

В.А. Лютий, А.В. Никитинський, О.А. Дудін

**УЛАШТУВАННЯ, ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА
РЕКОНСТРУКЦІЯ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД
ЗАЛІЗНИЦЬ**

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Частина 1

УЛАШТУВАННЯ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД ЗАЛІЗНИЦЬ

Харків 2010



МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ ТА ЗВ'ЯЗКУ
УКРАЇНИ

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

В.А. Лютий, А.В. Никитинський, О.А. Дудін

**УЛАШТУВАННЯ, ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА
РЕКОНСТРУКЦІЯ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД
ЗАЛІЗНИЦЬ**

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Частина 1

УЛАШТУВАННЯ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД ЗАЛІЗНИЦЬ

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник для студентів
вищих навчальних закладів*

Харків 2010

ISBN 978-966-2033-18-2
академія

©Українська державна
залізничного транспорту, 2010.

УДК 624.15(075.8)

Улаштування, експлуатація та реконструкція інженерних споруд залізниць: Навч. посібник / В.А. Лютий, А.В. Никитинський, О.А. Дудін. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Ч.1. – 253 с.

У навчальному посібнику розглядаються питання улаштування, експлуатації та реконструкції інженерних споруд залізниць України з урахуванням світового досвіду. В частині 1 розглянуті питання улаштування та конструкції інженерних споруд в цілому, а також окремих їх елементів, наведено необхідний матеріал для самостійного вивчення курсу. У посібнику містяться схеми конструкцій та споруд, найбільш поширених на залізницях України, та їх фотографічні зображення.

Посібник призначено для студентів, які навчаються за спеціальністю 7.100502 „Залізничні споруди та колійне господарство”, а також за спеціалізацією експлуатаційної спрямованості цієї спеціальності.

Іл. 168, табл. 2, бібліогр.: 17 назв.

Колектив авторів

канд. техн. наук В.А. Лютий – розділи 2, 3, 4, 5.2, 9
канд. техн. наук А.В. Никитинський – розділи 1, 6, 8, 10
асист. О.А. Дудін – розділи 5, 7, крім пункту 5.2

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів
(1.4/18-Г-24 від 9.01.09)*

Рецензенти:
професори В.П. Кожушко (ХНАДУ),
Г.Ш. Салія (ХДТУБА),
Г.А. Молодченко (ХНАМГ)

В.А. Лютий, А.В. Никитинський, О.А. Дудін

УЛАШТУВАННЯ, ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕКОНСТРУКЦІЯ
ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД ЗАЛІЗНИЦЬ

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Частина 1

УЛАШТУВАННЯ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД ЗАЛІЗНИЦЬ

Відповідальний за випуск Беляєв В.О.

Редактор Буранова Н.В.

Підписано до друку 29.01.10 р.
Формат паперу 60x84 1/16 . Папір писальний.
Умовн.-друк.арк. 13,0. Обл.-вид.арк. 13,25.

Замовлення № Тираж 300. Ціна

Видавництво УкрДАЗТу, свідоцтво ДК № 2874 від. 12.06.2007 р.

Друкарня УкрДАЗТу,
61050, Харків - 50, майдан Фейербаха, 7

Міністерство транспорту та зв'язку України
Українська державна академія залізничного транспорту

В.А. Лютий, А.В. Никитинський, О.А. Дудін

**УЛАШТУВАННЯ, ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕКОНСТРУКЦІЯ
ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД ЗАЛІЗНИЦЬ**

Навчальний посібник

Частина 1

УЛАШТУВАННЯ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД ЗАЛІЗНИЦЬ

Харків 2008

УДК 624.15(075.8)

Улаштування, експлуатація та реконструкція інженерних споруд залізниць: Навч. посібник / В.А. Лютий, А.В. Никитинський, О.А. Дудін. – Харків: УкрДАЗТ, 2008. – Ч.1. – 212 с.

ISBN

У навчальному посібнику розглядаються питання улаштування, експлуатації та реконструкції інженерних споруд залізниць України з урахуванням світового досвіду. В частині 1 розглянуті питання улаштування та конструкції інженерних споруд в цілому, а також окремих їх елементів, наведено необхідний матеріал для самостійного вивчення курсу. У посібнику містяться схеми конструкцій та споруд, найбільш поширених на залізницях України, та їх фотографічні зображення.

Посібник призначено для студентів, які навчаються за спеціальністю 7.100502 „Залізничні споруди та колійне господарство”, а також за спеціалізацією експлуатаційної спрямованості цієї спеціальності.

Іл.168, табл. 2, бібліогр.: 17 назв.

Посібник написали:

к.т.н. В.А.Лютий – розділи 2, 3, 4, 5.2, 9

к.т.н. А.В.Никитинський - розділи 1, 6, 8,10

ас. О.А.Дудін - розділи 5, 7, крім пункту 5.2

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів*

Рецензенти:

професори В.П. Кожушко (ХНАДУ),

Г.Ш. Салія (ХДТУБА),

Г.А. Молодченко (ХНАМГ)

©Українська державна академія
залізничного транспорту, 2008

© В.А. Лютий, А.В. Никитинський,
О.А. Дудін, 2008

ЗМІСТ

Вступ	5
1. Загальні відомості про інженерні споруди	6
1.1. Основні види інженерних споруд	6
1.2. Кількість інженерних споруд на залізницях України	17
2. Загальні відомості про мости	19
2.1. Основні елементи мостів	19
2.2. Схеми мостів	22
3. Залізобетонні мости	29
3.1. Область застосування залізобетонних мостів	29
3.2. Види балкових мостів і конструктивні форми прогонових будов	30
3.3. Конструктивні вимоги до прогонових будов	35
3.4. Плитні прогонові будови	38
3.5. Ребристі прогонові будови	40
3.6. Консольні і нерозрізні прогонові будови. Наскрізнi ферми	47
3.7. Рамні залізобетонні мости	51
3.7.1. Схеми рамних залізобетонних мостів	51
3.7.2. Конструкція рамних залізобетонних мостів	56
3.8. Аркові і комбіновані залізобетонні мости	59
3.8.1. Загальні відомості	59
3.8.2. Комбіновані системи залізобетонних мостів	61
3.8.3. Конструкції аркових і комбінованих залізничних мостів	65
3.9. Гідроізоляція і водовідведення	67
4. Конструкції балкових розрізних і нерозрізних металевих прогонових будов	72
4.1. Область застосування металевих мостів	72
4.2. Способи з'єднання металевих елементів	75
4.3. Матеріал металевих мостів	78
4.4. Основні види металевих прогонових будов	82
4.5. Конструкції прогонових будов із суцільною стінкою ..	74
4.6. Коробчасті прогонові будови	94
4.7. Прогонові будови з їздою низом	97
4.8. Прогонові будови з наскрізними фермами	99
4.9. Балково-нерозрізні і консольні, аркові, рамні і	

комбіновані прогонові будови	116
5. Конструкції опор залізничних мостів	135
5.1. Загальні відомості	135
5.2. Проміжні опори (бики)	136
5.3. Кінцеві опори (стояни)	143
6 Конструкції опорних частин залізничних мостів.	
Експлуатаційні облаштування на мостах	148
6.1. Призначення опорних частин і їх розміщення	148
6.2. Види опорних частин	149
6.3. Експлуатаційні облаштування на залізничних мостах	156
6.3.1. Оглядові пристрої	156
6.3.2. Майданчики – сховища	158
7. Конструкції верхньої будови колії на мостах і підходах до них	160
7.1. Верхня будова колії з їздою на баласті	160
7.2. Безбаластне мостове полотно	165
8. Конструкції труб і лотків у насипі на дорогах України	181
8.1. Загальні відомості	181
8.2. Конструкції труб	185
8.3. Конструкція кам'яних і бетонних труб	194
8.4. Збірні залізобетонні і бетонні труби	198
8.5. Металеві труби	202
8.6. Фундаменти і ізоляція труб	206
9. Конструкції підпірних стін на дорогах України	214
9.1. Застосування підпірних стін	214
9.2. Конструкція підпірних стін	216
10 Конструкції залізничних тунелів і тунелів метрополітенів	222
10.1. Призначення тунелів і їх класифікація	222
10.2. Огляд розвитку тунелебудування	225
10.3. Внутрішній контур обробок	227
10.4. Конструкції обробок з монолітного бетону	229
10.5. Ніші, камери і портали	232
10.6. Збірні конструкції тунельних обробок	237
10.7. Гідроізоляція обробок, пристрої водовідведення у тунелях	242
Бібліографічний список	250
Предметний покажчик	252

ВСТУП

Інженерні споруди – мости, тунелі і водопропускні труби – складні, дорогі споруди, термін служби їх досягає ста і більше років. У процесі експлуатації в них виникають різні пошкодження; у міру зростання навантажень окремі елементи споруд стають не здатними сприймати збільшені навантаження; іноді зміна умов експлуатації залізниць або судноплавства призводить до необхідності збільшення габаритів мостів. Тому інженерні споруди, що експлуатуються, потребують періодичних ремонтів, підсилення і реконструкції.

У зв'язку з наявністю в експлуатації великої кількості так званих старих мостів в основному із металевими прогоновими будовами, виготовленими наприкінці позаминулого і на початку минулого століття, проблема їх надійності, ремонту, підсилення, реконструкції стає однією з головних.

Мости повинні мати високу експлуатаційну надійність. Оцінка надійності і вантажопідйомності мостів у комплексі робіт з їх утримання має особливе значення. З цією метою мають використовуватися найсучасніші методи розрахунку, випробувань і експериментальних досліджень.

Утримання інженерних споруд здійснюють мостові, дорожні і тунельні майстри за допомогою обхідників і бригад робітників.

У віданні дорожніх майстрів знаходиться колія на всіх інженерних спорудах і поза ними в межах всієї обслуговуваної ділянки (близько 9 – 12 км). Окрім колії, вони утримують малі мости, труби і лотки та виконують окремі види робіт, пов'язані з експлуатацією інших інженерних споруд.

Таким чином, область відання дорожнього майстра не обмежується лишеверхньою будовою колії і земляним полотном, а включає і інженерні споруди. До того ж положення і стан колії безпосередньо пов'язані зі станом інженерних

споруд, на яких вона укладена або якими захищається від пошкоджень.

Дисципліни «Улаштування і експлуатація інженерних споруд залізниць» і «Улаштування, експлуатація і реконструкція інженерних споруд залізниць» вивчаються на завершальному етапі підготовки інженерів за фахом «Залізничні споруди та колійне господарство» і базуються на знаннях, отриманих при вивченні таких дисциплін, як «Опір матеріалів», «Будівельна механіка», «Будівельні конструкції».

У першій частині навчального посібника розглянуті питання улаштування найбільш поширених видів інженерних споруд.

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ІНЖЕНЕРНІ СПОРУДИ

У перетині з річкою залізницю прокладають по мосту, а іноді у дна річки, в тунелі. Крім мостів і тунелів, при прокладенні залізниць в інших випадках будують труби, лотки, підпірні стіни. Залежно від конкретного призначення і місцевих умов мости, труби, тунелі, підпірні стіни мають багато різновидів. Наприклад: віадуки, естакади, шляхопроводи, акведуки, дюкери, підводні і гірські тунелі, галереї, селеспуски. Всі перелічені та інші подібні до них споруди для прокладення дороги, на відміну від споруд іншого призначення, зокрема цивільних і промислових будівель, умовно називають скорочено загальним терміном «інженерні споруди». Вони складають частину колійного господарства залізниць.

1.1. Основні види інженерних споруд

Міст – інженерна споруда, призначена для пропускання транспортної магістралі над перешкодою. Мостовий перехід включає міст і комплекс пов'язаних з ним споруд – насип

підходу, регуляційні споруди, що скеровують водний потік, і берегозахисні споруди (рис. 1 - 3).



Рис. 1. Міст через річку з їздою зверху



Рис. 2. Міст через велику річку з їздою низом



Рис. 3. Міст через велику річку з розвідною прогоновою будовою

Мостовий перехід складається з берегових опор, проміжних опор і прогонових будов, що перекривають простір між опорами і передають вагу від навантажень через опори на ґрунти основи. По прогонових будовах укладено мостове полотно, по якому здійснюється рух транспортних засобів.

Оскільки він являє собою споруду, по якій прокладаються колії, міст також є водопропускною спорудою. Тому він повинен забезпечувати безперебійний рух поїздів або автотранспорту і мати достатній отвір для вільного і безпечного пропускання води і водного транспорту. Залежно від ширини річки, рельєфу місцевості і інших умов міст може мати довжину в декілька кілометрів, а повну висоту (від підшви фундаменту до верху конструкції) – 100 м і більше.

За характером подоланої перешкоди розрізняють **міст** (через водотік), при перетині дорогою глибоких ярів (ущелин) будують **віадуки** (рис. 4), **шляхопровід** – через дорогу (рис. 5), **естакаду** – через міську або заводську територію (рис. 6). Для переходу через колії на великих станціях і приміських платформах влаштовують пішохідні мости (рис. 7).

Віадук – мостова споруда, що з'єднує місця з однаковим рівнем на ландшафті, що має різкі поглиблення на своїй поверхні (наприклад, яри або ущелини).



Рис. 4. Віадук



Рис. 5. Залізничний шляхопровід



Рис. 6. Естакада



Рис. 7. Пішохідний міст

Шляхопровід – один з видів мостових споруд, що пропускає дорогу над іншою.

Естакада (фр. *estacade*) – протяжна інженерна споруда, що складається з ряду однотипних опор і прогонів, призначена для розміщення дороги вище за рівень землі з метою обходу зайнятих земель (найчастіше в містах) або транспортних потоків.

В деяких випадках, головним чином під час переходу великих річок, залізницю і автомобільну дорогу прокладають на одному поєднаному мосту.

За числом залізничних колій мости поділяються на одноколійні, двоколійні, багатоколійні.

На невеликих водотоках і суходолах влаштовують малі мости (рис. 8) або труби (рис. 9).



Рис. 8. Малий міст



Рис. 9. Труба в насипі

Труба – споруда для пропускання малих витрат води (до $100 \text{ м}^3/\text{с}$), що знаходиться в тілі насипу. Разом з тим труба повинна бути достатньо міцною, щоб витримати тиск ґрунту насипу з додатковою дією поїздів. Для формування водного потоку труби на кінцях мають вхідний і вихідний оголовки.

Труби бувають бетонні, залізобетонні і металеві. За формою перерізу вони поділяються на прямокутні, овоїдальні, круглі. Для збільшення витрати води, що пропускається, влаштовують декілька отворів (багатоочкові труби). Дерев'яні труби трикутного, прямокутного, трапецеїдального перерізів застосовуються тільки на тимчасових дорогах при будівництві нової дороги.

Лоток – інженерна споруда для пропускання води між шпалами, коли висота насипу не перевищує 2,0 м (рис. 10), влаштовується звичайно на станціях при малій витраті води.

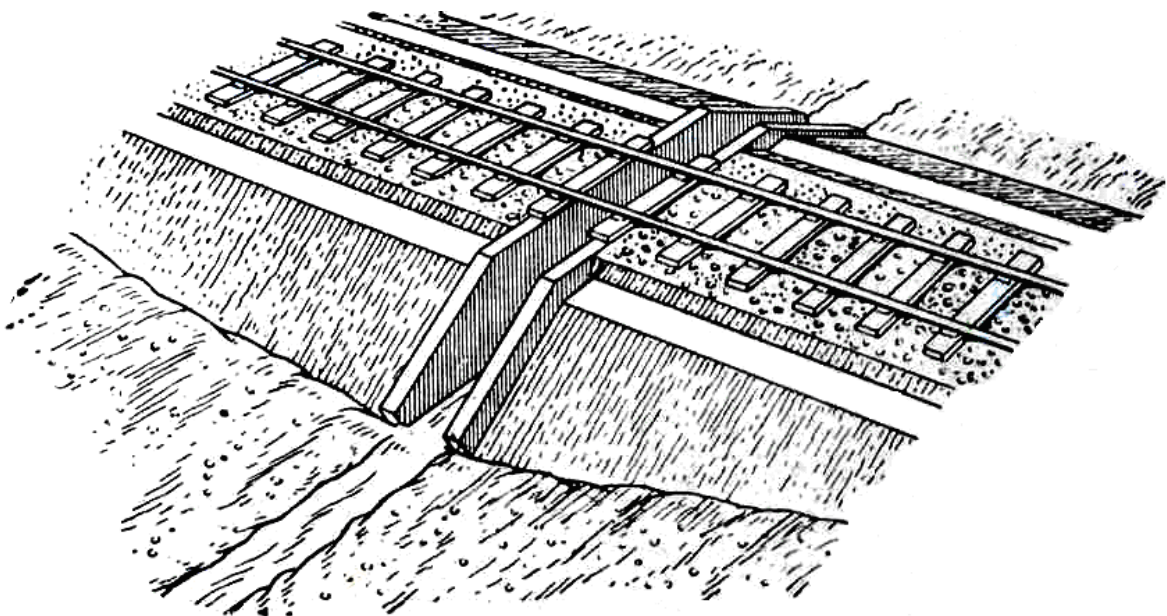


Рис. 10. Лоток в насипі

Іноді водопропускною спорудою служить сам насип, який з цією метою спеціально відсипають з каменю. Такі фільтруючі насипи влаштовують за відсутності яскраво вираженої балки і коли вода без скупчення може

просочуватися через насип у більш знижену частину місцевості. Просочування води через ґрунт звичайних насипів утруднено і недопустимо через винос ґрунту і руйнування насипу.

Дюкери – є двома колодязями, розташованими з обох боків виїмки, з'єднаних між собою трубою. Дюкери служать для пропускання води (зрошувальних каналів) з одного боку виїмки на іншу під полотном дороги (рис. 11).

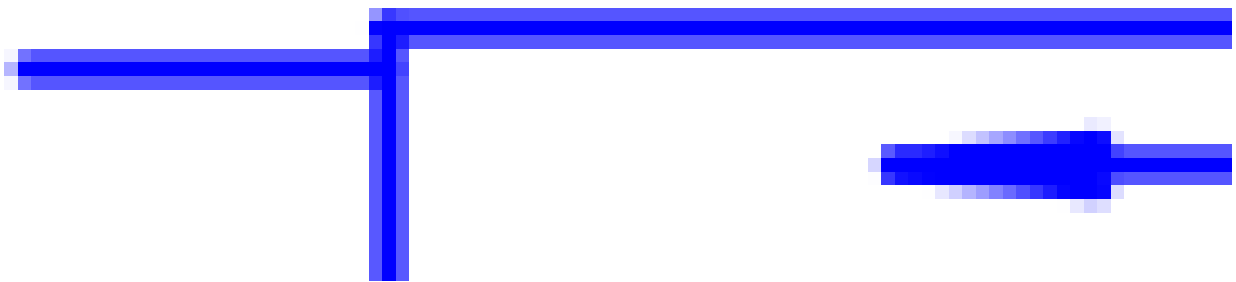


Рис. 11. Дюкер

Прокладання дороги по земній поверхні найбільш поширено, однак не завжди застосовно. У сильно пересіченій гірській місцевості цей спосіб вимагав би улаштування дуже високих насипів, віадуків або глибоких виїмок. Економічніше в цьому випадку прокладення дороги усередині гори, для чого влаштовують тунелі (рис. 12).

Тунелі – це інженерні споруди, що прокладають транспортну магістраль під перешкодою або крізь неї. Окрім гірських тунелів, іноді споруджують підводні тунелі, розміщуючи дорогу не на мосту над річкою, а в тунелі у дна річки (у ґрунті або навіть у воді), у великих містах, щоб не утрудняти вуличного руху, прокладають тунелі метрополітену під земною поверхнею.

Тунелі, розташовані не в міцних скельних породах, укріплюють зсередини міцною конструкцією – обробкою. Вона утримує ґрунт від обвалення всередину виробки. Це ж завдання виконує інший вид гірських споруд – галерея (рис. 13), що нагадує напіввідкритий від ґрунту тунель.



Рис. 12. Залізничний одноколіїний тунель



Рис. 13. Галерея

Галереї захищають дорогу на узгір'ях у місцях, що загрожують обвалами гірських порід, що руйнуються. Аналогічно цьому, грязекам'яні потоки з гір, які називаються селями, пропускають над дорогою в гірській місцевості за допомогою споруд, названих селеспусками (рис. 14).

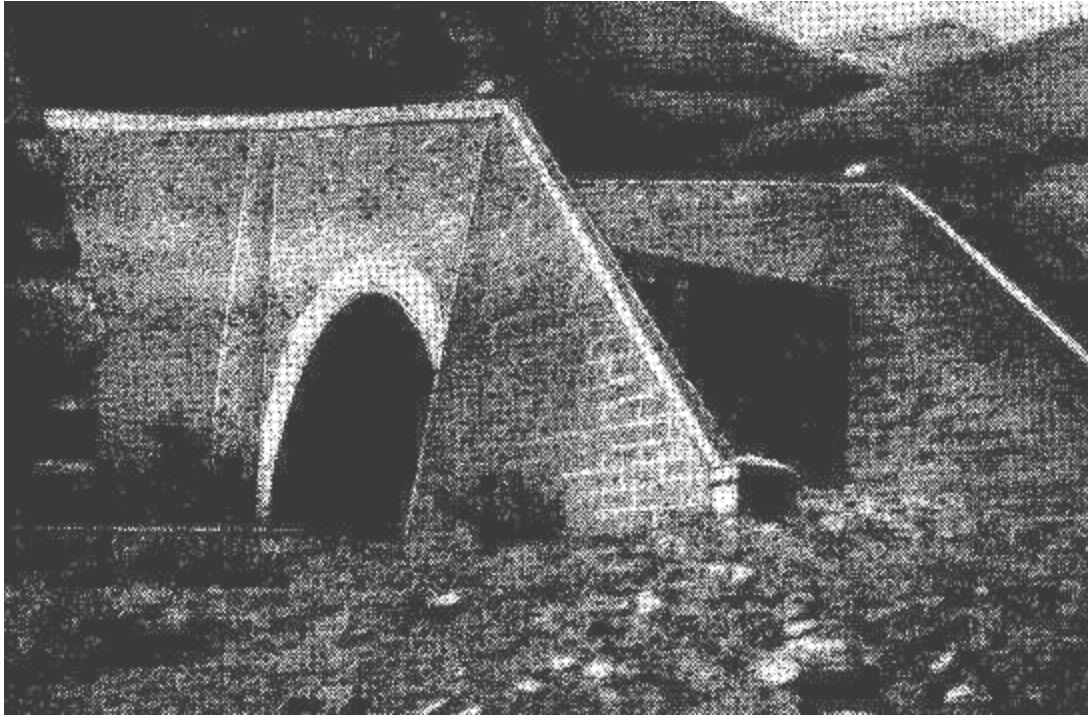


Рис. 14. Селеспуск

На крутих узгір'ях, а також берегах річок і морів нерідко влаштовують підпірні стіни (рис. 15). Вони утримують від обвалення ґрунт укосу, розташованого збоку вище за полотно дороги, або захищають від підмиву і обвалення основу дороги.

Як було показано на прикладі шляхопроводів, розрізняють інженерні споруди залізничні і автодорожні залежно від того, під яку дорогу вони призначені.

Інженерні споруди будують переважно капітальними на тривалий термін служби із застосуванням довговічних матеріалів. В окремих випадках для менш тривалої експлуатації застосовують тимчасові споруди.

Інженерні споруди трудомісткі в будівництві і відповідальні в експлуатації.



Рис. 15 – Підпірна стіна на узгір'ї

1.2. Кількість інженерних споруд на залізницях України

На залізницях України за даними служби колії станом на 1 січня 2008р. експлуатується 19662 інженерні споруди загальною довжиною 618,96 км. З них:

- **Мости** – 8177 шт. – 243,077 км.
- **Труби** – 11109 шт. – 277,554 км.
- **Підпірні стіни** – 301 шт. – 20,844 км.
- **Тунелі** – 45 залізничних – 17,387 км;
27 пішохідних – 1,707 км.

Загальна довжина інженерних споруд по залізницях показана на рис.16.

**Загальна розгорнута довжина штучних споруд на залізницях України
станом на 01.01.2008 р. становить 618,96 км**

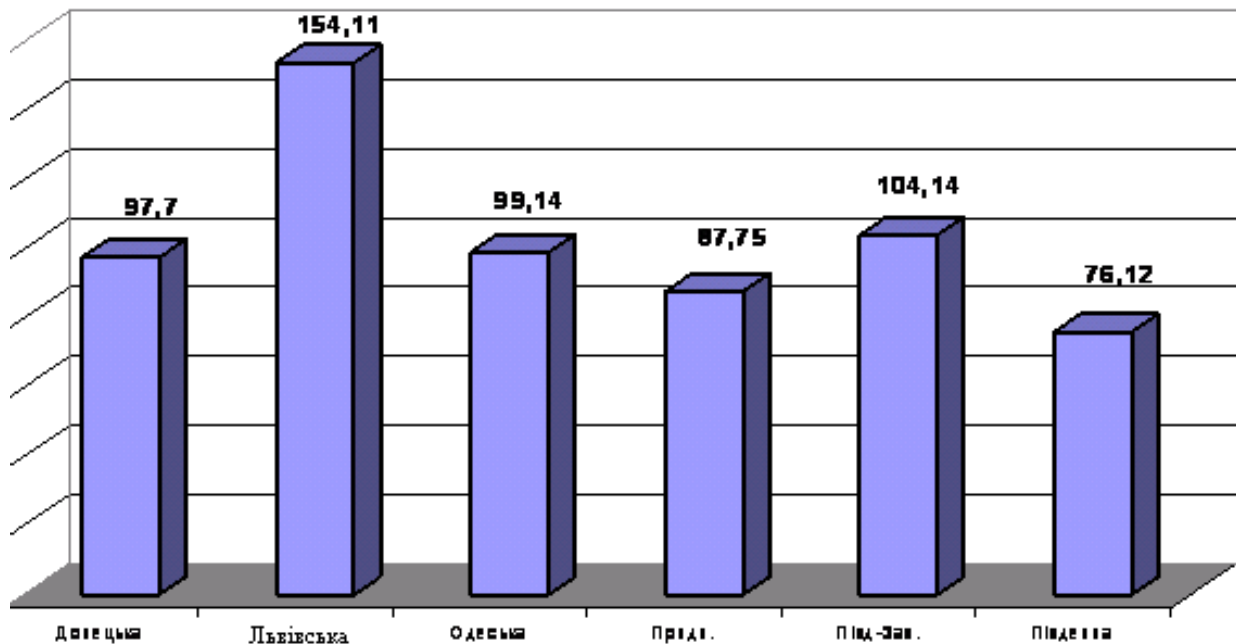


Рис. 16. Розподіл інженерних споруд по залізницях

Контрольні запитання для самоперевірки

1. Що таке міст?
2. Скільки колій може розташовуватися на мосту?
3. Що таке віадук?
4. Що таке шляхопровід?
5. Що таке естакада?
6. Вкажіть, яке основне призначення труби?
7. Які бувають труби за формою поперечного перерізу?
8. За яких умов влаштовується лоток у насипу?
9. За яких умов влаштовується дюкер?
10. Що таке тунель?
11. Для чого призначена галерея?
12. Для чого призначений селеспуск?
13. Для чого призначена підпірна стіна?
14. Яких інженерних споруд більше в Україні?

2. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО МОСТИ

Різноманітність типів і видів мостів вимагає детальнішої класифікації. Мости класифікуються за такими ознаками:

- **за призначенням:** залізничні, автодорожні, міські, пішохідні, поєднані (для залізничного і автомобільного транспорту) і спеціальні (для трубопроводів і інших комунікацій);

- **за статичною схемою і характером роботи під навантаженням:** балкові розрізні, консольні і нерозрізні; рамні; аркові; вантові; висячі; комбіновані;

- **за видом подоланої перешкоди:** власне міст (перетин з водотоком), шляхопровід (пропускання однієї транспортної магістралі над іншою), віадук (перетин ущелини, ярів, глибоких долин), естакади (замість насипу в містах, на болотах);

- **за розташуванням рівня проїзду відносно несучої конструкції прогонової будови:** з їздою зверху, низом і посередині;

- **за матеріалом:** дерев'яні, кам'яні, бетонні, залізобетонні, металеві, комбіновані (сталезалізобетонні та ін.).

До особливої групи належать: розвідні, в яких прогонова будова у судноплавному прогоні рухається для пропускання суден; звідні, що розкриваються; поворотні. Низький рівень проїзду по мосту дозволяє зменшити вартість опор і підхідних насипів, а в містах – вписатися в рівень прилеглих вулиць; наплавні мости, в яких прогонові будови обпираються на плавні засоби – плашкоути, складені із понтонів, застосовуються як тимчасові на літній сезон для пропускання транспортних засобів через річки і акваторії. На зимовий період наплавні мости розбираються.

2.1. Основні елементи мостів

Основні елементи моста – опори і прогонові будови. Опори розрізняють берегові, які звичайно називаються

стоянами, і проміжні – бики. Кожна опора сприймає навантаження від ваги прогонових будов і рухомого навантаження, що проходить по них. На стояни, крім того, діє тиск насипу підходів до моста.

Опори мають фундамент з надфундаментною частиною. Фундаменти будують або безпосередньо на ґрунті, або, якщо ґрунт ненадійний, на спеціальній штучній основі. Матеріалом для опор служить бетонна, залізобетонна і кам'яна кладки, а в окремих випадках для верхньої частини використовують металеві конструкції. Форма і розміри опор залежать від величини і характеру навантажень, що передаються від прогонових будов, власної ваги і тиску насипу, а також значною мірою визначаються умовами проходу під мостом водного потоку, льодоходу і місцевими інженерно-геологічними умовами.

Прогонові будови мають (див. рис. 16) головні несучі елементи суцільного перерізу, наскрізні ферми або комбіновані конструкції. На основних несучих елементах розташовується конструкція проїжджої частини моста автодорожнього (міського) або мостове полотно залізничного моста. Головні несучі елементи (балки і ферми) об'єднують зв'язками, що забезпечують стійкість і поперечну жорсткість прогонової будови.

Найважливішими основними розмірами моста і його елементів прийнято вважати (рис. 17):

повну довжину моста L – відстань між задніми гранями стоянів, які безпосередньо стикаються з насипом підходів;

отвір моста L_0 – сума прогонів у просвіті по середній лінії між рівнем меженних вод (РМВ) і рівнем високих вод (РВВ), що забезпечує пропускання високої води;

висоту моста H – величина, яка визначається від верху проїжджої частини або підшви рейок і до рівня меженних вод (РМВ);

будівельну висоту (h_6) – від верху проїжджої частини і до низу конструкції прогонової будови;

повну довжину прогонової будови I_n – відстань між торцями прогонової будови;

розрахунковий прогін l_p , рівний при балковій прогоновій будові відстані між центрами опорних частин, на які встановлюють балки (ферми);

розрахункову ширину прогонової будови – відстань між осями головних несучих конструкцій (ферм або балок);

висоту тіла опори ($h_{то}$) – від верхнього майданчика до уступу (верху) фундаменту.

Всі ці розміри моста і його елементів встановлюють у процесі проектування з урахуванням місцевих інженерно-гідрогеологічних, геологічних і експлуатаційних умов, виявлених у процесі вишукувань, а також на основі поставлених вимог до очікуваної інтенсивності руху не лише у момент проектування, але і в подальшій перспективі, відповідній терміну служби моста.

2.2. Схеми мостів

Конструкція прогонової будови в значній мірі залежить від вибраної статичної схеми споруди.

За статичною схемою і характером роботи під навантаженням прогонових будов і опор, як зазначалося вище, розрізняють **балкові, рамні, аркові, висячі, вантові і комбіновані** системи мостів.

Найбільш поширеними є балкові системи мостів (балкові мости). У них прогонові будови у вигляді суцільних балок або наскрізних решітчастих ферм, які вільно встановлені на опорні частини, через які передаються всі вертикальні навантаження на опори моста. Прогонові будови можуть бути простими – балково-розрізними (рис. 18, а), консольно-балковими (рис. 18, б) і балково-нерозрізними (рис. 18, в). У балково-розрізній системі вигин від власної ваги і рухомого навантаження однієї прогонової будови не відображається на суміжні із

ним. Такі системи застосовують переважно в малих і середніх залізобетонних і металевих мостах з прогонами до 42 м. У залізничних мостах металеві балково-розрізні решічасті конструкції прогонових будов поширені для прогонів від 33 до 158 м. Інші різновиди балкових систем, як консольно-балкові і балково-нерозрізні, відрізняються від балково-розрізних тим, що навантаження, розташоване на одній прогоновій будові, впливає і на сусідні. Ця обставина призводить до деякого полегшення перетинів балок або елементів ферм за рахунок спільної роботи конструкції декількох прогонів.

