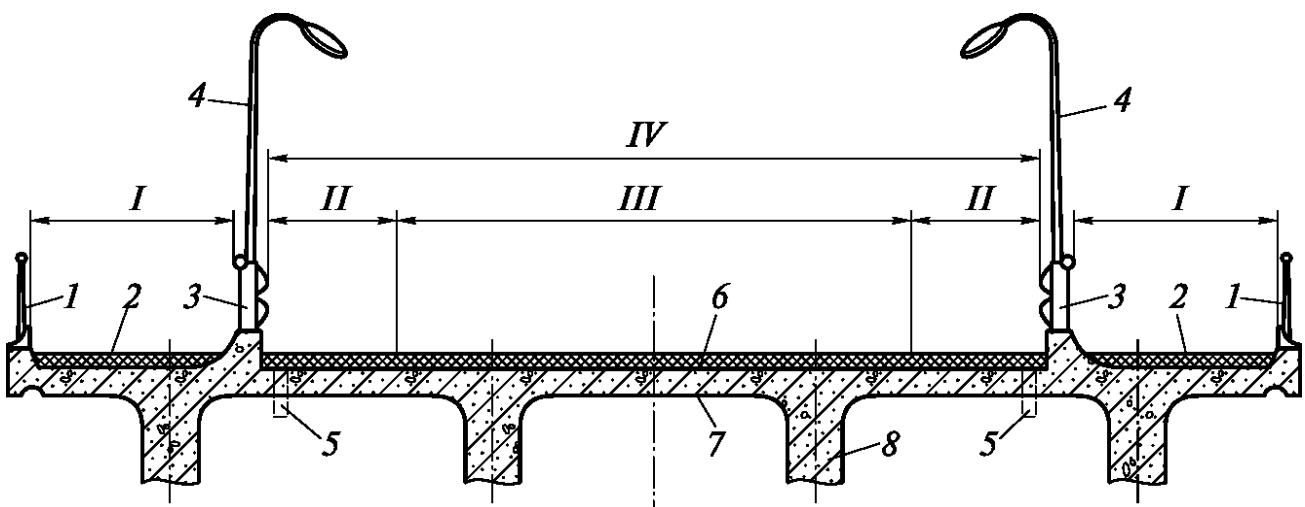


Рисунок 5.3 – Елементи мостового полотна: *I* – тротуар; *II* – смуга безпеки;

III – проїзна частина; *IV* – їздове полотно; 1 – поручневе огородження;

2 – покриття тротуарів; 3 – бар'єрне огородження; 4 – щогла для освітлення;

5 – водовідвідне обладнання; 6 – покриття їздового полотна; 7 – несучі

елементи проїзної частини; 8 – несучі елементи прогонової будови

Мостове полотно – сукупність усіх елементів, розміщених на плиті проїзної частини прогонових будов, призначених для забезпечення нормальних

умов і безпеки руху транспортних засобів та пішоходів, а також для відводу води з проїзної частини. Воно включає в себе покриття їздового полотна, тротуари, огорожувальне обладнання, а також обладнання для водовідведення, обігріву та освітлення, з'єднання моста з підходами. Поняття проїзної частини прогонової будови нині використовується і в дещо іншому, більш вузькому сенсі: це смуга на мостовому полотні для безпосереднього руху транспортних засобів. Ширина цієї смуги дорівнює сумі ширини смуг руху, встановлених для моста. До цієї смуги повинні примикати запобіжні смуги (смуги безпеки). Вони призначені для забезпечення руху транспортних засобів на мосту зі встановленою швидкістю, їх наявність усуває психологічний вплив на водія від високої огорожі тротуарів і не призводить до зниження швидкості руху. Вони також забезпечують можливість з'їзду автомобілів з проїзної частини при виникненні небезпечних для руху ситуацій. Проїзна частина (у вузькому сенсі цього поняття) разом із запобіжними смугами складає смугу їздового полотна, або габарит проїзду, що дорівнює відстані між захисними огорожами.

Несуча частина прогонової будови сприймає дію власної ваги і тимчасово рухомого навантаження та передає його через опорні частини на опори. У найпростіших балочних мостах малого прояснення несуча частина будов складається з дерев'яних або металевих прогонів, залізобетонних плит або балок; при середніх і великих прогонах як несуча частина застосовуються більш потужні балки, а також ферми, рами або арки.

Зв'язок між елементами несучої частини прогонової будови (балками, фермами, арками) встановлюють з метою їх з'єднання в просторово жорстку конструкцію, здатну сприймати усіма елементами як вертикальні, так і горизонтальні навантаження незалежно від місця їх застосування. В повній системі розрізняють горизонтальні (верхні і нижні) і вертикальні (опорні і проміжні) зв'язки. Більш детально з ними познайомимося при вивченні дерев'яних і металевих прогонових будов мостів.

Опорні частини являють собою спеціальні елементи прогонової будови, за допомогою яких опорні впливи від несучої конструкції передаються на опо-

ри в строго заданому місці для створення сприятливих умов надійності використання елементів прогонової будови і опори в зоні їх контакту. Крім того, опорні частини забезпечують поворот і поздовжнє зміщення опорних перерізів основних балок або ферм прогонової будови.

Одним з важливих принципів раціонального конструювання є об'єднання різних функцій в елементах конструкції. У сучасних конструкціях прогонових будов мостів цей принцип використовується досить широко. Так, плита (або поздовжні балки проїзної частини) витримує місцевий вплив тимчасового навантаження та одночасно це навантаження отримують прогонові будови в цілому. Крім того, ці елементи в складі прогонової будови виконують і функції поздовжніх і поперечних зв'язків.

Опори мостів сприймають навантаження від прогонових будов і передають їх на ґрунтові основи через фундаменти або на воду (в наплавних мостах). Розрізняють *проміжні* та *крайні* (берегові) опори. Проміжні опори сприймають навантаження від ваги прогонових будов, тимчасово рухомих навантажень, від навалу суден, впливу льоду і вітру. Крайні опори, будучи підвалинами, крім того, можуть ще використовуватися як підпірні стінки, що сприймають тиск від насипу підходів.

Конструктивне рішення моста у багато в чому залежить від ширини, глибини і швидкості течії річки, складу ґрунтів на дні її русла, умов льодоходу, вимог судноплавства. Істотний вплив при цьому надають і такі розрахункові рівні води в річці:

- *рівень високих вод* (РВВ) – найвищий рівень води у річці в місці мостового переходу, який визначають за багаторічними даними гідрометричних спостережень з різним ступенем забезпеченості для мостів на дорогах різних категорій;
- *розрахунковий судноплавний рівень* (РСР) – найвищий рівень води у річці в судноплавний період, який зазвичай трохи нижче РВВ;
- *рівень меженних вод* (РМВ) – середній рівень води у річці в період між паводками.

Для повного засвоєння цього розділу важливо також усвідомити такі основні визначення та позначення, що застосовуються на кресленнях і схемах мостів (рис. 5.4, [9]):

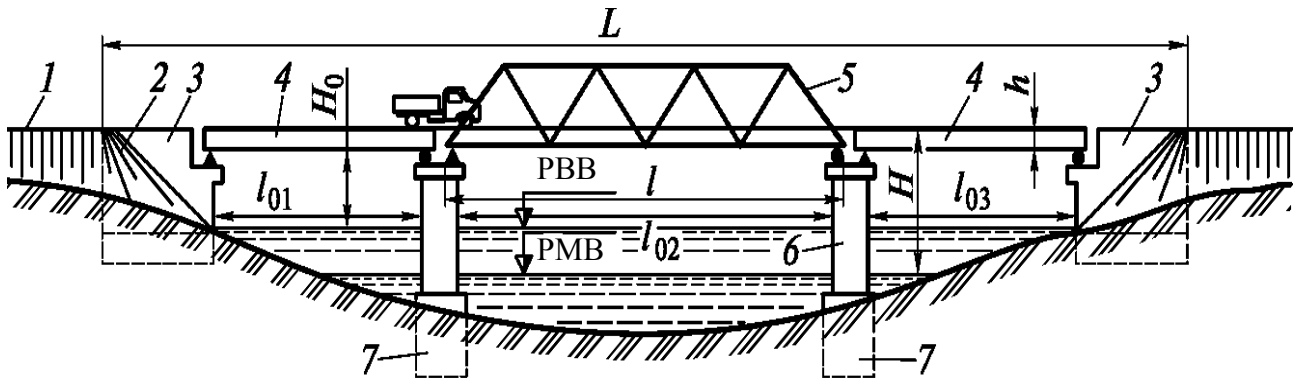


Рисунок 5.4 – Характеристики моста і рівня води в річці: 1 – насип підходу;

2 – конус насипу; 3 – підвалина; 4 – прогонова будова з їздою поверху;

5 – прогонова будова з їздою понизу; 6 – проміжна опора; 7 – фундамент опори

- *довжина моста L* – відстань між початком і кінцем моста, виміряна вздовж його осі. При цьому *початок моста* – перша за ходом відліку кілометражу точка перетину лінії, що з'єднує кінці відкритки підвалини, або інших видимих конструктивних елементів підвалини, або прогону з віссю моста без урахування перехідних плит, а *кінець моста* – остання за ходом відліку кілометражу точка перетину лінії, яка з'єднує кінці відкритки підвалини, або інших видимих конструктивних елементів підвалини, або прогону з віссю моста;

- *отвір моста L_0* – горизонтальний розмір між внутрішніми гранями підвалин або конусами насипу, виміряний при розрахунковому рівні високих вод з виключенням товщини проміжних опор;

- *висота моста H* – відстань від рівня проїзної частини вздовж осі моста до рівня межових вод;

- *вільна висота під мостом H_0* – відстань між низом прогонових будов і рівнем високих вод або розрахунковим судноплавним рівнем (якщо є судноплавство);

- висота опори h – відстань від її верху до ґрунту;
- будівельна висота прогонової будови – відстань від поверхні проїзної частини до найнижчих частин прогонової будови;
- розрахунковий прогін l – відстань між осями опорних частин прогонової будови на суміжних опорах;
- ширина моста B – відстань між поручнями;
- ширина прогону B_0 – відстань між осями крайніх головних балок або ферм;
- ширина проїзної частини b – відстань між внутрішніми крайками смуг безпеки;
- ширина їздового полотна, або габарит проїзду, Γ – відстань між огорожами.

Основні параметри моста встановлюють у процесі його проектування з урахуванням його призначення й умов місця розташування.

Класифікація мостових споруд [9]. Мости класифікуються за такими ознаками: їх призначенням, реалізованим типом опор і прогонових будов, видом використаного матеріалу, розташуванням рівня проїзду, забезпеченням щодо проходження високих вод та льодоходу, шириною проїзної частини, характером перетину перешкоди і довжиною моста. *Класифікація мостових споруд* розглянута в таблиці, а нижче наведена їх стисла характеристика.

За призначенням мости поділяють на:

- *автодорожні* – для руху всіх видів автомобільного транспорту;
- *залізничні* – для руху залізничних потягів;
- *міські* – для руху всіх видів міських транспортних засобів (автомобілів, автобусів, тролейбусів, трамваїв, метро) і пересування пішоходів;
- *пішохідні* – тільки для пересування пішоходів;
- *об'єднані* – для пересування автомобілів і залізничних потягів;
- *спеціальні* – для прокладення трубопроводів, силових кабелів і т. ін.

За типом застосовуваних опор мости бувають:

- *жорстких опор* (рис. 5.5, а, б), що передають навантаження від прогонових будов через фундаменти безпосередньо ґрунту і характеризуються відсутністю значних просідань;
- *плавучих опор* (рис. 5.5, в), які передають навантаження на воду (наплавні мости на понтонах або баржах) і отримують значне просідання.

Класифікація мостових споруд

Ознака	Вид мостів					
	За призначенням	Автомобільні	Залізничні	Міські	Пішохідні	Об'єднані
За типом опор	На жорстких опорах			На плавучих опорах		
За положенням прогонової будови й опор	Нерухомі			Розвідні		
За матеріалом	Дерев'яні	Металеві	Залізобетонні	Бетонні	Кам'яні	
За рівнем проїзної частини	Поверху		Посередині		Понизу	
За статичною схемою	Балкові		Розпірні		Комбіновані	
За розташуванням прогонових будов	Висоководні		Низьководні		Підводні	
За довжиною	Малі	Середні	Великі		Позакласні	

За типом взаємного положення прогонової будови й опор мости поділяють на:

- *нерухомі*, в яких прогонова будова відповідно до опор завжди займає незмінне положення (рис. 5.5, а);
- *розвідні*, в яких для проходження суден обладнують спеціальний розвідний прогін шляхом повороту щодо опор у вертикальній площині половин прогонової будови (рис. 5.5, б) або шляхом підняття прогонової будови на необхідну висоту.

Розвідні мости будують тоді, коли неможливо або неекономічно підняти рівень проїзду над річкою на висоту, достатню для проходження суден. Неминучість переривання руху на розвідних мостах і річці є їх істотним недоліком.

За видом використаних матеріалів розрізняють дерев'яні, металеві, залізобетонні, бетонні та кам'яні мости. Визначальним показником при цій класифікації є матеріал прогонової будови. Наприклад, до металевих мостів відносяться споруди з металевими прогоновими будовами незалежно від того, з якого матеріалу виконані опори. Вид матеріалу істотно впливає на конструктивну форму прогонової будови моста та спосіб його зведення.

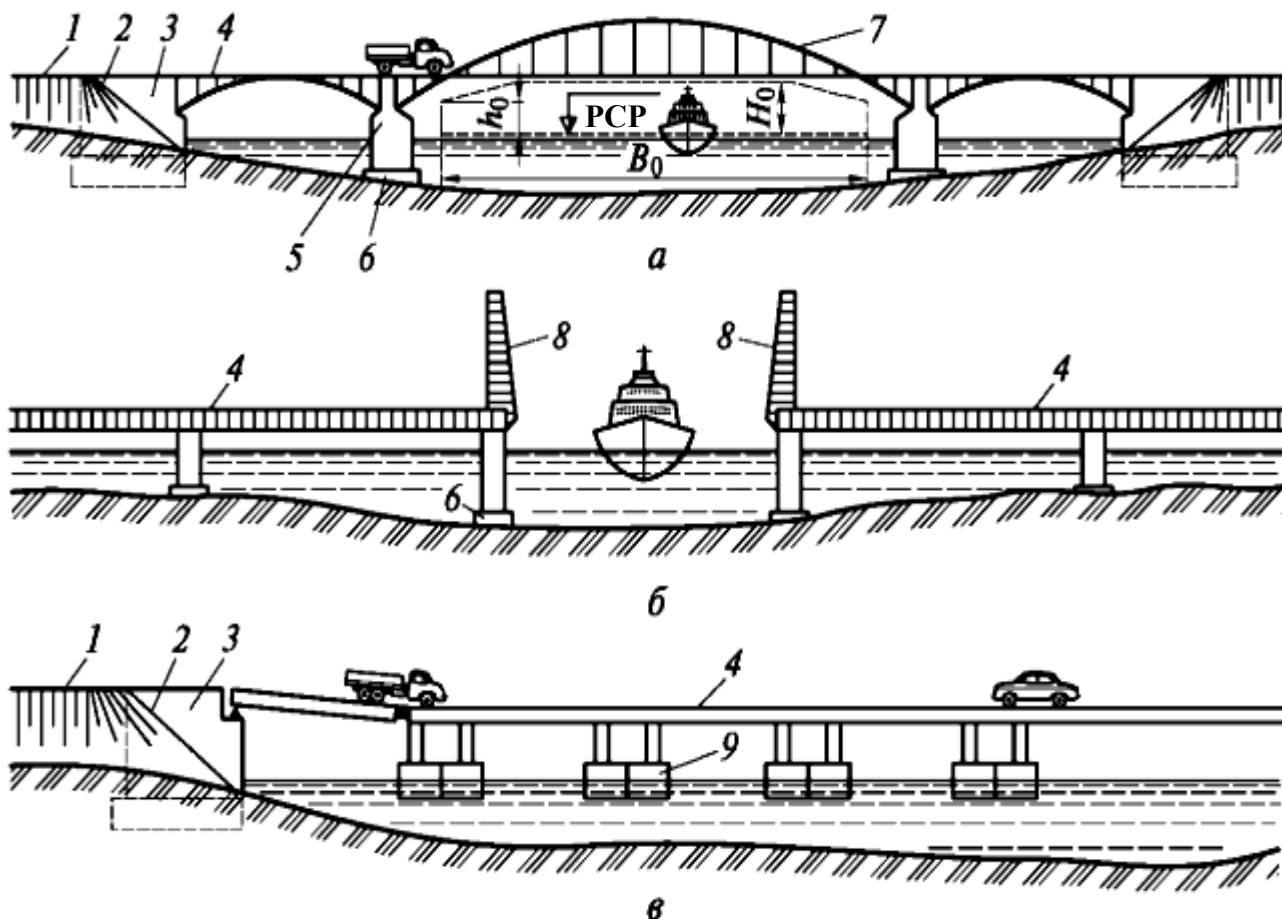


Рисунок 5.5 – Види мостів за типом опор і прогонових будов з проїзною частиною [9]: 1 – насип підходу; 2 – конус насипу; 3 – підвалина; 4 – прогонова будова з їздою поверху; 5 – проміжна опора; 6 – фундамент опори; 7 – прогонова будова з їздою посередині; 8 – розвідна прогонова будова; 9 – плавуча опора наплавного моста

За рівнем розташування проїзної частини розрізняють мости з рухом:

- *поверху*, коли проїзна частина розташована на верхньому рівні прогонової будови (рис. 5.6, а);

- *внизу*, коли проїзна частина знаходиться на рівні низу прогонової будови (рис. 5.6, б);
- *посередині*, коли проїзна частина знаходиться всередині прогонової будови (рис. 5.6, в).

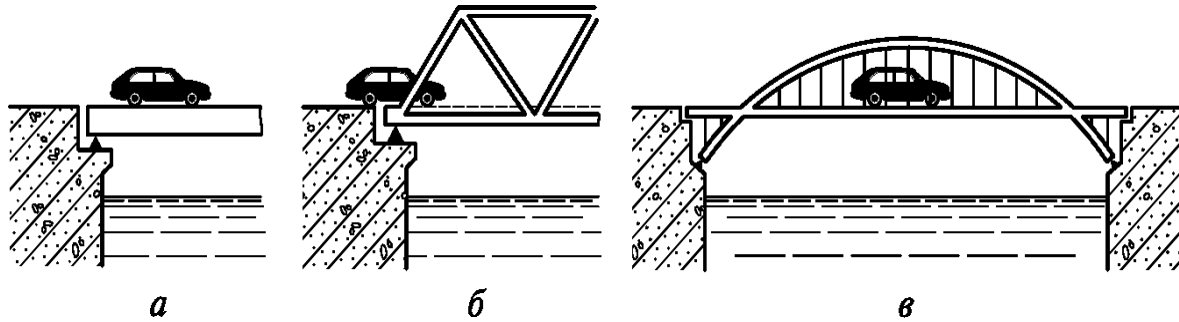


Рисунок 5.6 – Рівні розташування проїзної частини мостів:

а – рух поверху; *б* – рух низом; *в* – рух посередині

Положення проїзної частини моста істотно впливає на його конструктивне рішення й виконання умови вписування в місцевість. Так, при русі понизу в поперечному перерізі прогону задіяні тільки дві широко розставлені головні балки або ферми, що викликає ускладнення проїзної частини. Ускладнюється і система зв'язків для забезпечення стійкості верхніх поясів ферм. Але прогонова будова з рухом понизу легше вписується в місцевість, тому що в порівнянні з прогоною будовою при русі поверхом вона має значно меншу висоту.

За статичною схемою головних несучих конструкцій прогонових будов мости поділяють на:

- *балкові* – розрізні (рис. 5.7, а), нерозрізні і консольні, в прогонових будовах яких від вертикальних навантажень виникають тільки вертикальні опорні реакції;
- *розпірні* – абочні (рис. 5.7, б), рамні (рис. 5.7, в),исячі (рис. 5.7, г), де при дії вертикальних навантажень виникають похилі опорні реакції, які мають горизонтальну складову – розпір;
- *комбіновані*, в яких з'єднуються системи перших двох груп, при цьому способи таких з'єднань різноманітні.

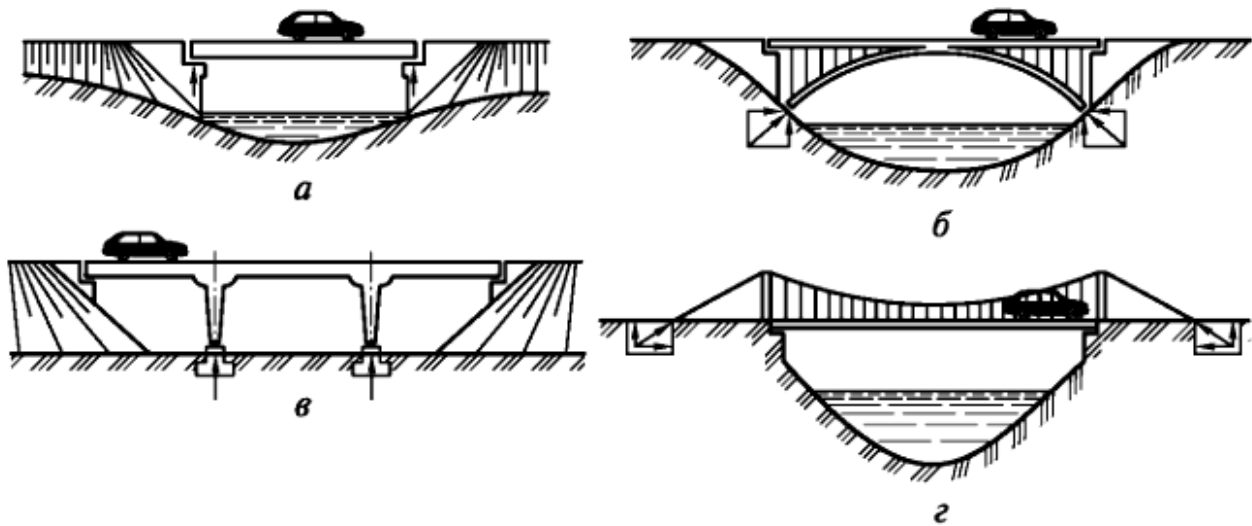


Рисунок 5.7 – Основні системи мостів:

а – балкова; *б* – арочна; *в* – рамна; *г* – висяча

Мости згідно з *розташування прогонових будов та горизонтом високих вод* поділяють на:

- *висоководні*, прогонові будови яких знаходяться над річкою на рівні, що забезпечує проходження паводкових вод і льодоходу;
- *низьководні*, прогонові будови яких затоплюються при проходженні високих вод (тимчасові мости);
- *підводні*, прогонові будови яких розташовуються під водою на глибині, що забезпечує рух автомобілів бродом. Підводні мости застосовуються з метою забезпечення скритності їхнього розташування і підвищення їх живучості в період військових дій.

За *шириною проїзної частини* розрізняють мости з різною кількістю смуг руху в обох напрямках. Кількість смуг руху залежить від категорії дороги або магістралі, на якій знаходиться міст, та може становити від двох до восьми і більше.

Мости довжиною до 25 м вважаються малими, з довжиною від 25 до 100 м – *середніми* і довжиною понад 100 м – *великими*. Мости довжиною менше 100 м, але з одним з прогонів більше 60 м відносяться до великих мостів. Останнім часом уведено поняття *позакласних мостів*. До них належать мости

довжиною понад 500 м або, якщо один з прогонів більше 150 м. Це, як правило, висячі, рамні або арочні мости з чотирма і більше смугами руху.

Вимоги до мостових споруд на автомобільних і міських дорогах. До мостових споруд під час їх проектування та будівництва ставляться такі вимоги: експлуатаційні, економічні, екологічні, архітектурні (естетичні) і розрахунково-конструктивні [10].

Експлуатаційні вимоги є основними і зводяться до того, щоб споруда протягом заданого часу мала відповідну вантажопідйомність, забезпечувала безпеку та комфорт пішоходам і транспортним засобам без зниження швидкості руху. Для цього споруда повинна:

- мати достатню жорсткість, щоб деформації і переміщення під час руху не були надмірними, не руйнували з'єднань і не відбивалися на безпеці руху;
- мати необхідну ширину проїзної частини і тротуарів залежно від призначення з урахуванням перспективи зростання інтенсивності руху;
- мати сприятливий для безпеки руху поперечний і поздовжній профіль;
- бути довговічною, тобто побудованою з міцних матеріалів, мостове полотно виконано із зносостійкої сировини і забезпечене надійним відведенням води;
- створюють безпечні умови для паводків і льодоходу, а також судноплавству;
- відповідати можливостям огляду, ремонту і реконструкції.

Економічні вимоги визначають, щоб повна вартість споруди, яка включає будівництво, утримання, ремонт та можливу реконструкцію, була б мінімальною. В останні роки важливість економічних вимог до споруд зросла в зв'язку зі змінами економічної бази України. Для досягнення економічного ефекту дуже велике значення має наявність місцевих ресурсів і можливостей (наявність заводів або значних запасів будівельних матеріалів, забезпеченість механізмами, технікою і трудовими ресурсами), а також загальних технічних і природних можливостей і умов (наявність транспортних шляхів, можливість використання річкового транспорту, вертольотів тощо). Повна вартість спорудження знижу-

ється при використанні конструкцій індустріального виготовлення, механізованому зведенні і хорошій якості робіт.

Екологічні вимоги визначаються інтересами охорони навколишнього середовища. В останні роки питання охорони навколишнього середовища набувають все більшої гостроти, що визначає необхідність суворого дотримання принципу найменшого втручання в природне середовище при проектуванні штучних споруд.

Архітектурні вимоги зводяться до того, щоб форма споруд відповідала уявленням про красу і гармоніювала з навколишньою місцевістю або міською забудовою. Зазвичай раціонально спроектовані споруди задовольняють естетичним вимогам. У них кожен елемент споруди підкреслює її функціональне значення. Сучасна архітектура штучних споруд приділяє увагу простоті форм, виключаючи всякі прикраси. Архітектурні вимоги дуже важливі для міських мостів, вони в цьому разі можуть вступати в протиріччя з економічними вимогами, але не повинні вступати в протиріччя з експлуатаційними.

Розрахунково-конструктивні вимоги пов'язані з тим, щоб споруда в цілому та її окремі елементи були раціонально міцними, стійкими і жорсткими. Задоволення цих вимог є обов'язковим для всіх конструктивних рішень, які мають різні екологічні, економічні й архітектурні показники.

Споживчі властивості споруд. Спроектвані і побудовані згідно з наведеним вище комплексом вимог мостові споруди набувають при експлуатації ряд споживчих властивостей, серед яких найбільше значення мають:

- пропускна здатність;
- вантажопідйомність;
- безпека руху;
- довговічність.

Пропускна здатність мостових споруд характеризується максимально можливою інтенсивністю транспортного руху, а також можливістю руху під ним у поперечному напрямку суден, водного потоку, льодоходу, машин (для шляхопроводів), а також прокладення комунікацій [10]. Вона забезпечується

виконанням і збереженням встановлених норм проїзду і підмостових габаритів, які містяться в експлуатаційних вимогах.

Вантажопідйомність моста – це його характеристика, яка визначається максимально тимчасовим рухомим навантаженням певного виду (наприклад, у вигляді автомобіля або рівномірно розподіленого навантаження), вплив якого є безпечним для несучих елементів моста при розрахунку за першим граничним станом. Для експлуатованих мостів вантажопідйомність характеризується величиною граничної маси транспортного засобу певного виду. Вантажопідйомність мостів підтверджується розрахунками на міцність і стійкість та задається нормами навантажень в експлуатаційних вимогах до їх проекту.

Безпека руху транспортних засобів характеризується максимально допустимою швидкістю автомобільного руху по транспортних спорудах. Вона забезпечується експлуатаційними вимогами до плану й профілю дорожнього і мостового полотна, а також до міцності й енергоємності захисного обладнання. Безпека руху пішоходів забезпечується вимогами до міцності і висоти перильних огорож, а також якості покриття тротуарів.

Довговічність транспортної споруди – її здатність зберігати роботоздатний стан при встановленій системі утримання та ремонту протягом певного часу без капітального ремонту або реконструкції, що характеризується ресурсом або терміном служби. Для нової споруди вона визначається проектною календарною тривалістю експлуатації, для споруд після капітального ремонту або реконструкції – календарною тривалістю після відновлення експлуатації до моменту її припинення. Довговічність споруд задається термінами їх служби та забезпечується виконанням вимог до вибору відповідних матеріалів і конструктивних рішень. На довговічність споруди має суттєвий вплив її живучість – властивість зберігати несучу здатність при пошкодженні або руйнуванні окремих частин або елементів.

Послідовність проектування мостових споруд. *Проект моста* розробляють за даними попередніх досліджень, які мають виявити всі необхідні умови для вибору місця розташування споруди, її системи, основних розмірів і особ-

ливостей конструкції. При вишукуваннях з'ясовують топографічні і геологічні умови в місці будівництва, а для мостів і труб також дані про можливі витрати води. Для невеликих мостів визначають розміри і характер басейну стоку, для мостових переходів – характерні рівні води в річці, швидкість і напрямок течії, умови руху льодоходу та ін. Вишукування мостових переходів та інших штучних споруд зазвичай розробляють одночасно в тісному взаємному зв'язку з дослідженнями самої дороги. Проекти мостів та інших штучних споруд розробляють *попередньо* залежно від їх величини [10].

Для більшості малих і середніх мостів застосовують типові проекти, складені для різної ширини проїзної частини і нормативних навантажень, величину яких вибирають з урахуванням матеріалу споруди. Типовий проект містить комплект робочих креслень конструкцій прогонових будов і опор, а також відомості щодо витрат матеріалів на будівництво. Завдання проектування в цьому разі полягає у виборі найбільш раціональної типової конструкції, яка відповідає місцевим умовам, з урахуванням можливостей виготовлення конструкцій на найближчому заводі, умов її транспортування і монтажу, а також прив'язки конструкції в плані і профілі до реального рельєфу місцевості.

Для розробки типових конструкцій мостів застосовують автоматизовані системи проектування. Автоматично розглядається велика кількість різних варіантів моста, і найбільш раціональні з них видаються у вигляді різних таблиць з переліком типових елементів або креслень. Розглянувши подані варіанти конструкцій, приймають остаточне рішення і передають будівельним організаціям типові робочі креслення, креслення розташування конструкції на реальній місцевості і необхідну документацію щодо витрат матеріалів, їх вартості та способів зведення моста. Отже, проектування із застосуванням типових конструкцій має одну стадію – *робочі креслення*.

Конструкції великих мостів, як правило, розробляють індивідуально, їх проектування здійснюють у дві стадії. Першою стадією проектних робіт є складання *технічного проекту споруди*. На цій стадії вирішують всі принципові питання щодо вибору місця розташування мостового переходу, системи моста,

конструкції прогонових будов і опор, методів будівництва, а також складають кошторис на будівництво. При розробці технічного проекту моста визначають його висоту виходячи з умови безпечного руху під мостом високих вод. Одночасно розраховують можливі глибини розмиву дна, необхідні зрізання в живому перетині русла, а також виявляють потреби в зміцненні дна, берегів і зміні кількості струмененапрямого обладнання.

Дуже важливим є правильний вибір схеми моста. Так, наприклад, нераціональна система моста може викликати зайві витрати матеріалів і коштів на його зведення. Невдале розташування опор може утруднити рух високих вод та льодоходу або сприяти їх підмиву, що може викликати додаткові експлуатаційні витрати. Встановлені величини окремих прогонів моста враховують як судноплавні вимоги або умови безпечного руху льодоходу, так і економічні міркування. Якщо споруда призначена для руху автомобільного транспорту над залізницею, каналом, автомагістраллю, вулицею, то довжина її прогонів залежить від величини різних перешкод.

З огляду на загальний напрямок у будівництві, що передбачає всебічну його індустріалізацію, а також уніфікацію і стандартизацію конструкцій, при складанні схеми моста необхідно максимально застосовувати типові конструкції, які виправдали себе як технічно, так і економічно. Для вибору найбільш раціональної конструкції моста зазвичай розглядають кілька варіантів споруди і розраховують їх техніко-економічні показники. У процесі розробки технічного проекту виконують усі основні розрахунки споруди, переважно з використанням спеціалізованих програмних комплексів.

Друга стадія проектування – складання робочих креслень споруди. Їх розробляють на основі затвердженого технічного проекту, детально конструюючи все елементи споруди. Робочі креслення містять також проект організації будівництва, проекти всього допоміжного обладнання та аксесуари, необхідні для виконання всіх робіт з будівництва. При складанні робочих креслень слід дотримуватися всіх принципових рішень, прийнятих в технічному проекті. На базі робочих креслень будівельна організація розробляє проект виконання робіт.

При розробці проектів великих мостів роблять *техніко-економічне обґрунтування будівництва* моста, де на базі аналізу місцевих умов і транспортних потоків доводиться економічна доцільність його будівництва. Середні і великі мости з типових конструкцій можуть бути запроектовані в одну стадію у вигляді техно-робочого проекту, коли одночасно складаються технічний проект і робочі креслення. В результаті проектування моста повинні бути визначені і розраховані всі конструкції та елементи як проїзної частини, так і фундаменти, канати, регуляційні споруди і підходи.

Мости та інші штучні споруди розраховують, користуючись методом граничних станів. Граничні стани мостів та інших штучних споруд поділяють на дві групи. *Граничний стан першої групи підгрупи 1А* характеризується непридатністю до експлуатації або неможливістю будівництва через втрату загальної або місцевої стійкості, руйнування елементів споруди, зсув або випирання ґрунту. *Граничний стан підгрупи 1Б* викликає необхідність припинення експлуатації або будівництва через великі пластичні деформації, зсув у фрикційних з'єднаннях, неприпустимі резонансні коливання, місцеві втрати стійкості без руйнування, дії силових факторів, а також внаслідок сумісної дії силових факторів і несприятливих впливів навколишнього середовища. При появі *граничних станів другої групи* виникають труднощі нормальної експлуатації споруди, викликані значними прогинами, падінням опор або іншими зсувами конструкції, а також утворенням або розкриттям тріщин у бетоні.

