

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**К. І. Вяткін**

**ПРОЕКТУВАННЯ ТА РЕКОНСТРУКЦІЯ**  
**ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

*(для студентів денної та заочної форм навчання  
спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія)*

**Харків**  
**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**  
**2018**

УДК 69.03

**Вяткін К. І.** Проектування та реконструкція дорожньо-транспортних споруд : конспект лекцій для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія / К. І. Вяткін ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 100 с.

Автор канд. тех. наук, доцент К. І. Вяткін

Рецензент О. В. Завальний – кандидат технічних наук, доцент (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова)

Конспект лекцій складено з метою допомогти студентам спеціальності «Будівництво та цивільна інженерія» під час підготовки до занять, заліків та іспитів із курсу проектування та реконструкція дорожньо-транспортних споруд.

*Рекомендовано кафедрою міського будівництва,  
протокол №1 від 29.08.2017.*

## ЗМІСТ

Тема 1 Мета та завдання курсу. Основні визначення.....	4
Тема 2 Елементи мосту. Статистичні схеми роботи мосту.....	10
Тема 3 Конструкції балкових розрізних і нерозрізних залізобетонних прогонових споруд.....	17
Тема 4 Конструкції балкових розрізних і нерозрізних металевих прогонних споруд.....	26
Тема 5 Конструкції опор мостів.....	36
Тема 6 Оцінка вантажопідйомності залізобетонних прогінних споруд.....	43
Тема 7 Конструкції опорних частин мостів, експлуатаційне облаштування на мостах.....	54
Тема 8 Конструкції труб і лотків у насипу на дорогах України.....	61
Тема 9 Конструкції підпірних стін на дорогах України.....	76
Тема 10 Конструкції автомобільних і залізобетонних тунелів, а також тунелів метрополітенів України.....	84
Список рекомендованих джерел.....	99

## ТЕМА 1 МЕТА ТА ЗАВДАННЯ КУРСУ. ОСНОВНІ ВИЗНАЧЕННЯ

Мости та водопропускні труби – складні, вартісні споруди, термін використання яких зазвичай досягає ста й більше років. У процесі експлуатації вони пошкоджуються; унаслідок збільшення навантаження на окремі елементи споруд вони руйнуються. Іноді змінювання умов експлуатації дороги або судноплавства призводить до необхідності збільшити габарити мостів, тому експлуатовані інженерні споруди потребують періодичних ремонтів, посилення та реконструкції.

У зв'язку з використанням великої кількості так званих старих мостів ( здебільшого з металевими прогонами спорудами), зведених наприкінці минулого та початку ХХІ століття, проблема забезпечення їхньої надійності, ремонту, підсилення, реконструкції стає однією з головних.

Мости повинні ризнитися високою експлуатаційною надійністю. Оцінка надійності та вантажопідйомності мостів серед комплексу робіт щодо їхнього зведення має особливо важливе значення. Щоб досягнути цієї мети, необхідно використовувати найсучасніші методи розрахування, результати випробувань та експериментальних досліджень.

На дорогах України експлуатується 19 662 шт. інженерних споруд протяжністю 560 569 км. Серед них:

- 1) мости – 8 177 шт. – 243 077 км;
- 2) труби – 11 109 шт. – 277,554 км, застосовується схема розвитку та розміщення транспорту України на період до 2020 року з урахуванням подальших перспектив;
- 3) підпорні стіни – 301 шт. – 20 844 км;
- 4) тунелі – 45 автомобільних і залізничних – 17 387 км, 27 пішохідних – 1 707 км;
- 5) галереї;
- 6) селеспуски;



- 7) лотки;
- 8) дюкери.

### 1.1 Інженерні споруди доріг України

Міст – інженерна споруда для пропускання дороги через водотік, яка складається з опор і прогонних споруд, що перекривають простір між опорами.

*Класифікація мостів.* За особливістю (різновидом) перепони, яку необхідно подолати, зводять міст (через водотік); у разі перетину дорогою глибоких ярів (ущелин) замість насипу будують віадуки, якщо це не надто дорого; шляхопровід (через дорогу), надбудову (через міську або заводську територію) (рис. 1.1).

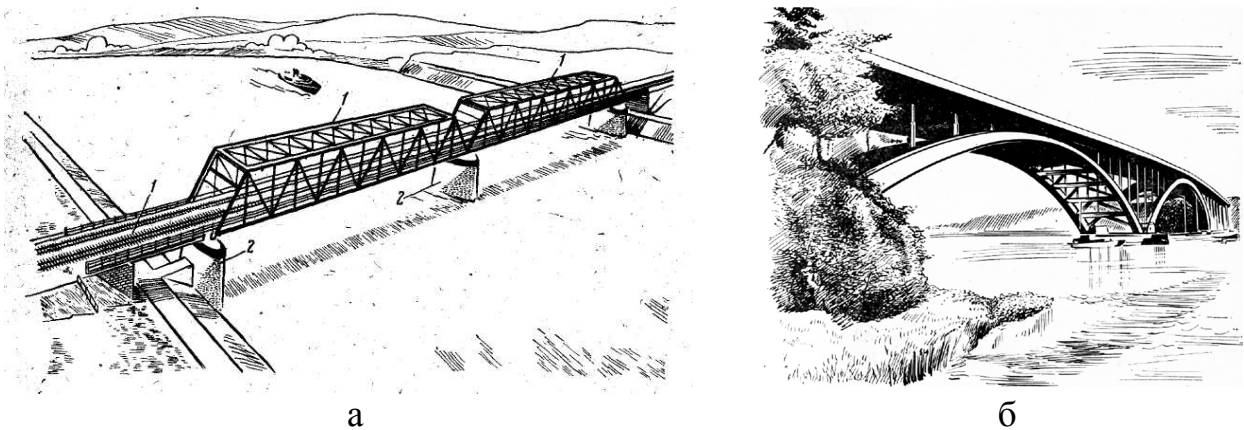


Рисунок 1.1 – Міст через річку:

- а – рамний міст через річку
- б – арочний міст через річку

Тунель – це інженерна споруда, через яку прокладається транспортна магістраль (під перешкодою або через неї) (рис. 1.2).

Труби укладають для пропускання незначного обсягу води (до  $100 \text{ м}^3/\text{с}$ ), їх розташовують у тілі насипу (рис. 1.3, 1.4)



Рисунок 1.2 – Залізничний тунель

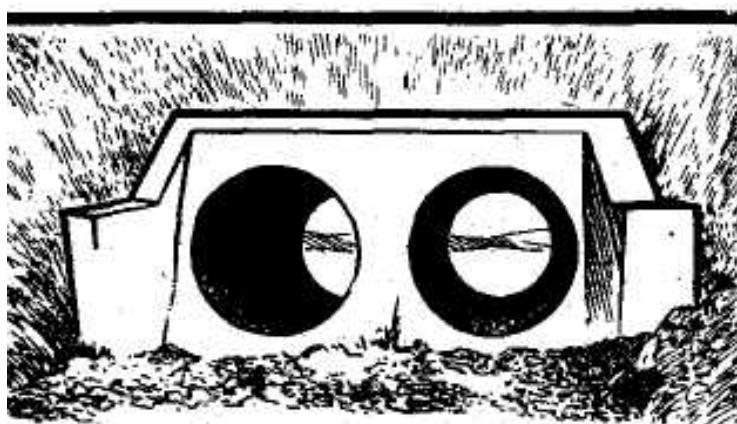


Рисунок 1.3 – Залізнична водопропускна труба

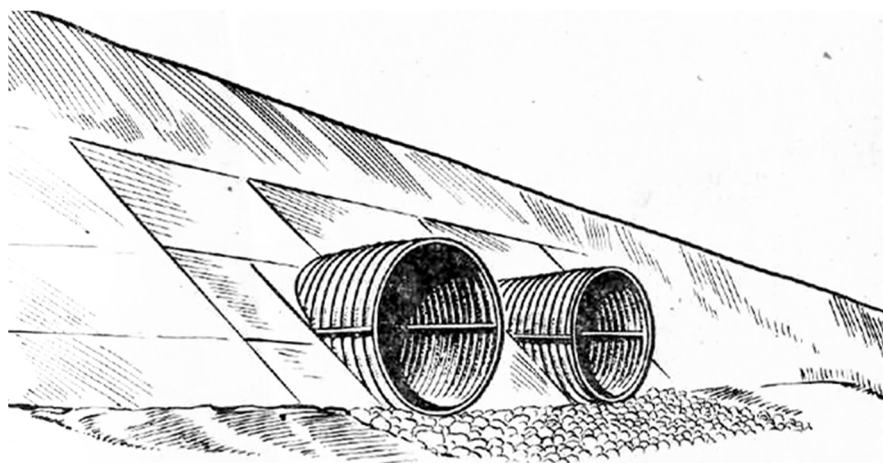


Рисунок 1.4 – Металева гофрована водопропускна труба

Фільтрувальні насипи використовують для пропускання води крізь тіло насипу (кам'яний накид), якщо обсяг водотоку невеликий і не містить наносів, що забруднюють порожнечу в муруванні.

Дюкери застосовують для пропускання води (зрошувальні канали) з одного боку виїмки на інший під полотном дороги.

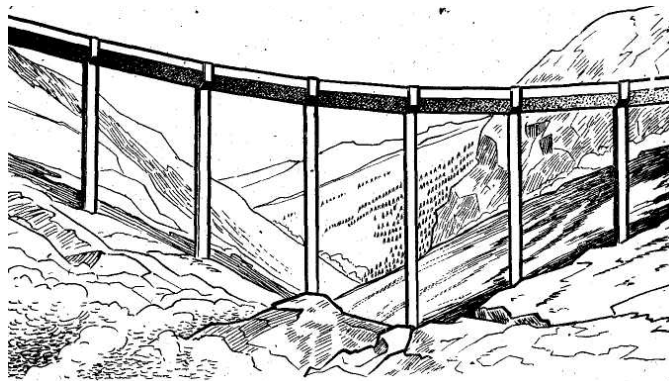
Лотки – невеликі споруди для пропускання води між змусилами (зазвичай на у разі незначної витрати води). Лотки використовують тоді, коли висота насипу не перевищує 1,5 м.

Галереї застосовують під відкриті тунелі.

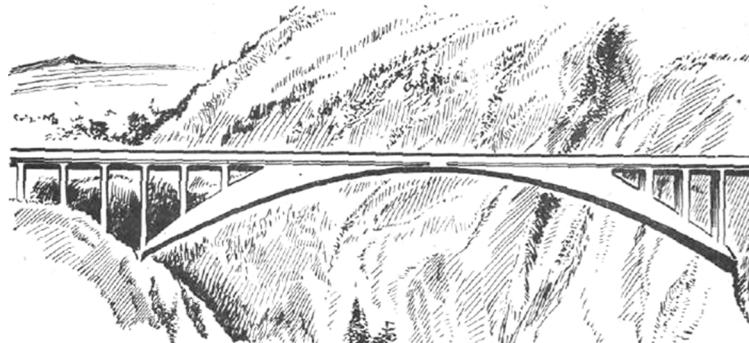
Селеспуск – короткий тунель, по якому протікає бруд або кам'яний селевий потік під час зливи.

Підпірна стіна – це інженерна споруда, яка забезпечує відкис насипу або ґрунт від обвалювання.

Різні види інженерних споруд подано на рисунках 1.5 – 1.11.



а



б

Рисунок 1.5 – Віадук:

а – віадук естакадний

б – віадук арочний

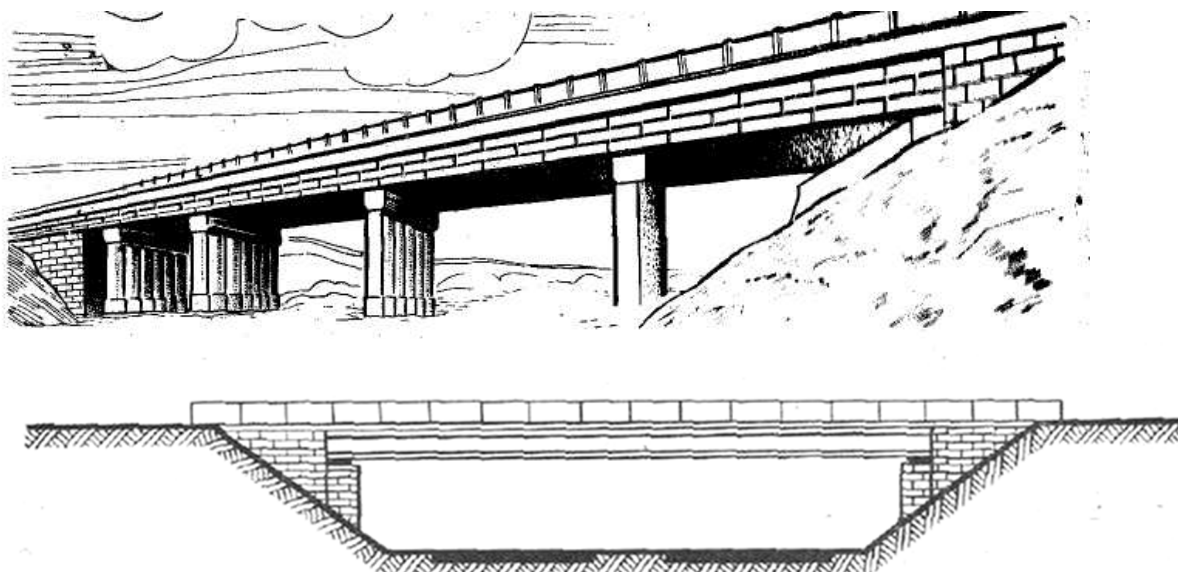


Рисунок 1.6— Шляхопровід

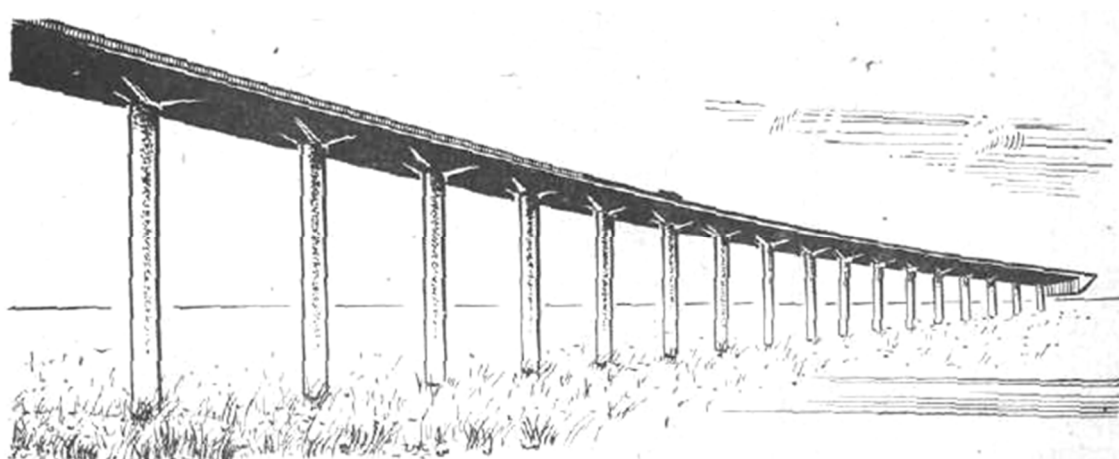


Рисунок 1.7 – Естакада

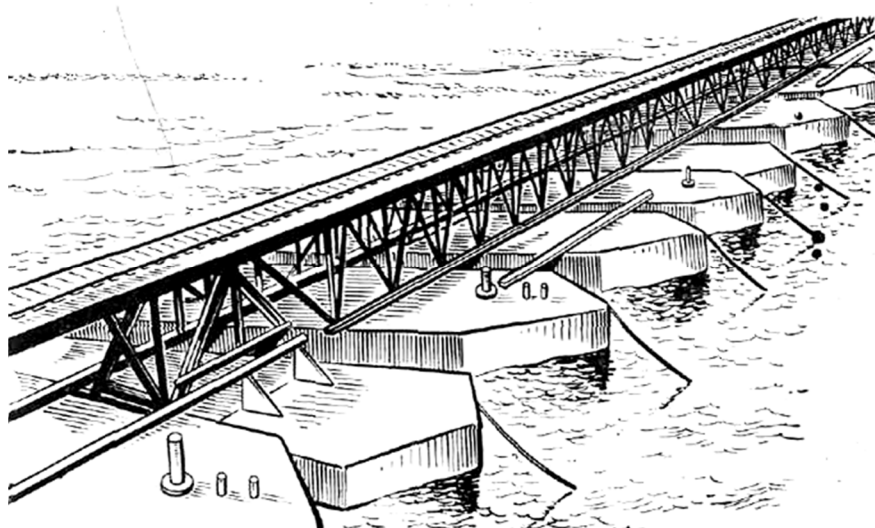


Рисунок 1.8 – Наплавний міст

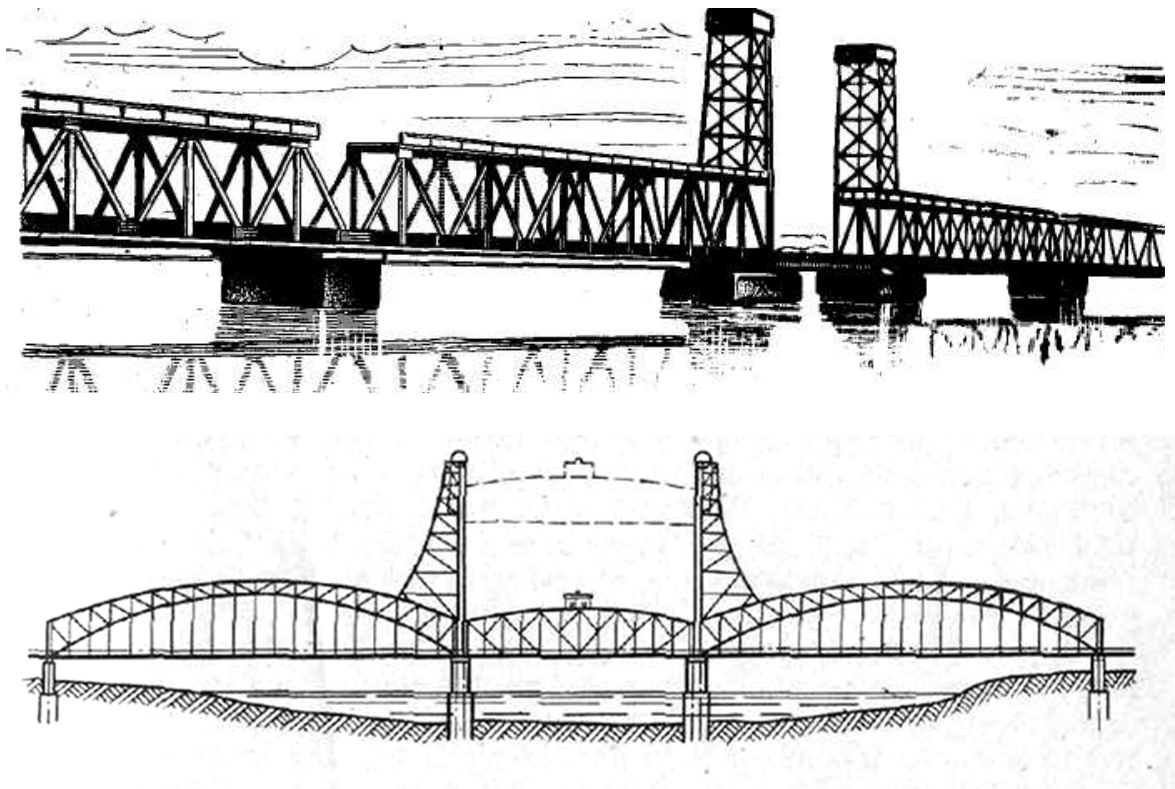


Рисунок 1.9 – Міст із розведеною прогонною будовою

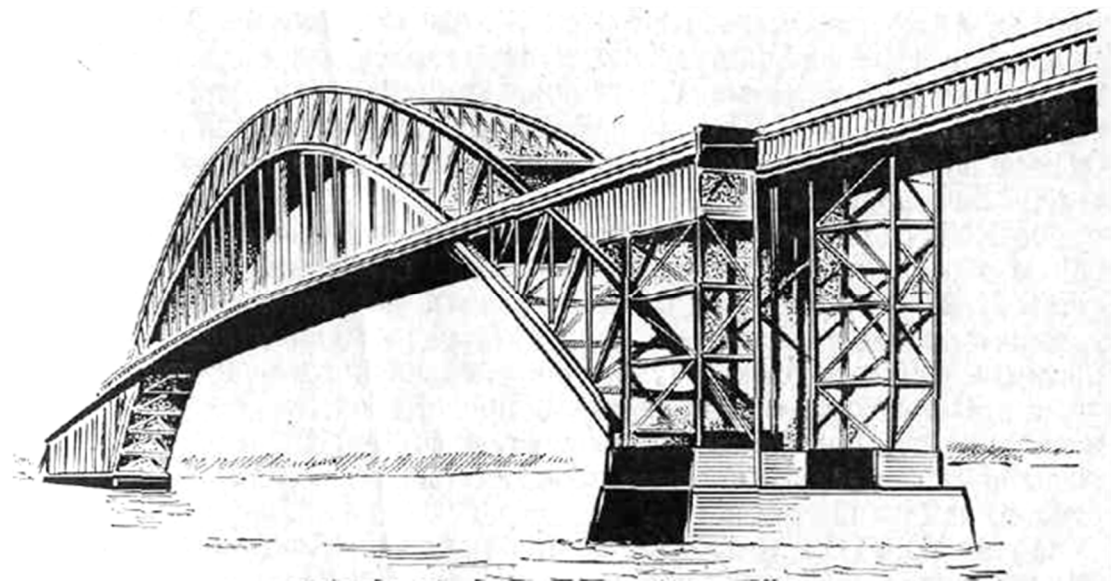


Рисунок 1.10 Арочний міст з проїздом посередині

## 1.2 Завдання курсу

1. Вивчення конструкцій і їх функцій у спорудах.
2. Оцінка й забезпечення надійності експлуатованих інженерних споруд залізничних і автомобільних доріг України.

3. Організація й технологія утримання інженерних споруд. Оцінка їх технічного стану та змісту.

4. Методи й технологія ремонту, підсилення та реконструкції інженерних споруд.

5. Наслідки аварій на інженерних спорудах.

### **Питання для самоконтролю**

1. Подайте визначення поняття «міст».
2. Які види інженерних споруд використовуються на дорогах України.
3. Подайте визначення поняття «тунель», «труба», «лоток», «дюкер», «галерея», «підпірна стіна».
4. Перелічіть завдання курсу.

## **ТЕМА 2 ЕЛЕМЕНТИ МОСТУ. СТАТИСТИЧНІ СХЕМИ РОБОТИ МОСТУ**

Основні елементи мосту – опори й прогонні надбудови. Розрізняють опори берегові, які зазвичай називають стоянами, і проміжні – бики. Кожна опора сприймає навантаження від ваги прогонних надбудов і рухомого навантаження, що по них проходить. На стояни, крім того, тисне насип підходів до моста.

Опори складаються з фундаменту й надфундаментної частини. Фундаменти зводять або безпосередньо на ґрунті, або (якщо ґрунт ненадійний) на спеціальному штучному підмурівку. Матеріалом для опор слугує бетонне, залізобетонне й кам'яне мурування, в окремих випадках для верхньої частини використовують металеві конструкції. Форма й розміри опор визначаються величиною й особливостями навантажень, що передаються від прогонних надбудов, власної ваги та тиску насипу, а

також (значною мірою) умовами проходження під мостом водного потоку, льодоходу та місцевими інженерно-геологічними умовами (рис. 2.1).

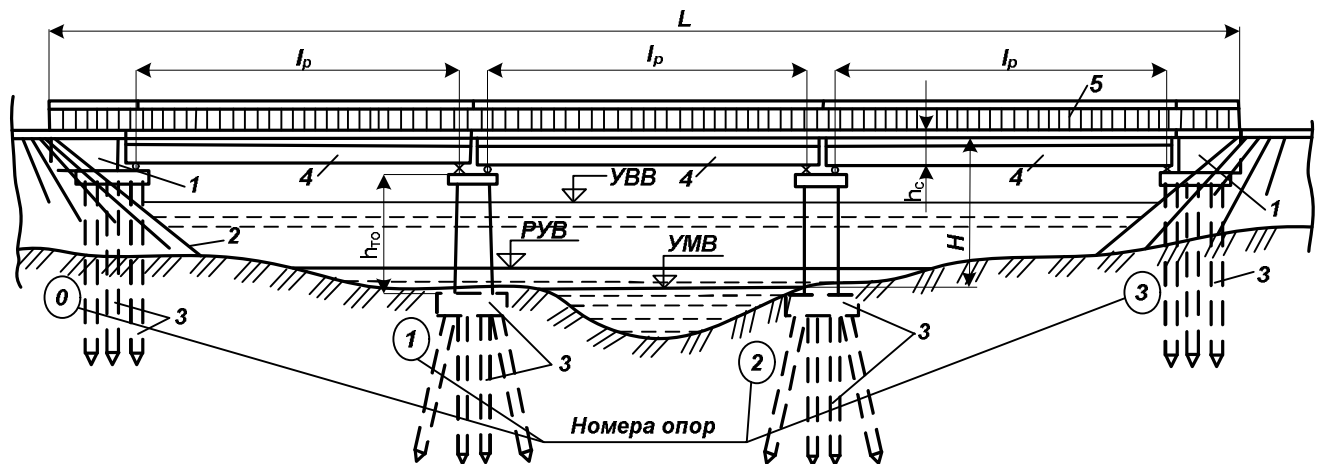


Рисунок 2.1 – Міст завдовжки L:

- 1 – берегові опори (стовпи) на пальових фундаментах;
- 2 – конус насипу;
- 3 – пальовий фундамент;
- 4 – прогонна надбудова із суцільними головними балками;
- 5 – перильні обгородження;
- УВВ – рівень висоти води;
- РУВ – робочий рівень води;
- УМВ – межевий рівень води

Прогонні споруди (надбудови) складаються (рис. 2.1) з головних несучих елементів із суцільним перерізом, наскрізних ферм або комбінованих конструкцій. На базових несучих елементах розташовується конструкція проїжджої частини моста автодорожнього (міського) або мостове полотно залізничного моста. Головні несучі елементи (балки й ферми), з'єднують зв'язками, що забезпечують стійкість і поперечну жорсткість прогону.

Основними розмірами моста та його елементів прийнято вважати:

- повну довжину (L) (рис. 2.1) між задніми гранями підвалин або кінцями прогону, що межує з насипом підходів;
- отвір моста, що забезпечує пропускання «високої» води, за винятком товщини опор;

— висоту ( $H$ ) моста, яка обчислюється від верху проїжджої частини або підшви рейок до рівня мезових вод;

— будівельну висоту ( $h_c$ ) — від верху проїжджої частини до низу конструкції прогонної надбудови;

— розрахунковий прогін, що в разі балкової прогононої надбудови дорівнює відстані між центрами опорних частин, на які встановлюють балки (ферми);

— розрахункова ширина прогону — відстань між осями головних несучих конструкцій (ферм або крайніх балок);

— висота тіла опори ( $h_{ТО}$ ) — від верхнього майданчика до верху (обрізу) фундаменту.

Усі розміри моста та його елементів визначають під час проектування, із урахуванням місцевих інженерно-гідрогеологічних, геологічних і судноплавних умов, встановлених у процесі дослідження, а також на підставі вимог щодо очікуваної інтенсивності руху не тільки в момент проектування, а й у перспективі, відповідно до терміну використання моста.

За особливостями роботи прогоннових надбудов і опор під навантаженням (тобто залежно від статичної схеми) розрізняють балкові, рамні, аркові, висні й комбіновані системи мостів.

Найпоширенішими є балкові системи мостів. У них прогонні надбудови у вигляді суцільних балок або наскрізних гратчастих ферм вільно встановлені на опорні частини, через які на опори моста передаються всі вертикальні навантаження. Прогонні надбудови можуть бути простими балково-розрізними (рис. 2.2, а), балково-консольними (рис. 2.2, б) і балково-нерозрізними (рис. 2.2, в). У балково-розрізній системі вигин від власної ваги й рухомого навантаження одного прогону не відображається на суміжні. Такі системи застосовують переважно в малих і середніх залізобетонних і металевих мостах з прогонами до 42 м. У залізничних мостах металеві балково-розрізні гратчасті конструкції



прогонних надбудов використовуються в прогонах від 33 до 158 м. Інші різновиди балкових систем, такі як балково-консольні й балково-нерозрізні, відрізняються від балково-розрізних тим, що навантаження, яке діє на одній із прогонних надбудов, впливає і на сусідні. Це призводить до деякого полегшення перетинів балок або елементів ферм унаслідок одночасної роботи конструкцій декількох прогонів.

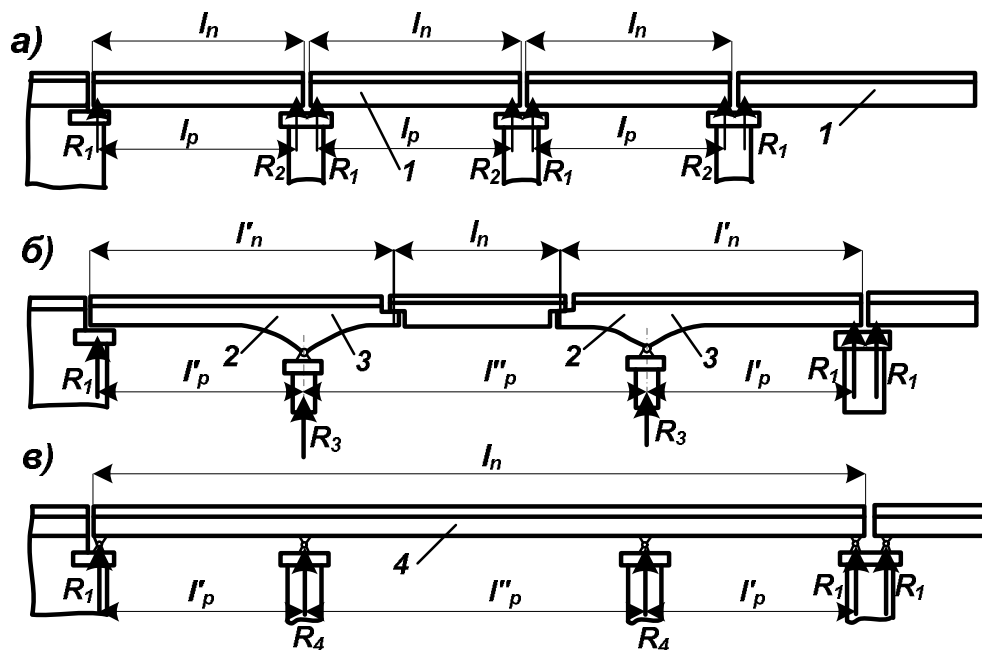


Рисунок 2.2 – Балкові прогонні надбудови:

- 1 – розрізна з повною довжиною  $l_n$ ;
- 2–3 – консольно-балкова довжина  $l'_n$  (3 – консоль);
- 4 – нерозрізна з повною довжиною  $l_n$ ;  $l'_p, l''_p$  – розрахункові прогони;
- $R_1 - R_4$  – вертикальні опорні реакції

У рамних мостах прогонні надбудови жорстко з'єднані з опорами. Вигин від навантажень прогону спричиняє вигин опор, тобто на опори, крім вертикальних опорних навантажень, передається й горизонтальний опір. У мостобудуванні застосовують низку конструктивних рішень рамних систем, а саме: Т-подібні рами з опертям на їхні консолі (рис. 2.3, а), погінні балкові конструкції (рамно-погінні системи); рами зі з'єднанням суміжних консолей (рис. 2.3, б) шарнірами, розташованими в прогоні

(рамно-консольні системи); нерозрізні рамні системи (рис. 2.3, в). Усі ці системи застосовуються під час будівництва шляхопроводів і мостів.