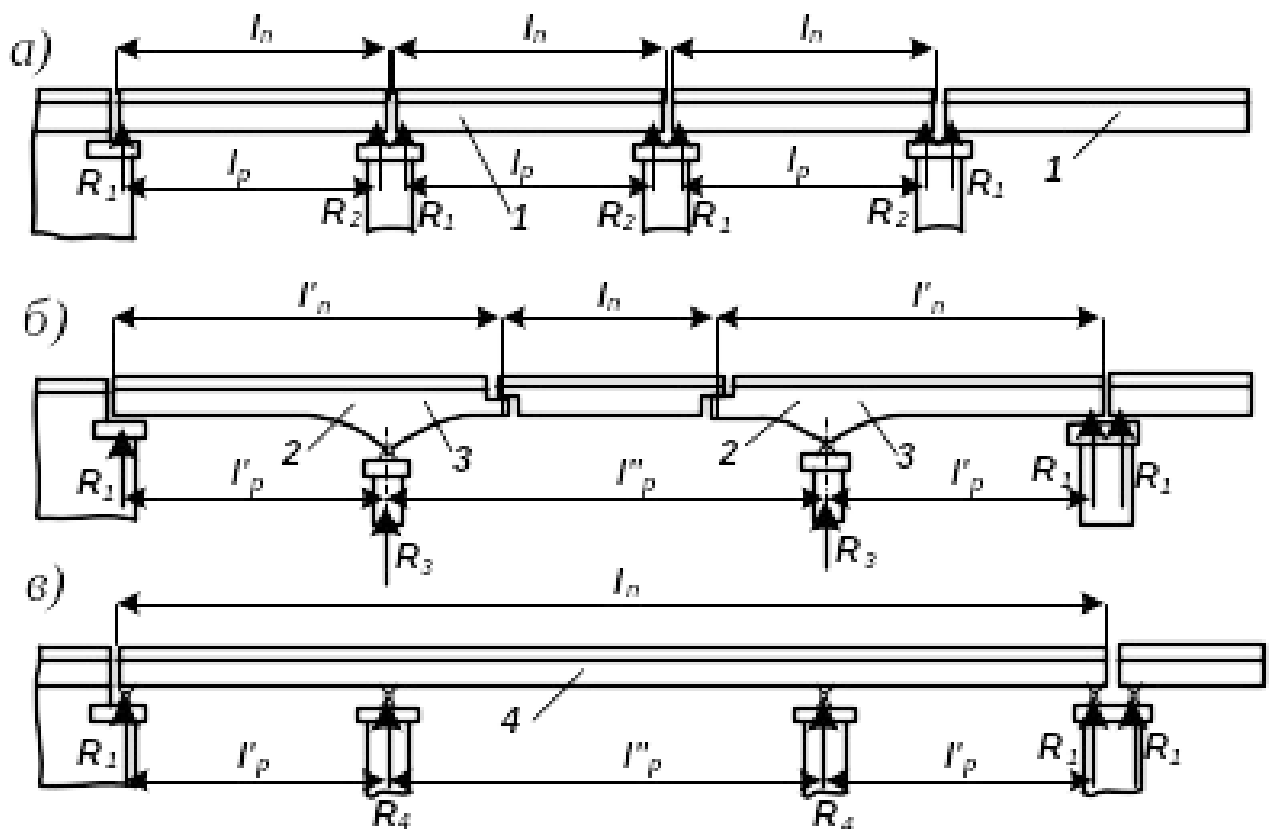


Рис. 18. Балкові прогонові будови:

1 - розрізна повною довжиною l_n ; 2 - 3 - консольно-балкова довжиною l'_n ; 3 - консоль; 4 - нерозрізна повною довжиною l_n ; l'_p l''_p - розрахункові прогони; $R_1 \div R_4$ - вертикальні опорні реакції

Рамний міст – це міст, статична схема якого є рамою.

У рамних мостах прогонові будови і опори (стояни) жорстко з'єднані між собою. Опори рамних мостів сприймають поздовжні стискальні зусилля та згинальні моменти, що зменшує зусилля в балках прогонової будови і дозволяє робити їх меншої висоти. Рамні мости будують переважно із залізобетону (монолітного і збірного), рідше – із сталі.

У мостобудуванні відомий ряд конструктивних рішень рамних систем, а саме: Т-подібні рами з обпиранням на їх консолі (рис. 19, а) підвісних балкових конструкцій (рамно-підвісні системи); рами із з'єднанням суміжних консолей (рис. 19, б) шарнірами, розташованими у прогоні (рамно-консольні системи); нерозрізні рамні системи (рис. 19, в). Усі ці системи застосовують переважно при будівництві шляхопроводів і великих мостів.

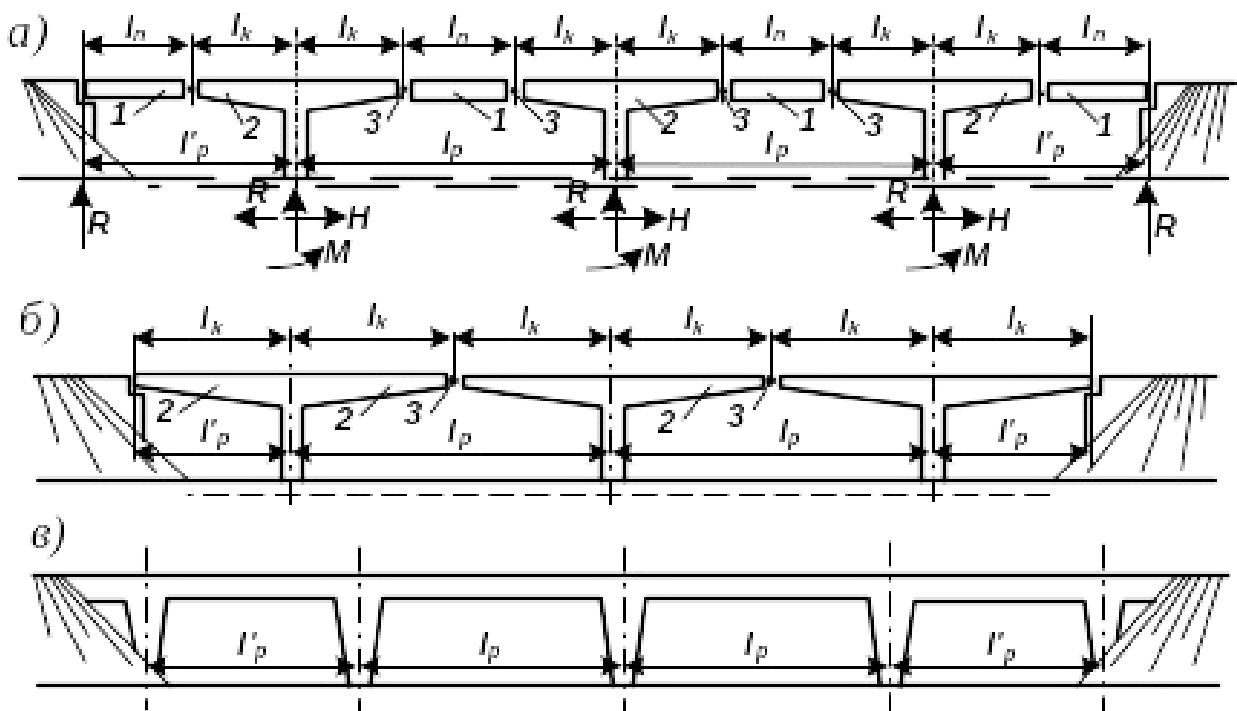


Рис. 19. Рамні прогонові будови:

1 - підвісні прогонові будови; 2 - консоль Т-подібної рами; 3 - шарніри; l_p, l'_p - розрахунковий прогін; l_k - довжина консолі; l_n - довжина підвісної прогонової будови; R, H, M - вертикальна і горизонтальна опорні реакції, згинальний момент

Невеликі рамні мости звичайно застосовуються як шляхопроводи; при цьому у багатьох випадках використовують похилі стояни, що забезпечує добру видимість для водіїв, а також безпеку руху автомобілів під мостом (шляхопроводом). Рамний міст з великими прогонами будують головним чином у вигляді Т-подібних рам. Поперечний переріз прогонової будови невеликих мостів може бути плитним (суцільним), ребристим або коробчастим. У великих мостах застосовують в основному балки коробчастого перерізу.

Арковий міст – це міст з прогоновими будовами, основними несучими конструкціями яких служать арки або склепіння. Характерною особливістю аркових мостів є передача опорам не лише вертикальних, але і горизонтальних зусиль (розпору), а також робота арок (склепінь) переважно на стиснення. Кам'яні аркові мости відомі з прадавніх часів. Сучасні аркові мости будують із залізобетону (головним чином) або зі сталі.

В аркових мостах (рис. 20) від власної ваги і рухомого навантаження, розташованого на прогоновій будові, в опорах виникають реактивні сили, які можна розглядати як рівнодіючі вертикальних і горизонтальних складових (**H** і **V**). Горизонтальну силу **H** називають розпором. Аркові прогонові будови можуть бути тришарнірними (рис. 20, а), двошарнірними (рис. 20, б) і безшарнірними (рис. 20, в). Останні застосовують звичайно в середніх і великих мостах.

Висячий міст – це міст, в якому основна несуча конструкція виконана з гнучких елементів (кабелів, канатів, ланцюгів і ін.), що працюють на розтягування, а проїжджа частина підвішена. У сучасних висячих мостах широко застосовують дротяні кабелі і канати з високоміцної сталі, з межею міцності $200\div 250$ кгс/мм², що суттєво знижує власну вагу моста і дозволяє перекривати великі прогони. Разом з

цим висячі мости мають малу жорсткість внаслідок того, що при русі тимчасового навантаження по мосту кабель (ланцюг) змінює свою геометричну форму, спричиняючи великі прогини прогонової будови. Для зменшення прогинів висячі мости підсилюють у рівні їх проїжджої частини поздовжніми балками або фермами жорсткості, що розподіляють тимчасове навантаження і зменшують деформацію кабелю. Висячі системи застосовують головним чином для автодорожніх і міських мостів. Найбільший у світі висячий міст, споруджений у 1965р. при вході в Нью-Йоркську бухту Веррацано (США), має середній прогін довжиною 1298 м.

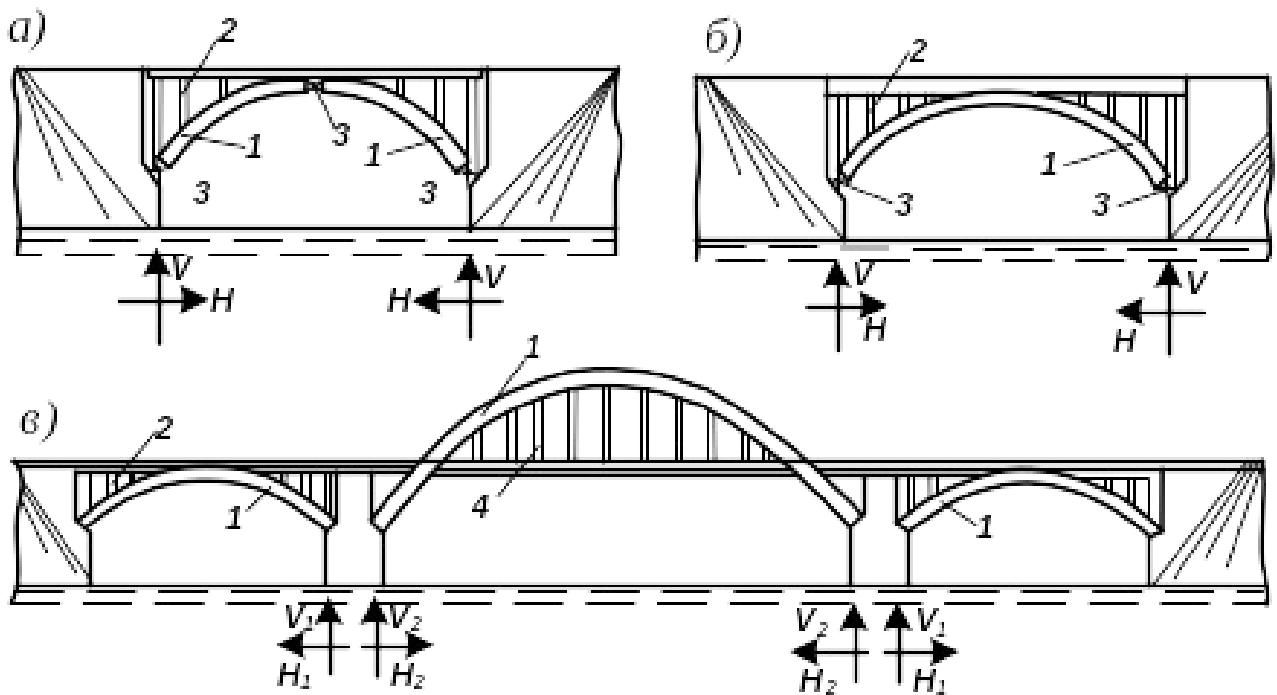


Рис. 20. Аркові прогонові будови:

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

У висячих мостах прогонові будови (рис. 21, а) влаштовують у вигляді поздовжньої балки (балка жорсткості) з розташованою на ній конструкцією проїжджої частини, підтримуваної кабелем (сталевим канатом або

сталевим ланцюгом). На опорах встановлюють високі стояки, які називаються пілонами, через які перекинуті канати або ланцюги, що закріплюються за кінці балок або на берегах за стояни моста.

Висячі мости, в яких проїжджа частина підтримується геометрично незмінною висячою фермою з прямолінійних канатів – вантів, називаються вантовими (рис. 21, б). Висячі і вантові прогонові будови застосовують переважно в автодорожніх і міських мостах з прогонами більше 100 м. Використання канатів із сталі високої міцності дозволяє влаштовувати середні великі прогони висячих мостів до 1300 м і більше.

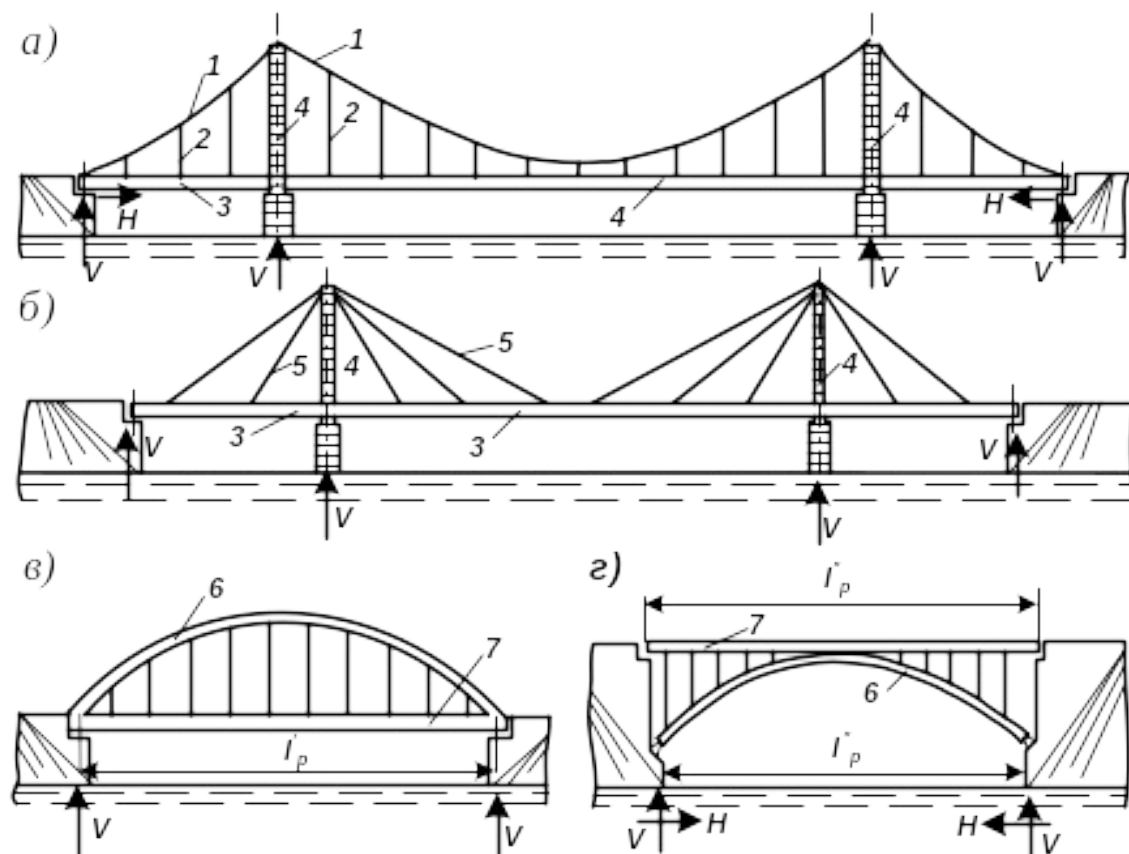


Рис. 21. Висячі і комбіновані прогонові будови:

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

Поряд з наведеними схемами (системами) прогонових будов застосовують також комбіновані. Наприклад, аркові прогонові будови із затягуванням (рис. 21, в). В цьому випадку горизонтальний розпір від арки сприймається балкою-затяжкою. Застосовують також балкові конструкції з попружними арками (рис. 21, г), коли нерозрізна балкова конструкція підтримується знизу арками. Комбіновані системи можуть бути різноманітними, і при будівництві великих споруд вони часто мають техніко-економічні переваги в порівнянні з простими статичними системами мостів.

За місцем розташування проїжджої частини моста відносно його головних несучих конструкцій розрізняють мости з їздою низом (див. рис. 18, а, в), зверху (див. рис. 21, г) і посередині (див. рис. 20, в, середній прогін).

Контрольні запитання для самоперевірки

1. За якими ознаками класифікують мости?
2. З яких основних елементів складається міст?
3. Які основні розміри характеризують міст?
4. Які схеми мостів ви знаєте?
5. У чому особливість рамного моста?
6. Що є головним несучим елементом у аркового моста?
7. Яка кількість шарнірів може бути в арках аркового моста?
8. У чому відмінність між вантовими та висячими мостами?

3. ЗАЛІЗОБЕТОННІ МОСТИ

3.1. Область застосування залізобетонних мостів

У сучасному будівництві залізничних і автодорожніх споруд залізобетонні мости набули найбільшого поширення. Залізобетон як будівельний матеріал відрізняється високою міцністю, а конструкції з нього – високою жорсткістю і значною довговічністю. Для виготовлення залізобетонних конструкцій можна використовувати місцеві матеріали (пісок, щебінь). Залізобетонним мостам можна надавати будь-які конструктивні і архітектурні форми. Перевагою залізобетону є також мала витрата сталі в порівнянні із сталевими конструкціями.

Експлуатація залізобетонних мостів простіша, тому що не потрібне періодичне фарбування. Тому витрати на експлуатацію залізобетонних мостів менші, ніж металевих.

Залізобетонними прогоновими будовами мостів перекривають прогони від найменших (2 - 3 м) до дуже значних (305 м). У даний час широко застосовують збірні конструкції прогонових будов, що дозволяє механізувати будівельні процеси, зменшує термін будівництва, тобто значно підвищує ефективність капіталовкладень. Як правило, елементи збірних конструкцій виготовляють на постійно діючих заводах, це сприяє підвищенню якості виробів. Монтаж мостів із збірних конструкцій здійснюється протягом цілого року.

Особливо велике значення для розвитку будівництва залізобетонних мостів має застосування попередньо напруженого залізобетону, який розпочали широко впроваджувати наприкінці 40-х років ХХ століття.

Шляхом попереднього напруження бетону забезпечується велика тріщиностійкість конструкції, а отже, збільшуються надійність і довговічність споруди.

У таких конструкціях ефективно використовуються високоміцні матеріали (бетон і сталь), що дає можливість значно скорочувати розміри поперечних перерізів і зменшувати масу збірних елементів, отже, зменшити витрату металу і цементу.

3.2. Види балкових мостів і конструктивні форми прогонових будов

Залізобетонні балкові прогонові будови (рис. 22) підрозділяються за такими ознаками:

за статичною схемою на розрізні системи, які можуть мати однопрогонове і багатопрогонове рішення залежно від місцевих умов; нерозрізні, що застосовуються, як правило, для прогонів більше 30 м, а також рамних, аркових і консольних систем;

за розташуванням рівня проїзду – з їздою зверху і з їздою низом;

за конструктивною формою – на плитні, ребристі і коробчасті;

за видом армування – на конструкції з ненапруженою і попередньо напруженою арматурою. Відповідно до способу виконання робіт прогонові будови можуть бути монолітними, збірними і збірно-монолітними.

За способом виконання робіт розрізняють прогонові будови: монолітні, такі, що зводяться у створі моста; збірні, що виготовляються на заводі або полігоні; збірно-монолітні. В останньому випадку частина прогонової будови складається із збірних елементів, які об'єднуються монолітними вставками.

Балкові розрізні прогонові будови під залізницю застосовують для перекриття прогонів від 3 до 33 м, а для автодороги – до 42 м.

Балкові розрізні прогонові будови (прості балки) мають однозначну епюру згинальних моментів.

Нерозрізні системи в порівнянні з розрізними мають технологічні, експлуатаційні, економічні і архітектурні переваги.

Епюра згинальних моментів у цих системах двозначна: позитивна в прогонах і негативна в надпорних перерізах.

Плитні прогонові будови відрізняються простотою конструктивної форми в порівнянні з ребристою конструкцією (див. рис 22, а), але витрата бетону на них значно більша. В обмежених габаритних умовах, наприклад при будівництві шляхопроводів, застосовують плитні прогонові будови зі зниженою будівельною висотою.

Найбільше поширення мають ребристі прогонові будови, що складаються з одного, двох або більше блоків індустріального виготовлення. Поперечний переріз з прямокутною формою ребра характерний для конструкцій з ненапруженою арматурою (див. рис 22, б), а форма ребра з тонкою стінкою і розширеним нижнім поясом застосовується для зменшення маси прогонових будов із попередньо напруженого залізобетону, що дозволяє перекривати великі прогони (див. рис 22, в).

Поперечні перерізи, складені з двох П-подібних блоків, мають місце на експлуатованих залізничних мостах (див. рис. 22, г). У даний час такі прогонові будови не застосовуються, оскільки їх об'єм значно більший і, крім того, ускладнені опалубні форми.

Поперечний переріз прогонової будови, що перевозиться суцільною конструкцією, з відкидними консолями на шарнірах показаний на рис. 22, д. Улаштування таких консолей, що займають при перевезенні вертикальне положення, дозволяло вписуватися в габарит рухомого складу. Однак застосування шарніра викликає ряд

труднощів при виготовленні, омоноличуванні і експлуатації, тому в даний час такі прогонові будови не застосовуються, але є в експлуатації (прогонові будови системи Артамонова).

При будівництві залізобетонних мостів з прогонами 40 м і більш, як правило, застосовують балки коробчастого перерізу, які мають підвищену жорсткість.

Залежно від ширини моста в поперечний переріз можуть бути включені одна коробчаста балка, дві і більше.

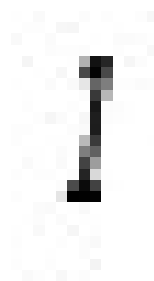
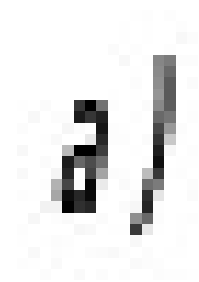


Рис. 22. Конструктивні форми прогонових будов під залізницю:

a - плитна; *б, в* - ребристі; *г* - П-подібна; *д* – будова, що перевозиться суцільною конструкцією; *е* - коробчаста; *ж* - з їздою низом; *и* - монолітна; *1* - тротуарна плита; *2* - тротуарна консоль; *3* - шарнір; *4* - головна балка; *5* - поперечна балка; *6* - плита баластного корита

Коробчасті перерізи широко застосовуються в нерозрізних і консольних системах великих прогонів. Використання коробчастої форми дозволяє значно підвищити жорсткість при згинанні і крученні прогонової будови (див. рис 22, е).

У прогонових будовах з їздою низом необхідне улаштування проїжджої частини у вигляді часто розташованих поперечних балок і плити баластного корита. Головні балки розсовують на значну відстань, яка визначається габаритом наближення споруд.

Позитивною особливістю таких прогонових будов є мінімальна будівельна висота ($h_{\text{буд}}$), розмір якої для даної конструкції не залежить від величини прогону.

На рис. 22, *и* показано поперечний переріз прогонової будови в монолітному виконанні.

Найбільш характерні поперечні перерізи прогонових будов під автомобільні дороги показані на рис. 23. Для перекриття невеликих прогонів використовуються так само, як і на залізницях, плитні конструкції.

Відмінною особливістю автодорожніх мостів є ширина проїжджої частини, визначувана габаритом «Г», залежно від категорії дороги, а також улаштування тротуарів.

Поздовжні балки збірних прогонових будов більшості сучасних мостів мають тавровий переріз, більш простий у виготовленні. Балки П-подібного і коробчастого перерізів, що мають більшу жорсткість при роботі на кручення, особливо перспективні для мостів великих прогонів.

Найбільш масовими є прогонові будови малих і середніх мостів і шляхопроводів, що будуються у вигляді балкових систем, як правило, із збірних однотипних елементів. Такий вибір пояснюється простотою конструкції, зручністю виготовлення, транспортування і монтажу.

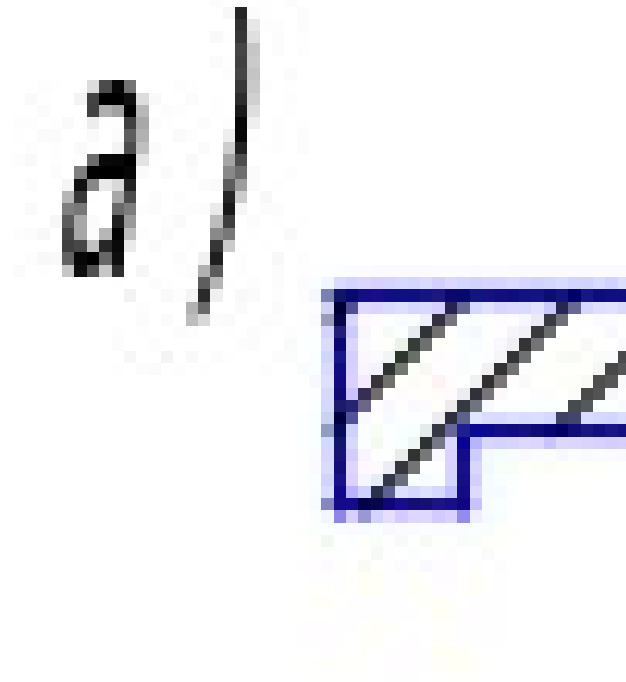


Рис. 23. Конструктивні форми прогонових будов під автомобільну дорогу:

а - з двома головними балками; *б* - з тавровими балками; *в* - з П-подібними балками; *г, д* - з коробчастими балками; *е* - з їздою низом; *1* - головна балка; *2, 5* - поперечні балки; *3* - поздовжня допоміжна балка; *4* - наскрізна ферма

3.3. Конструктивні вимоги до прогонових будов

При розробленні конструкції необхідно враховувати ряд вимог до запроєктованої прогонової будови. Мостові конструкції мають бути довговічними в роботі, зручними для індустріального виготовлення і разом з тим мати мінімальні витрати матеріалу (бетону і металу), трудомісткість, вартість.

Мінімальну товщину ребра призначають з двох умов: розрахунку за дотичними і головними розтяжними напруженнями, а також за умовою якісного укладання бетону.

Розміри нижнього поясу підбирають з урахуванням трьох умов: граничної напруги стиснення, умови розміщення попередньо напруженої арматури, а також умови обпирання на опорні частини.

Практично незмінною залишається ширина, яку для нових мостів на прямих ділянках дороги слід приймати рівною 418 см, а при заміні – 400 (418) см. Відповідно ширина плити одного блока – 208 см або 199 см. На ділянках залізниць, де передбачається механізоване очищення щебеню щебенеочисними машинами, ширину плити одного блока прогонової будови приймають рівною 257 см (міст на прямій ділянці) і 279 см (міст на кривій радіусом $R > 300$ м). При пропусканні щебенеочисних машин відстань між осями балок має бути збільшено до 240 см. Товщину плити баластного корита слід приймати не менше 15 см (у зоні між ребрами) і не менше 10 см – на кінцях консолей. Висота зовнішнього борту блока прогонової будови змінюється залежно від умов експлуатації від 35 до 70 см. Внутрішній борт, необхідний для закладення гідроізоляції, при односкілому водовідведенні не передбачається.

У пустотілих блоках плитних прогонових будов стінки і верхні плити приймають завтовшки не менше 10 см; нижні плити - завтовшки не менше 12 см. У ребристих прогонових будовах залізничних мостів товщина стінки має бути не

менше 12 см за відсутності в ній арматурних пучків і не менше 15 см при їх наявності. У коробчастих прогонових будовах ця товщина, а також товщина нижніх плит відповідно призначається не менше 15 і 18 см.

Найменша товщина монолітних тротуарів – 8 см, збірних (знімних) – 6 см. Товщину діафрагм і ребер жорсткості слід призначати не менше 10 см.

Захисний шар бетону для ненапруженої робочої арматури має бути не менше 3 см; ненапружених хомутів – не менше 2 см; напруженої арматури – не менше 4 см; напружених хомутів – не менше 3 см.

Відстань між арматурними стержнями регламентується таким чином: при однорядному розміщенні – не менше 4 см; при дворядному – не менше 5 см; при розташуванні арматури в три і більше рядів – не менше двох діаметрів (або 5 см). При обмеженому розміщенні арматури дозволяється групувати по два або три стержні без зазору. Відстань у просвіті в цих випадках повинна бути відповідно не менше 5 (6) см. Арматурні стержні періодичного профілю, а також кінці стержнів (у тому числі і гладких) у зварних сітках можуть не мати по кінцях крюків. Гладкі стержні, що розміщуються в розтягнутій зоні, повинні мати крюки на кінцях. Відгини слід заанкерувати в стиснутій частині конструкції, що згинається. Поздовжні арматурні стержні розтягнутої зони необхідно заводити за вісь опорної частини не менше ніж на 10 діаметрів стержня. Крайні стержні, що примикають до бокових поверхонь балки, слід відігнути у торця під кутом 90° і продовжити вгору до половини висоти балки.

Напружувана арматура повинна мати зовнішні або внутрішні анкери.

Розподільну арматуру плит встановлюють з кроком, що не перевищує 25 см. Крок робочої арматури плит не слід призначати більше 15 см. Крок хомутів у стінках розрізних балок (на приопорних ділянках, рівних її висоті) рекомендується приймати не більше 10 см; від межі кінцевої

ділянки до 1/4 прогону – не більше 15 см; від 1/4 прогону до його середини – не більше 20 см.

У плитних прогонових будовах крок хомутів від торця до 1/4 прогону не повинен перевищувати 15 см; від 1/4 прогону до середини – 25 см.

Окремі зварні сітки стикують одна на одну на довжину не менше 30 діаметрів поздовжніх стержнів. Гарячекатана стержнева арматура стикується, як правило, за допомогою контактного зварювання з усуненням у зоні стиків концентраторів напруг шляхом механічної зачистки наждачним кругом. Кількість зварних стиків не повинна перевищувати 25% загальної кількості робочої арматури в розтягнутій зоні перерізу.

Остаточні геометричні розміри поперечних перерізів прогонових будов, кількість робочої арматури і зусилля попередньої напруги напружуваної арматури визначають відповідними розрахунками з урахуванням конструктивних вимог, викладених раніше.

Необхідно враховувати і інші чинники. Так, наприклад, якщо прогонову будову перевозитимуть залізницею, її ширина не повинна бути більше 270 см для прогону довжиною 34 м і 320 см для прогонових будов малих довжин. Гранична висота блоків залежить від ширини плити і не повинна перевищувати 350 см, а при найбільшій ширині – $220 \div 240$ см, тобто необхідно створювати прогонові будови таких розмірів, щоб їх можна було провезти за умовами габариту. Тому найбільшого поширення набули двоблокові будови.

Маса блоків обмежується вантажопідйомністю обладнання, крана і транспортних засобів. Блоки прогонових будов не повинні мати масу більше $120 \div 125$ т. Жорсткість прогонової будови повинна забезпечити прогин у заданих межах, який регламентується державними будівельними нормами (ДБН).

3.4. Плитні прогонові будови

Плитні прогонові будови звичайно застосовують у малих мостах. Прогонові будови довжиною до 16,5 м можуть бути виконані із звичайного залізобетону з ненапруженою арматурою.

Перевага плитних прогонових будов – простота конструкції і зведення як в монолітному, так і в збірному варіанті.

Ленгипротрансместом розроблені для залізничних мостів типові проекти збірних залізобетонних прогонових будов (інв. № 557/11 серії 3.501-108 під навантаження С-14). Прогонові будови довжиною 2,95 м – одноблокові, інші – двоблокові. Блоки плитних прогонових будов не з'єднуються між собою, їх положення в поперечному напрямі фіксується опорними частинами.

Плитні прогонові будови є найбільш простою формою балкової системи. В даний час плитні конструкції застосовуються майже виключно індустріального виготовлення, перевозяться блоками на залізничних платформах і встановлюються спеціальними кранами. Основний недолік плитних прогонових будов – підвищена витрата бетону і арматури. Ширина прогонової будови зверху для типових прогонових будов складає 418 см.

Ширина плити понизу має бути достатньою для розміщення робочої арматури і забезпечення стійкості проти перекидання. Висоту плити звичайно призначають $\frac{1}{10}$ - $\frac{1}{15}$ розрахункового прогону l . При збільшенні прогону плити зростає висота її перерізу, а отже, і витрата бетону на розтягнуту зону.

На рис. 24 наведено опалубне креслення типової плитної прогонової будови під залізницю довжиною 6 м.

Консолі поперечного перерізу закінчуються зовнішніми бортами, які утворюють баластне корито. Улаштування

тротуарів передбачено на консолях, які прикріплюються до зовнішнього борту.

Поверхня плити баластного корита має ухил у поздовжньому і поперечному напрямках для відведення води через трубки водовідводів.



Рис. 24. Плитна прогонова будова під залізницю:
а - фасад і план; б - варіант поперечного перерізу для дерев'яної опалубки; 1 - отвори для болтів; 2 - поверхня плити; 3 - трубка водовідведення; 4 - гідроізоляція; 5 - захисний шар

Для захисту бетону від просочування води поверхню плити покривають водонепроникною гідроізоляцією, поверх якої укладають захисний шар.

Для прогонів більше 6 м з нормальною висотою плити вигідно скоротити площу розтягнутої зони, що приводить до застосування ребристих прогонових будов.

3.5. Ребристі прогонові будови

Прогонова будова складається з двох блоків Т-подібної форми, що включають плиту і ребро (рис. 25). Плитами двох блоків утворюється баластне корито. Робоча арматура блоків розміщена в нижній частині ребер.

Для улаштування тротуарів монтуються зовнішні консолі з укладеними на них ребристими плитами.

Блоки ребристих прогонових будов з'єднані між собою діафрагмами.

Нормальна висота ребра призначається в межах $\frac{1}{10} - \frac{1}{15}$ розрахункового прогону l . Поверхня плити баластного корита має поперечний і поздовжній ухили для стоку води до трубок водовідводів.