Залежно від поєднання діючих на спорудження навантажень (основного, додаткового або особливого) вводять *коефіцієнти з'єднань*, які враховують можливість розбіжності максимальних значень різних одночасних навантажень. Правила введення цих коефіцієнтів визначаються нормами. Необхідно також забезпечити високий ступінь надійності «роботи» матеріалу конструкції. Для цього вводять *коефіцієнт надійності матеріалу*. Треба брати до уваги відхилення дійсної «роботи» конструкцій від прийнятих у проекті розрахункових припущень. Це враховують *коефіцієнтом умов роботи*.

Що до другого граничного стану, то конструкції розраховують шляхом уведення нормативних навантажень з *коефіцієнтами надійності за навантаженням* (перевантаження), які дорівнюють одиниці, за винятком розрахунку переміщень у рухомих опорних частинах і деформаційних швах, коли ці коефіцієнти приймають значення більше одиниці. Коефіцієнти навантаження і впливу приймають у найбільш не вигідних при експлуатації і будівництві можливих положеннях і з'єднаннях кожного елемента, частини конструкції або всієї споруди в цілому.

З огляду на те, що мости сприймають динамічні дії, особлива увага при проектуванні і конструюванні мостів приділяється проблемам витривалості. Перш за все всі з'єднання і вузли металевих і сталобетонних конструкцій розраховуються на проектний термін служби. На базі цих розрахунків визначаються терміни оглядів і ремонтів. У процесі виготовлення конструкцій всі зварні з'єднання піддаються ультразвуковому або рентгенівському контролю.

Взаємодія мостів з геологічним середовищем у процесі експлуатації.

Нині в Україні експлуатуються більше 20 тис. мостів загальною протяжністю понад 800 км (залізобетонні і кам'яні мости складають – 93 %, металеві – 6 %, дерев'яні – 1 %). Мостів загального користування – 16306, їх довжина становить 358,3 км; комунальних – 4082, довжина 184,8 км; залізничних – 8059, завдовжки 210,4 км. На державних (магістральних) автодорогах знаходяться 4814 мостів, завдовжки 144600 м; на місцевих дорогах – 11492, їх довжина 213700 м, на міських дорогах і місцевих пунктах – 4082, завдовжки 184800 м. Відповідають за стан мостів три організації:

1) мости загального призначення – Українська Державна корпорація з ремонту і стану автомобільних доріг «Укравтодор» (Державна служба автомобільних доріг України);

2) залізнична – Державна адміністрація залізничного транспорту України;

3) мости населених пунктів і міст – органи самоврядування, які підпорядковані Державному комітету України з питань будівництва, архітектури.

Загальний стан автодорожніх мостів України характеризується такими показниками:

- загальний знос мостів склав 70 %, а більше 300 мостів знаходиться в аварійному і передаварійному стані;
- 13 % мостів на дорогах загального користування вимагають термінового ремонту і реконструкції;
- 46 % мостів на дорогах загального користування не відповідають вимогам ДБН «Мости і труби»;
- 76 % комунальних мостів не відповідають вимогам безпеки і вимагають ремонту.

Слід звернути увагу, що стан мостів у містах і населених пунктах гірший, ніж на дорогах загального користування. Якщо на автодорогах 25 % мостів мають значні дефекти та пошкодження, які знижують вантажопідйомність, то для мостів у містах і селах кількість споруд з такими дефектами досягає 40 %. Це пояснюється рядом особливостей міських споруд (високою інтенсивністю руху транспорту і пішоходів, складністю закриття руху під час ремонтів, що у зв'язку з цим виконується недостатньо якісно, неякісний нагляд за спорудами). В цілому технічний стан мостів України викликає стурбованість і потребує встановлення чинників їх зносу і деформацій.

Причинами появи дефектів і пошкоджень мостів є сукупність багатьох чинників. Значна їх частина пов'язана з *проектно-конструкторськими помилками*, до числа яких слід віднести:

- некоректні припущення;
- неточності прийнятих моделей, розрахункових схем і розрахунків перерізів конструкцій і окремих елементів;
- наявність відхилень у розрахункових характеристиках матеріалів і не врахування їх змін в часі;
- незабезпеченість загальної і місцевої стійкості елементів конструкції прогиннової будови;
- не врахування особливостей будівельних операцій, розмив і осідання опор.

Також одна з причин виникнення і розвитку дефектів і пошкоджень мостів є *конструктивно-технологічні помилки*, пов'язані з технологією виготовлення і монтажу:

- недотримання технології, неякісне виконання елементів, конструкцій в цілому, їх з'єднань за допомогою зварних швів, високоміцних болтів;
- поява надмірних просідань, прогинних деформацій і втрата елементами конструкції стійкості;
- ненадійність тимчасових пристроїв, лісів та їх перевантаження;
- відсутність якісного авторського нагляду в період зведення споруди.

Третя група причин – виникнення великої кількості дефектів і пошкоджень пов'язана зі експлуатацією мостів:

- відсутність періодичних моніторингів і оглядів за мостами;
- несвоєчасне і неякісне виконання ремонтів у зв'язку з дефіцитом кваліфікованих кадрів;
- зміна величин і тривалості дії запроектованих навантажень;
- недостатнє врахування несприятливої дії доквілля та агресивних речовин.

Перелічені вище чинники ведуть до руйнування елементів конструкції мостів внаслідок водонепроникності і корозії, а також температурних дій, до появи втомних, корозійно-втомних і крихких тріщин у з'єднаннях сталевих елементів, канатах і арматурі залізобетонної плити.

Основним показником зміни стану мостів, що знижує їх несучу здатність і довговічність, є корозія металу, втомні і корозійно-втомні пошкодження. Процес корозії металу пов'язаний з вологістю повітря, температурою і станом атмосфери, тривалістю зволоження металу, а також забрудненням повітря агресивними компонентами в промислових районах. Регулярні періоди заморожування і відтавання разом з руйнівною дією розчинених у морській воді солей є причинами зносу елементів підводних конструкцій споруди, і, як наслідок, погіршення експлуатаційних показників моста в цілому. Навіть, якщо перелічені дії не приведуть безпосередньо до аварійної ситуації, то, в цілому з часом, при нако-

пиченні пошкоджень надійність моста знизиться, що, у свою чергу, підвищить вірогідність його аварійної відмови (рис. 5.8). З цього виходить, що заходи з відновлення нормального технічного стану моста доцільно робити до моменту, коли вірогідність відмови стане вища за показник надійності конструкції споруди. У разі відсутності явно вираженого джерела виникнення пошкоджень мостової споруди, виявлення усіх взаємозв'язаних причин, які викликають зниження його несучої здатності, є завданням, що вимагає комплексного підходу до дослідження стану об'єкта в цілому з урахуванням усіх його компонентів. Подібне завдання є предметом комплексного інженерного обстеження проблемної мостової споруди.

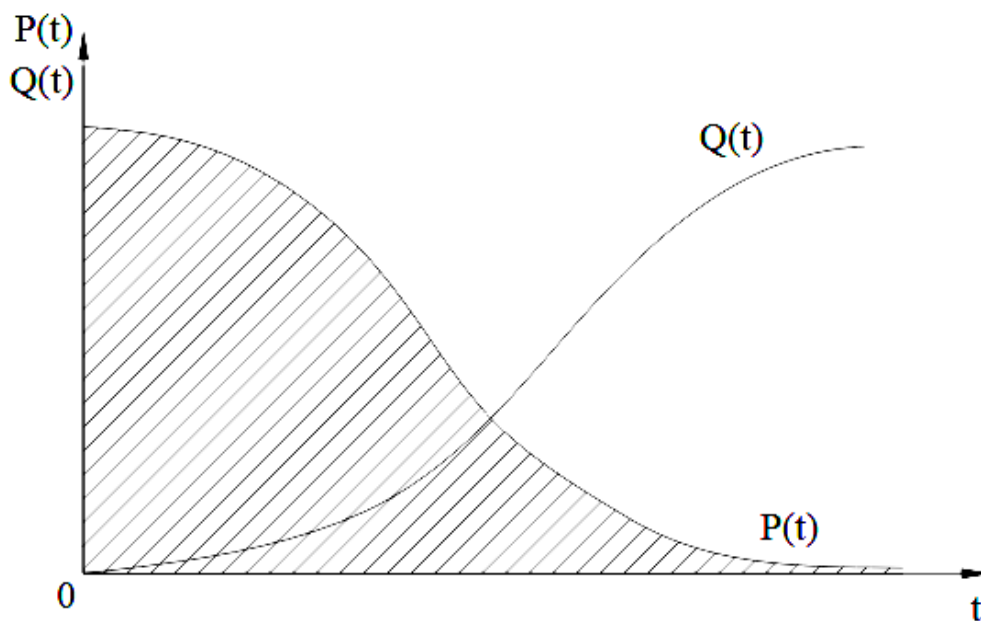


Рисунок 5.8 – Залежності надійності моста $P(t)$ і вірогідності його аварійної відмови $Q(t)$ від часу t

Проведений аналіз пошкоджень, деформацій і аварій мостів у процесі їх тривалої експлуатації дозволяє зробити висновок, що більшість з них можна запобігти шляхом вдосконалення розрахунків, способів виготовлення і монтажу, підвищення періодичності й ефективності обстежень і моніторингу, а також поглиблення рівня знань щодо мінливості властивостей матеріалів, розробки ін-

женерних методів оцінки робочого ресурсу мостових конструкцій на всіх стадіях їх роботи.

Питання до самоконтролю

1. Назвіть основні види штучних споруд, що зводять на автомобільних дорогах, та їх відмінні чинники.

2. Якими основними параметрами характеризується міст, а також яке призначення мають основні елементи мостового переходу і моста?

3. Які з перелічених тимчасових і особливих навантажень не впливають на будівництво мостів (виберіть одну відповідь): 1) вітрове; 2) льодове; 3) від навалу судна; 4) власна вага конструкцій; 5) температурні кліматичні дії; 6) дія морозного здуття ґрунту; 7) будівельні навантаження; 8) гідростатичний тиск?

4. Як класифікують штучні споруди на дорогах?

5. За якими чинниками поділяються мости?

6. За конструкцією мости поділяють на (виберіть декілька правильних відповідей): 1) балочні; 2) плиткові; 3) арочні; 4) рамні; 5) висячі; 6) консольні; 7) комбіновані; 8) металеві; 9) дерев'яні; 10) залізобетонні; 11) кам'яні.

7. Які параметри враховують при виборі прогонів мостів?

8. Опишіть навантаження, які враховують при проектуванні мостів.

9. Від чого залежить довжина моста через річку (1 – ширини русла; 2 – від ширини русла і заплави; 3 – отвору моста) та його висота (1 – рівня межових вод і горизонту лідоходу; 2 – рівня високих вод і лідоходу, а також судноплавного габариту; 3 – рівня подошви рейки)? Виберіть одну відповідь.

10. Які групи граничних станів використовують при розрахунку мостів?

6. ТУНЕЛІ

Зміст розділу. *Класифікація та сфера застосування тунелів. Проектування тунелів у плані, профілі та поперечному перерізі. Об'ємно-планувальні рішення міських автомобільних і пішохідних тунелів. Інженерні вишукування при будівництві тунелів. Вплив геологічного середовища і конструктивно-виробничих чинників на експлуатаційні характеристики тунелів.*

Навчальні цілі: спираючись на викладений матеріал, студент повинен уміти визначати основні види постійних і тимчасових навантажень при будівництві тунелів, а також способи їх розташування в плані, профілі та поперечному перерізі з урахуванням впливу геологічного середовища.

Класифікація та сфера застосування тунелів. *Тунелі* – це протяжні підземні або підводні споруди, які призначені для руху транспортних засобів, проходження води, розміщення інженерних комунікацій та інших цілей. Тунелі поділяють за призначенням, місцем розташування, глибиною залягання, способом будівництва та іншими ознаками. Залежно від призначення тунелі поділяють на *транспортні, гідротехнічні, комунальні, гірничопромислові і спеціальні*. За місцем розташування тунелі також умовно поділяють на *гірські, підводні та міські* [11].

Гірські тунелі прокладають через хребти і височини (рис. 6.1, а). При перетині трасою дороги водних перешкод: річок, озер, заток, проток, каналів і водосховищ – споруджують *підводні* тунелі (рис. 6.1, б). Тунелі, закладені під вулицями, площами та іншими ділянками міської території, називаються *міськими* (рис. 6.1, в, г). Залежно від глибини залягання від поверхні землі H розрізняють тунелі *глибокого закладення* ($H > 10 - 15$ м) і *неглибокого закладення* ($H < 10$ м). Способи спорудження тунелів дуже різноманітні і визначаються їх довжиною, глибиною залягання, топографічними, інженерно-геологічними та містобудівними умовами, а також економічними та екологічними міркуваннями. У практиці тунельного будівництва застосовують *гірський, щитовий, відкритий і спеціальний* способи робіт.

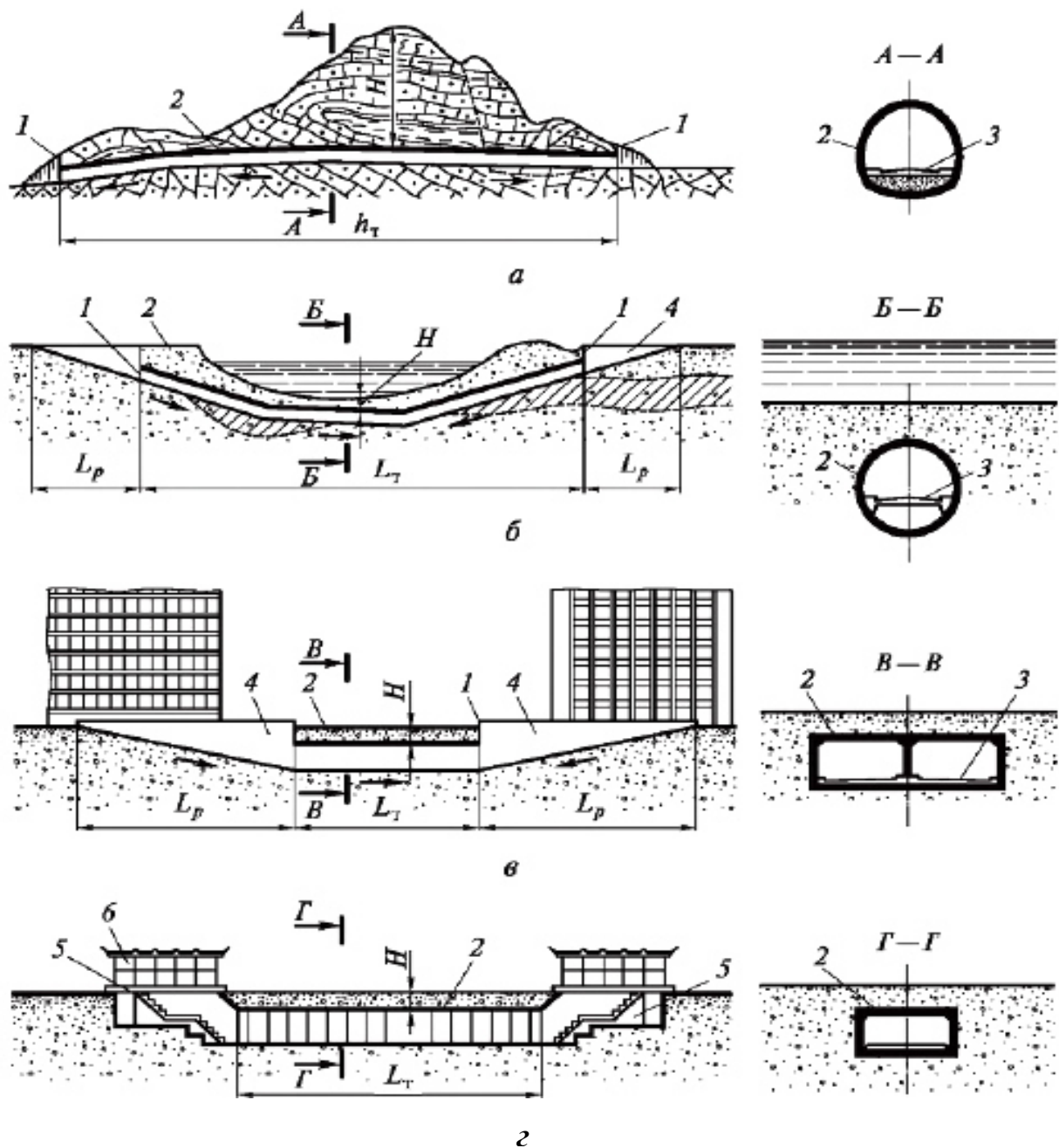


Рисунок 6.1 – Схеми автотранспортних (а – в) і пішохідного (з) тунелів [11]:

1 – портал; 2 – тунель; 3 – проїзна частина; 4 – рампа;

5 – сходишки; 6 – павільйон

Спорудження автодорожніх тунелів почалося у ХХ ст. з розвитком автомобільного транспорту і дорожнього будівництва. За цей час у багатьох країнах побудована велика кількість гірських, підводних і міських тунелів. Так, у даний час у багатьох містах України задіяна велика кількість різних тунелів.

Найбільшими гірськими тунелями за кордоном є Ла-Ерда довжиною 24,5 км в Норвегії, два паралельних тунелі довжиною 19,6 км кожний через Тюрингський ліс в Німеччині, Сен-Готардський тунель довжиною 16,3 км в Швейцарії. Найбільш протяжні підводні автодорожні тунелі побудовані під Токійською бухтою в Японії (два тунелі довжиною 10 км кожний), під р. Ельбою в Німеччині (довжиною 3,1 км), тунель Бемлафіорд у Норвегії (довжиною 7,9 км). Великі міські тунелі загальною протяжністю 11,3 км експлуатуються в Бостоні (США), на автомагістралі А-86 під Парижем (Франція) довжиною 10 і 7,5 км, на кільцевій 6-смуговій магістралі в Стокгольмі (Швеція) загальною протяжністю 12 км. Передбачається подальше розширення масштабів будівництва гірських, підводних і міських тунелів у нашій країні і за кордоном.

Проектування тунелів у плані, профілі та поперечному перерізі.

Гірські тунелі. Вони поділяються на вершинні і базисні (рис. 6.2, [11]). *Вершинний* тунель, який має меншу довжину і більш низьку будівельну вартість, може виявитися доцільнішим, ніж базисний, при малій інтенсивності руху. При значній завантаженості дороги краще споруджувати *базисний* тунель, який вимагає менших транспортно-експлуатаційних витрат. Будівництво вершинних тунелів вимагає більш протяжних підходів, що пов'язане з необхідністю перетину крутих косогорів, зсувних зон, ущелин шляхом створення високих підпірних стін, віадуків, глибоких виїмок, захисних галерей.

Вимоги, які ставляться до плану, поздовжнього профілю і поперечного перерізу гірських тунелів, залежать від категорії дороги, топографічних та інженерно-геологічних умов району будівництва. У плані тунелі краще розміщати на прямих ділянках траси, оскільки розташування тунелю на кривій вимагає розширення проїзної частини та погіршує умови вентиляції і видимості в тунелі. У складних топографічних умовах або у разі необхідності обійти ділянки сильно порушених і нестійких ґрунтів тунель будують повністю або частково на криволінійній трасі. При цьому радіуси кривих приймають не менш ніж 250 м. В особливо складних умовах при відповідному техніко-економічному обґрунтуванні допускають зменшення радіуса кривої до 150 м. У деяких випадках роз-

ташуванням тунелю в плані на кривій можна досягти зменшення довжини дороги і самого тунелю.

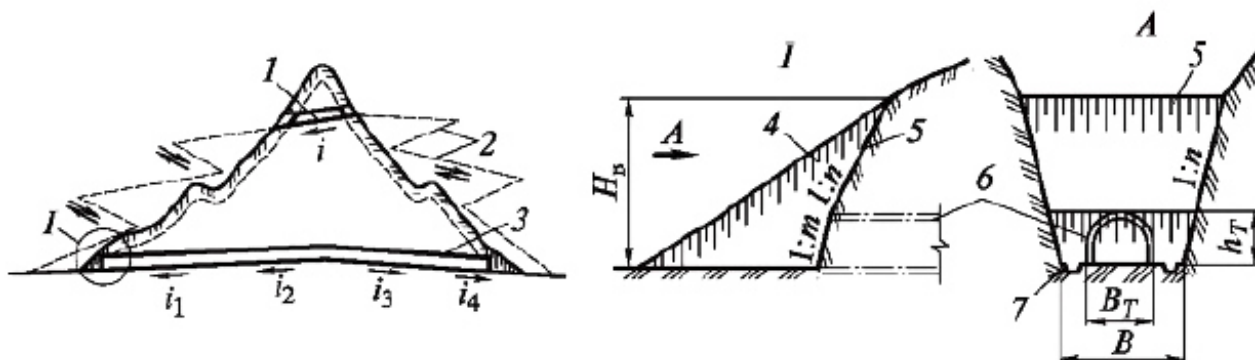


Рисунок 6.2 – Схеми розташування базисного і вершинного тунелів:

1 – вершинний тунель; 2 – ділянки продовження лінії; 3 – базисний тунель;
4 – бічний укіс; 5 – лобовий укіс; 6 – контур тунелю; 7 – водовідвідні канали

Гірські автодорожні тунелі довжиною менше 300 м проектують, як правило, з односхилим поздовжнім профілем, а тунелі довжиною понад 300 м можуть бути як односхилими, так і багатосхилими з підйомом до середини тунелю (рис. 6.2). Найбільший поздовжній ухил проїзної частини гірських тунелів становить 40 %, а мінімальний – 3 %. Обмеження ухилів викликано умовами вентиляції та водовідведення в тунелі. Так, у тунелях довжиною до 500 м, розташованих у складних топографічних та інженерно-геологічних умовах, допускається збільшення поздовжнього ухилу до 60 %.

При з'єднанні ділянок тунелю з різними ухилами застосовують вертикальні криві, радіуси яких вибирають як для відкритих ділянок дороги. Передпортальні ділянки гірських тунелів виконують у вигляді підхідних виїмок, конфігурація і розміри яких залежать від рельєфу місцевості і гірничо-геологічних умов. Найбільша глибина підхідної виїмки H_e зазвичай визначається з умови, що вартість 1 м виїмки дорівнює 1 м тунелю. При цьому залежно від геологічних умов глибина виїмки не повинна перевищувати півтори висоти тунелю в слабких ґрунтах і дорівнювати триразовій – в міцних.

Гірські тунелі на автомобільних дорогах II – IV категорій проектують, як правило, на дві смуги руху. Для чотирисмугового руху влаштовують два поряд

розташованих двосмугових тунелі. На дорогах I категорії в окремих випадках можливий в тунелі і чотирисмуговий рух в одному або двох ярусах.

Величина поперечного перерізу автодорожніх тунелів залежать від експлуатаційних факторів і визначається насамперед розміром використовуваних конструкцій з урахуванням розміщення за їх межами вентиляційних каналів, освітлювальних пристроїв, дренажних і протипожежних систем, інженерних комунікацій та ін.

Габарити конструкцій і обладнання гірських автодорожніх тунелів, що розташовуються на прямих у плані і на кривих радіусом більше 1000 м на дорогах I, II категорій, наведені на рис. 6.3, а, а на дорогах III і IV категорій – на рис. 6.3, б [11]. Залежно від категорії дороги і довжини тунелю ширину проїзної частини для двосмугового руху приймають за даними таблиці. У двосмугових тунелях для зустрічного руху на дорогах I категорії необхідно створення розділової смуги шириною не менше 1500 мм. У разі наявності в тунелі пішохідного руху при відповідному обґрунтуванні допускається влаштовувати тротуарні доріжки шириною 1000 або 1500 мм. При розміщенні тунелів на криволінійних в плані ділянках радіусом 1000 м і менше потрібно розширювати проїзну частину з внутрішнього боку кривої на 0,7 – 2,8 м залежно від радіуса кривизни.

Підводні тунелі. При перетині трасою автомобільних доріг великих річок, каналів, проток або заток може виникнути необхідність у спорудженні підводних тунелів, які в ряді випадків мають техніко-економічні переваги перед мостовими переходами. Так, ці тунелі не порушують умови судноплавства і побутового режиму водної перешкоди. Низькі береги водотоку, що підвищують вартість мостового переходу в зв'язку з необхідністю забезпечення підмостових габаритів, сприятливі для побудови підводних тунелів. Крім того, спорудження мостових опор з глибоким закладенням фундаментів, особливо в слабких та нестійких ґрунтах, – складна інженерна задача. Слід також враховувати, що підводні тунелі в умовах міської забудови на відміну від мостів у мінімальному ступені погіршують архітектурний ансамбль міста.

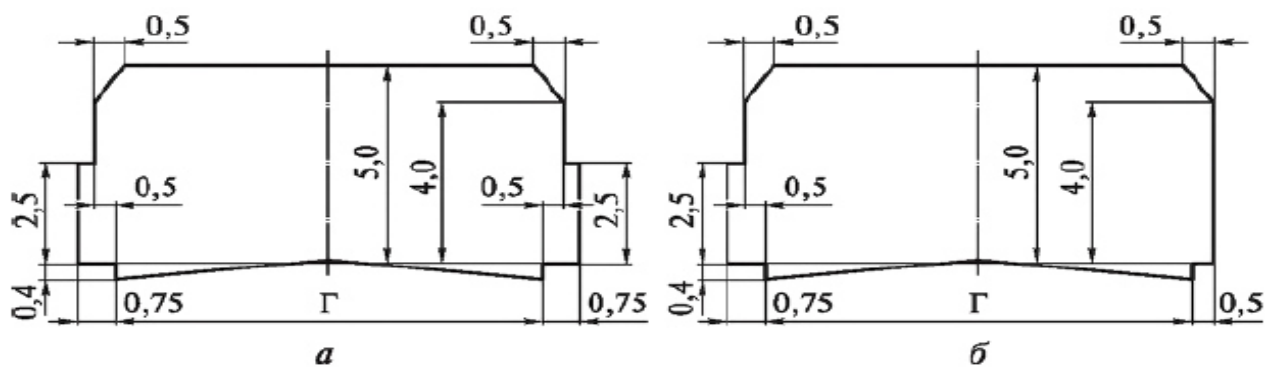


Рисунок 6.3 – Габарити автодорожніх тунелів на дорогах I, II (а) і III, IV (б) категорій (в метрах)

Визначення довжини проїзної частини дороги для двосмугового руху

Довжина тунелю, м	Відстань Г для доріг категорій, мм		
	I, II	III	IV
Менше 100	9 500*	9 000*	–
100 – 300	9 000	8 500	8 000
Більше 300	8 500	8 000	7 000

* Допускається при відповідному техніко-економічному обґрунтуванні.

Вибір між мостовим і тунельним подоланням водної перешкоди роблять на основі техніко-економічного зіставлення варіантів з урахуванням як будівельних, так і експлуатаційних витрат. У деяких випадках при перетині великих водних перешкод доцільно спорудження комбінованих тунельно-мостових переходів, які складаються з мостів низького рівня і підводного тунелю на судноплавній ділянці. Підводні тунелі можуть цілком або частково розташовуватися на прямих або криволінійних у плані ділянках траси. Розташування тунелю на кривій частині може бути викликано тільки необхідністю обходу будь-яких перешкод: зон сильного розмиву, островів, підводних споруд, а також умовами берегового планування і забудови (для міських тунелів).

За довжиною підводні тунелі складаються з підруслових, берегових і відкритих (рампових) ділянок і мають, як правило, багатоскатний поздовжній профіль увігнутого контуру. Максимальна глибина рампи не повинна перевищувати 15 м, оскільки при більшій глибині значно погіршується рампова конс-

трукція і ускладнюється процес виконання робіт. Якщо рампи розташовуються на затоплюваних берегах, їх верх повинен не менше ніж на 1 м перевищувати рівень високих вод у потоці з урахуванням льодоходу і висоти хвилі.

Глибина закладення підводного тунелю залежить від способу його спорудження й інженерно-геологічних умов. При щитовій проходці захисна покрівля над тунелем має бути не менше 4 – 5 м у щільних глинистих ґрунтах і не менше 8 – 10 м у незв'язних ґрунтах. При будівництві під русловою частиною тунелю способом опускних секцій товщина шару засипки над перекриттям має бути не менше 1,5 – 2 м.

Для подолання глибоких, але порівняно вузьких водних перешкод ефективні підводні тунелі на окремих опорах (тунелі-мости), рис. 6.4, а, а також «плаваючі» тунелі, заанкерованні в дно тросовими відтяжками або утримувані на плаву спеціальними плаваючими опорами (рис. 6.4, б, в). Такі тунелі розташовуються на порівняно невеликій глибині від поверхні води (15 – 20 м), необхідної для проходження суден. Таким чином значно скорочується довжина тунельного переходу і покращуються експлуатаційні показники траси. Підводні автодорожні тунелі споруджують з 2-, 4-, 6-смуговим рухом на одному рівні; можливо будівництво і двохярусних тунелів.

Об'ємно-планувальні рішення міських тунелів. Для вирішення транспортних проблем у великих містах будують автотранспортні і пішохідні тунелі, які забезпечують розв'язку руху в різних рівнях на найбільш завантажених напрямках і транспортних вузлах, збільшення пропускної здатності окремих ділянок магістралей та покращення планувальної структури вулично-дорожньої мережі. Автотранспортні тунелі споруджують також для створення під'їзних шляхів до підземних автостоянок і гаражів, торгових центрів, складів, вокзалів, аеропортів та ін.

Автотранспортні тунелі. Такі тунелі (як правило, неглибокого закладення) призначені для руху всіх видів міського безрейкового транспорту. Однак у ряді випадків споруджують тунелі тільки для руху вантажних або легкових автомобілів. Тунелі неглибокого закладення для розв'язки руху в різних рівнях

споруджують на прямих і косих пересічних, У- і Т-подібних приляганнях, а також на розгалуженнях двох або кількох магістралей у тісному зв'язку з існуючим плануванням і забудовою, а також з урахуванням особливостей вуличного руху і розташування підземних комунікацій.

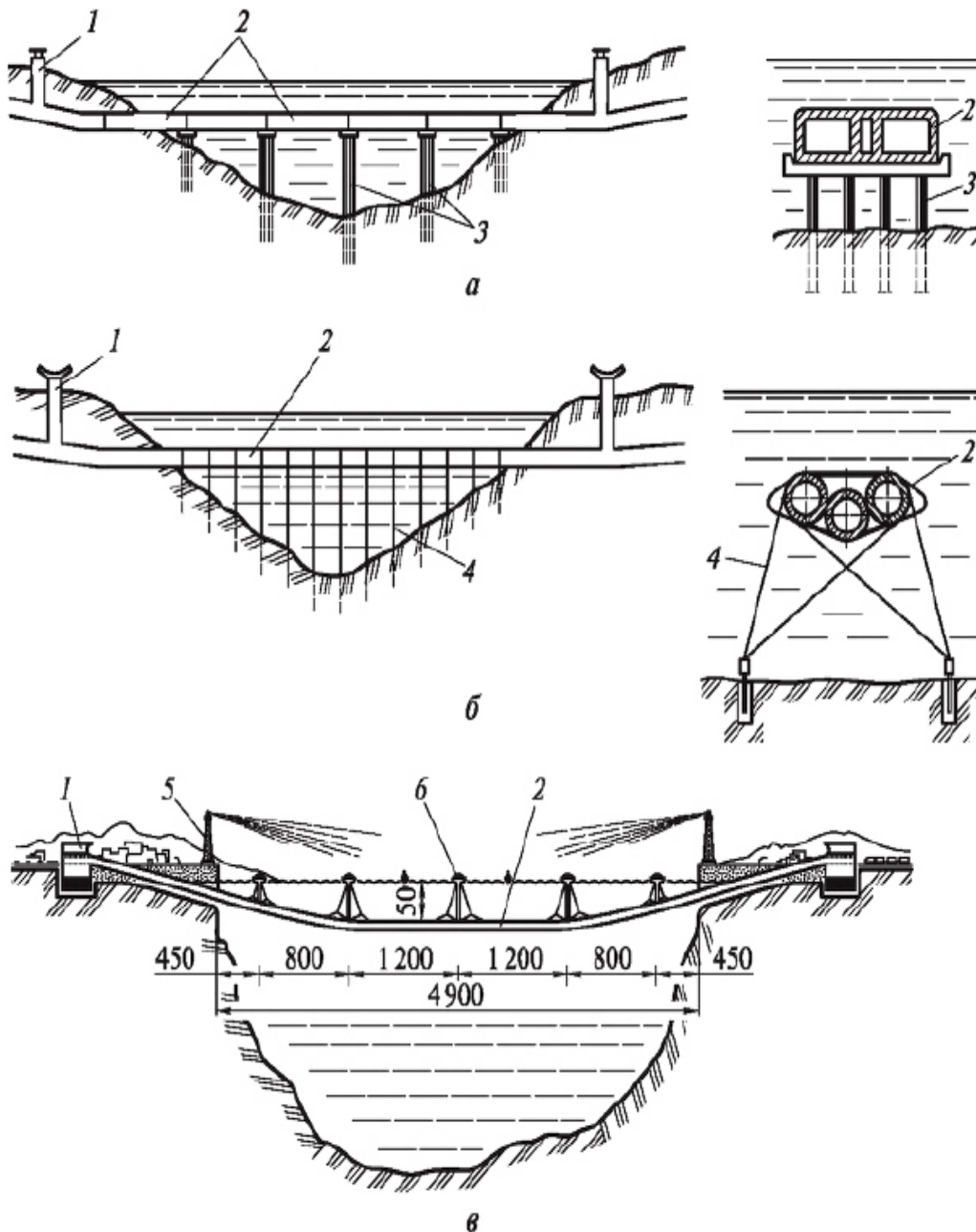


Рисунок 6.4 – Види підводних тунелів [11]: 1 – вентиляційна будівля;
 2 – тунель; 3 – опори на палях; 4 – тросові відтяжки; 5 – маяк;
 6 – «плаваючі» опори

При побудові тунелю істотно змінюються умови руху транспортних засобів і пішоходів у даному районі. Залежно від конкретних містобудівних і транспортних умов використовують різні схеми розв'язки руху за типом «сплющений лист» (рис. 6.5, *а*), «кільцева» (рис. 6.5, *б*), «ромбовидна» та ін.