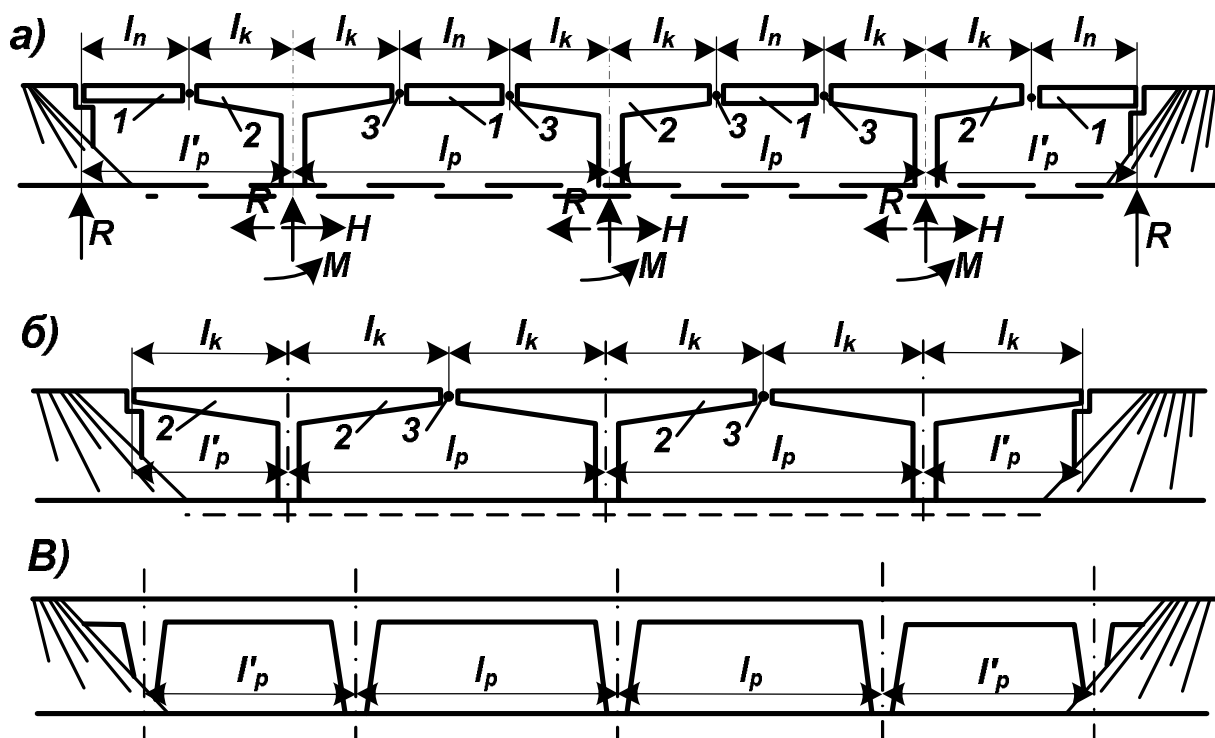


Рисунок 2.3 — Рамні прогонні надбудови:

1 – погінні прогонні надбудови;  
 2 – консоль Т-подібної рами;  
 3 – шарніри;  
 $l_p, l'_p$  – розрахунковий прогін;  
 $l_k$  – довжина консолі;  
 $l_n$  – довжина погінної прогонної надбудови;  
 $R, H, M$  – вертикальна і горизонтальна опорні реакції, що спричиняють вигинальний момент

В аркових мостах (рис. 2.4) унаслідок дії власної ваги й рухомих навантажень, розташованих на прогонних будовах, в опорах виникають реактивні сили, які можна розглядати як рівнодіючі вертикальні й горизонтальні складники  $H$  і  $V$ . Горизонтальну силу  $H$  називають розпором. Аркові прогонні надбудови можуть бути трьохшарнірними (рис. 2.4, а), двошарнірними (рис. 2.4, б) і безшарнірні (рис. 2.4, в). Останні зазвичай застосовують у середніх і великих мостах.

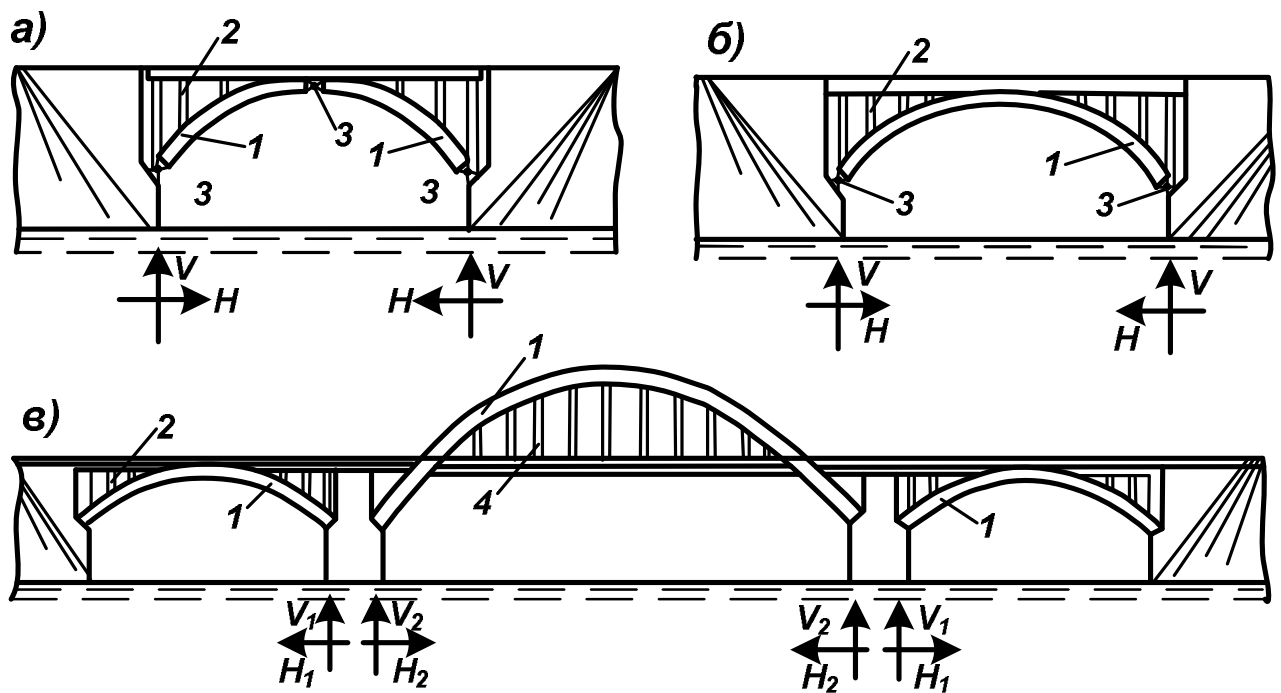


Рисунок 2.4 – Аркові прогонні надбудови:

- 1 – арки;
- 2 – надаркові рами або стояки;
- 3 – шарніри;
- 4 – підвіси

У вісних мостах прогонні надбудови (рис. 2.5, а) влаштовують у вигляді повздовжньої балки (балка жорсткості), розташовуючи на ній конструкцію проїжджої частини, підтримуваної кабелем (сталевим канатом або сталевий ланцюгом). На опорах встановлюють високі стояки, які називають пілонами, через які перекинуто канати або ланцюги, що закріплюються за кінці балок або на берегах за підвалини моста.

Конструкція вісних мостів може становити вільно обвислі канати, на які за допомогою підвісок передається навантаження від балки жорсткості, або натягнуті сталеві ванти, безпосередньо закріплені до балки без підвісок. В останньому випадку прогонна надбудова називається вантовою (рис. 2.5, а). Вісні й вантові прогонні надбудови застосовують переважно в автодорожніх і міських мостах з прогонами понад 100 м. Використання канатів зі сталі високої міцності забезпечує облаштування середніх і великих прогонів висних мостів – до 1 300 м і більше.

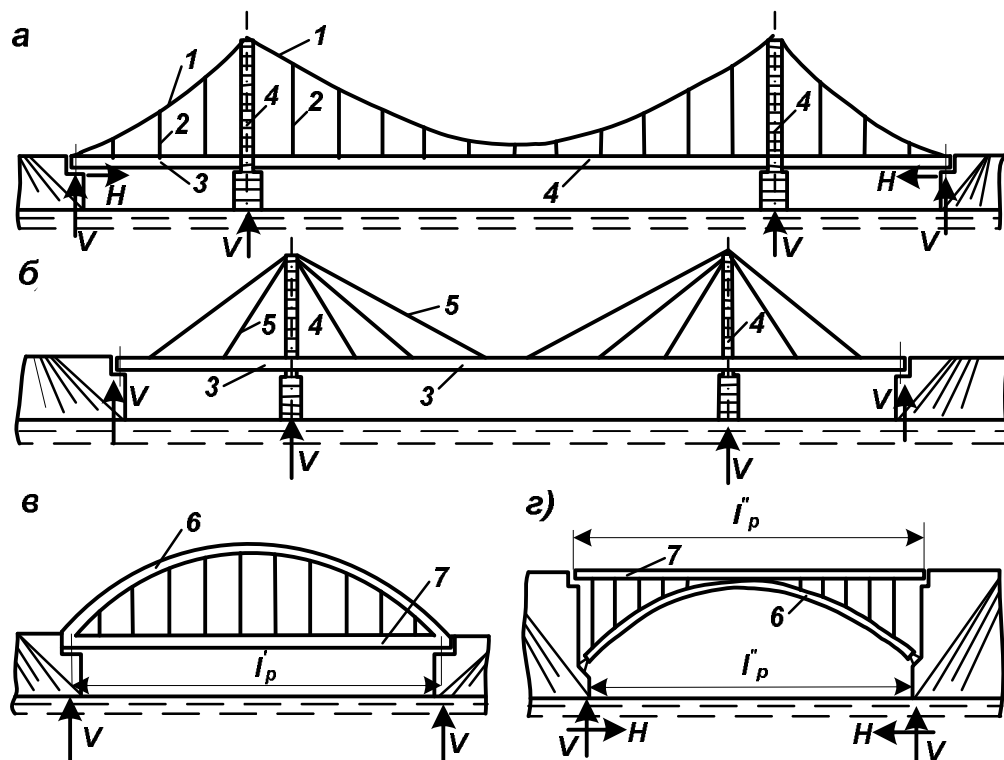


Рисунок 2.5 – Вісні та комбіновані прогонні надбудови:

- 1 – кабель;
- 2 – підвіска;
- 3 – балка жорсткості;
- 4 – пілон;
- 5 – ванти;
- 6 – арка;
- 7 – балка-затяжка;
- $V$ ,  $H$  – вертикальна й горизонтальна опорні реакції

Окрім наведених схем (систем) прогонних надбудов, застосовують також комбіновані. Наприклад, аркові, прогонні надбудови з затягуванням (рис. 2.5, в). У цьому разі горизонтальний розпір від арки сприймається балкою-затяжкою. Застосовують також балкові конструкції з арками (рис. 2.5, г), у яких нерозрізна балкова конструкція підтримується знизу арками. Комбіновані системи можуть бути різноманітними, і під час зведення великих споруд за техніко-економічними показниками вони переважають порівнянно з простими статичними системами мостів.

За місцем розташування проїжджої частини моста щодо його головних несучих конструкцій розрізняють мости з проїздом знизу, зверху (рис. 2.5, г) й посередині (див. рис. 2.4, в, середній прогін).

### **Питання для самоконтролю**

1. Визначте основні елементи мосту.
2. За якими основними показниками визначають розміри мостів і його елементів.
3. Охарактеризуйте балкові прогонні надбудови.
4. Охарактеризуйте рамні прогонні надбудови.
5. Охарактеризуйте аркові прогонні надбудови.
5. Охарактеризуйте вісні та комбіновані прогонні надбудови.

## **ТЕМА 3 КОНСТРУКЦІЇ БАЛКОВИХ РОЗРІЗНИХ І НЕРОЗРІЗНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПРОГОННИХ СПОРУД**

Залізобетонні балкові прогонні надбудови (рис. 3.1) класифікують за низкою ознак:

- за статичною схемою – однопрогонні та багатопрогонні за рішенням розрізні системи залежно від місцевих умов; нерозрізні, що зазвичай застосовуються у прогонах понад 30 м, і консольні системи;
- за розташуванням рівня проїзду – із проїздом по верху і по низу;
- за конструктивною формою – плитні, ребристі й коробчаті;
- за різновидом армування – конструкції з ненапруженою й попередньо напруженою арматурою. Відповідно до способу проведення робіт прогонні споруди можуть бути монолітними, збірними й збірно-монолітними.

Балкові розрізні прогонні споруди під залізницю застосовують для перекривання прогонів від 3 до 33 м, а для автодороги – до 42 м.

Плитні прогонні споруди різняться простотою конструктивної форми порівняно з ребристою конструкцією (рис 3.1, а), але бетону на них витрачається значно більше. За умови обмеження габаритів, наприклад під час спорудження шляхопроводів, застосовують плитні прогонні споруди, будівельна висота яких незначна.

Найпоширенішими є ребристі прогонні споруди, що складаються з двох блоків промислового виробництва. Поперечним розрізом із прямокутною формою ребра різняться конструкції із ненапруженою арматурою (рис 3.1, б), а форма ребра з тонкою стінкою і розширеним нижнім поясом застосовується для зменшення маси прогонних споруд із попередньо напруженого залізобетону, що дає змогу перекрити великі прогони (рис 3.1, в).

Поперечні перерізи, які складаються з двох П-подібних блоків, використовуються в експлуатованих залізничних мостах (рис 3.1, г). На сьогодні такі прогонні споруди не застосовуються, оскільки їх обсяг значний, а опалубні форми ускладнені. Поперечний розріз суцільноперевізної прогонної споруди з відкидними консолями на шарнірах зображено на рисунку 3.1, д. Пристрій таких консолей, що перевозять у вертикальному положенні, дає змогу «вписатися» в габарити рухомого складу.

Застосування шарніра, однак спричиняє низку перешкод під час виготовлення, омоноличування і експлуатації, тому в наш час такі прогонні споруди не застосовуються, але містяться в переліку експлуатаційних (прогонні споруди системи Артамонова).

Коробчасті перетини широко застосовуються в нерозрізних і консольних системах великих прогонів. Використання коробчастої форми забезпечує значне підвищення згинальної і, особливо, крутної жорсткості прогону (рис 3.1, е).

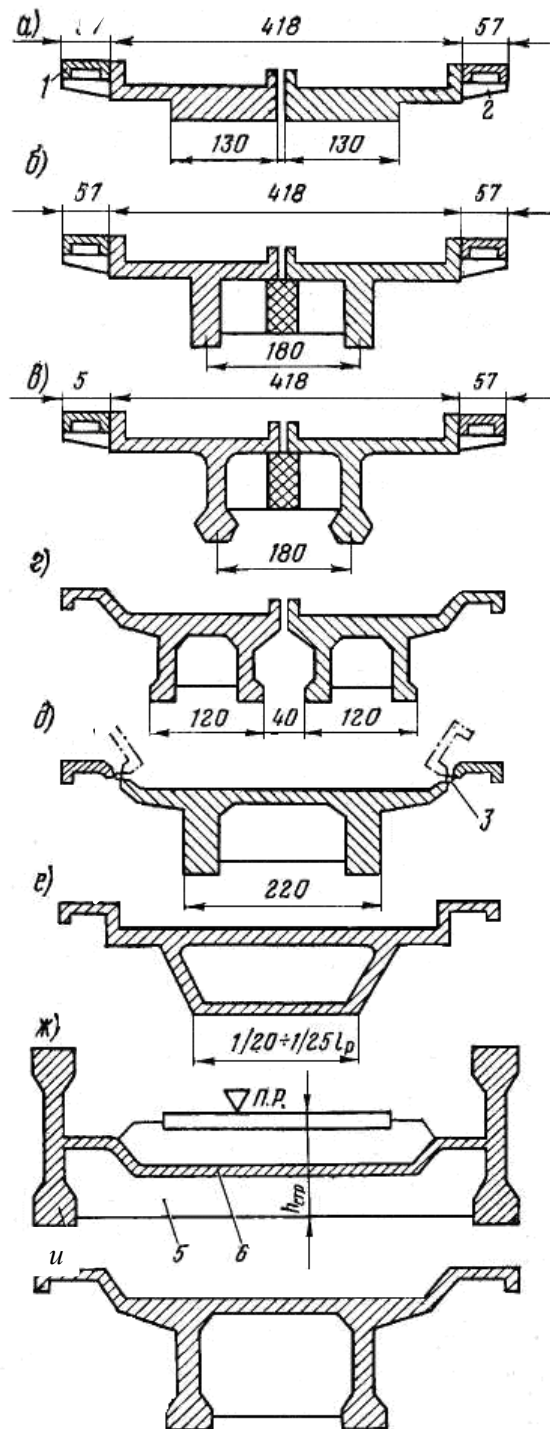


Рисунок 3.1 – Конструктивні форми прогонних споруд:

- а – плитне; б, в – ребристі; г – П-подібні; д – суцільноперевізні;  
 е – коробчасті; ж – із проїздом по низу; и – монолітні;  
 1 – тротуарна плитка; 2 – консоль; 3 – шарнір; 4 – головна балка;  
 5 – поперечна балка; 6 – плита баластового корита

У прогонних спорудах із проїздом по низу проїжджу частину необхідно влаштовувати у вигляді густо розташованих поперечних балок і

плит баластового корита. Головні балки розсовують на значну відстань, яка визначається розміром наближення споруд.

Позитивною особливістю таких прогонних споруд є мінімальна будівельна висота ( $h_{\text{стр}}$ ), розмір якої для такої конструкції не залежить від величини прогону.

На рисунку 3.1, и зображено поперечний розв'яз прогонної споруди в монолітному виконанні.

Окрім улаштування колії на баласті, застосовують безбаластні конструкції прогонних споруд. Можуть бути застосовані два рішення: мостові бруси укладають на головні балки двотаврової форми або рейки прикріплюють безпосередньо до плити прогонної споруди за допомогою пружних прокладок.

Найбільш розповсюджені поперечні розрізи прогонних споруд під автомобільні дороги, зображені на рисунку 3.2. Для перекривання невеликих прогонів, як і на залізницях, використовують плитні конструкції.

Особливістю автодорожніх мостів є ширина проїжджої частини, яка визначається за габаритом  $\Gamma$ , залежно від категорії дороги, а також за способом облаштування тротуарів.

Повздовжні балки збірних прогонних споруд більшості тимчасових мостів мають тавровий перетин, більш простий у виробництві. Балки з П-подібним і коробчастим перерізом, що різняться більшою жорсткістю під час скручування, особливо перспективні для використання в мостах із великими прогонами.



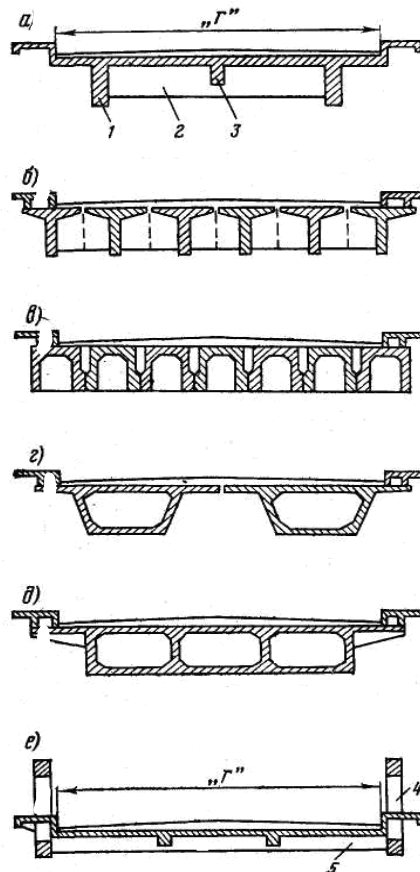


Рисунок 3.2 – Конструктивні форми прогонних споруд під автомобільну дорогу:

- а – із двома головними балками; б – із тавровими балками;  
 в – із П-подібними балками; г, д – із коробчастими балками;  
 в – із проїздом по низу; 1 – головна балка; 2, 5 – поперечні балки;  
 2 – проколювальна допоміжна балка; 4 – наскрізна ферма

### 3.1 Плитні прогонні споруди

Розрізні балкові мости із проїздом по верху поширені найбільше, їх переважно виконують зі збірних елементів із попередньо напруженою арматурою.

Прогонні споруди до 16,5 м завдовжки можуть бути виготовлені зі звичайного залізобетону з ненапруженою арматурою.

Для залізничних мостів розроблено типові проекти збірних залізобетонних прогонних споруд. Прогонні споруди 2,95 м завдовжки – одноблокові, решта – двоблокові. Блоки плитних прогонних споруд не

з'єднуються, їхнє положення в поперечному напрямку фіксується опорними частинами.

Плитні прогонні споруди – найпростіша форма балкової системи. У наш час плитні конструкції застосовуються винятково промислового виготовлення.

Ширина плити знизу повинна бути достатньою для розміщення робочої арматури і для забезпечення стійкості щодо перекидання. Зазвичай висоту плити призначають із розрахунку  $\frac{1}{10} - \frac{1}{15}$  розрахункового прогону. На рисунку 3.3 наведено контурне креслення типового плитного прогону під залізницю завдовжки 6 м.

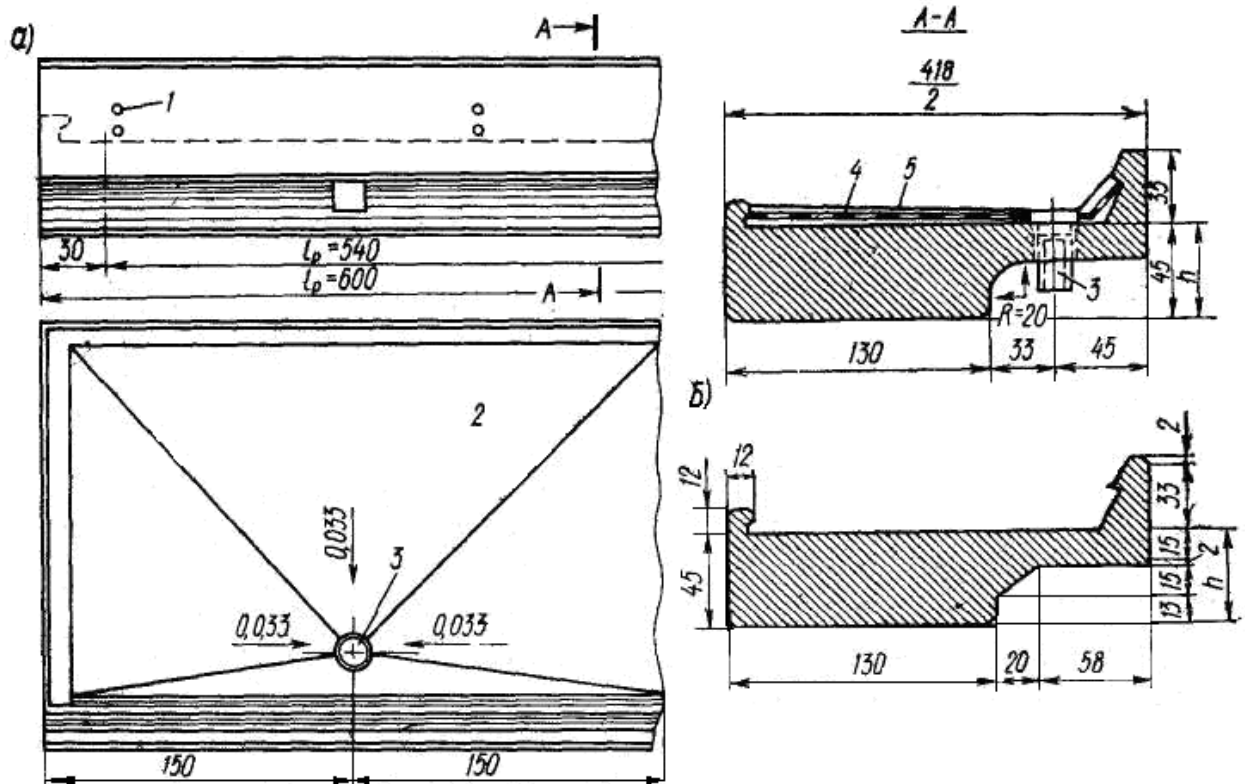


Рисунок 3.3 – Плитна прогонна споруда під залізничну дорогу:

а – фасад і план; б – варіант поперечного перетину для дерев'яної опалубки: 1 – отвір для болтів; 2 – поверхня плити; 3 – водовідвідна трубка; 4 – гідроізоляція; 5 – захисний прошарок

Консолі поперечного перерізу закінчуються бортиками, які утворюють баластне корито.

Облаштування службових тротуарів передбачено на консолях. Поверхню плити нахилено в повздовжньому й поперечному напрямках для відведення води через водовідвідні трубки.

Для забезпечення бетону від просочування води поверхню плити покривають водонепроникною гідроізоляцією, зверху на яку укладають захисний шар.

Зі збільшенням прогону плити збільшується висота її перетину, а отже, і витрати бетону на нижню розтягнуту зону.

Для прогонів понад 6 м зі звичайною висотою плити бажано зменшити площу розтягнутої зони, що передбачає застосування ребристих прогонних конструкцій.

### **3.2 Ребристі прогонні споруди з ненапруженою арматурою**

Прогонна споруда складається з двох блоків Т-подібної форми, що включають плиту й ребро (рис. 3.4). Плити двох блоків утворюють баластне корито. Робоча арматура блоків розміщена в нижній частині ребер.

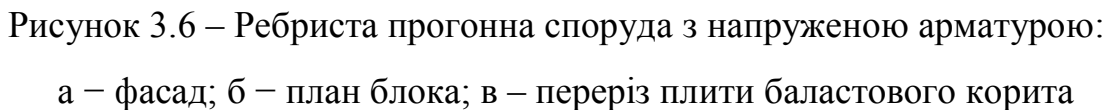
Для формування тротуарів використовують приставні консолі зі знімними плитами.

Блоки ребристих прогонних споруд з'єднуються за допомогою діафрагм.

Стала висота ребра призначається в межах  $\frac{1}{10} - \frac{1}{15}$  розрахункового прогону (l). Поверхні плити надано поперечний і повздовжній ухили для стікання води до водовідвідних трубок.

Примикання плити до ребра запроектовано по циліндричній поверхні (R = 30 см) для виготовлення в металевій опалубці.





1. Охарактеризуйте конструктивні форми прогонних споруд.
2. Охарактеризуйте конструктивні форми прогонних споруд під автомобільну дорогу.
3. Охарактеризуйте плитну прогонну споруду під залізничну дорогу.
4. Охарактеризуйте ребристу прогонну споруду з ненапруженою арматурою.
5. Охарактеризуйте армування ребристої прогонної споруди з ненапруженою арматурою.
6. Охарактеризуйте ребристу прогонну споруду з напруженою арматурою.

## **ТЕМА 4 КОНСТРУКЦІЇ БАЛКОВИХ РОЗРІЗНИХ ТА НЕРОЗРІЗНИХ МЕТАЛЕВИХ ПРОГОННИХ СПОРУД**

### **4.1 Сфера застосування металевих мостів**

У металевих мостах прогонні споруди виготовляють із металу, а опори – із бетону або залізобетону. Метал – найкращим матеріал для зведення будівельних конструкцій. Унаслідок значної міцності будівельних сталей такими прогонними спорудами можна перекривати значно більші прогони порівняно із залізобетонними. Прогони сучасних сталевих мостів перевищують 1 км.

Сталеві прогонні споруди за статичною системою можуть бути балковими, арковими, рамними, висними й комбінованими; за розташуванням рівня проїзду – із проїздом по верху, по середині й по низу, а в конструктивному відношенні – із суцільними несучими конструкціями (балками, рамами, арками) і з наскрізними (ґратчастими). Широкого застосування набули балкові прогонні споруди. Застосовують також прогонні надбудови, у яких головні сталеві балки несучої конструкції з'єднані із залізобетонною плитою для одночасної роботи під навантаженням. Такі об'єднані конструкції називають також сталезалізобетонними.

Металеві прогонні споруди різняться низкою переваг порівняно з прогонними надбудовами з інших матеріалів: значна виробнича потужність під час виготовлення на заводі, зручність монтажу конструкцій, можливість перекрити великі прогони при порівняно невеликій власній вазі конструкцій, найбільше можливостей для відновлення конструкції у разі їх пошкодження, а також відносна простота посилення конструкції в разі потреби. Основними недоліками металевих прогонних споруд є значна витрата прокатного металу, великі витрати на експлуатацію, обумовлені необхідністю періодично фарбувати

конструкції, і відносно менша довговічність порівняно із залізобетонними прогонними спорудами.

Металеві прогонні споруди залізничних мостів у вигляді балково-розрізних наскрізних ферм широко застосовують для перекриття прогонів завдовжки 55 – 158 м, а для прогонів завдовжки 33 – 55 м – у вигляді розрізних балок із суцільною стінкою. Для автодорожніх мостів металеві прогонні споруди різних статичних систем зазвичай застосовують у разі прогонів понад 60 м (рис. 4.1).

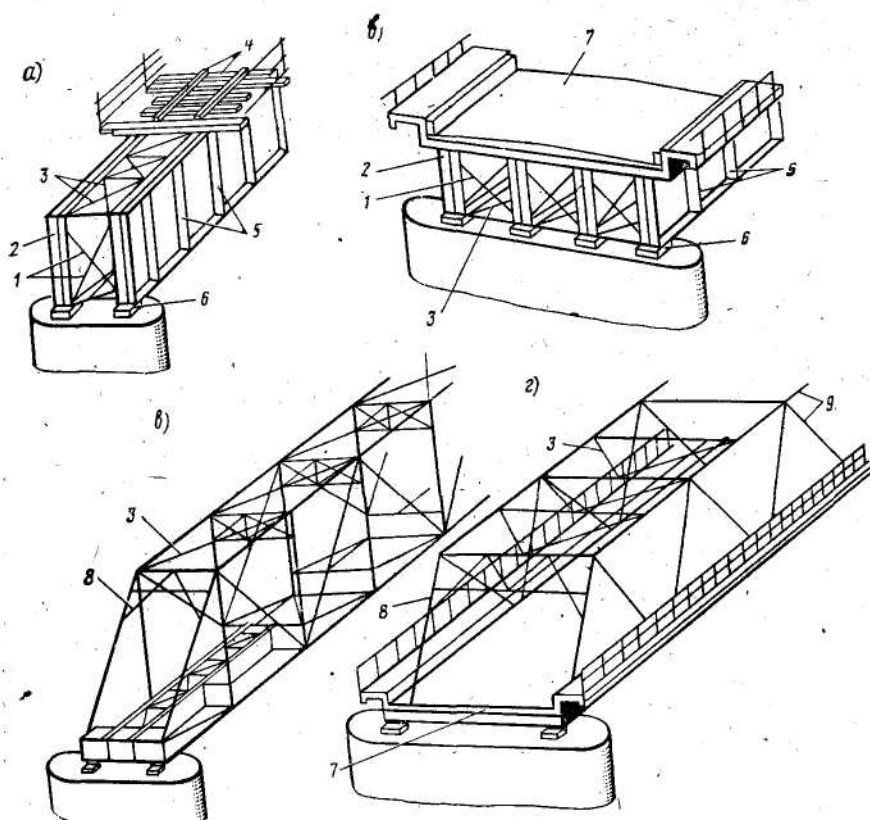


Рисунок 4.1 – Сталеві прогонні споруди:

- 1 – поперечні зв'язки; 2 – головна балка; 3 – повздовжні зв'язки;  
4 – мостове полотно; 5 – ребра жорсткості; 6 – опорні частини;  
7 – залізобетонна плита проїжджої частини; 8 – портальне заповнення;  
9 – головна ферма

Основними несучими конструкціями слугують головні балки із суцільною вертикальною стінкою або головні ферми, що складаються з окремих елементів, які працюють, зазвичай, на осьові зусилля, за винятком

безрозкісних ферм і ферм з жорстким нижнім або верхнім поясом, елементи яких сприймають і згинальні моменти. У разі проїзду по верху можливими є застосування наскрізних ферм і суцільних балок – у разі проїзду по низу, але такі конструкції в сучасних мостах зустрічаються зрідка.

У разі проїзду по верху в одноколійних залізничних прогонних спорудах застосовують дві головні балки, а в автодорожніх їхню кількість визначають шляхом техніко-економічних розрахунків, беручи до уваги габарити проїзду, величини перекриття прогоном та інші чинники. У разі проїзду по низу прогонна споруда зазвичай обладнується двома головними фермами.

Головні балки й ферми з'єднують за допомогою повздовжніх і поперечних зв'язок, що забезпечують просторову стійкість і жорсткість прогонної споруди і сприймають горизонтальні поперечні навантаження. Мінімально необхідною є одна система повздовжніх і поперечних зв'язків опор (рис. 4.1, а). Для збільшення жорсткості прогонної споруди, убезпечення від скручування й зменшення вільної довжини стиснутих елементів зазвичай додатково використовують другу систему повздовжніх зв'язків, а також поперечні зв'язки не тільки над опорами, але і в прогоні. В автодорожніх об'єднаних прогонних спорудах одну систему зв'язків зазвичай замінює залізобетонна плита (рис. 4.1, б) або суцільний сталевий лист, що є елементами конструкції проїжджої частини. У прогонних спорудах із проїздом по низу (рис. 4.1, в, г) опорні поперечні зв'язки влаштовують у вигляді порталного заповнення, обрис якого обирають, беручи до уваги габарити рухомого складу. Конструкція проїжджої частини автодорожніх мостів із проїздом по верху в разі, якщо головні балки розташовані близько, може спиратися безпосередньо на балки (рис. 4.1, б), а в разі значної віддаленості головних балок або ферм (наприклад у разі проїзду по низу) – на балки проїжджої частини (рис. 4.1,



г). Балки проїжджої частини застосовують тоді, коли головні балки (ферми) розташовані на відстані більше ніж 4–5 м одна від одної.