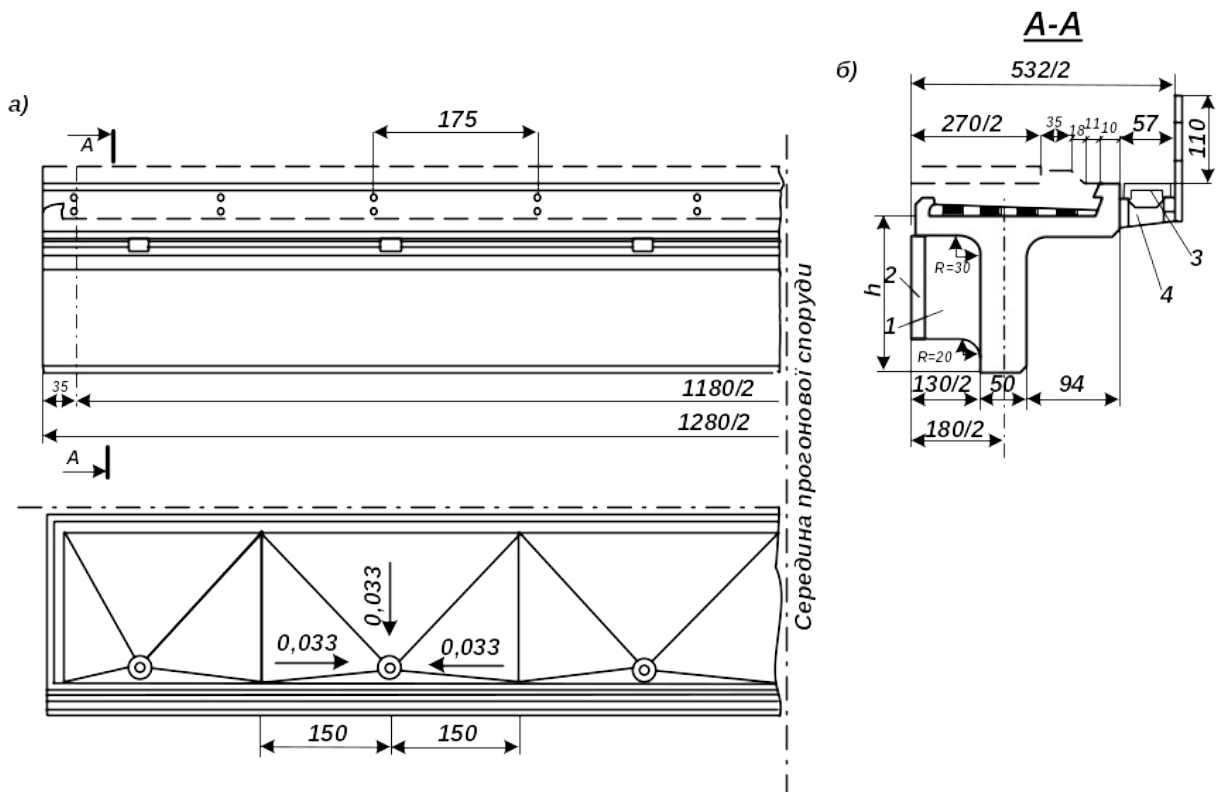


Рис. 25. Ребриста прогонова будова з ненапруженою арматурою:

а - фасад і план; б - варіант для дерев'яної опалубки; 1 - діафрагма; 2 - монтажний стик; 3 - тротуарна плита; 4 - консоль

З метою зменшення місцевих напружень у зоні сполучення плити з ребром цей перехід запроектований по циліндровій поверхні, званої вугтом, що має радіус $R = 20 \div 30$ см для виготовлення в металевій опалубці.

Залізобетонні прогонові будови армовані робочою поздовжньою, поперечною і розподільною арматурою.

Для армування прогонових будов із звичайного залізобетону застосовують арматурну сталь різних класів і діаметрів. Поздовжню робочу арматуру звичайно приймають $d = 16 \div 36$ мм, робочу арматуру плити і хомутів – $d = 8 \div 22$ мм, розподільну – $d = 6 \div 8$ мм.

Поздовжня стержнева робоча арматура розміщується в розтягнутій зоні. У міру наближення до країв прогонової будови зменшується зовнішній згинальний момент і «зайві» стержні відповідно до його епюри відгинаються і заанкеровуються в верхній стислій зоні балки. Відгини поздовжньої арматури сприймають частину головних розтяжних напруг, що виникають в ребрі, і зменшують розкриття тріщин, похилих в бетоні.

До торців балки, як правило, доводять не менше $\frac{1}{3}$ перерізу робочої поздовжньої арматури.

За наявності відгинів у прогонових будовах приймають постійну товщину ребра. У типових прогонових будовах із звичайного залізобетону довжиною до 16,5 м товщину ребра приймають рівною 50 см. При цьому вдається виконати всі конструктивні вимоги, що регламентуються ДБН, і забезпечити разом з тим якісне укладання і ущільнення бетонної суміші в конструкцію.

Хомути (поперечна арматура ребра) призначені для підвищення несучої здатності похилих перетинів. Крок і діаметр стержнів хомутів визначають розрахунком. Хомути, крім того, об'єднують у жорсткий каркас верхню і нижню арматуру.

Приклад армування прогонової будови повною довжиною 12,8 м подано на рис. 26.

Розрахункова арматура плити у двоблокових прогонових будовах (стержні ставлять перпендикулярно до поздовжньої осі балки у верхній зоні) сприймає розтяжні напруги.

У нижній (стиснутій) зоні плити поперечну і поздовжню арматуру ставлять без розрахунку (конструктивно).

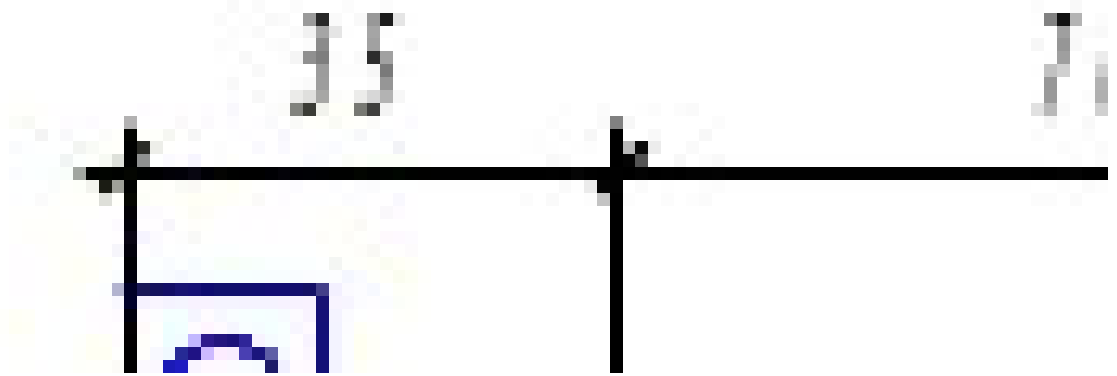


Рис. 26. Армуння ребристої прогонової будови з ненапруженою арматурою

Сполучення плити з ребром (вут) також армують сіткою. Довжини арматурних сіток приймають у межах 250÷350 см. Висота сітки ребра (довжина хомутів) рівна висоті балки мінус дві товщини захисного шару. Довжини арматурних сіток призначають так, щоб після їх укладання поздовжні стержні заходили один на одний на 30 d. На арматурних кресленнях прийняті такі позначення: верхня сітка плити – СПВ; нижня сітка плити – СНП; сітка ребра – СР; сітка вута – СВ; сітка борту – СБ і т.д.

Блоки ребрих прогонових будов після встановлення на опори об'єднують за допомогою стику опорних діафрагм.

У залізобетонних прогонових будовах із звичайного залізобетону при досягненні в арматурі напружень, близьких до розрахункових опорів, у бетоні розтягнутої зони утворюються поперечні тріщини, які при значному розкритті можуть сприяти прискореній корозії арматури.

У прогонових будовах великої довжини (16 ÷ 34 м), щоб уникнути утворення тріщин, арматуру попередньо (до застосування зовнішніх навантажень) напружують. При цьому в розтягнутій від зовнішнього навантаження зоні бетону виникають напруження стискання, а в арматурі – розтягування. У таких конструкціях після прикладення зовнішніх навантажень обтиснений бетон спочатку розвантажується, на що витрачається вся або значна частина зовнішнього навантаження, і лише після цього в ньому можуть виникати напруження розтягування, а при подальшому зростанні зовнішніх навантажень – тріщини.

Конструкція ребристої прогонової будови із попередньо напруженою арматурою наведена на рис. 27.

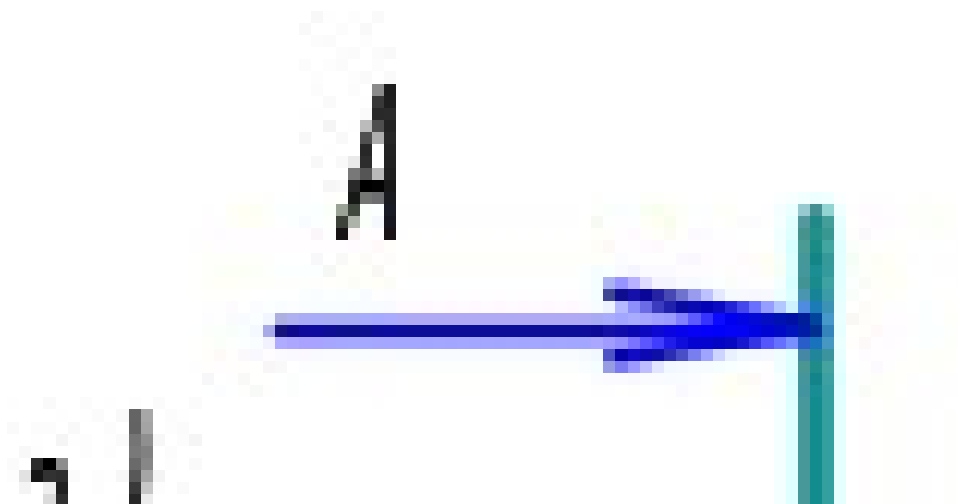


Рис. 27. Ребрита прогонова будова із попередньо напруженою арматурою:
а - фасад; б - план блока; в - переріз плити баластного корита

Для створення попереднього напруження в бетоні використовуються два способи: натягнення на бетон виробу і натягнення на спеціальні стенди – упори.

Найбільший ефект у попередньо напружених прогонових будовах дає використання високоміцної арматури і бетону підвищених класів. У цьому випадку вдається зменшити витрату сталі в 1,5÷2 рази і одночасно зменшити витрату бетону на 10÷15 %. Разом з тим виготовлення попередньо напружених прогонових будов вимагає спеціальних облаштувань, що збільшує трудомісткість і вартість виготовлення.

Найбільшого поширення набула арматура у вигляді пучків з дроту діаметром 5 мм. Для залізничних прогонових будов звичайно виготовляють пучки із 24 і 48 дротів. Застосовуються також пучки із семидротяних пасм заводського виготовлення. Пучки заанкеровуються в бетоні за допомогою каркасно-стержневих анкерів.

Відмінністю даного типу прогонових будов від ребристих двоблокових із звичайного залізобетону є зменшена до 18÷26 см товщина стінки і розширення нижнього поясу (до 82 см), необхідного для розміщення напружуваної арматури.

Найбільш простою є конструкція балки при одиночній прямолінійній арматурі. Проте досвід виготовлення і монтажу показав, що в бетоні прогонової будови у верхніх фібрах можуть виникнути значні розтяжні напруження. Тому в прогонових будовах пізнішого проектування в плиті балки ставлять два пучки. При цьому одержуємо збалансований напружений стан на всіх стадіях роботи прогонової будови.

Щоб момент від зусиль (при виготовленні, транспортуванні, монтажі і у стадії експлуатації) попереднього напруження в пучках у всіх поперечних перерізах був рівний зовнішньому моменту, необхідно обривати пучки по епюрі $M_{зг}$. Оскільки технологічно обривати пучки в бетоні складно, їх доводять до торців, а анкери розміщують відповідно до епюри $M_{зг}$. Ділянки пучків

від анкера до торця балки виключаються із роботи штучним порушенням зчеплення між поверхнею пучка і бетоном шляхом обмазування пучка бітумом і обмотки його папером. Якщо кінцеві ділянки пучків (між анкером і торцем балки) не будуть виключені з роботи, це призведе в приопорних зонах до надмірного обтискання бетону нижнього поясу і великих напружень розтягування бетону в плиті. В результаті утворення такого напруженого стану можуть виникнути поздовжні тріщини в бетоні нижнього поясу і поперечні в плиті балки, що недопустимо.

Прямолінійні горизонтальні пучки не працюють на поперечну силу, тому для балок великої довжини з метою зменшення головних розтяжних напруг у стінках приопорних зон застосовують полігональні пучки.

Зменшити головні розтяжні напруги можна також за допомогою попередньо напружених хомутів у приопорних зонах балки. При цьому ефективність хомутів вища, якщо їх напрям збігається з напрямом головних розтяжних напруг у стінці. Проте постановка похилих хомутів складніша, ніж вертикальних.

Перед укладанням гідроізоляції верхньої поверхні плити надаються поперечні і поздовжні ухили, що забезпечують стікання води до трубок, водовідводів. Діаметр трубок водовідводів і їх кількість визначають з розрахунку 5 см^2 площі поперечного перерізу трубки на 1 м^2 поверхні плити прогонової будови.

У типових проектах прийнятий діаметр трубок водовідводів, рівний 150 мм. Їх звичайно розміщують з боку зовнішньої консолі плити приблизно через $2,5 \div 3,0$ м (рис. 28).

На ділянках залізниць з механізованим очищенням щебеню потрібне збільшення ширини баластної призми. Блоки прогонових будов у цих випадках мають свої (збільшені) розміри.

Для проходження обслуговуючого персоналу у всіх трьох типах конструкції передбачено улаштування знімних

тротуарних плит, розташованих на приставних консолях (рис. 29, 30).



Рис. 28. Розміщення трубок на прогонових будовах

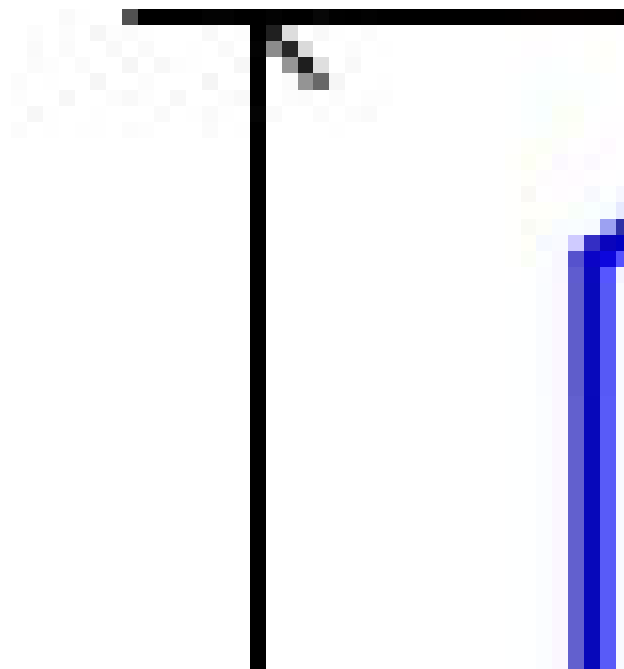


Рис. 29. Улаштування тротуарних плит на приставних
консолях



Рис. 30. Приставні консолі для улаштування
тротуарних плит

3.6. Консольні і нерозрізні прогонові будови. Наскрізні ферми

Ці системи звичайно застосовуються в тих випадках, коли необхідний прогін не вдається перекривати розрізними прогоновими будовами. Нерозрізна система в порівнянні з розрізною економічніша, вимагає меншої витрати матеріалу. Економія досягається за рахунок зменшення значень моментів у прогонах внаслідок виникнення негативних моментів над проміжними опорами (рис. 31, б).

Перевагою даних систем є плавність лінії прогинів прогонової будови і зменшені вертикальні деформації. Нерозрізні прогонові будови – статично невизначні системи,

що вимагають надійних основ. Чутливість до нерівномірного осідання опор, температурних деформацій, а також до явищ усадки і повзучості бетону – недолік даних систем.

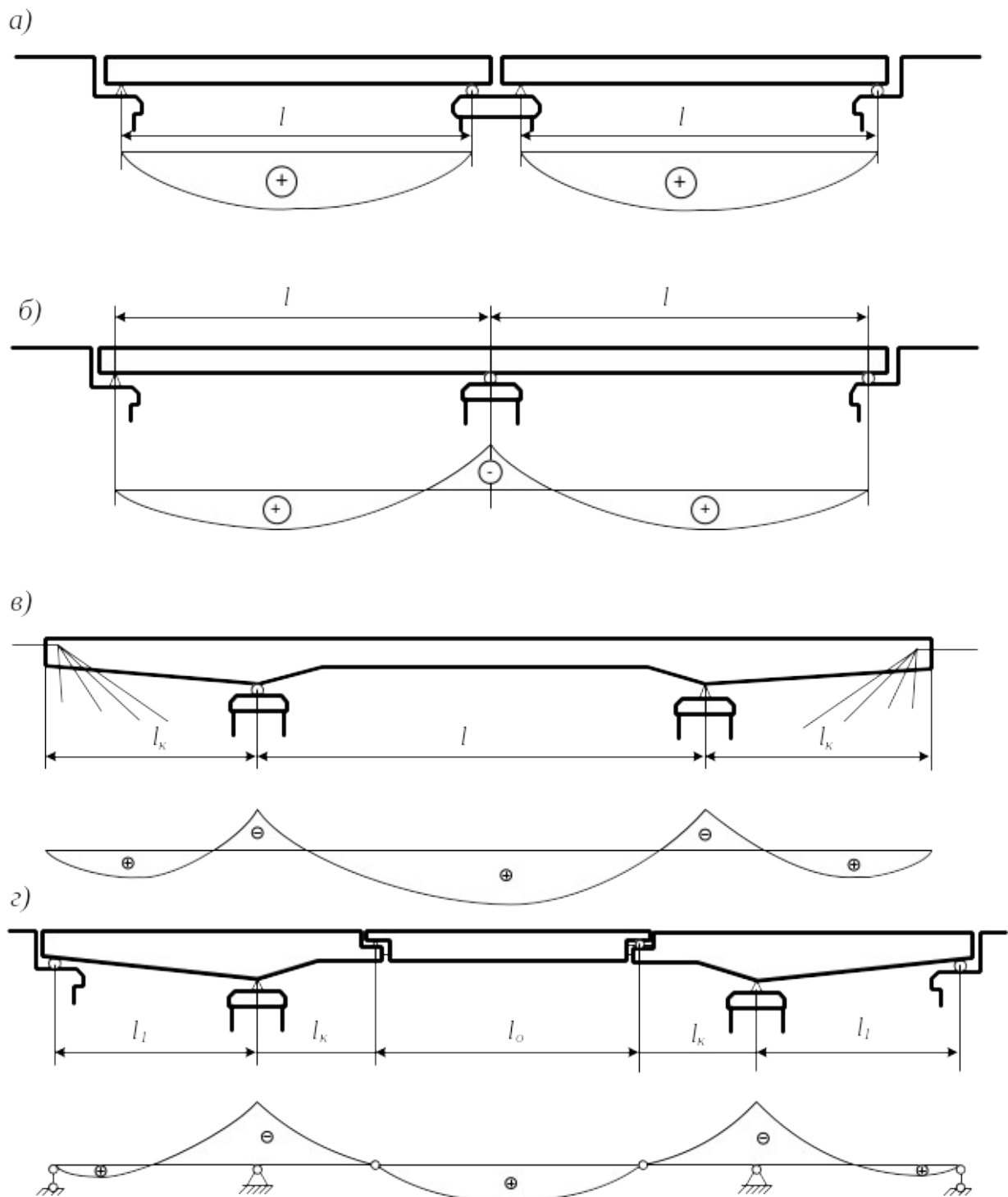


Рис. 31. Епюри згинальних моментів

Консольні системи не чутливі до осідання опор. Разом з тим вони мають перелом лінії прогину, що ускладнює їх експлуатацію. Консольні системи статично визначні. Шарнірне сполучення з підвісним прогоном ускладнює конструкцію, вимагає збільшеної витрати металу. У залізничних мостах і шляхопроводах консольні і консольно-підвісні системи застосовують обмежено. Нерозрізні і консольні системи застосовують для середніх і великих мостів (рис. 31).

Найчастіше використовують дво- і трипрогонові балки. Відомі випадки зведення п'яти-, семипрогонових систем.

У нерозрізних системах сусідній із тим, що розглядається, прогін, який є ніби противагою, зменшує момент у середині даного прогону і тим самим полегшує його роботу.

Оскільки середні прогони розвантажуються більше крайніх, з метою вирівнювання моментів у трипрогонових системах середній прогін збільшують приблизно на 20÷30 % ($l_1 = 0,7 \div 0,8 \cdot l_2$). Довжину консолей призначають приблизно рівною $0,3 \cdot l_1$. При коротких консолях додаткове зменшення позитивних моментів у середніх прогонах досягається шляхом завантаження консольних частин прогонової будови.

У нерозрізних системах висота прогонової будови для залізничних мостів у середині прогону може бути прийнята меншою, ніж у розрізних. Звичайно її призначають в межах $(\frac{1}{10} \div \frac{1}{20}) l$ – для балок із звичайного залізобетону; $(\frac{1}{15} \div \frac{1}{40}) l$ – для балок із попередньо напруженого залізобетону. У прогонових будовах з противагами висоту можна зменшити до $\frac{1}{50} l$.

Щоб задовольнити ці вимоги, нижній пояс прогонових будов звичайно влаштовують криволінійним, іноді в припорних зонах запроваджують вути. З позицій індустріалізації виготовлення доцільна прогонова будова постійної висоти на всій довжині.

У нерозрізних і консольних системах найчастіше призначають таврові, двотаврові і коробчасті поперечні перерізи.

Робочу арматуру в нерозрізних прогонових будовах розміщують угорі в надпорних перерізах і внизу в зонах дії позитивних моментів.

Прогонові будови із звичайного залізобетону армують стержнями періодичного профілю. Робочу арматуру можна розташовувати розосереджено або групуючи по два, три і більше стержнів.

Характер армування нерозрізних прогонових будов із збірною попередньо напруженого залізобетону залежить не лише від епюри згинальних моментів, але і способу монтажу. Найбільш поширений спосіб навісного монтажу. Застосовується також і навісне бетонування.

Прогресивним є попрогонове бетонування з подальшим поздовжнім насуванням. Крок насування – $20 \div 25$ м.

Пучкову арматуру розміщують у закритих або відкритих каналах. Поперечну арматуру застосовують, як правило, періодичного профілю і використовують без попереднього напруження. Поздовжня розподільна арматура застосовується діаметром $10 \div 12$ мм і, як правило, гладка класу А-І.

Відомі випадки створення нерозрізних систем з комбінацій збірних елементів із звичайного і попередньо напруженого залізобетону. Таке рішення дозволяє двотавровими балками перекрити прогони більше 40 м. При цьому в порівнянні з коробчастими прогоновими будовами може бути отримана економія матеріалу.

У нерозрізних системах успішно застосовуються плитно-ребристі прогонові будови. Оскільки основний спосіб монтажу цих прогонових будов – складання на суцільних рихтуваннях, які переміщуються, застосовувати плитно-ребристі прогонові будови доцільно для багатопрогових мостів.

Блоки нерозрізних, прогонових будов виготовляють, як правило, на заводах і полігонах методом відбивання. Такий метод виготовлення полегшує монтаж, підвищує якість споруди.

Добрі результати дає виготовлення коробчастих блоків з плоских плитних елементів шляхом їх об'єднання поздовжніми швами.

Спосіб навісного бетонування нерозрізних прогонових будов застосовується рідше за навісний монтаж, тому що утруднює уніфікацію і індустріалізацію, ускладнюються роботи при негативних температурах. До переваги методу можна віднести відсутність поперечних стиків у прогоновій будові.

За необхідності перекриття прогону довжиною більше 50 м економічно виправданим може бути застосування наскрізної конструкції, сформованої з окремих прямолінійних елементів. При цьому кожен елемент має просту форму і працює в основному на стиснення і розтягування. Разом з тим наскрізні конструкції більш трудомісткі. Великі труднощі викликає формування вузлових блоків і приєднання до них розтягнутих елементів.

У залізобетонних фермах елементи можуть бути суцільними (звичайно прямокутного поперечного перерізу) або пустотілими. В останньому випадку використовуються трубчасті центрифуговані елементи зовнішнім діаметром 60 см як із звичайного залізобетону, так і із попередньо напруженого. Товщину стінок призначають рівною 10÷15 см. Економічніше і технологічніше рішення можна отримати, якщо застосувати ферму із жорстким нижнім поясом, елементи якого можуть сприймати не лише нормальні зусилля, але і згинальні моменти.

Позацентрове приєднання розкосів до елементів нижнього поясу дозволяє зменшити згинальні моменти в поясах ферми.

3.7. Рамні залізобетонні мости

3.7.1. Схеми рамних залізобетонних мостів

У балкових мостах основні несучі елементи (балки) передають навантаження на опори через опорні частини. Проте досить широкого поширення в конструкціях мостів набули також рамні системи, відмінною особливістю яких є жорстке з'єднання горизонтальних несучих елементів (ригелів) із опорними стояками.

До широкого впровадження в мостобудування збірних залізобетонних конструкцій часто використовували рамні системи невеликих прогонів з монолітного залізобетону (рис. 32). При завантаженні рамного моста згинальні моменти в ригелі виходять дещо менші, ніж у нерозрізній балці тих же прогонів. Крім того, опорні стояки рамних мостів можуть мати значно менші розміри в порівнянні з масивними опорами для балкових прогонових будов, оскільки розміри масивних опор багато в чому визначаються необхідністю розміщення на їх оголовках опорних частин. Тому рамні мости економічніші за балкові за витратою бетону. Разом з тим, працюючи на стиснення з вигином, стояки вимагають досить міцного армування, що збільшує в споруді загальну витрату металу.

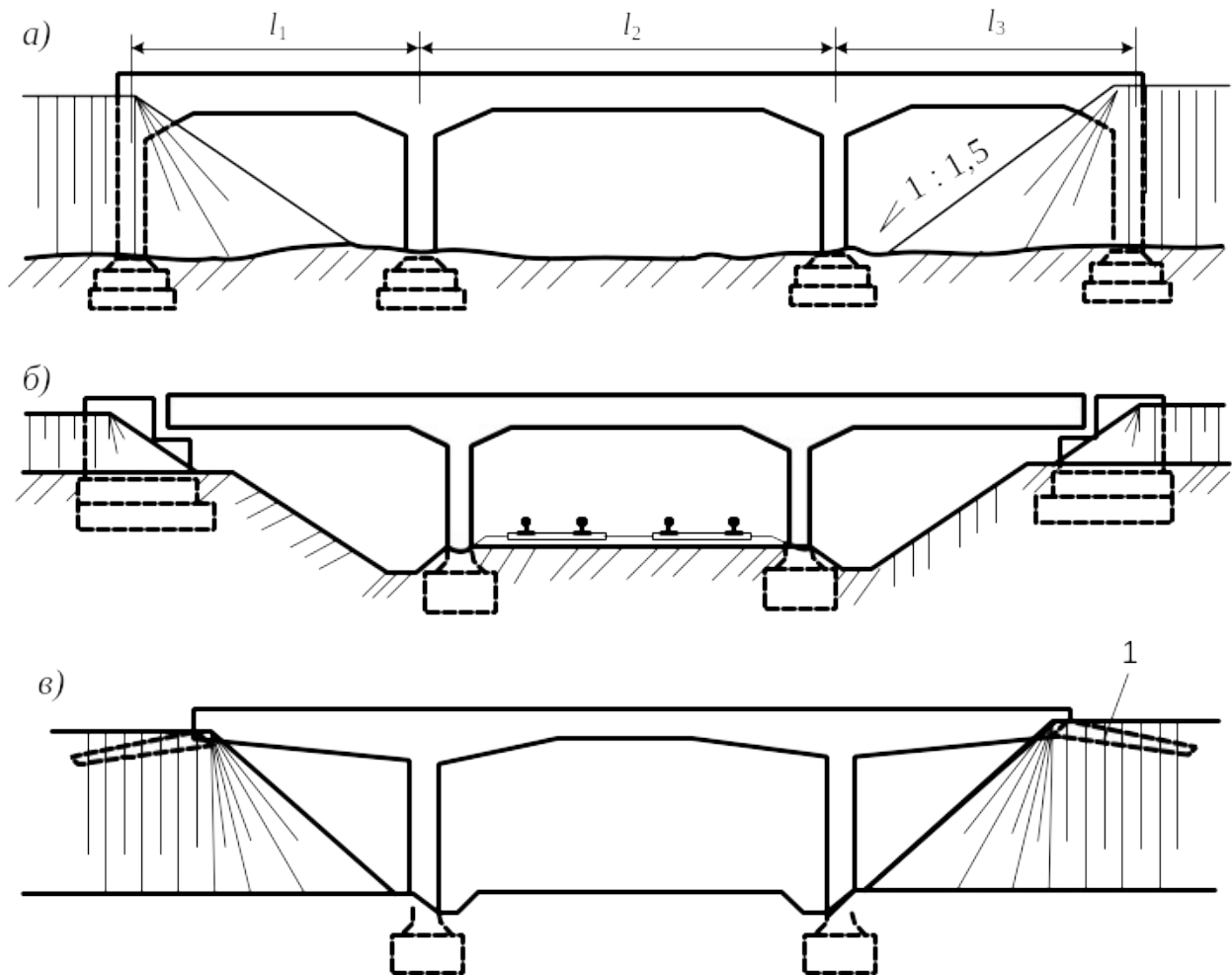


Рис. 32. Схеми рамних мостів з ненапруженого залізобетону

У мостах через річки тонкі залізобетонні стояки можуть ушкоджуватися кригою або предметами, що пливуть. Тому рамні системи даного виду виявилися найбільш придатними для шляхопроводів і естакад. У подібних спорудах ефективно використовуються також такі переваги рамних мостів, як можливість зменшення будівельної висоти, збільшення підмостового простору за рахунок застосування стояків невеликого перерізу, хороша оглядовість для водіїв транспортних засобів, що їдуть під шляхопроводом або естакадою.

Існують різні типи сполучення рамних мостів із насипами. На рис. 32, а і 33 показаний варіант з улаштуванням крайніх стояків, що входять у конуси насипу. При невеликій висоті стояків їх можна замінити стоянами (рис. 32, б). У мостах під автомобільну дорогу можливо

улаштування з'єднання за допомогою консолей. Щоб уникнути великих осідань насипу і забезпечити плавне зростання жорсткості основи проїжджої частини при в'їзді на міст, застосовують закладені в насип залізобетонні плити, шарнірно прикріплені до кінців консолей (рис. 32, в).



Рис. 33. Рамний залізничний шляхопровід

При нерівномірному осіданні опор рамних систем у ригелях і стояках виникають додаткові згинальні моменти. Тому монолітні рами застосовуються при ґрунтах, що малodeформуються, в основі опор. Такі ж згинальні моменти виникають у рамах великої довжини від зміни температури. Монолітні рами реагують також на усадку бетону. Вплив вказаних факторів можна значно зменшити при включенні в конструкцію деформаційних швів або шарнірів. Шви можуть бути влаштовані шляхом установлення подвійних стояків (рис. 34, а, 35) або підвісних балок з поздовжньо-рухомим обпиранням одного з кінців (рис. 34, б).

У поперечному перерізі рамний залізобетонний міст під одну залізничну колію звичайно є рамою з вертикальними або похилими стояками, які при великій висоті зв'язані

розпірками. Стояки мають нахил для забезпечення поперечної жорсткості моста, якщо висота споруд перевищує відстань між осями рам більш ніж у 2,5÷3 рази.

Істотним недоліком розглянутих рамних систем є складність індустріалізації їх будівництва. Застосування елементів заводського виготовлення тут ускладнене необхідністю влаштовувати монтажні стики в перерізах, де виникають значні згинальні моменти і поперечні сили. Тому рамні системи в мостах розглянутих типів застосовують у даний час порівняно рідко, хоча є досвід зведення збірних залізобетонних рамних мостів (переважно шляхопроводів) під автодорожнє навантаження.

З розвитком конструкцій і методів будівництва споруд із попередньо напруженого залізобетону з'явилися нові конструктивні форми рамних мостів, що дозволяють перекривати значні прогони. Основний метод спорудження сучасних рамних мостів – навісне збирання ригелів з окремих блоків, без проміжних опор або риштувань. У будівництві за кордоном при спорудженні подібних систем застосовується спосіб навісного бетонування.