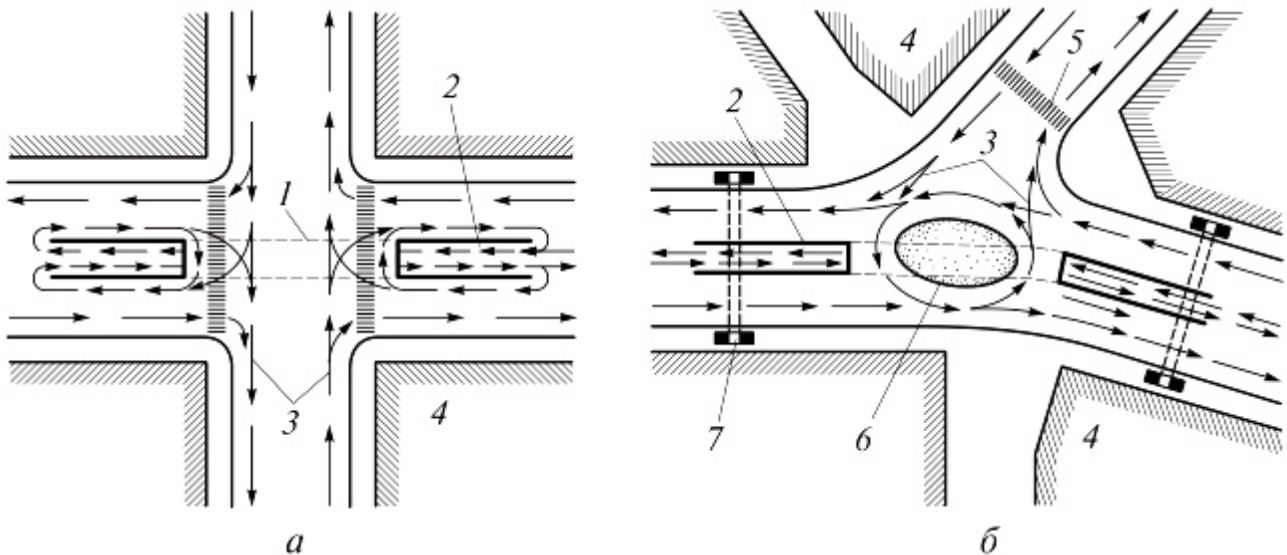


Рисунок 6.5 – Планувальні схеми транспортних тунелів на прямому перетині (*а*) і У-подібному примиканні (*б*) магістралей [11]: 1 – закрита частина тунелю; 2 – рампа; 3 – напрямок руху транспорту; 4 – забудова; 5 – наземний пішохідний перехід; 6 – острівець; 7 – підземний пішохідний перехід

При розташуванні тунелів у місцях перехрещення або примикання двох магістралей планувальні схеми є досить простими. Однак при злитті в транспортному вузлі трьох, чотирьох і більшого числа вулиць будують тунелі зі складними планувальними схемами: з відгалуженнями односторонніх або розгалуженнями зустрічних потоків. Автотранспортні тунелі розташовують переважно на прямолінійних у плані трасах. Необхідність спорудження криволінійних у плані тунелів викликається умовами планування (наприклад, на У-подібних приляганнях або на розвилках), а також прагненням обійти фундаменти будівель, підземні комунікації або споруди.

При розташуванні тунелів на криволінійній трасі радіуси кривих ділянок слід вибирати за можливості максимальними. Мінімальні радіуси кривих ділянок регламентуються залежно від швидкості руху автомобілів і складають 600,

400 і 300 м відповідно для швидкісних, загальноміських і районних магістралей.

Автотранспортні тунелі неглибокого закладення незалежно від планувальної схеми складаються із закритої (тунельної) частини та відкритих (рампових) ділянок і мають, як правило, двоскатний поздовжній профіль увігнутого обрису (див. рис. 6.1, в). На закритій частині поздовжній ухил роблять за можливості мінімальним, але не менше 4 % за умовами водовідведення. Поздовжній ухил відкритих ділянок, навпаки, слід робити максимальним, щоб зменшити повну довжину тунелю. На швидкісних дорогах максимальний поздовжній ухил не повинен перевищувати 40 %, на загальноміських магістралях – 50 % і на районних – 60 %.

Підхідні і рампові, рампові і закриті ділянки тунелю з'єднують за допомогою вертикальних кривих. Поздовжній профіль транспортних тунелів проектують з мінімальним закладенням перекриття під проїзною частиною вулиці з урахуванням прокладення підземних комунікацій, колекторних або пішохідних тунелів. Автотранспортні тунелі призначені тільки для 2-, 3-, 4- і 6-смугового двостороннього і рідше одностороннього руху машин на одному рівні. Можливе будівництво і багатоярусних транспортних тунелів.

Розміри поперечного перерізу автотранспортних тунелів встановлюють відповідно до чинних габаритів [12]. Ширина проїзної частини на швидкісних магістралях для двох смуг руху становить 8 м, а для трьох смуг – 12 м. На районних магістралях допускається зменшення ширини проїзної частини відповідно до 7,5 і 11,25 м. Між проїзними частинами двостороннього тунелю роблять розділову смугу шириною не менше 1,2 м, а з боків проїзної частини – службові тротуари шириною 0,75 м кожний. Проїзна частина в тунелі повинна мати поперечний ухил близько 15 – 25 % для стоку води. На криволінійних ділянках необхідно робити віражі, надаючи проїзній частині в кожному відсіку ухил 30 – 40 % при радіусі кривизни менше 1000 м.

Пішохідні тунелі. Будують їх у містах при перетині швидкісних доріг, магістралей безперервного руху і вулиць з інтенсивним рухом транспорту та пі-

шоходів, на великих площах, у місцях найбільших пішохідних потоків (станції метрополітену, залізничні вокзали, торгові центри, парки). Вони повинні забезпечувати безпеку і зручності пішохідного та автомобільного руху при мінімальних витратах часу на подолання переходу. Планувальні рішення переходів залежать від місцевих топографічних і містобудівних умов та відрізняються розташуванням у плані, типом і кількістю входів і виходів.

При перетині вулиць, доріг, автомобільних або залізничних магістралей роблять, як правило, пішохідні тунелі «лінійного» типу. Їх розташовують перпендикулярно осі вулиці (дороги) через 400 – 600 м (рис. 6.6, *a*). На перехрестях і розвилках вулиць і доріг облаштовують кілька пішохідних тунелів, які примикають один до одного у вигляді коридорів, що перетинаються або розгалужуються (рис. 6.6, *б – e*). На великих площах, де сходяться кілька вулиць і магістралей, пішохідні тунелі можуть мати досить складні планувальні схеми і складатися з кількох прямолінійних, полігональних і криволінійних коридорів. Може виявитися доцільним спорудження центральної розподільної зали з окремими коридорами, які примикають до неї і спрямовані до всіх тротуарів площі (рис. 6.6, *ж*).

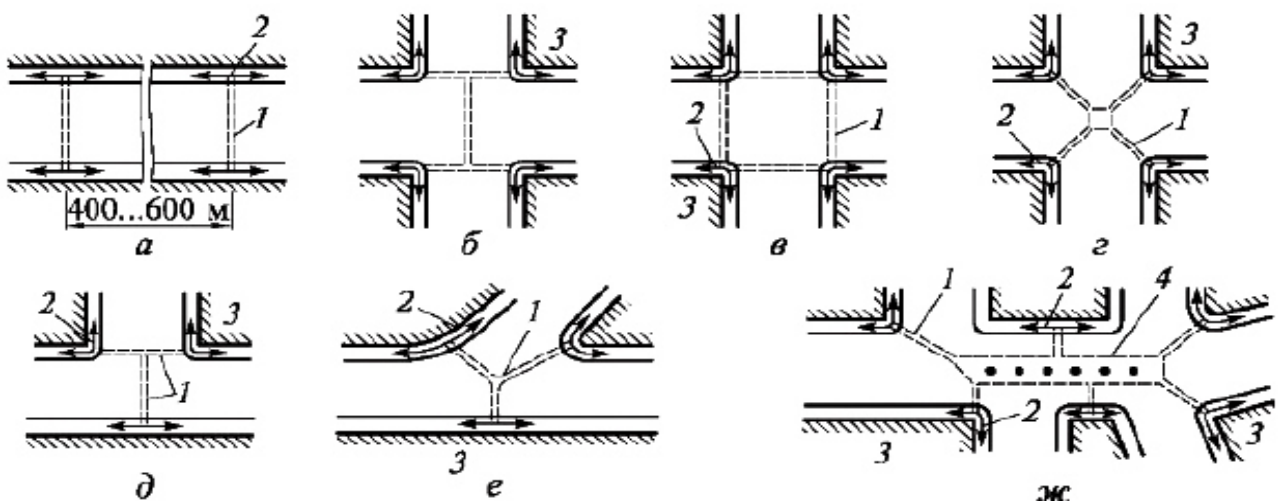


Рисунок 6.6 – Планувальні схеми пішохідних тунелів на трасах магістралей (*a*), на прямому перетині доріг (*б – e*), при примиканні магістралей (*д – e*) та на площі (*ж*) [11]: 1 – тунель; 2 – входи і виходи; 3 – забудова; 4 – розподільна зала

Пішохідні тунелі найчастіше мають односхилий поздовжній профіль з мінімальною глибиною закладення під проїзною частиною вулиці. Поздовжній ухил підлоги тунелю не повинен бути менше 4 % і більше 40 %, а поперечний ухил – приблизно 4 – 10 %.

Залежно від глибини залягання пішохідного тунелю, рельєфу місцевості, характеру забудови й інтенсивності пішохідних потоків застосовують сходові, пандусні, ескалаторні або комбіновані входи і виходи. Вони можуть розташовуватися тільки на кінцях пішохідних тунелів, а також у проміжних перетинах перпендикулярно або під кутом до його поздовжньої осі. Для захисту від атмосферних опадів іноді роблять навіси і павільйони. Розміри поперечного перерізу пішохідних тунелів, сходових, ескалаторних і пандусних входів і виходів призначають відповідно до їх пропускної здатності залежно від інтенсивності пішохідного руху. При цьому ширина тунелю повинна бути не менше 3 м, а висота – не менше 2,3 м; ширина сходів – 2,25 м.

Пропускна здатність 1 м ширини пішохідного тунелю становить приблизно 2000 люд./год, 1 м сходів – 1500, а 1 м пандусів – 1750 відповідно. Провізна здатність однієї стрічки тротуару, якій рухається, або ескалатора становить приблизно 10 – 15 тис. люд./год. Зазвичай пішохідні тунелі мають ширину 4, 6 або 8 м. Іноді в них передбачають розширення для розміщення телефонів-автоматів, торгових приміщень і рекламних щитів. Для збільшення пропускної здатності підземних переходів довжиною більше 150 м і створення необхідних зручностей пішоходам доцільно встановлення рухомих тротуарів для переміщення людей уздовж тунелю.

Інженерні вишукування при будівництві тунелів. *Інженерно-геологічні вишукування.* Особливістю тунельних споруд є їх взаємодія з навколишнім ґрунтовим масивом, властивості якого істотно впливають на вибір траси тунелю, глибини закладення, конструкцій і способів виконання робіт. При цьому інженерно-геологічні вишукування – це комплекс різних робіт, які виконують послідовно в кілька етапів. Спочатку проводять рекогносцировку місцевості, використовуючи існуючі архівні дані, які характеризують топографічні, гео-

логічні та гідрогеологічні умови району будівництва. Після цього здійснюють великомасштабну інженерно-геологічну зйомку місця розташування тунелю, яка включає в себе вивчення рельєфу і геології ґрунтового масиву, віку і класифікаційних властивостей ґрунтів, режиму підземних вод і газів. Для цього використовують як наземні методи зйомки, так і аерофотозйомку з подальшим інженерно-геологічним дешифруванням знімків. Для особливо великих транспортних тунелів останнім часом застосовують космічну зйомку, що дозволяє встановити зони розломів земної кори, зафіксувати існування різних несприятливих фізико-геологічних процесів і явищ. За матеріалами зйомки складають інженерно-геологічну карту, яку використовують при проектуванні варіантів траси тунелю. За вибраним варіантом траси тунелю проводять геологічну розвідку з лабораторними дослідженнями фізико-механічних властивостей ґрунтів та хімічного складу підземних вод.

Інженерно-геологічні вишукування в будівництві тунелів здійснюють різними методами [12]. Основним методом досліджень є розвідувальне буріння. Вертикальні розвідувальні свердловини діаметром 75 – 300 мм забурюються вздовж осі майбутнього тунелю через 150 – 200 м, а також у поперечному від осі напрямку. Глибину свердловин встановлюють з урахуванням їх заглиблення на 8 – 10 м нижче підшови тунелю. Свердловини поділяються на геологічні, з яких відбирають проби ґрунту з подальшим дослідженням у лабораторії, і гідрогеологічні, призначені для визначення потужності водоносних горизонтів, рівнів підземних вод і фільтраційних властивостей ґрунтів

Поряд з вертикальними облаштовують горизонтальні розвідувальні свердловини, забурюючи їх на глибину до 300 – 500 м збоку порталів тунелю, шахтних стволів або допоміжних підземних виробок. Крім розвідувального буріння для безпосереднього вивчення інженерно-геологічних умов уздовж траси тунелю роблять проходку таких виробок: шурфи, штольні, шахтні стовбури і пілот-тунелі. Для уточнення геологічних умов уздовж тунелів у ряді випадків використовують статичне і динамічне зондування.

У тих випадках, коли розвідувальне буріння в повному обсязі і проходка допоміжних виробок за яких-небудь причин (велика глибина залягання, щільна забудова, густа мережа підземних комунікацій) виявляються неможливими чи економічно недоцільними, розвідувальне буріння застосовують разом з геофізичними методами розвідки (електрометрія, сейсмометрія, радіоактивна, акустична і ультразвукова розвідка – основана на непрямому вивченні складу ґрунтового масиву шляхом реєстрації фізичних явищ у різних ґрунтах).

Усі матеріали, отримані в результаті спостереження, великомасштабної зйомки і геологічної розвідки, підлягають камеральній обробці. У лабораторіях досліджують властивості ґрунтів і підземних вод, вивчають мінералогічний, хімічний та механічний склад гірських порід, визначають розрахункові показники їх фізико-механічних властивостей. Отримані дані інженерно-геологічних вишукувань є вихідним матеріалом при проектуванні і будівництві тунелів.

Інженерно-геодезичні вишукування і геодезично-маркшейдерські роботи. Для правильного розташування тунелю, а також для дотримання проектних розмірів поперечного перерізу підземної виробки виконують інженерно-геодезичні вишукування і геодезично-маркшейдерські роботи, від точності яких багато в чому залежить надійність самого тунелю. *Геодезично-маркшейдерські роботи* проводять на стадіях дослідження, проектування і будівництва тунелю. Вони включають в себе геодезичні роботи на поверхні землі, роботи з орієнтування підземних виробок та підземні (маркшейдерські) роботи.

Геодезичні роботи на поверхні землі починаються з топографічної зйомки місцевості, яка проводиться як наземними методами інженерної геодезії (тахеометрична, теодолітна, фототеодолітна, нівелірна зйомка), так і аерофототопографічними методами (стереотопографічна або комбінована зйомка). В результаті зйомки отримують плани місцевості в масштабі 1:10000 – 1:500. Останнім часом топографічні плани зашифровують у вигляді цифрової моделі місцевості. Закладені в ЕОМ основні дані можуть бути подані в аналітичному вигляді або графоаналітичному і використовуватися на різних етапах інженерно-геодезичних вишукувань.

Відповідно до отриманого плану місцевості встановлюють орієнтовні варіанти траси тунелю, за якими створюється *наземна планова геодезична основа* – триангуляційна мережа й основна полігонометрія між пунктами триангуляції. Геодезична основа створюється геометричним нівелюванням IV розряду при довжині тунелю менше 1 км і III розряду при довжині тунелю більше 1 км з прив'язкою до репера і марок державних нівеліровок [12].

Після створення наземної планово-висотної геодезичної основи проектують трасу тунелю, яка має бути перенесена в підземну споруду, що будується. Орієнтування тунелю полягає в перенесенні з поверхні землі напрямку і координат опорних точок. Перенесення висотних позначок у тунель через портали здійснюють продовженням наземного нівелювання. При проходці тунелів через шахтні стовбури орієнтування виконують способом створу двох висок або з'єднаних трикутників. Обидва ці способи основані на опусканні двох висок у стовбур шахти із задалегідь встановлених інструментальним шляхом і закріплених точок.

Останнім часом найбільшого застосування набув спосіб гіроскопічного орієнтування, оснований на використанні спеціальних приладів – гіртеодолітів з ручним або автоматичним стеженням. Цей спосіб дає можливість з великою точністю визначати азимут будь-якого напрямку безпосередньо в підземній виробці без передачі дирекційних кутів з поверхні землі через шахтний стовбур.

Підземні геодезичні роботи полягають у створенні в тунелі планово-висотної геодезичної основи, наявність якої дозволяє вибирати вісь тунелю, підтримувати точний контур прохідної виробки і прокласти на трасі щити. Плановою основою в тунелі служить підземна полігонометрія, тобто позначки, які прокладають «висячими» ходами від порталів, штолень або шахтних стовбурів у міру проходки виробки.

Висотна основа в тунелі створюється шляхом прокладення ходів технічного нівелювання, які збігаються з ходами підземної полігонометрії. Опорні точки планової і висотної підземної основи закріплюють на контурі виробки або на елементах тимчасового і постійного кріплення тунелю. Винос поздовжньої осі тунелю з точністю до ± 5 мм здійснюють за допомогою висок, відкладаючи

від полігонометричних позначок відстані до осі, які обчислені аналітично. На криволінійних ділянках поздовжню вісь тунелю розбивають за ходами або перерізами.

Після закінчення проходки тунелю оцінюють, наскільки точно виконана збіжка зустрічних вибоїв: для автодорожніх тунелів розбіжність у плані не повинно перевищувати ± 100 мм, у профілі ± 50 мм. Нині при будівництві тунелів геодезично-маркшейдерські роботи виконують із застосуванням новітніх технологій в області електроніки, автоматики та обчислювальної техніки.

Інженерно-екологічні вишукування. Для оцінки поточного стану та прогнозування змін навколишнього середовища, викликаних будівництвом і експлуатацією тунелів, на трасі останніх проводять інженерно-екологічні вишукування і дослідження, на базі яких розробляють природоохоронні заходи. До їх складу входить і збір, і обробка екологічної інформації, рекогносцировка місцевості, розвідувальні роботи, натурні і лабораторні геоекологічні дослідження атмосферного повітря, ґрунту, поверхневих і підземних вод, радіаційної обстановки та шкідливих фізико-хімічних впливів.

Рекогносцировку місцевості виконують уздовж траси тунелів і на прилеглій території в смузі 300 – 500 м. При цьому виявляють розташування промислових підприємств, звалищ, нафтосховищ, відстійників, АЗС та інших джерел забруднення навколишнього середовища та об'єктів підвищеної небезпеки. Крім того, складають схеми розташування об'єктів, які мають історичну та культурну цінність, скверів, парків і зон відпочинку, медичних і дитячих установ. У процесі рекогносцировки місцевості фіксують видимі деформації земної поверхні, будівель і споруд, пошкодження наземних і підземних комунікацій, а також зовнішні прояви природно-техногенних процесів (карстові і суффозійні воронки, зсувні зони, підтоплення території тощо).

Розвідувальні роботи, що виконуються у складі або в комплексі з інженерно-геологічними дослідженнями, включають у себе прокладення штолень, шахтних стволів, шурфів, а також геофізичні дослідження.

Дослідження атмосферного повітря здійснюється на всій трасі в тунелі, а також в місцях розташування порталів і проєктованих пунктів викиду повітря

з тунелів. Величину хімічного забруднення ґрунтів встановлюють за концентрацією кожного забруднюючого компонента, а також за сумарним показником хімічного забруднення. Забрудненість поверхневих і підземних вод оцінюють за результатами гідрохімічних досліджень.

Радіаційна обстановка оцінюється за даними радіаційно-екологічних досліджень, які включають у себе вимір гамма-фону на території будівництва, ступеня радіоактивності ґрунтів на повну глибину закладення тунелю і радіаційних характеристик водоносних горизонтів. Оцінка шкідливих фізико-хімічних впливів передбачає прогнозування запиленості атмосфери, рівнів шуму і вібрації при роботі тунелебудівних машин і механізмів, а також експлуатаційного обладнання і електромагнітного поля.

На базі аналізу даних інженерно-екологічних вишукувань розробляють рекомендації щодо мінімізації порушень стану навколишнього середовища, а у разі необхідності – організацію локального екологічного моніторингу в процесі будівництва і експлуатації тунелю.

Вплив геологічного середовища і конструктивно-виробничих чинників на експлуатаційні характеристики тунелів. Велика різноманітність тунелів, які експлуатуються, будуються і заплановані до будівництва в Україні, обумовлена різними кліматичними і інженерно-геологічними умовами (включаючи особливості гірських районів Криму і Карпат). Незалежно від призначення тунелів і місця їх розташування умови експлуатації тунельних споруд, як правило, надзвичайно складні. Основні чинники, що визначають умови експлуатації конструкцій і обладнання споруди, а також впливають на якість використання, можна поділити на чотири групи (рис. 6.7). До першої групи відносяться природно-кліматичні умови, до другої – конструктивні характеристики, до третьої – відхилення від проектних рішень у процесі будівництва, до четвертої – експлуатаційний режим тунелів.

Природно-кліматичні умови (геологічні, гідрогеологічні і кліматичні умови, сейсмічні дії) мають первинне значення не тільки для вибору проектних рішень у період будівництва тунелю, але і в процесі його експлуатації. *Геологічні*

умови визначають вибір типу конструкції і методу виконання робіт, глибину закладення тунелю, а також положення траси в плані і профілі. Усестороння високоякісна і своєчасна оцінка геологічних умов проходки тунелю визначає не тільки терміни закінчення будівництва і вартість споруди, але й умови його експлуатації. Проте саме матеріали інженерно-геологічних досліджень мають у більшості випадків недостатню міру надійності, що негативно позначається в процесі експлуатації тунелю. Відповідно до чинних норм, складних інженерно-геологічних умов при будівництві тунелів слід враховувати такі умови, при яких має місце хоча б один з таких чинників:

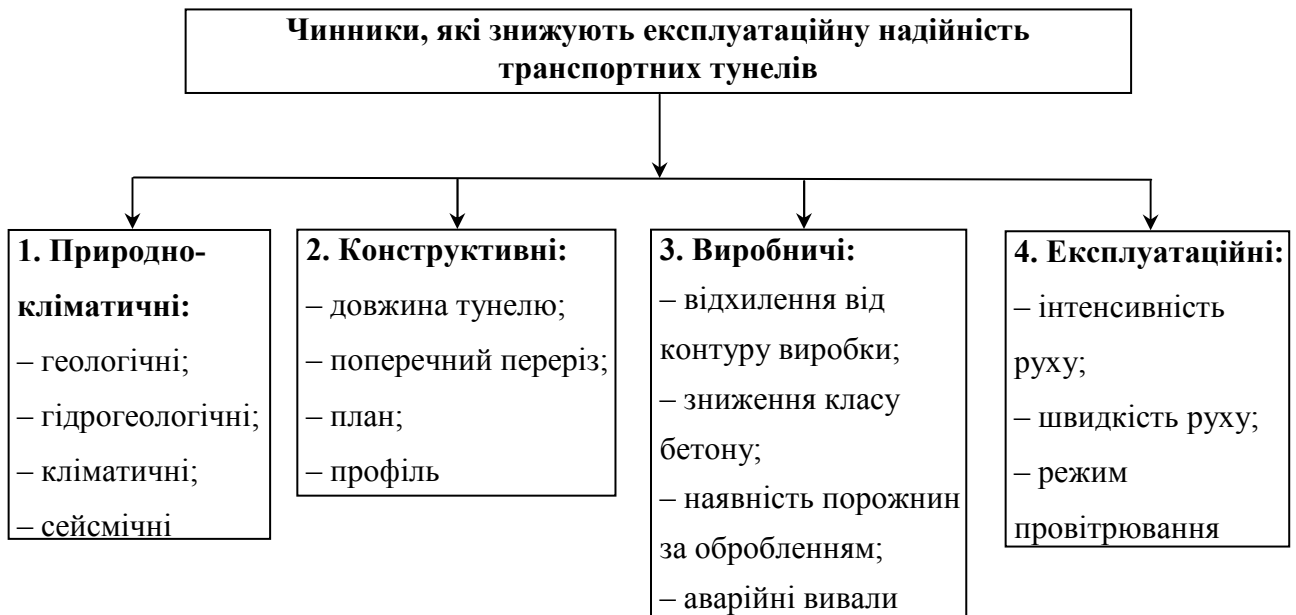


Рисунок 6.7 – Чинники, що знижують експлуатаційну надійність тунелю

- відсутнє пасивне відсікання ґрунту при деформації обробки тунелю;
- відсутність водоносних непов'язаних між собою ґрунтів при гідростатичному тиску більше 0,1 МПа (виключена можливість зниження рівня підземних вод);
- ґрунти сильнозволожені напівскельні і скельні (приплив води 200 м³/год і більше на забій) з коефіцієнтом міцності за шкалою М.М. Протодьяконова менше 6;
- прогнозований гірський тиск на обробку тунелю перевищує 0,6 МПа;

- можлива деградація вічної мерзлоти, яка призводить до різкого зростання гірського тиску на обробку тунелю.

З особливою увагою слід аналізувати інженерно-геологічні умови в зоні підземної споруди, яка безпосередньо примикає до траси тунелю. Її ширину вздовж осі тунелю визначають залежно від геологічних і гідрогеологічних умов району. За висотою зона підземної споруди обмежена товщею ґрунтів на 30 – 40 м вище і на 8 – 10 м нижче основи тунелю, розташованого у зв'язних напівскельних і скельних ґрунтах. Якщо траса тунелю проходить у ґрунтах малозв'язних і сипких, то така зона має включати усю товщу ґрунтів до земної поверхні. У районах, схильних до дії карстово-суфозійних процесів, а також розташованих поблизу горизонтів, які містять високонапірні води, глибину зони підземної споруди збільшують.

Найважливішою інженерно-геологічною характеристикою ділянки тунельного перерізу є її тектонічна будова. Вона визначає міру тріщинуватості та обводнення масиву, характер і величину початкового поля напруженості, а в процесі експлуатації тунелю, ще й характер силової взаємодії, кількісні показники напружено-деформованого стану системи «обробка – ґрунтовий масив», а також дозволяє прогнозувати ділянки можливих дефектів в обробленні і водоприпливів у тунель. Зупинимося лише на тих геологічних показниках і явищах, що дозволяють працівникам, які займаються поточним обслуговуванням тунелю, орієнтуватися у великому об'ємі інформації і дають можливість зрозуміти, як, проявивши належну передбачливість у своїх рішеннях, не посилити, а звести до мінімуму негативну дію несприятливих геологічних умов.

У однорідних слабкотріщинуватих скельних масивах обробка експлуатується в сприятливих умовах. Значний прояв пружного відсікання ґрунту практично повністю унеможлиблює переміщення і деформації. Шаруватість і тріщинуватість масиву погіршує його фізико-механічні характеристики тим сильніше, чим вище міра тріщинуватості і менше товщина пластів. Положення пласта у просторі характеризується кутами падіння і простягання (рис. 6.8). Якщо вісь тунелю паралельна лінії простягання або складає з нею невеликий кут, то

говорять, що тунель проходить уздовж простягання, якщо цей кут близький до 90° – вхрест простягання. Найкраще будувати тунель уздовж простягання потужних горизонтальних пластів, складених міцними слабкотріщинуватими породами (рис. 6.9, а).

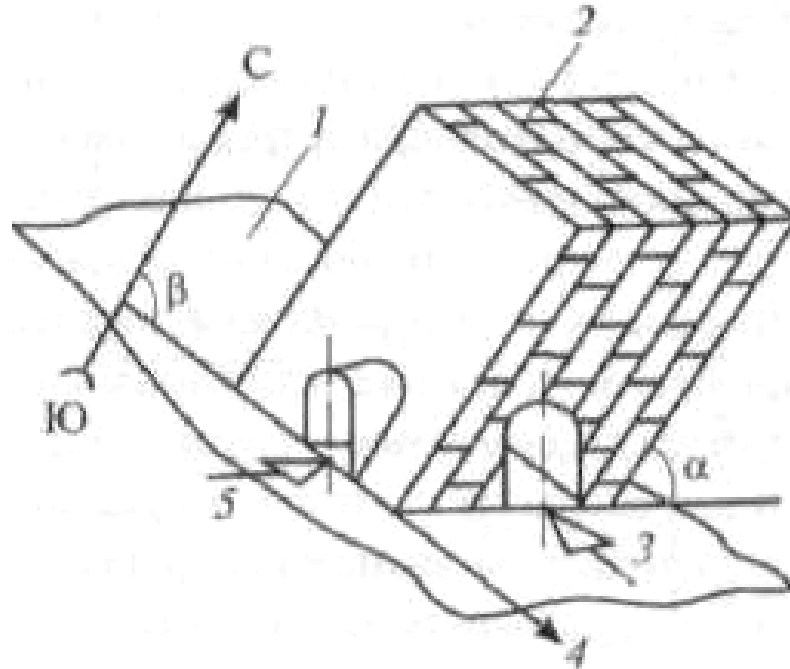


Рисунок 6.8 – Варіанти розташування тунелю відносно залягання пластів:
 1 – горизонтальна площина; 2 – пласти; 3 – розташування тунелю вздовж простягання пластів; 4 – лінія простягання пластів; 5 – розташування тунелю вхрест простягання пластів; α , β – відповідно кут падіння і простягання

За відсутності зчеплення між міцними пластами із-за глинистих прошарків між ними стійкість обробки на такій ділянці погіршуються. Якщо ж траса тунелю прокладена вздовж простягання крутоспадних пластів, то значні напруження отримують стіни обробки. Менш сприятливе розташування тунелю – це в похилих пластах уздовж їхнього простягання або вхрест простягання (рис. 6.9, б). У першому випадку виникає сильний односторонній тиск ґрунтів, викликаний утворенням зони розущільнення, розміри якої досягають половини прогину виробки. У другому – прогинання підроблених пластів обумовлює нерівномірність навантаження на обробку зі значним перевищенням у порівнянні з прогнозованим.

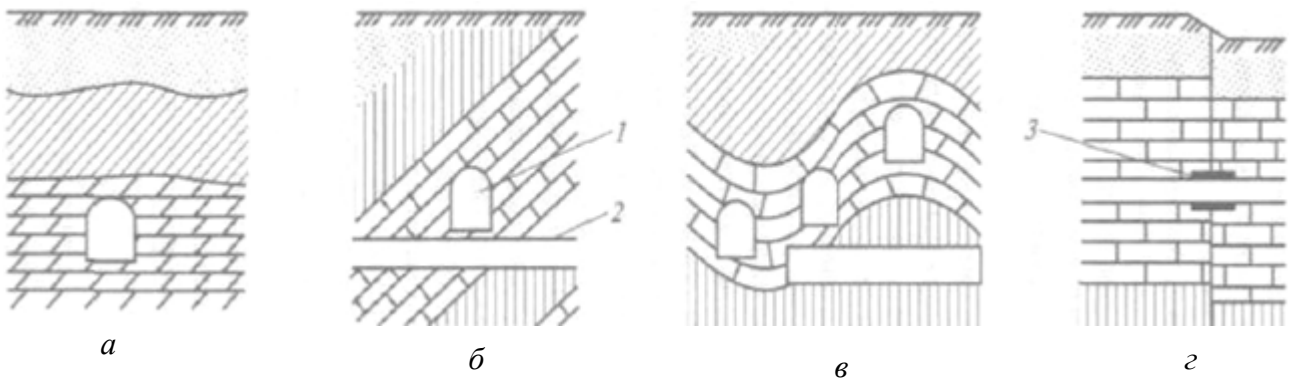


Рисунок 6.9 – Варіанти створення тунелю в шаруватому масиві з горизонтальними (*a*), похилими (*б*), складчастими (*в*) і тектонічно порушеними (*г*) пластами: 1 – вздовж простягання; 2 – вхрест простягання; 3 – у зоні скиду

При спорудженні тунелю в пластах, зігнутих в складку вздовж їх простягання (рис. 6.9, *в*), область антикліналі буде порівняно сприятливою. Тут можна чекати невеликий тиск гірських порід і малий приплив води. Несприятливим буде створення тунелю в крилі антикліналі і, особливо, в синкліналі, де окрім підвищеного тиску порід на конструкцію слід чекати великий приплив підземних вод. Якщо тунель побудовано вхрест простягання складок, то умови надійності роботи обробки будуть ще важчими, ніж при спорудженні його в похилих пластах. Дуже несприятливим є випадок перетинанням тунелем площини скидання або зрушення (рис. 6.9, *г*). На такій ділянці можливо взаємне зміщення пластів, що призводить до серйозних деформацій і руйнування обробки, а також великого припливу підземних вод. Великі ускладнення не лише в процесі будівництва, але і в період експлуатації доставляють зони тектонічних розломів і розмиви. Дія тектонічних порушень іноді виявляється лише через досить тривалий час після завершення будівництва у вигляді значних деформацій обробки з виникненням поздовжніх і поперечних тріщин.