## 4.2 Способи з'єднання металевих елементів

Для з'єднання елементів металевих конструкцій у сучасних мостах застосовують зварювання, заклепки й високоміцні болти.

Зварювання широко застосовують на заводах під час виготовлення елементів, застосовують його і під час монтажу. Зварні з'єднання виконують за допомогою переважно автоматичного й напівавтоматичного електричного дугового зварювання, застосовуючи сталеві електроди.

Зварні з'єднання розподіляють на робочі, що передають зусилля, і зв'язні – для одночасно діючих речовин, які не передають один одному ніяких зусиль. Зварюванням елементи з'єднують встик (рис. 4.2,а), навхлист (рис. 4.2,б, в) і з накладками.

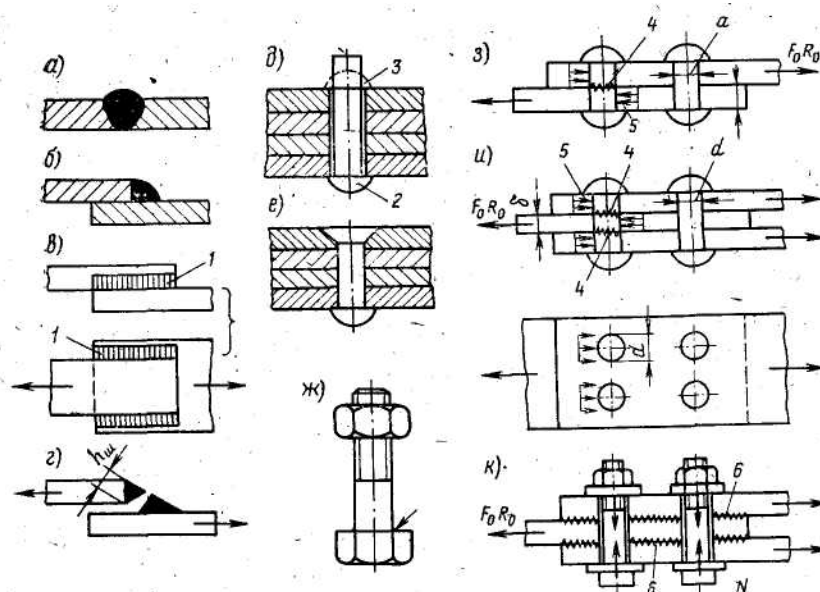


Рисунок 4.2 – Різновиди з'єднань елементів металевих мостів:  
1 – фланговий шов; 2 – закладна головка; 3 – замикальна головка;  
4 – перетин, що працює на зріз; 5 – епюра напруженого зім'яття;  
6 – площа контакту, що передає зусилля тертям

Заклепувальні з'єднання теж розподіляють на робочі й зв'язувальні. Заклепка становить собою круглий стрижень із наштампованою на одному

його кінці заставною головкою (рис. 4.2, д). Нагріту до червоного кольору заклепку вводять в отвір, притискають заставну головку підтримкою і розклепують частину стрижня що виступає, формуючи з нього замикальну головку. Під час розклепування стрижень щільно закриває отвір, а охолоджуючись, стягує сполучувальні елементи. У місцях, де не можна розмістити виступних головок, застосовують заклепки з потаємною головкою (рис. 4.2).

Високоміцні болти (рис. 4.2, ж) з термозміцненням сталі вставляють в отвір трохи більшого (на 2 – 3 мм) ніж стрижень, діаметра болта і, натягуючи гайки, сильно стискають сполучувані елементи. Унаслідок цього зусилля, що діють на з'єднання, передаються тертю, що виникає між елементами (рис. 4.2,к).

### **4.3 Матеріал для металевих мостів**

Матеріалом для елементів металевих мостів слугує вуглецева низьколегована сталь. Вміст вуглецю у вуглецевій сталі порівняно невеликий (до 0,3 %). Збільшення вмісту вуглецю спричиняє підвищення міцності й межі плинності сталі, збільшує її крихкість, трудомісткість обробки і погіршує умови зварювання конструкції, тому в мостах застосовують сталі підвищеної якості, одержувані шляхом введення в них (легування) домішок, що збільшують міцність. Серед вуглецевих сталей для мостів застосовують Ст - 3 бруківку, призначену для клепаних конструкцій, і М-16С, призначену для зварних. Серед низьколегованих сталей найбільш використовуваними є 15ХСНД, 10ХСНД і 10Г2СД. Підвищення міцності сталі досягають шляхом термічної обробки в спеціальних печах.

Заклепки виготовляють із більш м'якої сталі марки Ст 2 - клепаних, а високоміцні болти – із легованої термозміцненої сталі 40Х.

Для виготовлення елементів сталевих мостів здебільшого використовують вальцьовану сталь. Для уніфікування застосовуваних профілів використовують стандартний сортамент прокатного металу.

Листова сталь слугує основним матеріалом для виготовлення мостових конструкцій.

Застосовують кутову сталь з полицями однакової (рівнополичний куточок) або різної (нерівнополичний куточок) ширини.

Розрізняють такі двотаврові балки: звичайні – із високою стінкою і неширокими полицями (рис. 4.3, в) і широкополичні (рис. 4.3, г), що різняться значно більшою поперечною жорсткістю.

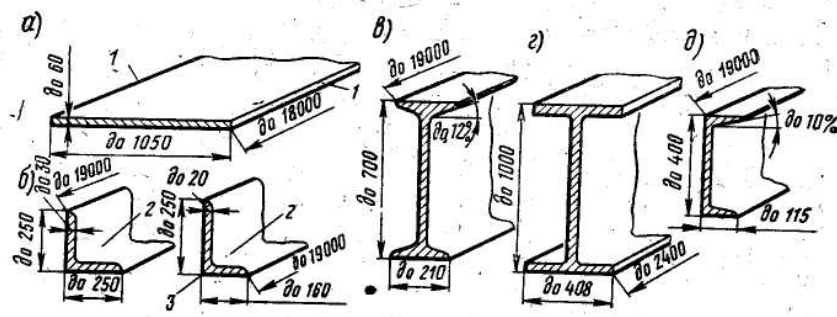


Рисунок 4.3 – Основні різновиди прокатної сталі, застосовуваної в мостах:

- 1 – чиста бокова окрайка універсальної сталі;
- 2 – викружка кутка;
- 3 – обушок кутка

#### 4.4 Конструкції прогонних споруд із суцільною стінкою

Прогонні споруди із клепаними суцільними балками з проїздом по верху (рис. 4.4) складаються з таких основних частин: головні балки, повздовжні зв'язки (розташовані в площині верхніх (і нижніх) поясів), поперечні зв'язки між головними балками, (розташовуються на кінцях (над опорами) і в прогоні опорних частин, на які спираються головні балки) і мостового полотна.

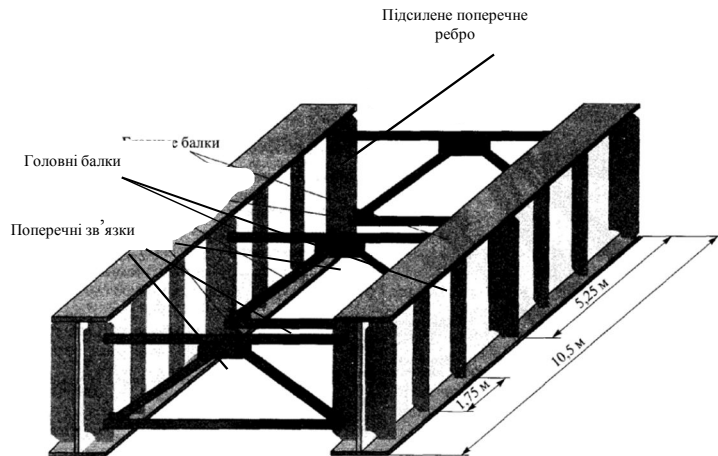


Рисунок 4.4 – Прогонні будови із суцільними балками

Головні балки прогонної споруди сприймають усі навантаження (постійне й тимчасове), що діють на прогонну споруду, і через опорні частини передають на опори тиск, що спричиняють ці навантаження. Повздовжні й поперечні (над опорами) зв'язки необхідні для утворення просторово незмінної жорсткої системи прогонної споруди загалом. Повздовжні зв'язки в площині верхніх поясів (верхні зв'язки) необхідні в будь – якому разі. Вони сприймають горизонтальні удари рухомого складу, що виникають під час проходження поїздів по мосту, а також бічний тиск вітру, що діє на поїзд, мостове полотно й головні балки, і передають тиск від цих навантажень на поперечні зв'язки, що встановлюються над опорами, які у свою чергу, передають його на опори моста. Крім того, верхні зв'язки необхідні для зменшення вільної довжини верхнього (стисненого) пояса. Якщо є нижні повздовжні зв'язки, розташовані в площині нижніх поясів, то вони сприймають тільки частину бокового вітрового тиску, що діє на головні балки, і безпосередньо передають його на опори моста. Оскільки нижні зв'язки зазнають значно менших навантажень порівняно з верхніми, то вони й облаштовуються слабше за верхні, а в прогонних спорудах із прогоном до 15 м і не влаштовуються.

Головні балки зазвичай мають двотавровий перетин (рис. 4.5), що складається з вертикального листа (стінки) і двох поясів – верхнього й нижнього; до складу кожного поясу в разі з'єднання на заклепках входять так звані поясні куточки і горизонтальні листи.

Відстань між головними балками в прогонних спорудах із проїздом по верху призначають від 1,8 до 2,2 м (з рідка до 2,5 м) залежно від величини прогону й виходячи з умов забезпечення поперечної стійкості прогонної споруди в разі дії на нього і на рухомий склад поперечно спрямованого вітру, а в мостах, розташованих на кривих, також і дії на прогонну споруду відцентрової сили.

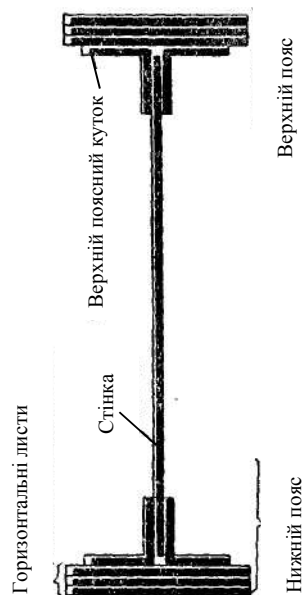


Рисунок 4.5 – Розріз головних балок прогонної споруди

Якщо відстань між головними балками до 2,5 м, мостове полотно можна укладати безпосередньо на пояс головних балок, що дає змогу не споруджувати балок проїжджої частини. Крім того, ширина опор мостів із такими прогонними спорудами менша, ніж під час проїзду по низу, що забезпечує істотну економію обсягу мурування.

Висота вертикального листа головних балок наявних прогонних споруд коливається в межах від  $1/7$  до  $1/11$  величини прогону і визначається за умовами мінімальної ваги металу в балках при забезпеченні необхідної жорсткості, яка характеризується величиною прогину.

Останнім часом поширення набувають суцільні прогонні споруди із залізобетонною проїжджою частиною, яка працює разом зі сталевими балками (рис. 4.6)

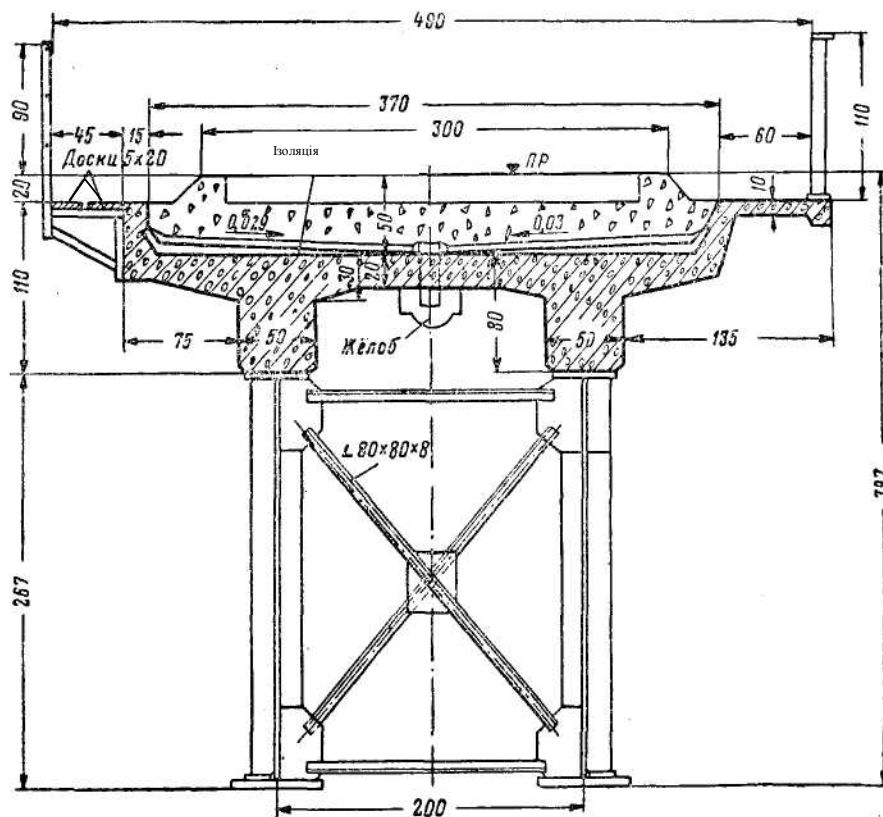


Рисунок 4.6 – Поперечний розріз прогонної споруди із залізобетонною проїжджою частиною

#### 4.5 Прогонні споруди з наскрізними фермами

У разі наявності великих прогонів балка з облаштуванням стає важкою: що більший прогін, то більшою має бути висота балки і більше витрачається металу на вертикальні листи, стики, куточки жорсткості. Отже, якщо прогони головних балок великі, суцільні вертикальні листи

(стіжки), що зв'язують пояси, замінюють «ґратами», тобто розкосами, стійками тощо. Унаслідок такої заміни утворюються «наскрізні» головні балки, що називаються фермами, які за наявності великих прогонів (у нових мостах понад 30 м) легші за балки із суцільними стінками.

Прогонні споруди з наскрізними фермами розрізняються за обрисами поясів, за системою решітки головних ферм і за конструкцією.

Прогонна споруда з наскрізними головними фермами (рис. 4.7) в разі проїзду по низу складається з таких частин, з'єднаних у просторову сталу систему: двох головних ферм; повздовжніх і поперечних балок проїжджої частини; повздовжніх і поперечних зв'язків між головними фермами; опорних частин.

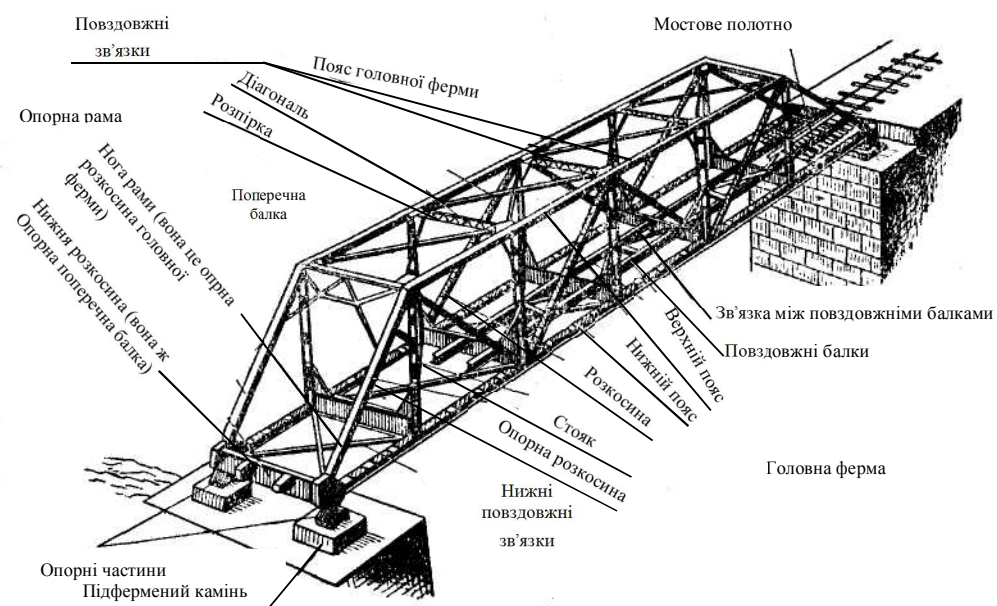


Рисунок 4.7 – Частини прогонної споруди з наскрізними фермами

Головні ферми є основною несучою конструкцією, що через проїжджу частину сприймає навантаження й передає їх на опори моста.

До складу головних ферм входять: верхні й нижні пояси та решітки ферм із розкосин, стійок, підвісок. Залежно від системи головних ферм до решітки можуть належати або всі перелічені елементи, або частина їх, але обов'язково з розкосинами.

У прогонній споруді розрізняють такі основні геометричні розміри:

- розрахунковий прогон – відстань між центрами опорних частин;
- розрахункова висота – відстань між центрами тяжіння перерізів верхнього й нижнього поясів;
- довжина панелі – відстань між двома суміжними вузлами головних ферм;
- розрахункову ширину – відстань між осями головних ферм;
- будівельну висоту – відстань від підшви рейок до низу конструкції прогонної споруди, а також до низу опорних частин.

Істотною відмінністю ферм із наскрізною решіткою порівняно із суцільними балками є те, що за будь-яких вертикальних навантажень усі елементи наскрізних ферм працюють тільки на стиск або на розтягнення.

### **Питання для самоконтролю**

1. Назвіть різновиди сталевих прогонних споруд.
2. Назвіть різвиди з'єднання елементів металевих мостів.
3. Які різновиди прокатної сталі, що застосовується в мостах, Вам відомі?
4. Охарактеризуйте прогонні споруди із суцільними балками.
5. Перелічіть різновиди прогонних споруд із наскрізними фермами.

## **ТЕМА 5 КОНСТРУКЦІЇ ОПОР МОСТІВ**

### **5.1 Загальні відомості**

Опори передають навантаження від прогонних будов на ґрунт основи. Крім того, вони самі зазнають впливу низки інших навантажень, які необхідно враховувати.

Від міцності опор значною мірою залежить міцність і довговічність усього моста. Вартість опор залізничних мостів (з фундаментами) може



перевищувати 50 % загальної вартості моста. Будівництво опор – трудомісткий процес і займає багато часу, тому конструкція опор повинна бути економічною і відповідати вимогам промислових методів будівництва моста.

Розрізняють проміжні опори (бики) й кінцеві (стояни). Під час проектування проміжних опор, які зазвичай розташовують у руслах та заплавах річок, необхідно брати до уваги водний і льодовий режими річки, які обумовлюють вибір форми підводної частини опор. Проміжна опора повинна убезпечувати від тиску крижаних полів і ударів окремих крижин під час льодоходу.

Стояни, крім прямого призначення – сприймати навантаження від прогону – використовуються як підпірні стінки для насипу земляного полотна. Під час проектування кінцевих опор необхідно забезпечити поступовий перехід (м'який в'їзд) від малої жорсткості земляного полотна до більш жорсткої конструкції моста, виключивши можливість просідань колії безпосередньо перед підвалиною.

Конструкція опор може бути масивною і полегшеною. У залізничних мостах здебільшого застосовують масивні конструкції, у шляхопроводах – опори полегшеного типу, які виготовляють із залізобетону.

За способом зведення розрізняють монолітні, збірно-монолітні й збірні конструкції опор.

У сучасних умовах поверхні опор великих мостів обличковують каменем тільки на річках із важким льодоходом (при товщі льоду понад 0,5 м). У цих випадках для обличкування використовують природний морозостійкий камінь із міцністю не нижче  $600 \text{ кгс} / \text{см}^2$ , а при потужному льодоході або за наявності стираючих наносів – не нижче  $1\,000 \text{ кгс} / \text{см}^2$ . Допускається застосування обличкування зі штучних каменів – литого каменю і бетонних блоків марки за міцністю не нижче 400 і за морозостійкістю – не нижче Мрз300.

## 5.2 Проміжні опори (бики)

Проміжні опори балкових мостів (рис. 5.1) зазвичай складаються із трьох основних частин: фундаменту, тіла опори й оголовка, до складу якого входить підферменна плита й армований майданчик для встановлення опорних частин (підферменних). Для деяких конструкцій фундамент і тіло опори конструктивно не розмежуються, продовження тіла опори (оболонка, паля) одночасно слугує й фундаментом.

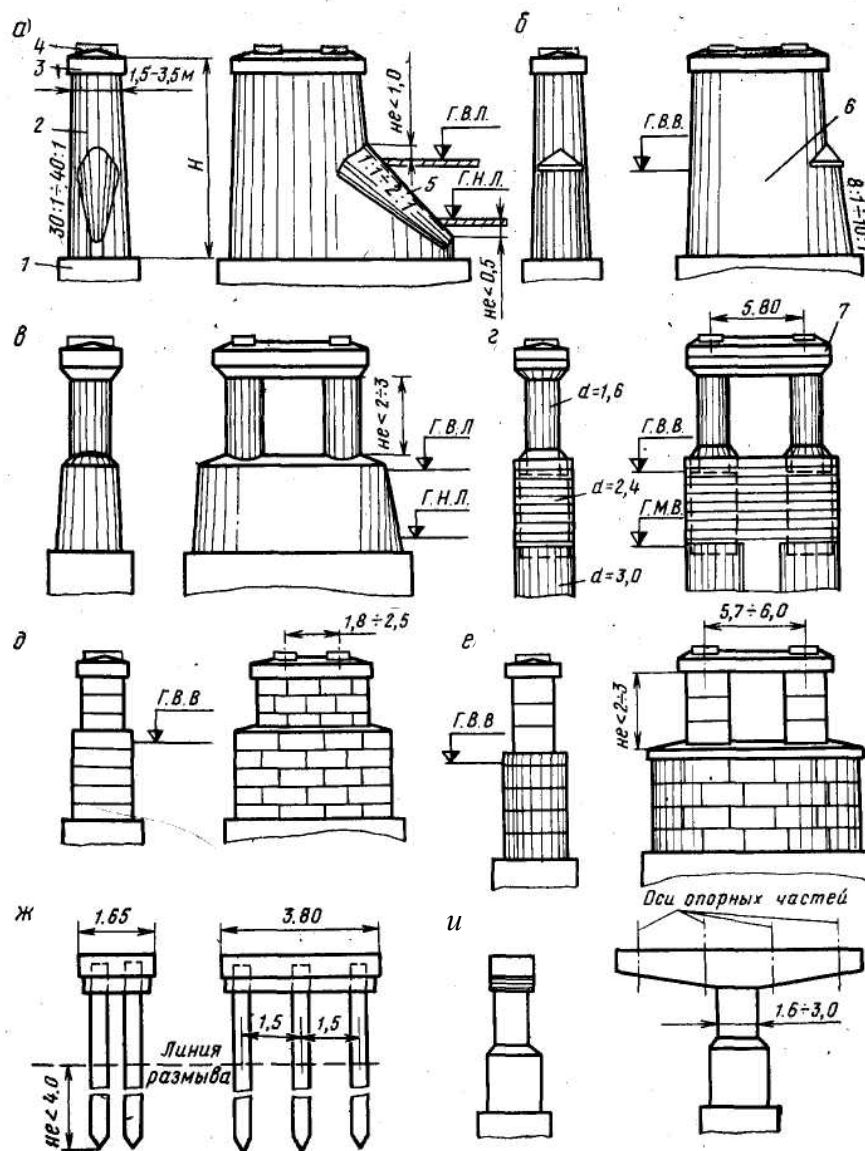


Рисунок 5.1 – Проміжні опори балкових мостів:

а – опора з льодорізом; б – опора з водорізом; в – опора з полегшеною верхньою конструкцією; г – стовпчаста опора; д, е – збірні опори із пустотілих блоків; ж – опора пальово-естакадного моста; и – одностовпчаста опора: 1 – фундамент; 2 – тіло опори; 3 – підферменна плита; 4 – опорний майданчик; 5 – льодоріз; 6 – водоріз; 7 – бантина

У наш час усе частіше застосовують конструкції збірних опор. Прикладом такої промислової конструкції може слугувати стовпчаста опора, що складається з центрифугованих оболонок різних діаметрів. Маса ланки таких оболонок сягає 25 т. Такі опори мають телескопічну форму (складаються з оболонок різних розмірів:  $d = 1,6 - 2,4 - 3,0$  м). У межах горизонтів паводкових вод оболонки заповнюють бетоном або гідрофобним піском і об'єднують облаштуванням. Оголовком опори слугує залізобетонна бантина.

Збірна конструкція з пустотілих блоків, розроблена в типових проектах, широко використовується під час зведення мостів. Порожнини, утворені контурними блоками, доцільно заповнювати спеціальними бетонними блоками низьких марок бетону. Для широких прогонних споруд доцільно застосовувати полегшену конструкцію верху опори, виконану також із контурних блоків.

На невеликих річках, де товщина льоду до 0,3 м, і на суходолах застосовують пальово-естакадні мости з невеликими прогонами. Опора таких мостів складається із залізобетонних паль із укладеними на них насадками. За фасадом такі опори можуть бути однорядними й дворядними, для залізничних мостів зазвичай використовують дворядне розташування. Палі забивають у ґрунт на глибину не менше 4 м від лінії розмиву. Висота таких опор визначається довжиною паль і не перевищує 5 – 6 м. Різновидом опор є стійкі опори, у яких в надземній частині палі замінені стояками, закріпленими у фундамент.

У автодорожніх мостах здебільшого застосовують одностовпчасті опори, які найменше обмежують проїзд під шляхопроводом або русло річки. Оголовком опори слугує потужна залізобетонна бантина, на яку спираються балки прогонної споруди. Такі опори можна використовувати й у залізничних мостах. Залізобетонні конструкції опор надзвичайно перспективні, а їхнє впровадження може забезпечити значну економію матеріалів і трудовитрат.

### 5.3 Кінцеві опори (стояни)

Висота баластного шару верхньої споруди колії на підходах до мостів приймається на лініях I і II категорій – 90 см, на лініях III категорії – 75 см.

Насип на підході біля моста закінчується конусом (укосина в бік крайнього прогону). Для забезпечення стійкості укосини конусів повинні бути нахилені більше ніж 1:1,25.

Ширина стояна поверху визначається розміром мостового полотна, наприклад: для одноколійних залізничних мостів – 5,32 м, розраховується в проміжку між поручнями перил.

Для балкових прогонних споруд у старих мостах здебільшого застосовували стояни зі зворотними стінками (рис. 5.2, а). Вони складаються з фундаменту, зворотної стінки, шафової стінки, підфермової плити, передньої стінки й дренажного пристрою, що забезпечує відведення води з проміжку між зворотними стінками. Унаслідок прилаштування зворотних стінок значно скорочується обсяг мурування стояна. Однак під час експлуатації стоянів цього типу було виявлено велику кількість тріщин у зворотних стінках внаслідок розпирання горизонтальним тиском від засипання між ними ґрунту.

У наш час застосовують масивні стояни інших типів. До таких конструкцій належать вузькі стояни з консолями (рис. 5.2, б). Ширина стояна в цьому разі визначається розміром підферменного майданчика. Розмір верхньої частини стояна забезпечується влаштуванням залізобетонних консолей.

У розглянутих типах стоянів основа конуса не виходить за межі передньої грані, такі підвалини називаються необсипними. Їх доцільно застосовувати у невеликих спорудах при висоті насипу до 5 – 6 м, у великих і середніх мостах і при висотах із насипом понад 5 – 6 м використовують здебільшого обсипні стояни, у яких конус розташовується на крайньому прогоні моста. Обсипні стояни складаються з фундаменту,

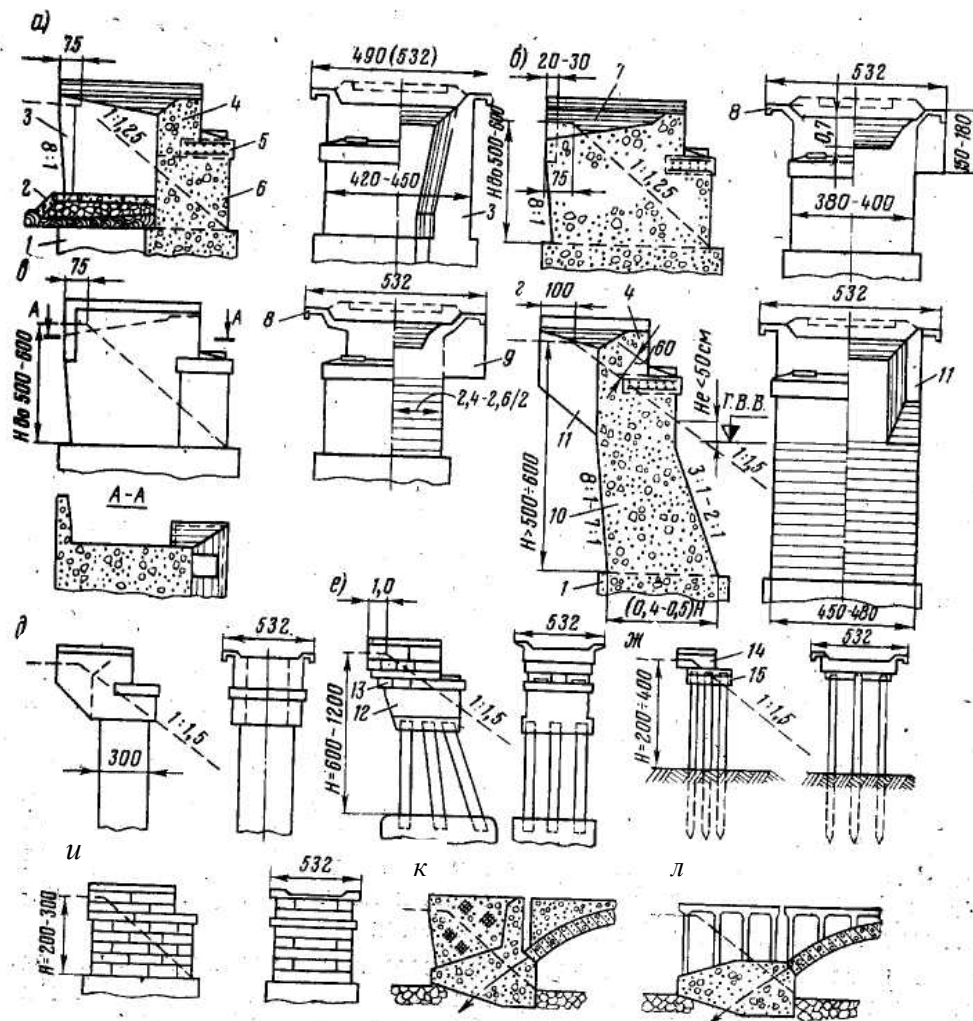


Рисунок 5.2 – Кінцеві опори мостів:

а – стояни із обраними стінками; б – вузький стоян із консолями;  
в – тавровий стоян; г – обсіпний стоян; д – стоян із залізобетонної  
оболонки; е – козловий стоян; ж – пальовий стоян; и – блоковий стоян;

к, л – стоян аркових мостів:

1 – фундамент; 2 – дренаж; 3 – зворотна стінка; 4 – шафна стінка;

5 – підферменна плита; 6 – передня стінка; 7 – м'який в'їзд;

8 – тротуарна консоль; 9 – поперечна стінка;

10 – тіло стояна; 11 – залізобетонне крило;

12 – ростверк; 13 – бетонні блоки; 14 – оголовок; 15 – ростверк

Значного зменшення обсягу мурування досягають, облаштувавши полегшені збірні обсипні підвалини козлового типу з вертикальних і похилих стояків. Оголовок підвалини складається з ростверку, виконаного

з монолітного армованого бетону, і з бетонних блоків. Замість збірного мурування блоків можна застосувати монолітний бетон, як стояки використовують залізобетонні оболонки ( $d = 60$  см), а для насипу до 8 м заввишки – стояни з прямокутним перетином  $35\text{ см} \times 35\text{ см}$ . Замість стоїчної конструкції застосовують аналогічні пальові стояни.

Зразки деяких збірних конструкцій стоянів, призначені для одного залізничного шляху, наведені на рисунку 5.3.