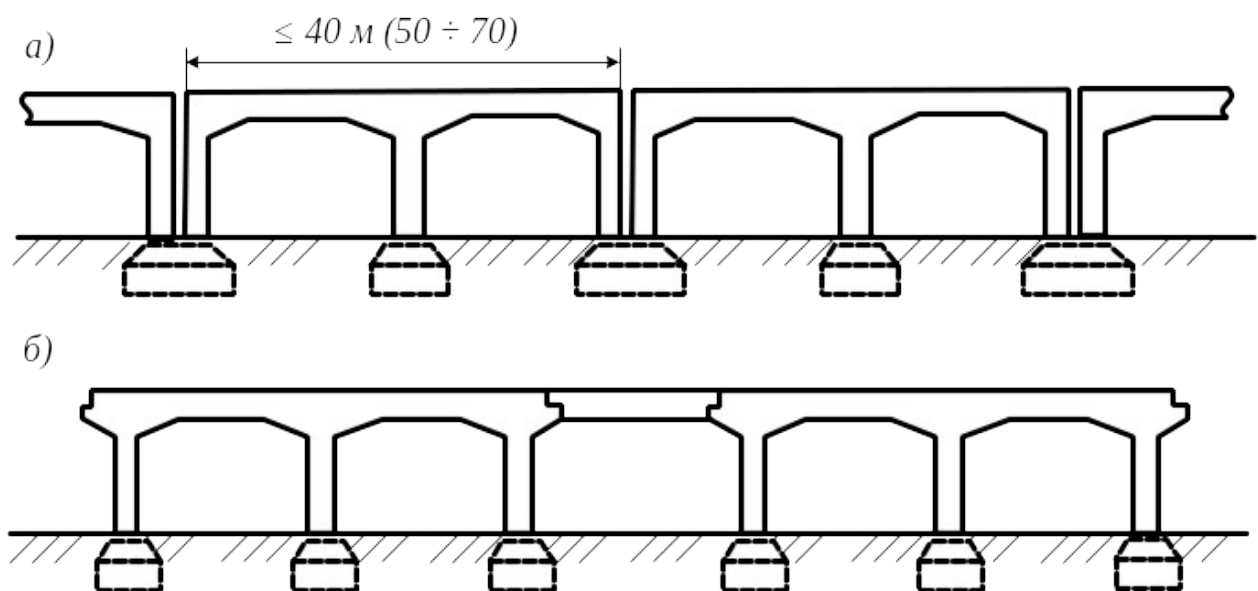


Рис. 34. Схеми рамних мостів із деформаційними швами



Рис. 35. Рамний залізничний шляхопровід з деформаційними швами

У сучасних рамних системах основною конструкцією служать Т-подібні рами, ригелі яких монтується навісним способом. Якщо кінці консолей у прогонів з'єднані шарнірами, що допускають поздовжні переміщення, то виходить рамно-консольна система. У рамно-підвісній системі на кінці ригелів сусідніх рам встановлюються підвісні балки.

У ригелях рамно-підвісної системи під час монтажу і у стадії експлуатації виникають лише негативні згинальні моменти, тому напружену арматуру розміщують тут у верхній зоні.

У рамних системах великих прогонів також застосовуються ригелі наскрізної конструкції з різними типами решітки.

У сучасних мостах можливо також застосування рамно-нерозрізних систем, в яких кінці ригелів після монтажу з'єднані жорстким стиком. У цій конструктивній схемі зростає чутливість до зміщень опор, дії температури і усадки бетону. Крім того, в середній частині ригелів тут потрібне установлення нижньої арматури.

Різновидом рамно-нерозрізної системи є конструкція із похилими стояками, що отримала назву «лань, що біжить». Така схема доцільна під час переходу через ущелину з крутими схилами.

Незважаючи на ряд конструктивних і технологічних переваг, типи рамних систем рідко застосовуються в залізничних мостах. Основною сферою їх застосування залишаються поки автодорожні мости.

3.7.2. Конструкція рамних залізобетонних мостів

В даний час на мережі залізниць експлуатується велика кількість рамних мостів, в основному шляхопроводів з монолітного залізобетону.

Висота ригеля таких конструкцій складає від $\frac{1}{8}$ до $\frac{1}{16}$ прогону. Для вирівнювання позитивних моментів у ригелях співвідношення крайніх і середніх прогонів приймали звичайно $l_1 = (0,7 \div 0,8) \cdot l_2$.

На рис. 36 показані загальний вигляд, поздовжній і поперечний перерізи рамного одноколійного шляхопроводу через дві залізничні колії. Середній прогін вибраний тут з умови розміщення стояків по краях кюветів. Висота ригеля дорвнює 140 см, із збільшенням до стояків – до 190 см.

Плита баластного корита армована так само, як плита балкових прогонових будов з П-подібними блоками.

Рис. 36. Конструкція рамного шляхопроводу
з монолітного залізобетону

Принципи армування ригелів рамних мостів малих прогонів багато в чому збігаються з армуванням нерозрізних балок. Як основну арматуру також застосовують стержні періодичного профілю. По висоті ригеля робочу арматуру розміщують відповідно до обвідної епюри моментів (у верхній частині перерізу - в місцях дії негативних моментів, у нижній частині перерізу – на ділянках з позитивними моментами).

У середині прогонів робоча арматура розташована в два ряди, над середніми опорами – в три ряди. По бокових гранях ребер ригеля поставлена додаткова поздовжня арматура. Є вертикальні хомути.

Найбільший вигин стояка випробовують у площині рами, тому арматура тут зосереджена в основному по поперечних гранях, нормальних до осі рами. У сполученні стояків з ригелем робоча арматура стояків заведена в ригель до плити проїжджої частини і закінчується крюками, що має забезпечити її хороше закладення. Робоча арматура стояків розміщена в перерізі так, що вона

проходить між стержнями нижньої арматури ригеля. У деяких конструктивних рішеннях нижня арматура ригеля повинна бути обірвана, щоб не заважати проходу арматури стояка в ригель. Арматурні стержні стояків зв'язані по висоті хомутами, які мають утримувати вертикальну арматуру від випинання при стисканні.

Між ребрами ригеля даної конструкції влаштовані діафрагми. Стояки рами з'єднані в поперечному напрямі посередині висоти розпірками завтовшки 40 см. Внизу стояки обпираються на загальний фундамент. Фундамент складається з нижньої бетонної частини і верхньої армованої. У верхню частину закладена поздовжня арматура стояків. У схемах рамних мостів з підвісними балками (рис. 34, б) армування кінців консолей у місцях обпирання балок має конструктивні особливості. Початок виступу працює на згинальний момент від опорного тиску підвісної балки і власної ваги консолі і відповідну поперечну силу. Верхню (розтягнуту) зону виступу армують горизонтальною арматурою. Поперечна сила сприймається похилими стержнями, які перекривають найбільш небезпечний переріз. Виступ додатково армують хомутами і поздовжніми стержнями. Верхній виступ підвісної балки армується аналогічно, причому горизонтальна арматура виступу розміщується біля нижньої грані.

3.8. Аркові і комбіновані залізобетонні мости

3.8.1. Загальні відомості

Аркові мости як основні несучі конструкції включають криволінійні елементи – арки або склепіння. Опорні перерізи аркових прогонових будов закріплені і не можуть зміщуватися в горизонтальному напрямі. Тому при дії вертикальних навантажень в опорних закріпленнях арки виникають горизонтальні реакції – розпір, що є характерною особливістю роботи аркових систем.

Звичайно вісь арки вибирають такою, що збігається з кривою тиску від постійного навантаження (згинальні моменти при цьому нульові). Однак при дії тимчасових навантажень, які можуть займати довільне положення вздовж споруди, в арці виникають згинальні моменти. Тому в загальному випадку перерізу арки працюють на стиснення зі згинанням (позацентрове стискання), причому при раціональному проектуванні згинальні моменти в арці можуть мати відносно невеликі значення.

Оскільки бетон добре чинить опір стискальним навантаженням, перерізи арок виходять звичайно економічнішими в порівнянні з перерізами балок того ж прогону. Разом з тим великі розпори вимагають улаштування міцніших фундаментів і опор. При слабких ґрунтах аркова система може стати взагалі недоцільною. Вибір аркового варіанта повинен ґрунтуватися на економічному порівнянні варіантів безрозпірної і системи розпорів.

У мостах застосовують різні типи аркових прогонових будов. Розрізняють безшарнірні, двошарнірні і тришарнірні арки. Конструкція безшарнірної арки (рис. 37, а) є найбільш простою і економічною. Така система має більшу жорсткість у порівнянні з шарнірними арками. До недоліків її належить виникнення додаткових внутрішніх зусиль при нерівномірному осіданні або горизонтальному зсуві опор від зміни температури, повзучості і усадки бетону.

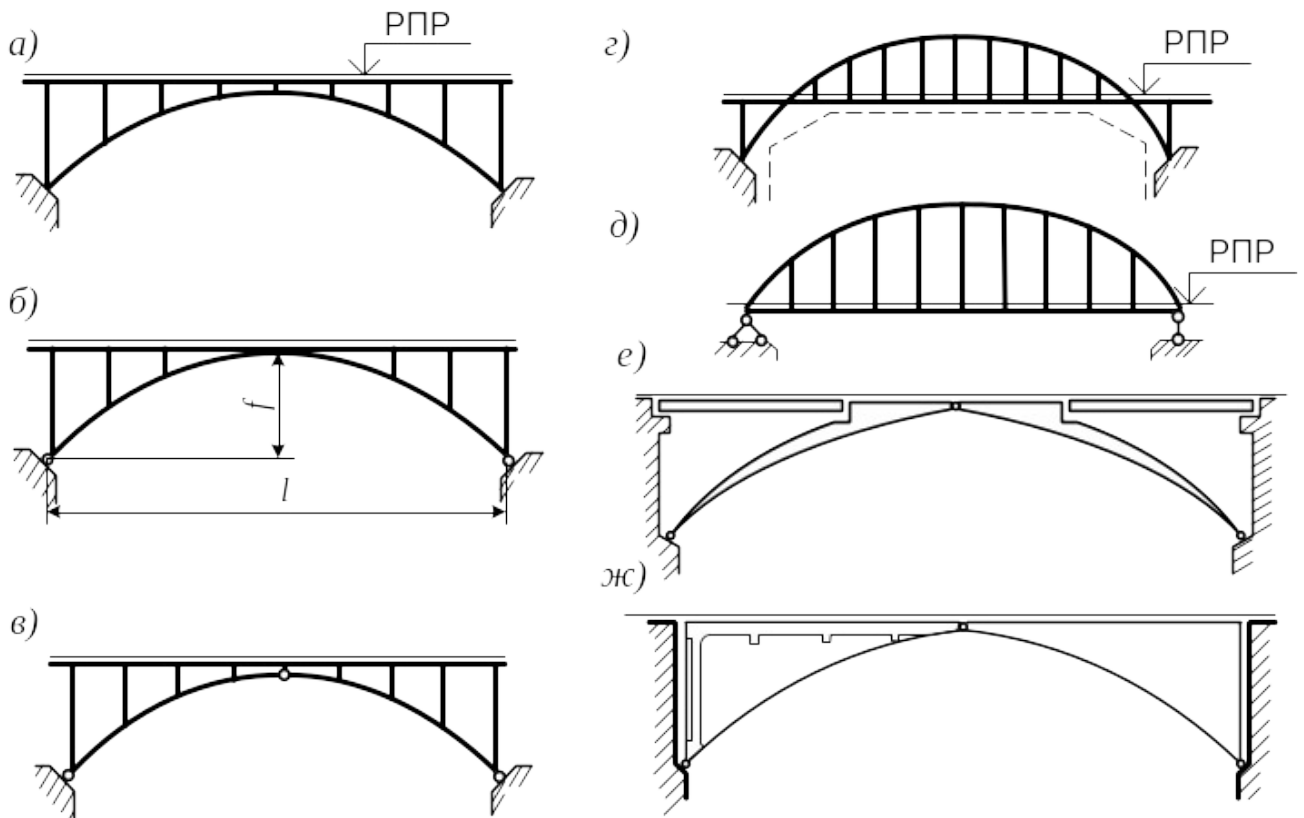


Рис. 37. Схеми аркових прогонових будов

Двошарнірні арки (рис. 37, б) менше реагують на вказані дії. Тришарнірні (статично визначні) арки (рис. 37, в) вільні від зазначеного недоліку. Однак вони мають найменшу жорсткість і перелом лінії прогину в замковому шарнірі, що обмежує їх застосування в мостах під залізницю.

Важливою характеристикою аркових прогонових будов є відношення стріли підйому f до прогону l , що визначає пологість арки. Чим менше це відношення, тим більший розпір, а також додаткові внутрішні зусилля від зміни температури, повзучості, усадки і зміщення опор.

В аркових мостах застосовують конструкції з різним розташуванням проїзду відносно арок: з їздою зверху (див. рис. 37, а), посередині і низом (рис. 37, г, д). Арки з їздою посередині застосовують при обмежених підмостових габаритах. В арках з їздою низом розпір сприймається

горизонтальним елементом – зтягуванням. За характером дії на опори такі системи еквівалентні балковим.

В аркових прогонових будовах навантаження від рухомого складу сприймається конструкцією балкового типу – проїжджою частиною. Зусилля з проїжджої частини на арки передаються через стояки або підвіски.

У прогонових будовах з їздою зверху спільну конструкцію стояків і проїжджої частини називають надарковою будовою. В деяких випадках балки проїжджої частини опираються на склепіння і опори без проміжних стояків (рис. 37, е). Є приклади конструкцій, в яких функції надаркової будови виконують самі арки, які в цьому випадку називають дисковими (рис. 37, ж).

У прогонових будовах арки об'єднуються між собою системою зв'язків. При цьому утворюється просторова конструкція, здатна сприймати різні горизонтальні навантаження. Крім того, зв'язки забезпечують стійкість арок при поздовжньому згинанні їх площини.

Аркові мости поділяються за способом спорудження на монолітні і збірні. Монолітні арки бетонують у прогоні на криволінійних риштуваннях (кружалах). Збірні конструкції змонтовують із готових елементів з подальшим омонолічуванням стиків.

3.8.2. Комбіновані системи залізобетонних мостів

Комбіновані системи мостів утворюються шляхом об'єднання простіших конструкцій. Тут, як правило, поєднуються елементи, працюючі на згинання (балки), поздовжні зусилля (підкошування, попруги, ванти, гнучкі арки), а також на сумісну дію вказаних факторів.

Найбільш доцільна для залізничних мостів комбінована система, утворена з балки і арки (арка із зтягуванням). Ця конструкція (рис. 38, а) зовні безрозпірна, що полегшує умови роботи опор.

Арки із затягуваннями застосовують при прогонах, коли залізобетонні балки стають недоцільні ($l > 33$ м), а також, коли спорудження систем розпорів ускладнено через геологічні умови.

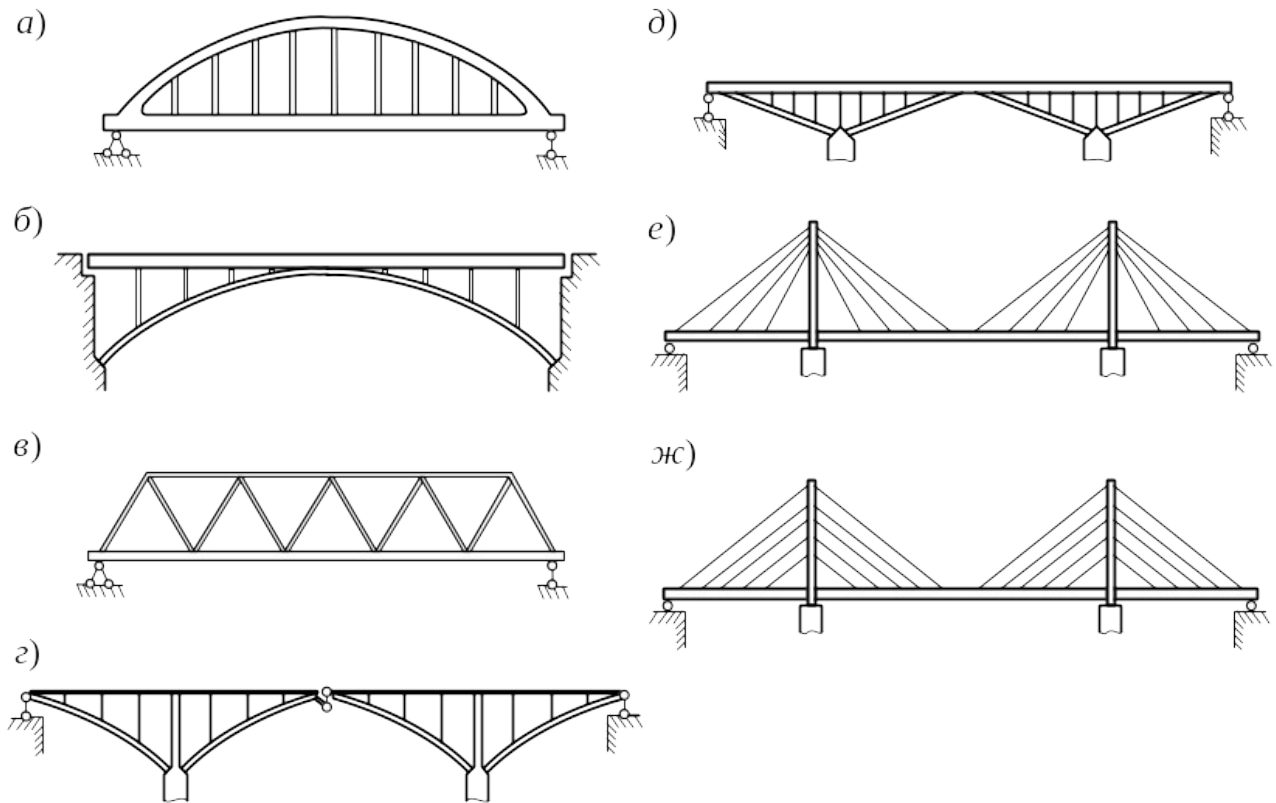


Рис. 38. Схеми комбінованих прогонових будов

Наступним типом комбінованої системи є поєднання жорсткої балки і гнучкої арки розпору (рис. 38, б, 39, 40). У такій конструкції арки малої висоти мають відносно невелику згинальну жорсткість і сприймають в основному стискальні зусилля. Тут зручно застосовувати суцільні склепіння, тому що при їх малій висоті забезпечується значна площа поперечного перерізу. Недолік комбінованих систем з гнучкими арками пов'язаний з підвищеною деформативністю при несиметричному (однобічному) завантаженні конструкції тимчасовим навантаженням.

До комбінованих систем належить також конструкція з наскрізними головними фермами і жорстким нижнім поясом,

що працює в умовах згинання і позацентрального розтягування (рис. 38, в).



Рис. 39. Залізобетонний арковий міст



Рис. 40. Залізобетонний арковий міст

Комбіновані системи набули широкого поширення в автодорожніх мостах. Тут створено велику кількість різних конструктивних форм, з яких відзначимо лише деякі.

Арково-консольна система утворюється затисненими в опори напіварками, об'єднаними затягуваннями (рис. 38, з). Отримані в результаті Т-подібні рами з'єднані між собою поздовжньо-рухомим шарніром.

В деяких випадках застосовують систему, в якій нерозрізна балка посилена попругами (рис. 38, д).

До комбінованих систем можна віднести вантові мости із залізобетонними балками жорсткості. Вантові мости знаходять все більш широке застосування в мостобудуванні для перекриття середніх і великих прогонів. У цих конструкціях балки жорсткості підтримуються розтягнутими похилими елементами – вантами, закріпленими на стислих стояках – пілонах. Ванти виготовляють із сталевих канатів високої міцності. В деяких випадках ванти заводять в залізобетонні оболонки (жорсткі ванти).

Застосовують різні схеми вантових мостів, що відрізняються типами розташування і кількістю вант (рис. 38, е, ж). Для мостів із залізобетонними балками жорсткості характерні багатовантові системи, в яких спрощується конструкція вузлів кріплення вант.

При передачі горизонтальних складових зусиль від вант на залізобетонну балку жорсткості більшість ділянок балки додатково обтискується, що сприятливо позначається на її роботі.

Вантові мости мають хороші економічні показники. Вони також добре пристосовані для навісного монтажу. Однак застосування вантових систем для залізничних мостів стримується через їх підвищену деформативність. Це обумовлено в основному застосуванням у вантах високоміцних сталей. Останніми роками вантові системи розпочали застосовувати для залізничних мостів невеликих прогонів.

3.8.3. Конструкції аркових і комбінованих залізобетонних мостів

Основні конструктивні елементи аркових прогонових будов виконують у вигляді арок, що стоять окремо, або у вигляді склепінь.

У надарковій будові склепінчастої арки конструкція проїжджої частини може бути виконана у вигляді плити, обпертої на поперечні стінки-стояки. При збільшенні відстані між стінками-стояками проїжджу частину виконують у вигляді ребристої конструкції.

В прогонових будовах з роздільними арками проїжджа частина має звичайно ребристу конструкцію, обперту на арки через стояки. У конструкціях невеликих прогонів відстані між осями арок, стояків і ребер балок проїзду збігаються. При збільшенні прогону відстань між арками також зростає за умови забезпечення горизонтальної

жорсткості. Вона має складати не менше $\frac{1}{20}$ прогону або не менше $\frac{1}{5}$ - $\frac{1}{6}$ стріли підйому арки.

При великих прогонах ширина склепіння або відстань між арками може бути змінною, що збільшується від середини прогону до п'ят, у цьому випадку арки мають криволінійний контур у плані, а стояки в поперечному напрямі – нахил.

Застосовують різні типи поперечних перерізів склепінь і арок. Найбільш прості за конструкцією – суцільні склепіння. Вони характерні для монолітних мостів з прогонами до 50÷60 м. Висота склепіння досягає ($\frac{1}{50}$ ÷ $\frac{1}{70}$). У мостах великих прогонів застосовують пустотілі коробчасті склепіння. Широкі коробки склепінь розділені, як правило, проміжними стінками. При великій ширині споруди застосовують також роздільні склепіння, з'єднані розпірками. Товщина плит і стінок коробчастих склепінь має бути не менше 20 см.

Поперечні перерізи окремих арок мають прямокутну, двотаврову або коробчасту форму. У збірних мостах великих прогонів коробчастий переріз може бути утворений з окремих плоских плит заводського виготовлення.

Висота перерізу арок змінюється в межах ($\frac{1}{30}$ ÷ $\frac{1}{60}$) / при суцільному прямокутному перерізі і ($\frac{1}{25}$ ÷ $\frac{1}{60}$) / – при двотавровому або коробчастому. В деяких випадках висоту арок призначають змінною по довжині. У безшарнірних арках висота перерізу може збільшуватися від замка до п'ят в 1,2 ÷ 1,5 разу.

Елементи арок працюють в основному на стискання і згинання у вертикальній площині. При різних положеннях тимчасового навантаження в перерізах арок можуть виникати згинальні моменти різних знаків, тому арки армують у верхній і нижній зонах перерізу.

Ригель і стояки надаркової будови армують аналогічно конструкції рамного моста малого прогону. Поздовжня арматура стояків з'єднана хомутами, розташування яких має задовольняти вимоги, встановлені для арок.

Вузли сполучення арок із стояками і розпірками даної монолітної конструкції виготовлені шляхом закладення арматури стояків і розпірок у тіло арок. Стояки у вузлах з'єднання мають армовані розширення. У з'єднаннях коротких стояків з ригелем і аркою влаштовують шарніри простої конструкції, що виключає роботу таких стояків на згинання.

У збірних прогонових будовах стики елементів арки звичайно поєднують із вузлами приєднання стояків і розпірок. У цьому випадку стики роблять достатньої ширини для розміщення арматури розпірок.

Найбільш поширеним типом комбінованих систем, які застосовуються для залізничних мостів, є арки із затуваннями. У цих конструкціях з їздою низом розпір сприймається спеціальними елементами – затуваннями, розташованими в рівні проїжджої частини. Арки із затуваннями впливають на опори так, як і балки.

Розрізняють три типи даних конструкцій: жорсткі арки з гнучкими затуваннями, гнучкі арки з жорсткими затуваннями – балками жорсткості і жорсткі арки з жорсткими затуваннями. Вважається, що елемент (арка або затування) є жорстким при відношенні моментів інерції не менше 80. В цьому випадку згинальні моменти в гнучкішому елементі малі і ними можна нехтувати. Якщо моменти інерції арки і затування відрізняються не так значно, то згинальні моменти виникають як в арці, так і в затуванні (балці жорсткості).

Найбільш економічні системи з жорсткими аркою і затуваннями. Жорсткі затування зручно використовувати також під час монтажу конструкції як рштування для збирання арок і підвісок. Висота жорстких затувань складає звичайно $(\frac{1}{35} \div \frac{1}{45}) l$; висота арок – $(\frac{1}{40} \div \frac{1}{50}) l$. Поперечні перерізи жорстких арок і затувань мають, як правило, двотаврову форму. Працюючі на розтягування, затування і підвіски сучасних конструкцій виконують із попередньо напруженого залізобетону.

3.9. Гідроізоляція і водовідведення

Щоб забезпечити довговічність залізобетонних мостів, їх конструкцію необхідно захистити від проникнення води в бетон. Вода може викликати розчинення і вимивання вапна, що знижує міцність бетону. При замерзанні води, що знаходиться в тріщинах, відбувається механічне руйнування бетону, що спричиняє розширення і появу нових тріщин. Тому вся поверхня плити баластного корита і бортів повинна бути покрита гідроізоляцією (рис. 41), яку влаштовують з ухилом. Кінці ізоляції закріплюють у спеціальних поглибленнях бортів.

До складу ізоляції (рис. 42) входить захисний шар завтовшки 3 см з металевою сіткою із дроту діаметром 2 мм, з вічками 5÷5 см. Ізолюючий шар утворюється з чотирьох шарів бітумної мастики, якою покривається і захисний шар, і трьох шарів склотканини. Бітумним лаком покривається поверхня захисного шару і бетон підготовчого шару.

Можливий варіант оклеювальної ізоляції, за яким приймається один шар склотканини і два шари гідроізоли (азбестовий картон, просочений нафтовими бітумами).

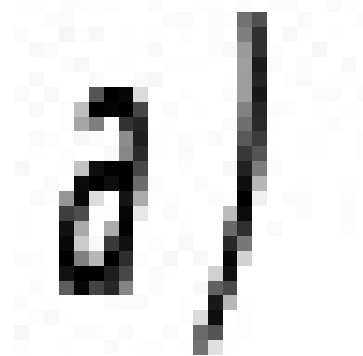


Рис. 41. Гідроізоляція баластного корита:
а - поперечний розріз; б, в - закладення кромки у вузлі; г - те ж у вузлі //

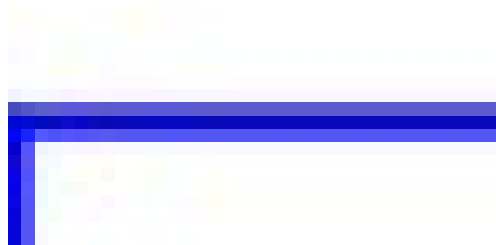


Рис. 42. Варіанти улаштування оклеювальної ізоляції:
1 - захисний шар; 2 - бітумна мастика; 3 - склотканина; 4 - бітумний лак; 5 - підготовчий шар; 6 - гідроізол

Бітумні мастики є сумішшю бітуму і наповнювача, в якості якого звичайно використовується азбестове волокно. Мастики застосовують у гарячому стані при температурі 160 - 180° С.

Перспективне застосування як ізолюючого шару синтетичних матеріалів, наприклад, поліхлорвінілового пластикату завтовшки 1 - 3 мм.

Гідроізоляція на основі склоізолу складається з двох шарів холодної мастики «ізол», рулонного ізолу і склоізолу. Склоізол є двошаровим гідроізоляційним матеріалом завтовшки 2 мм, що складається зі склотканини, покритої з нижнього боку захисним шаром – гумобітумним вяжучим. Такий матеріал характеризується високою механічною міцністю і хорошими ізоляційними властивостями.

Для тіоколової гідроізоляції рекомендується полісульфідний герметик (ущільнювач). Герметик розчиняють в бензолі, ацетоні або іншому розчиннику в кількості 10 - 12% і для підвищення морозостійкості модифікують (змінюють властивість) дибутилфталатом (15%). Гідроізоляція складається з двох шарів тіоколової мастики з прокладанням між ними сітчастої тканини. Тіоколова гідроізоляція, як найбільш морозостійка, призначається в першу чергу для районів із суворим кліматом.

Для відведення води з поверхні баластного корита використовують трубки водовідведень (рис. 43), як правило, чавунні діаметром не менше 15 см. Трубки розміщують з розрахунку 5 см² площі поперечного перерізу трубки на 1 м² площі водозбору.

У плиті баластного корита влаштовують також стропувальні отвори (рис. 44).

У місцях розташування трубок водовідведень і стропувальних отворів особливо ретельно має бути виконано з'єднання з ізоляцією.

Трубки водовідведень рекомендується ставити біля країв баластного корита, що забезпечує можливість їх безперешкодного огляду і прочищення.

Рис. 43. Трубка водовідведення:
1 - чавунна трубка; 2 - розтруб; 3 - кришка з прорізами;
4 - притискний стакан

Рис. 44. Стропувальний отвір:

1 - розтруб; 2 - притискний стакан; 3 - суцільна кришка

Наявність водовідведень і стропувальних отворів порушує гідроізоляційний шар, що сприяє утворенню потьоків на поверхні балок і вилуговуванню бетону.

Розлад ізоляції прогонових будов погіршує умови їх експлуатації. Тому в даний час намічається тенденція до відмови від улаштування отворів, що порушують цілісність плити баластного корита.

Відведення води в цьому випадку може бути передбачене в щілину між блоками за рахунок поперечного ухилу поверхні плити. Підготовчий шар, створюючий ухил, бажано включати в основний розмір плити.

Контрольні запитання для самоперевірки

1. За якими ознаками класифікують залізобетонні прогонові будови?
2. Які форми поперечного перерізу характерні для залізобетонних балкових прогонових будов?

3. Виходячи з яких умов призначають ширину ребра у ребристих прогонових будов?
4. Виходячи з яких умов розміщують арматурні стержні робочої арматури в поперечному перерізі залізобетонних прогонових будов?
5. Які елементи прогонової будови утворюють баластне корито?
6. Що таке вут?
7. З якою метою стержні робочої поздовжньої арматури відгинають у стиснену зону?
8. З якою метою виконують попереднє напруження арматури в залізобетонних прогонових будовах?
9. В чому переваги і недоліки нерозрізних прогонових будов у порівнянні з розрізними?
10. Які можливі типи сполучення рамних мостів з насипами підходів?
11. В чому перевага двошарнірних і тришарнірних арок в аркових мостах?
12. Які можливі варіанти гідроізоляції і водовідведення на залізобетонних прогонових будовах?

4. КОНСТРУКЦІЇ БАЛКОВИХ РОЗРІЗНИХ І НЕРОЗРІЗНИХ МЕТАЛЕВИХ ПРОГОНОВИХ БУДОВ

4.1. Область застосування металевих мостів

У металевих мостах прогонові будови виготовляють з металу, а опори – із бетону, залізобетону або бутової кладки. Метал – найбільш довершений матеріал для будівельних конструкцій. Завдяки високій міцності будівельних сталей, сталевими прогоновими будовами можна перекривати прогони великої протяжності. Сучасні сталеві мости мають прогони, що перевищують 1 км.

Сталеві прогонові будови **за статичною системою** можуть бути балкові, аркові, рамні, висячі і комбіновані; **за розташуванням рівня проїзду** – з їздою зверху, посередині і низом, а в **конструктивному відношенні** – з суцільними несучими конструкціями (балками, рамами,

арками) (рис. 45 а, б) і з наскрізними (решітчастими фермами) (рис. 45 в, г). Найбільш широко застосовуються балкові прогонові будови. Знаходять застосування прогонові будови, у яких сталеві головні балки несучої конструкції з'єднані із залізобетонною плитою для спільної роботи під навантаженням. Такі об'єднані конструкції називають сталезалізобетонними.

Металеві прогонові будови мають ряд переваг у порівнянні з прогоновими будовами з інших матеріалів: високу індустріальність виготовлення конструкцій на заводах, зручність монтажу конструкцій, можливість перекриття великих прогонів при порівняно невеликій власній вазі конструкції, найбільш сприятливі можливості відновлення конструкції у випадках їх пошкодження, а також відносно простоту посилення конструкції у разі потреби. Основними недоліками металевих прогонових будов є висока витрата прокатного металу, великі експлуатаційні витрати, пов'язані з необхідністю періодичного фарбування конструкції, і відносно менша довговічність у порівнянні із залізобетонними прогоновими будовами.

Металеві прогонові будови залізничних мостів широко застосовують для перекриття прогонів 33 - 158 м у вигляді балково-розрізних наскрізних ферм, а для прогонів 18 - 55 м у вигляді розрізних балок із суцільною стінкою. Для автодорожніх мостів металеві прогонові будови різних статичних систем звичайно застосовують при прогонах більше 60 м.

Рис. 45. Сталеві прогонові будови:

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

Основними несучими конструкціями служать головні балки, що мають суцільну вертикальну стінку, або головні ферми, що складаються з окремих елементів (що працюють, як правило, на осьові зусилля), за винятком безрозкісних ферм і ферм з жорстким нижнім або верхнім поясом, елементи яких сприймають також і згинальні моменти. Можливо застосування наскрізних ферм при їзді зверху і суцільних балок при їзді низом, але такі конструкції в сучасних мостах зустрічаються рідко.

При їзді зверху в одноколійних залізничних прогонових будовах ставлять дві головні балки, а в автодорожніх їх кількість визначають техніко-економічними розрахунками з урахуванням габариту проїзду, величини прогонів, що перекриваються, і інших факторів. При їзді низом прогонова будова, як правило, має дві головні ферми.

Головні балки і головні ферми (рис. 45) з'єднують між собою поздовжніми і поперечними зв'язками, що забезпечують просторову незмінність і жорсткість прогонової будови та сприймають горизонтальні поперечні навантаження. Мінімально необхідна одна система поздовжніх зв'язків і поперечні зв'язки над опорами (рис. 45, а). Для підвищення жорсткості прогонової будови, забезпечення кращого опору крученню і зменшення вільної довжини стиснутих елементів звичайно ставлять додатково другу систему поздовжніх зв'язків, а також поперечні зв'язки не лише над опорами, але і в прогоні. В автодорожніх об'єднаних прогонових будовах одну систему зв'язків звичайно замінює залізобетонна плита (рис. 45, б) або суцільний сталевий лист, які служать елементами конструкції проїжджої частини. У прогонових будовах з їздою низом (рис. 45, в, г) опорні поперечні зв'язки влаштовують у вигляді порталного заповнення, контур якого приймають з урахуванням габариту рухомого складу. Конструкція проїжджої частини автодорожніх мостів з їздою зверху при близько розташованих головних балках може опиратися безпосередньо на балки (див. рис. 45, б), а при великій відстані між головними балками або фермами (наприклад, при їзді низом) - на балки проїжджої частини (рис. 45, г). Балки проїжджої частини необхідні при розташуванні головних балок (ферм) на відстанях більше $4 \div 5$ м один від одного.