Проходка зон тектонічного розлому або розмиву зв'язана з можливими обвалами і проривами напірної води, що найчастіше викликають аварії, а в деяких випадках і катастрофи. Після ліквідації аварії внаслідок розуцілення

грунтового масиву на цій ділянці змінюються фізико-механічні характеристики ґрунту, підвищується невизначеність у статичному стані обробки (зміна початкового поля напруження, нерівномірні навантаження, істотне зниження відсічі окремих ділянок периметра обробки).

Однією з найважливіших характеристик скельних і напівскельних порід є тріщинуватість. Міра і характер тріщинуватості порід у масиві визначають його деформованість і стійкість, водопроникність, фільтраційну і механічну анізотропію і, у результаті, характер і величину навантажень на обробку. Геомеханічні процеси силової взаємодії обробки з ґрунтовим масивом, складеним скельними і полускельними породами, більше залежать від тріщинуватості, чим від самого складу і міцності цих порід. Стосовно підземного будівництва виділяють такі найважливіші типи тріщин: тектонічні, тріщини окремої, тріщини нашарування, тріщини вивітрювання і тріщини бортового відсікання.

Велике ускладнення в процесі експлуатації можуть додати нерозвідані карстові зони, які зазвичай утворюються в результаті вилуговування розчинних у воді гірських порід. У закарстованих породах можливе осідання покрівлі і раптове руйнування обробки тунелю. Особливо небезпечні карстові зони, заповнені водою, і карстові озера, з яких може статися раптовий прорив води в тунель. У зв'язку з цим особлива увага має бути приділена тунелям у породах, які легко піддаються вилуговуванню, таким, як гіпс, ангідрити, вапняки і доломітові породи.

При аналізі причин зниження показників технічного стану тунелю дуже важливо розуміти, що фізико-механічні характеристики ґрунтів, які оточують тунельну обробку, з часом можуть змінюватися. Змінюються, очевидно, і умови статичного стану обробки. Відомо немало випадків, коли після тривалої експлуатації тунелю ґрунтовий масив піддавався зрушенням або просадці, викликаючи деформацію самої обробки і навіть її руйнування. Деякі різновиди вапняків під впливом процесу вивітрювання можуть швидко руйнуватися, збільшуючись при цьому в об'ємі, і чинити на обробку тиск руйнівного характеру. При мінусових температурах і обводненні глинисті тонкодисперсні ґрунти схи-

льні до здуття, створення додаткових навантажень на обробку і виклику деформації основи шляху в тунелі і на підходах до нього.

У районах із суворим кліматом і вічномерзлими ґрунтами причинами зниження експлуатаційних властивостей тунелю є: розвиток морозного здуття глинистих ґрунтів на порталних ділянках, зростання гірського тиску на обробку експлуатованого тунелю при відтаванні вічномерзлих ґрунтів, відтавання і прорив підземних вод у тунель під час серйозних пошкоджень обробки.

Гідрогеологічні умови гірського масиву при проходці тунелю зазнають істотні зміни. За відсутності належної гідроізоляції тунель, прорізаючи товщу порід і перехоплюючи потоки підземних вод, перетворюється на своєрідну дренажну споруду, приймаючи на себе інтенсивну фільтрацію підземних вод. Для успішного прогнозування обводнення тунелю потрібні відомості про джерела живлення водоносних горизонтів, шляхи фільтрації води в підземну виробку, можливі зміни гідрогеологічних умов під впливом побудованої споруди.

Обводнення масиву на трасі тунелю визначають такі чинники:

- кліматичні умови району: середньорічна кількість атмосферних опадів, характер їх випадання (зливові дощі, мряка, інтенсивне або повільне сніготанення), випаровуваність;
- гідрографія району: наявність і розташування річок, струмків, озер, водосховищ, заболоченість території. Тунелі, які розташовані на позначках вище місцевого базису ерозії, зазвичай добре дреновані існуючою гідрографічною мережею, внаслідок чого слабо обводнені. Тунелі, що знаходяться на позначках нижче місцевого базису ерозії і, особливо, приурочені до зони впливу поверхневих водойм, обводнені значно більше, ніж перші;
- рельєф місцевості: при дуже розчленованому рельєфі основна маса атмосферних опадів попадає на поверхневий стік і лише незначна на їх інфільтрацію. Крім того, глибокі ерозійні врізи зменшують площу водозбору водоносних горизонтів, а отже, погіршують умови їх живлення;

- геологічна будова: співвідношення водопроникних і водотривких шарів визначає кількість водоносних горизонтів, їх розміри, умови живлення, наявність або відсутність гідравлічного зв'язку;
- тектоніка району: наявність або відсутність регіональних або локальних зон тектонічних розломів, міра і характер тріщинуватості скельних порід;
- міра і характер вивітрювання або закарстованості порід уздовж простягання та глибини тунелю.

Стосовно тунельних споруд можна виділити такі основні типи водоносних горизонтів: води пластів (артезіанські води); води тріщин; карстові води; ґрунтові води. Вони, як правило, знижують міцність і стійкість ґрунтів. Деякі з них, наприклад, мергелі, глини і піски, за наявності води втрачають міцність. Досвід експлуатації тунелів засвідчив, що більшість дефектів є результатом взаємодії води з тунельною спорудою і ґрунтовим масивом, який її оточує. Наслідком цього є вилуговування і вимивання ґрунтів і цементного каменю з бетону обробки, корозія бетону й арматури, нестійкість баласту, руйнування бетону конструкцій при дії знакозмінних температур, пошкодження гідроізоляційних покриттів та ін. Ця шкідлива дія підземних вод на бетонні конструкції спостерігається за відсутності зовнішньої гідроізоляції обробки. Фільтруючись через тіло обробки, хімічно нейтральні води (водневий показник рН = 5 – 5,5) викликають корозію бетону за першим типом – вилуговування (вимивання солей кальцію). Води з $\text{pH} \leq 5$ фактично є розчинами кислот, які вступають в хімічну реакцію з цементним каменем і розчиняють його з утворенням солей цих кислот. Менш агресивні щодо бетону мінералізовані і лужні води з $\text{pH} \geq 6$, за винятком сульфатних вод, які викликають сульфатну корозію, обумовлену розростанням і збільшенням в об'ємі кристалів сульфату натрію і калію в мікротріщинах і порах бетону, що призведе до його механічного руйнування. Обводнення тунелів незначної глибини зазвичай знаходиться в прямій залежності від кількості атмосферних опадів і талих вод, наявності зверху тунельної поверхні водойм, річок і струмків. Сильно при цьому впливають рельєф і стан поверхні над тунелем, властивості і літологічний склад ґрунтів. Пологі схили з місцеві-

ми западинами та ярами, а також густа рослинність над поверхнею тунелю сприяють накопиченню снігу в зимовий період і акумуляції зливових і талих вод у ґрунтовому масиві. У зцементованих ґрунтах, що мають слабкі фільтраційні властивості, обводнення, як правило, невелике. У закарстованих і легко розчинних ґрунтах обводнення значне, а в рихлих водопроникних ґрунтах – сильне. Зонами значного водоприпливу до тунелю є також ділянки тектонічних порушень, які зв'язують водоносні горизонти між собою і з денною поверхнею.

Кліматичні умови пов'язані з підвищеними труднощами експлуатації тунелів у районах суворого клімату. Якщо в тунелі конструкції й обладнання не захищено від несприятливих дій негативних температур, то підземні води, проникаючи взимку в тунель через обробку, намерзають на стінах і шляхах, утворюючи колії, які небезпечні для руху транспорту і обслуговуючого персоналу. Крім того, поперемінне заморожування і розморожування води в матеріалі обробки сприяє інтенсивному руйнуванню.

Сейсмічні дії відносяться до особливих навантажень на тунельні конструкції, які слід враховувати при проектуванні, будівництві і поточній експлуатації тунелів, розташованих у сейсмічних районах. Інтенсивність сейсмічних дій (кількість балів) приймається за картами сейсмічного районування. Проте реальна сейсмічність ділянки, де безпосередньо знаходиться тунель, може істотно відрізнятися від сейсмічності, визначеної за картами районування внаслідок особливих геологічних умов на трасі тунелю. Тому сейсмічність на ділянці тунельного перетину визначають на основі сейсмічного мікрорайонування. У районах, де відсутні карти сейсмічного районування, допускається визначати сейсмічність залежно від категорії ґрунтів. Навіть при однаковій нормативній кількості балів характер і інтенсивність впливу землетрусу на тунель на різних його ділянках часто істотно відрізняються, що обумовлено як геологічною будовою масиву, так і конструктивними особливостями споруди.

Найбільші залишкові деформації обробки тунелю виникають на ділянках тунелів, розташованих уздовж гірських схилів, у місцях зміни літологічного складу ґрунтів, глибини закладення тунелів унаслідок різкої зміни рельєфу. При

цьому міра стійкості обробки тунелю за інших рівних умов пропорційна міцності ґрунтів. Пошкодження обробки тунелів на ділянках їх неглибокого спорудження є найбільшими в порівнянні з ділянками, розташованими на значній глибині.

У припортальних ділянках тунелю під час землетрусу відбувається інерційна дія мас ґрунту, які втрачають стійкість при коливаннях масиву. Тому портали більшості тунелів при сильних землетрусах руйнуються практично повністю. У кращому разі на припортальних ділянках на всьому периметрі обробки виникають численні поздовжні і поперечні тріщини, що пов'язано з дією інерційних сил від тиску ґрунту на порталні підпірні стінки, особливо при великій крутизні укосу в порталі тунелю. При перетині трасою тунелю тектонічних тріщин можливе зміщення ділянок обробки (незалежно від її конструкції) на відстань до декількох десятків сантиметрів від первинної осі тунелю в поперечному до осі траси напрямку.

Дуже сильно на підземні споруди при землетрусах впливає стан ґрунту. Найбільші руйнування спостерігаються в рихлих неущільнених ґрунтах, а також у місцях контактів шарів з різко відмінними фізико-механічними властивостями. Основна дія пов'язана зі зміною напруженого стану ґрунтового масиву при поширенні сейсмічних хвиль. Конструкція підземної споруди, яка має жорсткість, відмінну від жорсткості ґрунтового масиву, спотворює поле сейсмічних хвиль. Якщо вона має достатню гнучкість, то буде відповідати деформаціями ґрунтового масиву. Якщо конструкція має жорсткість більшу, ніж жорсткість навколишнього масиву, то разом з обробкою поле сейсмічних хвиль зазнає зміни і призведе до концентрації напруженості в ґрунті навколо обробки. Більшою мірою до дії сейсмічних сил схильна обробка тунелю з монолітного бетону незамкнутого контуру, яка має разущільнення і порожнини в заоброблювальному просторі, а також зібрані обробки без зв'язку розтягування і сейсмічних швів.

До *конструктивних характеристик* тунельного перетину відносяться: довжина тунельного перетину; число паралельних тунелів; їх поперечний переріз; план, профіль, матеріали і конструктивні рішення щодо обробки, порталів,

ніш; гідроізоляція і водовідведення та інше обладнання тунелів. Так, деякі конструктивні рішення, будучи цілком виправданими у технічному відношенні на стадії проектування й економічними при будівництві, потім можуть виявитися малоефективними, оскільки зажадають посиленого постійного нагляду і підвищених витрат на експлуатацію. Це зауваження особливо актуально при організації нагляду і поточного ремонту тунелів, розташованих у складних кліматичних умовах і малонаселених районах, де спостерігається недолік у робочій силі, існують проблеми з доставкою обладнання і матеріалів. Від характеристик і якості конструктивних матеріалів, використовуваних для створення обробки, залежать довговічність і експлуатаційна надійність тунелів. Використання бетонів із спеціальними домішками, які підвищують їх водонепроникність і морозостійкість, а також полімерних бетонів може істотно знизити загальне обводнення тунелю. Проте монолітне тунельне покриття, яке не має гідроізоляції, схильне до інтенсивного формування тріщин і не може бути повною мірою водонепроникним. Кардинальним рішенням захисту тунелю з монолітним бетонним покриттям від проникнення підземних вод є використання вздовж периметра обробки зовнішньої гідроізоляції.

Нова концепція спорудження залізничних тунелів припускає дорожчання будівництва, проте орієнтована на високі темпи проходки, якість і безпеку проходницьких робіт. При цьому окупність дорогого об'єкта гарантується за рахунок істотних скорочень витрат на його експлуатацію з одночасним підвищенням безпеки обслуговуючого персоналу. На рис. 6.10 зображений один з варіантів поперечного перерізу одноколійного залізничного тунелю з покриттям кругового контуру. Проектом передбачено спорудження тунелю зі збірним залізобетонним покриттям підвищеної водонепроникності та внутрішнім діаметром 8,8 м із застосуванням тонелепрохідницького механізованого комплексу. Як видно з рис. 6.10, характерною особливістю тунелю є наявність зони безпеки для обслуговуючого персоналу і розміщенні обладнання в межах перерізу обробки.

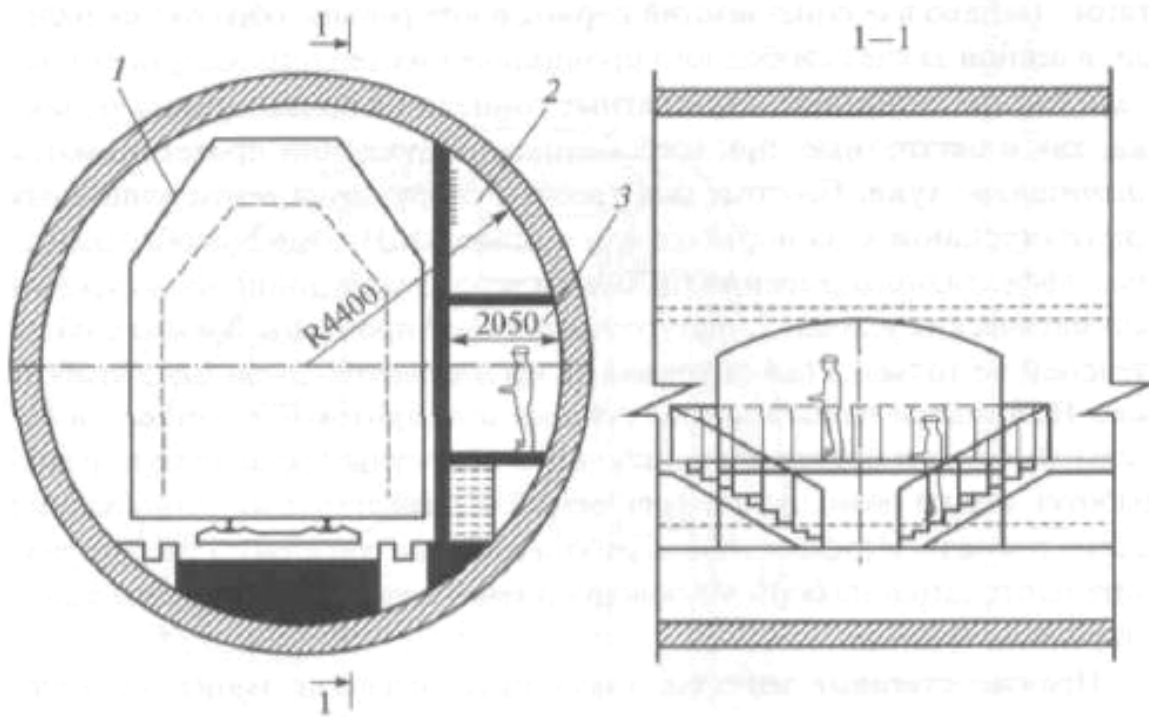


Рисунок 6.10 – Залізничний тунель кругового контуру: 1 – габарит наближення будов; 2 – кабельний відсік; 3 – відсік для обслуговуючого персоналу

Слід зазначити, що нині для тунелів великого перерізу (двоколійних залізничних і автодорожніх), споруджуваних із застосуванням гірничих технологій, в практиці світового тонелебудівництва віддають перевагу овальній формі поперечного перерізу з криволінійними стінами, замкненими на потужну лоткову плиту, або зворотному зведенню (рис. 6.11). Така форма поперечного перерізу великих виробок доцільна не лише для підвищення їх стійкості при проходці, але і для забезпечення ефективної роботи тунелю в широкому діапазоні інженерно-геологічних умов.

Особливості профілю транспортних тунелів впливають не лише на швидкості руху в тунелі, але і на вирішення питань вентиляції. Односкілі тунелі добре провітрюються природною тягою. Проте в осінньо-зимовий період у них раніше утворюються заledenіння, а навесні за рахунок вільного проникнення теплого повітря ці заledenіння швидко відтають. Двоскатні тунелі на кривих ділянках також, як і двоколійні, при природній тязі провітрюються значно гірше. Тому вони вимагають спорудження вентиляційних систем (установок на

порталах або в стовбурах). Разом з необхідністю ефективного рішення проблеми вентиляції тунелів у суворих кліматичних умовах, водночас виникають проблеми боротьби з обмерзанням не лише в самих тунелях, але й у вентиляційних виробках. Недоліки досліджень і прогнозу водоприпливу в тунелі в окремих випадках призводять до помилкових проектних рішень під час розроблення схеми розміщення дренажних і водовідвідних пристроїв за його довжиною. У свою чергу неефективна робота системи водовідведення вимагає значних витрат на боротьбу з обводненням і полями в діючому тунелі.

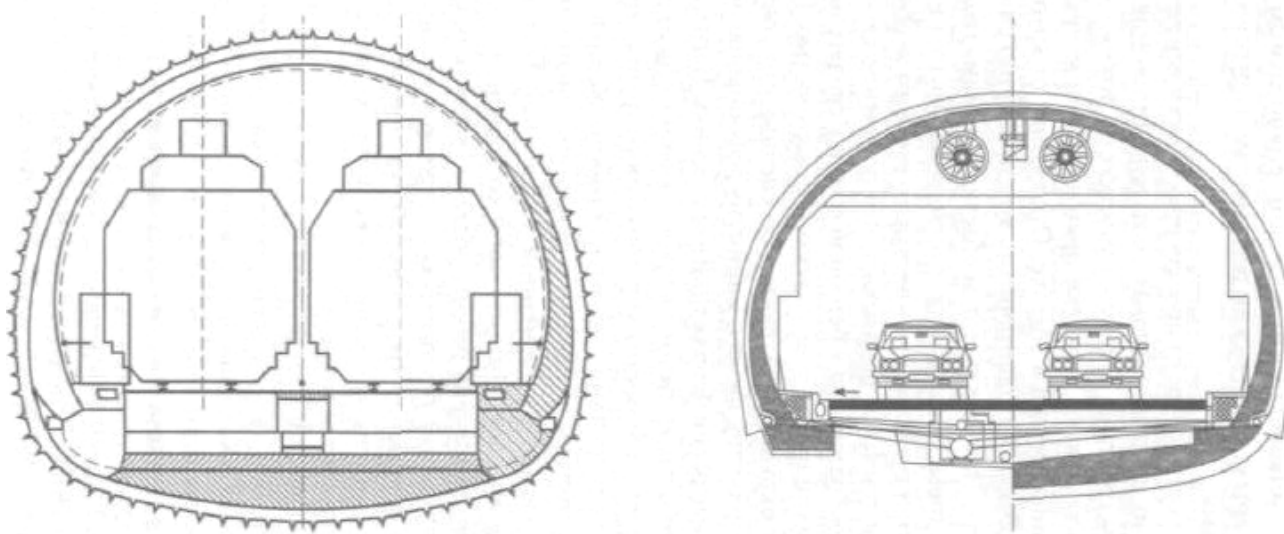


Рисунок 6.11 – Типова форма поперечного перерізу двоколійного залізничного (Австрія) і автодорожнього (Чехія) тунелів у тріщинуватих скельних породах

Виробничі дефекти, які є наслідком низької якості будівництва, знижують експлуатаційну надійність діючих тунелів. Якість будівельних робіт при спорудженні тунелів оцінюють мірою наближення сукупності параметрів споруди або її елементів, отриманих у ході будівництва, вимогам, встановлених проектом, будівельних норм і правил, стандартів, технічних регламентів та інших нормативних документів.

Випадкові зміни параметрів від проекту практично неминучі, проте деякі з них погіршують умови експлуатації тунелю. Так, значні перебори ґрунту на окремих ділянках по периметру обробки при буровибуховому способі проходки

призводять до концентрацій напруження і появи тріщин у покритті. Відхилення від кругового контуру в зібраних обробках помітно знижує їх несучу здатність. Наявність порожнин за обробками, окрім геологічних чинників (карстові утворення, розчинення ґрунтів та ін.), залежить також від якості нагнітання цементно-піщаного розчину.

Досвід експлуатації тунелів свідчить, що наявність сколов і інтенсивне виникнення тріщин у бетонній обробці, як правило, призводить до появи порожнин за її зовнішньою поверхнею. Щільний контакт обробки з навколишнім ґрунтом забезпечує їх спільну взаємодію у всьому периметрі, зводячи до мінімуму деформацію обробки і можливість концентрації напруження в її перерізах. Навіть невеликі порожнини в прилеглому до обробки масиві істотно впливають на величину пружної відсічі ґрунту, що безпосередньо пов'язано з умовами статичного стану обробки. Крім того, порожнини можуть з часом значною мірою погіршити стійкість обробки, викликати розвиток небезпечних дефектів.

Порушення технологічного регламенту при зведенні обробки тунелю монолітним бетоном найчастіше всього проявляється при перервах у процесі бетонування. «Холодні шви» є одним з основних шляхів проникнення води через обробку за відсутності зовнішньої гідроізоляції. У випадках технологічних перерв у бетонуванні необхідно передбачати належну герметизацію швів, застосувавши «шпонки» або ущільнювальні мастики, які набрякають у присутності води. На жаль, у переважній більшості тунелів, експлуатованих нині, вказане технічне рішення не використовувалося, і не використовується нині при ремонті холодних і деформованих швів.

Підвищення якості бетону досягається також за рахунок використання фракціонованих великих заповнювачів, неорганічних або органічних домішок, що збільшує стійкість, водонепроникність і морозостійкість конструкцій, які зводяться. А це потребує належного операційного і вихідного контролю при виготовленні та укладенні бетону, ретельного догляду за ним і забезпечення сприятливих умов тверднення. Для досягнення високої якості обробки бетон слід подавати за опалубку бетононасосами.

Експлуатаційний режим тунелів (вид тяги на залізничних магістралях, інтенсивність руху потягів і автотранспорту в автодорожніх тунелях, встановлені швидкості руху та ін.) впливає на умови роботи всієї споруди та її технічний стан. Вихлопи двигунів внутрішнього згоряння шкідливо впливають на бетон, викликаючи хімічне розкладення і поступове відшарування обробки. Електрична тяга, що створює блукаючі струми, викликає корозію металевих елементів шляху, чавуну та арматури залізобетонної обробки, а також інших металевих конструкцій і пристроїв.

При цьому швидкість наведених процесів залежить не тільки від інтенсивності руху потягів, але і від умов, які посилюють ці процеси: обводнення конструкцій і висока вологостійкість тунельної атмосфери, погане провітрювання, несвоєчасне усунення дефектів, проведення осушувальних заходів і технічного обслуговування об'єктів. У свою чергу, підвищена інтенсивність руху в тунелях утруднює їх поточне обслуговування і не дозволяє своєчасно здійснювати ремонтні роботи, які виконуються під час перерви графіка руху транспорту. При інтенсивному русі тривалість цих перерв і їх число в добу скорочується, тому терміни проведення ремонтних робіт відкладаються. Таке несвоєчасне виконання ремонтних робіт негативно позначається на рівні технічного стану тунельних доріг.

Питання до самоконтролю

1. За якими ознаками класифікують тунелі? Перелічіть варіанти гірничого способу проходки тунелів і умови для їх застосування.
2. Які вимоги ставляться до плану та поздовжнього профілю автодорожніх тунелів?
3. Перелічіть альтернативні варіанти побудови тунелів та зробіть їх техніко-економічне порівняння.
4. Що відноситься до постійних навантажень при побудові тунелів (виберіть одну із відповідей): 1) гірський тиск; 2) вага обробки; 3) внутрішній тиск

води в тунелі при форсованій підтримці рівня у водосховищі або від дії гідравлічного удару при повному скиданні навантаження; 4) тиск підземних вод; 5) сейсмічні і підрівні дії?

5. Від яких факторів залежить пропускна здатність пішохідних тунелів? Охарактеризуйте їх входи і виходи.

6. Опишіть основні етапи інженерно-геологічних досліджень при будівництві тунелів.

7. Вибір між мостовим і тунельним перетином водної перешкоди роблять на основі (виберіть одну із відповідей): 1) даних про інженерно-геологічні умови території; 2) техніко-економічного зіставлення варіантів; 3) визначення довжини і глибини водної перешкоди; 4) кліматичних умов.

8. Які методи геолого-технічної розвідки застосовують при будівництві тунелів?

9. Що відноситься до тимчасових навантажень при будівництві тунелів (виберіть одну із відповідей): 1) гірський тиск; 2) тиск від механізмів під час виконання робіт; 3) внутрішній тиск води в тунелі при нормальному підпірному рівні води у водосховищі; 4) тиск підземних вод; 5) сейсмічні і вибухові дії?

10. Що являє собою наземна геодезична і підземна маркшейдерська основа траси тунелів? Опишіть цілі і завдання інженерно-екологічних вишукувань для тунелів.

7. ЛІНІЙНІ ІНЖЕНЕРНІ СПОРУДИ

Загальні відомості. Призначення та проектування магістральних трубопроводів. Класифікація та категорії трубопроводів. Виконання будівельних робіт у різних умовах.

Навчальні цілі: спираючись на викладений матеріал, студент повинен уміти оцінювати послідовність виконання проектних робіт і будівництва трубопроводів залежно від їх призначення та категорії.

Загальні відомості. Зі зростанням благоустрою міст і сільських населених пунктів, технічного рівня сучасних промислових підприємств і видобутку корисних копалин безперервно збільшується насиченість територій різними інженерними комунікаціями. Для будівництва, проектування та експлуатації міських і промислових об'єктів потрібні точні дані про розміщення в плані і за висотою всього комплексу інженерних комунікацій із зазначенням їх технічних характеристик. Це викликає необхідність проведення великого обсягу інженерно-геодезичних робіт, пов'язаних зі зйомкою і складанням планів інженерних комунікацій.

Інженерні комунікації – це лінійні споруди з технологічним обладнанням на них, які призначені для транспортування рідин, газів і передачі енергії. Їх можна поділити на дві групи: *підземні* та *надземні* комунікації. Ще їх також називають *інженерними мережами*, а окремі комунікації – *трасами* або *прокладками*.

Інженерні комунікації складаються з трубопроводів, кабельних ліній і колекторів. Характер облаштування місцевості, де прокладені інженерні комунікації, багато в чому визначає особливості їх розміщення і технологічних зв'язків. Так, на незабудованих територіях інженерні комунікації – це окремі магістральні трубопроводи, надземні і підземні лінії електропередач і зв'язку. При цьому місце розташування і призначення магістральних комунікацій в більшості випадків визначається розпізнавальними стовпами.

Призначення магістральних трубопроводів. Транспортувати рідкі і газоподібні корисні копалини (природний газ, нафту, воду), а також продукти їх переробки (нафтопродукти, промисловий газу та ін.) у багатьох випадках виявляється найбільш економічно шляхом їх перекачування по трубопроводах [13]. Для цього будують магістральні трубопроводи великого діаметра (понад 1 м) і довжиною до декількох тисяч кілометрів. Необхідно відзначити, що будівництво таких трубопроводів почалося відносно недавно. Наприклад, перший великий трубопровід протяжністю 833 км був побудований у 1897 – 1906 рр. для транспортування газу з Баку в Батумі. Залежно від виду корисних копалин або промислових продуктів, які транспортуються, їх називають нафто-, газо-, водо-, бензо-, продуктопроводами.

Магістральні газопроводи призначені для транспортування газу з місця його видобутку або виробництва до місць споживання. У систему споруд газопроводу входять газопромислове господарство, власний трубопровід, підземні сховища, компресорні і газорозподільні станції. Останні є кінцевими спорудами, які призначені для розподілу газу по окремих ділянках газоспоживання.

Магістральні нафто- і продуктопроводи служать для перекачування рідкої нафти і продуктів її переробки від місць видобутку на переробні заводи і від останніх до районів споживання. У систему споруд нафтопроводів входять головні і проміжні насосні станції, власне трубопровід, пункти та ємності для зберігання нафти і допоміжні споруди. Всі компресорні та насосні станції так само, як і допоміжні споруди і ємності для прийняття і зберігання продуктів, являють собою будівлі, фундаменти для яких проектуються залежно від їх габаритів та діючих навантажень при повному врахуванні особливостей інженерно-геологічної обстановки. Вибір того чи іншого типу фундаменту так само, як і методу ведення будівельних робіт, здійснюється відповідно до основних положень з будівництва фундаментів промислових споруд.

Сучасні магістральні газо- і нафтопроводи споруджують переважно із сталевих труб діаметром від 500 до 1000 мм і більше. Для цього застосовують зварні труби з товщиною стінок від 8 до 12 мм і більше, вагою від 100 до 300 т

на кілометр. Уздовж лінії трубопроводу залежно від природних умов (грунтових, кліматичних, геоморфологічних) приблизно через кожні 10 – 25 км встановлюють пристрої для вимикання. У газопроводів – це пробкові або кулькові крани, а у нафто- і продуктопроводів – засувки. Крім того, такі самі пристрої встановлюють з обох боків кожного перетину природного водотоку або каналу, залізничної чи автомобільної дороги, населеного пункту або території промислового підприємства. Існують вимоги до мінімально-допустимої відстані від магістральних трубопроводів до будівель і споруд. Ці вимоги так само, як частота і місце розташування пристроїв для відключення, диктуються протипожежною безпекою. У зв'язку з тим, що розриви, як і інші пошкодження трубопроводів, є вогненебезпечними, крім пристроїв для відключення всієї траси, встановлюють спеціальну контрольну апаратуру, яка фіксує всі можливі несправності й автоматично повідомляє про це на пункти експлуатації споруди для прийняття захисних заходів (відключення, перемикання на обхідні лінії тощо).

Проектування трубопроводів. Трубопроводи на більшій частині своєї довжини розташовують у товщі ґрунтів нижче денної поверхні. При цьому металева труба, розташована як нижче, так і вище рівня ґрунтових вод, піддається корозії. Для захисту поверхні труб від корозійного впливу ґрунтів, підземних і поверхневих вод, всі металеві конструкції, що входять до складу споруд трубопроводу, покривають спеціальним антикорозійним захисним шаром. Крім того, за всією довжиною трубопроводу монтують установки катодного і дренажного електрозахисту.

Проектування трубопроводу починають з вибору траси між джерелом отримання продукту і пунктом його призначення [13]. Вона вибирається не тільки з урахуванням найкоротшої відстані між цими двома точками, але і з урахуванням необхідності відводів продукту до проміжних споживачів, умов подолання природних перешкод і важкодоступних ділянок. При цьому мають враховуватися також умови доставки труб на трасу, можливості механізованого ведення робіт з підготовки території, проходки траншей для укладення в них труб і робіт з монтажу самого трубопроводу. Чи не повинні забуватися й умови

експлуатації трубопроводу, які вимагають постійного контролю за справністю споруди, а в разі потреби і проведення ремонтних робіт.

Проектування ведуть за кількома конкуруючим варіантами траси, а оптимальний варіант вибирають за сукупністю основних техніко-економічних показників. За кожним з варіантів траси повинні бути виконані топогеодезичні й інженерно-гідрологічні вишукування, що дозволяють об'єктивно оцінити конкуруючі варіанти траси. За вибраним варіантом виконуються остаточні дослідження, які обґрунтовують проект трубопроводу і відповідно виконання робіт щодо його спорудження.

Магістральні газопроводи прокладають зазвичай під землею на глибині, яка має бути не менше 0,8 м захисного шару ґрунту над верхом труби, тому глибина траншеї для укладання трубопроводу повинна бути не менше діаметра труб плюс мінімальна величина засипки. Виняток з цього правила становлять випадки переходів через природні і штучні перешкоди, де прокладення газопроводу в землю неможливо або вкрай утруднено. На цих ділянках виконують наземне розташування трубопроводів, але з обов'язковим використанням компенсаційних пристроїв. На ділянках траси газопроводу, де спостерігаються скельні ґрунти, або в межах пустельної місцевості, де немає руху механічного транспорту, будівельних і сільськогосподарських машин, глибина закладки трубопроводу може бути зменшена (до 0,5 м).

При визначенні глибини закладення нафтопроводу повинні враховуватися кліматичні умови місцевості і властивості рідини. Це пов'язано з тим, що нафта і багато інших рідких продуктів сильно змінюють свою в'язкість при коливаннях температури. Тому нафтопроводи, як правило, прокладають на такій глибині, де сезонні і добові коливання температури не викликають сильні зміни в'язкості рідини.

Усякий трубопровід витримує цілий ряд навантажень, серед яких постійно діє власна вага труби з антикорозійним покриттям, тиск від ваги ґрунту засипки, а також навантаження від попереднього напруження труб. Велика частина цих навантажень стискають і прагнуть зменшити діаметр труби. Крім того,

на трубопровід діють тривалі розтягувальні навантаження від внутрішнього тиску продукту, який прокачується. При цьому ці навантаження зазвичай значні за величиною (до 25 кг/см^2 і вище). Під час виконання будівельно-монтажних робіт, а також у результаті температурних коливань, снігових і вітрових навантажень виникають короточасні навантаження різної дії.