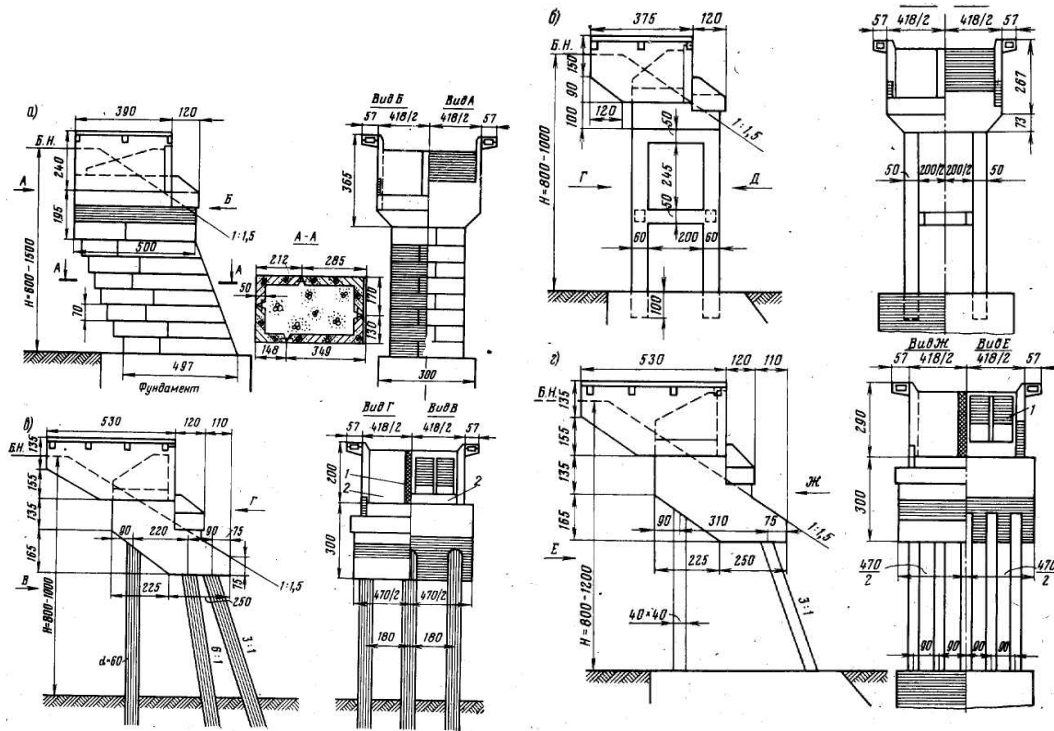


Рисунок 5.3 – Конструкції збірних стоянів:

- а – масивний стоян;
- б – рамний стоян;
- в – пальовий стоян;
- г – стоїчний стоян:
- 1 – монтажний стик блоків; 2 – блоки

Масивний збірний стоян запроектований під прогонні споруди ( $l = 16,5\text{--}34,2$  м) для висоти насипів від 6 м до 15 м. Стояни формують із залізобетонних Г-подібних блоків масою до 2,7 т із наступним заповненням їх монолітним бетоном.

Рамний стоян призначений для прогонної споруди 16,5 м заввишки із висотою насипу 8–10 м.

Пальовий стоян із залізобетонних центрифугованих паль-оболонки діаметром 60 см призначений для прогонів 16,5–34,2 м завдовжки, а на призматичних палях розміром 35 м × 35 м і 40 м × 40 м – для прогонів 16,5–18,7 м при висоті насипу 8–10 м. Стояковий стоян призначений для прогонів 16,5–34,2 м завдовжки при висоті насипу 8–12 м.

### **Питання для самоконтролю**

1. Що таке стояни? Подайте визначення та наведіть класифікацію.
2. Які види опор Вам відомі та чим вони різняться.
3. Охарактеризуйте проміжні опори балкових мостів.
4. Назвіть складники кінцевих опор мостів.
5. Перелічіть структурні елементи конструкції збірних стоянів.

## **ТЕМА 6 ОЦІНКА ВАНТАЖОПІДЙОМНОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПРОГОННИХ СПОРУД**

Допустиме тимчасове навантаження і клас і-того (зовнішня консоль, внутрішня консоль, монолітна ділянка, головна балка, головна плита) елемента по j-тому обмеженню (міцність поперечних перерізів, міцність похилих перерізів, витривалість бетону і тощо) визначаються одним з таких способів:

- 1) порівняння параметрів експлуатованої прогонної споруди з параметрами типового проекту;
- 2) класифікація за опалубними й арматурними кресленнями;
- 3) співставлення норм проектування експлуатованої прогонної споруди з сучасними нормами.

Допустиме тимчасове навантаження  $k$  визначається в одиницях еталонного навантаження  $k_{et}$  з урахуванням відповідного динамічного коефіцієнта  $(1 + \mu)$ . Кількість одиниць еталонного навантаження  $i$  є класом елемента прогонної споруди за вантажопідйомістю  $Y$  визначається за такою формулою:

$$K = \frac{\psi k}{k_{et} (1 + \mu)}, \quad (6.1)$$

де  $\psi$  – коефіцієнт уніфікації результатів класифікації головних балок металевих і залізобетонних прогонних споруд, визначається за формулою:

$$\psi = \frac{1 + 21/(30 + lp)}{1 + 27/(30 + lp)}. \quad (6.2)$$

Значення  $k$  і  $k_{et}$  визначаються для однієї і тієї самої лінії впливу залежно від її довжини  $\lambda$  і розташування вершини  $\alpha$ .

Класом прогонної споруди вважається найменший із класів її елементів.

Еталонним навантаженням  $k_{et}$  приймається тимчасове вертикальне еквівалентне навантаження Н1 за схемою поїзда 1931 року (рис. 6.1).

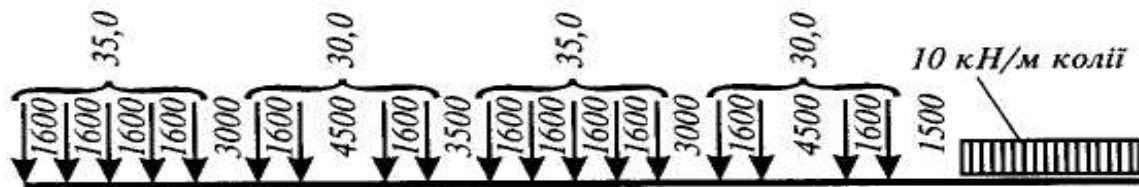


Рисунок 6.1 – Схема еталонного навантаження Н1

Допустиме тимчасове навантаження і клас визначаються для головної балки (плити) на опорній частині, посередині прогону  $Y$  на певній відстані від опорної частини до плити баластного корита для зовнішньої та внутрішньої консолей і для монолітної ділянки. Для перетинів плити баластового корита прийнято такі розрахункові схеми (зовнішня консоль – рис.6.2, внутрішня консоль – рис.6.3).



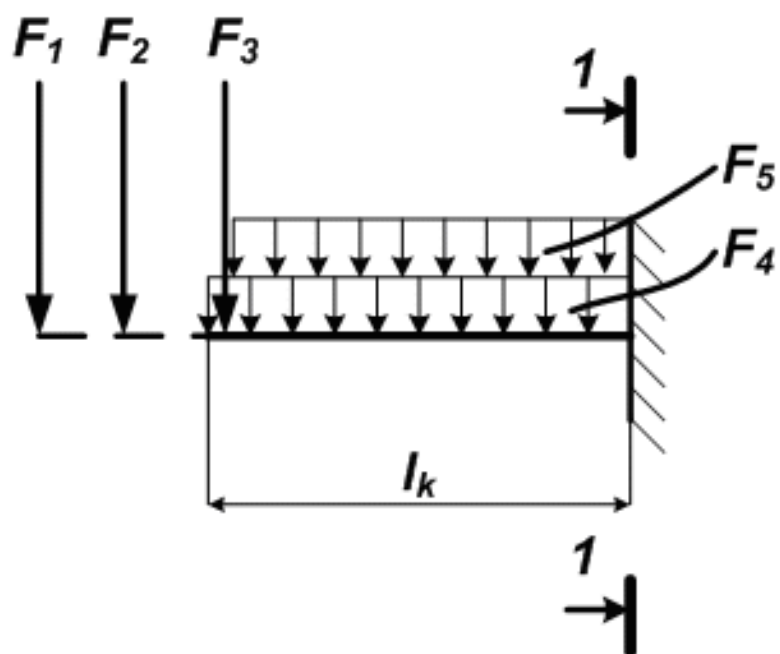


Рисунок 6.2 – Зовнішня консоль

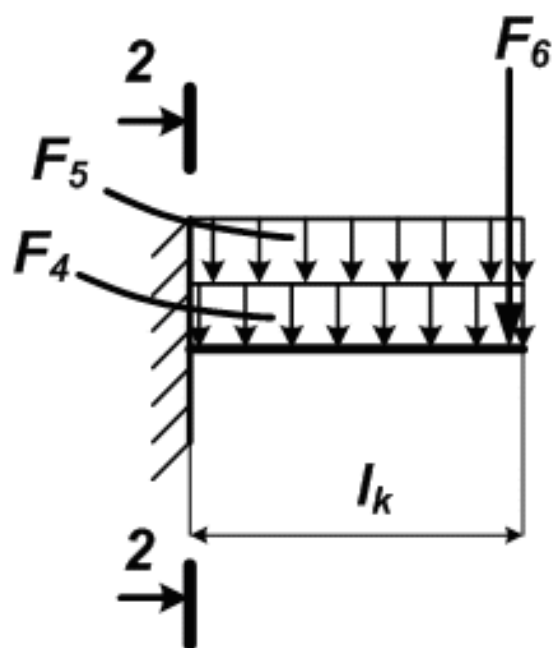


Рисунок 6.3 – Внутрішня консоль

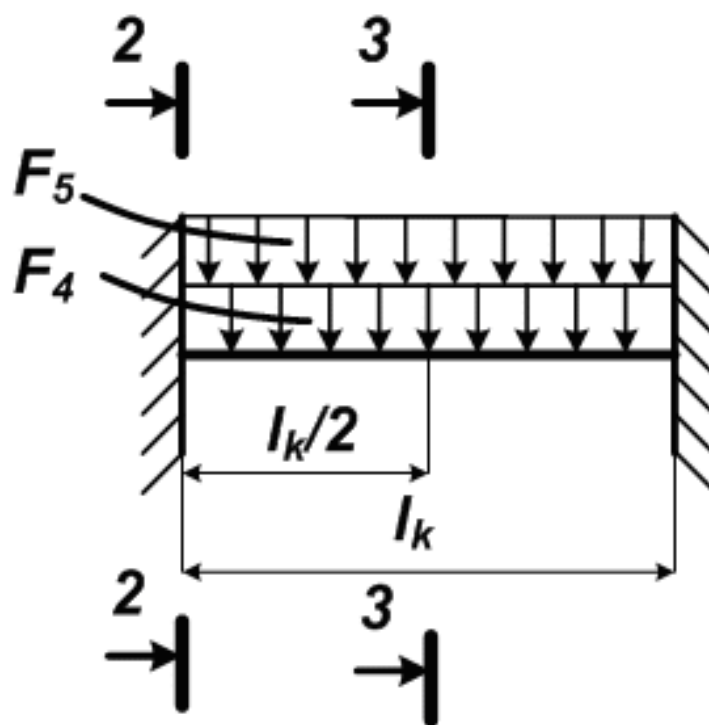


Рисунок 6.4 – Монолітна ділянка:

$F_1$  – навантаження від ваги та перил;  $F_2$  – навантаження від ваги тротуару з консолями;  $F_3$  – навантаження від ваги зовнішнього бортика баластного корита;  $F_4$  – навантаження від ваги плити баластного корита;  $F_5$  – навантаження від ваги баласту з частинами шляху;  $F_6$  – навантаження від ваги внутрішнього бортика баластного корита.

**Спосіб порівняння параметрів.** Параметри експлуатованої прогонної споруди порівнюють із параметрами прогонних споруд, наведених у «Правилах визначення вантажопідйомності балкових залізобетонних прогонних споруд залізничних мостів», 2003 рік. У цьому документі в додатку Б наведено параметри 95 типових прогонних споруд зі звичайного залізобетону, а в додатку В – параметри 26 типових попередньо напружених прогонних споруд. Для попередньо напружених прогонних споруд наведено класи з обмеженням міцності поперечних і похилих перерізів. Для прогонних споруд зі звичайного залізобетону класи визначені тільки за обмеженням міцності поперечних перерізів.

Клас за способом вантажопідйомності порівняння параметрів визначається в такій послідовності:

1) порівнюються всі розміри експлуатованої й типової прогонних споруд: якщо розміри співпадають, то виконуємо другу дію;

2) визначається діаметр робочої поздовжньої арматури й розташування робочої арматури: якщо діаметри співпадають, то виконується третя дія;

3) визначається ексцентриситет осі шляху щодо осі прогонної споруди: якщо ці параметри співпадають, то виконується четверта дія;

4) вимірюється товщина баласту під шпалою: якщо ці параметри співпадають, то класом експлуатованої прогонної споруди приймається клас типового проекту:

$$K_{екс} = K_{мп} \quad (6.3)$$

Якщо параметри не співпадають, то клас визначається за наближеними формулами.

Якщо змінюється значення ексцентриситету, то розміри плити баластного корита й головної балки визначають за такими формулами:

1) плита баластного корита:

– зовнішня консоль:

$$П_{м} \rightarrow K = \frac{\alpha_e}{\alpha_{м} \times \alpha_{\Delta}^2} \cdot K_{пп} ; \quad (6.4)$$

– внутрішня консоль і монолітна ділянка плити:

$$П_{\varnothing} \rightarrow K = \frac{\alpha_e}{\alpha_{\varnothing}} \cdot K_{пп} \quad (6.5)$$

$$П_{м} \rightarrow K = \frac{\alpha_e}{\alpha_{м}} \cdot K_{пп} ; \quad (6.6)$$

2) головна балка:

$$П_{м} \rightarrow K = \alpha_1 \cdot K_{пп} , \quad (6.7)$$

$$П_{м} \rightarrow K = \alpha_1 \cdot K_{пп} .$$

У цих формулах коефіцієнти визначаються так:

$$\alpha_e = \frac{e_0}{e} , \quad \alpha_1 = \frac{\varepsilon_{м0}}{\varepsilon_{м}} ; \quad (6.8)$$

$$\alpha_m = \frac{\eta_{m_0}}{\eta_m}, \quad \alpha_2 = \frac{\varepsilon_{Q_0}}{\varepsilon_Q} \quad (6.9)$$

Клас за вантажопідйомністю за опалубочним та арматурним кресленнями обчислюють так:

$$\alpha_Q = \frac{\eta_{Q_0}}{\eta_Q} \quad \alpha_\Delta = \frac{\Delta_0 - z}{\Delta - z} \quad (6.10)$$

1. Визначення параметрів конструкції за опалубними та арматурними кресленнями. Дефекти й пошкодження.
2. Призначення розрахункова схема елемента.
3. Обчислення нормативних і коефіцієнтів еталонних навантажень.
4. Визначення допустимого вертикального тимчасового навантаження ( $v_{ij}$ ).
5. Обчислення класу елемента за кожним обмеженням.

Обмеження за групами граничних станів різняться такими обмеженнями:

- 1) обмеження І групи граничних станів:  
– міцність поперечних перерізів ( $\Pi_m$ ),:

$$M_{\max} \leq M_u, \quad (6.11)$$

де  $M_{\max}$  – максимальне значення згинального моменту від розрахункових навантажень;

$M_u$  – граничне значення згинального моменту (рівнодійний момент від внутрішніх сил).

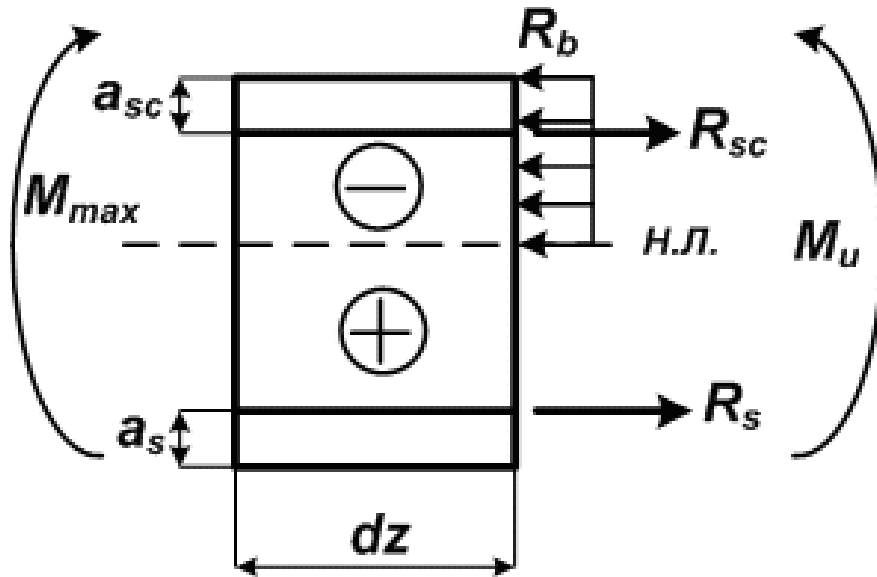


Рисунок 6.5 – Стисні й розтягувальні напруження

– міцність похилих розрізів ( $\Pi_Q$ ):

$$Q_l \leq Q_{ul}, \quad (6.12)$$

$$Q_{\max} \leq Q_u, \quad (6.13)$$

$$M_i \leq M_{ui6}, \quad (6.14)$$

де  $R_s$ ,  $R_{si}$ ,  $R_{sw}$ ,  $R_{sc}$  – розрахункові опори відносно повздовжньої розтягнутої, відігнутої, поперечної й стиснутої арматури;

$Q_b$  – поперечна сила, що сприймається стисненим бетоном.

Витривалість бетону ( $B_b$ ):

$$\sigma_{b\max} \leq R_{bf} \quad (6.15)$$

де  $\sigma_{b\max}$  максимальне значення напруження в бетоні;

$R_{bf}$  розрахунковий опір бетону за витривалістю.

Рисунки 6.5 і 6.6 стосуються III стадії напружено-деформованого стану залізобетонного елемента (момент перед руйнуванням).

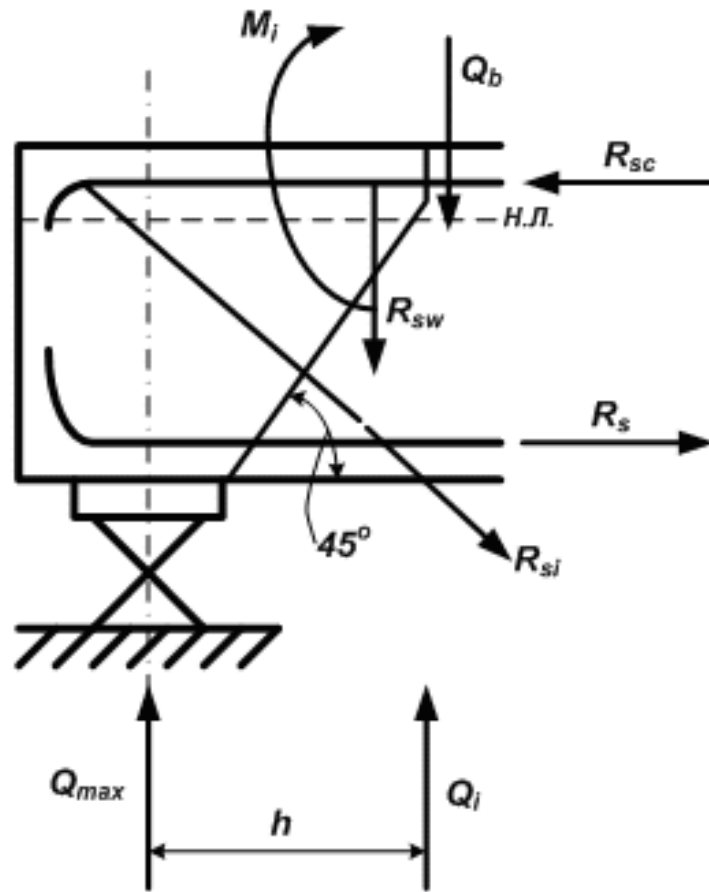


Рисунок 6.6 – Стисні і розтягувальні напруження

2) Обмеження II групи граничних станів (рис. 6.7)

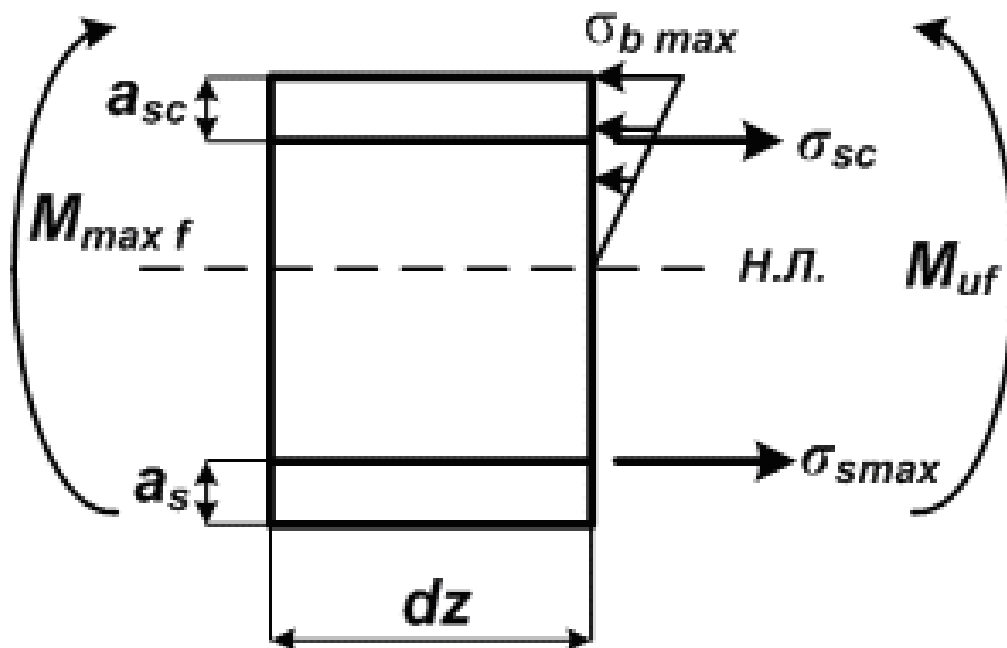


Рисунок 6.7

Обмеження II групи граничних станів діляться на 2 стадії:

- 1) стадія напружено-деформованого стану утворення тріщин;
- 2) стадія напружено-деформованого стану (стадія розкриття тріщин).

Другим називається граничний стан, при якому конструкція не відповідає нормальним умовам експлуатації.

Стійкість утворення тріщин ( $T_{fcr}$ ), визначається в таких межах:

$$\sigma_{bc \max} \leq R_{bmc2} \quad (6.16)$$

де  $\sigma_{bc \max}$  – напруга в бетоні стиснутої зони, (максимальне значення від нормативних навантажень);

$R_{bmc2}$  – розрахунковий опір бетону в обмеженні утворення тріщин, (індекс mc2 позначає мікротріщини в стадії експлуатації);

$R_{bt}$  – розрахунковий опір бетону за розтягуванням.

Стійкість розкриття поперечних тріщин ( $T_{cr}$ ) -

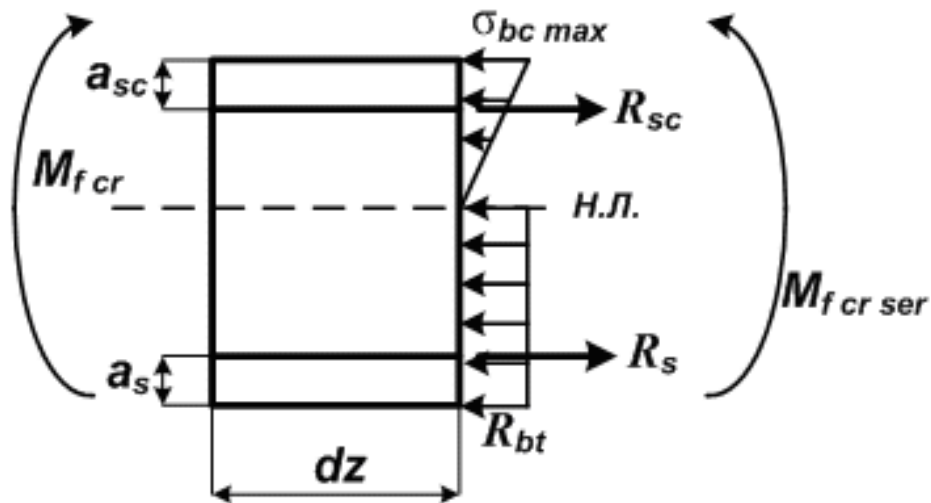
$$\Delta_{ск \max} \leq \Delta_{sercr} . \quad (6.17)$$

Стійкість розкриття похилих тріщин ( $T_{cr,i}$ ) -

$$\Delta_{ски \max} \leq \Delta_{sercr} . \quad (6.18)$$

Обмеження жорсткості (Ж) -

$$\Delta_{\max} \leq \Delta_{ser} . \quad (6.19)$$



Клас за вантажопідйомністю визначається за нормами проектування так:

- 1) встановлюються параметри конструкції за опалубними й арматурними кресленнями; беруться до уваги дефекти й пошкодження;
- 2) призначається розрахункова схема елемента;
- 3) обчислюються нормативні і коефіцієнти еталонних навантажень, а також

- додаткові коефіцієнти надійності.

- використовується наведений коефіцієнт відносного змінювання площі перерізу арматури.

$R_a$  – розрахунковий супротив за старими нормами;

$R_s$  – розрахунковий супротив за новими нормами.

$$I = \frac{A_{si}}{A_s}, \quad A_{si} = n_s \cdot \overline{a_s} - \sum_{i=1}^{n_1} \overline{a_i} - n_2 \cdot \overline{a_s}, \quad (6.20)$$

де  $n_s$  – проектна кількість робочих стержнів арматури;

$a_s$  – площа поперечного перерізу одного стержня, пошкодженого корозією;

$a_i$  – площа поперечного перерізу одного стержня;

$n_1$  – кількість кородованих стержнів;



$n_2$  – кількість стержнів, що втратили зчеплюваність з бетоном.

Клас тимчасового навантаження ( $K_n$ ), на який розраховується прогонна споруда, має бути відомий;

4) Визначається допустиме вертикальне тимчасове навантаження ( $v_{ij}$ );

5) Обчислюється клас елемента за кожним обмеженням.

### **Питання для самоконтролю**

1. Визначте допустиме тимчасове навантаження

2. Із чим можна порівняти параметри експлуатованої прогонної споруди?

3. У якій послідовності визначають клас при вантажопідйомному способі порівняння параметрів?

4. Якими можуть бути особливості обмежень за групами граничних станів?

5. На які стадії діляться обмеження II групи граничних станів?

## **ТЕМА 7 КОНСТРУКЦІЇ ОПОРНИХ ЧАСТИН МОСТІВ, ЕКСПЛУАТАЦІЙНЕ ОБЛАШТУВАННЯ НА МОСТАХ**

### **7.1 Призначення опорних частин і їхнє розміщення**

Опорні частини мостів залежно від їхнього призначення розподіляються на рухомі й нерухомі.

Конструкції рухомих опорних частин мають задовольняти такі вимоги:

а) забезпечувати вільне повздовжнє переміщення опорного перетину прогону, обумовлене деформацією від навантаження й температурних впливів;

б) забезпечувати безперешкодний поворот опорного перерізу прогонної споруди на кут  $\alpha$ , що виникає від вигину прогонної споруди;

в) убезпечувати від зміщення прогонної споруди в поперечному до осі моста напрямі. У широких мостах виконують опорні частини іншого типу, вони забезпечують безперешкодне деформування прогонної споруди не тільки в повздовжньому, а й у поперечному напрямках;

г) передавати зосереджений опорний тиск прогонної споруди на опору, передаючи його на певний опорний майданчик.

Конструкції нерухомих опорних частин повинні забезпечувати вимоги пунктів б, в, г, передбачені для рухомих опорних частин і, крім того, фіксувати прогонну споруду на опорі.

У залізничних балокових мостах у межах одного прогону достатньо розмістити на одному кінці дві нерухомі, а на іншому – дві рухомі опорні частини. Окрім того, необхідно убезпечити кінці прогонних споруд від поперечних переміщень.

У багатопробгонних розрізних мостах на проміжних опорах зазвичай встановлюють різнойменні опорні частини. В окремих випадках для розвантаження вищих опор від дії горизонтальних зусиль на одній з опор розташовують тільки рухливі опорні частини.

## 7.2 Види опорних частин

Опорні частини виготовляють з різних матеріалів: сталі, залізобетону, гуми тощо. Щоб зменшити сили тертя, у сучасних опорних частинах широко використовують фторопласт та інші синтетичні матеріали.

Для розрізних плитних прогонних споруд довжиною до 9 м завдовжки допускається влаштовувати плоскі опорні частини (рис. 7.1, а) зі сталевих листів не менше 20 мм завтовшки.

Для розрізних балкових прогонних споруд із прогоном від 9 до 18 м, а також для нерозрізних прогонних споруд з температурним прогоном до 18 м застосовують сталеві опорні частини тангенціального типу (рис. 7.1, б), що складаються з двох сталевих плит – балансирів. Верхній балансир – плоский, а нижній – із циліндричною дотичною поверхнею. Між балансирами встановлюють штирі.

Для обпирання залізобетонних прогонних споруд понад 18 м завдовжки і металевих понад 25 м використовують коткові опорні частини (рис. 7.1, в). Залежно від опорної реакції кількість ковзків може змінюватися від одного до чотирьох. Діаметр ковзків зазвичай становить 100–200 мм. Прості однокоткові опорні частини складаються з двох плоских подушок і циліндричного котка між ними. Наявність котка одночасно забезпечує шарнірність і повздовжню рухливість.

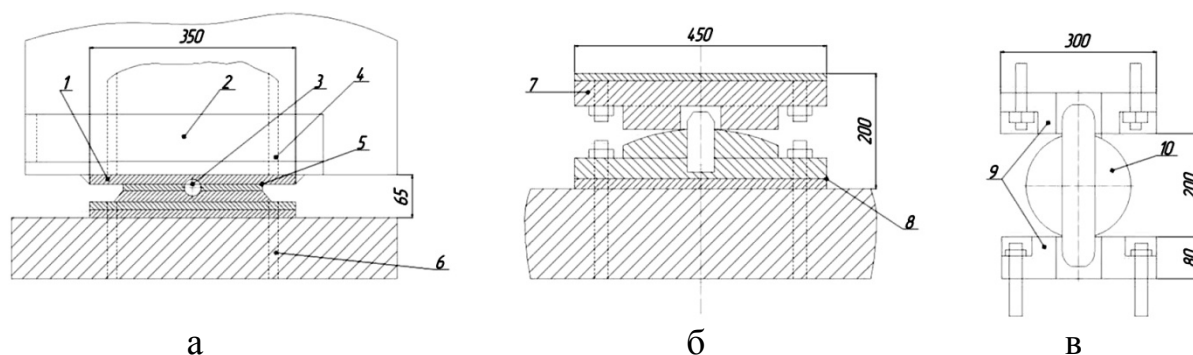


Рисунок 7.1 – Опорні частини для малих прогонних споруд:

а – плоскі; б – тангенціальні; в – коткові:

1 – опорний лист; 2 – металева коробка; 3 – штир; 4 – середній і нижній опорні листи; 5 – азбестова прокладка; 6 – анкер; 7 – верхній балансир; 8 – нижній балансир; 9 – плоскі подушки; 10 – коток

У разі великого опорного тиску застосовують рухливі опорні частини з двома (рис. 7.2, а) або більше (рис. 7.2, г) котками. У цьому разі поворот опорного перерізу забезпечується конструкцією верхнього балансира, що складається з двох плит, між якими розташована вкладка з циліндричною поверхнею. Розміри котків приймають стандартними із діаметром 120 і 200 мм.

Окрім котків, як рухомі застосовують секторні опорні частини (рис. 7.2, б). Горизонтальне переміщення в них забезпечуються не внаслідок кочення криволінійної поверхні сектора, а за допомогою шарніра, що забезпечує поворот опорного перерізу.

Для великих сталевих прогонних споруд (понад 66 м) застосовують шарнірно-коткові рухливі опорні частини (рис. 7.2, в), що складаються з нижнього й верхнього балансирів і ковзаків, які рухаються по нижній опорній подушці. Нерухома опорна частина відрізняється відсутністю ковзаків. Балансири з'єднуються між собою за допомогою шарніра з вільним або щільним примиканням.