4.2. Способи з'єднання металевих елементів

Сталеві елементи сучасних мостових конструкцій з'єднують під час виготовлення і монтажу електрозварюванням, високоміцними і в окремих випадках

звичайними болтами. На залізницях України експлуатується дуже багато металевих прогонових будов, в яких застосовуються заклепувальні з'єднання. У залізничних і суміщених мостах монтажні зварні і комбіновані (болтозварні) з'єднання допускаються тільки за узгодженням з Укрзалізницею.

Зварне з'єднання широко використовується при виготовленні на заводах елементів, застосовують його і при монтажі в польових умовах. Зварні з'єднання виконують переважно автоматичним, напівавтоматичним або ручним електричним дуговим зварюванням за допомогою сталевих електродів.

Зварні з'єднання поділяють на робочі, передавальні зусилля, і що з'єднують для омоноличування спільно працюючих елементів, які не передають один одному будь-яких зусиль. З'єднують зварюванням елементи встик (рис. 46, а), один на одного (рис. 46, б, в) і з накладками.

Листи завтовшки більше 30 мм у вертикальному або похилому положенні зварюють електрошлаковим способом. Ручне зварювання проводять електродами з товстим покриттям (обмазуванням) тільки у важкодоступних місцях і для стельових швів. Застосування електрозварювання знижує витрату сталі і трудомісткість виготовлення конструкцій мостів. Висока температура зварювання і нерівномірне нагрівання елементів, що з'єднуються, викликають додаткові напруження, викривлення елементів і структурні зміни сталі в зоні швів, що ускладнює застосування монтажного зварювання.

Заклепувальні з'єднання теж поділяють на робочі і з'єднувальні. Заклепка є круглим стержнем з наштампованою на одному його кінці закладною головкою (рис. 46, д). Нагріту до почервоніння заклепку вводять в отвір, притискають закладну головку підтримкою і розклепують виступну частину стержня, утворюючи з нього головку, що замикає. При розклепуванні стержень щільно заповнює отвір, а остигаючи, стягує елементи, що

поєднуються. У місцях, де не можна зробити виступних головок, застосовують заклепки з потайною головкою (рис. 46, е).



Рис. 46. Види з'єднань елементів металевих мостів:
1 - фланговий шов; 2 - закладна головка; 3 - замикаюча головка;
4 - переріз, що працює на зріз; 5 - епюра змінальних напруг;
6 - площина контакту, передавального зусилля тертям

Фрикційні з'єднання на високоміцних болтах (рис. 46, ж) з термозміцненої сталі ставлять в отвір дещо більшого (на 2 - 3 мм) діаметра, ніж стержень болта і, натягуючи гайки, стискають елементи, що поєднуються, з великим зусиллям. Завдяки цьому зусиллю, що діє на з'єднання, передається тертя, що виникає між елементами (рис. 45, д).

Гайки болтів натягують механічними або ручними ключами, що мають пристрої для контролю величини крутильного моменту, що прикладується. Перевага

високоміцних болтів у порівнянні із заклепками - зручність їх установлення навіть у складних монтажних умовах.

Фрикційні з'єднання на високоміцних болтах передають зусилля тільки силами тертя, що виникають по контактних площинах деталей, що поєднуються, внаслідок натягнення високоміцних болтів. Фрикційні з'єднання мають просту конструкцію, порівняно малу трудомісткість улаштування, меншу концентрацію напружень, кращу роботу на навантаження, що багато разів повторюються, високу надійність і тому вони є основним видом монтажних з'єднань металевих мостових конструкцій.

В металевих мостах застосовують високоміцні болти з гайками діаметром 18÷27 мм нормальної точності, виготовлені із високоміцної сталі марок 40Х, 38ХС та ін. з подальшим термозміцненням.

Для високоміцних болтів діаметром 18, 22, 24 і 27 мм у стиках і прикріпленнях основних несучих елементів і зв'язків, що визначають проектне положення конструкції, отвори повинні мати діаметр відповідно 21, 25, 28 і 30 мм, а в прикріпленнях зв'язків, що не визначають проектне положення конструкції, стикових накладок (рибок) поясів поздовжніх балок, гальмівних зв'язків і горизонтальних діафрагм проїжджої частини, відповідно – 23, 28, 30 і 33 мм.

В одному конструктивному елементі приймають всі болти одного діаметра, а в цілій конструкції – не більше двох різних діаметрів болтів. Повну довжину високоміцних болтів визначають з умови, щоб верх гайки після затягування знаходився нижчим за межу фаски стержня болта.

З'єднання на звичайних болтах. Для з'єднання елементів мостового полотна, тротуарів, поручнів, оглядових пристроїв і інших подібних елементів прогонових будов і опор, а також для кріплення опорних частин застосовують звичайні болти підвищеної ($d_0 - d = 0,4 \div 0,6$ мм), нормальної і грубої ($d_0 - d = 2 \div 5$ мм) точності, де d_0 – діаметр отвору; d – діаметр стержня болта.

У цих з'єднаннях зусилля передаються стержнями болтів, викликаючи в них напруження зрізу і зминання.

4.3. Матеріал металевих мостів

Для конструкцій мостів, що працюють на важкі динамічні навантаження, що багато разів повторюються, застосовують високоякісні вуглецеві і низьколеговані, мартенівські і конверторні, гарячекатані сталі, що задовольняють вимоги чинних ДСТУ і Державних будівельних норм (ДБН).

Вуглецева сталь – сплав заліза з вуглецем і незначною кількістю домішок, що містяться в руді. Збільшення вуглецю підвищує міцність сталі, але знижує її пластичність і зварюваність. Тому в мостових конструкціях застосовують маловуглецеві сталі, що містять не більше 0,25 % вуглецю.

Сталі містять шкідливі домішки: сірку, фосфор та ін. Сірка зменшує міцність сталі і робить її червоноламкою – крихкою при температурі $800 \div 1000^{\circ}\text{C}$, що спричиняє появу тріщин при зварюванні. Фосфор різко зменшує пластичність і ударну в'язкість сталі, робить її холодноламкою – крихкою при негативних температурах. У сталях для мостових конструкцій звичайного виконання вміст сірки має бути не більше 0,035% і фосфору також не більше 0,035%, а північного виконання – сірки не більше 0,03 % і фосфору не більше 0,025 %.

Залежно від способу виплавки і ступеня розкиснення сталі поділяються на спокійні (сп), напівспокійні (пс) і киплячі (кп). Спокійні сталі мають вищу щільність і однорідність будови, ніж напівспокійні і киплячі. За умовами постачання вуглецеві сталі поділяються на три групи: А, Б та В, а за нормованими показниками якості – на шість категорій. Наприклад, марка ВСтЗпс5 позначає, що це вуглецева сталь 3, групи В, напівспокійної виплавки і 5-ї категорії.

Низьколегована сталь – сплав заліза з вуглецем і лужними домішками (до 2,5 %), що підвищують міцність та дещо знижують пластичність і в'язкість сталі. Як легувальні домішки застосовують хром (Х), кремній (С), нікель (Н), мідь (Д), марганець (Г), ванадій (Ф) і інші елементи.

У позначеннях марок низьколегованих сталей, наприклад 15ХСНД, перші цифри показують середню кількість вуглецю в сотих частках відсотка, а літери - наявність легувальних компонентів, що становлять більше 0,3 %. Цифри за літерами показують кількість відповідних легувальних елементів у відсотках.

Низьколеговані сталі залежно від виду термообробки поділяються на три категорії: 1 – без термічної обробки (сира); 2 – нормалізована; 3 – термічно поліпшена після гартування і високого відпуску. Категорію сталі вказують цифрою після позначення марки, наприклад, 10ХСНД-2. Категорію 1 у позначенні марки сталі не вказують, а замість цифри 3 іноді вказують мінімальну межу плинності сталі, наприклад, 15ХСНД-40.

Застосування низьколегованих сталей забезпечує зниження витрати сталі на 15÷18 % і кошторисної вартості прогонових будов на 12÷15 % у порівнянні з вуглецевою сталлю.

Марки сталі. Мостові конструкції виготовляють із сталей різних марок, що відрізняються одна від одної хімічним складом, способом виплавки і термообробки, механічними і іншими властивостями.

Для основних несучих елементів прогонових будов застосовують спеціальні сталі марок 16Д, 15ХСНД і 10ХСНД 1, 2 і 3-й категорій.

Для другорядних елементів мостових конструкцій застосовують сталі марок ВСт3, ВСт2, 09Г2С, 10Г2С, 14Г2 та інші класи сталі. Залежно від механічної міцності всі сталі поділяються на сім класів, які позначають літерою С (сталь) і числами, що показують: у чисельнику - тимчасовий опір, а

в знаменнику - межу плинності сталі (у кН/см²). Наприклад, сталь марки 10ХСНД належить до класу С52/40.

Крім того, сталі поділяються на три групи: звичайної міцності, включаючи маловуглецеві сталі класу С38/23; підвищеної міцності – низьколеговані сталі класів С44/29, С46/33 та С52/40, і високої міцності – термозміцнені сталі класів С60/45, С70/60 та С85/75.

Вибір марок сталі. Для конструкцій мостів застосовують різні марки сталей залежно від призначення моста (залізничний або автодорожній), типу виконання (звичайного або північного), виду елемента (несучий або другорядний), способу монтажних з'єднань (зварюванням або високоміцними болтами), виду і товщини прокату та інших особливостей.

При виборі марки сталі необхідно враховувати, що для районів з розрахунковою мінімальною температурою повітря T_{\min} до мінус 40°C включно застосовують конструкції звичайного виконання, для районів з T_{\min} нижче мінус 40°C до мінус 50°C включно – північного виконання А, а для районів з T_{\min} нижче мінус 50°C – північного виконання Б. Слід також враховувати, що з підвищенням міцності сталі вартість її збільшується, а витрата зменшується.

Для несучих елементів зварних прогонових будов, опор і експлуатаційного обладнання мостів звичайного виконання з монтажними з'єднаннями високоміцними болтами або зварюванням без стикових вертикальних швів застосовують вуглецеву сталь марки 16Д і низьколеговані сталі марок 15ХСНД, 15ХСНД-2, 10ХСНД і 10ХСНД-2. Для таких же елементів, але з монтажними зварними стиковими вертикальними швами, виконаними автоматом, для звичайного виконання застосовують сталі марок 15ХСНД-2 і 10ХСНД-2.

Для несучих зварних елементів тротуарів, оглядових пристроїв і мостового полотна звичайного виконання допускається застосування сталі марки ВСтЗсп5, а без зварних з'єднань – сталі марки ВСтЗсп4. При товщині

прокату до 10 мм включно застосовують напівспокійну сталь тих самих марок.

Для захисних елементів тротуарів і оглядових пристроїв при звичайному виконанні застосовують сталь марки ВСтЗпс2, для настилів сходів – СтЗпс2, для заповнення поручнів і неробочих прокладок – СтЗкп2.

Сортамент сталі. Мостові конструкції виготовляють з листової і фасонної гарячекатаної сталі, що випускається металургійними заводами і що задовольняє вимоги ДСТУ та ДБН.

Товстолистову сталь випускають завтовшки 4÷60 мм, шириною 1250 ÷ 2600 мм і довжиною до 4200 мм. Широкозмугова універсальна сталь має товщину 6÷60 мм, ширину 200÷1050 мм і довжину 5÷12 м (рис. 47, а). Універсальна сталь не вимагає поздовжнього різання і стругання, що знижує вартість виготовлення конструкцій.

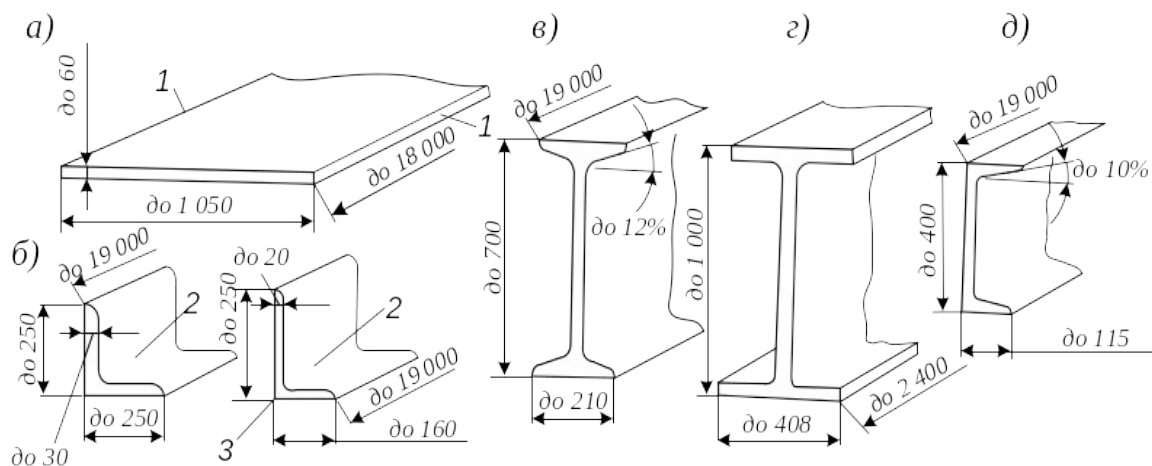


Рис. 47. Основні види прокатної сталі, яка використовується в мостах:

1 - чиста бічна кромка універсальної сталі; 2 - викруглення кутика; 3 - обушок кутика

Кутова рівнобока сталь має полиці однакової ширини 20÷250 мм, завтовшки 3÷30 мм і довжиною 4÷13 м (рис. 47, б).

Кутова нерівнобока сталь має полиці різної ширини 25÷250 мм і завтовшки 3÷20 мм (рис. 47, б).

Окрім вказаних, застосовують двотаврову (рис. 47, в, г), швелерну (рис. 47, д), смугову, круглу та іншу фасонну сталь.

Для виготовлення елементів сталевих мостів в основному служить прокатна сталь. Для уніфікації використовуваних профілів є стандартний сортамент прокатного металу.

4.4. Основні види металевих прогонових будов

Основні частини прогонових будов

Сталеві прогонові будови мостів складаються з таких частин: 1) проїжджої частини (мостового полотна, поздовжніх і поперечних балок); 2) головних несучих елементів (балок, арок, ферм ін.); 3) поздовжніх і поперечних зв'язків між головними несучими елементами; 4) оглядових пристроїв.

Мостове полотно призначене для руху транспортних засобів і пішоходів. Залізничне мостове полотно буває безбаластним та з їздою на баласті. Безбаластне полотно складається з колійних рейок і конькутників або конькутників, прикріплених до дерев'яної або металевої поперечини, до залізобетонних або металевих плит. Тротуари з поручнями влаштовують звичайно на металевих кронштейнах. Мостове полотно з їздою на баласті складається з рейок, конькутників, шпал і баласту, укладеного в залізобетонне або сталеве корито з тротуарами і поручнями. Мостове полотно розташовують на головних несучих елементах або на поздовжніх балках проїжджої частини.

Поздовжні і поперечні балки проїжджої частини влаштовують у прогонових будовах з їздою по низу, а також з їздою зверху при значних (більше 2,5 м) відстанях між

осями головних несучих елементів впоперек колії. Поздовжні балки прикріплюють до поперечних, а поперечні балки – до головних несучих елементів прогонових будов. Таким чином балки проїжджої частини сприймають тимчасове рухоме навантаження від мостового полотна і передають його головним несучим елементам.

Головні несучі елементи прогонових будов є балками, фермами, рамами, арками і іншими конструкціями різних статичних систем. Вони перекривають простір між опорами моста, сприймають тимчасове рухоме і постійне навантаження від проїжджої частини і передають їх опорам.

Поздовжні і поперечні зв'язки влаштовують між головними несучими елементами. Поздовжні зв'язки розташовують звичайно в площині верхнього і нижнього поясів головних елементів. Зв'язки забезпечують прогоновим будовам просторову незмінність, жорсткість і стійкість.

Оглядовими пристроями є драбини, трапи з поручнями, катальні візки, підіймальні люльки і інші пристрої для огляду, очищення, фарбування і ремонту будь-якої частини металевої прогонової будови.

Основні види прогонових будов. Сталеві прогонові будови мостів мають різні статичні системи і конструкції, способи з'єднання елементів, види мостового полотна і інші особливості.

За статичними властивостями головних несучих елементів металеві прогонові будови поділяються на балкові (розрізні, консольні, нерозрізні), рамні (нерозрізні, із стояками, похилі та ін.), аркові (три-, двохарнірні і безшарнірні), висячі (з гнучким кабелем, шарнірним ланцюгом та ін.) і комбіновані (балка з аркою, балка з кабелем, вантові та інші системи).

За типом конструкції прогонові будови поділяються на суцільноствінчасті і наскрізні – з лінійних стержнів.

За видом металу прогонові будови бувають з вуглецевої або низьколегованої сталі, звичайного або північного виконання та ін.

За способом з'єднання елементів металеві прогонові будови поділяються на клепані, зварні і болтові, а також на клепано-зварні та болто-зварні, коли елементи виготовляють на заводах зварними, а на монтажі з'єднують заклепками або болтами.

За рівнем розташування проїжджої частини прогонові будови бувають з їздою зверху, низом і посередині, а також з двоярусним розташуванням проїжджої частини. Прогонові будови з їздою зверху, як правило, мають меншу витрату сталі. Крім того, застосування їх знижує об'єм опор.

За видом мостового полотна прогонові будови бувають з їздою по дерев'яних брусах, металевих поперечинах, залізобетонних плитах, на баласті, сталевій ортотропній плиті та ін.

4.5. Конструкції прогонових будов із суцільною стінкою

Металеві прогонові будови з суцільними балками складаються з таких основних частин: мостового полотна, головних балок, поздовжніх і поперечних зв'язків і оглядових пристроїв. Вони можуть бути з їздою зверху і низом.

Мостове полотно прогонових будов з суцільними балками буває на дерев'яних або металевих поперечинах, на залізобетонних або металевих ребристих плитах і на баласті.

Головні балки є основною несучою частиною прогонових будов. Вони можуть бути простої розрізної, консольної і нерозрізної системи. В даний час застосовують зварні балки з високоміцних низьколегованих сталей, двотаврового або коробчастого поперечного перерізу, постійної або змінної висоти.

Головні балки можуть бути біметалічними – з поясами із міцнішої сталі, ніж стінка, сталезалізобетонні – із

залізобетонною плитою, об'єднаною із стиснутими поясами сталевих балок, а також попередньо напруженими – з обтиснутими розтягнутими поясами балок сталевими тросами або пучками з високоміцного дроту. Такі головні балки мають меншу витрату сталі, але складнішу технологію виготовлення і монтажу.

Поздовжні і поперечні зв'язки між головними балками забезпечують просторову роботу, незмінність і жорсткість прогонових будов. Поздовжні зв'язки сприймають горизонтальні поперечні навантаження від вітру і ударів рухомого складу. Крім того, поздовжні зв'язки, розташовані в площині стиснутих поясів, зменшують вільну довжину і підвищують стійкість поясів. Поперечні зв'язки забезпечують розподіл навантажень між головними балками.

В даний час прогонові будови з суцільними балками застосовують в залізничних мостах для прогонів від 18 до 55 м, а сталезалізобетонні – до 88 м. Прогонові будови з їздою зверху прогонами до 33,6 м виготовляють одноблоковими, які перевозяться суцільною конструкцією, а великих прогонів – великоблоковими. Ці прогонові будови мають просту конструкцію, низьку трудомісткість і вартість виготовлення, малу тривалість монтажу і високі експлуатаційні якості.

Прогонові будови з клепанними суцільними балками з їздою зверху (рис. 48, 49) складаються з таких основних частин: головних балок, поздовжніх зв'язків, розташованих у площині верхніх (і нижніх) поясів, поперечних зв'язків між головними балками, що розташовуються по кінцях (над опорами) і в прогоні, опорних частин, на які обпираються головні балки, і мостового полотна.

Головні балки прогонової будови сприймають всі навантаження (постійні і тимчасові), що діють на прогонову будову, і через опорні частини передають на опори тиск, що викликається цими навантаженнями. Поздовжні і поперечні (над опорами) зв'язки необхідні для утворення просторово незмінної жорсткої системи прогонової будови в цілому.

Поздовжні зв'язки в площині верхніх поясів (верхні зв'язки) необхідні завжди. Вони сприймають горизонтальні удари рухомого складу, що виникають при проходженні поїздів по мосту, а також бічний тиск вітру, діючий на поїзд, мостове полотно і головні балки, і передають тиск від цих навантажень поперечним зв'язкам, що стоять над опорами, які в свою чергу передають його опорам моста. Крім того, верхні зв'язки необхідні для скорочення вільної довжини верхнього (стиснутого) поясу. Якщо є нижні поздовжні зв'язки, що розташовуються в площині нижніх поясів, то вони сприймають тільки половину бічного вітрового тиску, що діє на головні балки, і безпосередньо передають його опорам моста. Оскільки нижні зв'язки отримують значно менші навантаження, ніж верхні, то вони і виготовляються слабкішими верхніх, а в прогонових будовах прогоном до 15 м і зовсім не влаштовуються.

Рис. 48. Прогонова будова з суцільними балками

Головні балки звичайно виготовляють двотаврового перерізу (рис. 50), що складається з вертикального листа (стінки) і двох поясів – верхнього і нижнього; до складу кожного поясу входять так звані поясні кутики при з'єднаннях на заклепках і горизонтальні листи.

Головні балки мають зварні двотаврові перерізи висотою, рівною $\frac{1}{11} \div \frac{1}{13}$ їх розрахункового прогону.



Рис. 49. Прогонова будова з суцільними балками

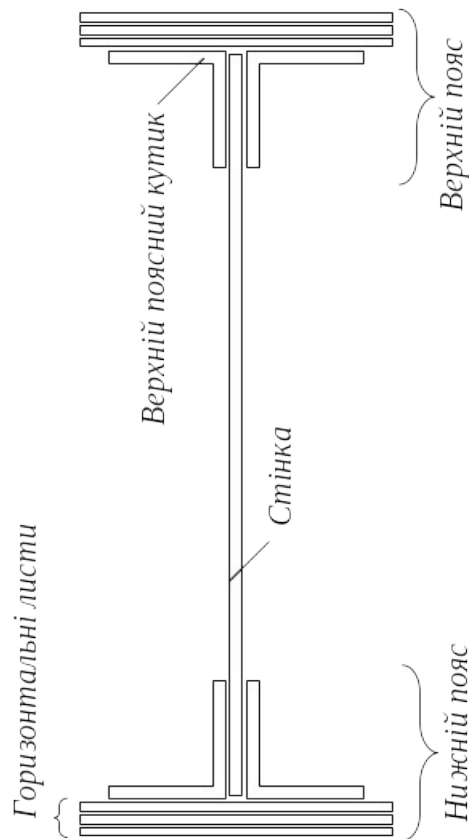


Рис. 50. Переріз головних балок прогонової будови

Висота балки впливає на співвідношення мас поясів до стінки: чим більша висота балки, тим менше маса її поясів і тим більше маса стінки. Оптимальну висоту балки визначають з умови мінімальної витрати сталі, міцності і вертикального прогину і з урахуванням умов виготовлення, перевезення та монтажу балки.

Пояси балок мають ширину не менше 240 мм за умовою міцності деревини брусів на зминання і не більше $20 \cdot t$ і 600 мм за умови місцевої стійкості стиснутого поясу, де t – товщина поясу. Ширина розтягнутих поясів не обмежена. Пояси складаються з одного листа завтовшки не більше 60 мм або з двох листів, що відрізняються шириною менш ніж на 100 мм для зручності накладення поздовжніх зварних швів. Листи поясів зварюють по довжині «встик». Для економії сталі переріз поясів зменшують від середини прогону до кінців балки відповідно до епюри моментів. Зміна площі поперечного перерізу поясів досягається застосуванням листів різної довжини, товщини і ширини.

Для зменшення концентрації напружень у стиках листів влаштовують плавні переходи від одного розміру до іншого з ухилами.

Стінки сталевих балок призначають завтовшки не менше 12 мм, перевіряють розрахунком на зріз в опорних перерізах. Для стійкості проти випинання стінки зміцнюють вертикальними поперечними, а при великій висоті балок – і горизонтальними поздовжніми ребрами жорсткості. Поперечні ребра жорсткості ставлять на опорах стінки балки і на відстанях один від одного не більше $2h_{ef}$, і 2 м, де h_{ef} – висота стінки. Поздовжнє ребро розташовують на відстанях $(0,2 \div 0,25) h_{ef}$ від стиснутого поясу. Товщину ребер жорсткості приймають не менше 10 мм, а ширину не більше 15 товщини ребра і не менше $h_{ef}/30 + 40$ мм. Ребра жорсткості приварюють з обох боків стінки балки симетрично суцільними двобічними швами. Торці ребер жорсткості приварюють до стиснутих поясів, а між торцями ребер і нижніми поясами встановлюють з тугою посадкою прокладки завтовшки $16 \div 20$ мм і приварюють їх тільки до ребер жорсткості.

Відстань між осями головних балок впоперек осі колії визначається в основному умовою стійкості прогонової будови проти перекидання і вимогою горизонтальної жорсткості. Звичайно цю відстань приймають не менше $1/16 \div 1/20$ прогону.

Відстань між головними балками в прогонових будовах з їздою зверху призначають від 1,8 до 2,2 м і рідко до 2,5 м залежно від величини прогону і виходячи з умов забезпечення поперечної стійкості прогонової будови при дії на нього і на рухомий склад поперечно спрямованого вітру, а в мостах, розташованих на кривих, також і дії відцентрової сили на прогонову будову.

При відстані між головними балками до 2,5 м мостове полотно ще можливо укласти безпосередньо на пояси головних балок, що дозволяє обходитися без улаштування балок проїжджої частини. Крім того, ширина опор мостів з

такими прогоновими будовами менше, ніж при їзді по низу, що дає суттєву економію в об'ємі кладки.

Поздовжні зв'язки розташовують у рівнях верхніх і нижніх поясів балок. Розпірки і діагоналі зв'язків виконують з одиночних кутиків і прикріплюють за допомогою кутиків і фасонок високоміцними болтами.

Поперечні зв'язки розташовують в опорних перерізах і між ними. Елементи зв'язків виконують також з одиночних кутиків і прикріплюють високоміцними болтами до розширених вертикальних ребер жорсткості. У крайніх поперечних зв'язках замість нижніх розпірок влаштовують піддомкратні балки двотаврового перерізу.

Оглядові пристрої складаються з вертикальних сходів з майданчиком для спуску на опору і ходу між головними балками на нижніх поздовжніх зв'язках. Прогонові будови північного виконання, крім того, мають два зовнішні поздовжні ходи з поручнями.

Останнім часом набувають поширення суцільні прогонові будови із залізобетонною проїжджою частиною (рис. 51, 52), які називаються сталезалізобетонними. Характерна особливість сталезалізобетонних прогонових будов – жорстке прикріплення залізобетонної плити проїжджої частини до сталевих головних балок, яке включає плиту в спільну роботу з балками, викликає стискання залізобетонної плити при згинанні балок, що суттєво зменшує площу перерізу верхніх сталевих поясів балок, викликає верхні поздовжні зв'язки, підвищує горизонтальну жорсткість прогонових будов, знижує витрату сталі на 12 ÷ 18 %.

Сталезалізобетонні прогонові будови з їздою на баласті мають хороші експлуатаційні якості, але вищу вартість, трудомісткість і тривалість монтажу.

Мостове полотно з їздою на баласті складається з колійних рейок, контруктників, шпал, баласту і залізобетонної плити з бортами, тротуарами і металевими поручнями.

Рейкову колію укладають з будівельним підйомом за рахунок зміни товщини баластного шару під шпалами.

При цьому відстань від нижньої площини шпал до верху захисного шару на водороздільних точках має бути не менше 20 см.

Перевагою мостового полотна з їздою на баласті є однорідність колії на мосту і підходах, яка створює сприятливіші умови для руху поїздів, спрощує утримання і ремонт колії, а недоліками – значна власна вага (до 39,2 кН/м колії), можливість збільшення товщини баластного шару і зміщення осі колії відносно осі прогонової будови, складність улаштування та ремонту гідроізоляції і водовідведення, можливість утворення льоду в баласті.

Залізобетонна плита мостового полотна може бути монолітною або збірною. Улаштування монолітної плити вимагає виконання при будівництві мостів опалубних, арматурних, бетонних і гідроізоляційних робіт, що суттєво підвищує трудомісткість, тривалість і вартість будівництва сталезалізобетонних прогонових будов, особливо в холодну пору року.

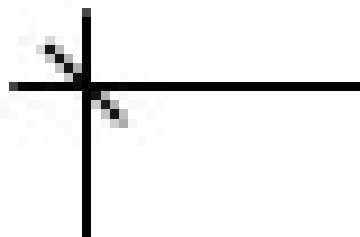


Рис. 51. Поперечний розріз прогонової будови із залізобетонною проїжджою частиною



Рис. 52. Сталезалізобетонна прогонова будова

Сучасні залізничні сталезалізобетонні прогонові будови мають збірні залізобетонні плити з поперечними швами. Розрахункова ширина блоків плит 4 м, довжина 3 м та товщина посередині 16÷24 см. Для розміщення упорів і закладних деталей, що прикріплюють залізобетонну плиту до верхніх поясів сталевих балок, товщину плити над балками збільшують і влаштовують вути. Плита має борти з консолями для укладання кабелів і інших комунікацій, установки тротуарних плит і прикріплення поручнів. Пливу армують сітками з арматурної сталі класу АII або АIII і хомутами з арматури класу АI. В торцях блоків плити роблять випуски арматурних стержнів для з'єднання блоків між собою. Блоки виготовляють з бетону класу В30 або В40 і за морозостійкістю не менше F300. Для захисту залізобетону від води внутрішню поверхню блоків плити покривають на заводі гідроізоляцією із захисним шаром і влаштовують трубки водовідведення (див. п. 3.9). Габаритні

розміри і монтажна вага блоків плити з ізоляцією дозволяють перевозити їх залізницями та автомобільними дорогами і встановлювати на місце стрілковими кранами.

Залізобетонну плиту прикріплюють до сталевих балок за допомогою гнучких анкерів з арматурних стержнів з крюком або петлеподібної форми, жорсткими упорами з відрізків кутиків з ребрами, із швелерів, таврів, труб і смуг, а також високоміцними болтами.

Анкери і упори сприймають зсувні сили, що виникають при згинанні сталезалізобетонної балки, а також від різниці температур балки і плити, від усадки і повзучості бетону. Прикріплюють їх до поясів балок звичайно зварюванням, що викликає небажану концентрацію напружень у поясах балок. З'єднання залізобетонної плити з упорами сталевих балок здійснюють заповненням отворів (вікон) у плиті бетоном на швидкотверднучому цементі з подальшим улаштуванням гідроізоляції і захисного шару, що підвищує трудмісткість, тривалість і вартість кріплення плити до балок, особливо в холодну пору року.

У сучасних залізничних прогонових будовах залізобетонні плити прикріплюють до сталевих балок високоміцними (фрикційними) болтами за допомогою сталевих закладних деталей. Цей спосіб кріплення можна виконувати у будь-який час року, але він вимагає додаткової витрати сталі, ускладнює виготовлення плит.

Після укладання всіх блоків плити і натягнення високоміцних болтів на повне розрахункове зусилля блоки з'єднують між собою зварюванням випусків арматури і заповненням швів бетоном з подальшим улаштуванням гідроізоляції і захисного шару. Наявність мокрих процесів, а також зварювальних і гідроізоляційних робіт ускладнює з'єднання блоків плити, особливо в холодну пору року. З'єднання блоків залізобетонних плит здійснюють також епоксидним клеєм з обтисканням стиків домкратами.

Сталеві балки сталезалізобетонних прогонових будов звичайно мають зварний двотавровий переріз. Висота

балок складає $1/13 \div 1/15$ розрахункового прогону. Вертикальні стінки балок мають товщину 12÷14 мм і для стійкості зміцнені двобічними вертикальними ребрами жорсткості, а при прогонах 45 м і більше, – крім того, поздовжніми ребрами жорсткості в стиснутій зоні балок. Верхні пояси балок складаються з одного горизонтального листа постійного перерізу з отворами для високоміцних болтів або жорсткими упорами для кріплення залізобетонних плит. Нижні пояси складаються з одного або двох листів різної товщини і ширини для зменшення площі перерізу поясів від середини прогону до опор.

Сталеві балки довжиною 45 м і більш виготовляють великими блоками, які з'єднують при монтажі високоміцними болтами за допомогою вертикальних і горизонтальних накладок.

Сталеві балки об'єднують нижніми поздовжніми і поперечними зв'язками хрестової системи. Роль верхніх поздовжніх зв'язків виконують залізобетонні плити, а при транспортуванні і монтажі балок – верхні розпірки поперечних зв'язків. Нижні поздовжні зв'язки розташовують у рівні нижніх поясів балок і закріплюють високоміцними болтами за допомогою кутиків і фасонок. В опорних поперечних зв'язках замість нижніх розпірок передбачені піддомкратні балки.

Типові сталезалізобетонні прогонові будови виготовляють із сталей марок 10Г2С1Д і 15ХСНД під одну залізничну колію з їздою зверху на баласті прогонами 18,2÷55 м.

Конструкції сталевих балок, зв'язків і залізобетонних плит максимально уніфіковані, що спрощує виготовлення прогонових будов. Сталеві балки прогонових будов 18,2÷33,6 м з'єднують зв'язками на заводі і перевозять одним блоком, а прогонових будов 45,0÷55,0 м – великими блоками, які з'єднують при монтажі.

4.6. Коробчасті прогонові будови

Коробчасті прогонові будови складаються із зварних суцільностінчатих коробчастих балок і мостового полотна з їздою на поперечинах, баласті, залізобетонній або сталевій плиті (рис. 53).

Коробчасті балки мають замкнутий переріз, що складається з верхнього і нижнього горизонтальних листів, посилених ребрами, та вертикальних або похилих стінок з ребрами жорсткості. Висота коробчастих балок складає $\frac{1}{12} \div \frac{1}{16}$ розрахункового прогону, ширина – не менше $\frac{1}{25}$ прогону.