Трубопровід зазвичай укладають безпосередньо на ґрунт розкритої траншеї. Однак у разі різкої зміни жорсткості ґрунтів, наприклад, при переході траси зі скельного масиву на пухкі податливі ґрунти, коли можна очікувати різкої відмінності в деформації основи, перед укладенням труб проводять її спеціальну підготовку. Вона полягає зазвичай у підсипанні ґрунту або створенні чогось іншого, що пом'якшує перехід через контакт між ґрунтами з великою різницею жорсткості. Найбільш складною частиною загального комплексу споруд магістрального трубопроводу є переходи через природні та штучні перешкоди, такі, як долини водотоків, водні перешкоди, круті схили, болота, а також перетин доріг, каналів, промислових підприємств. У багатьох випадках для цього доводиться зводити спеціальні споруди типу естакад, легких мостів, дюкерів та ін.

Класифікація та категорії трубопроводів [13]. *Газопроводи* згідно з *робочим тиском* поділяються на два класи: *першого* мають робочий тиск $2,5 - 10 \text{ МПа}$; *другого* – $1,2 - 2,5$. *Нафтопроводи* залежно від *діаметра труби* поділяються на чотири класи: *першого* мають діаметр понад 1000 мм ; *другого* – $500 - 1000$; *третього* – $300 - 500$; *четвертого* – менше 300 мм . Магістральні трубопроводи та їх ділянки поділяються на категорії (за умовами роботи та вимогами до зварних з'єднань). Так, переходи через яри, балки відносять до *третьої категорії*; ділянки меліорації – до *другої*; ділянки перетину з автомобільними дорогами першого класу, з ЛЕП напругою понад 500 КВт – до *першої*.

Виконання будівельних робіт у різних умовах. Лінійність магістральних трубопроводів відіграє значну роль під час виконання будівельних робіт. Так, у результаті цього будівельний майданчик має дуже велику протяжність при вузькому і рухомому фронті робіт.

Починаються будівельні роботи з підготовки території траси, зі створення під'їздів для підвезення труб і механізмів, окремих майданчиків для проміжного складування та оброблення труб. Другим етапом є розвезення труб по трасі і риття траншей. У цей час виконується зварювання трубопроводу на ділянках, опускання зварних труб у траншею та їх випробування (продування, перевірка якості зварювання). Після цього траншея засипається ґрунтом. Промисловість виготовляє труби довжиною 6 – 12 м. У такому вигляді вони надходять на трасу. При цьому монтаж трубопроводу може здійснюватися двома способами: *трасовим* і *базовим*. При *трасовому способі* трубопровід нарощується з окремих труб, причому зварювання зазвичай виконується вручну безпосередньо у розробленій траншеї. Цей спосіб дуже поширений в практиці будівництва, особливо на важкодоступних ділянках та горбистій місцевості. При *базовому способі* труби завозять на спеціально обладнані майданчики (бази), де зварювання здійснюється автоматично поворотним способом (обертанням труби в спеціальному агрегаті під шаром флюсу). Таким способом труби зварюють у кільце і секції з 3 – 10 труб. Надійно ізольовані і перевірені кільця доставляють безпосередньо на трасу, де зварюють між собою й укладають у траншеї. Цей спосіб має найкращі результати (щодо якості та продуктивності) при роботах у відносно малогорбистої місцевості, де можливе транспортування довгих труб.

У більшості випадків сухопутного розташування траси трубопроводу укладаються у відкриті траншеї, які зазвичай риються спеціальними канавокопачами або екскаваторами. Для забезпечення рівномірного прилягання всієї поверхні труби до ґрунту дно траншеї вирівнюють механічним або гідравлічним способами або підсипанням дрібного і пухкого ґрунту (пісок, суглинок) товщиною приблизно 10 см. Усі великі включення так само, як і уламки твердих порід, що утворюються при розробленні траншеї, з-під труби видаляють. Траншею засипають ґрунтом, вийнятим при її розробці. Однак безпосередньо до труби краще підсипати дрібнозернисті ґрунти, які не зашкодять її ізоляції при ущільненні засипки.

Під час укладання трубопроводу в траншею виконується контроль за тим, щоб шар ізоляційного покриття не пошкодився виступами дна траншеї або кам'янистим ґрунтом, а також щоб трубопровід знаходився в рівномірному стані без провисань і в період експлуатації не відбувалося розмивання ґрунту навколо нього талими та підземними водами.

У разі, коли трубопровід має перетинати гірські річки, глибокі яри і балки з високими і крутими стінками, то це питання вирішується шляхом створення надземних переходів у вигляді мостових конструкцій балкового, арочного або висячого типу з різними опорами, які вибираються залежно від особливостей інженерно-геологічних умов. З огляду на специфіку трубопроводів, що транспортують горючі матеріали, такі надземні переходи будують зазвичай ізольованими від дорожніх мостів, хоча відомі випадки суміщення їх з транспортними переходами. При малій ширині прогону між берегами іноді застосовуються найпростіші арочні трубні переходи. Для найбільшої надійності роботи трубопроводу на всіх ділянках подібних перетинів укладають декілька (як мінімум дві) паралельних ниток труб на відстані 30 – 50 м одна від одної, а також розміщують систему перемикальних пристроїв.

При перетині річок, каналів, водосховищ, озер, заток і проток, що мають значну ширину і відносно пологі береги, споруджують *підводні переходи* [14]. Вони проектуються з урахуванням гідрологічного режиму водотоку або водного басейну, і для них вибираються нерозмивні ділянки берега. Підводний перехід поділяється на дві частини: власне підводну, в межах якої трубопровід укладають нижче горизонту води, і заплавну (або прибережну), де трубопровід укладають у траншеї так само, як і на звичайній сухопутній ділянці траси. Власне підводна частина переходу через водну перешкоду будується із заглибленням труб не менше ніж на 0,5 м нижче горизонту можливого розмиву дна водойми. Це робиться для того, щоб оберегти трубопровід від пошкоджень якорями, лотами і т. ін. У пухких ґрунтах дна водойми траншею розробляють зазвичай на глибину до 1 м, а в скельних ґрунтах – до 0,5 м. У ряді випадків при переході через водойми зі скелястим дном від проходки траншеї відмовляють-

ся і для захисту трубопровод засипають ґрунтом, який спеціально доставляють для цього.

Підводні траншеї розробляють за допомогою скреперів, екскаваторів, гідромеханічних пристроїв (земснарядів) або інших землерийних машин, а у разі необхідності застосовують і підрівні механізми. Трубопроводи укладають у підводні траншеї за допомогою спеціально обладнаних понтонів, поромів та інших плавучих засобів. При експлуатації в районах з міцним крижаним покритвом трубопроводи укладають з льоду. Процес укладання підводних трубопроводів складається з таких етапів: 1) опускання з опор; 2) протягування по дну; 3) вільне занурення із затокою води в труби; 4) послідовне нарощування секцій з плавучих засобів.

Особливу специфіку має спосіб протягування по дну (рис. 7.1). При ньому спочатку у виритій траншеї протягують трос, до якого прикріплюють низку труб, що підлягають укладанню. У цей час має знаходитися під ретельним контролем процес протягування труб у траншеї, а також само трос, оскільки при його обриві для ліквідації аварії потрібно застосування складних водолазних робіт.

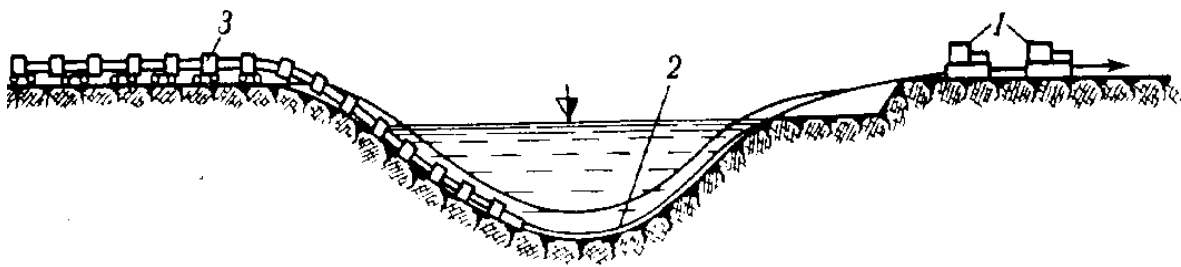


Рисунок 7.1 – Фрагмент укладання трубопроводу протягуванням по дну [1]:

1 – тягова лебідка або трактори; 2 – тяговий трос; 3 – трубопровід з вантажами

Для забезпечення надійності зміцнення трубопроводу на дні водойми виконується спеціальне баластування шляхом навішування одиночних вантажів (чавунних, бетонних), накладення суцільного бетонного покриття, анкерування або іншими способами. Трубопроводи через болота прокладають з урахуванням складу торф'яного покладу та його потужності, використовуючи один із таких

способів: 1) у траншеї з частковим або повним виторфовуванням (підземне розташування); 2) без траншеї на поверхні болота по спеціальній (хворостяній) насипі (рис. 7.2), яка може відсипатися з повним або частковим виторфовуванням або без нього; 3) на пальових (рис. 7.3, [1]), висячих або інших опорах (надземне розташування).

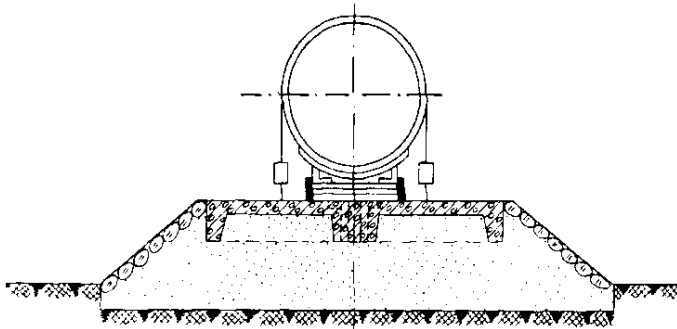


Рисунок 7.2 – Схема розташування трубопроводу на спеціальній насипі

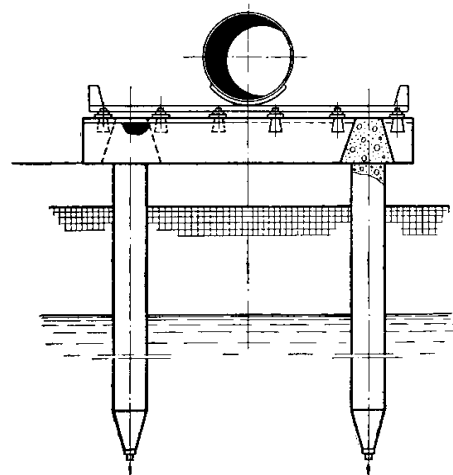


Рисунок 7.3 – Схема розташування трубопроводу на пальових опорах

Вибір способу прокладання залежить від того, яким чином будуть здійснюватися будівельні роботи і як буде поводити себе трубопровід після укладення. Вибір методу ведення будівельних робіт залежить від несучої здатності торф'яного і покривного шару болота. З огляду на те, що більшість боліт практично непрохідні для звичайних колісних машин, на будівництві мають застосовуватися тільки машини зі зниженим питомим тиском на ґрунт. Однак у багатьох випадках до початку робіт з прокладання трубопроводу доводиться споруджувати тимчасові дороги для доставки і монтажу труб, а також їх укладення.

Крім цього, вибір способу прокладання залежить і від умов експлуатації самого трубопроводу. Питомий тиск на ґрунт від трубопроводу в період його експлуатації дуже низький і становить усього $0,02 - 0,04 \text{ кг/см}^2$, але торф'яний шар часто має ще більш низьку несучу здатність у результаті чого трубопровід занурюється в товщу торфу і може досягти мінерального дна.

Процес прокладання трубопроводу через болота складається зазвичай з таких етапів [14]: 1) підготовка траси; 2) заготовка зварних секцій; 3) підготов-

ка траншеї, насипу або опор; 4) монтаж і укладення трубопроводу з подальшою його засипкою. Якщо роботи на болоті виконуються в зимових умовах, коли траншея вирита в мерзломому шарі та є сухою, то тоді так само, як і у випадках осушення боліт, трубопровід укладається звичайним для сухопутних умов траси способом, тобто з опусканням трубопроводу трубоукладачем, який пересувається по краю траншеї. Якщо ж трубопровід укладається в обводнену траншею, то застосовують або *сплавний метод*, або *метод протягування забалас-тованої батоги*. Перший з них аналогічний протягуванню через водну перешкоду, а другий полягає в тому, що на одному з берегів болота ведеться зварювання батоги трубопроводу, яка в міру нарощування сплавляється в заповнену водою траншею. Нарощування продовжується до отримання батоги, яка перекриває усе болото (або його непрохідну частину). Після зварювання та ізоляції всю батугу занурюють у траншею навантаженням вагами з будь-яких плавучих засобів (понтонів) або вертольотів.

Будівництво трубопроводів у гірських умовах пов'язане з рядом труднощів, які викликані прокладанням траси на сильно горбистій місцевості, чергуванням порід різної міцності та розвитком несприятливих фізико-геологічних процесів (зсувів, обвалів, селів, лавин). Ці умови обмежують можливість застосування механізованих методів будівництва, ускладнюють ведення будівельних робіт, а на ділянках розвитку схилових процесів створюють небезпеку руйнування трубопроводів. Тому будівництво трубопроводів у гірських умовах завжди пов'язане з необхідністю не тільки застосування великого числа штучних споруд, які забезпечують переходи трубопроводу через перешкоди, але і ведення додаткових робіт зі зміцнення та захисту трубопроводів. Специфічність і складність інженерно-геологічних умов будівництва трубопроводів у гірській місцевості викликають необхідність розроблення більшого числа конкуруючих варіантів траси.

При прокладанні трубопроводів на ділянках перетину залізничних і автомобільних доріг, каналів та інших споруд виникають труднощі, пов'язані з необхідністю вести будівництво без перерви експлуатації споруд, які перетинаються. У цих випадках, беручи до уваги відносно малу ширину цих перешкод,

трубопроводи укладають методом продавлювання труб через тіло земляної споруди (насіпі, дамби і т. ін.). Для цього з обидва боки від споруди закладаються траншеї, в яких у горизонтальному напрямку продавлюють труби. Якщо ґрунти основи, в яких потрібно закласти трубопровід, виявляються настільки міцними, що продавлювання труб здійснити не вдається, то бурять горизонтальні свердловини, в які потім вставляють трубопровід. У тих самих випадках, коли підземне прокладання труб при перетині перешкод неможливо, будують надземні переходи.

Роботи, пов'язані з будівництвом насосних і компресорних станцій, газгольдерів, нафто- і продуктосховищ, що входять у комплекс споруд трубопроводу, ведуться так само, як і при зведенні звичайних споруд промисловості і комунального господарства.

Питання до самоконтролю

1. Опишіть види лінійних споруд.

2. Які трубопроводи входять до складу підземних інженерних мереж (виберіть декілька правильних відповідей): 1) водопостачання (господарчо-побутового, промислового, каналізаційного, поливального); 2) каналізації (господарчо-побутові, промислові, загальносплавні); 3) теплопостачання; 4) газопостачання (високого, середнього і низького тиску); 5) дренажні; 6) бензопроводи, нафтопроводи; 7) труби для відведення струмків, річок?

3. Охарактеризуйте умови експлуатації магістральних трубопроводів, робочий тиск і типорозміри трубопроводів, а також види продуктів, які перекачуються.

4. Опишіть конструкцію магістральних трубопроводів, способи їх прокладання, переваги і недоліки.

5. Перелічіть навантаження на трубопровід і наведіть їх стислу характеристик, послідовність збирання трубопроводів.

6. Які навантаження відносяться до тимчасових тривалих при розрахунку опор трубопроводів (виберіть одну відповідь): 1) від ваги трубопроводів з технологічною арматурою й опорними частинами; 2) від ваги рідини, яка транспо-

ртується у стадії експлуатації трубопроводів; 3) від власної ваги опор і естакад з конструкціями і обслуговуваними майданчиками; 4) від температурних технологічних дій (різниці температур); 5) від внутрішнього тиску у стадії експлуатації?

7. Які фактори впливають на глибину закладення трубопроводів у ґрунт, на підготовку траншей, процес будівництва трубопроводів?

8. Перелічіть основні умови безпечної експлуатації трубопроводу.

9. Що із переліченого слід враховувати при виборі матеріалів для трубопроводів: 1) розрахунковий тиск, температуру і властивості матеріалу, якій транспортується; 2) властивості матеріалів і виробів (міцність, холодостійкість, стійкість проти корозії, зварюваність та ін.); 3) від'ємну температуру навколишнього повітря для трубопроводів, розташованих на відкритій поверхні або в неопалюваних приміщеннях, абсолютну мінімальну температуру цього району; 4) усе наведене?

10. Опишіть конструкцію підводних переходів та способи їх прокладання.

8. АЕРОДРОМИ

Загальні положення. Інженерні споруди льотної зони. Конструкції покриттів аеродромів. Робочі властивості ґрунтової основи аеродромів.

Навчальні цілі: спираючись на викладений матеріал, студент повинен уміти характеризувати основні споруди аеродромів, їх конструкцію і стан покриття злітно-посадкових смуг протягом року у різних кліматичних умовах.

Загальні положення. Повітряні сполучення, які виникли після створення літальних апаратів (літаків і вертольотів), викликали необхідність створення нових комплексів інженерних споруд – аеропортів. *Аеропортом* називають авіатransпортне підприємство, що здійснює регулярний прийом і відправлення пасажирів, вантажів, пошти і забезпечує організацію польотів та обслуговування літаків. Інтенсивність авіаперевезень у різних країнах світу наведена в табл. 8.1. До складу аеропорту входять аеродром, спеціальні наземні споруди і будівлі, світлове і радіотехнічне обладнання та ін. [15].

Таблиця 8.1 – Інтенсивність авіаперевезень у країнах світу

Країна	Пасажирооборот, млрд пас. – км	Вантажооборот, млн т – км
США	410	9850
Росія	184	3280
Великобританія	54	1230
Японія	56	2130
Канада	29	844
Франція	38	2300

Власне *аеродромом* називають земельну ділянку, таким чином підготовлену і обладнану, що вона забезпечує зліт, посадку, рулювання і технічне обслуговування літаків. *Аеродромні спорудження* – один із наймолодших видів будівництва. На зорі авіації, коли літаки були легкі, аеродромом служила рівна ділянка землі, не покрита ніяким міцним матеріалом (зазвичай зоране або засіяне травою поле), а довжина розбігу літака не перевищувала декілька сотень ме-

трів. У цей час (до першої світової війни) в Росії було всього 14 побудованих аеродромів.

Після революції почався бурхливий розвиток цивільної авіації, при цьому не тільки збільшувалося число літаків, протяжність авіаліній і кількість аеродромів, а й змінювалися літальні апарати. У міру збільшення ваги і швидкості літаків відбувалося зростання довжини злітно-посадкових смуг: до 1930 року – до 800 – 1000 м, до 1940 року – до 1500 м, а в даний час – до 2500 м. Відповідно змінювалися і вимоги до міцності покриттів тих ділянок злітно-посадкових смуг, які безпосередньо сприймають навантаження від літаків, які злітають або сідають. Нині *аеродром* – це складна інженерна споруда, що забезпечує цілорічну безперебійну роботу авіаційного транспорту, часто в складних природних умовах.

Залежно від свого призначення усі *авіалінії* поділяються на *міжнародні* та *внутрішні*, а останні – на *магістральні* і *місцеві*. Відповідно до цього і аеропорти за своїм призначенням поділяються на *міжнародні*, *державні* та *місцеві*. За своїм станом міжнародні та державні аеропорти повинні забезпечувати нормальну експлуатацію великовагових швидкісних літаків, тоді як місцеві – експлуатацію літаків легких і середніх типів. Залежно від річного обсягу пасажирських перевезень аеропорти поділяються на п'ять класів (табл. 8.2). Аеропорти з річним обсягом перевезень понад 7000 тис. осіб розглядають як *позакласні* і будують за індивідуальними проектами [15].

Таблиця 8.2 – Класи аеропортів

Клас аеропорту	Річний обсяг пасажирських перевезень, тис. осіб
I	4000
II	2000
III	600
IV	150
V	25

Для безперебійного постачання аеропортів паливом, експлуатаційними матеріалами та обладнанням прокладають рейкові під'їзні шляхи. Залежно від

типів літаків аеродроми в свою чергу (часто незалежно від аеропортів) поділяються на шість класів. За основу класифікації аеродромів (табл. 8.3) приймають злітно-посадкові характеристики літаків, призначених до експлуатації на аеродромі, ваги літака з урахуванням її розподілу на колеса шасі, оскільки ці характеристики визначають необхідні розміри всіх елементів аеродрому і необхідну міцність покриттів на них. Аеропорт I класу повинен мати аеродром класу А, II класу – аеродром класу Б тощо.

Таблиця 8.3 – Класи аеродромів

Елементи льотної смуги	Клас аеродрому					
	А	Б	В	Г	Д	Е
Довжина злітно-посадкової смуги (ЗПС), м	2600	2500	2000	1500	1000	600
Загальна ширина льотної смуги, м	360	345	342	285	213	191
У т.ч., м:						
ширина ґрунтової ЗПС	100	100	100	100	85	70
ширина ЗПС зі штучним покриттям	60	45	42	35	28	21
Ширина бічної смуги безпеки, м	100	100	100	75	50	50
Ширина руліжних доріжок (РД), м:						
магістральних і	22.5	21	16	16	14	10
сполучних допоміжних	21	18	16	14	12	8

За своїм призначенням аеродроми поділяються на *транспортні, спеціального застосування* (сільськогосподарської та лісової авіації, медичної допомоги, аерофотозйомки), *заводські* (для льотних випробувань), *шкільні* (навчальні) і *клубно-спортивні*. За тривалістю використання аеродроми діляться на *постійні* і *тимчасові*, а за видами обслуговування льотно-експлуатаційної здатності літаків – на *базові* (де базуються льотні підрозділи і виконується капітальний ремонт літаків), *початкові-кінцеві* (де починаються та закінчуються польоти за визначеним маршрутом), *проміжні* і *запасні*.

Виходячи з особливостей руху літака при зльоті та посадці аеродром повинен відповідати таким вимогам: 1) мати достатньо велику ділянку землі для безпечного зльоту і приземлення літаків з великими швидкостями (250 – 300 км/год); 2) мати на суміжних ділянках повітряний простір, вільний від пе-

решкод, для безпечного набору висоти при зльотах і зниженнях перед приземленням. У зв'язку з цим територію поділяють на власне аеродром і місцевість, що примикає до нього (приаеродромну територію), над якою в повітряному просторі здійснюється маневрування літаків. До останньої належать повітряні підходи до аеродрому, зони очікування (для очікування дозволу на посадку) та ін. До території власне аеродрому входять *льотна зона* і *зони забудови* (службові та житлові). Головною частиною аеродрому (рис. 8.1, [1]) є льотна зона, що включає в себе льотне поле, смуги безпеки і смуги повітряних підходів.

Льотне поле – це територія, підготовлена й обладнана для зльоту і приземлення літаків. Воно має бути гладким та вільним від перешкод. Сучасні льотні поля обладнують у вигляді смуг із співвідношенням сторін 1:3 – 1:8. Нижче будуть розглянуті розташовані на них інженерні споруди.

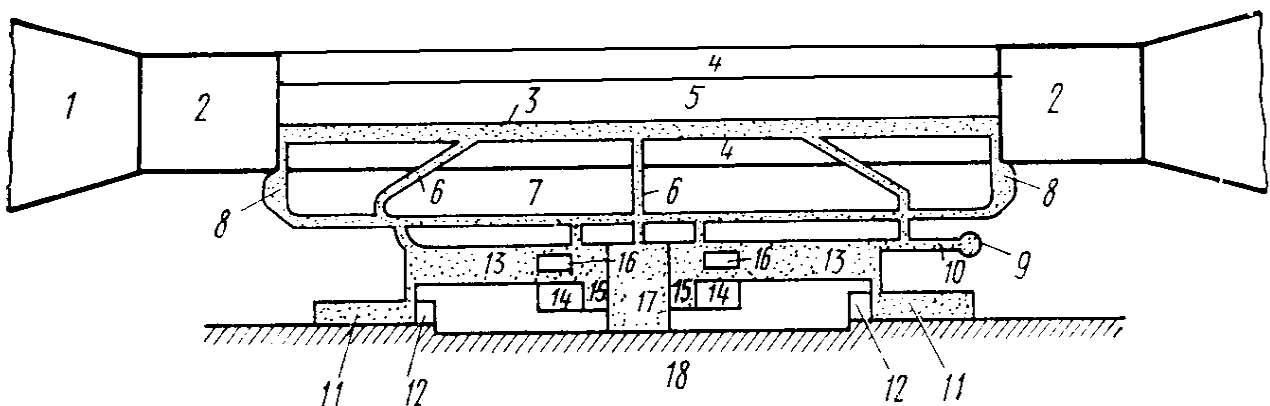


Рисунок 8.1 – План односмугового аеропорту: 1 – смуга повітряних підходів; 2 – кінцева смуга безпеки; 3 – злітно-посадкова смуга зі штучним покриттям; 4 – бічна смуга безпеки; 5 – ґрунтова злітно-посадкова смуга; 6 – сполучна стернова доріжка; 7 – магістральна руліжна доріжка; 8 – передстартовий майданчик; 9 – майданчик деавіаційних робіт; 10 – допоміжна стернова доріжка; 11 – ангарний майданчик; 12 – майданчик для миття; 13 – місця стоянок літака; 14 – перон вантажний; 15 – майданчик для пересувного обладнання; 16 – заправна станція; 17 – перон для пасажирів; 18 – службово-технічна територія

Смуги безпеки являють собою ділянки, які облямовують льотне поле і дозволяють літаку використовувати їх для рулювання (кінцеві) або при відхиленнях від руху по злітно-посадковій смузі (бічні). Надійність і розміри смуг безпеки залежать від категорії аеродрому і типів літаків.

Смуги повітряних підходів (СПП) – це ділянки, розташовані вздовж осі льотної смуги, але вже за межами власної території аеродрому. В межах цих смуг не повинно бути ніяких високих перешкод, які могли б створити небезпеку для літаків, що злітають або йдуть на посадку. Ширина таких смуг, як і довжина, залежить від категорії аеродрому і для деяких класів досягає десятки кілометрів (до 50 км). У межах СПП не допускається розташування будівель, пов'язаних з масовим скупченням людей, та складів нафтопродуктів. Повітряні високовольтні лінії мають бути розташовані не ближче 4 км від межі льотних смуг. Спеціальні інженерні споруди, якщо не брати до уваги освітлювальні прилади, в межах смуг повітряних підходів не створюють. Для надійності умов безпеки злетів і посадок літаків, а також усунення впливу шумів реактивних двигунів на населення доцільно не тільки будувати аеродроми на деякій відстані від міст, а й мати у своєму розпорядженні злітно-посадкові смуги в напрямку, де немає перетину міських територій. Необхідна мінімальна відстань від аеропорту до міської забудови залежить від класу аеродромів та типу літаків і становить не менше 30 км для позакласних, 20 – 10 км для II і III класів і не менше 5 км для аеропортів ще більш низького класу.

Інженерні споруди льотної зони. При сучасних злітно-посадкових швидкостях руху літаків та їх великій вазі аеродроми, які мають задервениту ґрунтову поверхню, не можуть забезпечити надійну експлуатацію аеродрому. Тим більше неможливо використання таких аеродромів у осінньо-весняний час і в періоди затяжних літніх дощів, коли ґрунти сильно зволожуються і льотне поле розмокає. У зв'язку з цим усі сучасні аеродроми, призначені для прийняття важких швидкісних літаків, обладнуються міцним штучним покриттям, яке витримує навантаження від колеса літака і гарантує цілорічну експлуатацію.

За своїм призначенням покриття аеродромів поділять на злітно-посадкові смуги (ЗПС), руліжні доріжки (РД), перони, місця стоянки літаків (МС) [15]. При використанні вертольотів влаштовують особливі посадкові майданчики. *Злітно-посадкова смуга* – частина льотної смуги, яка спеціально обладнана для зльоту і посадки літаків. Для забезпечення довговічності штучних покриттів ЗПС потрібно враховувати не тільки природно-кліматичні фактори, але і рельєф місцевості та ґрунтові і гідрогеологічні умови.

Руліжні доріжки – це спеціально підготовлені шляхи, які призначені для рулювання і буксирування літаків та які з'єднують між собою окремі елементи аеродрому. Руліжні доріжки поділяються на магістральні, з'єднувальні та допоміжні. *Магістральні* РД призначені для руху літаків на старт та зліт, а також на місце стоянки після посадки. На магістральних РД на відстані 150 – 200 м від ЗПС влаштовують спеціальні передстартові майданчики для випробування і запуску двигунів літаків. Для збільшення пропускної здатності ЗПС влаштовують сполучні РД швидкісного ходу.

Місцем стоянки літаків є майданчики, які призначені для їх стоянки і обслуговування. При безангарному зберіганні літаків на МС, щоб запобігти зрушення і пошкодження літаків від впливу вітрових навантажень, застосовують якірні кріплення. Літаки кріпляться до них тросами. Якірні кріплення – це фундаменти масивного типу у вигляді буронабивних паль з розширеною п'ятою. При заправці літаків паливом можливе утворення статичного електричного поля и для його зняття роблять заземлення в місцях примикання РД до ЗПС та стоянки літаків.

Надійна робота аеродрому в цілому і його інженерних споруд залежить від великого числа природних факторів, серед яких основними є клімат (напрямок вітрів, опади, тумани), рельєф місцевості і геолого-гідрогеологічні умови. Ці ж фактори в значній мірі визначають вибір напрямку ЗПС, конструкцію покриття і всю компактність аеродрому. Так, напрямок ЗПС приймається переважно від напрямку вітру, хоча в ряді випадків умови рельєфу (особливо в передгірних областях) можуть виявитися домінуючими.

Геолого-гідрогеологічні умови також дуже важливі. Розвиток сильно закарстованих і нестійких порід (сипучих пісків, болотних відкладень, лесових порід) створює умови, які ускладнюють будівництво аеродромів. Близьке залягання рівня підземних вод до денної поверхні заважає відведенню поверхневих вод та вимагає спеціальних заходів з дренажу та водозниження. Наявність засоленних ґрунтів, які агресивно діють на бетонні і асфальтобетонні покриття, також може несприятливо позначитися на стані інженерних споруд аеродрому.

Різноманітність природних і кліматичних умов, а також навантаження аеропорту не дозволяють мати універсальні і стандартні схеми розташування ЗПС і РД відносно до перону і будівлі аеровокзалу. Більшість сучасних міжнародних аеропортів побудовано за багатосмуговою системою (наприклад, аеропорт Орлі в Парижі), тоді як внутрішні аеродроми успішно працюють і при односмуговій системі. Постійний розвиток авіаційної техніки і поступова заміна одних типів літаків іншими (зазвичай все більш швидкісними) викликає необхідність розширення і реконструкції низки аеродромів. Цей процес буде йти і далі, тому при проектуванні аеродромів має враховуватися можливість такої реконструкції в майбутньому.

Конструкції покриттів аеродромів. Покриття злітно-посадкових смуг, руліжних доріжок і місць стоянки літаків є найбільш відповідальним, трудомістким і дорогим видом робіт на сучасних аеродромах. Вони повинні мати достатню довговічність і протягом цілого року однаково надійно забезпечувати збереження рівної поверхні. При цьому до *аеродромних покриттів* висувають такі технічні вимоги [16]: 1) міцність і довговічність; 2) рівність, зносостійкість і шорсткість поверхні, що забезпечує хороше зчеплення коліс з покриттям; 3) відсутність пилу; 4) стійкість при впливі кліматичних факторів і водонепроникність; 5) можливість механізації робіт при їх спорудженні, а також посилення покриття без розбирання під час реконструкції. Крім того, є ще ряд спеціальних вимог, як, наприклад, стійкість проти впливу пролитого палива і масла.

Конструктивно *аеродромне покриття* (рис. 8.2) складається з двох шарів (покриття і штучної основи), які лежать на природній основі (ґрунтовій товщі).

Власне покриття – це верхній, найміцніший і відносно тонкий шар, який безпосередньо сприймає ударне навантаження від коліс та володіє великим опором проти стирання. При зносі початкової шорсткості поверхню покриття періодично обробляють спеціальними речовинами, які її відновлюють. *Штучна основа* – це міцний несучий шар, який сприймає навантаження від покриття і складається з шару (або кількох шарів) щебеню, гравію, піску, оброблених органічними або мінеральними в'язучими матеріалами. Основне його призначення – це перерозподіл напружень від коліс на велику площу та їх передача на ґрунтову (природну) основу. Важливою умовою створення штучної основи є ізоляція від впливу підземних вод, а також водовідведення атмосферних опадів. Для забезпечення цієї умови в ряді випадків влаштовують дренажні шари в нижній частині штучної основи. Конструкція і товщина штучної основи у великій мірі залежать від наявних місцевих будівельних матеріалів. При цьому товщина її залежно від класу аеродрому коливається від 10 – 15 см для пісків до 35 – 50 см для пилюватих ґрунтів [16].

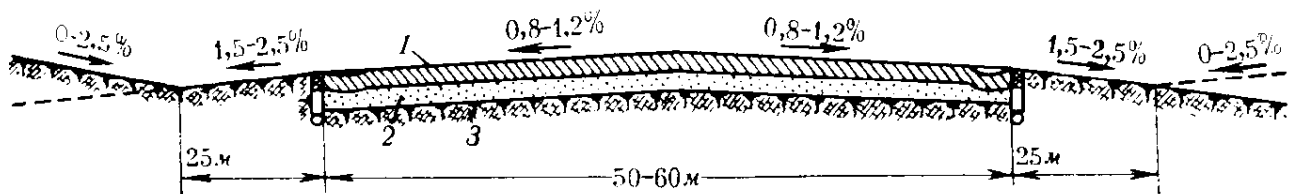


Рисунок 8.2 – Будова аеродромного покриття [1]:

1 – власне покриття; 2, 3 – відповідно штучна і природна основа

Природна основа являє собою верхній шар ґрунту, вирівняного й ущільненого перед нанесенням на нього штучного покриття. Ретельність підготовки природної основи в значній мірі визначає стійкість всього покриття, тому – особливо важлива.