У наш час поширення набули опорні частини з полімерних матеріалів. За способом забезпечення переміщення опорних вузлів прогонних споруд вони діляться на деформовані, ковзні й комбіновані.

Полімерні опорні частини за особливостями роботи розподіляються на всебічно рухливі, що допускають лінійні і кутові переміщення у всіх напрямках; нерухомі, які забезпечують тільки кутові переміщення у всіх напрямках; обмежено рухливі – допускають лише лінійні або тільки кутові переміщення уздовж або впоперек мосту.

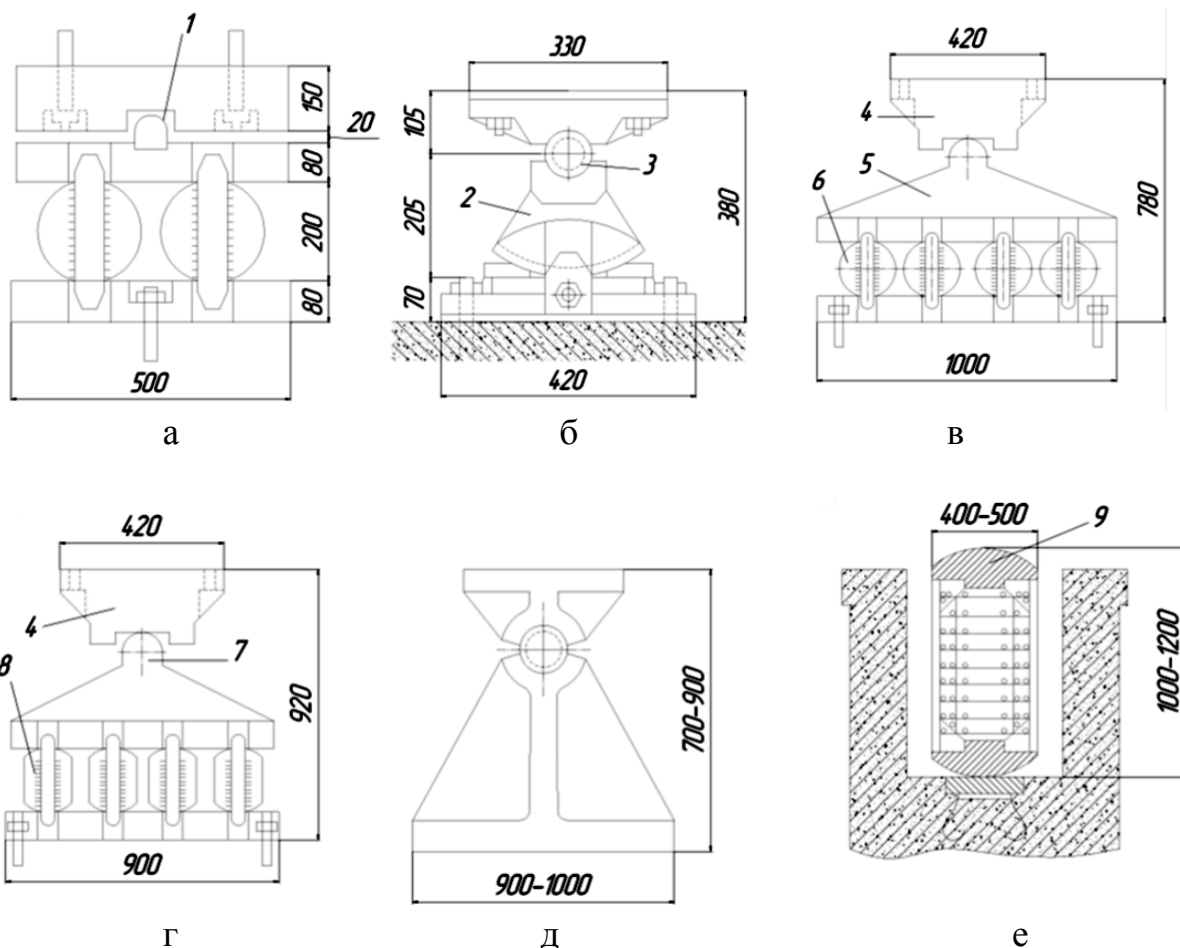


Рисунок 7.2 – Опорні частини для середніх та великих прогонних споруд

а – двокоткові; б – секторні; в – шарнірно-коткові; г – зі зрізаними котками; д – нерухома опорна частина; е – залізобетонна опорна частина:

- 1 – вкладка з циліндричною поверхнею; 2 – секторний балансир;  
 3 – шарнір; 4 – верхній балансир; 5 – нижній балансир; 6 – циліндричний коток;  
 7 – циліндрична головка при вільному стику; 8 – зрізаний вал;  
 9 – сталеві відливки

В опорних частинах, кутові й лінійні переміщення опорних вузлів деформуються шляхом змінювання форми полімерного матеріалу – гуми. До таких опорних частин належать шаруваті гумові конструкції у вигляді паралелепіпеда, складеного з декількох шарів каучуку й сталевих листів (рис. 7.3, а). Товщина металевих прокладок – 0,8–2 мм, шарів каучуку – 5–25 мм.

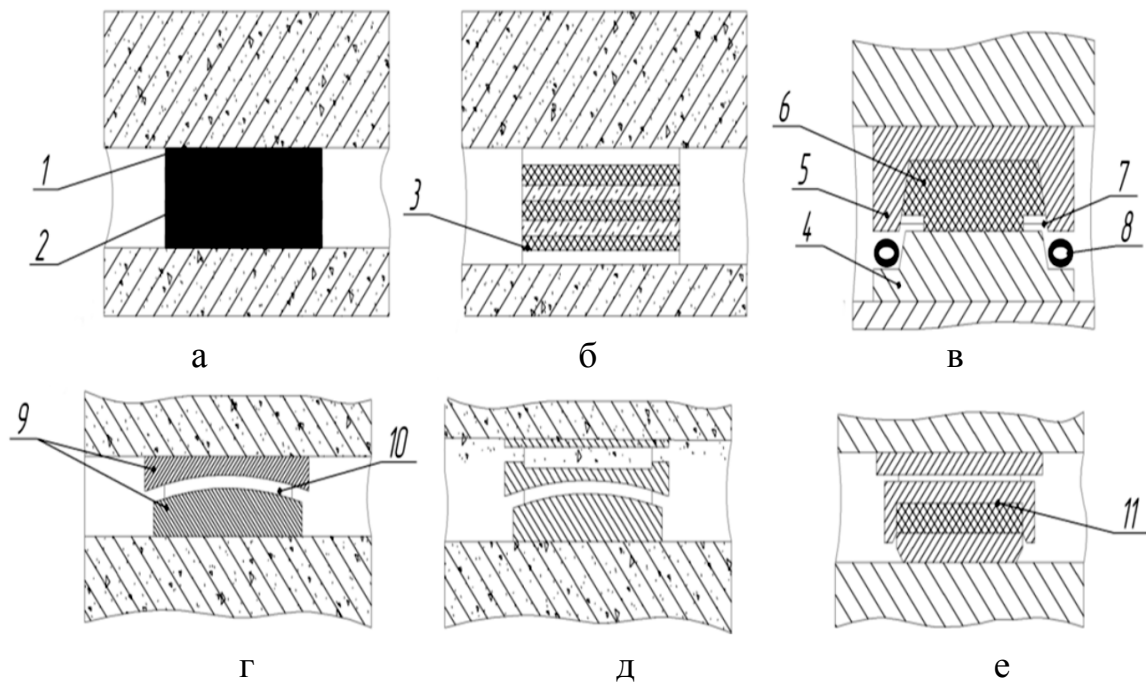


Рисунок 7.3 – Гумові опорні частини:

а – шарові конструкції; б – із обклеюванням листовим металом; в – склянкової конструкції; г, д – ковзні опорні частини; е – комбіновані конструкції; 1 – металева прокладка; 2 – шар каучука; 3 – тонка листова сталь; 4 – опорна плита; 5 – стальна обойма; 6 – резинова прокладка; 7 - латунна шайба; 8 – гумова трубка; 9 – стальні балансири; 10– антифрикційна прокладка; 11 – гумова прокладка

### Експлуатаційне облаштування залізничних мостів

Великі й позакласні мости обладнуються таким експлуатаційним обладнанням:

1. Колодязі.
2. Майданчики-сховища.
3. Апаратний телефонний зв'язок.
4. Засоби енергопостачання.
5. Механізований інструмент.
6. Засоби електроосвітлення.
7. Протипожежний інвентар.
8. Контрольно-габаритний пристрій.
9. Судова сигналізація.

**Колодязі.** Для огляду, очищення, фарбування й ремонту прогонних споруд під час їхньої експлуатації влаштовують оглядові пристрої (рис. 7.4), що забезпечують зручність доступу до всіх елементів моста.

У нерозрізних прогонних спорудах влаштовують перехідні майданчики (3), що дають змогу піднятися на верхній пояс ферми. Сходи (4) і перехідні майданчики (3) виготовляють зі смугової й круглої сталі, куточків, швелерів тощо.

Нижній оглядовий візок (6) є платформою з швелерів із настилом, до якої по кінцях болтами прикріплені рами з вертикальних і горизонтальних швелерів.

Усі оглядові пристрої захищені перилами. У прогонних будовах із проїздом поверху має розміщуватися спуск (5) із проїжджої частини на опору й оглядові візки.

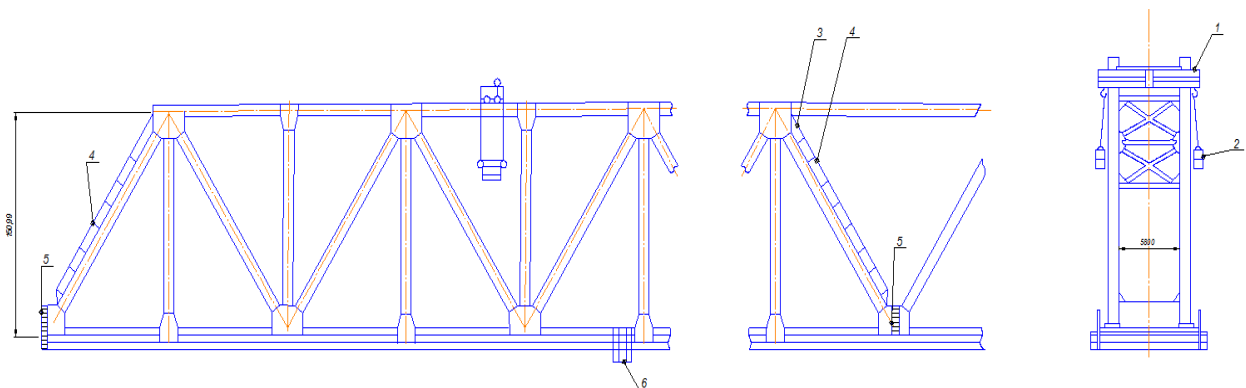


Рисунок 7.4 – Оглядові пристрої на прогонних спорудах

**Майданчики-сховища.** Для укриття людей під час проходження поїздів, розміщення протипожежного інвентарю, а також механізмів і матеріалів під час виконання ремонтних робіт на мостах мають бути влаштовані сховища (рис. 7.5).

Сховища на мостах повинні розташовуватися через 50 м (рис. 7.6) із кожного боку колії в шаховому порядку (при довжині моста від 50 до 100м допускається зведення одного сховища з кожного боку колії).





На ділянках зі швидкістю руху пасажирських поїздів понад 140 км/год відстань між сховищами має становити 25 м. На діючих мостах на ділянках обертання пасажирських поїздів зі швидкістю понад 140 км/год допускається збереження наявної відстані між сховищами 50 м за умови розроблення для кожного моста спеціальних умов техніки безпеки, затверджених начальником дистанції колії.

### **Питання для самоконтролю:**

1. Назвіть опорні частини середніх і великих прогонних споруд.
2. Охарактеризуйте експлуатаційне облаштування на залізничних мостах.
3. Охарактеризуйте облаштування майданчиків-сховищ і їхнє призначення.

## **ТЕМА 8 КОНСТРУКЦІЇ ТРУБ І ЛОТКІВ У НАСИПУ НА ДОРОГАХ УКРАЇНИ**

### **8.1 Загальні відомості**

Трубою називається мала інженерна споруда, розташована в тілі насипу поперек осі колії і призначена для пропускання невеликих витрат води (зазвичай не більше 20 м<sup>3</sup>/с).

Унаслідок техніко-економічних переваг труби є дуже поширеним видом споруд на залізничних і автомобільних дорогах. Приміром, у новобудовах кількість труб становить до 70 % загальної кількості інженерних споруд. Будівельна вартість і експлуатаційні витрати труб набагато менші порівняно з такими самими показниками для мостів.

### **8.2 Класифікація труб**

Залежно від режиму протікання води труби діляться на безнапірні, що працюють із неповним перетином аналогічно до водозливу з широким

порогом; напівнапірні, що працюють із повним перетином на вході в трубу і неповним на решті довжини подібно до витікання води з-під щита; напірні, що працюють із повним перетином на протягом усієї труби, як великі за довжиною насадки (рис. 8.1).

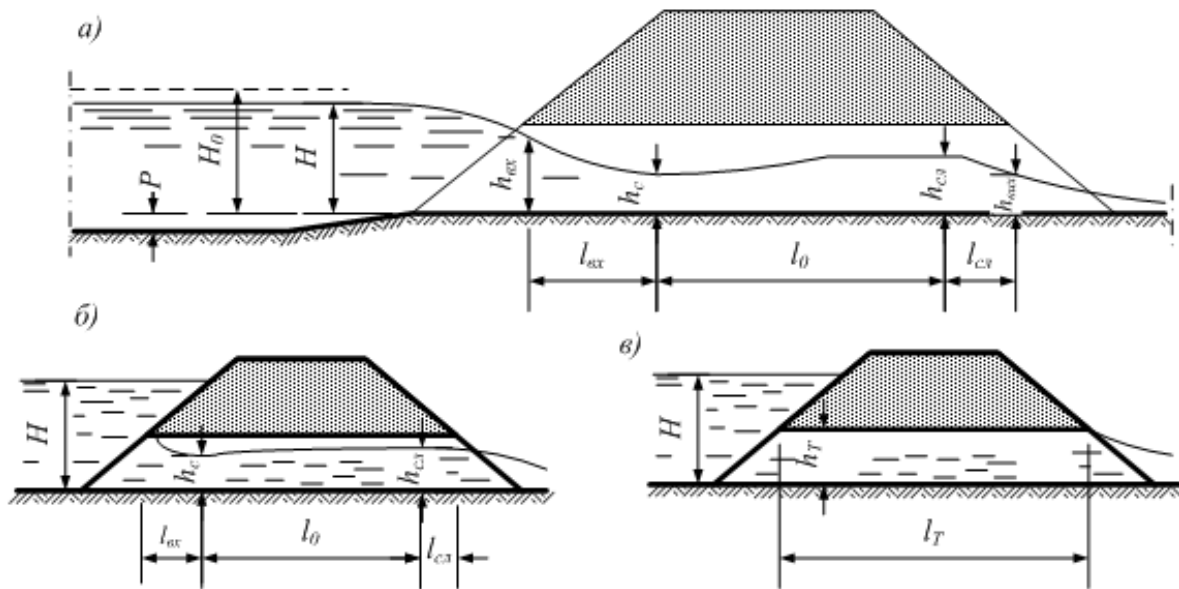


Рисунок 8.1 – Режими протікання води в трубах:  
а – безнапірні; б – напівнапірні; в – напірні

За формою отвори труби діляться на круглі, прямокутні, трапецеподібні, трикутні, овоїдальні, з вертикальними стінками і склепіннями, еліптичні тощо. Прямокутні труби різняться більшою водопропускнуою здатністю порівняно з круглими.

За кількістю отворів труби можуть бути одно-, дво- і тривічковими. Багатовічкові труби використовувати не рекомендуються через можливу нерівномірність пропускання води отворами, збільшення швидкості перетину води на виході з деяких отворів і розмивання русла.

За способом будівництва – виготовлювані на місці (монолітні) або збірні – з готових блоків.

За матеріалом труби можуть бути дерев'яними (як постійні споруди вони заборонені й застосовуються тільки для тимчасового використання),

кам'яними, бетонними, залізобетонними, металевими.

За конструкцією труби діляться на такі, що мають фундаменти (під дорогами), і безфундаментні (під автодорогу на нестисливих дренажних ґрунтах).

### 8.3 Конструктивні частини труб

Труби зазвичай складаються з таких основних частин: вхідного й вихідного оголовків (для поступового введення й виведення водного потоку), секцій труби (для можливості утворення незалежного осаду) і фундаменту (рис. 8.2).

Величину отвору труби для зручності її очищення та експлуатації приймають не менше 1 м. На автодорогах дозволяється використовувати труби з отвором 0,75 і 0,5 м. Найбільший отвір стандартних труб, що застосовуються в наш час, із залізобетонними круглими ланками – 2 м.

Основною частиною труби (рис. 8.2) є ланки, які сприймають тиск ґрунту насипу й розташованого на ній тимчасового навантаження. У середній частині труби тиск більший, тому ланки повинні бути міцними, але з метою стандартизації їх зазвичай виготовляють однаковими за конструкцією на всій довжині труби.

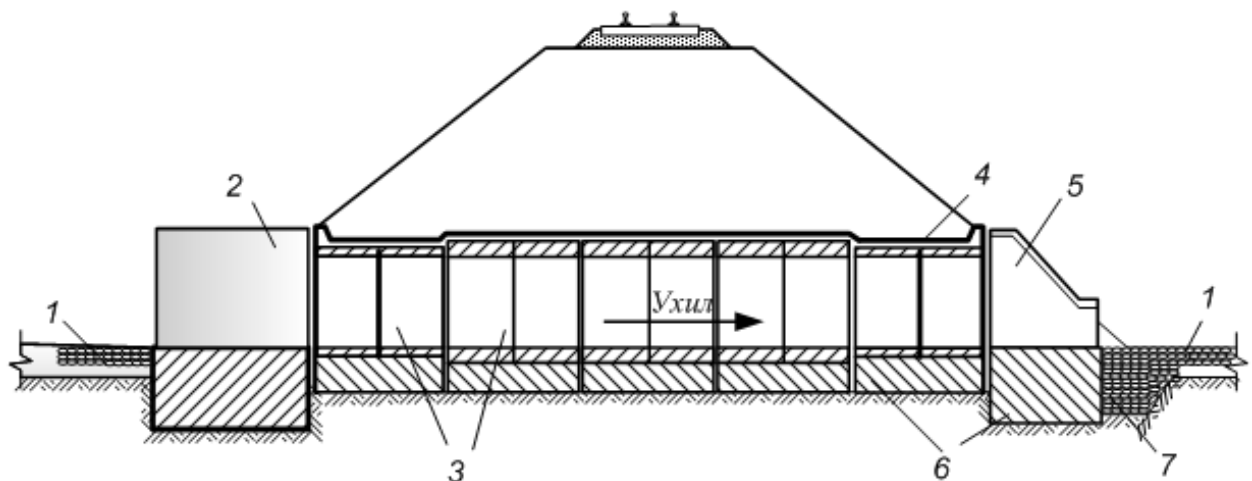


Рисунок 8.2 – Конструктивні частини труби

1 – відмостка; 2 – вхідний оголовок; 3 – ланки; 4 – гідроізоляція;  
5 – вихідний оголовок; 6 – фундамент; 7 – рисберма

Трубу ділять на секції за допомогою деформаційних швів, щоб унаслідок нерівномірного осідання труба не зламалася. Довжина секцій приймається не більше 5 м; при довжині понад 3 м потрібно перевірити міцність труби під час її вигиння в площині осі труби.

Фундаменти під оголовками зазвичай залягають глибше, ніж під іншою частиною труби, оскільки більшою є глибина промерзання ґрунту порівняно з насипом, і, крім того, існує небезпека підмиву. За належних умов (дренуючі ґрунти основ, низький рівень ґрунтових вод в період негативних температур) фундаменти можуть бути замінені ґрунтовою подушкою з дереном.

Дно труби оформляють у вигляді лотка, який повздовжньо нахилений. Поверхні лотка надають будівельний підйом по круговій кривій зі стрілою, що дорівнює  $1/40 - 1/80$  від висоти насипу, щоб після осідання ланок труби в лотку вода не застоювалася.

Після входу в трубу і виходу з неї влаштовують оголовки (рис. 8.3). Вони повільно вводять водний потік у трубу і виводять його з неї. Оголовки забезпечують зниження опору руху води, пропускна здатність труби підвищується, а також унеможливорюється небезпека розмиву насипу й русла.

**Типи оголовків труб.** Виготовляють водопропускні труби з оголовками таких типів:

- порталний оголовок, що є вертикальною стінкою, розташованою паралельно до осі насипу; до складу оголовка входять конуси насипу, укріплені плиткою;

- оголовок коридорного типу, що складається з двох паралельних вертикальних стінок, які мають на кінцях заокруглення, такий оголовок забезпечує перепад води в межах оголовка щодо ланок труби; за цієї умови визначають довжину й висоту стінок;

- комірний оголовок, що є ланкою труби з невеликим потовщенням, зрізаним паралельно до укосини насипу;

- розтрубний оголовок, бічні стінки якого (укісні крила) у верхній частині зрізують по схилу насипу;
- розтрубний оголовок з конічною ланкою, в межах якої розташовується перепад.

#### 8.4 Конструкції кам'яних та бетонних труб

Ланки кам'яних труб в поперечному перерізі іноді мають овоїдальну форму, що дає змогу надати склепінню таких ланок контур за кривою тиску (рис. 8.4, а). Застосовуються і кам'яні труби прямокутним перетином, що перекривають отвір склепіння. Такі труби різняться кращою пропускнуою здатністю (рис. 8.4, б). Склепінчаста конструкція кам'яних труб обумовлена властивостями матеріалу – кам'яного мурування, що недостатньо протидіють розтягуванню.

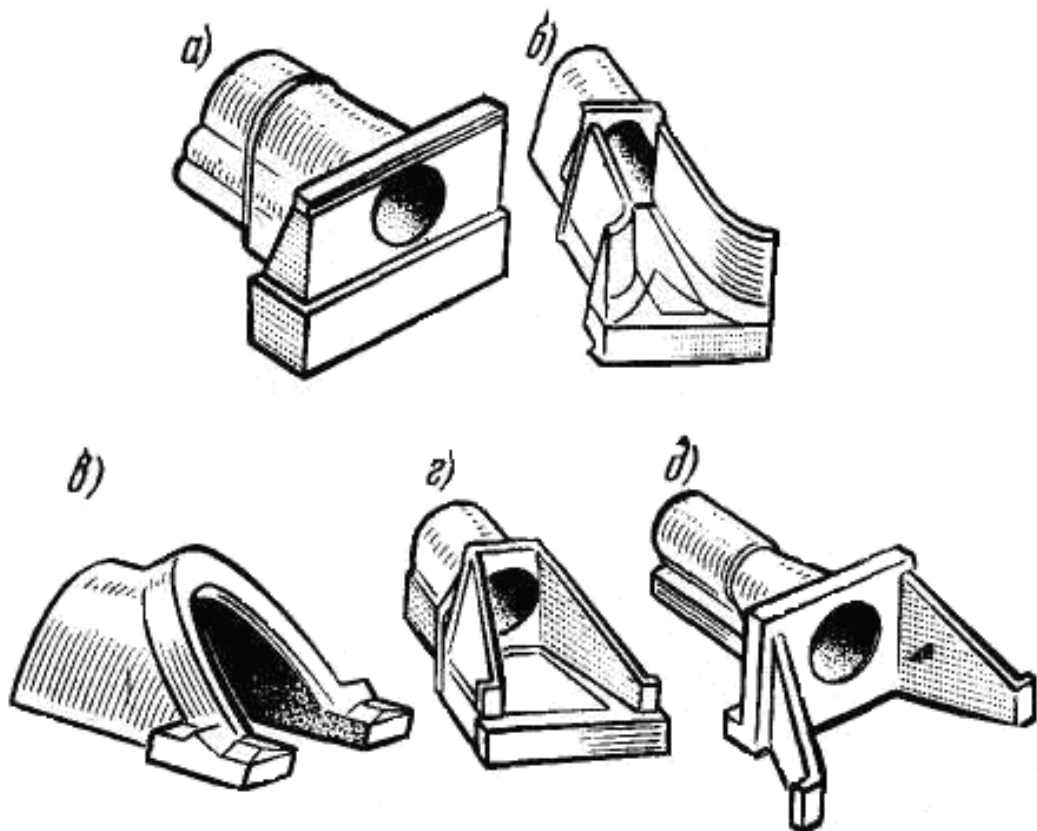
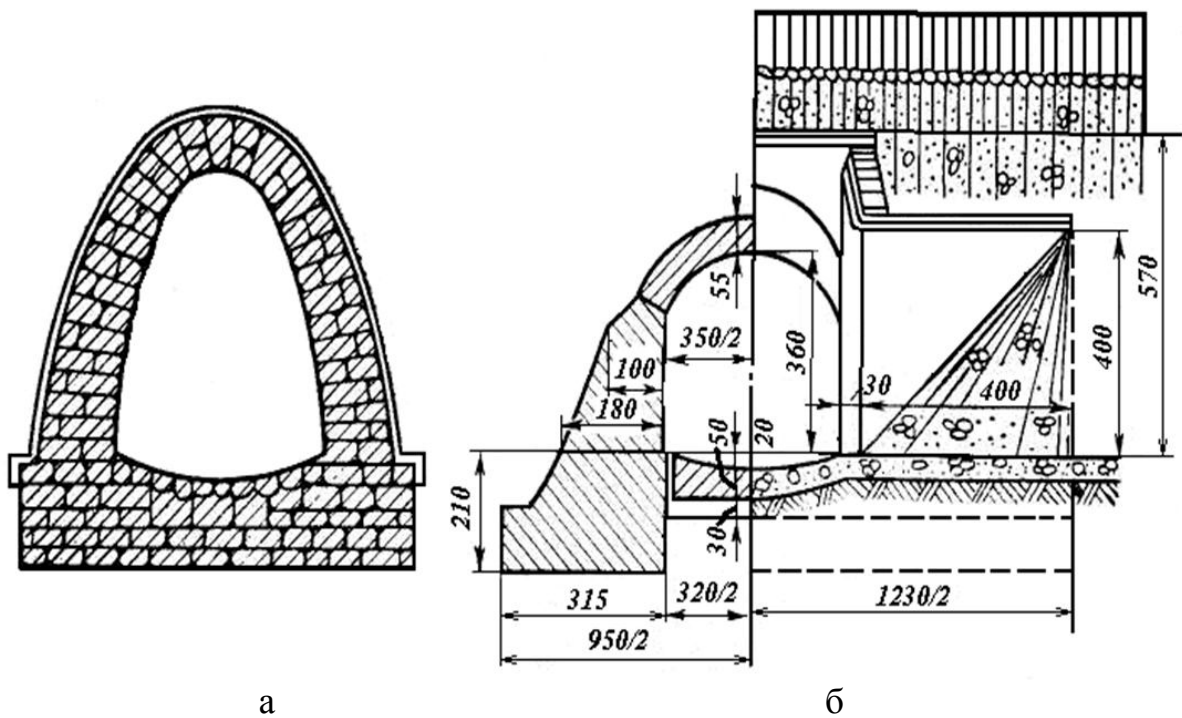


Рисунок 8.4 – Типи оголовків труб

а – порталний; б – коридорний; в – комірний; г – розтрубний;  
д – розтрубний із конічною ланкою

Склепіння труб може набувати параболічного, еліптичного, коробчатого або іншого контуру, наближеного до кривої тиску від навантажень на трубу, унаслідок чого зменшуються згинальні моменти в перетинах склепінь. Видимі поверхні оголовків зазвичай обличковуюють тесаним каменем.

Аналогічну конструкцію мають і бетонні (неармовані) труби. Значним недоліком таких кам'яних і бетонних труб є ускладненість їхнього використання в разі індустріалізації будівництва. Застосування труб збірної конструкції з дрібних бетонних блоків не усувають цього недоліку, тому такі кам'яні й бетонні труби вже не випускають, але вони ще використовуються на діючих залізницях (рис. 8.5).



а

б

Рисунок 8.5 – Кам'яні труби:

а – овоїдальна; б – склепіння на стояках

## 8.5 Конструкції металевих труб

Перші металеві труби були чавунними. Вони склалися з круглих ланок із отвором до 2,1 м, не більше 3,2 м завдовжки із товщиною стінок до 30 мм.

Чавунні труби коштували недорого, трудомісткість будівництва була незначною, їхні експлуатаційні характеристики були хорошими, недоліком було те, що на їх виготовлення витрачалося багато металу.

У кінці XIX століття почали застосовувати економні труби з тонколистової гофрованої (хвилястої) сталі, які різнилися підвищеною стійкістю щодо корозії. Характерною особливістю цих труб є те, що в разі дії тиску ґрунту насипу вони дещо сплющуються і деформуються, при цьому виникає пружне відпирання ґрунту, що підвищує несучу здатність труб тим більше, чим вищі якість і ступінь ущільнення довколишнього ґрунту.

Гофровані труби зазвичай не мають оголовків і виступають із насипу, утворюючи вертикальний (незрізаний) або похилий (зрізаний) торчак (рис. 8.6, г), що істотно знижує їх водопропускну здатність. Вертикальний торчак труб повинен виступати з насипу на рівні їхньої підшви не менше ніж на 0,2 м, а на похилій площині – не менше 0,5 м. Ці труби можуть бути багатовічковими й багатоярусними. У разі багатоярусного розташування верхні отвори пропускають тільки весняні паводкові води, тому протягом більшої частини часу експлуатації залишаються сухими, що підвищує їхню довговічність і уможливорює застосування на водотоках полів.

Типові труби застосовують при висоті насипу до 20 м у всіх районах країни і на будь-яких водотоках. Застосування сталевих гофрованих труб порівнянно із залізобетонними знижує вартість будівництва в 1,5-2 рази, масу застосованих матеріалів у 30-40 разів, транспортні витрати більш ніж в 8 разів, трудомісткість робіт в 2-4 рази, але збільшує витрати сталі на 10-15 %.

Під час осідання основи труби ланки з хвилястою сталлю легко деформуються, не пошкоджуючись. Фундаменти влаштовують здебільшого тільки під оголовками таких труб, на решті довжини можна обмежитися піщаною або невеликою за товщиною гравійною подушкою (рис. 8.6).