Верхні і нижні горизонтальні листи балок посилені ребрами, привареними з одного боку листів на відстані 20÷60 см один від одного. Ребра виготовляють із листової сталі або профілів з потовщеною кромкою (з головкою), а також таврової, кутової або іншої форми (рис. 54). Таку конструкцію називають ортотропною плитою або настилом. Ортотропні плити звичайно роблять з поздовжніми ребрами, обпертими на поперечні балки, прикріплені до вертикальних ребер жорсткості стінок. Висоту поздовжніх ребер приймають рівною $\frac{1}{8} \div \frac{1}{10}$ відстані між поперечними ребрами.

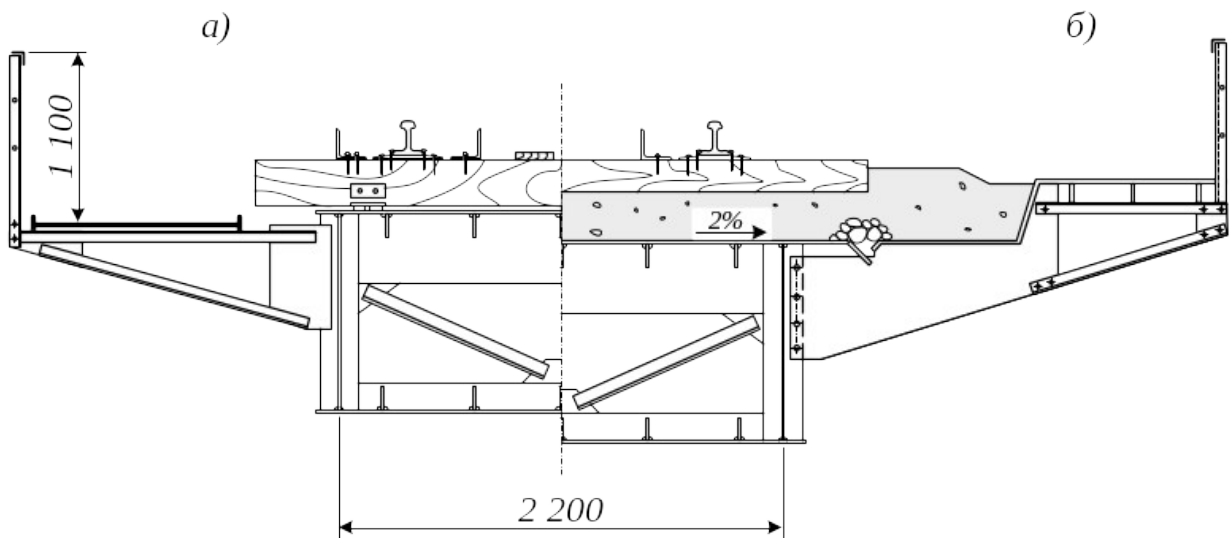


Рис. 53. Коробчасті прогонові будови

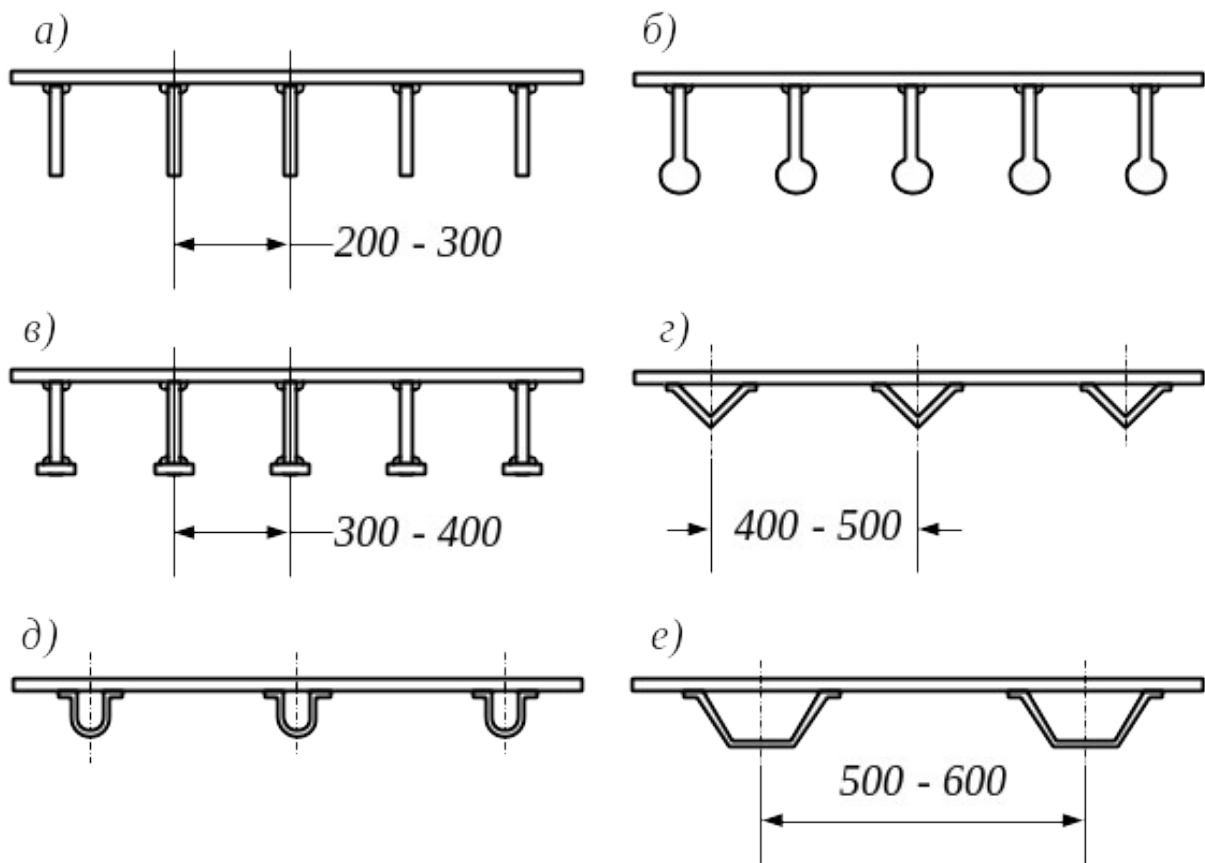


Рис. 54. Види ребер ортотропної плити

Коробчасті прогонові будови не мають поздовжніх зв'язків, тому що їх роль виконують верхня і нижня ребристі плити. Поперечні зв'язки влаштовують з кутиків або листів-діафрагм, розташовуючи їх приблизно через 5 м. По торцях балок іноді влаштовують суцільні діафрагми для герметизації внутрішнього простору балок, що покращує експлуатаційні якості коробчастих прогонових будов. Коробчасті балки мають підвищену вертикальну, горизонтальну і особливо крутильну жорсткість.

Мостове полотно з поперечин, коробчастих прогонових будов має таку ж конструкцію, як у прогонових будов з двотавровими балками, а з їздою на баласті – як у сталезалізобетонних.

Сталева баластне корито складається з верхньої ортотропної плити коробчастої балки до двох бортових блоків, що прикріплюються при монтажі прогонових будов

високоміцними болтами до ребер жорсткості стінок балки (див. рис. 53, б). Сталеве корито вимагає надійного захисту від корозії, тому внутрішні поверхні сталевих листів покривають епоксидною смолою, іншими синтетичними матеріалами або роблять корито з двошарових біметалічних листів, що складаються з основного шару (сталь марки 09Г2) і плакувального (сталь 12Х18Н10Т). Для стоку води верхню плиту балки роблять з двосхилим ухилом 2 %. Воду з баластного корита відводять у щілину між ортотропною плитою і бортовими блоками по всій довжині прогонової будови. Перед баластуванням колії щілину засипають крупним щебенем.

Коробчасті прогонові будови з їздою на баласті мають більшу вагу сталі, ніж сталезалізобетонні.

Мостове полотно з їздою по сталевій плиті складається з колійних рейок, охоронних контруктників прикріплених безпосередньо до ортотропної плити. Тротуари з поручнями влаштовують на консолях, що прикріплюються до ребер жорсткості стінок балки. Застосування такого мостового полотна забезпечує зменшення будівельної висоти, простоту відведення води, можливість механізованого очищення колії, меншу інтенсивність корозії верхнього сталевих листа, доступність огляду, простоту зміни рейок.

Коробчасті прогонові будови з безпосереднім прикріпленням рейок до сталевих листа мають меншу масу сталі, ніж прогонові будови з їздою на баласті. Вони технологічніші для заводського виготовлення, мають меншу трудомісткість і тривалість монтажу в порівнянні із сталезалізобетонними прогоновими будовами, мають підвищену експлуатаційну надійність, особливо в суворих північних умовах.

Основні розміри коробчастих прогонових будов прийняті однаковими з аналогічними типовими сталезалізобетонними, що забезпечує їх взаємозамінюваність.

Коробчасті балки прогоном до 45 м включно виготовляють, перевозять і встановлюють на опори цілісними конструкціями.

4.7. Прогонові будови з їздою низом

Прогонові будови з їздою низом складаються з мостового полотна, балок проїжджої частини, головних балок з суцільною стінкою, нижніх поздовжніх зв'язків (рис. 55).

Розташування проїжджої частини між головними балками в рівні нижніх поясів суттєво зменшує будівельну висоту прогонових будов, але збільшує витрату металу. Застосування цих прогонових будов знижує висоту і об'єм насипів підходів до моста, але збільшує ширину і об'єм опор. Звичайно прогонові будови з їздою низом застосовують у виняткових випадках, коли це диктується умовами траси дороги.

Характерною особливістю прогонових будов з їздою низом є відсутність верхніх поздовжніх зв'язків, внаслідок чого верхні стиснуті пояси головних балок мають велику вільну довжину. Стійкість верхніх поясів забезпечується напіврамами, що складаються з поперечних балок і вертикальних кутиків жорсткості стінок головних балок.



Рис. 55. Прогонова будова з їздою низом

Мостове полотно прогонових будов з їздою низом може бути з їздою на дерев'яній або металевій поперечинах і на залізобетонних безбаластних плитах.

Поздовжні і поперечні балки мають звичайно двотаврові перерізи однакової висоти. В деяких випадках висоту поперечних балок приймають більше поздовжніх балок або замість поздовжніх і поперечних балок застосовують ортотропну плиту із безпосереднім прикріпленням рейок до металевого листа.

Головні балки мають двотавровий або коробчастий переріз, що має велику жорсткість при крученні. Верхні пояси головних балок приймають широкими для збільшення жорсткості в горизонтальній площині. Стінки балок зміцнюють вертикальними кутиками жорсткості з трикутними фасонними листами (топірцями), що

підвищують жорсткість вузлів напіврам, які забезпечують стійкість верхніх поясів.

Нижні поздовжні зв'язки звичайно складаються з одиночних кутиків (діагоналей), що з'єднують нижні пояси головних і поздовжніх балок. Роль зв'язків, розпорів, виконують поперечні балки.

Типові прогонові будови з їздою низом розроблені для звичайних і північних умов. Вони мають прогони $18,2 \div 33,6$ м, будівельну висоту в прогоні 0,8 м, відстань між осями головних балок 5,6 м, між поздовжніми балками 1,9 м і між поперечними балками $2,0 \div 2,2$ м. Конструкція елементів і розміри прогонових будов уніфіковані. Заводські з'єднання елементів виконують електрозварюванням, а монтажні – високоміцними болтами.

Маса металу цих прогонових будов приблизно у 2,5 разів більша, ніж сталезалізобетонних.

4.8. Прогонові будови з наскрізними фермами

Металеві прогонові будови з балковими фермами складаються з проїжджої частини, головних ферм, поздовжніх і поперечних зв'язків і оглядових пристроїв (рис. 56). Проїжджа частина може бути розташована знизу або зверху прогонової будови. Головні ферми з лінійних елементів мають різні контури поясів і системи решіток. Конструкція цих прогонових будов легко піддається уніфікації і стандартизації. Розроблені типові прогонові будови з фермами із високоміцних низьколегованих сталей та болто-зварним з'єднанням. Їх широко застосовують на мостах для середніх і великих прогонів у будь-яких кліматичних умовах.

Проїжджа частина металевих прогонових будов з фермами складається з мостового полотна, поздовжніх балок із зв'язками і поперечних балок.

Мостове полотно залізничних прогонових будов з наскрізними фермами влаштовують на дерев'яних або металевих поперечинах і на залізобетонних плитах.

Рис. 56. Частина прогонової будови з наскрізними фермами

Мостове полотно із залізобетонною безбаластною плитою складається з колійних рейок, конькутників, залізобетонної плити, тротуарів і поручнів.

Залізобетонна плита, як правило, не включена в спільну роботу з поздовжніми балками. Вона складається з блоків завтовшки 16 см, шириною 3,2 м і довжиною до 2 м. Верхні і бокові поверхні плит покриті гідроізоляцією. Блоки укладають на прокладний шар. Товщину прокладного шару приймають відповідно до профілю верхніх поясів балок і кривої будівельного підйому, але не менше 3 см і не більше 7 см. Блоки прикріплюють до поясів балок високоміцними шпильками.

Балкову клітку з поздовжніх і поперечних балок влаштовують у прогонових будовах з їздою низом, а також з їздою зверху при відстанях між осями головних ферм більше 2,5 м.

Розташування балок проїжджої частини буває в одному рівні з верхніми або нижніми поясами поздовжніх і поперечних балок в одній площині, поверхове – в різних рівнях. Розташування балок однакової висоти в одному рівні спрощує конструкцію прикріплення поздовжніх балок до поперечних і звичайно застосовується в прогонових будовах з їздою низом. Розташування балок з верхніми поясами в одній площині ускладнює прикріплення поздовжніх балок і застосовується при великій висоті поперечних балок у прогонових будовах великої ширини. Поверхове розташування поздовжніх балок на поперечних збільшує будівельну висоту прогонових будов, зменшує висоту опор і звичайно застосовується в прогонових будовах з їздою зверху.

Поздовжні і поперечні балки сучасних прогонових будов є зварними двотаврами, що складаються з вертикального листа (стінки) і двох горизонтальних листів (поясів). Висота балок складає $\frac{1}{5} \div \frac{1}{7}$ їх прогону. Стінки балок мають товщину не менше 12 мм. Якщо товщина стінки менше $\frac{1}{50}$ її висоти, то стінку зміцнюють вертикальними ребрами жорсткості проти втрати місцевої стійкості при згинанні. Ширина стисненого поясу має бути не більше 20 товщин поясу і не менше 20 мм. Відстань між осями поздовжніх балок призначають не більше 1,9 м.

Зв'язки між поздовжніми балками влаштовують для забезпечення загальної стійкості балок і вирівнювання їх роботи (прогинів) під навантаженням (рис. 57). Поздовжні зв'язки розташовують у рівні верхніх поясів балок так, щоб поперечина мостового полотна при згинанні не натискала на них. Поперечні зв'язки розміщують на відстанях не більше двох висот балок. Елементи зв'язків виконують з одиночних кутиків перерізом не менше 80×80×8 мм і прикріплюють

високоміцними болтами. Довжина панелей поздовжніх зв'язків, положення вертикальних ребер жорсткості і відстані між поперечними зв'язками мають бути взаємно пов'язані.

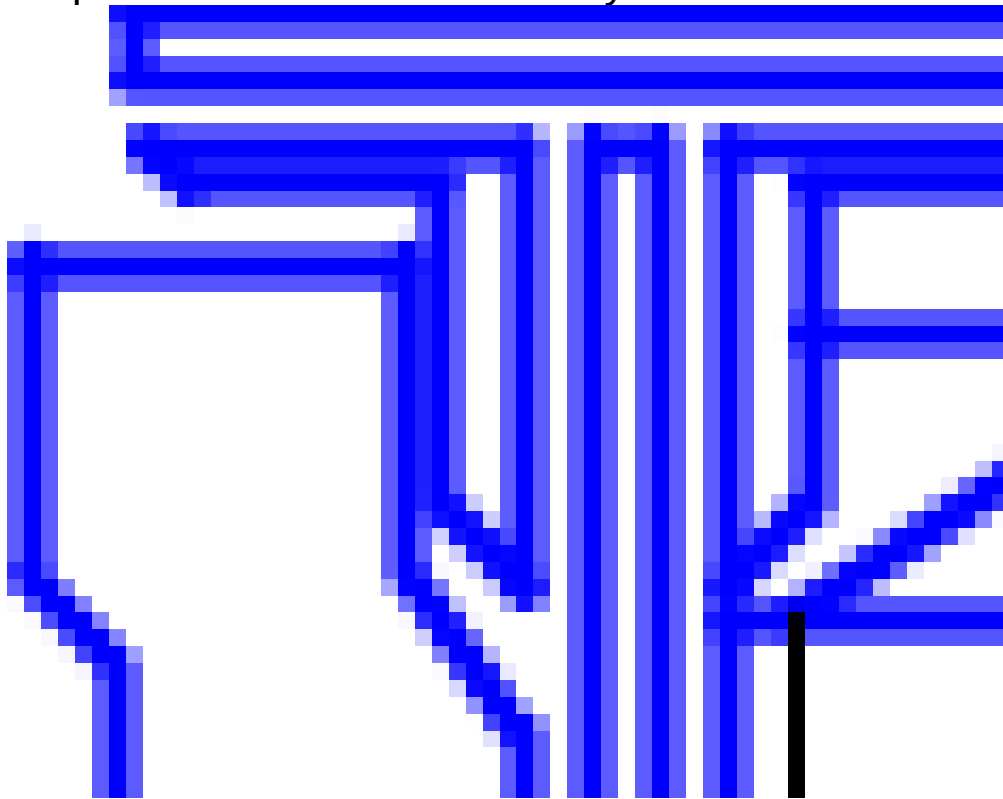


Рис. 57. Поперечні зв'язки між поздовжніми балками:
1 - фасонка $\delta = 10$ мм; 2 - кутики зв'язків $80 \times 80 \times 10$ мм; 3 - листовий шарнір $\delta = 10$ мм

Поздовжні балки з'єднують з поперечними фрикційними болтами за допомогою вертикальних кутиків перерізом $100 \times 100 \times 12$ мм, що прикріплюють стінки поздовжніх балок до поперечних, і горизонтальних накладок («рибок»), що з'єднують пояси поздовжніх балок. Якщо поздовжні балки мають меншу висоту, ніж поперечні, то їх прикріплюють за допомогою «столика», вертикальних кутиків і горизонтальних накладок (рис. 58). При поверховому розташуванні балок проїжджої частини стінки поздовжніх балок з'єднують вертикальними накладками, а пояси - горизонтальними. Нижні пояси поздовжніх балок прикріплюють до верхніх поясів поперечних балок болтами.

Стінки поперечних балок під поздовжніми підсилюють опорними ребрами.

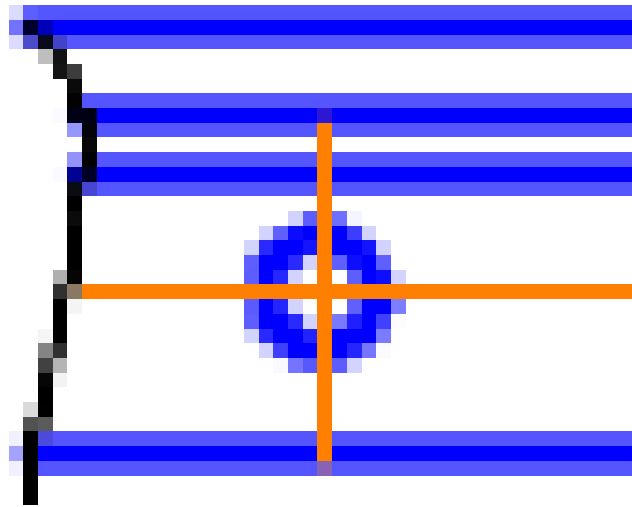


Рис. 58. Прикріплення поздовжньої балки до поперечної із «столиком» і двома «рибками» ($l = 158,4$ м):

1 – «рибки» перерізом 240×12 мм; 2 – «столик» із стінки $\delta = 10$ мм і чотирьох кутиків $100 \times 100 \times 10$ мм; 3 - нижні «рибки» перерізом 240×12 мм

Поперечні балки прикріплюють до головних ферм високоміцними болтами за допомогою вертикальних кутиків і трикутних фасонок, прикріплених до верхніх поясів балок. Нижні пояси поперечних балок прикріплюють до фасонок нижніх поздовжніх зв'язків (рис. 59).

Навантаження від мостового полотна передаються на поздовжні балки, а потім на поперечні балки і головні ферми, тому балки працюють на згинання. Крім того,

деформація поясів головних ферм викликає в поздовжніх балках розтягування (при їзді низом) або стиснення (при їзді зверху), а в поперечних балках – вигин у горизонтальній площині. Балки проїжджої частини можна частково виключити зі спільної роботи з поясами головних ферм улаштуванням поздовжньо-рухомого обпирання (розриву) поздовжніх балок.

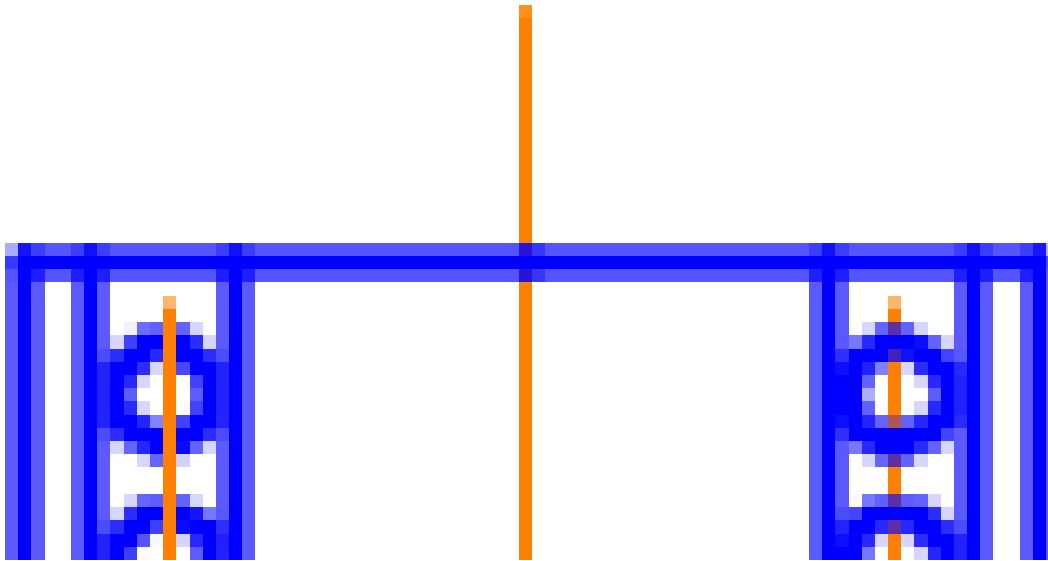


Рис. 59. Поперечна балка (клепана) за типовим проектом:
1 – кутова фасонка $\delta = 12$ мм; 2 – кутик жорсткості; 3 – накладка $\delta = 12$ мм; 4 - кутик $100 \times 100 \times 10$ мм; 5 – прокладка $\delta = 30$ мм

Головні ферми сталевих прогонових будов є плоскими геометрично незмінними стержневими конструкціями, що складаються з елементів нижнього і верхнього поясів і елементів решітки: розкосів, стояків і підвісок. Сучасні головні ферми мають, як правило, зварні елементи, з'єднані у вузлах високоміцними болтами. Ферми мають різні контури поясів і системи решітки.

Контур поясів суттєво впливає на розподіл і величину зусиль в елементах ферм, визначає конструктивні, технологічні і експлуатаційні якості ферм, а також витрату сталі, трудомісткість і вартість виготовлення і монтажу. Головні ферми мають полігональні або паралельні пояси.

Ферми з полігональними поясами при їзді низом мають верхній полігональний пояс (рис. 60, а, 61), а при їзді зверху – нижній (рис. 60, б). Ці ферми мають велику кількість елементів різної довжини і різних вузлів через різні нахили елементів, що підвищує трудмісткість і вартість їх виготовлення і монтажу.

Ферми з паралельними поясами (рис. 60, в, г, та 62) мають на 2 ÷ 5% більшу масу сталі, ніж ферми з полігональними поясами, але меншу трудмісткість і вартість виготовлення і монтажу завдяки великій кількості однотипних елементів і вузлів. Крім того, горизонтальний верхній пояс зручний для переміщення складального крана, що спрощує і скорочує терміни монтажу прогонових будов. У даний час перевагу віддають фермам з паралельними поясами.

Решітки ферм складаються з похилих елементів - розкосів, що працюють на розтягування та стиснення; вертикальних елементів - стояків, що працюють на стиснення, і підвісок - на розтягування, а також із стяжок і розпірок для зменшення вільної довжини елементів. Головні ферми мають розкісну, ромбічну трикутну, шпренгельну і інші решітки.

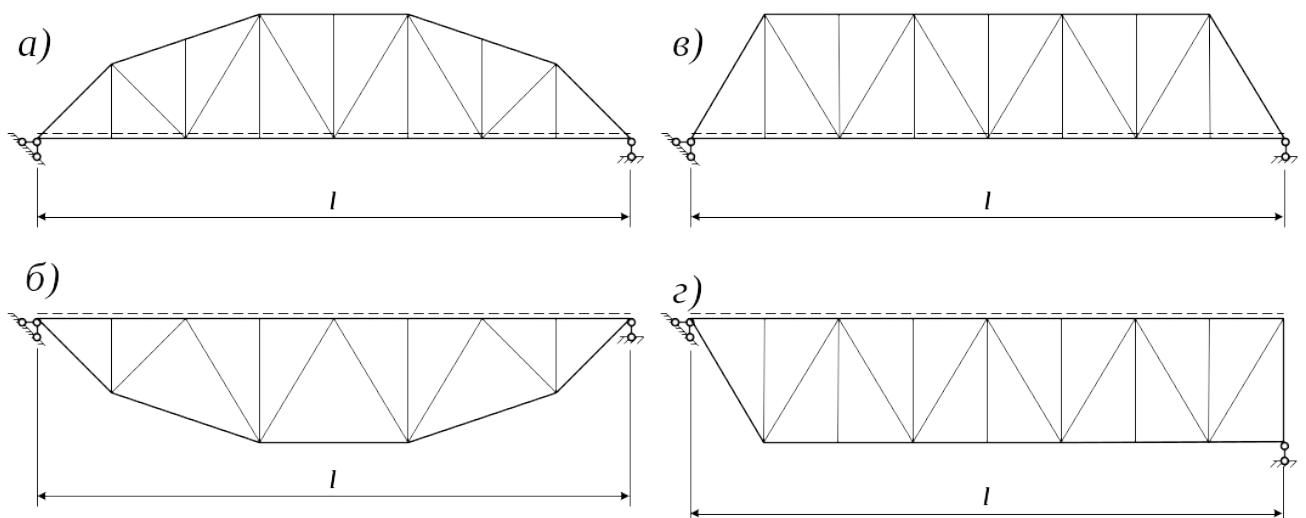


Рис. 60. Схеми головних ферм



Рис. 61. Металева наскрізна ферма з верхнім полігональним поясом



Рис. 62. Металева наскрізна ферма з паралельними поясами

Решітки (рис. 63, в, г) розкосів складаються з низхідних переважно розтягнутих розкосів і стиснутих стояків або з висхідних переважно стиснутих розкосів і розтягнутих підвісок. Для великих прогонів застосовують напіврозкісні (рис. 63, е) і багаторозкісні (рис. 63, д) решітки.

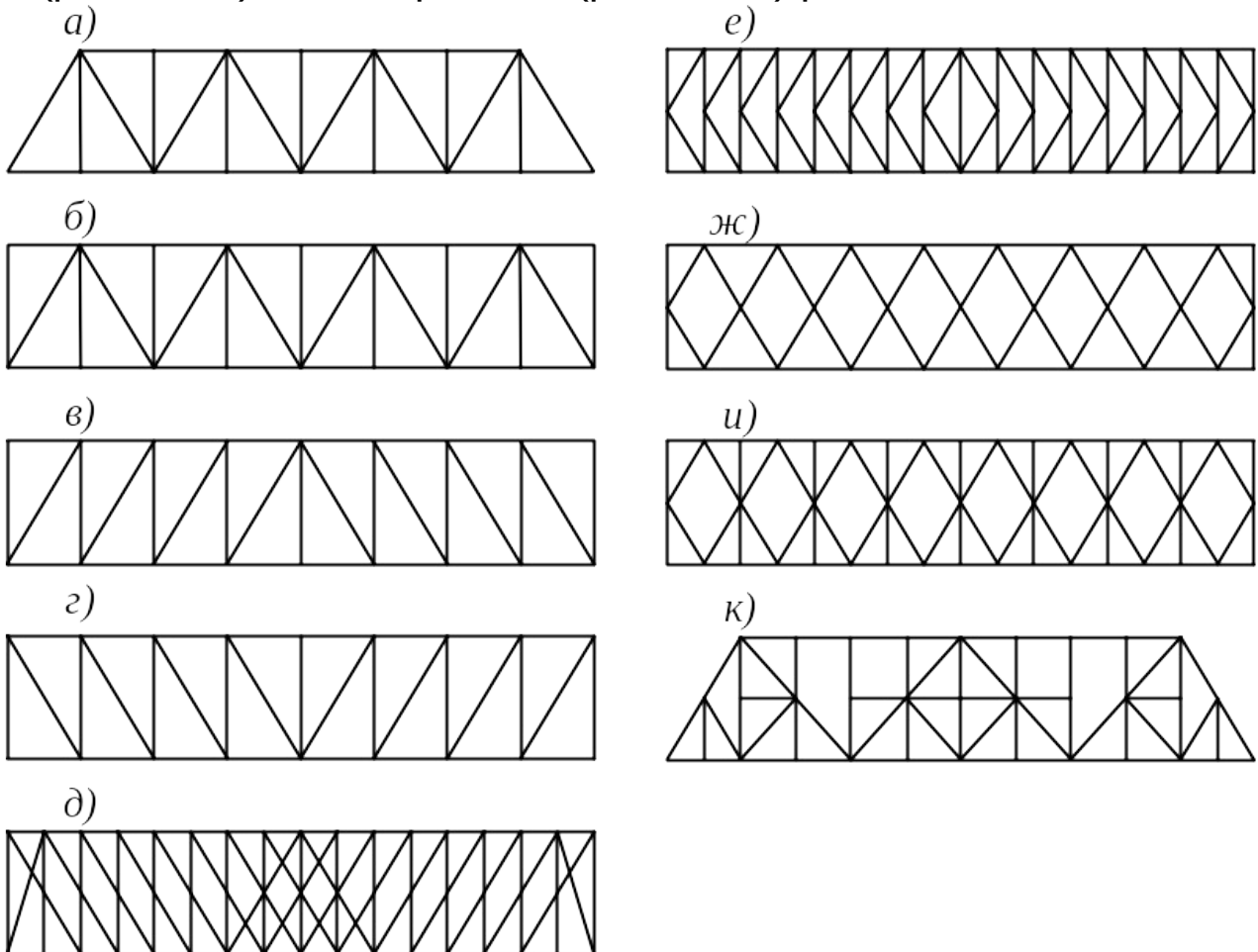


Рис. 63. Схеми решітки головних ферм:

а, б – трикутні; в – розкісна з висхідними розкосами; г – розкісна з низхідними розкосами; д – багаторозкісна; е – напіврозкісна; ж, и – ромбічні; к – трикутна шпренгельна

Ромбічні решітки (рис. 63, ж, и) складаються з розкосів, що перехрещуються, і одного горизонтального або вертикального елемента, що забезпечує геометричну незмінність ферми. Характерна особливість ромбічних решіток полягає в тому, що вона має крайні середні вузли, утворені крайніми розкосами. Для великих прогонів

застосовують ромбічні решітки з напівпідвісками і з напівпідвісками і напівстояками.

Трикутні решітки (рис. 63, а, б та 62) складаються з висхідних і низхідних розкосів із стояками або із стояками і підвісками, що зменшують довжину панелей ферм. Складанням простих трикутних решіток можна одержати багаторешітчасту, подвійну трикутну (дворешітчасту), хрестову і подвійну трикутну з напівпідвісками і напівстояками решітки.

Шпренгельні решітки (рис. 63, к) складаються з основних або трикутних решіток розкосу і шпренгелів, розташованих у верхнього або нижнього поясів.

Окрім вказаних, застосовують безрозкісні ферми, що мають між поясами лише вертикальні елементи – стояки. Незмінність цих ферм забезпечується жорсткими вузлами. Елементи їх працюють на стиснення або розтягування і на згинання.

Вибір виду решітки ферми проводять шляхом порівняння витрати сталі, кількості елементів і вузлів, трудмісткості, вартості і інших техніко-економічних показників.

Для головних ферм малих прогонів найкращими є прості трикутні решітки, для середніх прогонів (до 110 м включно) – трикутна решітчаста з підвісками і стояками, які зменшують довжину панелей ферм, прогони поздовжніх балок, знижують масу сталі проїжджої частини, а також скорочують вільну довжину верхніх поясів. Для великих прогонів (більше 120 м) застосовують трикутні решітки з підвісками, стояками і шпренгелями у нижнього поясу, що дозволяють зберегти оптимальну довжину панелей і кут нахилу розкосів при великій висоті ферм. Для зменшення вільної довжини верхніх стиснених поясів підвіски шпренгелів продовжують до верхніх поясів, а для зменшення вільної довжини стояків і підвісок ставлять горизонтальні стяжки.

Основні розміри головної ферми – розрахунковий прогін, висота ферми і довжина панелі.

Розрахунковий прогін ферми – відстань між центрами опорних вузлів по горизонталі. Для сучасних прогонових будов залізничних мостів його приймають від 33 до 110 м, кратним 11 м, а також 127,4; 144,8 і 158,4 м. Для можливості улаштування прогонових будов на існуючі опори необхідний розрахунковий прогін отримують зміною довжини крайніх панелей ферм.