Щодо опору на вплив навантаження покриття бувають жорсткі і нежорсткі. У *жорстких покриттях* сама конструкція здатна сприймати розтягувальні зусилля, і тому вони працюють як плита, де навантаження розподіляється на

велику площу. У *нежорстких покриттях* не відбувається такого розподілу, тому під ними ґрунтова основа сприймає більш концентровані напруження і відчуває великі деформації. До жорстких покриттів відносяться бетонні, залізобетонні і асфальтобетонні типи. До нежорстких – всі інші, в яких використовуються щебенисті, гравійні та інші ґрунти, оброблені в'язучими матеріалами.

Щодо *терміну служби і ступеня досконалості* аеродромні покриття поділяються на *капітальні, вдосконалені, спрощені і тимчасові*. Найбільш досконалими покриттями, які мають термін служби, що перевищує 25 років (і навіть 50), є бетонні та залізобетонні: вони здатні сприймати навантаження до 25 – 35 т на колесо літака. Зараз такі покриття створюють зі збірного та монолітного залізобетону з попереднім навантаженням арматури. Такий тип покриття застосовується як капітальне на позакласних і інших аеродромах. Товщина таких покриттів досягає 30 см і більше.

Нежорсткі покриття, що застосовуються на менш висококласних аеродромах, ніж жорсткі, являють собою багатошарові конструкції з кам'яних матеріалів і місцевих ґрунтів, оброблених в'язучими речовинами. Вони слабо чинять опір вигину, і їх міцність головним чином визначається опором стисненню ґрунтів природної основи. Капітальні покриття цього типу, виконані з асфальтобетону або щебеню, обробленого органічними в'язучими матеріалами, або з цементоґрунту, мають меншу довговічність, ніж бетонні та залізобетонні. Однак їх ремонт виявляється набагато простішим та дешевшим і може виконуватися в процесі експлуатації аеродрому.

Необхідно відзначити, що вибір типу покриття, а також всієї його конструкції здійснюється відповідно до призначення (капітальністю) аеродрому, проектного навантаження (типа літаків, для яких призначається аеродром) та інженерно-геологічних умов території. Для міцної природної основи (скельні, напівскельні, гравійно-галькові і крупнопіщані ґрунти) зазвичай приймають один із нежорстких типів покриття. У всіх інших випадках, коли природна основа складена піщано-глинистими, пілуватими та іншими дисперсними ґрунтами, для сучасних аеродромів, призначених для посадки важких літаків, виби-

рають жорсткі бетонні та залізобетонні покриття. Для більш легких літаків або для вдосконалених аеродромів при подібних ґрунтах покриття може мати вигляд нежорстких конструкцій. Тип покриття вибирається в процесі проектування за результатами розрахунків міцності і стійкості споруди та її основи. Для проведення цих розрахунків необхідно знати характеристики міцності і деформації ґрунтів природної основи, а також матеріалів, з яких створюється штучна основа. Ці характеристики отримують в процесі інженерно-геологічних досліджень шляхом спеціальних лабораторних і польових випробувань.

Стан ґрунтової основи аеродромів. Міцність і деформація ґрунтів (їх опір навантаженням) в значній мірі залежать від їх вологості. Це відноситься до ґрунтів, що складають як поверхню аеродрому, так і його природну основу з покриттям. Особливо значне зниження опору навантаженням відбувається при вологості, яка наближається до капілярного водонасичення (від 30 до 60 % від повної вологості ґрунтів залежно від їх складу). Для боротьби з перезволоженням ґрунту передбачається система водовідведення, яка включає споруди для збору, затримки і відводу води від земляного полотна.

Вода, яка стікає з покриття, надходить у відкриті лотки в обабіч, потім у дощоприймачі, а потім – в колектори. Відведення води з дренажних шарів штучних покриттів здійснюється встановленням дренажів, які влаштовують уздовж низових крайок покриттів. Вода із дренажів направляється в оглядові колодязі й колектори. Для поліпшення водного режиму території та створення нормальних умов експлуатації аеродрому здійснюються заходи щодо покращення умов поверхневого стоку і зниження рівня ґрунтових вод. У ряді випадків поверхню аеродрому підвищують шляхом підсилення ґрунту і створення насипної основи. Виникнення надмірного зволоження можливо в результаті ряду причин, головними з яких є: ускладнений стік атмосферних опадів, які випадають у межах льотного поля; приплив зливових і талих вод з територій, що примикають до аеродрому; близьке залягання до поверхні підземних вод; підтоплення території паводковими водами сусідніх водотоків.

Стік поверхневих вод покращують шляхом планування території та створення систем нагірних канав і водостічної мережі. Злітно-посадковій смузі, руліжним доріжкам і місцям стоянок літаків надають поздовжні і поперечні ухили, які забезпечують вільний стік води. Водостічна мережа із системою дощоприймачів, осушувачів і водовідвідних колекторів збирає зливові і талі води з льотного поля та навколишньої території і захищає ґрунти основи, а також всю територію аеродрому від надмірного зволоження. Ця мережа виводить зібрані води за межі аеродрому.

Зниження рівня ґрунтових вод здійснюється шляхом створення системи дренажів (рис. 8.3), яка складається з дренажних траншей або колодязів, з'єднаних за допомогою збирачів і колекторів. Вода, зібрана дренажами, надходить у водостічну мережу і відводиться за межі аеродрому [16].

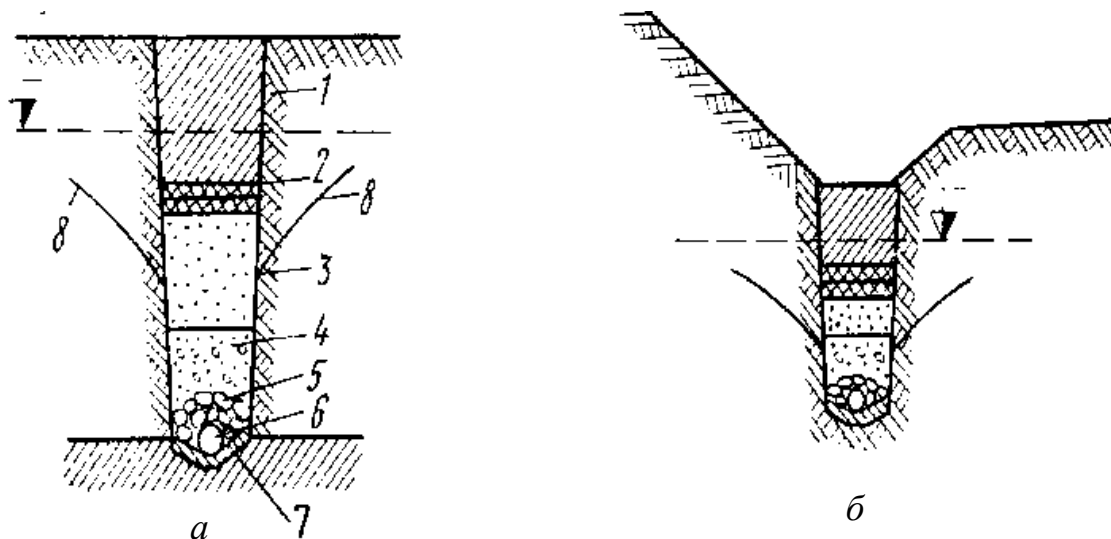


Рисунок 8.3 – Схема закритого дренажу: *а* – звичайного; *б* – підкюветного;

- 1 – утрамбований глинистий ґрунт; 2 – два шари дерну корінням униз;
- 3 – крупнозернистий або середньозернистий пісок; 4 – щебінь або гравій;
- 5 – щебінь або гравій розміром 40 – 70 мм; 6 – дренажна труба;
- 7 – щебінь, який втрамбовано в ґрунт; 8 – депресійна крива

Протягом року вологість ґрунтів льотного поля й основи не залишається постійною. Восени за рахунок зменшення випаровування при зниженні темпе-

ратури і кількості опадів вологість ґрунтів збільшується. Зі встановленням зимового періоду з від'ємними температурами відбувається перерозподіл вологи. Різниця температур поверхневих і глибинних горизонтів ґрунтової товщі викликає міграцію вологи від більш теплих глибоких шарів до більш холодних поверхневих. Волога, яка накопичується в поверхневому шарі, замерзає та утворює прошарки і лінзи льоду, що збільшує обсяг ґрунту і може викликати деформацію покриття.

Навесні після відтавання лінз льоду спостерігається місцеве перезволоження ґрунту (вологість може перевищувати межу плинності) і втрата ним міцності і стійкості. Відтавання відбувається не тільки з поверхні, але й за рахунок припливу тепла з надр Землі. Крім того, відтавання ґрунтів під очищеним від снігу покриттям йде швидше, ніж під територію аеродрому, прикритою снігом. Тому під центральною частиною злітно-посадкових та інших смуг ґрунт відтає раніше. Це також створює нерівномірність навантаження ґрунту і може викликати небажані деформації покриття. Зниження несприятливого ефекту, надмірного і нерівномірного зволоження ґрунтів у весняний час здійснюється розвинутою системою дрен (дрени, фільтруючий шар піску, який укладається в основу покриття). Проте умови експлуатації цих систем у зв'язку з великою довжиною шляху фільтрації та малою потужністю і водопроникністю піщаних дренажних шарів виявляються досить важкими. У результаті навесні часто виникають деформації покриттів і труднощі в експлуатації аеродромів.

У літню пору водний режим території аеродрому поліпшується за рахунок зростання випаровування, яке викликає поступове висихання ґрунтів основи покриття. Нині кількість опадів у багатьох районах виявляється меншою, ніж восени, що в свою чергу веде до зниження рівня ґрунтових вод. Така зміна водно-температурного режиму ґрунтів основи викликає значні коливання їх міцності протягом року. Як свідчать дослідження, у весняні місяці зниження міцності для найбільш чутливих до цього ґрунтів досягає 30 – 50 %.

Викладений стан ґрунтової основи – типовий для нашої країни, де кліматичні періоди року мають приблизно рівну тривалість. Однак природно-

кліматичні умови світу дуже різноманітні. На великих територіях Півночі і Далекого Сходу спостерігаються багатолітні мерзлі породи, а південні райони примикають до тропіків. Останні мають великі території, покриті жаркими пустелями із сипкими пісками і засоленими ґрунтами. У багатьох районах, переважно з дефіцитом зволоження, розвинені лесові ґрунти які просідають. Все це створює особливі і дуже часто складні інженерно-геологічні умови експлуатації аеродромних споруд.

Так, особливо складними для аеродромів є умови територій розвитку багатолітніх мерзлих ґрунтів. Для цих територій характерне утворення крижаних горбів, які виникають під час сильних морозів у результаті виходу на поверхню ґрунтових вод. Іншою характерною особливістю цих районів є наявність тут, так званого «діяльного» верхнього шару ґрунту, який влітку відтає, а взимку промерзає і з'єднується з товщею багатолітніх мерзлих порід. Потужність цього шару на Крайній Півночі становить 0,2 – 0,7 м у глинистих і болотних ґрунтах і 1,0 – 1,6 м у пісках. Також мерзлі ґрунти є водонепроникними, що викликає застій вологи в «діяльному» шарі і сильно знижує його опір всім видам навантажень. Це різко погіршує несучу здатність ґрунтів основи протягом усього теплого часу року.

Отже, у багатолітніх мерзлих районах для розміщення аеродромів найбільш сприятливими є ділянки, складені кам'янистими, гравілістими і піщаними сухими ґрунтами, які не міняють своїх властивостей при замерзанні і відтаванні. Також відносно сприятливими є території, де потужність багатолітніх мерзлих ґрунтів перевищує 5 – 6 м завдяки чому при відтаванні вони не переходять у пливунний стан.

Спорудження аеродрому на заболоченій ділянці так само, як і на території розвитку слабоущільнених мулкуватих ґрунтів, – складне інженерне завдання. Зазвичай це спостерігається при реконструкції і розширенні площі аеродромів. Приклади подібних умов відомі при реконструкції аеродромів у Нью-Йорку, Осло, Гонконгу та інших містах. Найбільш радикальним тут є повне видалення

шару торфу або мулів і заміна його піщаними або іншими стійкими ґрунтами. Відомі приклади ущільнення подібних ґрунтів за допомогою піщаних паль.

Труднощі будівництва аеродромів у аридних областях із засоленими ґрунтами пов'язані з агресивною дією цих ґрунтів на матеріал покриття, а також елементи водовідвідних мереж. Крім того, багато глинистих ґрунтів цих областей мають дуже високу ступень набухання, що в короткі часи зливових дощів (мусонів) створює свої труднощі для роботи аеродромів.

Пустелі з їх рухливими пісками дуже впливають на специфіку експлуатації аеродромних споруд: можливість занесення піском злітно-посадкових та інших смуг, рознесення ґрунту поблизу від покриття та значний пил на території.

Питання до самоконтролю

1. Охарактеризуйте аеропорти та аеродроми за класами.
2. Опишіть приаеродромну територію і смуги повітряних підходів.
3. Наведіть технічні вимоги до рельєфу поверхні аеродромів.
4. За якими ознаками здійснюється планування злітно-посадкових смуг і руліжних доріжок? Наведіть елементи злітних смуг та опишіть їх призначення.
5. За якими принципом вибирається злітно-посадкова смуга і визначається її довжина за стандартом?
6. З яких елементів складається конструкція аеродромного покриття (виберіть одну відповідь): 1) власного покриття, штучної і природної основи; 2) збірного залізобетону та ґрунту; 3) кам'яних матеріалів і місцевих ґрунтів; 4) покриття та штучної основи?
7. Які висувуються вимоги до смуг повітряних підходів з метою створення безпечних умов зльоту і посадки літаків?
8. Охарактеризуйте умови підтримки стану льотних полів у весняно-літній та осінньо-зимовий періоди.
9. Від чого залежить товщина ґрунтової основи аеродрому, яка стискається (виберіть одну відповідь): 1) нормативного навантаження на основну опору літака з урахуванням кількості коліс шасі і внутрішнього тиску повітря у пнев-

матиках коліс; 2) аеродинамічних навантажень від газоповітряних струменів авіадвигунів; 3) навантажень від транспорту, використовуваного при будівництві штучних покриттів?

10. Перелічіть заходи щодо покращання умов поверхневого стоку і зниження рівня ґрунтових вод на аеродромах.

9. ДРЕНАЖНІ СПОРУДИ

Загальні положення. Типи дренажів та вихідні дані для їх проектування. Загальні умови вибору системи дренажу. Характеристики дренажу.

Навчальні цілі: спираючись на викладений матеріал, студент повинен уміти обґрунтовувати і вибирати ефективну систему дренажних заходів залежно від рельєфу, забудови та інженерно-геологічних умов території.

Загальні положення. Для захисту заглиблених частин будівель (підвалів, технічних підпілля, приямків), квартальних колекторів і комунікаційних каналів від підтоплення ґрунтовими водами треба передбачати дренажі. *Проектування дренажів* слід виконувати на основі конкретних даних про гідрогеологічні умови місця будівництва об'єкта, ступінь агресивності підземних вод до будівельних конструкцій, об'ємно-планувальні і конструктивні рішення захисних будівель і споруд, а також функціональні призначення приміщень.

Облаштування дренажів обов'язково у місцях розташування [17]:

– підлог підвалів, технічних підвалів, квартальних колекторів і каналів для комунікацій нижче розрахункового рівня підземних вод або коли перевищення підлог над розрахунковим рівнем підземних вод менше 50 см;

– підлог експлуатованих підвалів, квартальних колекторів і каналів для комунікацій у глинистих і суглинних ґрунтах незалежно від наявності підземних вод;

– підлог підвалів у зоні капілярного зволоження, коли в підвальних приміщеннях не допускається появи вогкості;

– підлог технічного підпілля в глинистих і суглинних ґрунтах при їх зануренні на глибину понад 1,3 м від планувальної поверхні землі незалежно від наявності підземних вод;

– підлог технічного підпілля в глинистих і суглинних ґрунтах при їх зануренні на глибину менше 1,3 м від планувальної поверхні землі при розташуван-

ні підлоги на фундаментній плиті, а також у випадках, коли з нагірного боку до будівлі підходять піщані лінзи або розташований тальвег.

Для виключення обводнення ґрунтів територій і надходження води до будівель і споруд, крім дренажів, необхідно передбачити:

- нормативне ущільнення ґрунту при засипці котлованів і траншей;
- водовідвідні відкриті лотки перерізом $\geq 15 \times 15$ см з поздовжнім ухилом ≥ 1 % при відкритих водостоках;
- встановлення вимощення біля будівель шириною ≥ 1100 см з активним поперечним ухилом від будівель ≥ 2 % до доріг або лотків;
- герметичне закриття отворів у зовнішніх стінах і фундаментах на входах і виходах інженерних мереж;
- постійний поверхневий стік з території проєктованого об'єкта, якій не погіршує відведення дощових і талих вод з прилеглої площі.

При загальному зниженні рівня підземних вод на території будівництва позначки їх зниженого рівня слід встановлювати на рівні 0,5 м нижче підлог підвалів, технічних підвалів, каналів для комунікацій та інших споруд. У разі неможливості або недоцільності загального зниження рівня підземних вод мають передбачатися місцеві дренажі для окремих будівель і споруд (або груп будинків). *Місцеві дренажі*, як правило, слід робити у разі значного заглиблення підземних поверхів окремих будівель при неможливості самопливного відведення дренажних вод.

Типи дренажів. Залежно від розташування дренажів відносно водотриву вони можуть бути досконалого або недосконалого типу. Дренаж *досконалого типу* закладається на водотриви. Ґрунтові води надходять у дренаж зверху і з боків. Згідно з цими умовами дренаж досконалого типу повинен мати обсіпку зверху і з боків. Дренаж *недосконалого типу* закладається вище водотриву. Ґрунтові води надходять у дренаж з усіх боків, тому обсіпка повинна виконуватися замкнутою з усіх боків.

Вихідні дані для проєктування дренажу. Для складання *проєкту дренажу* слід мати такі дані і матеріали:

- висновок про гідрогеологічні умови будівництва;
- план території в масштабі 1: 500 з існуючими і проєктованими будівлями і підземними спорудами;
- проєкт створення рельєфу;
- плани і позначення підлог підвальних приміщень та підвалів будинків;
- плани, розрізи і розгортки фундаментів будівель;
- плани, поздовжні профілі і розрізи підземних каналів.

У *технічному висновку* про гідрогеологічні умови будівництва слід навести характеристики підземних вод, геолого-літологічні умови ділянки та фізико-механічні властивості ґрунтів.

У *розділі характеристики підземних вод* слід навести [17]:

- джерела живлення підземних вод;
- режим підземних вод і відмітки їх рівнів, а в деяких випадках і висоту зони капілярного зволоження ґрунту;
- дані хімічного аналізу і висновок про агресивність підземних вод відносно бетонів та цементних розчинів.

У *геолого-літологічному розділі* дається загальний опис складу ділянки.

У *характеристиці фізико-механічних властивостей ґрунтів* повинні бути вказані:

- гранулометричний склад піщаних ґрунтів;
- коефіцієнти фільтрації піщаних ґрунтів, супісків та ін.;
- коефіцієнти пористості і водовіддачі;
- кут природного нахилу і несуча здатність ґрунтів.

До *висновку* додаються геологічні розрізи і стратиграфічні колонки ґрунтів, необхідних для складання геологічних розрізів траси дренажів. У разі необхідності, в складних геологічних і гідрогеологічних умовах, до проєктів дренажу кварталів і мікрорайонів до технічного висновку прикладаються карти гідроізопіс.

Загальні умови вибору системи дренажу. Система дренажу вибирається залежно від характеру об'єкта, який захищається, і гідрогеологічних умов. При проєктуванні нових кварталів і мікрорайонів на територіях з високим рівнем

підземних вод має бути розроблена *загальна схема дренажів*. До складу схеми входять системи дренажів, які забезпечують загальне зниження рівня підземних вод на території кварталу (мікрорайону), і місцеві дренажі для захисту від підтоплення підземними водами окремих споруд (табл. 9.1).

Таблиця 9.1 – Класифікація і види дренажів

Вид дренажу		
Загальний	Місцевий	
	для груп споруд	для окремих споруд
Головний або береговий	Кільцевий	Підземних каналів
		Приямків
Систематичний	Плстовий	Дорожній
		Річок, струмків і балок
Систематичний	Плстовий	Застінний
		Підземних частин будівель

Для осушення територій, що підтоплюються потоком підземних вод з області живлення, яка розташована поза цією територією, слід влаштовувати головний дренаж (рис. 9.1). На територіях із шаруватою будовою водоносного пласта слід обладнувати як загальні системи дренажів, так і місцеві окремі. На територіях при будівництві окремих споруд, що потребують захисту від підтоплення ґрунтовими водами, слід робити локальні дренажі. При проектуванні і будівництві цих дренажів необхідно враховувати їх вплив на сусідні існуючі споруди.

Головний дренаж слід закладати поверх, відносно підземного потоку та границі території, яка дронується. Трасу дренажу вибирають з урахуванням розміщення забудови і за можливості в місцях з більш високими відмітками водотриву.

Головний дренаж повинен, як правило, перетинати потік підземних вод по всій його ширині. При довжині головного дренажу, меншій ширини підземного потоку, слід влаштовувати додаткові дрени вздовж границі території, яка дронується. При неглибокому заляганні водотриву головний дренаж слід закла-

дати на його поверхні (з деяким заглибленням у нього) з метою повного перехоплення потоку підземних вод. У тих випадках, коли немає можливості закласти дренаж на позначці водотриву, то за умовами дренажу слід у повній мірі перехопити потік підземних вод та нижче дренажу зробити екран з водонепроникного шпунтового шару, опущеного нижче позначки водотриву.

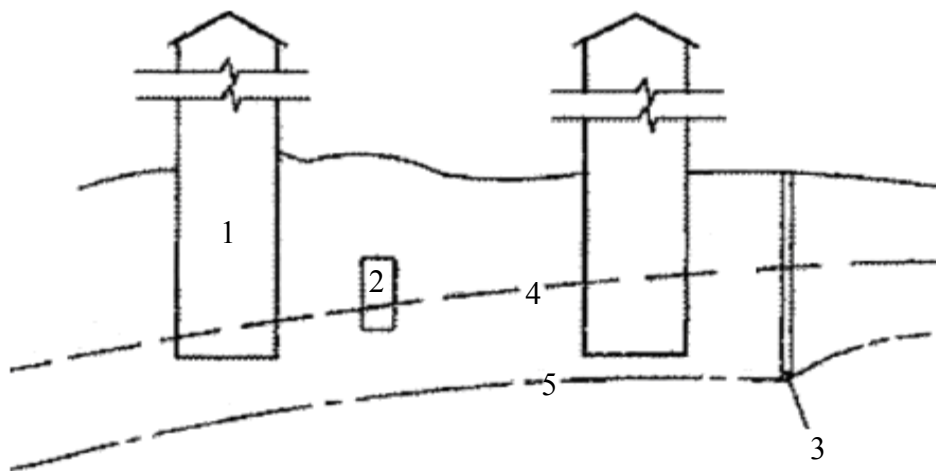


Рисунок 9.1 – Вигляд головного дренажу [6]: 1 – будівля; 2 – колектор; 3 – дренаж; 4, 5 – відповідно рівень підземних вод до і після зниження

При глибокому заляганні водотриву головний дренаж закладають вище нього, як дренаж недосконалого типу. У цьому разі слід зробити розрахунок депресійної кривої. Якщо однієї лінії головного дренажу недостатньо для зниження рівня підземних вод до заданих позначок, слід запроектувати другу лінію дренажу паралельно головному. Відстань між лініями визначається розрахунком.

Якщо частина водоносного пласта, яка розташована над дренажем, складається з піщаних ґрунтів з коефіцієнтом фільтрації менше 5 м/добу, то нижню частину траншеї дренажу засипають піском з коефіцієнтом фільтрації більше 5 м/добу. Висота засипки піском становить $0,6 - 0,7H$, де H – висота від низу траншеї дренажу до незниженого рівня підземних вод. При шаруватій будові частини водоносного пласта, розташованого над дренажем, з чергуванням прошарків піску та суглинків, траншею дренажу засипають піском з коефіцієнтом фільтрації більше 5 м/добу, при чому на 30 см вище рівня підземних вод. При

цьому піском засипають всю ширину траншеї. Для головного дренажу досконалого типу коли водоносний пласт не має глинистих, суглинних і супіщаних прошарків, піщану призму можна зробити тільки з одного боку траншеї (з боку припливу води). Якщо головний дренаж закладається у шарі порівняно слабопроникних ґрунтів, які підстилаються добреводопроникними, слід прокласти комбінований дренаж, що складається з горизонтальної дрени і вертикальних колодязів.

Систематичний дренаж. На територіях, де підземні води фільтруються в різних напрямках, а водоносний пласт складений піщаними ґрунтами або має шарувату будову з незамкненими піщаними прошарками, слід прокласти систематичний дренаж. У міських умовах він може об'єднуватися з місцевими дренажами. У цьому разі при проектуванні окремих дрен слід реалізувати можливість їх одночасного використання як місцевого дренажу, що захищає окремі споруди й елементи систематичного дренажу, забезпечуючи загальне зниження рівня ґрунтових вод на території. При закладенні дрен систематичного дренажу в шарі ґрунту зі слабкою водопроникністю, який підстилається добреводопроникними ґрунтами, слід застосовувати комбінований дренаж, що складається з горизонтальних дрен з вертикальними колодязями (рис. 9.2, [6]).

При неоднорідній будові водоносного пласта, коли горизонтальна дрена проходить у верхньому менш проникному шарі, а нижче знаходиться більш проникний шар, влаштовують комбінований дренаж, який складається з горизонтальної дрени і вертикальних колодязів-фільтрів. На територіях, що підтоплюються потоком ґрунтових вод, область живлення яких охоплює також і територію, що дронується, слід використовувати разом головний і систематичний дренажі. Для захисту від підтоплення ґрунтовими водами підвальних приміщень окремо розташованих будівель або групи будинків під час закладення підвалів у водоносних піщаних ґрунтах слід робити кільцеві дренажі. *Кільцеві дренажі* застосовують також для захисту заглиблених підвалів у нових кварталах і мікрорайонах при недостатній глибині зниження рівня ґрунтових вод загальною системою дренажу території.

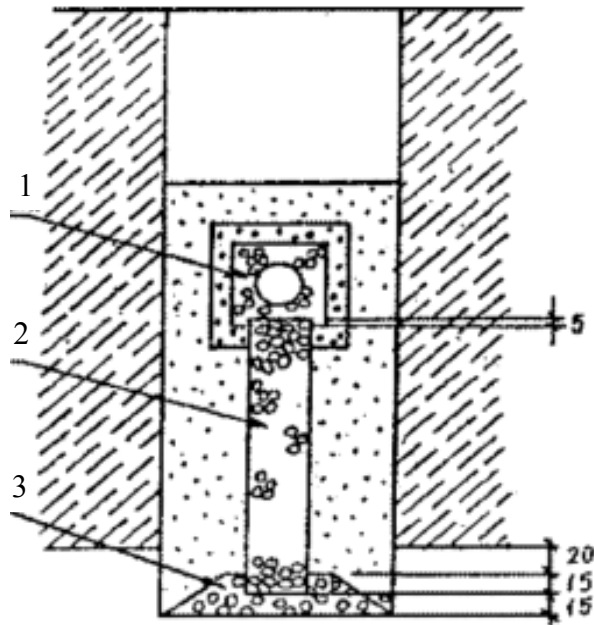


Рисунок 9.2 – Загальний вигляд комбінованого дренажу з вертикальним зливом колодязя (розміри в см): 1 – горизонтальний дренаж; 2 – труба з гравієм; 3 – призма з гравію

При більш великій водопроникності піщаних ґрунтів, а також під час закладення дренажу на водотриву можна влаштовувати загальний кільцевий дренаж для групи сусідніх будівель. При надходженні ґрунтових вод дренаж може мати вигляд незамкненого кільця за типом головного дренажу. Кільцевий дренаж треба закладати нижче рівня підлоги споруди, яка захищається та прокладається на відстані 5 – 8 м від стіни будови. При великому заглибленні дренажу необхідно вжити заходи проти винесення, ослаблення і осідання ґрунту під фундаментом будівлі.

Пристінний дренаж. Для захисту від ґрунтових вод підвальних приміщень та підвалів будівель, які закладаються в глинистих і суглинних ґрунтах, слід застосовувати пристінні дренажі. Пристінні «профілактичні» дренажі необхідно прокладати також і за відсутності ґрунтових вод у зоні підвалів і підпілля, які будуються в глинистих і суглинних ґрунтах [18].

При шаруватій будові водоносного пласта для захисту підвалів і підпілля споруд слід прокладати пристінні або кільцеві дренажі залежно від місцевих

умов. Якщо окремі частини будівлі розташовуються на ділянках з різними геологічними і гідрогеологічними умовами, то на цих ділянках можна застосовувати як кільцевий, так і пристінний дренажі. Пристінний дренаж прокладають уздовж контуру будівлі із зовнішнього боку. Відстань між дренажем і стіною будівлі визначається шириною фундаментів будівлі і розміщенням оглядових колодязів дренажу.

Пристінний дренаж, як правило, треба прокладати нижче підшви стрічкового фундаменту або основи фундаментної плити. При великій глибині закладення фундаментів від рівня підлоги підвального приміщення пристінний дренаж може бути закладений вище підшви фундаментів.

Пристінний дренаж, побудований із застосуванням сучасних полімерних фільтруючих матеріалів (оболонка «дреніз»), зменшує його вартість за рахунок економії піску. Ця оболонка являє собою двошарову конструкцію, складену з: листа спеціального профілю полімерного матеріалу (поліетилен, поліпропілен, полівінілхлорид) і нетканого геотекстильного фільтруючого матеріалу, які скріплюються між собою за допомогою зварювання або водостійкого клею. Листи оболонки з'єднуються між собою внахлест.

Пластовий дренаж. Для захисту від підтоплення ґрунтовими водами підвальних приміщень та підпілля будівель, які прокладаються у складних гідрогеологічних умовах, як-то: у водоносних пластах великої потужності, при шаруватій будові водоносного пласта, за наявності напірних підземних вод, а також у разі недостатньої ефективності використання кільцевого або пристінного дренажу, слід будувати пластові дренажі [18].

У водоносних пластах великої потужності слід попередньо розраховувати показник можливого зниження рівня підземних вод у центрі контуру кільцевого дренажу. У разі недостатнього зниження рівня ґрунтових вод треба застосувати пластовий дренаж, який влаштовують у вигляді шару піску, що підсипається на дно котловану під будівлю або в траншеї для каналу. Шар піску в поперечному напрямку прорізають призмами з гравію або щебеню.

При складній будові водоносного пласта зі зміною його складу і водопроникності (в плані і розрізі), а також за наявності обводнених зон під підлогою підвального приміщення роблять пластові дренажі. За наявності напірних підземних вод слід застосовувати кільцевий або пластовий дренаж залежно від місцевих гідрогеологічних умов з відповідним обґрунтуванням.

Для захисту підвальних приміщень і споруд, в яких за умовами експлуатації не допускається поява вогкості, при закладенні цих приміщень у зоні капілярного зволоження ґрунтів слід влаштовувати пластові дренажі. Ці дренажі прокладають у поєднанні з трубчастими дренажами (кільцевими і пристінними). Для з'єднання пластового дренажу із зовнішнім прокладають трубчастий дренаж. Для підпілля будівель з фундаментами на палях пластовий дренаж влаштовують у поєднанні з однолінійним дренажем, який прокладається під будівлею.

Характеристики дренажу. *Траси* кільцевих, пристінних і супутніх дренажів визначаються прив'язкою до споруди, яка захищається. Траси головних і систематичних дренажів визначаються відповідно до гідрогеологічних умов та умов забудови [18].

Глибина закладення дренажів повинна бути більше глибини промерзання ґрунту. Глибина закладення головних, кільцевих і систематичних дренажів визначається величиною заглиблення захисних будівель і споруд. Глибина закладення пристінних і супутніх дренажів визначається відповідно до глибини закладення споруд, що захищаються. *Поздовжній нахил* дренажу рекомендується приймати не менше 0,002 для глинистих ґрунтів і 0,003 – для піщаних ґрунтів. Найбільший нахил дренажів слід визначати виходячи з максимально допустимої швидкості течії води в трубах.

Оглядові колодязі слід встановлювати в місцях поворотів траси і зміни нахилу на перепадах, а також між цими точками при великих відстанях. На прямих ділянках дренажу необхідна відстань між оглядовими колодязями – 40 м, а найбільша відстань між оглядовими колодязями дренажу – 50 м.

Вода з дренажів надходить у водостоки, водойми та яри. При випуску води у водойму дренаж слід закладати вище горизонту води у водоймі (що спостерігається під час паводку). При короткочасному підвищенні рівня води водойми дренаж слід закладати нижче повеневого горизонту за умови обладнання дренажу зворотним клапаном випуску води. Гирлова ділянка дренажного випуску у водойму має бути заглиблена нижче горизонту води на товщину крижаного покриття з обладнанням перепадного колодязя. У разі неможливості влаштування пристрою випуску води з дренажу самопливом необхідно передбачити насосну станцію (установку) перекачування дренажних вод, яка працює в автоматичному режимі.