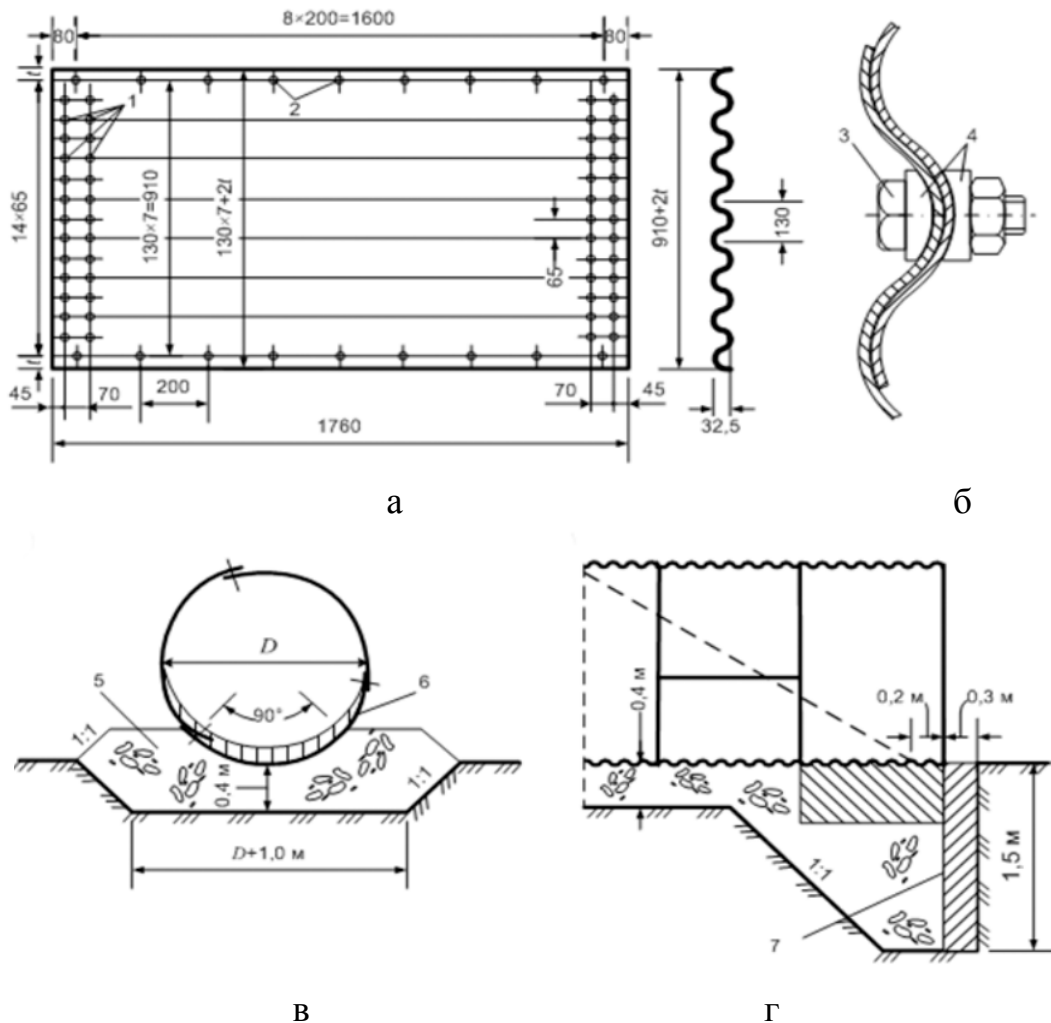


Рисунок 8.6 – Конструкція металевої гофрованої труби  
а – розворот металевого гофрованого листа (розміри в міліметрах);  
б – болтові з'єднання листів; в – поперечний розріз труби;  
г – проколювальний розріз труби: 1 – отвори для болтів повздовжнього стику; 2 – отвори для болтів поперечного розрізу;  
3 – болт із гайкою; 4 – плоско-виупукла й плоско-ввігнута шайби;  
5 – гравійно-піщана подушка; 6 – лоток; 7 – екран



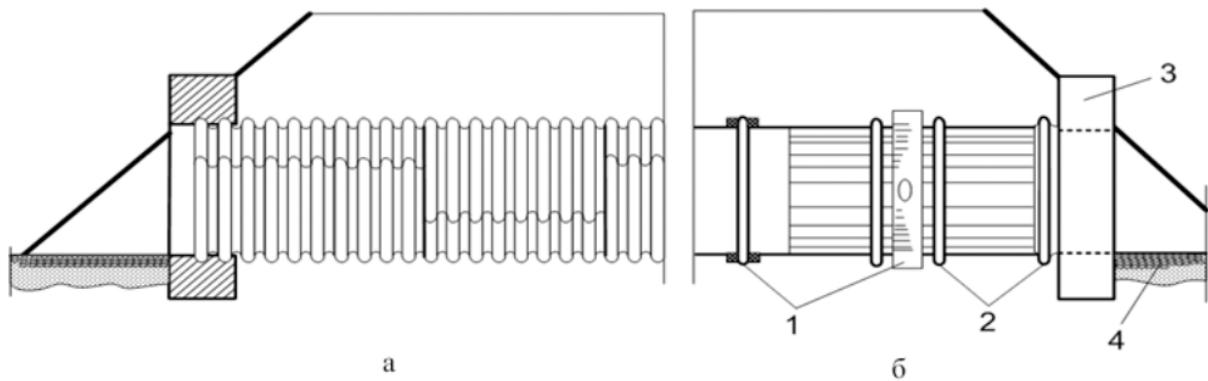


Рисунок 8.7 – Металеві труби

а – металеві гофровані; б – чавунні; 1 – стикові накладки; 2 – ребра жорсткості; 3 – оголовок; 4 – мощення

### 8.6 Збірні залізобетонні й бетонні труби

Збірні труби складаються з ланок, блоків фундаментів і елементів оголовків, які виготовляють на заводах або полігонах, доставляють на будівельні майданчики звичайним транспортом і монтують легкими мобільними кранами. Ці труби відповідають вимогам промислового будівництва, мають порівняно малу вартість, незначну трудомісткість, хороші експлуатаційні якості й значний термін використання. Збірні труби складаються з круглих циліндрових, круглих з плоскою основою (п'ятою), овоїдальних та прямокутних ланок (рис. 8.7). Товщина стінок ланок має становити не менше 10 см. Довжина ланок зазвичай становить 1 м. Подовження ланок до 2–3 м знижує витрати праці на монтаж труби й улаштування гідроізоляції стиків між ланками на 15–25%. Круглі циліндрові ланки (рис. 8.8, а та рис. 8.9) мають отвори до 2 м. Товщину й армування ланок обирають залежно від висоти насипу, тимчасового й рухомого навантаження та розташування ланки в трубі. У разі тиску ґрунту на насип верхня й нижня частини ланок прогинаються всередину, а бічні – назовні. Отже, у верхній і нижній частинах робочу арматуру необхідно розмістити на внутрішній поверхні ланок, а в бічних – у зовнішній. Однак

оскільки циліндрові ланки можна встановити в будь-яке положення, їхню арматуру виготовляють подвійною.

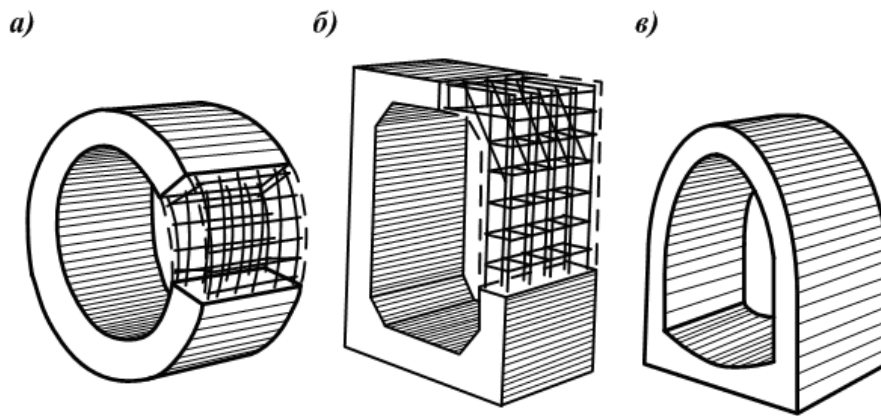


Рисунок 8.8 – Ланки залізобетонних труб  
а – кругла; б – прямокутна; в – овоїдальна

Круглі труби можуть бути одно-, дво- й тривічкові (рис. 8.9).

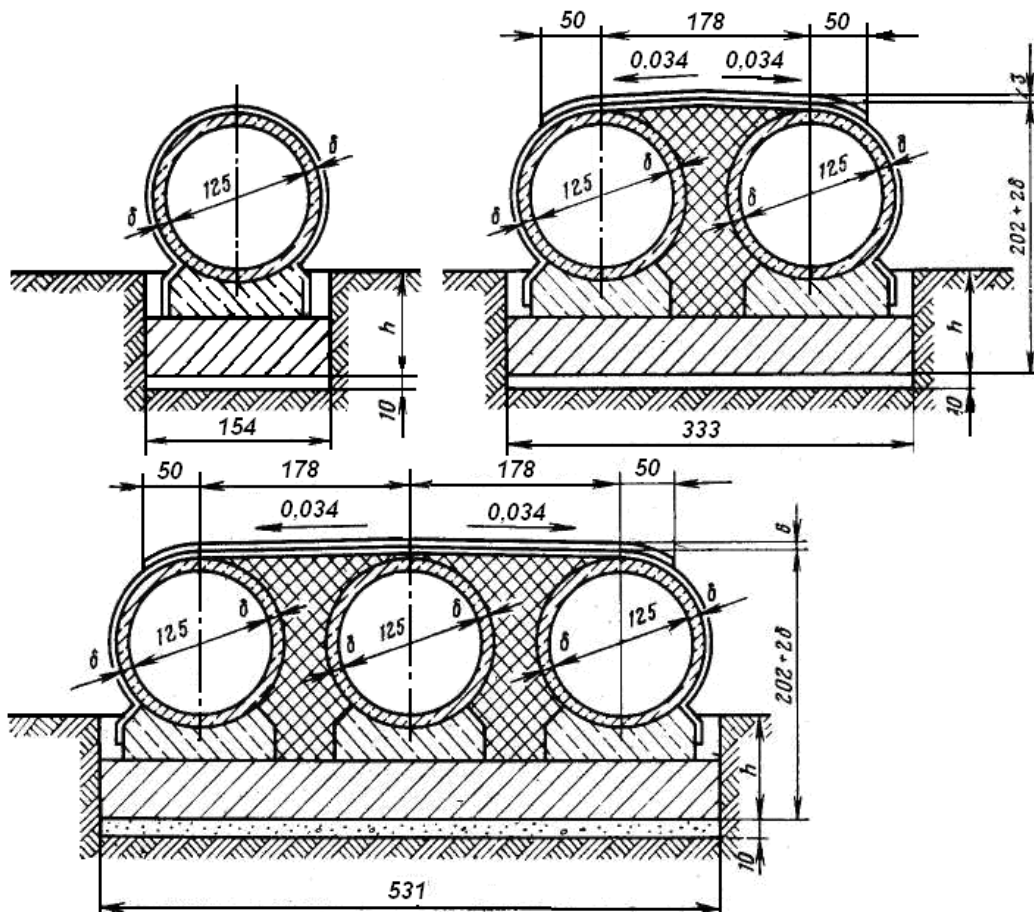


Рисунок 8.9 – Конструкція круглих труб

Прямокутні залізобетонні ланки (рис. 8.10) є замкнутими рамами з отворами 2 і 2,5 м заввишки 2 м і отворами 3 і 4 м завширшки 2,5 м. Товщина стінок ланок становить 13–30 см, верхні двосхилі плити – 17–40 см залежно від отвору труби й висоти насипу.

При дії тиску ґрунту насипу стінки й плити прямокутних ланок прогинаються всередину, тому всередині стінок і плит робочу арматуру розташовують у внутрішніх поверхнях, а по кутах – у зовнішніх. Арматурний просторовий каркас прямокутних ланок складається із зовнішніх і внутрішніх мереж, з'єднаних скріпками, а по кутах, крім того, – похилими стержнями.

Елементи труб, встановлені в насипу, повинні мати таку висоту: під залізницю при звичайних ґрунтах – від 3 до 19 м, при скельних ґрунтах або паливових фундаментах – від 3 до 18 м; під автодорогу – від 5 до 20 м. Ланки виготовляють із бетону М 300 із морозостійкістю не нижче  $M_{pz} 300$ .

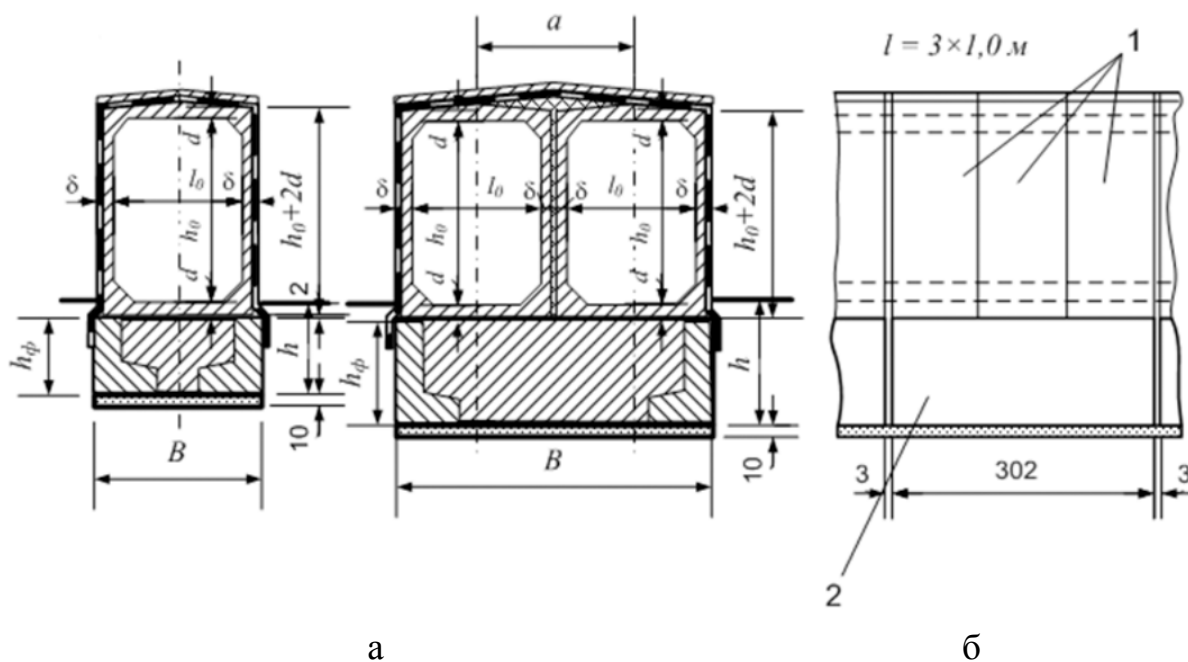


Рисунок 8.10 – Секції прямокутної труби

а – одновічкова; б – двовічкова; 1 – ланки труби; 2 – блоки фундаменту

## 8.7 Фундаменти і ізоляції труб

Круглі ланки труб діаметром до 1 м під автодорогами можна при скельових щебеневих і гравелистих можна ґрунтах укласти просто на

грунт (рис. 8.11, а). У глинястих грунтах, дрібних і пухких пісках круглі ланки діаметром до 1,5 м при висоті насипу до 4 м можна укласти на підготовку з дренавальної піщано-гравійної суміші (рис. 8.11, б). Проектуючи трубу, варто пам'ятати, що рівень ґрунтових вод у період дії негативних температур повинен знаходитися нижче підготовки на 0,3 м, інакше труба під час замерзання води буде деформуватися.

Якщо в основі залягають пластичні глини, суглинки або супіски, то залізобетонні ланки труб під насипами автодоріг укладають на лекальні залізобетонні блоки або монолітні фундаменти (рис. 8.11, в). Фундаменти з дрібних збірних блоків використовувати не рекомендуються, оскільки вони більше схильні до деформування (рис. 8.11, д).

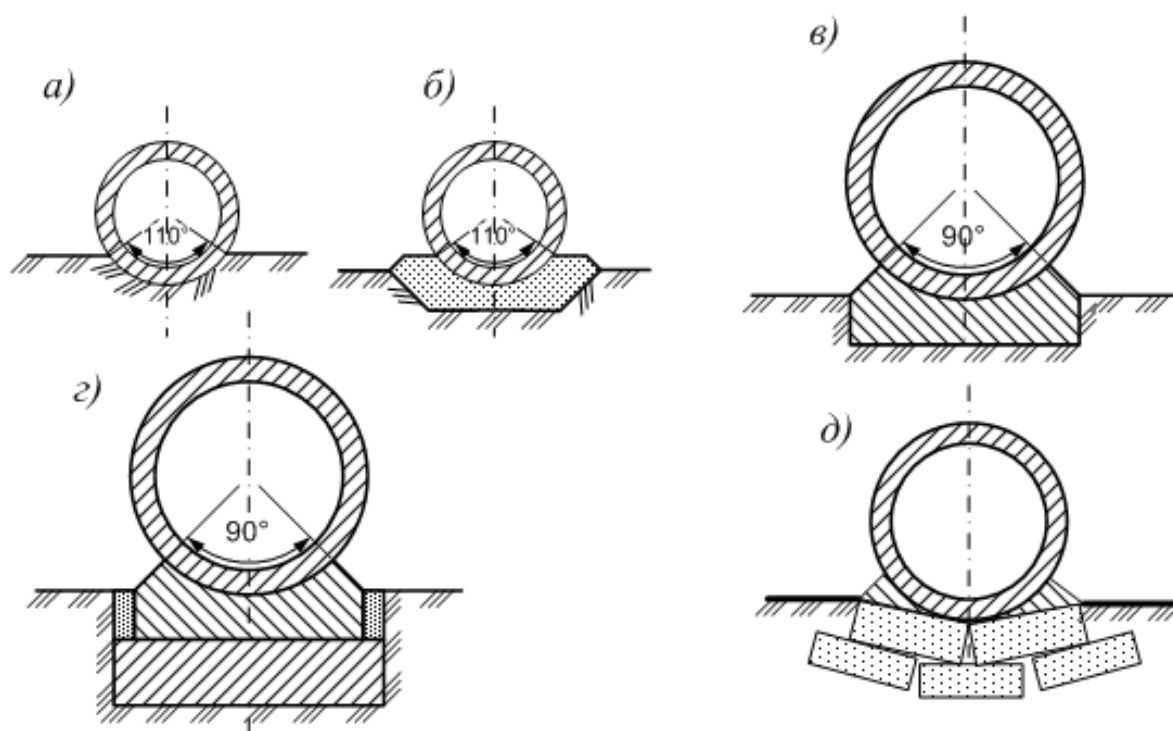


Рисунок 8.11 – Способи укладання ланок труб із круглим розрізом:  
а – без фундаменту; б – на гравійній підготовці; в – на лекальний блок; г – на збірно-монолітний фундамент; д – на фундамент із неглибоких блоків (зображено деформування фундаменту)

Зовнішня ізоляція ланок труб може бути обмазаною або обклеєною. Обклеєна ізоляція надійніше захищає трубу від потрапляння води в бетон ланок порівняно з обмазаною, але облаштувати її складніше, до того ж і

вартість вища. Тому для ланок заводського виробництва із щільного бетону, що пройшли заводські випробування на водонепроникність, можна застосувати обмазувальну ізоляцію всіх труб при звичайному кліматі (на тепло- морозостійкому бітумі типу «Пластбіт»).

Обмазувальна гідроізоляція (рис. 8.12, а) складається з двох шарів бітумної мастики, товщина яких становить 1,5–3 мм на поверхні ланок у холодному або гарячому стані, із підготовкою з бітумного лаку.

Обклеєну гідроізоляцію (рис. 8.12, б) при звичайному кліматі виготовляють з двох шарів склотканини або бітумізованої тканини, приклеєних до поверхні ланки труби, вкритої бітумним лаком, за допомогою гарячої азбестобітумної мастики. Їх укладають між шарами тканини й зверху на ізоляцію. На них укладають захисний шар із цементного розчину 3 см завтовшки, щоб унеможливити пошкодження ізоляції.

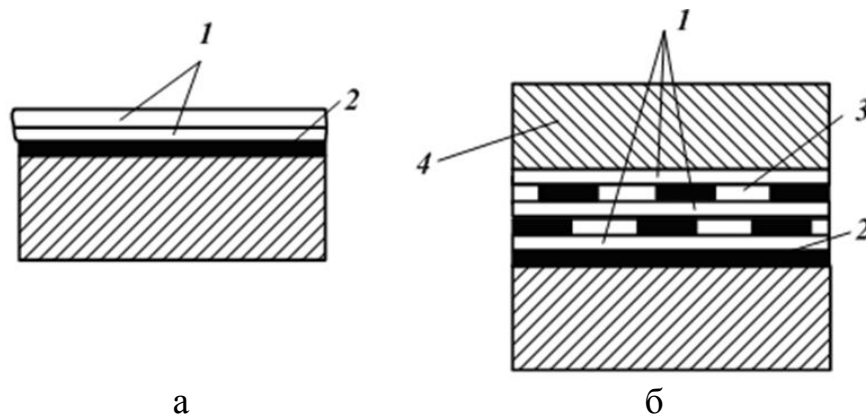


Рисунок 8.12 – Ізоляція труб:

а – обмазана; б – обклеєна: 1 – бітумна мастика; 2 – бітумний лак;  
3 – тканина; 4 – цементно-пісчаний захисний прошарок

Стики ланок (рис. 8.13) ізолюють від просочування води з труби в насип, заповнюючи їх по обидва боки просоченими в бітум частинками. Із зовнішнього боку швів по шару гарячої бітумної мастики наклеюють гідроізоляцію, покриту гарячою бітумною мастикою. Із внутрішнього боку шов зашпаровують цементним розчином на глибину 3 см. У разі

використання обмазувальної ізоляції над швом наклеюють смугу, обклеєну ізоляцією 25 см завширшки, яку вкривають гарячою бітумною мастикою.

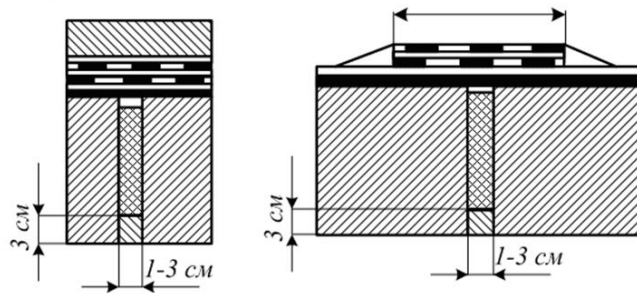


Рисунок 8.13 – Ізолювання шва між ланками:

а – при обклеюванні; б – при обмазочному ізолюванні ланки труб

Окрім зазначеного призначення (елемент труби), лоток має ще й інше самостійне призначення – як особливий різновид невеликої штучної споруди (рис. 8.14).

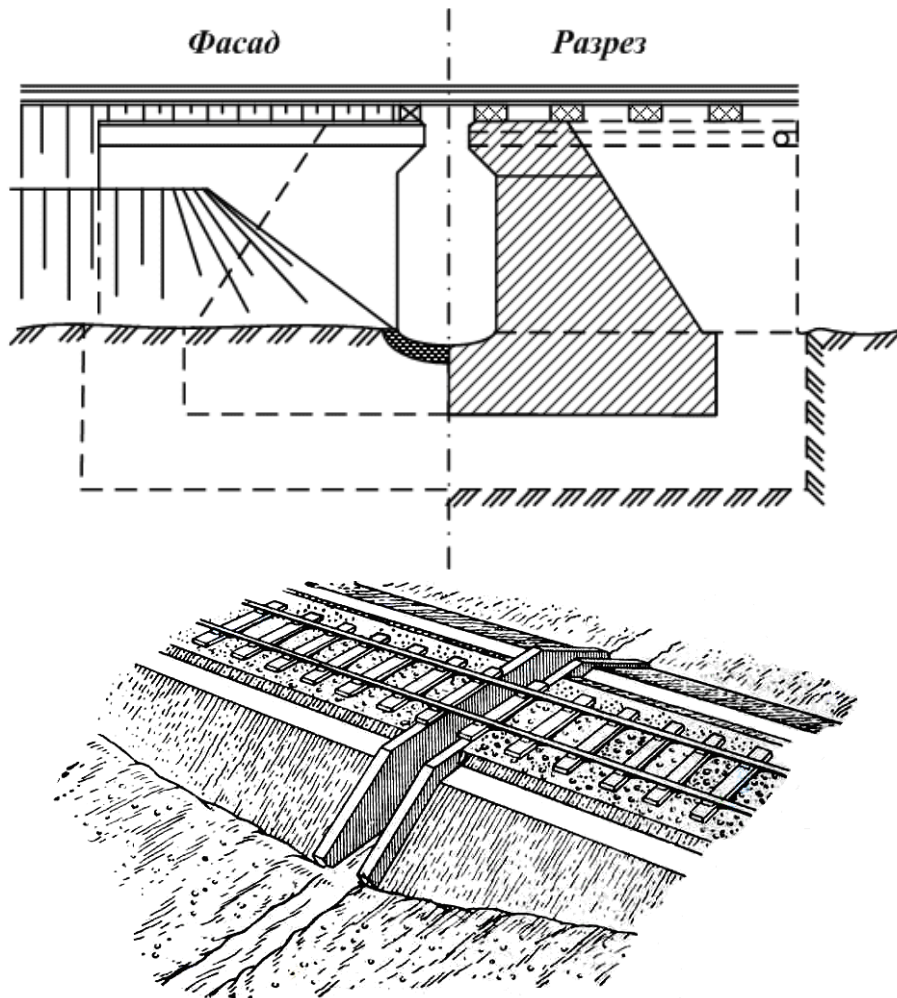


Рисунок 8.14 – Лоток

Загальна кількість таких лотків невелика, оскільки обмежується порівняно вузькими можливостями їхнього використання – для пропуску малих водотоків в насипах до 1,5 м заввишки. Експлуатаційні характеристики лотків, як і труб, високі. Від мостів вони вигідно відрізняються тим, що не мають прогонової будови. Відстань між стінами лотка вгорі не перевищує відстані між шпалами. Для цього при отворі 1–1,5 м стіни лотка у верхній частині виготовляють із залізобетонних консолей. Перевагою лотків порівняно з трубами є те, що вони відкриті зверху і можна розмістити в малих насипах, де трубу, за умови дотримання необхідного засипання ґрунту над нею, не можна застосувати.

Дюкери становлять два колодязі, розташовані по обидва боки виїмки, з'єднані трубою. Дюкери використовують для пропускання води (зрошувальних каналів) з одного боку виїмки на інший під полотном дороги (рис. 8.15).

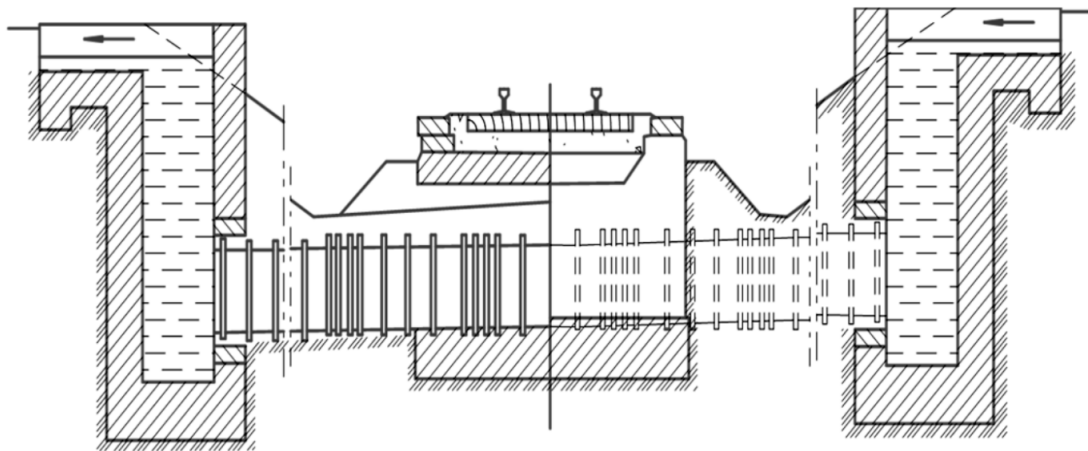


Рисунок 8.15 – Дюкер

Два колодязі, з'єднані трубою, слугують як з'єднувальними посудинами для пропускання водотоку під рейковою колією, прокладеною в неглибокій виїмці, якщо облаштувати звичайну трубу неможливо. Щоб труба не замулювалася, дно колодязів розташовують трохи нижче від лотка труби. Періодичне видалення мулу з таких відстійників у колодязях

унеможливилося засмічення труби, для очищення якої необхідно було б закрити водотік і відкачувати воду з дюкеру.

#### Питання для самоконтролю

1. Подайте визначення поняття «труба».
2. Подайте класифікацію труб.
3. Опишіть конструктивні частини труб.
4. Назвіть типи оголовків труб?
5. Охарактеризуйте конструкції кам'яних і бетонних труб.
6. Опишіть конструкції металевих труб.
7. Охарактеризуйте збірні залізобетонні й бетонні труби.
8. Охарактеризуйте взаємозалежність фундаментів та ізоляції труб.
9. Подайте визначення понять «лоток» і «дюкер».

## **ТЕМА 9 КОНСТРУКЦІЇ ПІДПІРНИХ СТІН НА ДОРОГАХ УКРАЇНИ**

### **9.1 Застосування підпірних стін**

Підпірні стіни призначені для забезпечення від обвалення ґрунту, що міститься за ними. На рисунках 9.1 і 9.2 зображені підпірні стіни у виїмці на підході до тунелю. Вони захищають дорогу від обвалення крутих укосин виїмки. В іншому разі (рис. 9.1) підпірні стіни захищають від обвалення земляне полотно, зведене на пагорбі.

Роль підпірних стін виконують і деякі частини інженерних споруд. Приміром, прогони опори мостів підтримують від обвалення в підмостовий простір земляного полотна підходів у межах ширини стояка. На іншій частині ширини насипу ґрунт утримується конусами. У разі відсутності конусів підпірні стіни використовують як стояни з розкісними крилами (рис. 9.2). Підтримуючи укосини насипу з боку річки, розкісні крила водночас захищають ґрунт від підмивання.



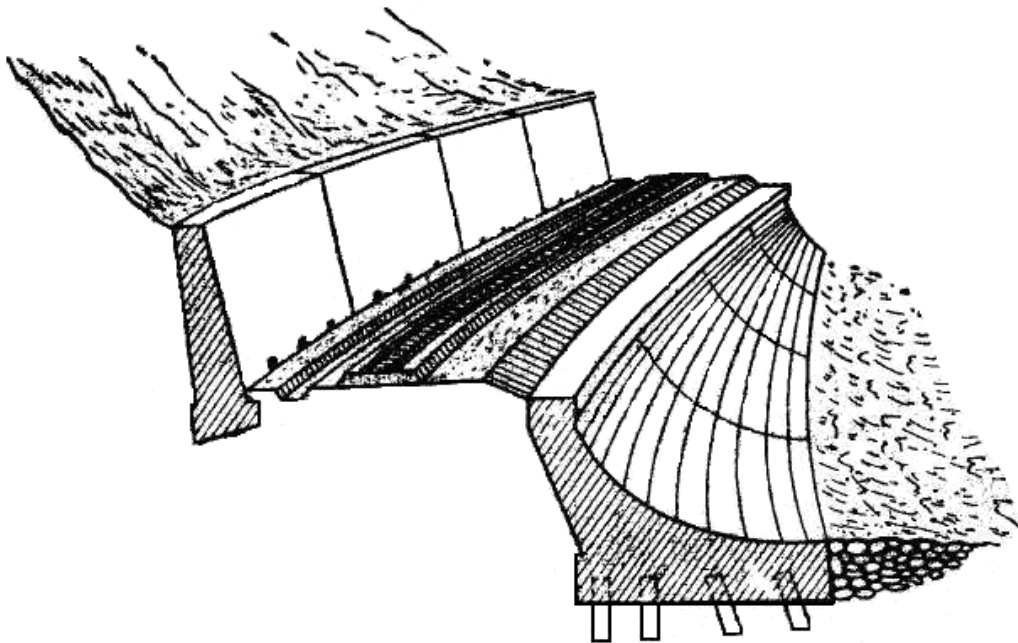


Рисунок 9.1 – Підпірна стіна

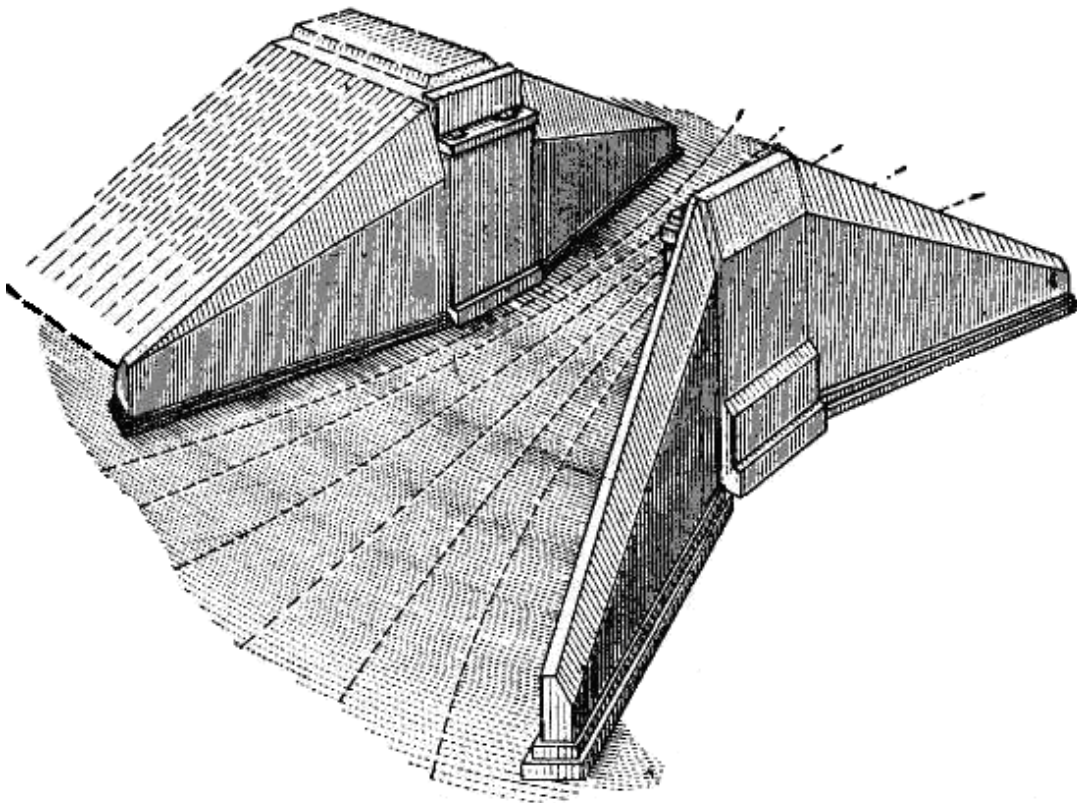


Рисунок 9.2 – Стоян з розкісними крилами

Подібно до цього підпірні стіни по берегах річок і морів оберігають берег від розмивання (рис. 9.3). Плавкий контур чолової грані морських стін знижує ударну дію хвилі на стіну.