Висота головної ферми – відстань між осями перерізів нижнього і верхнього поясів по вертикалі. Її призначають із умов мінімальної витрати сталі, необхідної жорсткості ферми і габариту наближення конструкцій. Висота ферм звичайно складає $\frac{1}{5} \div \frac{1}{7}$ розрахункового прогону. У залізничних мостах з їздою низом висоту головних ферм приймають не менше 8,5 м для безперешкодного руху транспорту.

Довжина панелі ферми, тобто відстань між центрами сусідніх вузлів поясів, впливає на масу сталі головних ферм, балок проїжджої частини і зв'язків між головними фермами. Збільшення довжини панелей зменшує кількість елементів і вузлів ферми, але збільшує прогони поздовжніх балок, масу сталі проїжджої частини. Довжину панелей приймають рівною $5,5 \div 11$ м.

Кут нахилу розкосів впливає на конструкцію вузлів ферми. При значних відхиленнях кута нахилу розкосів від 45° збільшуються розміри вузлових фасонних листів і витрата сталі. Найвигідніший кут нахилу розкосів до горизонталі $40 \div 50^\circ$.

Висота ферми, довжина панелі і кут нахилу розкосів взаємозв'язані. При збільшенні прогону і висоти ферм оптимальна довжина панелі та кута нахилу розкосів досягаються застосуванням підвісок, стояків і шпренгелів.

Відстань між осями ферм визначається вимогами горизонтальної жорсткості і стійкості проти перекидання прогонової будови, а при їзді низом – і габаритом

наближення будов. За умовою горизонтальної жорсткості відстань між осями ферм приймають не менше $1/20 \div 1/25$ прогону при їзді низом і не менше $1/18 \div 1/20$ прогону при їзді зверху; при цьому горизонтальні коливання прогонових будов під поїздами, що проходять, безпечні. За умовою габаритності для одноколійних залізничних прогонових будов з їздою низом відстань між осями ферм має бути не менше 5,5 м, а для двоколійних - не менше 9,6 м.

Для підвищення рівня уніфікації, покращення технології виготовлення і монтажу, зниження трудомісткості і вартості головні ферми близьких прогонів приймають однакової системи, висоти і панелі. Так, наприклад, сучасні головні ферми прогонами 88 і 110 м мають паралельні пояси, трикутні решітки з підвісками і стояками, однакові висоту 15 м, довжину панелей 11 м і відстань між осями ферм 5,8 м.

Елементи головних ферм є прямолінійними стержнями, що сприймають великі поздовжні зусилля і тому мають значні площі поперечного перерізу. У сучасних прогонових будовах найчастіше застосовують перерізи коробчастої і Н-подібної форми, що мають велику жорсткість у вертикальній і горизонтальній площинах.

Коробчасті перерізи (рис. 64, а, в, д, е, н, с, у, ф, х, ц) складаються з двох вертикальних і двох горизонтальних листів, жорстко з'єднаних зварними швами. Вертикальні листи є основними і товщими, ніж горизонтальні. Коробчасті перерізи мають раціональний розподіл металу, велику жорсткість при згинанні і крученні. Вони економічні за витратою сталі, менш схильні до корозії, але складніші для виготовлення.

Елементи поясів ферм бувають коробчастого перерізу з нижнім горизонтальним перфорованим листом, герметичні – з суцільних листів і з випусками верхнього або нижнього горизонтального листа для прикріплення елементів зв'язків.

Опорні і проміжні стиснуті розкоси бувають також коробчастого перерізу з одним або двома перфорованими листами і герметичні.



Рис. 64. Сучасні перерізи елементів клепаних і зварних ферм:

а, в, д, е, н, с, у, ф, х, ц – коробчасті; *б* – таврові; *г, ж, и, т* – Н-подібні; *к, л, м, п, р* – двотаврові; *1* – сполучні елементи; *2* – перфорований лист

Для можливості очищення і фарбування внутрішніх поверхонь елементів і установлення монтажних болтів перфоровані листи мають овальні отвори завширшки 270 і довжиною 600 мм.

Коробчасті елементи з суцільних листів герметизують установленням по їх кінцях суцільних поперечних діафрагм або відгином і з'єднанням горизонтальних листів або установленням підковоподібних заглушок, що перешкоджають проникненню всередину коробок вологи, снігу і бруду. Застосування герметичних елементів скорочує площу фарбування елементів і уповільнює корозію сталі, що знижує експлуатаційні витрати і збільшує їх термін служби.

Н-подібні перерізи (рис. 64, *г, ж, и, т*) складаються з двох вертикальних і одного горизонтального листа, з'єднаних зварюванням. Перевагою їх є проста відкрита конструкція, зручна для виготовлення; трудомісткість їх виготовлення в 1,35÷1,65 разу менша за коробчасті. Недоліки Н-подібних перетинів полягають: 1) у можливості забруднення і необхідності частого очищення і фарбування горизонтальних елементів; 2) у небезпеці швидкої корозії сталі через накопичення в них води, снігу і бруду, незважаючи на дренажні отвори в листах діаметром 50 мм; 3) у непрямому перекритті стику вертикальними накладками, що призводить до місцевих перенапружень металу під час переходу зусилля з горизонтального листа у вертикальні накладки і знову в лист; 4) у трудності розвитку поперечного перерізу, обмеженого місцевою стійкістю виступних вертикальних листів; 5) у меншій жорсткості відносно горизонтальної осі. Тому Н-подібні перетини застосовують для похилих і вертикальних елементів, що сприймають невеликі зусилля.

Елементи головних ферм мають бути міцними і стійкими, мати просту конструкцію з мінімальним числом деталей і найменшою довжиною зварних швів, зручну для виготовлення, транспортування і монтажу, а також для огляду, фарбування і посилення.

Розміри перерізів елементів призначають відповідно до діючих зусиль, маркою сталі, вимогами технології

виготовлення, монтажу і експлуатації. Висоту перерізів елементів звичайно приймають не більше $\frac{1}{15}$ їх довжини. Ширину перерізів призначають із умови приблизно рівної гнучкості елемента в площині і з площини ферми. Всі елементи ферми повинні мати однакову ширину для простоти з'єднання їх у вузлах. Внутрішні розміри коробчастих перерізів повинні бути не менше 440 ÷ 460 мм для можливості роботи дводугового зварювального апарату. Товщина вертикальних листів з вуглецевої сталі повинна бути не більше 50 мм, а з низьколегованої – не більше 40 мм. Горизонтальні листи повинні мати товщину не менше 10 мм. Співвідношення між товщиною і шириною листів повинні задовольняти вимоги норм проектування мостів, що гарантують місцеву стійкість перерізів елементів.

Вузли ферм є з'єднаннями кінців елементів, осі яких збігаються в одній точці – центрі вузла. До вузлів ферм також прикріплюють поперечні балки і елементи зв'язків.

Кінці елементів ферм з'єднують за допомогою фасонних листів: фасонок-накладок, що охоплюють кінці елементів, фасонок-вставок, замінюючих у вузлі вертикальні листи елементів і із стиками поясів поза вузлом і фасонок-приставками, прикріпленими до поясів ферм. У сучасних фермах застосовують фасонки-накладки з монтажним стиком елементів поясів в центрі вузла, що спрощує заводське виготовлення елементів, дозволяє складати ферми будь-яким способом і в будь-якому напрямі, скорочує кількість монтажних високоміцних болтів.

Фасонка має бути простої форми, без вхідних кутів, мінімальних розмірів і завтовшки не менше 12 мм. Для зниження трудомісткості і підвищення якості виготовлення форму і розміри вузлових фасонних листів і стикових накладок, а також розташування отворів для монтажних болтів уніфікують, що дає можливість застосовувати однакові кондуктори-шаблони, що забезпечують високу точність і взаємозамінюваність деталей.

Конструкція вузлів ферм повинна бути простою і зручною для монтажу, без щілин і вузьких місць, де може накопичуватися вода і бруд і які важко очищати і фарбувати.

Зв'язки між фермами. Головні ферми сталевих прогонових будов з'єднують у площинах верхніх і нижніх поясів поздовжніми зв'язками, а в площинах розкосів, підвісок або стояків – поперечними зв'язками (див. рис. 56).

Поздовжні зв'язки є фермами, поясами яких є пояси головних ферм.

Решітки зв'язків можуть бути системи трикутної, ромбічної, хрестової, піврозкосу та ін. Трикутні решітки мають просту конструкцію, але при стискуванні (розтягуванні) поясів виникає вигин їх у площині ферм. Ромбічні решітки при розташуванні розпірок у вузлах головних ферм удвічі зменшують вільну довжину елементів поясів з площини ферм, але також стають причиною згинання поясів. Кращими є хрестові решітки, в яких згинання поясів при їх деформації перешкоджають розпірки або поперечні балки. Піврозкоси і подвійну трикутну з розпірками, системи поздовжніх зв'язків застосовують у широких, наприклад, двоколійних прогонових будовах. Елементи зв'язків влаштовують з прокатних або зварних кутиків, таврів, двотаврів або швелерів. Форму і розміри перерізів приймають залежно від зусиль і вільної довжини елементів. При невеликих зусиллях і малій довжині діагоналі зв'язків застосовують кутикового або таврового перерізу, а при великих зусиллях і довжині – двотаврового. Для зменшення вільної довжини діагоналі зв'язків прикріплюють до поясів поздовжніх балок або до нижніх фасонок поперечних зв'язків між поздовжніми балками. Гальмівні рами влаштовують у залізничних прогонових будовах з поздовжніми балками, не з'єднаними з поздовжніми зв'язками головних ферм. Вони передають поздовжні гальмівні зусилля від балок проїжджої частини на пояси ферм і далі на нерухомі опорні частини. Гальмівні

рами розташовують посередині прогону, а за наявності розривів поздовжніх балок – посередині ділянки між розривами поздовжніх балок. Рами утворюють із діагоналей поздовжніх зв'язків і додаткових розкосів або з діагоналей зв'язків і розпірок між поздовжніми балками.

Поперечні зв'язки між головними фермами розташовують у вертикальних площинах стояків і підвісок ферм або в площинах похилих проміжних розкосів, через $11 \div 12$ м. При малій висоті головних ферм поперечні зв'язки складаються з суцільної розпірки з жорсткими вузлами або стержневих фермочек. При великій висоті ферм зв'язки між верхом габариту наближення будов і верхніми поясами ферм мають крізне стержневе заповнення хрестової системи. Прогонові будови з їздою зверху мають поперечні зв'язки хрестової системи. Елементи поперечних зв'язків влаштовують з кутиків, таврів або двотаврів і прикріплюють до вузлових фасонки болтами.

Портальні рами передають вітрову і інші поперечні навантаження з верхніх поздовжніх зв'язків на опори. Їх розташовують по кінцях прогонових будов у площинах опорних розкосів або стояків, або перших підвісок головних ферм і влаштовують суцільної або хрестової системи.

Сучасні **типові прогонові будови** з балково-розрізними фермами виготовляють з низьколегованих сталей для звичайних і північних умов. Головні ферми їх мають паралельні пояси і трикутні решітки з підвісками і стояками при їзді низом і лише із стояками при їзді зверху. Пояси і стинуті розкоси ферм мають коробчасті перерізи, а розтягнуті розкоси, підвіски і стояки – Н-подібні. Балки проїжджої частини включені в спільну роботу з поясами головних ферм. Мостове полотно може бути з їздою на дерев'яних поперечинах і безбаластних залізобетонних плитах.

Важливою перевагою типових прогонових будов з фермами є високий ступінь уніфікації елементів і деталей, застосування зварних заводських з'єднань і монтажних з'єднань на високоміцних болтах, що знижує витрату сталі

на $6\div 10\%$ і трудомісткість виготовлення і монтажу на $12\div 18\%$.
Всі типові прогонові будови допускають складання їх навісним способом.

Типові прогонові будови з їздою низом мають розрахункові прогони $33\div 110$ м, кратні 11 м. Вони розбиті на три серії: у першу включені прогонові будови розрахунковими прогонами 33, 44 і 55 м, у другу – 66 і 77 м і в третю – 88 і 110 м. Прогонові будови кожної серії мають однакову висоту головних ферм, довжину панелей і відстань між осями ферм, що забезпечує велику кількість однотипних елементів головних ферм, зв'язків і балок проїжджої частини.

Типові прогонові будови з їздою зверху мають розрахункові прогони 44, 55 і 66 м. Вони мають однакову довжину панелей і відстань між осями головних ферм, а прогонові будови 44 і 55 м – однакову висоту головних ферм, що забезпечує високий ступінь уніфікації елементів.

4.9. Балково-нерозрізні і консольні, аркові, рамні і комбіновані прогонові будови

Балково-нерозрізні прогонові будови. Головною несучою частиною цих прогонових будов є багатопрогонові статично невизначні суцільностінчасті балки або стержневі ферми, що опираються на одну шарнірно-нерухому опорну частину і дві або більше шарнірно-рухомі.

Перевагами балково-нерозрізних прогонових будов у порівнянні з розрізними є: 1) менша маса сталі при великих прогонах; 2) велика вертикальна і горизонтальна жорсткість; 3) плавний контур лінії прогинів, що забезпечує високі швидкості руху транспортних засобів і зниження їх динамічної дії; 4) зменшення об'єму кладки опор, що сприймають центральний вертикальний тиск; 5) можливість навісного складання без посилення прогонових будов.

Основні недоліки їх такі: 1) значні переміщення кінця прогонової будови при зміні температури, що утруднюють улаштування і утримання з'єднання мостового полотна;

2) збільшення гальмівної сили, а отже, і об'єму опори, на яку вона передається.

При нерівномірних осіданнях опор у нерозрізних прогонових будовах виникають додаткові напруження. Проте сучасні методи розрахунку дозволяють визначати очікувані осідання опор і враховувати їх при проектуванні, а можливість регулювання положення опорних частин по висоті і інші способи дозволяють створювати оптимальний напружений стан, знижувати витрату сталі. Економічна ефективність балково-нерозрізних прогонових будов у порівнянні з розрізними зростає із збільшенням частки постійного навантаження, тобто із збільшенням довжини прогонів.

Прогонові будови з нерозрізними балками. За витратою сталі ці прогонові будови економічніші за розрізні при прогонах більше 44 м. Прогони нерозрізних балок з метою уніфікації конструкції доцільно приймати однаковими. При трьох прогонах і більше крайні прогони приймають рівними $0,7 \div 0,8$ середнього, що забезпечує зразкову рівність позитивних згинальних моментів у всіх прогонах. Проте конкретні умови проектування мостів часто приводять до значних відступів від оптимального розбиття на прогони.

Нерозрізні балки мають двотаврові або коробчасті (рис. 65) перерізи із сталевую ортотропною або залізобетонною плитою, включеною в спільну роботу із сталевими балками.



Рис. 65. Нерозрізна прогонова будова коробчастого перерізу

Висоту балок приймають постійною (рис. 66, а) або змінною (рис. 66, б, 67, 68), збільшеною над проміжними опорами для сприйняття великих опорних моментів; при цьому нижній пояс може мати прямолінійний вут або плавний контур, що краще в архітектурному відношенні, але ускладнює і здорожує виготовлення балок. При паралельних поясах висоту балок приймають рівною $\frac{1}{25} \div \frac{1}{35}$ більшого прогону, а при криволінійному нижньому поясі висота балок у середині головного прогону складає $\frac{1}{40} \div \frac{1}{60}$, а над проміжними опорами - $\frac{1}{20} \div \frac{1}{30}$ більшого прогону.

Для залізничних мостів розроблені балково-нерозрізні прогонові будови з їздою зверху прогонами $n \times 45$ і $45 + n \times 55 + 45$ м. Вони мають уніфіковані для всіх прогонів зварні коробчасті перерізи з вертикальними стінками постійної висоти і поясами – ортотропними плитами. Мостове полотно може бути з їздою на баласті, на дерев'яних поперечинах або з безпосереднім прикріпленням рейок до верхньої сталевий ребристої плити. Для зручності перевезення нерозрізні прогонові будови розчленовані на блоки довжиною від 16,5 до 23,5 м, збирають їх навісним способом консольним краном

ГЭПК-130 або на насипі з подальшим поздовжнім насуванням.

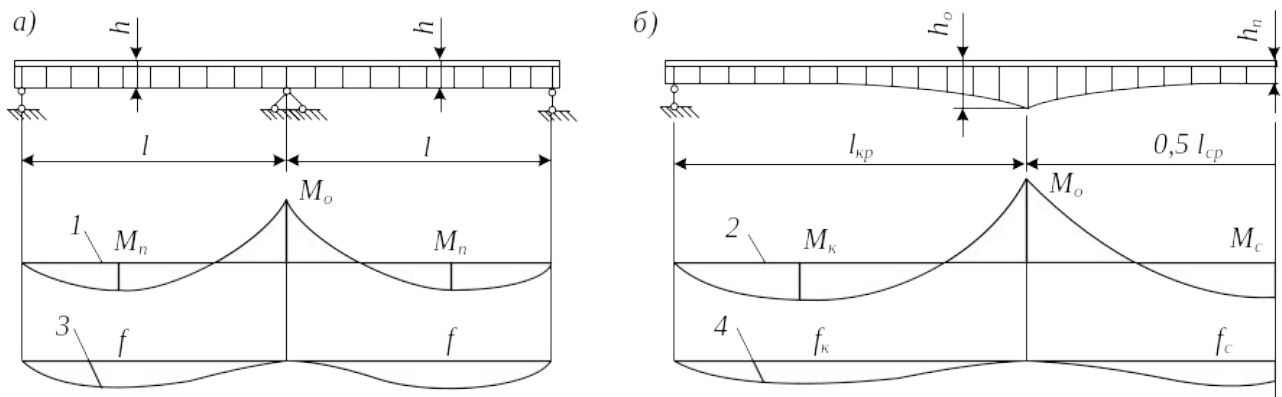


Рис. 66. Схеми нерозрізних балок:
1, 2 – епюри моментів; 3, 4 – лінії прогинів балок



Рис. 67. Нерозрізна металева прогонова будова



Рис. 68. Нерозрізний металевий міст

Прогонові будови з нерозрізними фермами. Ці прогонові будови в порівнянні з розрізними мають меншу масу сталі при прогонах 100 м і більше.

Нерозрізні головні ферми звичайно мають два - три прогони; більше число прогонів не дає помітної економії сталі, але значно збільшує переміщення кінця ферми і гальмівну силу.

Двопрогонові нерозрізні ферми мають звичайно однакові прогони, в трипрогонових (для економії сталі) крайні прогони рівні $0,7 \div 0,8$ середнього. Для взаємозамінюваності розрахункові прогони нерозрізних ферм приймають рівними прогонам розрізних ферм.

Нерозрізні ферми можуть бути з паралельними поясами (рис. 69, а, б) і полігональним верхнім (рис. 69, в) або нижнім поясом. Висоту ферм приймають рівною $\frac{1}{3} \div \frac{1}{10}$ прогону; при полігональному контурі поясів висоту ферм над проміжними опорами збільшують для зменшення зусиль у поясах. Нерозрізні ферми мають решітки, аналогічні розрізним. Довжину панелей у всіх прогонах ферми приймають однаковою. В середньому опорному вузлі бажано мати розкоси, що сходяться до нього.

Вибір контуру поясів і типу решітки ферм, видів поперечних перерізів і способів з'єднання елементів, системи поздовжніх і поперечних зв'язків, конструкції і положення проїжджої частини і виду мостового полотна

балково-нерозрізних прогонових будов проводять так само, як для розрізних. Внаслідок більшої горизонтальної жорсткості нерозрізних прогонових будов відстань між осями головних ферм за інших рівних умов приймають меншу, ніж у розрізних.

Типові прогонові будови з нерозрізними фермами під одну залізничну колію з їздою низом мають прогони: $2 \div 110$; $2 \div 132$; $110 + 132 + 110$ і $132 + 154 + 132$ м, а з їздою зверху – $2 \div 55$ і $2 \div 65$ м. Вони запроектовані з термічно зміцненої сталі марки 10ХСНД і можуть застосовуватися в звичайних і північних умовах.

Прогонові будови з їздою низом мають головні нерозрізні ферми з паралельними поясами, розрахунковою висотою 15 м і панеллю 11 м (див. рис. 69, а, б). Відстань між осями головних ферм $B = 5,8$ м. Елементи і вузли ферм, балки проїжджої частини, поздовжні і поперечні зв'язки нерозрізних прогонових будов прийняті такими ж, як у типових розрізних. Балки проїжджої частини включені в спільну роботу з поясами головних ферм. Елементи зв'язків прийняті таврового і двотаврового перерізів з перфорованою стінкою.

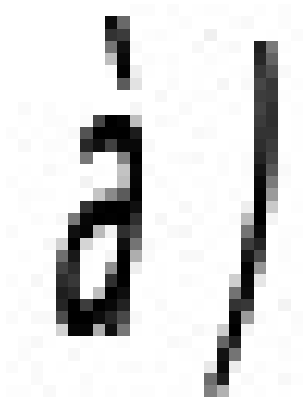


Рис. 69. Схеми прогонових будов з нерозрізними фермами:
1 – верхні поздовжні зв'язки; 2 – головна ферма; 3 – портална рама;
4 – нижні поздовжні зв'язки; 5 – балки проїжджої частини;
6 – поперечні зв'язки

Прогонові будови з їздою зверху мають двопрогонові з паралельними поясами ферми заввишки 6,0 м, панеллю 5,5 м; відстань між осями головних ферм – 3,9 м. Балки проїжджої частини розташовані в площині верхніх поясів головних ферм і включені в спільну роботу з ними.

Важлива перевага типових нерозрізних прогонових будов полягає в тому, що елементи головних ферм і зв'язків, а також балки проїжджої частини виготовляють на заводах з максимальним використанням наявного устаткування і кондукторів типових розрізних прогонових

будов. При цьому заводські з'єднання виконують електрозварюванням, а монтажні – високоміцними болтами.

Балково-консольні прогонові будови. Головною несучою частиною цих прогонових будов є багатопрогонові шарнірні статично визначні суцільностінчасті балки або ферми. Вони складаються з підвісних і анкерних прогонових будов з однією або двома консолями (рис. 70). Прогін, що включає підвісну прогонову будову і консолі анкерного типу, називають збірним. Залежно від числа консолей в анкерної прогонової будови розрізняють одноконсольні (рис. 70, а) і двоконсольні (рис. 70, б) балково-консольні прогонові будови.

Перевагами балково-консольних прогонових будов є: 1) менша маса сталі в порівнянні з балково-розрізними; 2) відсутність додаткових напружень при нерівномірному осіданні опор; 3) можливість застосування при слабких ґрунтах; 4) зменшення об'єму кладки опор; 5) менші довжина «температурних прогонів» (див. рис. 70, б) і гальмівна сила в порівнянні з нерозрізними; 6) можливість навісного складання без посилення прогонових будов.

Основні недоліки: 1) знижена вертикальна і горизонтальна жорсткість; 2) значний прогин кінця консолей; 3) наявність перелому лінії прогинів (див. рис. 70, а), що збільшує динамічну дію і обмежує швидкість руху, а також призводить до розладу з'єднань підвісних прогонів з консолями; 4) велика кількість сполучень проїжджої частини, що ускладнюють конструкцію і експлуатацію прогонової будови.

Конструкція консольних прогонових будов із суцільними балками аналогічна нерозрізним і відрізняється лише наявністю шарнірних з'єднань підвісних прогонів з

консолями. Консольні балки мають двотаврові або коробчасті перерізи із сталеву ортотропною або залізобетонною плитою постійної або змінної висоти.

Прогонові будови з консольними фермами складаються з проїжджої частини, головних ферм, поздовжніх і поперечних зв'язків. Конструкція проїжджої частини їх аналогічна розрізним прогоновим будовам і розташована зверху, знизу, посередині або в двох рівнях. Консольні ферми мають паралельні або полігональні пояси і різні системи решітки. Ферми з горизонтальним верхнім і полігональним нижнім поясами економічні за витратою сталі при великих прогонах, зменшують висоту проміжних опор, зручні для навісного складання. Довжину крайніх прогонів ферм приймають рівною 0,7÷0,8 середніх, а довжину консолей – 0,2 ÷ 0,4 великого прогону. Висоту ферм над проміжними опорами за умовою жорсткості приймають рівною 0,5 ÷ 0,7 довжини консолей, а у середині анкерних прогонів – дещо менше, ніж у розрізних. Прогин кінця консолей не повинен перевищувати $\frac{1}{250}$ довжини консолей.

Підвісні прогонові будови з'єднують з консолями за допомогою підвісок, що коливаються, або стояків, а також звичайних опорних частин. Конструкція цих сполучень не повинна перешкоджати повороту опорних перетинів обох кінців і поздовжньому переміщенню одного кінця підвісної прогонової будови. Підвіски, що коливаються, прикріплюють до вузлів ферм циліндровими болтами-шарнірами. Для збільшення площі зминання шарнірів, товщину вузлових фасонки і кінців підвісок збільшують за допомогою накладок. Нульові елементи поясів з'єднують з фасонками: при шарнірно-рухомому сполученні ферм – кутиками або швелерами, а при шарнірно-нерухомому – болтами-шарнірами.

Стояки, що коливаються, опирають на вузли ферм за допомогою циліндрових або сферичних подушок. При цьому обпирання верхніх або нижніх вузлів підвісної прогонової будови на відповідні вузли консолей розміщують: на одному кінці – шарнірно-нерухомі, а на другому – шарнірно-рухомі опорні частини.

Аркові прогонові будови. Головною несучою частиною цих прогонових будов є суцільноствінчасті арки або аркові ферми. Характерна особливість арок полягає в тому, що при дії вертикального навантаження на їх опорах виникають вертикальні і горизонтальні (розпір) реакції, завдяки яким згинальні моменти в арках менші, ніж в аналогічних балках. За статичними властивостями арки поділяються на безшарнірні (рис. 71, а), двошарнірні (рис. 71, б) і тришарнірні (рис. 71, в) з їздою зверху, низом, посередині або в двох рівнях. Безшарнірні арки мають найменшу масу сталі, але при зміні температури і переміщеннях опорних замурувань в їх перетинах виникають додаткові напруження, тому безшарнірні арки вимагають міцних і надійних основ і фундаментів. Двошарнірні арки менш чутливі до переміщень їх опорних шарнірів, тому вони застосовуються найбільш широко. Тришарнірні арки статично визначні і можуть застосовуватися при слабких ґрунтах. Окрім вказаних, застосовують багатопрогонові арково-нерозрізні (рис. 71, з) і арково-консольні (рис. 71, д) прогонові будови, що мають меншу витрату сталі, ніж однопрогонові. Арково-нерозрізні прогонові будови, крім того, забезпечують плавний швидкісний рух транспортних засобів, але вимагають регулювання положення опорних частин. Арково-консольні прогонові будови мають складні з'єднання підвісних прогонів з консолями і внаслідок перелому лінії прогинів підвищену динамічну дію транспортних засобів.

Основними перевагами аркових прогонових будов у порівнянні з балково-розрізними є: 1) менша витрата сталі при великих прогонах; 2) велика вертикальна жорсткість; 3) кращі архітектурні якості.

Недоліки: 1) складність уніфікації і типізації криволінійних аркових конструкцій; 2) збільшення об'єму кладки опор; 3) необхідність улаштування складніших і дорожчих фундаментів, що сприймають, окрім вертикального тиску, горизонтальний розпір арок.

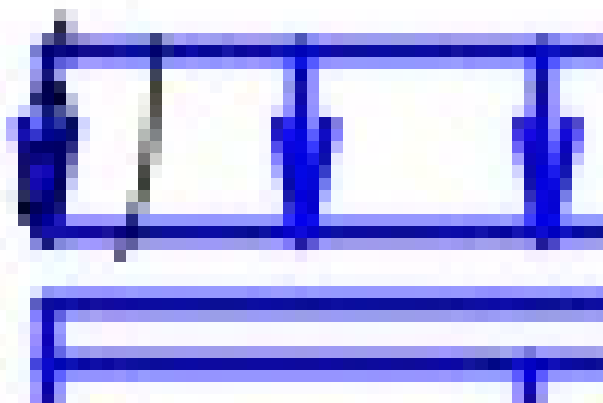
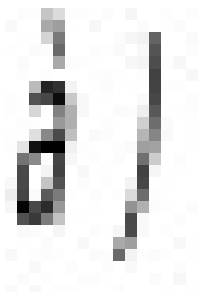


Рис. 71. Статичні схеми арок

Аркові прогонові будови звичайно застосовують у містах, а також при будівництві через великі водотоки і гірські ущелини.

Сталеві аркові прогонові будови складаються з мостового полотна, балок проїжджої частини, стояків (при їзді зверху) або підвісок (при їзді низом), суцільних арок або аркових ферм, поздовжніх і поперечних зв'язків. Мостове полотно і балки проїжджої частини мають конструкцію, подібну балковим прогоновим будовам. Надаркові стояки виконують двотаврового, коробчастого або кільцевого перерізу. Разом з поперечними балками проїжджої частини стояки утворюють рами з жорстким або шарнірним прикріпленням до арок. Підвіски звичайно мають Н-подібний

переріз. У площинах проїжджої частини і арок влаштовують поздовжні зв'язки хрестової, напіврозкосів або іншої системи. Поперечні зв'язки розташовують у площинах надаркових стояків або підвісок.

Конструкція суцільностінчастих арок. Поздовжні осі арок з суцільними стінками мають параболічний, круговий і інший контур. При параболічному контурі нормальний тиск в перерізах арки має менший ексцентриситет, внаслідок чого знижуються згинальні моменти, зменшується площа перерізу арки, скорочується витрата сталі. Арки кругового контуру мають простішу конструкцію, меншу трудомісткість і вартість виготовлення і монтажу, але вимагають більше сталі.

Розмір стріли підйому арок істотно впливає на розмір: чим менша стріла підйому, тим більше розмір арок і, отже, більший об'єм кладки опор. Пологістю арки називають відношення стріли підйому до прогону арки. Оптимальна пологість арок складає приблизно $\frac{1}{5} \div \frac{1}{6}$, не рекомендується застосовувати арки пологістю менше $\frac{1}{8} \div \frac{1}{10}$, у виняткових випадках пологість арок досягає $\frac{1}{15} \div \frac{1}{18}$.

Арки мають двотаврові, П-подібні, коробчасті і кільцеві перерізи, що складаються по можливості з одиночних товстих листів і в крайньому випадку – із зварних пакетів. Двотаврові перерізи застосовують для арок невеликих прогонів. Для дуже великих прогонів застосовують коробчасті перерізи з поздовжніми діафрагмами. Для збереження незмінності коробчастих перерізів ставлять поперечні діафрагми з отворами (лазами) для огляду і ремонту арок.

Висоту суцільних арок призначають рівною приблизно $\frac{1}{40}$ прогону. Висоту перерізів приймають постійною або змінною відповідно до епюри моментів. Арки змінної висоти мають меншу масу сталі, але велику трудомісткість виготовлення.

Відстань між осями крайніх арок за умовою поперечної жорсткості має бути не менше $\frac{1}{20}$ прогону.

Конструкція аркових ферм. Найбільш поширені двохарнірні аркові ферми мають серпоподібний контур поясів з найбільшою висотою посередині прогону, що поступово зменшується до опорних шарнірів. Такий контур поясів відповідає епюрі моментів і забезпечує найменшу масу, але внаслідок різних довжин елементів поясів і решітки ці ферми мають велику трудомісткість і вартість виготовлення.

Аркові ферми з паралельними поясами мають більшу кількість однотипних елементів, що знижує трудомісткість і вартість їх виготовлення. Ферми з паралельними поясами в середній частині і висотою, що зменшується, на кінцях мають середні показники між фермами з паралельними поясами і серпоподібними. Портальні аркові ферми, висота яких збільшується від середини прогону до опор, не відповідають епюрі моментів, мають велику масу сталі і трудомісткість виготовлення, але зручні для навісного складання від опор до середини.

Стріла підйому аркових ферм складає від $\frac{1}{4}$ до $\frac{1}{10}$ прогону, а висота – від $\frac{1}{14}$ до $\frac{1}{16}$ прогону.

Елементи аркових ферм мають коробчасті і Н-подібні перерізи, як у балкових ферм. Вузли аркових ферм також подібні балковим.

Рамні прогонові будови. Головною несучою частиною рамних прогонових будов є жорстко з'єднані в одну систему балки (ригелі) із стояками (рис. 72). Рами опирають на фундаменти звичайно за допомогою шарнірних опорних частин. Безпосереднє опирання рам на фундаменти істотно скорочує об'єм кладки опор, що знижує трудомісткість і тривалість будівництва.

Рамні прогонові будови мають різноманітну конструкцію. Вони бувають однопрогоновими (рис. 72, а) і багатопрогоновими, консольними і нерозрізними (рис. 72, б), з похилими стояками, або рамно-підкосної системи.

Рами невеликих прогонів і висоти мають ригелі і стояки двотаврового перерізу, а великих прогонів – коробчасті перерізи (рис. 72, в) або ферми (рис. 72, з).

Сталеві рамні прогонові будови застосовують у шляхопроводах, естакадах і віадукках, перекинутих через гірські ущелини і долини річок.