При проектуванні дренажу слід розглянути варіант його спільного прокладення з водостоком. При достатній глибині закладення водостоку дренаж слід розташовувати над водостоком в одній вертикальній площині з випуском дренажних вод у кожен оглядовий колодязь. Відстань у просвіті між трубами дренажу і водостоку має бути не менше 5 см. У разі неможливості через глибини закладення розташувати дренаж над водостоком треба закладати дренаж паралельно водостоку.

Для дренажу слід застосовувати азбестоцементні труби. Виняток становлять дренажі, які закладаються в підземних водах, агресивних до бетонів та розчинів на портландцементі. У цьому разі для дренажу слід застосовувати пластмасові труби.

Водоприймальні отвори в трубах треба влаштовувати у вигляді пропилів шириною 3 – 5 мм. Довжина пропила має дорівнювати половині діаметра труби. Пропили роблять з обох боків труби в шаховому порядку. Відстань між отворами на одному боці – 50 см. Є варіант з просвердлюванням водоприймальних отворів. При укладенні труб необхідно враховувати, щоб пропили знаходились збоку труби (верх і низ труби повинен бути без розрізання).

Азбестоцементні труби з'єднують муфтами. При застосуванні полівінілхлоридних труб водоприймальні отвори виконуються аналогічно азбестоцемент-

тним трубам. Гофрована дренажна труба з поліетилену виготовляється з водоприймальними отворами.

Дренуючі обсіпки, відповідно до складу ґрунтів, виконують одношаровими або двошаровими. При розташуванні дренажу в пісках великої і середньої крупності (при середньому діаметрі частинок 0,3 – 0,4 мм і більше) роблять *одношарові обсіпки* з гравію або щебеню. При розташуванні дренажу в пісках середньої крупності із середнім діаметром частинок, меншим 0,3 – 0,4 мм, а також в дрібних і пилюватих пісках, супісках – *двошарові обсіпки*. Внутрішній шар обсіпки роблять із щебеню, а зовнішній – піску. Для *внутрішнього шару дренуючих обсіпок* застосовують гравій, за відсутності його – щебінь вивержених гірських порід (граніт, сієніт, габро, базальт, діабаз). Для *зовнішнього шару обсіпок* застосовують піски, які є продуктом вивітрювання вивержених порід. Матеріали для дренуючих обсіпок мають бути чистими і не містити більше 3 – 5 % за вагою частинок з діаметром менше 0,1 мм.

Дренажі слід укладати в сухі траншеї. У піщаних ґрунтах застосовують водозниження голкофільтрами. При закладенні дренажу в місцях водотриву застосовують водовідлив, заморожування або хімічне закріплення ґрунтів. Труби дренажів недосконалого типу укладають на нижні шари дренуючої обсіпки, які, в свою чергу, укладаються безпосередньо на дно траншеї.

Питання до самоконтролю

1. Які природні чинники свідчать про доцільність застосування дренажу? Назвіть основні види дренажних споруд.
2. Наведіть перелік матеріалів, необхідних для складання проекту дренажу.
3. Що являють собою дренажні споруди – це (виберіть одну відповідь):
1) траншеї і канали; 2) водознижуючі свердловини; 3) водовідвідні канали і греблі; 4) штучний шар ґрунту?
4. Охарактеризуйте та опишіть способи закладення головного дренажу.

5. Опишіть дренаж горизонтального типу і засоби його розташування залежно від геолого-гідрологічних умов території.

6. Що формує систему осушення території (виберіть одну відповідь):
1) окремі дренажні пристрої; 2) сукупність дренажних технічних засобів;
3) дренажні споруди; 4) свердловини?

7. Охарактеризуйте кільцевий горизонтальний і вертикальний дренажі та опишіть послідовність їх прокладення.

8. З яких елементів складається пристінний дренаж?

9. Опишіть місця та послідовність прокладення пластового дренажу.

10. Якої глибини слід дотримуватися під час закладення дренажів і супутніх споруд, а також яку конструкцію мають дренажні обсіпки?

10. ХВОСТОСХОВИЩА І СТАВКИ-ВІДСТІЙНИКИ

Загальні відомості. Аварії на хвостосховищах. Структура хвостосховища як геотехнічної системи та її вплив на навколишнє середовище. Шляхи забезпечення експлуатаційної надійності хвостосховищ. Найкращі доступні технології в керуванні процесом утилізації відходів.

Навчальні цілі: спираючись на викладений матеріал, студент повинен уміти оцінювати вплив хвостосховищ як геотехнічної системи на навколишнє середовище, а також визнавати ризики, пов'язані з їх експлуатацією, і обґрунтувати технології, спрямовані на зниження негативного впливу відходів.

Загальні відомості. Протягом останніх двох десятиліть зростає занепокоєність щодо деградації навколишнього середовища, викликаній великомасштабним переміщенням небезпечних матеріалів унаслідок аварій на *хвостосховищах* (комплекси спеціальних гідротехнічних споруд та обладнання, який призначений для складування або захоронення великих обсягів відпрацьованих радіоактивних, токсичних та інших відходів видобутку та переробки сировини). Ці відходи створюють серйозну загрозу для людей та навколишнього середовища, особливо, якщо хвостосховища спроектовані, побудовані, експлуатуються неналежним чином.

Україна є наочним прикладом неналежного зберігання відпрацьованих відходів видобутку корисних копалин. Переважна більшість (понад 35 мільярдів тонн) відходів видобутку в країні зберігаються в застарілих або покинутих об'єктах, що не відповідають сучасним вимогам безпеки. Отже, ці об'єкти стали джерелом забруднення навколишнього середовища, що завдає шкоди біоті і має негативні наслідки для здоров'я людини. В країні продовжується накопичення різних видів відходів. Більшість з них утворюється в промисловості та гірничій галузі у вигляді розкритих порід, шлаків, продуктів переробки мінеральної сировини, шлаків тощо. Близько 85 % всіх промислових відходів походить від первинного видобутку та циклів збагачення, що акумулюються у відвалах та

хвостосховищах. Велика кількість цих сховищ, розташованих у Донецькому, Львівсько-Волинському вугільних басейнах, Криворізькому басейнах залізної руди та інших регіонах, займає площу понад 160 тис. га.

Аварії на хвостосховищах можуть призвести до неконтрольованих розливів та викидів небезпечних хвостових матеріалів. Негативні наслідки таких аварій спостерігаються не тільки в Україні, а і в усьому світі. Так, у 1983 р. на Стебніковському заводі «Полімінерал» Західної України стався розлив калійних добрив. У 2008 р. через пошкодження греблі відходи виробництва калійних добрив Калузького хімічного комбінату потрапили у Дністер, що викликало занепокоєння Уряду Республіки Молдова. У січні 2011 р. хвостові матеріали на заводі з глинозему біля м. Миколаїв (Південна Україна) та відпрацьовані відходи розсіювалися як сухий червоний піл. На площі десятки квадратних кілометрів зазнали шкоди надра, атмосфера, земля та поверхневі води, а також населені пункти.

Як приклад, був розглянутий перелік 220 аварійних випадків, що сталися за період 1917 – 2000 рр. у 29 різних країнах світу. Кожна аварійна ситуація ідентифікована за трьома типами: «руйнування, прорив», «позаштатна ситуація» або «порушення режиму підземних вод». Усі аварійні ситуації поділено на такі групи, як порушення стійкості дамби, сейсмічні прояви, переповнення проектної ємності, порушення основи, фільтрація, зміна структурної цілісності, вплив підземних вод, ерозія, просідання внаслідок ведення гірничих робіт.

Для аналізу динаміки аварійних ситуацій на хвостосховищах за роками з переліку був виключений 41 об'єкт, для яких не було ідентифіковано рік ситуації, то ж загальна кількість аварійних ситуацій, відібраних для аналізу, становить 179. Майже 75 % усіх ситуацій, що аналізуються, припадає на п'ять країн світу з найбільшою кількістю аварій: США, Чилі, Канада, Великобританія, Південна Африка (рис. 10.1).

Частота аварійних ситуацій на хвостосховищах країн світу відображує різке зростання із середини 60-х років минулого століття, що пов'язано з інтенсивним розвитком гірничої промисловості у той період, утворенням великої кількості цих об'єктів. Максимальне значення кількості аварій у ХХ столітті припа-

дає на період з 1970 по 1995 рр., після чого кількість різних ситуацій дещо зменшилась, що може бути пояснено запровадженням більш сучасних стандартів безпеки, згортанням видобутку корисних копалин у деяких країнах, зокрема у Європі, впровадженням інших способів видобутку, що виключають накопичення відходів на поверхні.

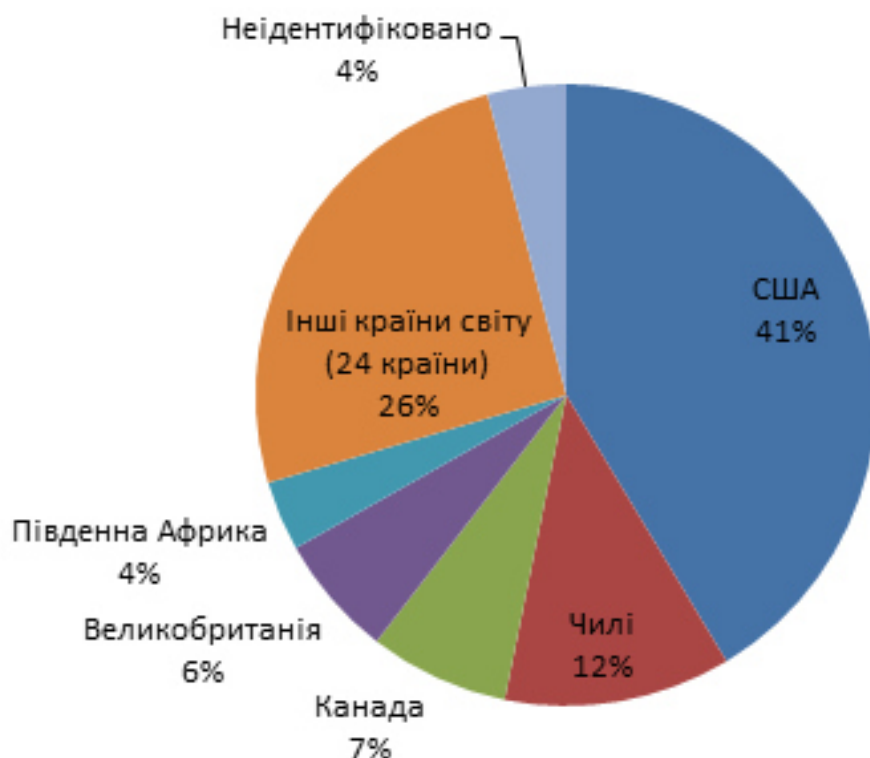


Рисунок 10.1 – Діаграма розподілу аварійних ситуацій на хвостосховищах країн світу [19]

Згідно з аналізом причин аварій на хвостосховищах можна виділити у порядку зниження їх пріоритету такі (рис. 10.2, [19]): порушення стійкості дамби, сейсмічні прояви, перевищення проектної ємності, порушення основи дамби, фільтрація, зміна структурної цілісності, ерозія, просідання внаслідок ведення гірничих робіт. Серед природних ризиків слід відзначити сейсмічну активність (18 % випадків) та гідрологічні й гідрогеологічні прояви, з якими часто пов'язані переповнення проектної ємності, фільтрація через дамбу, вплив підземних вод та ерозія (40 % усіх випадків). Крім того, порушення стійкості дамби часто також є результатом синергетичного впливу сейсмічних та гідрологі-

чних чинників. Отже, ці чинники мають бути ретельно перевірені в процесі екологічного аудиту.

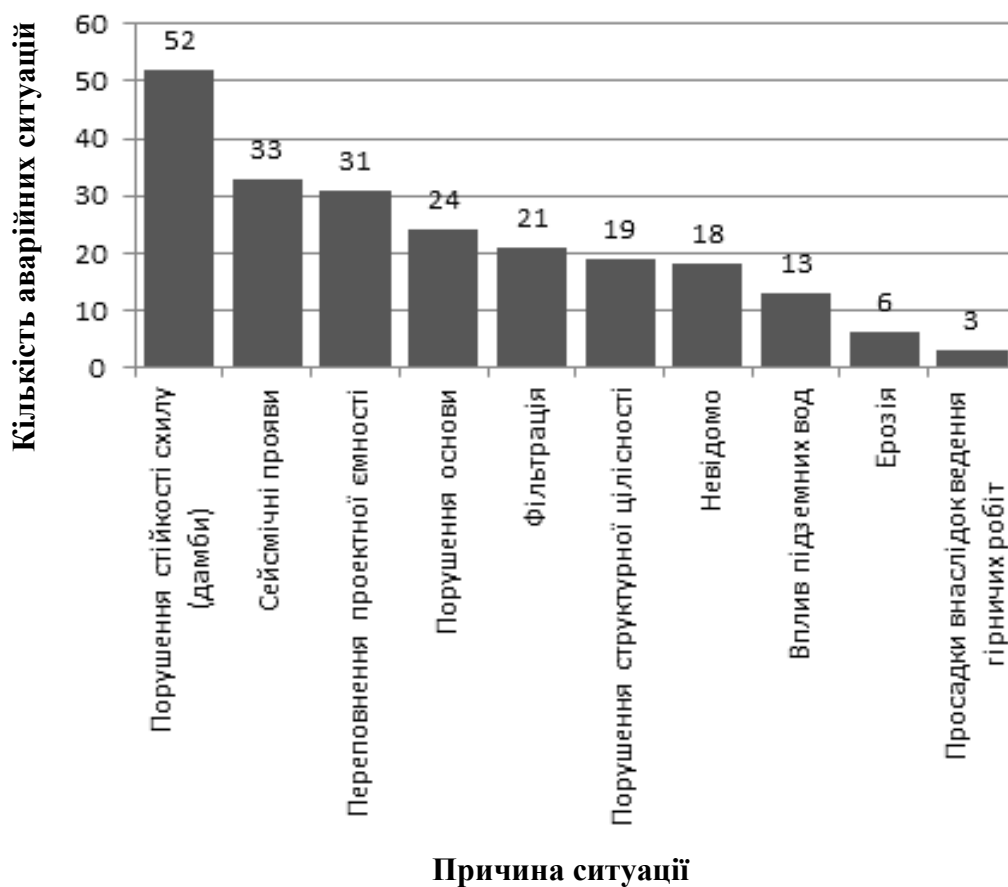


Рисунок 10.2 – Діаграма розподілу кількості аварійних ситуацій за їх причинами

Розподіл кількості аварій за типом огорожувальних споруд вказує на значно підвищений ризик порушення стійкості дамб, що споруджуються вгору за течією (намивні): із загальної кількості (172) аварійних ситуацій з ідентифікованим типом дамби 88 або 51,2 % зареєстровано для дамб саме цього типу, а всі інші ситуації трапилися на дамбах інших типів. Тож цей чинник доцільно враховувати при оцінюванні небезпеки хвостосховищ.

Найбільш небезпечними з точки зору аварійності неактивних хвостосховищ є сейсмічні прояви та переповнення проектної ємності: 25 – 30 % усіх аварій, викликаних цими чинниками, припадає на неактивні об'єкти. З цими двома чинниками пов'язано майже 80 % усіх аварійних ситуацій на неактивних хвос-

тосховищах. Для активних об'єктів найбільш вагомим є чинник стійкості схилу дамби, що став причиною майже третини усіх аварій.

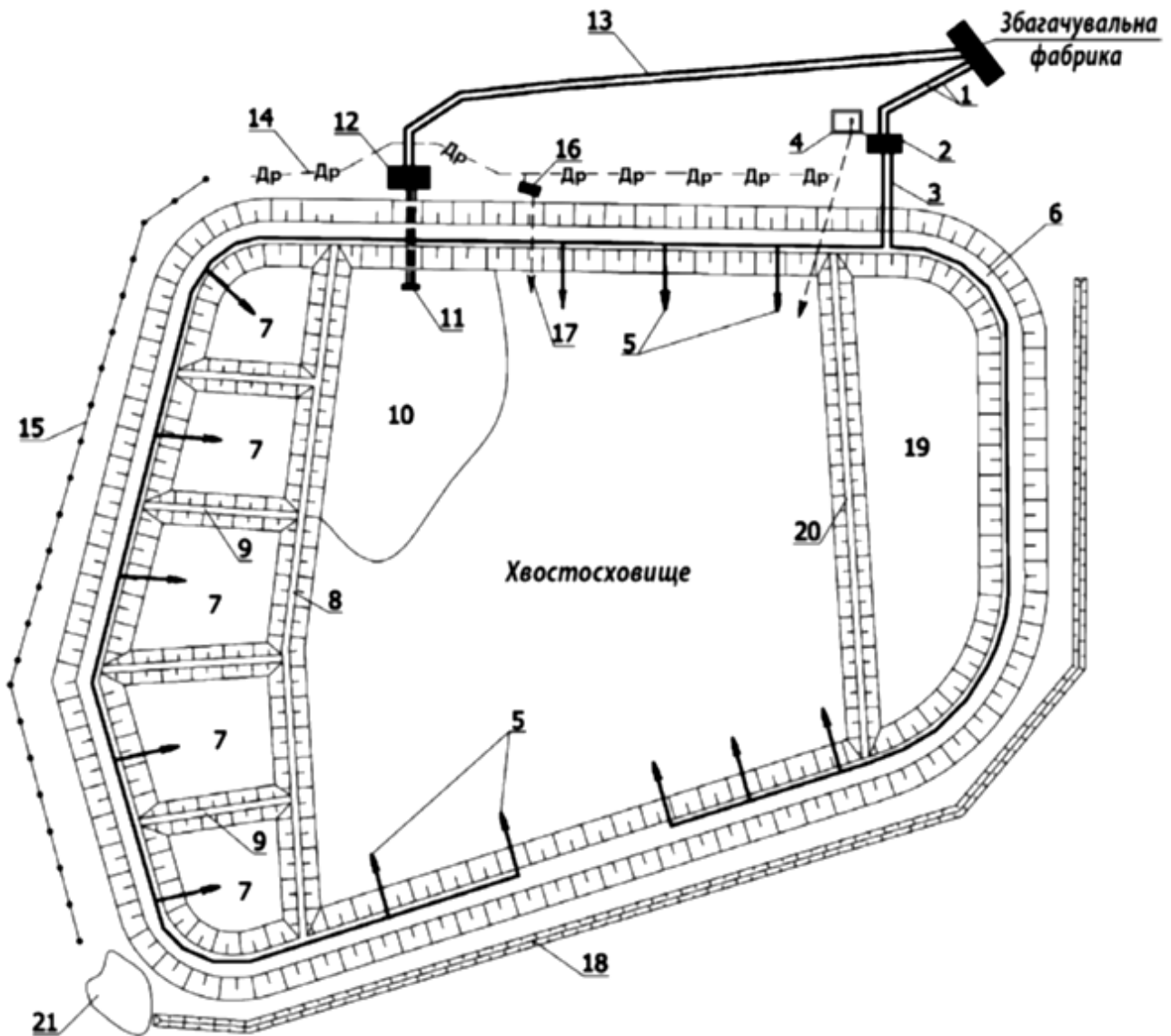
Таким чином, при оцінюванні рівня безпеки хвостосховищ необхідно ретельно враховувати в розроблюваних методиках такі параметри хвостосховища, як порушення стійкості схилу дамби, сейсмічні прояви, гідрологічні та гідрогелогічні явища, структурну цілісність об'єкта тощо.

Структура хвостосховища як геотехнічної системи та її вплив на навколишнє середовище. Хвостосховище є комплексним об'єктом і типовим прикладом геотехнічної системи (ГТС) – створенням, де природні і технічні частини настільки взаємопов'язані, що функціонують як єдине ціле. ГТС складається з елементів, які можуть бути трьох видів: 1) природного походження; 2) ненавмисно змінені в процесі будівництва і функціонування техніки; 3) спеціально створених людиною. Структура типового хвостосховища наведена на рис. 10.3, [19].

До *технічних елементів хвостосховища* відносяться всі види дамб, ставків – відстійників, пристрій для транспортування хвостів, система дренажу і водовідведення, протифільтраційні екрани і завіси. Хвости, пляж, ложе хвостосховища є *природно-технічними елементами*. Ґрунтові та поверхневі води, ґрунти і атмосферне повітря і зона впливу хвостосховища відносяться до *природних елементів* його ділянки. *Схеми накопичувачів і дамб*, що використовуються у хвостосховищах, наведені на рис. 10.4 – 10.6 [19].

Вплив хвостосховища на навколишнє середовище визначається з урахуванням таких складових [20]:

1. Зміна ефективності господарської діяльності при відчуженні земель, вирубування лісів, будівництво;
2. Зміни природного ландшафту;
3. Порушення структури ґрунтів;
4. Зміни рівневого та хімічного режиму підземних вод;
5. Затоплення, заболочування, засолення земель;
6. Забруднення видатків стічними водами;



Рисунку 10.3 – Схема хвостового господарства гірничо-збагачувального комбінату: 1 – самопливна подача пульпи; 2 – пульпонасосна станція; 3 – магістральні пульпопроводи; 4 – аварійна ємність; 5 – розподільні пульпопроводи; 6 – дамба обвалування; 7 – карта намівання; 8 – внутрішня дамба; 9 – дамба для розділу; 10 – відстійний ставок; 11 – водозабірна споруда; 12 – насосна станція оборотної води; 13 – трубопроводи оборотної води; 14 – дренаж; 15 – протифільтраційна завіса; 16 – дренажна насосна станція; 17 – напірна подача дренажної води; 18 – нагірна канава; 19 – відсік повторного використання хвостів; 20 – відсічна дамба; 21 – ємність для поверхневих та дренажних вод

7. Забруднення повітря пилом;
8. Зміна умов міграції тварин трубопроводами;
9. Зміна умов життя місцевого населення (виникнення загрози аварій);
10. Забруднення навколишнього середовища при будівництві;
11. Забруднення повітря при роботі спецтехніки на хвостосховищах;
12. Радіоактивне забруднення.

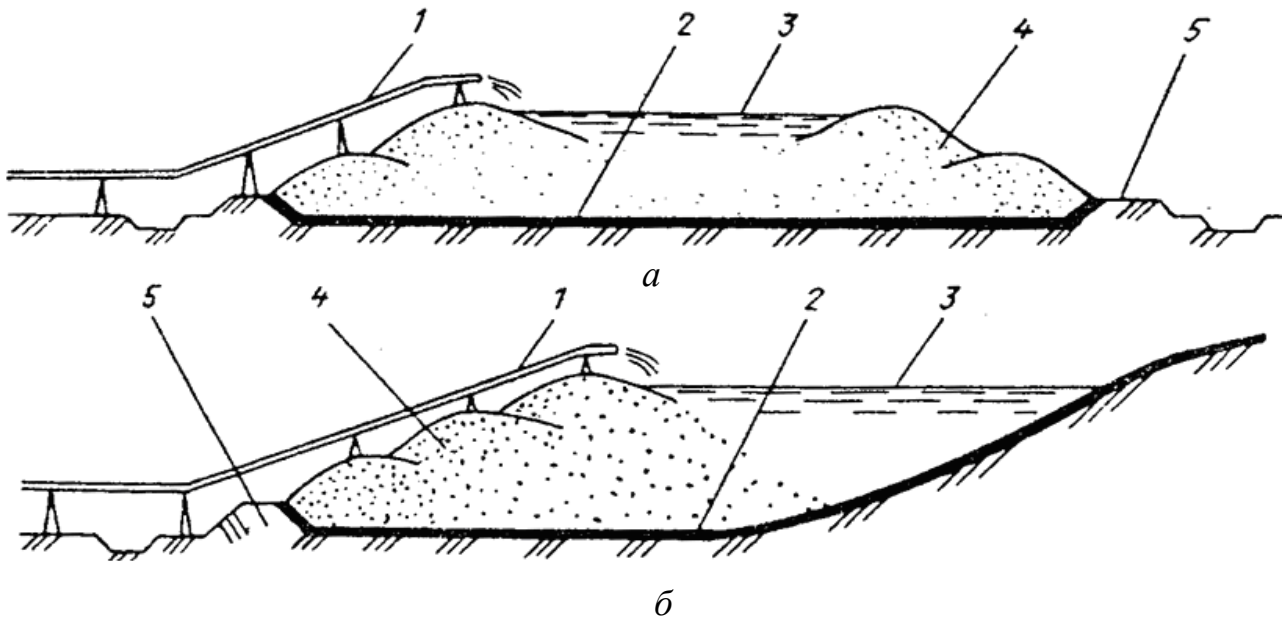


Рисунок 10.4 – Загальна структура дамби хвостосховища у верхньому б'єфі (а) та дамби хвостосховища яружного типу (б): 1 – система подачі хвостів (трубопровід); 2 – слабопроникний екран; 3 – рівень води у ставку; 4 – нарощена дамба; 5 – піонерна гребля

З часом у хвостосховищі відбувається зміна його структури. Збільшується частка і вплив природно-технічних компонент (обсяг хвостових матеріалів), застарівають і зношуються робочі елементи дамб, дренажів, трубопроводів, деградує природний склад довілля. Разом з цим видозмінюються поточні завдання щодо експлуатації хвостосховища.

Для уточнення цих завдань у багатьох нормативних документах з експлуатації хвостосховищ у різних країнах, наприклад ЄС, а також Австралія, Канада, виділені етапи їх життєвого циклу, які включають проектування, будівницт-

во, експлуатацію, закриття та рекультивацію. Протягом усього життєвого циклу екологічні інспекції та працівники хвостосховища повинні контролювати поточний стан об'єкта, включаючи його вплив на навколишнє середовище, функціонування технічних елементів, кваліфікацію персоналу і його готовність до надзвичайних ситуацій.

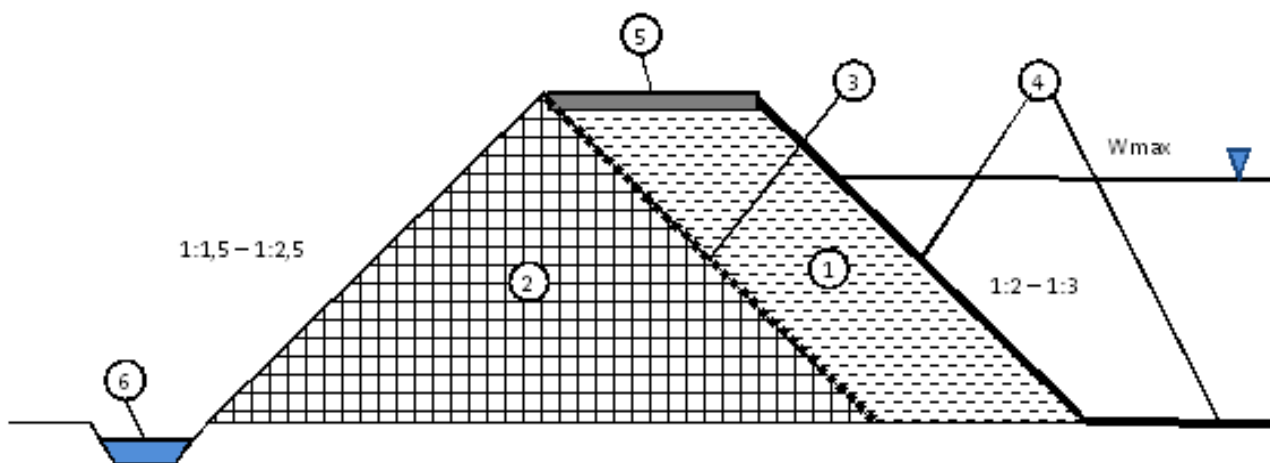


Рисунок 10.5 – Схема дамби накопичувача та осадження мінерального шламу:
1 – секція ущільнення; 2 – підтримувальна дамба (скельні породи); 3 – фільтр і тканинний фільтр; 4 – пластиковий або бітумний екран; 5 – гребінь (клин, скріплення подрібненими породами); 6 – канава збору витоків;

W_{\max} – максимальний рівень води у ставку-накопичувачі

Процеси, викликані створенням і експлуатацією хвостосховищ, спрощено відображені на рис. 10.7.

Принципи забезпечення експлуатаційної безпеки хвостосховищ. Значення хвостосховищ з точки зору економічної діяльності, так і забезпечення соціальної та екологічної прийнятності будь-якого гірничодобувного підприємства часто недооцінюється. Зважаючи на відсутність прямої фінансової віддачі від витрат на проектування, будівництво, експлуатацію та реабілітацію хвостосховища можуть виникнути сумніви в доцільності виділення всіх необхідних управлінських і фінансових ресурсів. Незадовільний стан дамб часто є основною або істотною причиною аварійних ситуацій та інцидентів. Витрати внаслі-

док аварій практично завжди перевищують витрати на забезпечення належного рівня експлуатаційної безпеки та контролю для запобігання інцидентів. Потенційна можливість як хронічного забруднення, так і виникнення надмірних ризиків, пов'язаних із зберіганням хвостових матеріалів, може зберігатися протягом тривалого часу. Є велика кількість прикладів, які свідчать про те, що відходи видобутку корисних копалин кількох століть назад, як і раніше, є джерелом забруднення в таких обсягах, які завдають шкоди навколишньому середовищу. Все це говорить на користь важливості дотримання правил належної експлуатації та відповідного закриття діючих дамб хвостосховищ та місць зберігання відходів з метою уникнути в майбутньому неприйнятних ризиків або негативного впливу.

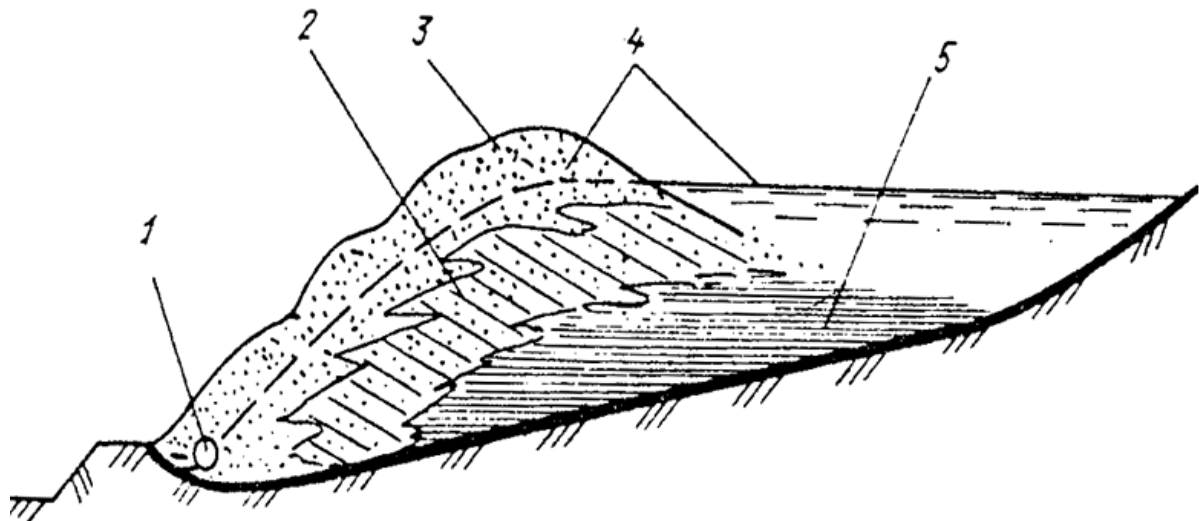


Рисунок 10.6 – Картина розподілу різних фракцій у верхньому б'єфі хвостосховища: 1 – дренаж; 2 – фракція дрібнозернистого піску та мулу; 3 – фракція крупнозернистого піску; 4 – рівень води у ставку накопичувача і дамбі; 5 – фракція мулу

Основні принципи *дотримання експлуатаційної безпеки* хвостосховищ такі:

- оператори відповідають за дотримання умов безпеки хвостосховищ;
- при плануванні, будівництві, експлуатації та закритті хвостосховищ слід застосовувати індивідуально-проаналізований підхід;

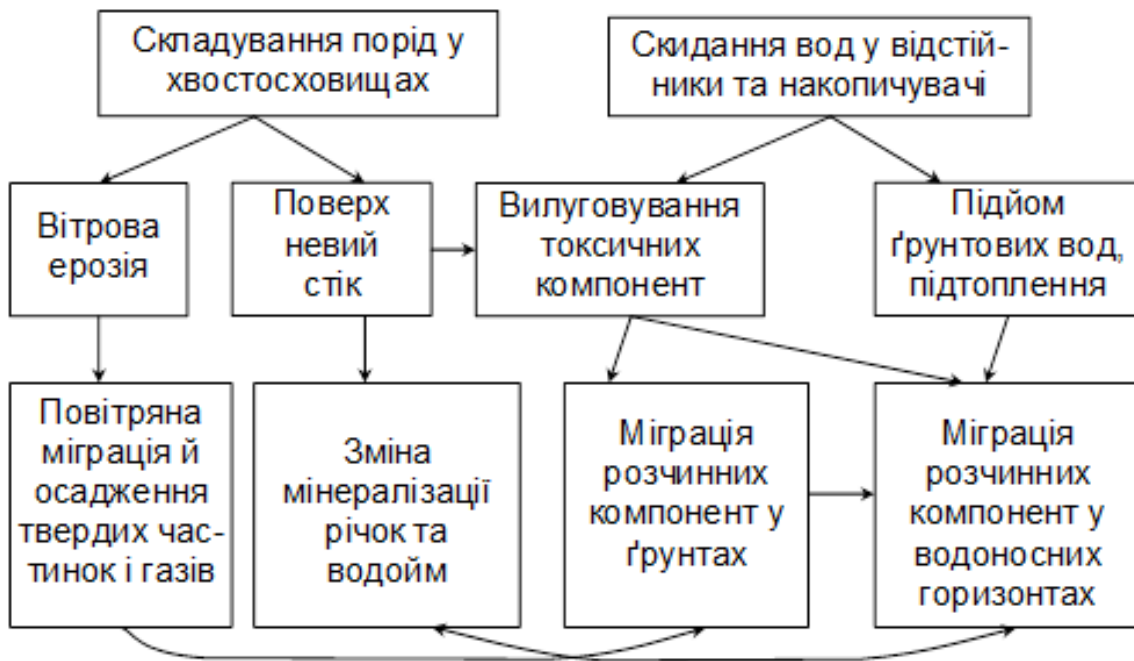


Рисунок 10.7 – Картина процесів техногенних змін навколишнього середовища, викликаних створенням і експлуатацією хвостосховищ [19]

- плануванням, проектуванням, будівництвом, експлуатацією, наглядом і закриттям хвостосховища повинен займатися тільки компетентний персонал, який має відповідний сертифікат;
- системний підхід до керування безпекою хвостосховищ протягом життєвого циклу має бути забезпечений у всіх випадках за схемою «планування – будівництво – експлуатація – закриття – реабілітація»;
- на етапі планування і проектування слід розуміти процеси, що відбуваються протягом життєвого циклу хвостосховищ.