## 9.2 Конструкція підпірних стін і їхня експлуатація

Підпірні стіни зазвичай будують з кам'яного, бетонного й бутобетонного мурування. Окрім мурування на розчині, підпірні стіни невеликої висоти для менш нагромаджених огорож викладають без розчину. У кам'яному муруванні, щобільше без розчину, необхідно добре перев'язати шви в суміжних рядах по довжині й товщині стіни, що здійснюють лише по довгастих каменях. Для більшої міцності і щільності мурування проміжки між основними каменями заповнюють дрібним каменем і щебенем. Чолову передню грань за необхідності обличковуюють міцним каменем, здебільшого чисто обтесаним, як це, наприклад, показано на рисунку 9.3 в «морській» стіні, що зазнає значного механічного стирання під дією хвиль.

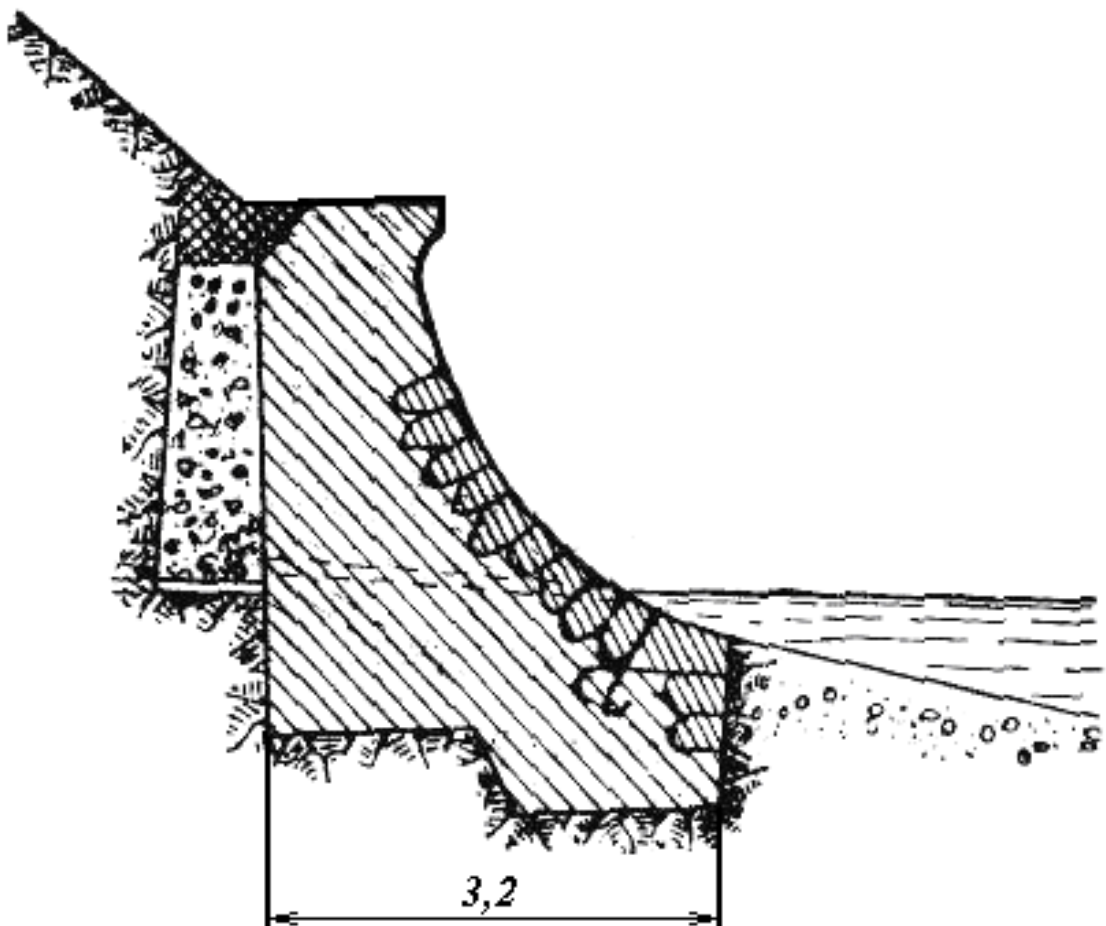


Рисунок 9.3 – Морська підпірна стіна

За формою поперечного вертикального перетину масивні підпірні стіни різняться, хоч вони зазвичай потовщені в нижній частині.

Відмінності конструктивних форм обумовлюються призначенням стіни й місцевими умовами. Окрім зображеної «морської» стіни на рис. 9.3 зображені ще дві різні за формою стіни. Одна з них (рис. 9.4, а) призначена для огороження насипу в міських умовах, де для більш привабливого архітектурного вигляду облаштовують тротуар за умов обмеженого простору, використовуючи вертикальну чолову грань стіни. Інша стіна (рис. 9.4, б) розташована біля основи високого пагорба. У цьому разі при великому тиску доцільно використовувати похилу стіну. Нахил в бік підтримуваної укосини збільшує опір стіни перекиданню й тому дає змогу скоротити витрати мурування.

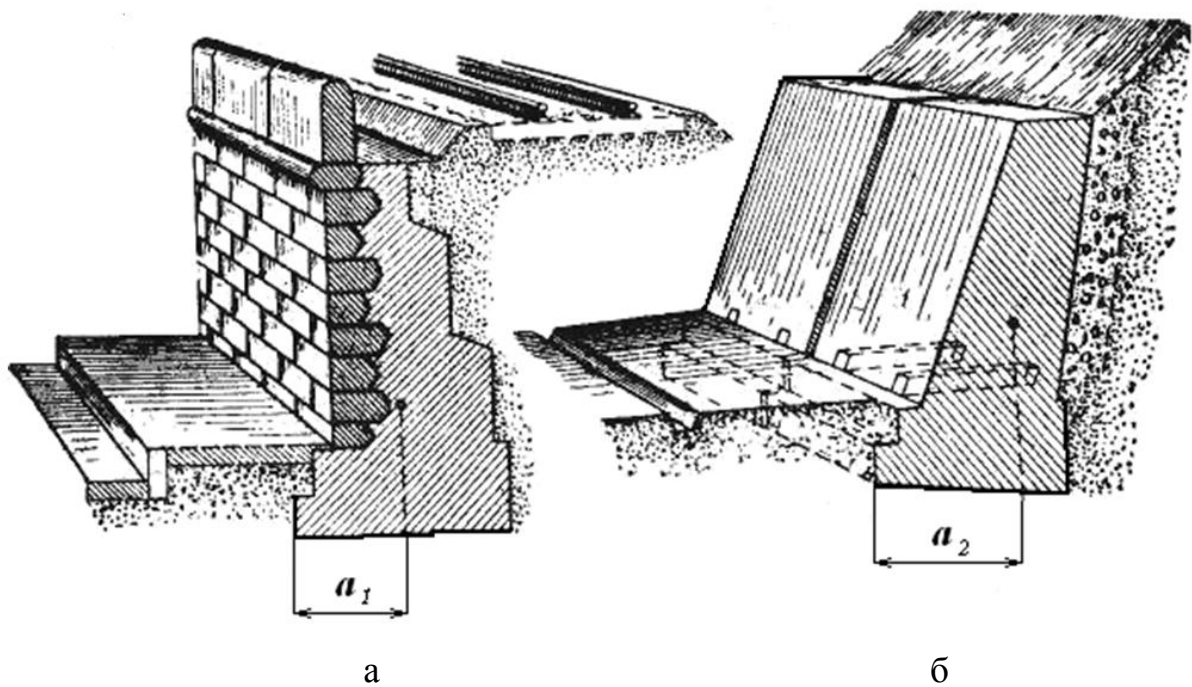


Рисунок 9.4 – Кам'яні підпірні стіни

а – вертикальна б – похила

Форма й міцність підпірних стін обумовлюються обсягами тиску ґрунту на них, який, зі свого боку, визначається не тільки висотою всієї маси ґрунту, що захищається, а й його властивостями. Дрібні сипкі ґрунти, наприклад піщані, різняться великим бічним тиском порівняно із зв'язними глинястими, у яких в сухому стані бічний тиск знижується іноді до нуля, як і в непорушених скельних породах. Але тиск сипких і зв'язних ґрунтів

різко зростає відповідно до насичення їх водою. Тому дуже важливо унеможливити скупчення води за підпірними стінами. Для цього в стінах залишають дренажні отвори (рис. 9.5), а для кращого припливу до них води і зменшення їхнього замулювання за стінами влаштовують дренажну засипку з гравію і дрібного каменю по довжині всієї задньої грані стіни (рис. 9.4, б).

Вода з-за стін протікає не тільки через дренажні отвори, які зазвичай займають два-три яруси по висоті, але й у деформаційні шви між ланками стіни. Шви влаштовують наскрізними на всю товщину й висоту, чим убезпечують довгі стіни від появи в них тріщин, які неминуче з'являються в разі нерівномірного осідання. Довжина ланок – 3–6 м. Стіну з боку ґрунту вкривають бітумом для захисту від намокання.

Крім кам'яних і бетонних стін широко застосовуються залізобетонні підпірні стіни.

Залізобетон дає змогу значно знизити товщину стін, а головне, створити вдалу конструкцію, яку не можна побудувати з каменю. Форма залізобетонних стін (рис. 9.5), може бути різною, однак, по суті, усі вони однакові: кожна з них має тонку вертикальну стінку, жорстко з'єднану з плитою фундаменту. Різняться лише конструкція посилення цього з'єднання. В першому випадку з'єднання стіни з плитою посилене суцільним бутом (рис. 9.5, а), в другому – контрфорсами (вертикальні ребра розміщені окремо) (рис. 9.5, б), в третьому вертикальними ребрами діафрагмами, розміщеними між чоловою й задньою стінами (рис. 9.5, в). Для всіх конструкцій залізобетонних стін властиве засипання ґрунту над плитою фундаменту, щоб підтримати підпірну стіну, що підвищує її стійкість проти перекидання й зсуву.

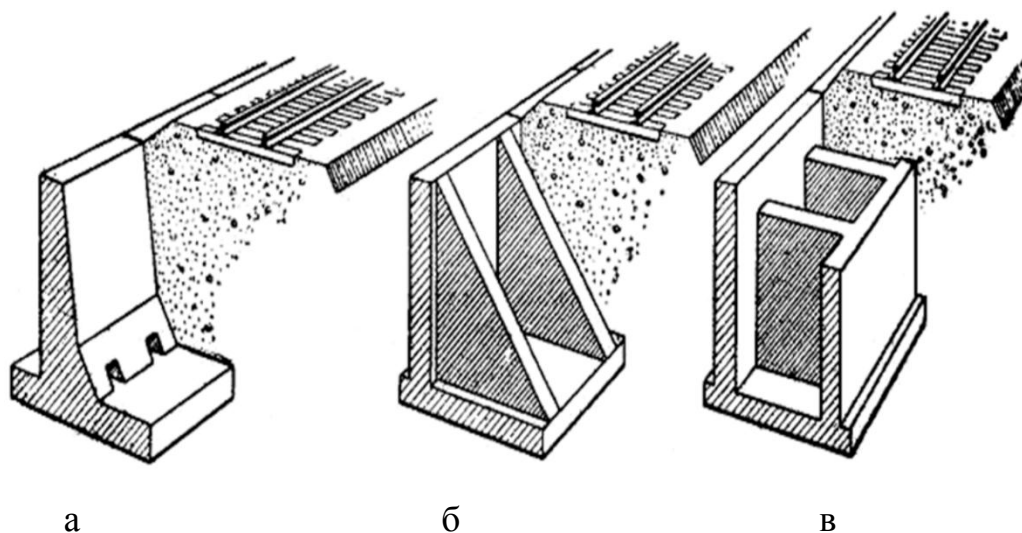
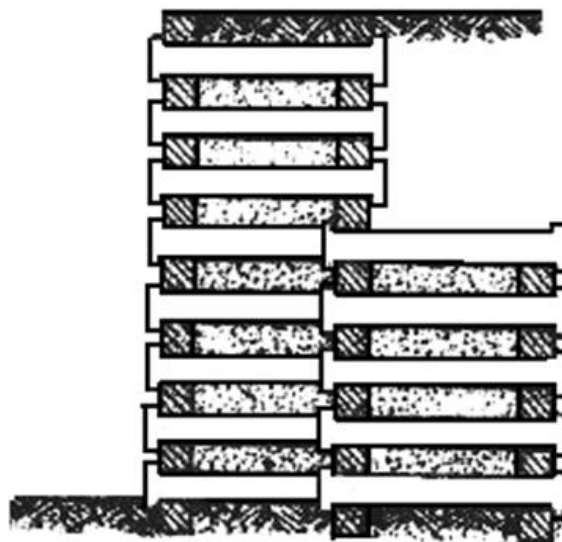


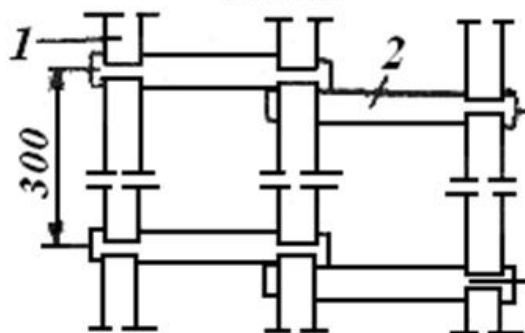
Рисунок 9.5 – Види залізобетонних підпірних стін

Принципово відрізняються від розглянутих монолітних збірні стіни, що складаються із залізобетонних брусів (рис. 9.6, а). Потовщення на кінцях поперечних брусів (2) перешкоджають зсуванню стіни за ярусами. Така стіна у вигляді зрубу, засипана ґрунтом, проста для збирання, гнучка в разі нерівномірності опадів і не потребує застосування спеціальних дренавальних пристроїв. Однак у разі загрози розмивання таку стіну треба заповнювати не землею, а каменем, але тоді доцільніше будувати муровану або бутобетонну стіну.

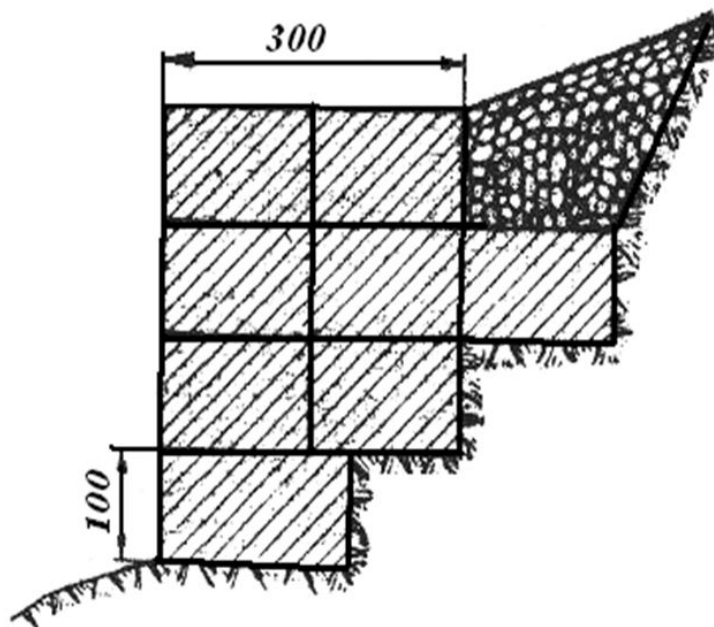
Кам'яна засипка застосовується в конструкціях підпірних стін із габйонів (рис. 9.6, б), однак унаслідок іржавіння дроту й руйнування габйонів такі стіни не є капітальними.



План



а



б

Рисунок 9.6 – Збірні підпірні стіни:

а – із залізобетонних брусків; б – із габіонів



Підпірна стіна може бути виконана і у вигляді шпунтованої огорожі. Замість дерев'яного та металевого шпунтів, а також паль, які забиваються впритул один до одного, у капітальній підпірній стіні застосовують залізобетонні палі, палі-оболонки й шпунти (рис. 9.7). На відміну від зазначених вище стін, стійкості щодо перекидання шпунтових стін досягають вийняtkово глибиною закладання їх у ґрунт, а міцність по злам — потужністю поперечного перерізу шпунта й оболонок, якщо він не створює ним додаткових підкосин і відтяжок.

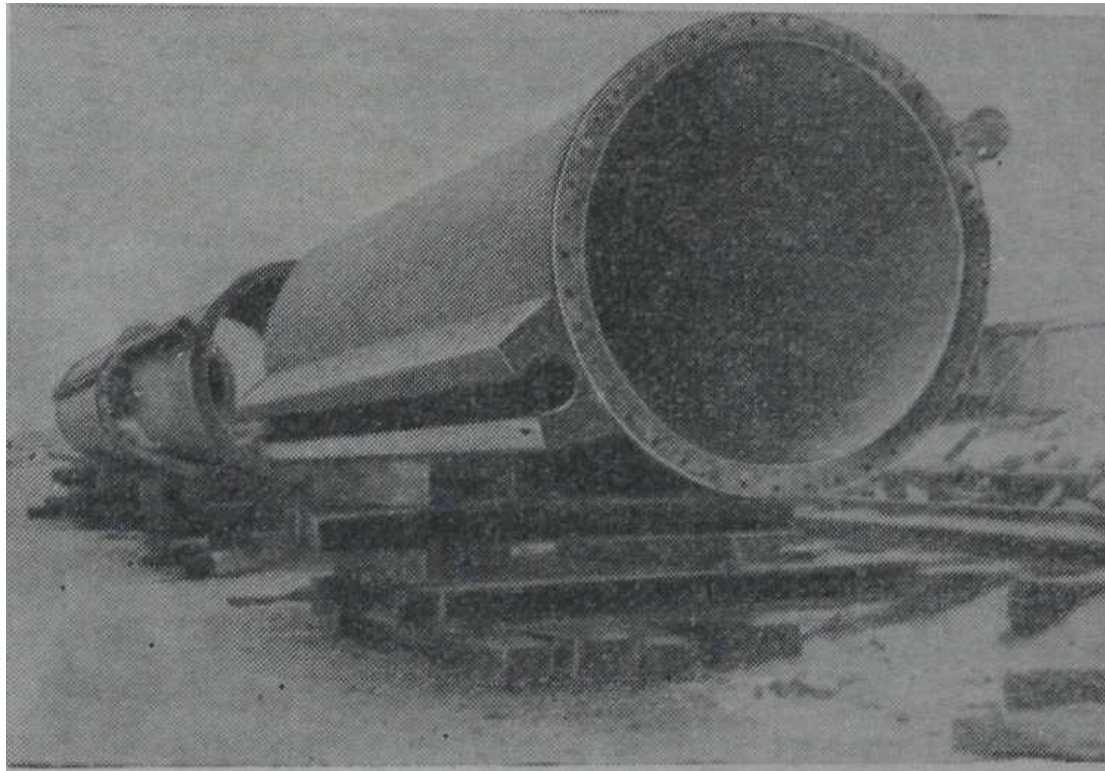


Рисунок 9.7 – Залізобетонний шпонт трубчастий

**Питання для самоконтролю:**

1. Призначення підпірних стін.
2. Конструювання підпірних стін і їх експлуатація.
3. Якими є форма й потужність підпірних стін.

## **ТЕМА 10 КОНСТРУКЦІЇ АВТОМОБІЛЬНИХ І ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ТУНЕЛІВ, А ТАКОЖ ТУНЕЛІВ МЕТРОПОЛІТЕНІВ УКРАЇНИ**

### **10.1 Призначення тунелів та їхня класифікація**

Тунелем називають горизонтальну або похилу підземну інженерну споруду, що різняється значною протяжністю, призначену для пропускання транспортної магістралі під перешкодою або крізь неї.

Крім транспортних цілей тунелі використовують для пропускання води, прокладання міських комунальних мереж або під час зведення виробничих підприємств.

До транспортних тунелів належать залізничні, автодорожні, судноплавні, перехідні тунелі й тунелі метрополітенів, а також тунелі з великим поперечним перерізом, по яких рухається транспорт декількох видів.

Транспортні тунелі класифікують за певними ознаками. Приміром, за місцем розташування тунелі можна розділити на гірські, підводні й міські тунелі різного призначення.

За способом побудови розрізняють тунелі, споруджувані відкритим і закритим способами. При відкритому способі в попередньо розробленому копані споруджують тунельну конструкцію, яку після її завершення засипають ґрунтом. Закритий спосіб споруди або проходження тунелів, зі свого боку, поділяють на гірський і щитовий.

При гірському способі робіт створюється підземна виробка, яку одразу закріплюють тимчасовим кріпленням для подальшого захисту постійної тунельної конструкції, що називається обробкою. Така конструкція зазвичай виконується з монолітного бетону.

Щитовий спосіб облаштування передбачає з використання прохідницького щита – рухомого сталевого кріплення, що захищає місце розроблення породи й споруди, яке при щитовому способі зазвичай виконується збірним із залізобетонних або чавунних елементів заводського



виготовлення. Крім зазначених, існують і інші способи спорудження тунелів, які називаються спеціальними. Вони застосовуються за особливих місцевих умов, коли використання звичайних способів ускладнено.

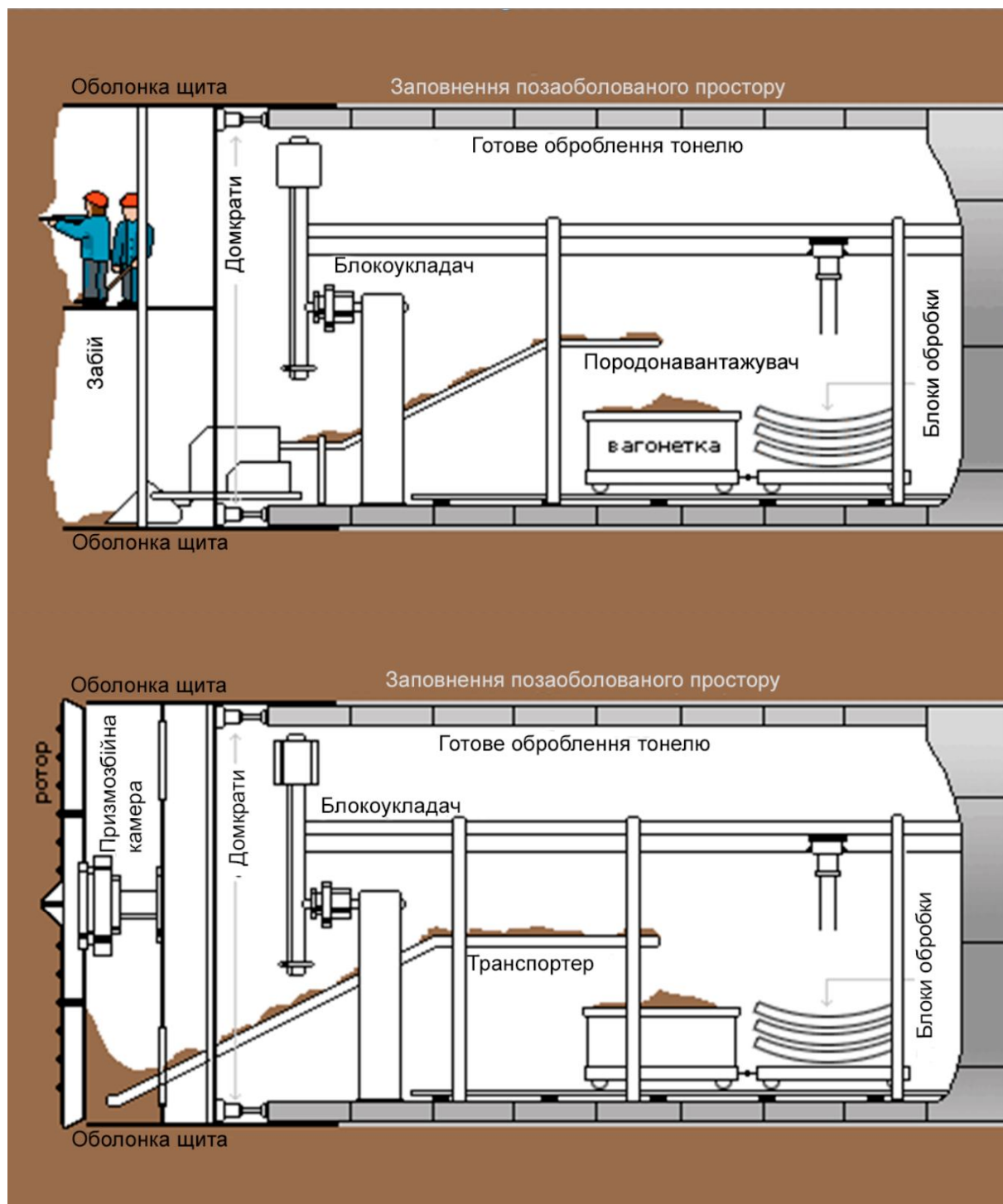


Рисунок 10.1 – Роботи з облаштування тунелю

## 10.2 Внутрішній контур обробки

Розміри й форми внутрішнього контуру оброблення транспортних тунелів визначається, головне, габаритами наближення споруд. Для залізниць звичайної колії встановлений габарит С, для автомобільних доріг – Г-7 і Г-8; спеціальний габарит наближення споруд прийнятий для перегінних тунелів метрополітену.

Краї тунелів, що споруджуються закритим способом, різняться плавким криволінійним контуром.

Внутрішній контур обробки одноколійного залізничного тунелю для прямої ділянки шляху, описаний навколо габариту С, є коробчастою кривою (рис. 10.2), побудованою з трьох або п'яти центрів. Внутрішній контур обробки двоколійного тунелю (рис. 10.3) є коробчастою кривою з трьома центрами, розташованими достатньо близько для того, щоб їх можна було об'єднати в один центр. У цьому разі контур окреслюється дугою одного кола, обмежує внутрішній простір і перевищує межі допустимого.

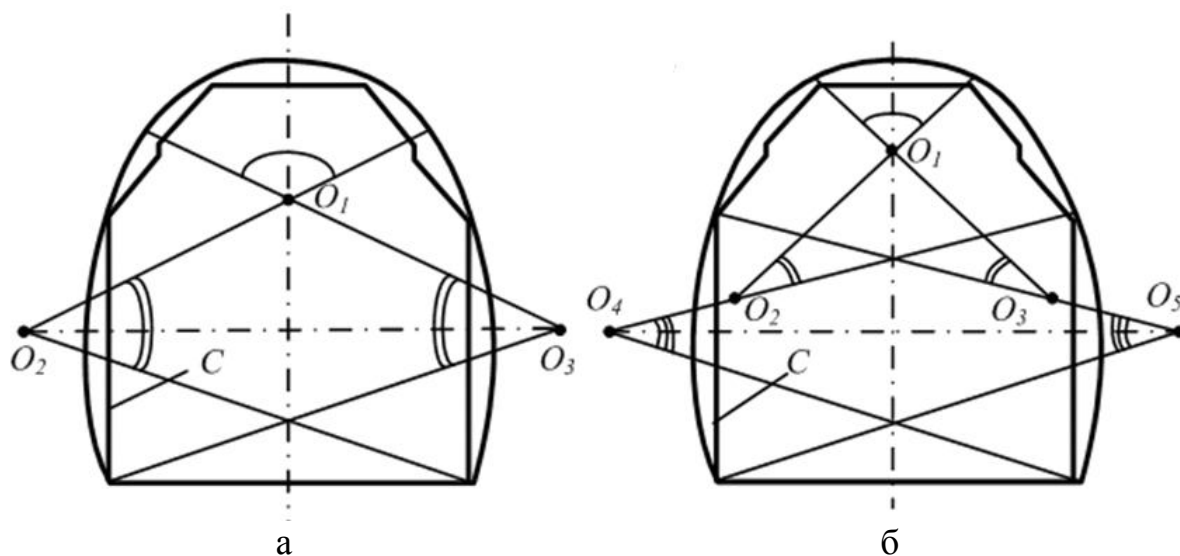


Рисунок 10.2 – Побудова внутрішнього контуру підковоподібної обробки одноколійного тунелю:

а – із трьох центрів; б – із п'яти центрів

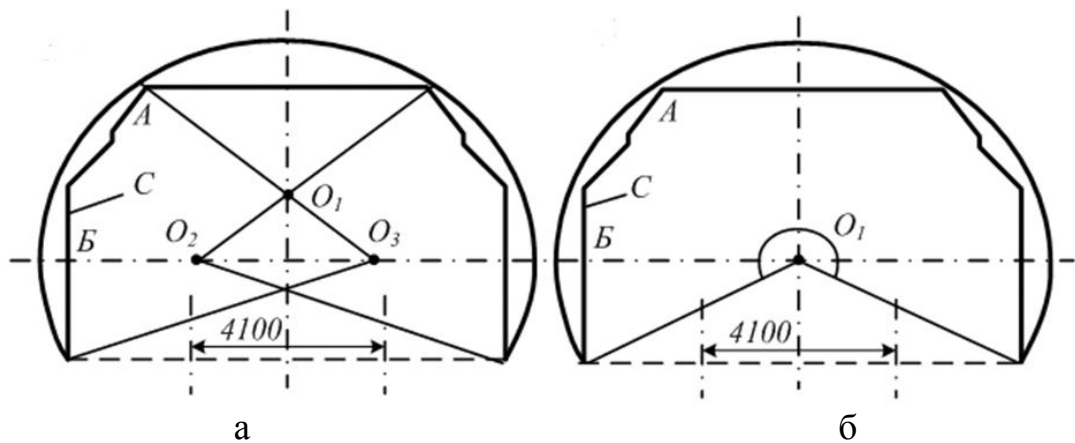


Рисунок 10.3 – Побудова внутрішнього контуру підковоподібної обробки двошляхового тунелю  
а – із трьох центрів; б – із одного центра

Внутрішній контур обробки автодорожнього тунелю для габариту Г-8 формою і розмірами подібний до контуру двоколійного залізничного тунелю. Зайвий простір над розміром зазвичай використовується для вентиляції тунелю. На кривих ділянках колії розміри габаритів наближення споруд збільшуються, а для двоколійних тунелів – зменшуються, і відстань між осями шляхів визначають беручи до уваги максимально можливі перспективні швидкості руху поїздів.

Замкнутий круговий контур здебільшого застосовується в одноколійних тунелях метрополітену, що споруджуються закритим способом, де круговий контур не призводить до істотних надлишків внутрішнього простору тунелю внаслідок особливостей габариту метрополітену й необхідністю розміщення великої кількості кабелів.

### 10.3 Конструкції обробок тунелів із монолітного бетону

Обробка залізничних тунелів призначається для унеможливлення обвалу й захисту недостатньо міцної породи від вивітрювання.

Оброблення тунелів може бути монолітним і збірним. Для монолітної обробки застосовують бетон і залізобетон. Збірну обробку

виконують із чавунних тюбінгів, бетонних і залізобетонних блоків. Тунелі старої конструкції мають кам'яну, іноді цегляну обробку.

Монолітний бетон служить основним матеріалом для обробки залізничних і автодорожніх тунелів, що споруджуються гірським способом. Це пояснюється тим, що для його виготовлення використовуються місцеві матеріали, а процеси, пов'язані з бетонуванням, повністю механізовані.

Тунельні обробки закріплюють гірські породи. Їх форма, розміри елементів і вибір матеріалу залежать від фізико-механічних властивостей гірських порід.

Обробка складається з таких основних частин (рис. 10.4): верхнього склепіння (2), стін (4), фундаментів (5) і зворотного склепіння (6). Найвища точка склепіння називається замком (1), а площина переходу склепіння в стіну – п'ятою склепіння (3).