Розподіл компетенції. Керівні принципи розглядаються як мінімальний набір вимог для створення безпечних умов експлуатації хвостосховища. Основна увага в них приділяється питанням, які мають враховуватися для досягнення прийняттого рівня безпеки в рамках застосування різних програм, заходів та методологій. Однак власникам і операторам рекомендується враховувати додаткові процедури і гарантії відповідно до оцінок, зроблених на місці, з метою досягнення вищого рівня експлуатаційної безпеки хвостосховищ.

Підготовчий етап і будівництво включають: надання ліцензій, оцінка впливу на навколишнє середовище (ОВНС) та планування землекористування, виявлення небезпеки й оцінка ризику, експлуатаційна безпека дамб. Оцінювати ризик на хвостосховищах має оператор, а проводити експертизу – компетентний орган. Причому оцінка ризиків має проводитися згідно з планом експлуатації і керування, розробленим оператором. Слід дотримуватися відмінності між базовою і комплексною процедурами надання дозволів.

У рамках ОВНС слід розглядати критерії вибору майданчика, параметри хвостових матеріалів, параметри об'єкта управління, закриття об'єкта й оцінку доцільності «нульового» варіанта. Оцінка ризику має включати 6 етапів [19]:

1. Визначення небезпек;
2. Сценарії аварій;
3. Визначення потенційних об'єктів впливу;
4. Заходи дотримання експлуатаційної безпеки;
5. Оцінка впливу;
6. Оцінка та аналіз ризиків.

При плануванні і розробці проекту хвостосховища особливу увагу слід приділяти: а) ставку-відстійнику за такими параметрами, як якість матеріалів, геологічні, гідрогеологічні, гідрологічні та геофізичні умови; б) дамбі хвостосховища за такими параметрами, як стійкість її укосу, міцність основи, надійність хвостових матеріалів, ерозія дамби, системи оборотного водопостачання, прориви води в надзвичайних ситуаціях; осідання укосів, система транспортування хвостів.

Експлуатація та керування. Експлуатацію хвостосховища та процес керування ним слід здійснювати на основі плану та згідно з відповідними інструкціями, куди входить описання системи транспортування хвостів на хвостосховищі, усіх процесів/механізмів контролю для проведення інспекції (моніторинг місць і періодичності відбору проб; а також контрольних переліків і таких параметрів, як мінімальна ємкість, висота надводного борту, пороговий тиск, рівень підземних вод, функціонування дренажної системи, відведення поверхне-

вих вод, рух дамби, стійкість укусу); процедури подання даних про невідповідність і аварійні ситуації; заходи щодо усунення недоліків, які мають застосовуватися у разі невідповідностей; внутрішній план дій на випадок надзвичайних ситуацій; параметри для оцінки ефективності курування процесом.

Належна кваліфікація персоналу має бути забезпечена в рамках програм підготовки та практичної роботи. Основні вимоги до кваліфікації включають: технології та майбутні тенденції в проектуванні хвостосховищ; прийняті на об'єкті процедури безпечної експлуатації та керування ризиками; норми і правила експлуатації хвостосховищ та забезпечення їх стійкості та екологічної ефективності; системи та інструменти керування, включаючи корпоративну соціальну відповідальність; оцінка якості експлуатаційної та природоохоронної діяльності; питання стану навколишнього середовища (включаючи основні гідрологічні умови) і здоров'я людини; експертиза безпеки і стану навколишнього середовища на підприємстві і на його об'єктах; подання звітності щодо внутрішнього стану лінії, так і з метою інформування громадськості; комунікаційна діяльність.

Інспекції на об'єктах. Інспекторам слід перевіряти, чи відповідає стан хвостосховища нормативно-правовим характеристикам, а також затвердженим нормам з експлуатації та керування відходами. Під час підготовки під будівництво і відповідно на стадії будівництва перевіряються майданчик для об'єкта зберігання відходів; запас міцності з урахуванням реалізації проектного рішення на місцевості та контролюється процес зведення дамби хвостосховища. На етапі експлуатації перевіряється забезпечення надійності об'єкта для зберігання відходів і відсутність забруднення ґрунту, повітря, поверхневих або підземних вод; регулярність проведення моніторингу, пов'язаного з вимірами рівня забруднення приземного шару повітря і викидів в атмосферу; дотримання послідовності надання інформації щодо аварійної ситуації та належних заходів її усунення. У процесі закриття і після закриття: перевіряється забезпечення фізичної стійкості об'єкта зі зберіганням відходів, процес екологічної реабілітації, включаючи наявність належної документації.

Об'єкти невизначеної власності. На покинутих або безхазяйних об'єктах компетентні органи мають проводити регулярний контроль з урахуванням існуючих ризиків. Перевірка має включати обстеження на місці огорожувальної дамби, лагуни, системи керування водними потоками водозабірному району, а також визначення факторів уразливості для навколишніх територій. З особливою ретельністю обстежуються геоморфологічні умови і район водозабору, гребінь дамби, геометрія укосу і його стан, стан лагуни, система керування водними потоками, обладнання для моніторингу, дані інцидентів та аварій за минулі періоди.

Система керування покинутими і безхазяйними об'єктами повинна включати [19]: а) організаційну структуру (компетентні органи) з визначенням сфери відповідальності, процедур і ресурсів для запобігання аварій; б) визначення та оцінку небезпечних об'єктів; в) моніторинг і технічне обслуговування.

Плани дій в надзвичайних ситуаціях повинні передбачати проведення оцінки безпеки повеней у нижньому б'єфі в результаті паводків або виникнення аварійної ситуації на дамбі, і у верхньому б'єфі через зрушення великих ділянок поверхні або збільшення обсягу паводкового стоку. У внутрішніх планах дій, що розробляються підприємством на випадок надзвичайних ситуацій, повинні міститися оцінки кількості і типів обладнання, необхідного для ліквідації викидів небезпечних речовин або скидів води, а також будівельних матеріалів і обладнання, необхідного для проведення ремонтних робіт на хвостосховищі.

Зовнішні плани дій у разі надзвичайних ситуацій мають налагодитися і виконуватися відповідними органами згідно з місцевими потребами та варіюватися за складністю стосовно типу і ступеня населеності потенційно постраждалого району. Місцевому населенню слід надавати можливість брати участь у підготовці та перегляді зовнішніх планів дій на випадок надзвичайних ситуацій та у можливих навчаннях. У прикордонних районах плани, прийняті двома регіонами сусідніх країн, мають бути узгоджені між собою і містити контактну ін-

формацію, що дозволило б повідомляти належним чином про будь-які надзвичайні ситуації.

Найкращі доступні технології (НДТ) в керуванні базою відходів спрямовані на зниження негативного впливу на навколишнє середовище різних гірничих робіт, що може бути виконано шляхом:

- зведення до мінімуму обсягу хвостових матеріалів і шахтних порід, наприклад, за допомогою правильного вибору методу видобутку (шахтний/підземний, різні методи підземного видобутку);
- максимізації можливостей альтернативного використання хвостових матеріалів і відходів шахтних порід у поєднанні для відновлення інших ділянок шахт і для закладки виробленого простору;
- покращення стану хвостосховищ та відвалів шахтних порід, щоб звести до мінімуму будь-які екологічні загрози або загрози безпеки, наприклад, нейтралізацією піритів і додаванням буферного матеріалу.

Важливою частиною НДТ є підхід до керування життєвим циклом, який охоплює всі етапи життєвого циклу хвостосховищ, включаючи проектування, будівництво, експлуатацію з аудитом, закриття і подальший догляд.

Етап проектування включає в себе вихідні дані щодо екологічного стану, характеристик хвостосховищ та відходів шахтних порід, дослідження хвостосховища і плани, які містять документацію з вибору ділянки, оцінку впливу на навколишнє середовище, оцінку ризиків, план готовності до надзвичайних ситуацій, план складування матеріалів, водний баланс і план керування водними потоками, а також план виведення з експлуатації та закриття [21]. Крім того, етап проектування включає в себе конструкцію хвостосховища і пов'язаних з цим структур керування і моніторингу.

Фаза закриття і подальшого стеження охоплює такі елементи, як довгострокові цілі і конкретні питання закриття відвалів, ставків, у тому числі припинення водопостачання ставків і господарських споруд.

Загальні НДТ у гірничодобувній промисловості включають у себе методи керування системою дренажів кислотних вод, фільтрацією, скидами у водні

об'єкти, шумовим забрудненням, проектування, будівництво та експлуатацію дамб, видалення надлишкової води зі ставка, зневоднення хвостових матеріалів, експлуатацію хвостосховищ та відвалів шахтних порід, моніторинг стійкості, пом'якшення наслідків аварій, зменшення впливу на навколишнє середовище, закриття і подальший догляд.

Керування системою дренажів кислотних вод. Характеристика хвостових матеріалів і відходів шахтних порід включає в себе визначення потенціалу утворення кислот у хвостових матеріалах і (або) породах. Якщо такий потенціал існує, то, по-перше, слід запобігти утворення кислих дренажних вод. Якщо це не може бути попереджено, то слід контролювати вплив кислих дренажних вод або застосовувати варіанти переробки. Всі варіанти профілактики, керування і переробки можуть бути застосовані до існуючих і нових споруд. Однак найкращі результати будуть отримані, коли плани розроблені для закриття об'єкта із самого початку експлуатації, ще на стадії проектування, тобто відповідно філософії «від колиски до могили». Застосування варіантів залежить, головним чином, від місцевих умов з урахуванням водного балансу, наявності можливого матеріалу для покриття рівня ґрунтових вод.

Керування системою фільтрації. Краще розташовувати хвостосховища або відвали відходів порід таким чином, щоб захисний екран чи облицювання не були потрібні. Однак, якщо це неможливо, і обсяг фільтрації є загрозливим, а (або) швидкість фільтраційного потоку висока, то слід зменшити або контролювати фільтрацію.

Процес скидання відходів у водні об'єкти. Для цього випадку НДТ передбачають:

- повторне використання технологічних вод;
- змішування технологічних вод з іншими стоками, що містять розчинені метали;
- облаштування відстійників для збору еродованих дрібних часток;
- видалення зважених твердих частинок і розчинених металів до скидання стічних вод у приймальні водотоки;

- нейтралізація лужних стоків сірчаною кислотою або діоксидом вуглецю;
- видалення миш'яку зі стічних шахтних вод шляхом додавання солей заліза.

НДТ для обробки кислих стічних вод включає в себе методи активного і пасивного захисту. *Активним захистом* є додавання вапняку (карбонату кальцію), гашеного або негашеного вапна, а також додавання каустичної соди до кислотних дренажних вод з високим умістом марганцю. *Пасивний захист* передбачає створення зволжених територій, відкритих каналів чи відвідних свердловин з вапняку чи неокисненого вапняку. Пасивні системи обробки являють собою довгострокове рішення, що можливе після того, як об'єкт виведено з експлуатації, але тільки при використанні як підтримувальні кроки в поєднанні з іншими (профілактичними) заходами.

Шумове забруднення. НДТ у цьому випадку передбачають:

- використання безперервних робочих систем (наприклад, конвеєрних ременів, трубопроводів);
- інкапсуляція ремінних приладів у тих зонах, де шум є питанням місцевого значення;
- першочергове створення зовнішнього нахилу відвалу з наступним переведенням схилів та робочих укосів до внутрішньої області відвалу, наскільки це можливо.

Проектування, будівництво та експлуатація дамб. Додатково до загальних заходів, НДТ при проектуванні дамб передбачають [21]:

- використання повені, що трапляється раз на 100 років, з метою розрахунку розміру дамби аварійної ємності для низького рівня небезпеки;
- використання повені, що трапляється раз на 5000 – 10000 років, з метою розрахунку розміру дамби аварійної ємності для високого рівня небезпеки.

На додаток до загальних заходів на етапі будівництва НДТ включають:

- зняття природного ґрунту нижче утримуючої греблі з усіма родючими шарами та рослинністю;

- вибір такого матеріалу для будівництва греблі, який підходить для цієї мети і не буде втрачати міцність в умовах експлуатації та під впливом клімату.

На додаток до загальних заходів на етапі будівництва та експлуатації НДТ слід віднести [21]:

- оцінку ризику занадто високого порового тиску та контроль його до і під час кожного підняття дамби та *використання дамби звичайного типу*, якщо хвости непридатні для будівництва греблі, а хвостосховище необхідне для зберігання води, ділянка хвостосховища знаходиться у віддаленому і недоступному місці, зберігання води у хвостосховищі потрібне протягом тривалого періоду для розпадання токсичних елементів (наприклад, ціанідів), природний приплив до хвостосховища великий або змінюється зі значними варіаціями, зберігання води необхідно для керування об'єктом;

- *дамби наливного типу (уверх за течією)*, коли сейсмічний ризик дуже малий, хвостові матеріали, що використовуються при будівництві греблі, містять мінімум 40 – 60 % матеріалу, який включає частинки розміром від 0,075 до 4 мм у цілому в хвостосховищі (не застосовне для загущених хвостових матеріалів);

- *дамби гравітаційного типу (вниз за течією)*, коли доступна достатня кількість будівельного матеріалу греблі (наприклад, відходи або відвали шахтних порід);

- *дамби центрованого типу*, якщо сейсмічний ризик низький.

Щодо загальних заходів під час етапу експлуатації хвостосховища НДТ полягають у такому [19]:

- стежити за його стійкістю;
- забезпечити відведення будь-якого скиду у водоймище від ставка у разі виникнення труднощів;

- забезпечити альтернативні способи скидання, можливо, до іншого хвостосховища;

- задіяти другі фільтрувальні засоби, наприклад, аварійний перелив і (або) резервні насоси для аварійних ситуацій, якщо рівень вільної поверхні в

ставку досягає заздалегідь визначеного мінімального значення надводної частини дамби;

- вимірювати рухи ґрунту з глибокими уклономіром і мати інформацію щодо порового тиску;
- забезпечити адекватний дренаж;
- дотримуватися обліку проектування й будівництва та будь-яких оновлень (змін) у проектуванні (будівництві);
- записувати стан безпеки дамб разом з незалежним аудитом;
- навчати та забезпечувати належну підготовку персоналу.

Видалення надлишкової води зі ставка. У зв'язку з цим НДТ передбачає використання:

- водозливу в природному ґрунті для ділянки у долині і водойм поза ставків у долині;
- водонапірної вежі в холодному кліматі з додатним балансом води для ставків типу запруды;
- водознижувальної свердловини в теплом кліматі з від'ємним балансом води для ставків типу запруды, і якщо підтримується високий робочий рівень над водною поверхнею.

Зневоднення хвостових матеріалів. Вибір методу зневоднення хвостових матеріалів (суспендованих, загущених або сухих хвостів) залежить, головним чином, від оцінки трьох факторів, якими є вартість, екологічні показники, а також ризик відмови. Відповідні НДТ включають керування процесом розподілу сухих, загущених та суспендованих хвостових матеріалів.

Експлуатація хвостосховищ та відвалів шахтних порід. Додатково до загальних заходів на етапі експлуатації будь-яких хвостосховищ та відвалів шахтних порід НДТ включають: відведення зовнішнього поверхневого стоку; керування хвостосховищами та відвалами порід у кар'єрах; використання коефіцієнта стійкості щонайменше 1,3 до всіх відвалів і дамб під час експлуатації; проведення поступової рекультивації з відновленням рослинності.

Моніторинг стійкості. Для контролю стійкості НДТ полягають у тому, щоб [19]:

- спостерігати у ставку та дамбі хвостосховища за такими параметрами, як рівень води, якість і обсяг фільтраційного потоку, що проходить через дамбу, положення вільної поверхні води у дамбі, поровий тиск, рух гребеня дамби і хвостових матеріалів, сейсмічність, динамічний поровий тиск і розріджування, механіку ґрунтів, процедури переміщення хвостових матеріалів;
- спостерігати у відвалі за такими параметрами, як геометрія схилу (уступу), приповерховий дренаж, поровий тиск;
- проводити візуальний та щорічний огляди, незалежні аудити та оцінювати безпеку існуючих гребель для ставка (дамби) хвостосховища;
- здійснювати візуальний огляд, геотехнічний аналіз, незалежні геотехнічні перевірки для відвалу.

Пом'якшення наслідків аварій. Для ліквідації наслідків аварій НДТ передбачає: екстрене планування; оцінювання минулих та можливих майбутніх випадків; моніторинг трубопроводів.

Зменшення впливу на навколишнє середовище. Для зменшення впливу на навколишнє середовище НДТ передбачає, якщо це можливо, то запобігання і (або) зменшення кількості утворення хвостів та відвалів шахтних порід та заповнення виробленого простору.

Заповнення хвостосховища передбачається тоді, якщо:

- воно розглядається як елемент способу видобутку;
- додаткові витрати на заповнення, як мінімум, компенсуються за рахунок більш високого вилучення руди;
- у відкритих гірничих роботах, якщо хвостосховище легко дронується (шляхом випаровування, дренажу та фільтрації), його можна уникнути або зменшити в розмірах;
- розташовані поруч вироблені кар'єри засипати;

- заповнювати великі підземні виробки, для яких може бути необхідним дренаж і (або) в'язучі матеріали, що будуть додані для підвищення стійкості.

Закладення шахтними породами застосовується у разі, якщо

- воно може бути здійснена у підземних виробках;
- один або більше відпрацьованих кар'єрів розташовані поруч, що іноді називають «перенесенням видобутку»;
- експлуатація кар'єрів здійснюється таким чином, що можна заповнювати вироблений простір шахтними породами без затримування гірничих робіт.

Крім того, слід вивчити можливості використання хвостів і шахтних порід.

Закриття і подальший догляд. Під час фази закриття і подальшого догляду будь-якого хвостосховища НДТ передбачають: розроблення планів закриття та подальшого догляду вже на етапі планування експлуатації, у тому числі кошторису витрат, що оновлюється з часом; застосування коефіцієнта безпеки, принаймні, 1,3 для дамб і відвалів після закриття, хоча існують різні погляди щодо покриття водою. Для закриття і подальшого догляду НДТ передбачають побудову таких дамб, що залишаються стабільними в довгостроковій перспективі, якщо покривний водний розчин буде використано при закритті.

Екологічний менеджмент. НДТ передбачають впровадження і дотримання системи екологічного менеджменту, який включає в себе, залежно від обставин в окремих випадках, такі особливості:

- визначення екологічної політики вищим керівництвом для об'єкта;
- планування та створення необхідних процедур;
- виконання цих процедур, звертаючи особливу увагу на структуру і відповідальність, навчання, обізнаність та компетентність, комунікацію, залучення співробітників, документацію, ефективне керування технологічними процесами, програми технічного обслуговування, забезпечення та готовність до надзвичайних ситуацій і реагування, відповідність підтримання безпеки з природоохоронним законодавством;

- перевірка ефективності і впровадження коригувальних заходів, звертаючи особливу увагу на моніторинг та вимірювання, коригувальні та запобіжні дії, ведення записів, незалежний (де це необхідно) внутрішній аудит для того, щоб визначити, чи відповідає система екологічного менеджменту планованим заходам, і що вона була належним чином впроваджена і підтримана;
- огляд (аналіз) вищим керівництвом.

Ще три функції розглядаються як доповнення до вищенаведених кроків та як допоміжні заходи: наявність системи керування та аудиту, що перевіряються і затверджуються акредитованим сертифікованим органом або людиною, яка працює у системі екологічного менеджменту; підготовка і друкування (і, можливо, зовнішня перевірка) регулярного екологічного звіту, де описані всі істотні екологічні аспекти установки, що дозволяє рік за роком порівнювати відповідність екологічним цілям і завданням, а також галузевим критеріям залежності від конкретних умов; здійснення і дотримання міжнародно визнаних добровільних систем, таких як Системи аудиту екологічного менеджменту і стандарту ISO 14001:2004 [22]. Цей добровільний крок може забезпечити більш високу довіру до системи екологічного менеджменту на об'єкті.

Питання до самоконтролю

1. Які з наведених елементів хвостосховища не належать до технічних? Виберіть одну із відповідей: 1) трубопроводи; 2) спостережні свердловини; 3) дренажні води; 4) дамба.

2. Яка з аварійних ситуацій найчастіше зустрічається? Виберіть одну із відповідей: 1) ерозія та осідання; 2) знижена стійкість дамби; 3) переповнення; 4) сейсмічні впливи (землетруси).

3. За якими ознаками визначається аварія на хвостосховищі? Виберіть одну із відповідей: 1) ризик події небезпеки; 2) небажана, побічна та незапланована подія, яку можна було б запобігти, та яка мала такі обставини, що призвели до нещасного випадку та були визнані і діяли до його настання; 3) руйнування хвостосховища або майданчика для утилізації хвостів; 4) провал греблі.

4. У чому виражається вплив хвостосховища на навколишнє середовище?

5. Вказівки з експлуатації хвостосховища можуть не містити: 1) звітування про невідповідність та аварії; 2) коригувальні дії, що застосовуються у разі невідповідності вимогам безпеки; 3) опис місцевих геологічних та гідрологічних особливостей; 4) системи доставки хвостових матеріалів до хвостосховища і навколо нього; 5) усіх процедур та механізмів моніторингу для інспекції (місця розташування та частота перевірок).

6. Перелічіть основні принципи, які закладені в реалізацію експлуатаційної безпеки хвостосховищ.

7. Які з наведених нижче заходів з НДТ не вимагають використання дренажних споруд? Виберіть одну із відповідей: 1) керування кислотним дренажем; 2) зневоднення хвостів; 3) видалення води із ставка; 4) контроль стійкості дамби.

8. Що має передбачати план дій у надзвичайних ситуаціях на хвостосховищах?

9. Який тип дамби рекомендується вибирати згідно з НДТ, якщо хвостові матеріали не підходять для її будівництва? Виберіть одну із відповідей: 1) гравітаційний; 2) наливний; 3) центрований; г) звичайний.

10. У чому полягає сутність екологічного менеджменту на хвостосховищах?

ПІДСУМКИ

Матеріал, викладений у навчальному посібнику «Інженерні споруди» дозволяє сформувати у студентів системний інженерно-геологічний світогляд щодо особливостей конструктивних елементів споруд різного призначення, а також до технології забезпечення їх стійкості в різноманітних умовах експлуатації. За допомогою розглянутого матеріалу студенти отримують необхідні знання, що дозволяють:

- класифікувати інженерні споруди у сучасному будівництві, розрізняти і визначати їх конструктивні елементи, які забезпечують міцність і стійкість споруд;

- характеризувати особливості фундаментів споруд різного призначення для забезпечення їх стійкості в різноманітних геолого-гідрологічних умовах;

- поділяти гідротехнічні споруди на групи і визначати фільтраційні втрати в них на різних етапах експлуатації;

- ідентифікувати розташування доріг і їх окремих елементів у літосфері, оцінювати ступінь пошкодження доріг у процесі експлуатації та інтенсивність взаємодії дорожньо-транспортної інфраструктури з навколишнім середовищем;

- знати послідовність проектування мостових споруд і їх класифікацію, а також оцінювати ступінь взаємодії мостів з геологічним середовищем;

- визначати основні види постійних і тимчасових навантажень при будівництві тунелів, а також способи їх розташування в плані, профілі та поперечному перерізі з урахуванням впливу геологічного середовища;

- оцінювати послідовність проектування і будівництва трубопроводів залежно від їх призначення та категорії;

- характеризувати основні споруди на аеродромах, їх конструкцію та надійність роботи покриття злітно-посадкових смуг протягом року в різних кліматичних умовах;

- обґрунтовувати і вибирати ефективну систему дренажних заходів залежно від рельєфу, забудови та інженерно-геологічних умов території;

– оцінювати вплив хвостосховищ як геотехнічної системи на навколишнє середовище, визначати ризики, пов'язані з їх експлуатацією, і обґрунтовувати технології, спрямовані на зниження негативного впливу відходів.

Для перевірки повноти та рівня засвоєння отриманих знань, умінь та навичок з навчальної дисципліни рекомендованим методом контролю є письмова робота. Вона призначена для з'ясування у письмовій формі ступеня оволодіння студентами знаннями та визначення їх якості – правильності, точності і усвідомленості. За результатами засвоєння матеріалу навчального посібника студенти складають іспит за екзаменаційними білетами, затвердженими кафедрою. Критеріями оцінювання успішності студентів з огляду на досягнення запланованих навчальних результатів є: обсяг та характер засвоєння знань про об'єкт вивчення (правильність, логічність, рівень усвідомленості, міцність запам'ятовування, точність, вміння застосовувати знання); якість виявленого студентом знання, логіка мислення, аргументація, послідовність і самостійність викладу; вміння студента порівнювати, абстрагувати, класифікувати і узагальнювати інформацію з дисципліни.

Необхідно відзначити, що матеріал навчального посібника спрямований на формування таких навчальних та професійних компетенції у студентів:

– здатність до ініціативності, відповідальності та навичок до безпечної діяльності відповідно до майбутнього профілю, галузевих норм і правил, а також необхідного рівня індивідуального та колективного рівня безпеки у надзвичайних ситуаціях;

– ідентифікувати та класифікувати відомі об'єкти і реєструвати нові у геосферах, їх властивості та притаманні ним процеси;

– інтегрувати польові та лабораторні спостереження з теорією послідовно: від спостереження до розпізнавання, синтезу і моделювання;

– класифікувати інженерні споруди у сучасному будівництві;

– розрізняти і характеризувати конструктивні елементи інженерних споруд, які забезпечують їх міцність і стійкість;

- характеризувати особливості фундаментів споруд різного призначення для забезпечення їх стійкості в різноманітних геолого-гідрогеологічних умовах;
- розраховувати навантаження від цивільних будівель і фільтрації в межах розташування споруди.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Строкова Л.А. Инженерные сооружения / Л.А. Строкова. – Томск : ТПУ, 1999. – 114 с.
2. Максимов С.Н. Инженерные сооружения / С.Н. Максимов. – Москва : МГУ, 1974. – 274 с.
3. Калачев В.Я. Инженерные сооружения : учеб. пособие / В.Я. Калачев, С.Н. Максимов. – Москва : МГУ, 1991. – 297 с.
4. ДБН В.2.1–10–2009. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. – [Чинний від 2009-07-09]. – Київ, 2009. – 82 с. – (Національний стандарт України).
5. Пилягин А.В. Проектирование оснований и фундаментов зданий и сооружений: учеб. пособие / А.В. Пилягин. – Москва : Ассоциация строительных ВУЗ, 2006. – 248 с.
6. Березнев В.А. Инженерные сооружения (с основаниями и фундаментами) / В.А. Березнев, В.М. Шувалов. – Пермь : Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2014. – 204 с.
7. ДБН В 2.4-3:2010. Гідротехнічні, енергетичні та меліоративні системи і споруди, підземні гірничі виробки. Гідротехнічні споруди. Основні положення. – [Чинний від 2011-01-01]. – Київ, 2010. – 38 с. – (Національний стандарт України).
8. ДСТУ 3587–97. Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги, вулиці та залізничні переїзди. Вимоги до експлуатаційного стану. – [Чинний від 1997-07-31]. – Київ, 1997. – 23 с. – (Національний стандарт України).
9. Инженерные сооружения в транспортном строительстве : в 2-х кн. / под ред. П.М. Саламахина. – Москва : Академия, 2007. – Кн. 1. – 352 с.

10. Гідротехнічні споруди: навч. посібник / М.М. Хлапук, Л.А. Шинкарук, А.В. Дем'янюк, О.А. Дмитрієва. – Рівне : НУВГП, 2013. – 241 с.
11. Инженерные сооружения в транспортном строительстве : в 2-х кн. / под ред. П.М. Саламахина. – Москва : Академия, 2007. – Кн. 2. – 272 с.
12. ДСТУ Б Д.2.2–10:2009. Тунелі та метрополітени. Обслуговуючі процеси. – [Чинний від 2010-01-02]. – Київ, 2010. – 45 с. – (Національний стандарт України).
13. Рудаченко А.В. Проектирование и эксплуатация газонефтепроводов / А.В. Рудаченко, Н.В. Чухарева, А.В. Жилин. – Томск : ТПУ, 2008. – 238 с.
14. ДСТУ 4611:2006. Магістральні трубопроводи. Терміни та визначення основних понять. – [Чинний від 2006-06-29]. – Київ, 2007. – 31 с. – (Національний стандарт України).
15. Бажков Л.Б. Аэропорты и их эксплуатация: учеб. пособие / Л.Б. Бажков. – Ульяновск : УВАУ ГА, 2008. – 66 с.
16. ДСТУ 3228–95. Аеродроми цивільні. Терміни та визначення. – [Чинний від 1995–10–27]. – Київ, 1996. – 38 с. – (Національний стандарт України).
17. ДСТУ В.1.1-38:2016. Інженерний захист територій, будинків, будівель і споруд від підтоплення та затоплення. – [Чинний від 2017–04–01]. – Київ, 2017. – 203 с. – (Національний стандарт України).
18. Криулин К.Н. Дренажные системы в ландшафтном и коттеджном строительстве / К.Н. Криулин. – Санкт-Петербург : Гриния, 2013. – 120 с.
19. Raising Knowledge among Students and Teachers on Tailings Safety and its Legislative Review in Ukraine. Annex 12. Education Course on Tailings Safety. Report No. (UBA-FB) 002638/E/, 2017. – 144 p.
20. Tailings dams risk of dangerous occurrences: Lessons learnt from practical experiences / International Commission on Large Dams. Paris: CIGB: ICOLD, 2001. – 144 p. – (ICOLD Bulletin No. 121).

21. ДБН В.2.4-5: 2012. Хвостосховища і шламонакопичувачі. Частина I. Планування. Частина II. Будівництво. – [Чинний від 2012–09–01]. – Київ, 2012. – 71 с. – (Національний стандарт України).

22. Environmental Management Systems – Requirements with guidance for use. ISO 14001:2004 <https://www.iso.org/standard/23142.html>.

ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

Автомобільна дорога

- взаємодія із середовищем 90
- елементи 75
- захист від води 81, 89
- проектування 74
- пошкодження 82
- характеристики 72

Аеродроми

- види 164
- інженерні споруди 166
- класи 163

Аеропорт 162

Безхазяйні об'єкти 201

Б'єф 46

Будівлі

- вимоги 11
- елементи 14
- класність 13
- конструктивні типи 16

Вигин 19

Виїмки 77

Виробничий дефект 147

Водні шляхи 50

Гідровузли 44

Гідротехнічні споруди 41

Гребля 46

Дамба 195

Деформації

- будівлі 19
- залізничної дороги 88
- основи аеродромів 171
- фундаментів 27

Дорожнє полотно 75

Дорожній водовідвід 80

Дренажні споруди

- вибір системи 180
- випадки розташування 177
- типи 178
- характеристики 185

Залізнична дорога

- взаємодія із середовищем 90
- деформації 88
- конструкція 87

Інженерні дослідження

- будівництво трубопроводів 155
- будівництво тунелів 129

Інженерні комунікації 150

Каналізація 68

Кесон 35

Колія 72

Конструкція

- будівлі 13
- залізничної дороги 87
- покриттів аеродромів 168
- фундаментів 25

- Коефіцієнти надійності 20
- Конструктивні помилки 115
- Крен 20
- Льотне поле 165
- Міські вулиці 75
- Мостові споруди
- види 95
 - вимоги 107
 - експлуатація 113
 - елементи 97
 - класифікація 102
- Набережні 56
- Насипі 77
- Насосні станції 66
- Оглядові колодязі 186
- Перекіс 20
- Підпірні стінки 78
- Порт 55
- Портові споруди 56
- Прогин 19
- Проектування
- дамб 203
 - дренажу 179
 - мостових споруд 109
 - трубопроводів 152
 - тунелів 120
 - хвостосховищ 199
- Розрахунковий опір 27
- Ростверк 33
- Руліжні доріжки 167
- Сейсмічні дії 142
- Системи осушення 63
- Споживчі властивості споруд 108
- Споруда 10
- Споруди для водопостачання 65
- Трубопроводи
- види 151
 - категорії 154
 - класифікація 154
- Тунелі
- габарити 122
 - класифікація 118
 - сфера застосування 119
- Фундаменти
- види 28
 - у сейсмічних районах 36
 - глибокого закладення 34
 - захист 37
 - на нестійких ґрунтах 35
 - пальові 31
 - стовпчасті 30
- Хвостосховища
- аварії 190
 - експлуатаційна безпека 196
 - структура 193
 - керування 199
- Шлюзи
- експлуатація 52
 - конструкція 54

Навчальне видання

Інкін Олександр Вікторович

ІНЖЕНЕРНІ СПОРУДИ

Навчальний посібник

Редактор Л.О. Чуїщева

Підписано до друку 16.03.2021. Формат 30 × 42/4.

Папір офсетний. Ризографія. Ум. друк. арк. 10,0.

Обл.-вид. арк. 11,2. Тираж 38 пр. Зам.

Підготовлено до друку та видруковано
у Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка».
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1842 від 11.06.2004
49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19.