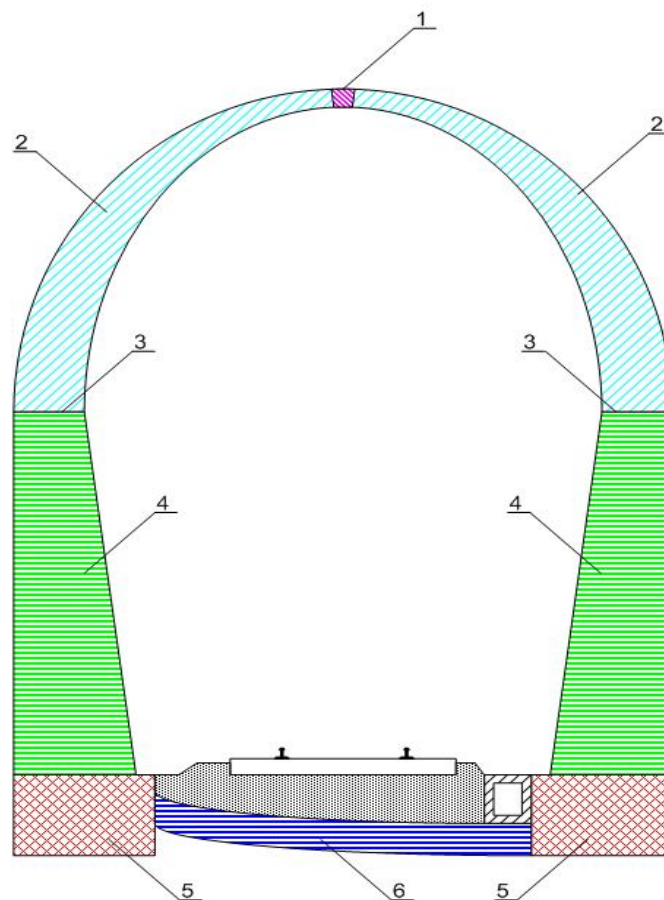


Рисунок 10.4 – Конструктивні частини обробки тунелів

У дуже міцних гірських породах, невивітрюваних і нерозчинних, що не чинять тиску і є суцільним масивом без тріщин, виробітки можна нічим не закріплювати, а тунель експлуатується без обробки. Однак такі умови виникають(створюються) надзвичайно рідко, тому, навіть в найміцніших породах видобуток закріплюють постійною обробкою, яка не виконує функції несучої конструкції, а слугує облицюванням.

Розглянемо конструкції монолітних обробок одноколійних залізничних тунелів із монолітного бетону, розроблені Метрогіпротрансом.

1. Одноколійні тунелі:

- тип I – виробіток (без обробки) в міцних суцільних невивітрюваних і сухих породах (рис. 10.5);
- тип II – для міцних суцільних порід, щодо яких у майбутньому може виникнути потреба прилаштувати обробки, оскільки вони можуть вивітрюватися;
- тип III – для вивітрюваних твердих порід, що не відчують тиску;
- тип IV – для слабких порід з незначним вертикальним тиском;
- тип IV-біс – для слабких порід з незначним бічним тиском;
- тип V – для слабких порід з вертикальним тиском;
- тип VI – для слабких порід зі значним вертикальним тиском;
- тип VI-біс – для слабких порід зі значним бічним тиском.



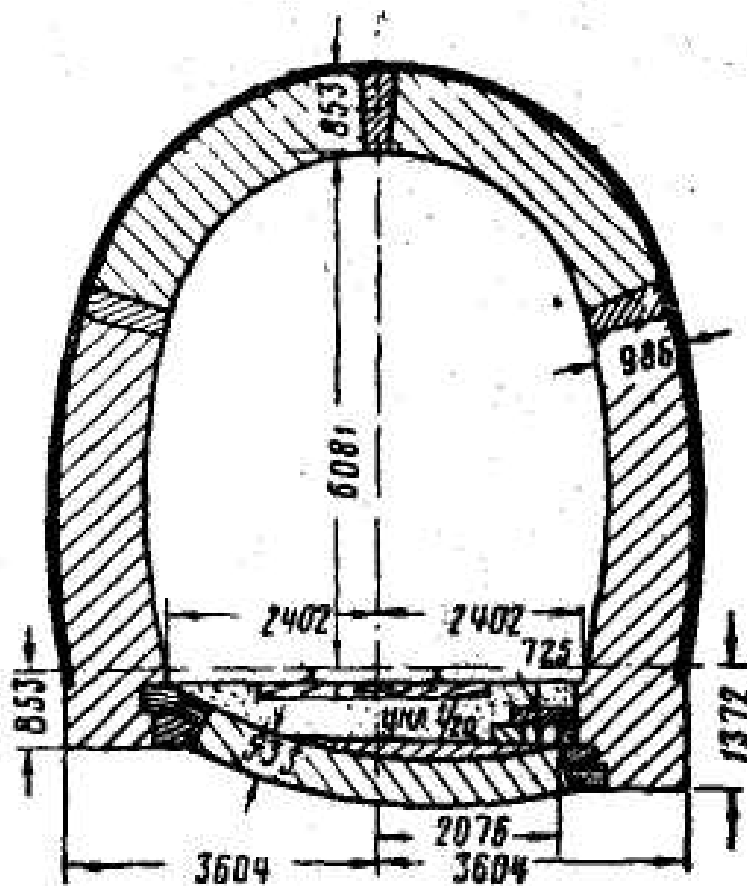


Рисунок 10.7 – Обробка типу VI-біс для слабких порід

## 2. Двошляхові тунелі

- тип I – вироблення без обробки в міцних суцільних невивітрюваних і сухих породах;
- тип II – для міцних суцільних порід, щодо яких можуть згодом виникнути потреба прилаштування обробки внаслідок їхнього можливого вивітрювання;
- тип III – для вивітрюваних твердих порід, які не спричиняють тиску (рис. 10.8);
- тип IV – для м'яких порід з незначним вертикальним тиском;
- тип V – для м'яких порід із помірним вертикальним тиском;
- тип V-біс – для м'яких порід із помірним бічним тиском;
- тип VI – для слабких порід з значним вертикальним тиском;
- тип VI-біс – для слабких порід з значним бічним тиском (рис.10.9).

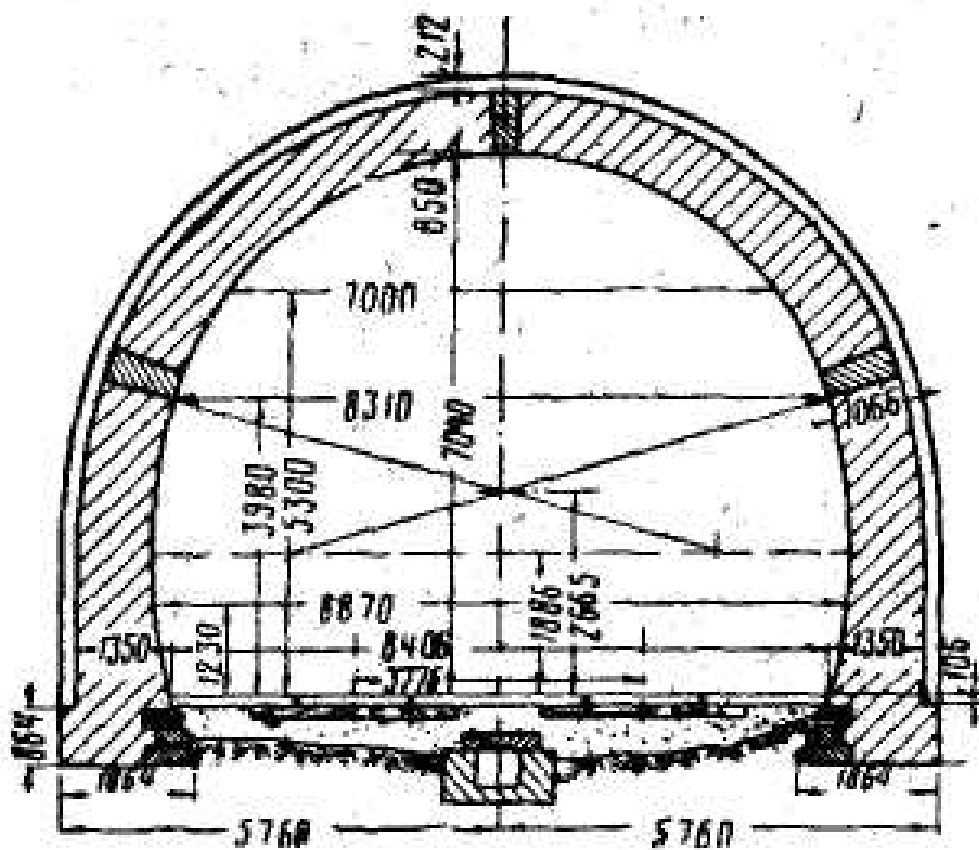


Рисунок 10.8 – Обробка типу III для вивітрюваних твердих порід

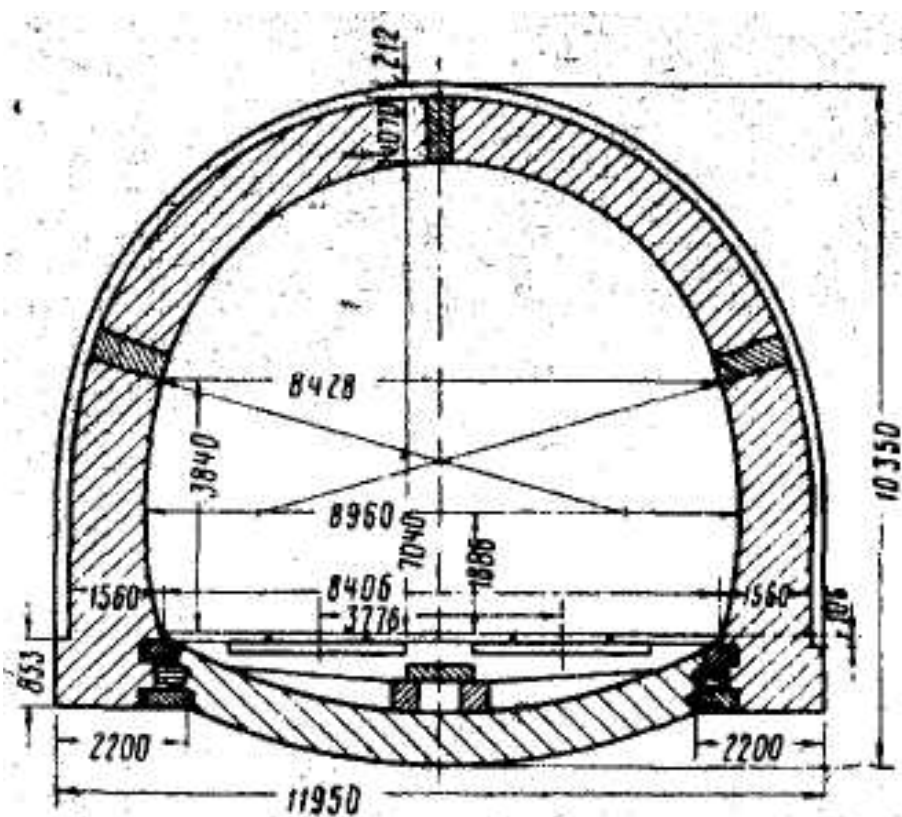


Рисунок 10.9 – Обробка типу VI-біс для слабких порід зі значним боковим тиском



#### 10.4 Ніші. Камери. Портали

Для укриття людей, що перебувають в тунелі під час проходження поїзда, в обробці влаштовують спеціальні заглиблення – ніші (рис. 10.10). Заглибини більшого розміру, що називаються камерами (рис. 10.11), призначені для зберігання робочого інвентарю, матеріалів та інструментів.

Ніші розташовують в обох стінах тунелю в шаховому порядку через 60 м на кожному боці (рис. 10.12), а камери - відповідно через 300 м. При довжина тунелю становить 300–400 м, у ньому влаштовують одну камеру посередині тунелю.

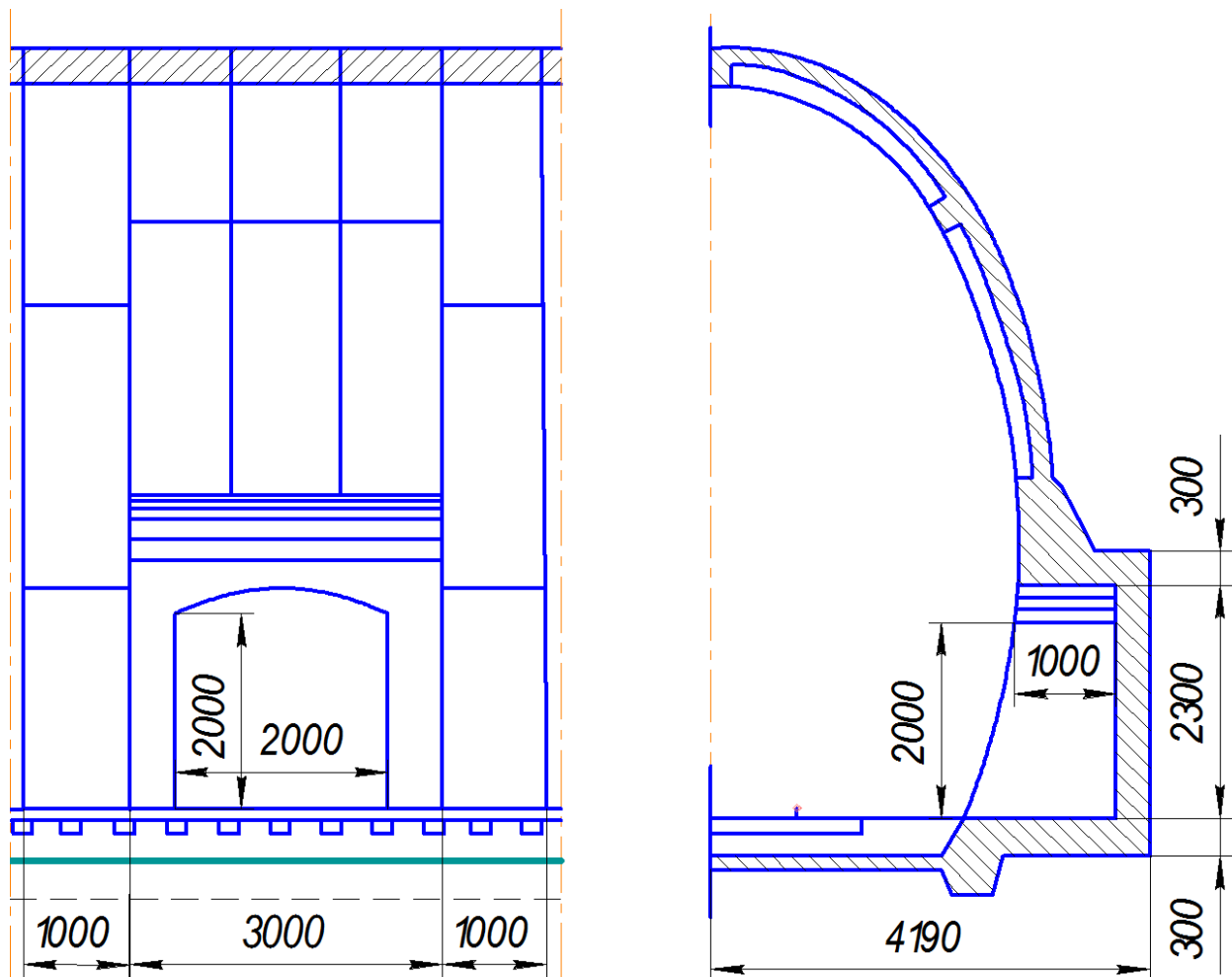


Рисунок 10.10 – Ніша

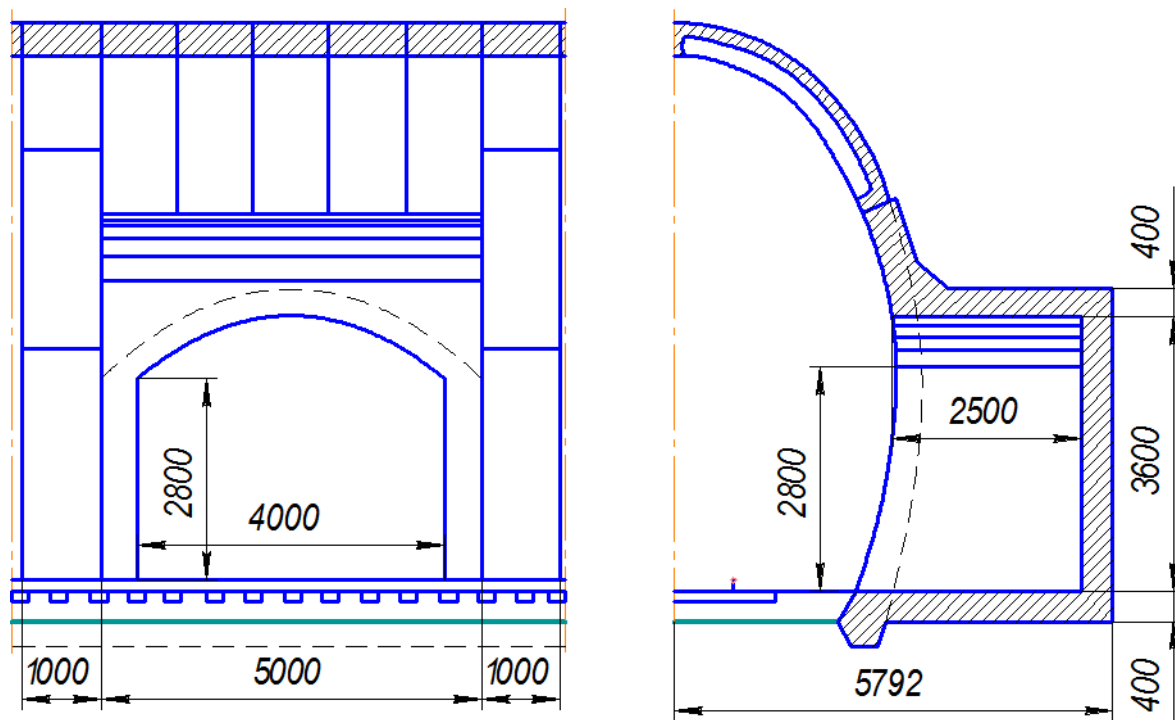


Рисунок 10.11 – Камера

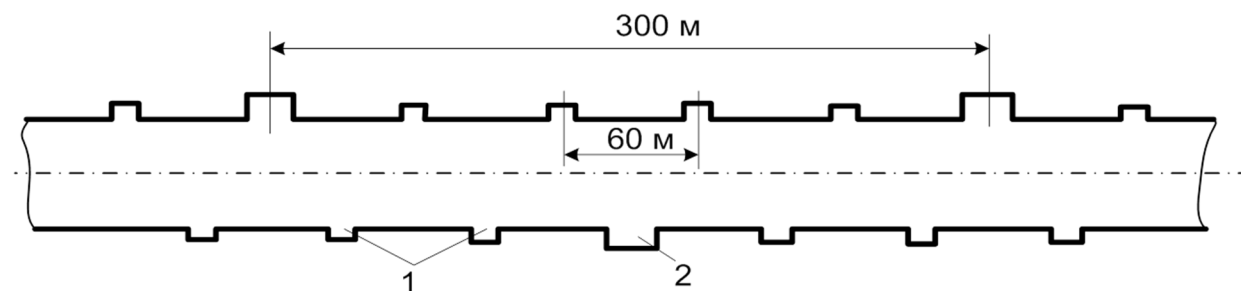


Рисунок 10.12 – Схема розташування ніш і камер:  
1 – ніші; 2 – камери

Портал споруджують для з'єднання конструкції тунелю з підхідного виїмкою. Він забезпечує стійкість чолового й бічних укосин, а також відведення від тунелю води, що стікає з чолового укосини.

Портал – єдиний елемент тунелю, відкритий для огляду, тому ця частина споруди має було належне архітектурно оформлена.

### 10.5 Збірні конструкції тунельних обробок

Для збірних обробок використовують такі матеріали, як чавун, сталь і залізобетон.

Металеві обробки відрізняються точністю виготовлення, водонепроникність і простотою збірки. При будівництві тунелів метрополітенів чавунні обробки до недавнього часу мали саме широке поширення. Сталь застосовується в конструкціях збірних обробок надзвичайно рідко і в поєднанні з монолітним бетоном, що захищає її від корозії, до якої вона схильна більшою мірою, ніж чавун.

Протягом останніх часів у тунелях, що споруджуються щитовим способом, здебільшого використовуються залізобетонні збірні обробки. Вони значно дешевші чавунних і не поступаються їм за більшістю показників, крім водонепроникності.

Збірна обробка з чавунних тюбінгів (рис. 10.13) має форму кільця. Її складають з окремих елементів – тюбінгів, з'єднаних болтами. Більшу частину обробки становлять однакові тюбінги (нормальні). У кільці нормальні тюбінги прилягають один до одного площинами бортів у радіальному напрямі. Такі тюбінги проектується якомога більшими за розміром. Умови, що обмежують їхні розміри, полягають у зручності збирання кільця й транспортуванні тюбінгів через стовбур шахти і у вузьких підземних виробітках.

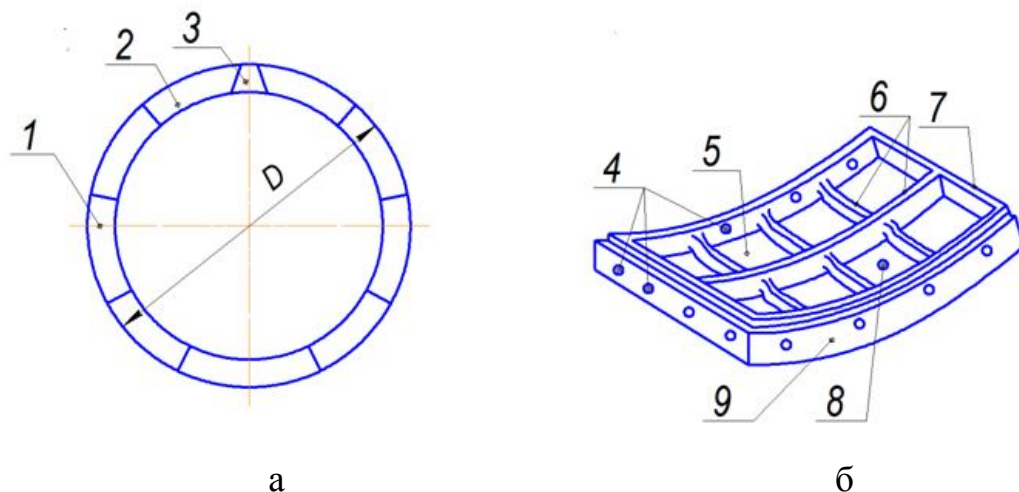


Рисунок 10.13 – Конструкція обробки чавунних тюбінгів:  
а – схема кільця; б – нормальний тюбінг; 1 – нормальні тюбінги;  
2 – суміжний тюбінг; 3 – замковий тюбінг; 4 – отвори для болтів;  
5 – спинка тюбінга; 6 – діафрагми; 7 – радіальний борт; 8 – отвір для  
нагнітання розчину; 9 – кільцевий борт

Гідроізоляція обробок, пристрої водовідводів у тунелях.

Призначенням гідроізоляції є недопущення підтікання підземних вод у внутрішній простір тунелю. Гідроізоляція, насамперед забезпечується водонепроникністю матеріалу конструкції. Додатковим засобом, що збільшує водонепроникність конструкції і навколишнього масиву, є оброблення його спочатку цементно-піщаним, а потім цементним розчином. Розчин заповнює тріщини й порожнини в обробці і масиві породи, перешкоджає потраплянню підземних вод.

Ефективним засобом, що дає змогу забезпечити повну водонепроникність обробки, є включення в її конструкцію замкнутих водонепроникних мембран. Може бути водонепроникним завдяки відповідному підбираючи відповідний склад бетону і якісного ущільнюючи можна забезпечити високий рівень водонепроникності облаштування з монолітного бетону під час його укладання. Протікання зазвичай спостерігається в місцях неякісно укладених робочих швів, залишених під час бетонування. Їх ліквідовують шляхом нагнітання за обробку цементно-піщаного розчину через трубки, закладені в бетон під час його укладання. Воду з тунелю видаляють за межі порталів за допомогою водовідливних лотків (рис. 10.14, а), повздовжній нахил яких зазвичай співпадає з нахилом шляху в тунелі і повинен становити не менше 0,003; поперечний нахил бетонного вирівнювального шару в бік лотка – не менше 0,02. Внутрішні розміри лотка призначають згідно з гідравлічним розрахунком на максимально можливий приплив води, але не менше 30–30 см.

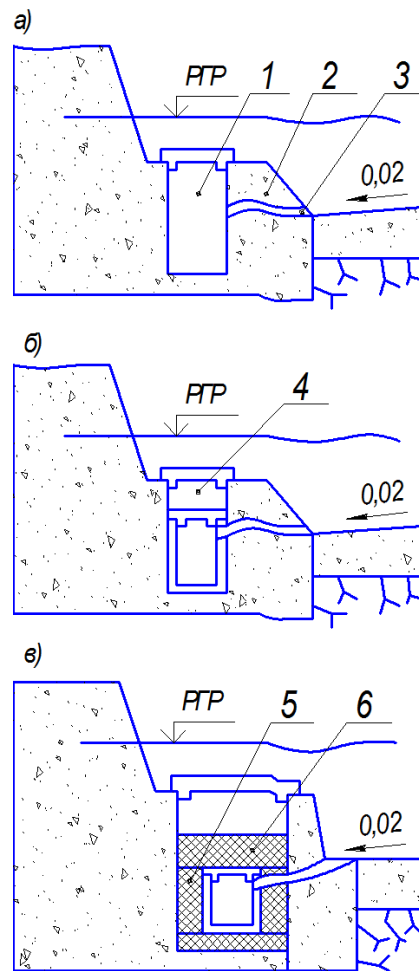


Рисунок 10.14 – Лотки водовідводів:

а – без утеплення;

б – з утепленою засипкою;

в – з утепленням із блоків теплоізоляції;

1 – лоток; 2 – блок із легкого бетону;

3 – трубка водовідводу; 4 – утеплююча засипка;

5 – блок теплоізоляції; 6 – блок теплоізоляції перекриття

У більш складних випадках обводнення окрім нагнітання, за обробкою влаштовують дренажні штольні, розміщені паралельно до тунелю на відстані 4–9 м у проміжку від нього. Закладають також поперечні дренажі-прорізи, насухо заповнені каменем. Їх розташовують під баластним коритом або по боках тунельної обробки. Воду з них відводять у повздовжні штольні, а коли їх немає – у тунельний лоток. Останнім часом упроваджується дешевше порівняно із будівництвом штолень буріння дренажних свердловин до 25–30 м завдовжки, завіс розташовуються у вигляді намету або вертикальними по боках тунелю

(рис. 10.15). Свердловини бурять або з наявної штольні, або зі спеціально використовуваних для цього в перпендикулярних до тунелю виробок, що використовуються потім для пропускання води із свердловин у лоток тунелю.

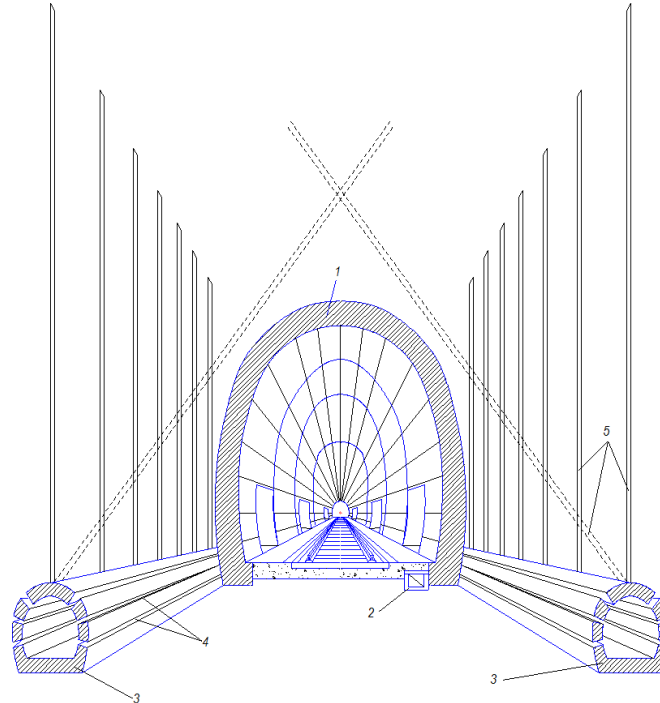


Рисунок 10.15 – Осушення тунелю за допомогою дренажних штولень і свердловин:

1 – тунельна обробка; 2 – лоток; 3 – штольня;  
4 – дренажні отвори; 5 – свердловини в породі

### Питання для самоконтролю

1. Призначення гідроізоляції.
2. Опишіть збірні конструкції тунельних обробок.
3. Подайте визначення поняття «ніші», «камери» та «портали».
4. Опишіть конструкції оброблення тунелів із монолітного бетону.
5. Призначення тунелів та їхня класифікація.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 Содержание, реконструкция, усиление и ремонт мостов и труб : [Учеб. для вузов ж.-д. трансп. / В. О. Осипов, Ю. Г. Козьмин, А. А. Кирста и др.]. – М. : Транспорт, 1996. – 471 с. : ил.; – (Высшее образование).
- 2 Содержание и реконструкция железнодорожных мостов : учебник / В. О. Осипов, Ю. Г. Козьмин, А. А. Кирста и др. – М. : Транспорт, 1986. – 327 с. : ил.
- 3 Мосты и тоннели на железных дорогах / Под ред. В. О. Осипова. — М.: Транспорт, 1988. — 368 с.
- 4 Колоколов Н. М. Искусственные сооружения. – М.: Транспорт, 1988. – 440 с.
- 5 Тоннели и метрополитены : учебник для вузов / В. Г. Храпов, Е. А. Демешко, С. Н. Наумов и др. – М.: Транспорт, 1989. – 383 с.
- 6 Брик А. Л. Эксплуатация искусственных сооружений на железных дорогах [Текст] / А. Л. Брик, В. Г. Давыдов, В. Н. Савельев. – М.: Транспорт, 1990. – 232 с.
- 7 Содержание и реконструкция тоннелей : Учебник для вузов / под ред. Ю. А. Лиманова. – М. : Транспорт, 1976. – 192 с.
- 8 Дорошенко О. П. Проектування на ПЕОМ оптимальної схеми залізничного моста з типових конструкцій. ч.2 – 68 с. (№ 3689)
- 9 Інструкція по утриманню штучних споруд. ЦП/0054 – Київ : Транспорт України, 1999. – 96 с.
- 10 Положение по оценке состояния и содержания искусственных сооружений на железных дорогах. Гуп МПС. – М.: Транспорт, 1991. – 28 с.
- 11 Правила и технология сплошной замены мостовых брусьев. – М.: Транспорт, 1985. – 55 с.
- 12 Руководство по определению грузоподъемности железобетонных пролетных строений железнодорожных мостов. – М.: Транспорт, 1989. – 126 с.

13 Правила визначення вантажопідйомності балкових залізобетонних прогінних будов залізничних мостів. ЦП/0085 – Київ : Транспорт України, 2002.

14 Інструкція щодо улаштування та конструкції мостового полотна на залізничних мостах. ЦП/0092 – Київ : Транспорт України, 2002 – 155 с.

15 Справочник мостового и тунельного мастера / В. А. Аретинский, И. И. Меринов. – М.: Трансжиздат, 1963. – 520 с.

16 Каменев С. Н. Транспортные сооружения : учеб. пособие / С. Н. Каменев. – Волгоград : Изд. дом "ИН-ФОЛИО", 2010. – 368 с.: ил.:

17 Гибшман М. Е. Проектирование транспортных сооружений : учебник / М. Е. Гибшман . — М. : Транспорт, 1980 . — 391 с.

18 Маковский В. Л. Городские подземные транспортные сооружения : учеб. пособие / В. Л. Маковский . — 2-е изд., перераб. и доп. . — М. : Стройиздат, 1985 . — 439 с.: ил.

19 Лобашов О. О. Конспект лекцій з курсу "Транспортне планування міст" для студ. 5 курсу ден. і заоч. форм навч. спец. "ТС (за вид. трансп.)" / О. О. Лобашов; ХНАМГ. – Харків : ХНАМГ, 2011. – 31 с.

20 Білятинський О. А. Проектування капітального ремонту і реконструкції доріг : Підручник / О. А. Білятинський, В. П. Старовойда . — Київ : Вища освіта, 2003 . — 343 с.

22 Сардаров А. С. Архитектура автомобильных дорог / А. С. Сардаров. — М. : Транспорт, 1986 . — 200 с.

23 Безлюбченко О. С. Планування міст і транспорт : навч. посібник / О. С. Безлюбченко, С. М. Гордієнко, О. В. Завальний. – Харків : ХНАМГ, 2008. – 156 с.



*Навчальне видання*

ВЯТКІН Костянтин Ігорович

## **ПРОЕКТУВАННЯ ТА РЕКОНСТРУКЦІЯ ДОРОЖНЬО- ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД**

### **КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

*(для студентів денної та заочної форм навчання  
спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія )*

Відповідальний за випуск *К. І. Вяткін*

*За авторською редакцією*

Комп'ютерне верстання *К. І. Вяткін*

План 2018, поз. 39Л

---

Підп. до друку 29.01.2018. Формат 60 × 84/16.

Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 2,8.

Тираж 50 пр. Зам. № .

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.  
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.