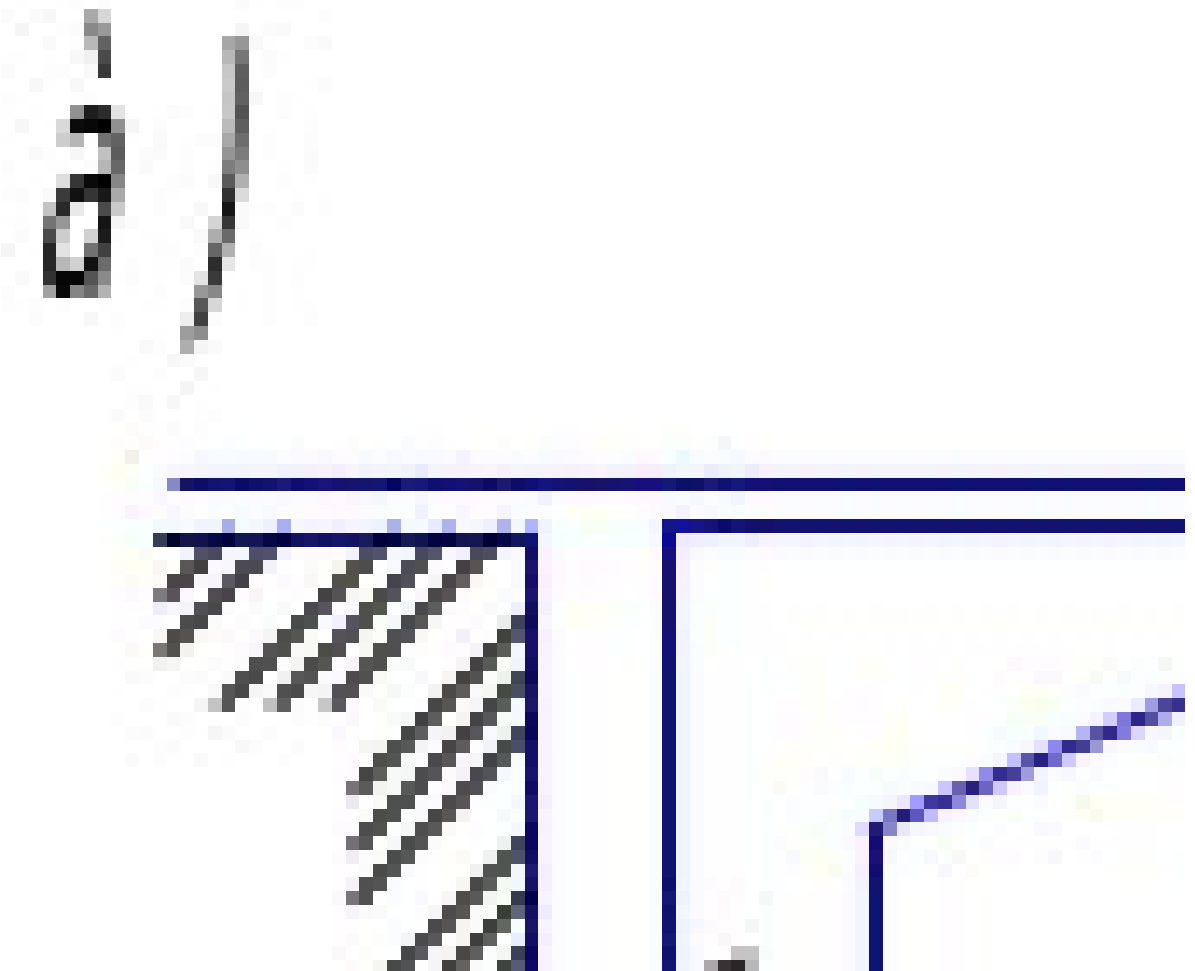


Рис. 72. Схеми рам:
1 – стояки; 2 – ригель; 3 – вставка

Прогонові будови комбінованих систем. Комбінованими називають прогонові будови, головна несуча частина яких складається з декількох об'єднаних простих систем, що спільно сприймають навантаження, наприклад, з арки із затягуванням, балки з аркою, балки з фермою та ін. Ці прогонові будови бувають одно- і

багатопрогоновими, нерозрізними і консольними. Вони мають статично невизначні, складні, індивідуальні конструкції.

Арка із затягуванням складається з жорсткої суцільної арки або стержневої аркової ферми з гнучким затягуванням, що з'єднує п'яти арок, які сприймають їх розпір, завдяки чому арки стають безрозпірними, що зменшує об'єм кладки і вартість опор, особливо при слабких ґрунтах. Арки з'єднані поздовжніми і поперечними зв'язками в стійку просторову конструкцію. Проїжджа частина прикріплена до арок підвісками.

Балка з гнучкою аркою складається з жорсткої суцільностінчастої балки або ферми і гнучкої арки, розташованої зверху або знизу балки. Проїжджа частина в першому випадку розташована між балками, в другому – зверху балки. При їзді низом розпір арок сприймають балки жорсткості, що зменшує об'єм кладки опор, а при їзді зверху – передається опорам моста. Балки жорсткості звичайно мають двотавровий або коробчастий переріз висотою $\frac{1}{40} \div \frac{1}{60}$ прогону, а гнучкі арки – Н-подібний, коробчастий або кільцевий. Навантаження в цій системі розподіляються між балкою і аркою пропорційно їх жорсткості.

Балка з підкосами складається з жорсткої балки або ферми і декількох пар підкосів, що підтримують балку або ферму. Балка працює в основному на згинання, а підкоси - на стиснення. Реакції підкошувань передаються на опори моста. Ця система має такі ж показники, як балка, посилена гнучкою аркою знизу.

Балки з фермами або ферми з жорстким нижнім поясом мають полігональний верхній пояс або паралельні пояси. Жорстка балка дозволяє застосовувати невузлове прикріплення поперечних балок, прості трикутні решітки, оптимальні панелі ферм і балок проїжджої частини.

Багатопрогонові комбіновані системи складаються з балкових і аркових ферм, з'єднаних в нерозрізну або консольну конструкцію (рис. 73, а), з нерозрізних балок з

гнучкими арками з їздою посередині (рис. 73, б) або зверху (рис. 73, в), а також нерозрізних балок, посилених над опорами піварками, попругами (рис. 73, г) або фермами (рис. 73, д). Ці системи мають високу вертикальну жорсткість, дозволяють регулювати величину і розподіл зусиль в елементах, що забезпечує економію сталі.

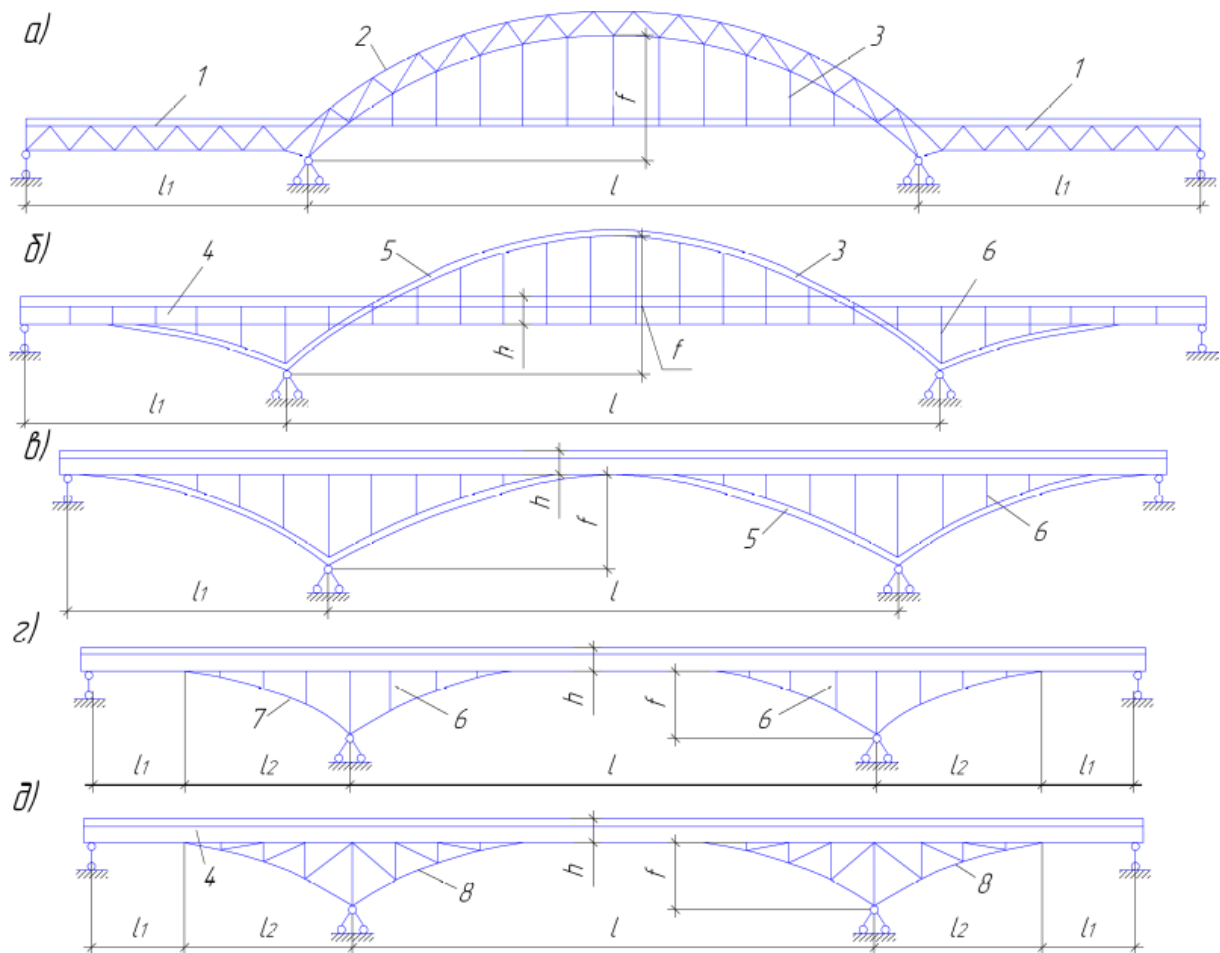


Рис. 73. Схеми багатопрогових комбінованих систем:
 1 – балкова ферма; 2 – аркова ферма; 3 – підвіска;
 4 – суцільностінчаста нерозрізна балка; 5 – гнучка арка; 6 – стояк;
 7 – гнучка піварка (попруга); 8 – стержнева ферма

Вантові і висячі комбіновані системи є одно- або багатопрогові балки або ферми, посилені гнучкими канатами або ланцюгами. У вантових системах прямолінійні гнучкі канати – ванти – мають радіальне (рис. 74, а, 75),

віялове (рис. 74, б), паралельне (рис. 74, в) і інше розташування в одній або двох площинах. Висячі системи мають кабелі, що вільно висять, або ланцюги, кінці яких закріплені за балки (рис. 74, з) або анкерні опори (рис. 74, д). Підвіски їх можуть бути вертикальними або похилими для збільшення жорсткості системи.

Вантові і висячі системи бувають з одним або двома вертикальними або похилими пілонами у вигляді П-подібних (рис. 74, а), А-подібних (рис. 74, б) і інших рам або стояків, що окремо стоять, із сталі або залізобетону.

Перевагами вантових і висячих систем є: 1) раціональне використання високоміцних сталей у розтягнутих елементах; 2) здатність перекривати дуже великі прогони; 3) висока економічність конструкцій при великих прогонах; 4) можливість навісного складання; 5) високі архітектурні якості. Основний недолік їх полягає в зниженій вертикальній і горизонтальній жорсткості.

Контрольні запитання для самоперевірки

1. Які види з'єднань застосовують у металевих мостах?
2. Які сталі можна використовувати для металевих прогонових будов?
3. Які види прокатної сталі використовують на металевих мостах?
4. З яких основних частин складаються металеві прогонові будови?
5. З яких основних частин складаються прогонові будови з суцільними балками?
6. Які балки складають проїжджу частину? Де розміщуються «рибки», опорні столики в прикріпленні поздовжніх балок до поперечних?
7. Чим відрізняються наскрізні ферми від балок із суцільною стінкою?

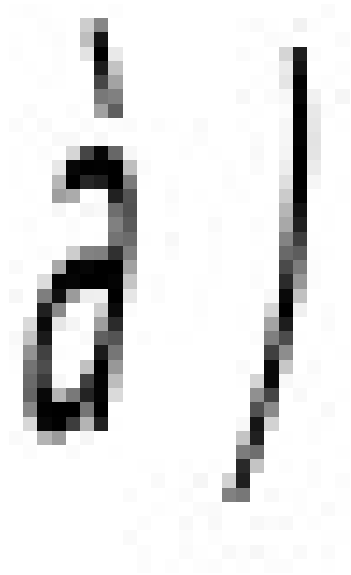


Рис. 74. Схеми вантових і висячих систем:

1 – пілон; 2 – канати-ванти; 3 – балка жорсткості; 4 – ланцюг;
5 – підвіска; 6 – кабель; 7 – ферма жорсткості; 8 – анкерна опора



Рис. 75. Вантовий міст

8. З яких елементів складаються ферми? Які існують види решіток ферм і контури їх поясів?
9. Вкажіть основні перерізи елементів ферм. Для чого служать сполучні решітки між гілками елемента і яких видів вони бувають?
10. Яку роль виконують фасонки у вузлах?
11. Для чого необхідні поздовжні і поперечні зв'язки і де вони розташовані в прогонових будовах?
12. Які з'єднання називають заводськими і які – монтажними?
13. Які є відмінності між сталевими та сталезалізобетонними прогоновими будовами?
14. Чим відрізняються нерозрізні і консольні прогонові будови від розрізних?

5. КОНСТРУКЦІЇ ОПОР ЗАЛІЗНИЧНИХ МОСТІВ

5.1. Загальні відомості

Опори служать для передачі навантаження від прогонових будов на ґрунт основи. Від міцності опор багато в чому залежить міцність і довговічність моста в цілому. Вартість опор залізничних мостів (з фундаментами) може перевищувати 50% загальної вартості моста. Будівництво опор в більшості випадків трудомісткий процес і забирає багато часу. Тому конструкція опор має бути економічною, відповідати вимогам індустриальних методів будівництва моста.

Розрізняють проміжні опори (бики) і кінцеві (стояни). При проектуванні проміжних опор, які звичайно розташовують у руслах і заплавах, необхідно враховувати водний і льодовий режими річки, від яких залежить вибір форми підводної частини опор. Проміжна опора повинна протистояти тиску льодяних полів і ударам окремих крижин під час льодоходу.

Стояни, крім прямого призначення – сприйняття навантаження від прогонової будови, – сприймають додаткове навантаження – тиск ґрунту насипу земляного полотна. При проектуванні кінцевих опор необхідно забезпечити плавний перехід (м'який в'їзд) від малої жорсткості земляного полотна і жорсткішої конструкції моста, виключивши можливість просідання колії безпосередньо перед стояном.

Конструкція опор може бути масивною і полегшеною. Для залізничних мостів у більшості випадків застосовують масивні конструкції. У шляхопроводах досить широко застосовуються опори полегшеного типу, що виконуються із залізобетону.

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

У сучасних умовах поверхні опор великих мостів облицьовують каменем тільки на річках з важким льодоходом (при товщині льоду більше 0,5 м). У цих випадках облицювання виконується з природного морозостійкого каменю міцністю не нижче 60 МПа, а при потужному льодоході або наявності стираючих наносів – не нижче 100 МПа. Допускається застосування облицювання із штучного каменю – литого каменю і бетонних блоків марки міцністю не нижче 400 і морозостійкістю не нижче за F 300.

5.2. Проміжні опори (бики)

Проміжні опори балкових мостів (рис. 76) складаються, як правило, з трьох основних частин: фундаменту, тіла опори і оголовка, до складу якого входить підфермова плита і армований майданчик для установки опорних частин (підфермовик). Для деяких конструкцій фундамент і тіло опори конструктивно не розділяються, продовження тіла опори (оболонка, паля) одночасно служить фундаментом.

Висотою опори H називається відстань від верху опори до уступу фундаменту; розмір опори по фасаду визначає її ширину, а розмір впоперек моста – довжину опори. Підфермовий майданчик повинен височити над розрахунковим горизонтом високих вод не менше 0,25 м, а над найвищим льодоходом – 0,5 м. Уступ фундаменту звичайно призначають на 0,5 м нижче за горизонт меженних вод, крім того, потрібно витримати розмір 0,25 м нижче за нижню поверхню льоду. На заплавах річок, у шляхопроводах уступ фундаменту розташовують на рівні поверхні землі з урахуванням зрізування.

Для мостів на річках з важким льодовим режимом характерне застосування масивних конструкцій. Ширина таких опор зверху коливається в межах 1,5 ÷ 3,5 м. У рівні уступу розмір по фасаду виходить за рахунок ухилу бічних

граней 30:1; 40:1, зрештою, розмір по уступу фундаменту визначається розрахунком на міцність і тріщиностійкість.

У колишніх проектах з верхової сторони таких опор розташовували льодорізи (рис. 76, а, 77) з ухилом різального ребра 1:1 ÷ 2:1. Улаштування льодорізів значно збільшує об'єм опори в цілому і не виправдовується досвідом експлуатації. Тому в даний час різальне ребро проектують з ухилом 10:1 ÷ 8:1, а в збірних конструкціях воно може бути вертикальним, такий пристрій називається водорізом (рис. 76, б та 78, а).

У наш час все частіше застосовують конструкції збірних опор. Прикладом такої індустріальної конструкції може служити стовпчаста опора (рис. 76 г), складена з центрифугованих оболонок різних діаметрів. Маса ланки таких оболонок досягає 25 т. Такі опори мають телескопічну форму (складаються з оболонок різних розмірів: $d = 1,6 - 2,4 - 3,0$ м). У межах горизонтів повеневих вод оболонки заповнюють бетоном або гідрофобним піском і об'єднують суцільною стінкою. Оголовком опори служить залізобетонний ригель.

Телескопічну форму мають і проміжні опори віадуків (рис. 78, б, в) при висоті до 100 м, із зміною (зменшенням) товщини від уступу фундаменту до підфермового майданчика, що викликана зміною епюри моментів по висоті.

Збірна конструкція з пустотілих блоків розроблена в типових проектах і, безумовно, має широке застосування в будівництві мостів (рис. 79). Пустоти, утворені контурними блоками, доцільно заповнювати спеціальними бетонними блоками з низьких марок бетону. Для широких прогонових будов раціонально застосування полегшеної конструкції верху опори, що виконується також з контурних блоків.

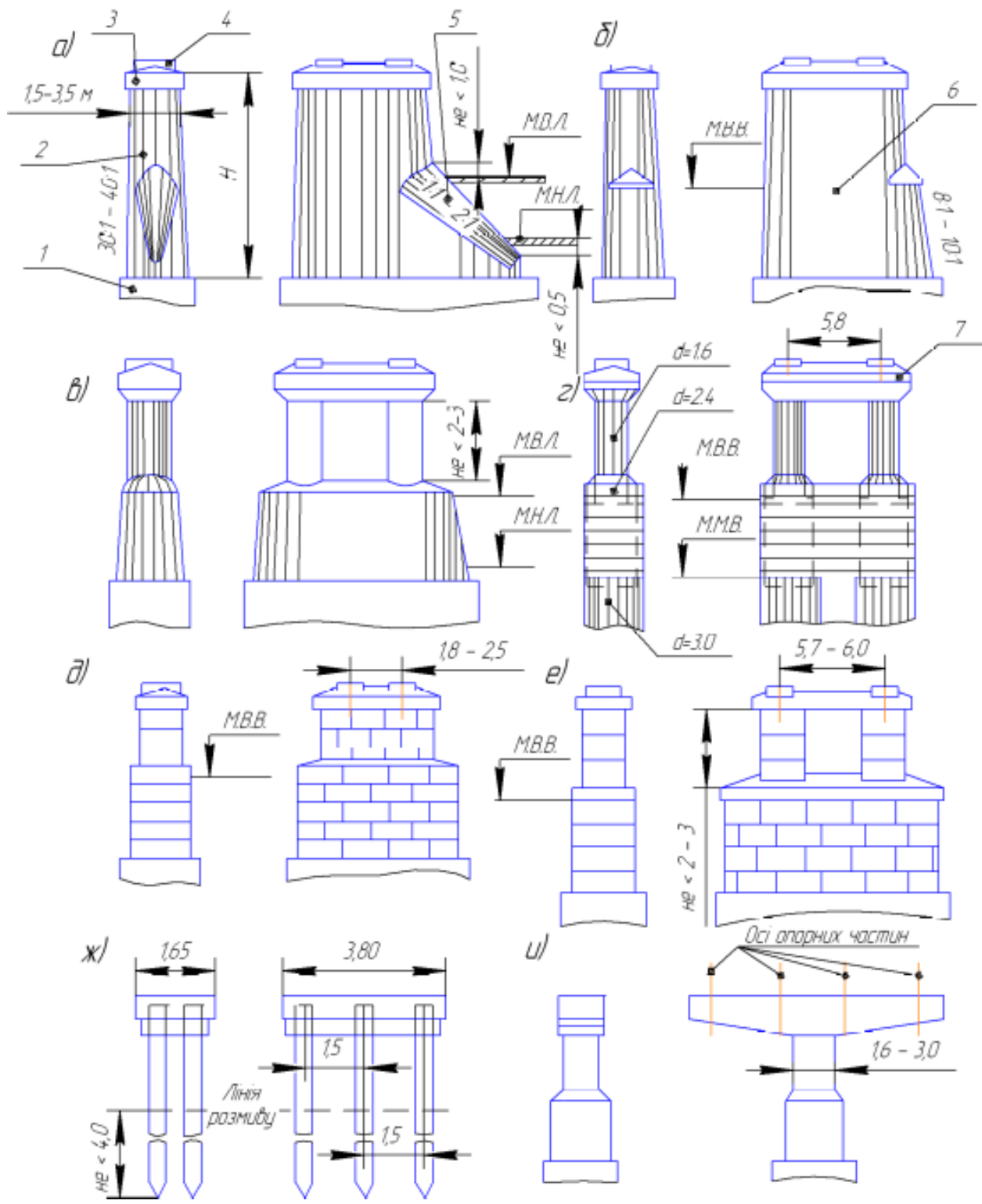


Рис. 76. Проміжні опори балкових мостів:

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



Рис. 77. Проміжна опора з льодорізом

На невеликих річках з товщиною льоду до 0,3 м і суходолах застосовують пальово-естакадні мости з невеликими прогонами. Опора таких мостів складається із залізобетонних паль з укладеними на них оголовками. По фасаду такі опори можуть бути однорядними і дворядними, для залізничних мостів звичайно використовується 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 таких опор є стійчасті опори, в яких у наземній частині палі замінені стояками, закладеними у фундамент.

a)



б)



в)



Рис. 78. Конструкції масивних проміжних опор



Рис. 79. Конструкція збірної опори

При опиранні на проміжні опори прогонових будов з різною будівельною висотою (різних типів або довжин прогонів) влаштовується перехідний підфермовик (рис. 80), що забезпечує положення мостового полотна в одному рівні на обох прогонових будовах. Перехідні підфермовики можуть мати вид тумб (рис. 80, а, б) або заглибин у тіло опори (рис. 80, в).

Для автодорожніх мостів характерне застосування одностовпчастих опор, що в найменшій мірі утруднюють проїзд під шляхопроводом або руслом річки. Оголовком опори служить потужний залізобетонний ригель, на який опираються балки прогонової будови. Такі опори можуть бути використані і для залізничних мостів. Залізобетонні конструкції опор дуже перспективні, і їх впровадження може дати значну економію матеріалів і трудовитрат.

a)



б)



в)



Рис. 80. Конструкції перехідних підфермовиків

5.3. Кінцеві опори (стояни)

Висота баластного шару верхньої будови 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 (укіс у бік крайнього прогону). Для забезпечення стійкості укоси конусів повинні мати ухили не крутіше 1:1,25.

Ширина стоянів зверху визначається габаритом мостового полотна. Наприклад, для одноколійних залізничних мостів приймається 5,32 м, рахуючи в просвіті між поручнями перил.

Для балкових прогонових будов у старих мостах часто застосовували стояни із зворотніми стінками (рис. 81, а). Вони мають фундамент, зворотню стінку, шафову стінку, підфермову плиту, передню стінку і дренажний пристрій, що забезпечує відведення води з простору між зворотньою і шафовою стінками. За рахунок улаштування зворотніх стінок значно скорочується об'єм кладки стоянів. Однак при експлуатації стоянів цього типу була виявлена велика кількість тріщин у зворотніх стінках внаслідок розпираючої дії горизонтального тиску від засипки ґрунту між ними.

В даний час застосовують масивні стояни інших типів. До таких конструкцій належить вузький стоян з консолями (рис. 81, б). Ширина стояна в цьому випадку визначається розміром підфермового майданчика. Розмір верхньої частини стоянів забезпечується за рахунок улаштування залізобетонних консолей.

У розглянутих типах стоянів основа конуса не виходить за межі передньої грані, такі стояни називаються необсипними. Їх застосування доцільно для невеликих споруд при висоті насипу до 5 ÷ 6 м.

Для великих і середніх мостів і висот насипу більше 5 ÷ 6 м найбільш поширеними є обсипні стояни (рис. 81, г), в яких конус заходить у крайній прогін моста. Обсипний стоян складається з фундаменту, тіла стояна, шафової

стілки, підфермової плити і залізобетонних крил для сполучення стояна із земляним полотном.

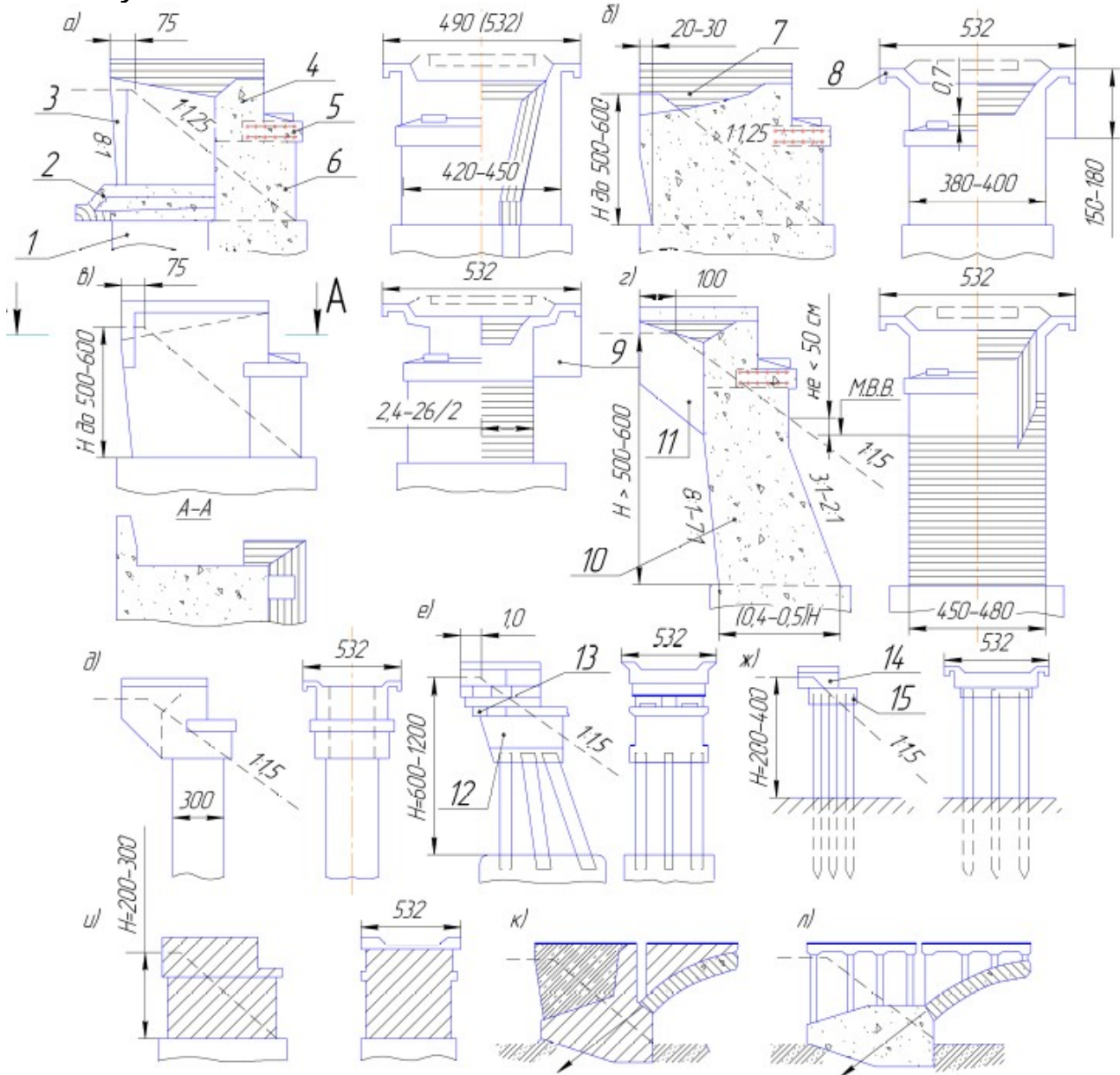


Рис. 81. Кінцеві опори мостів: а - стоян із зворотніми стінками; б - вузький стоян з консолями; в - тавровий стоян; г - обсіпний стоян; д - стоян із залізобетонної оболонки; е - козловий стоян; ж - пальовий стоян; и - стоян із блоків; к, л - стояни аркових мостів; 1 - фундамент; 2 - дренаж; 3 - зворотня стінка; 4 - шафова стінка; 5 - підфермова 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

Значне зменшення об'єму кладки досягається в полегшених збірних обсипних стоянах козлового типу з вертикальних і похилих стояків (рис. 81, е). Оголовок стояна складається з ростверку, виконаного із монолітного армованого бетону та з бетонних блоків. Замість збірної кладки блоків можна застосувати монолітний бетон стояків, використовувати (рис. 82) як залізобетонні оболонки $d = 60$ см, а для висоти насипу до 8 м – стояки з прямокутним перерізом $35 \div 35$ см. Замість стоякової конструкції застосовують аналогічні пальові стояни (рис. 81, ж).



Рис. 82. Монолітний стоян на залізобетонних оболонках

Приклади деяких збірних конструкцій стоянів, призначених під одну залізничну колію, наведені на рис. 83.

Масивний збірний стоян запроектований під прогонові будови $l = 16,5 \div 34,2$ м для висот насипів від 6 до 15 м (рис. 83, а). Стоян утворюється із залізобетонних Г-подібних блоків масою до 2,7 т з подальшим заповненням монолітним бетоном.

Рамний стоян призначений для прогонової будови 16,5 м і висоти насипу $8 \div 10$ м (рис. 83, б).

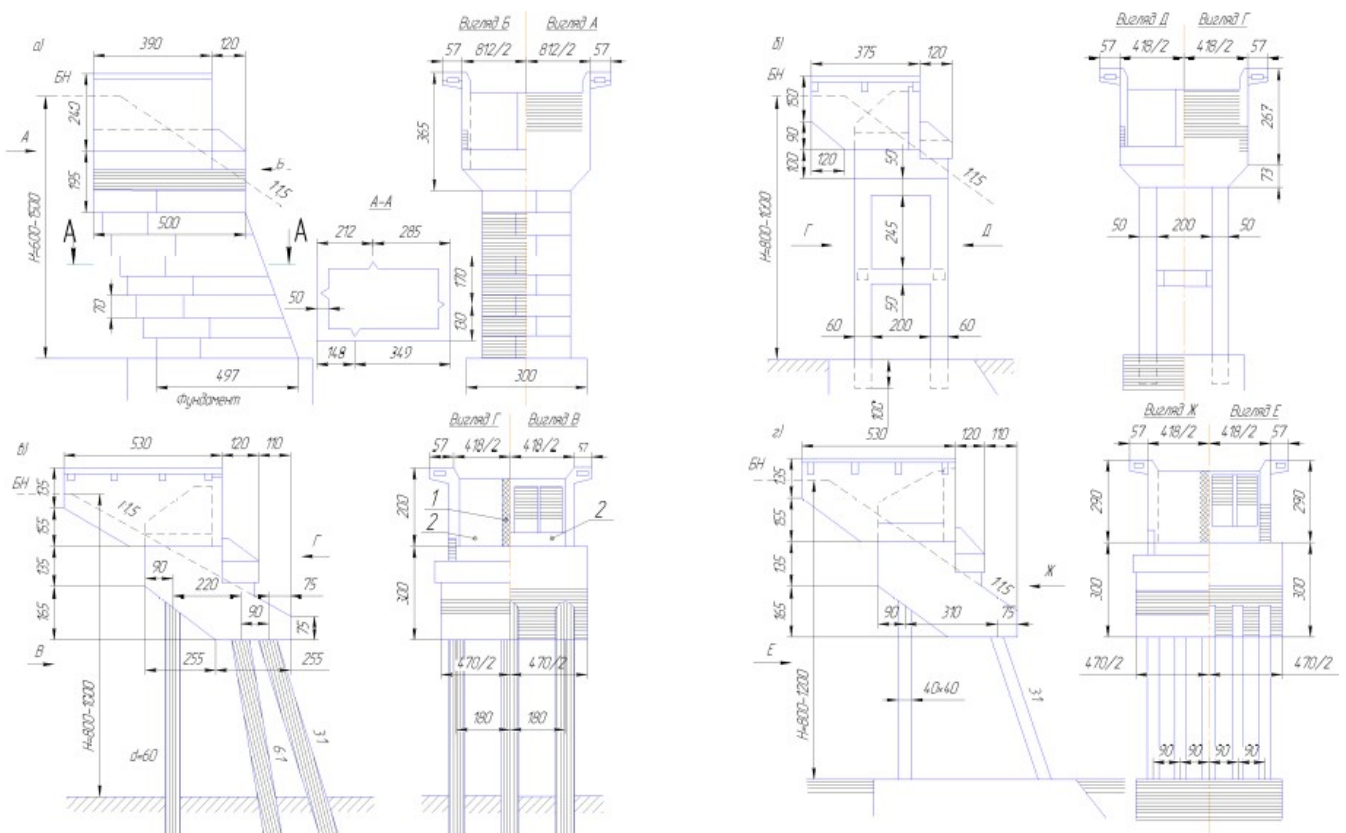


Рис. 83. Конструкції збірних стоянів:

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

Пальовий стоян (рис. 83, в) із залізобетонних центрифугованих паль-оболонок діаметром 60 см призначений для прогонів 16,5 ÷ 34,2 м, а на призматичних палях 35 × 35 і 40 × 40 см для прогонів 16,5 ÷ 18,7 м, при висоті насипу 8 ÷ 10 м.

Стояковий стоян (рис. 83, г) призначений для прогонів 16,5 ÷ 34,2 м при висоті насипу 8 ÷ 12 м.

Контрольні запитання для самоперевірки

1. Яке основне призначення опор мостів? Основні види.
2. Як поділяються опори за способом зведення?
3. Що таке висота опори?
4. В яких випадках застосовується перехідний підфермовик?
5. З яких основних частин складаються стояни із зворотніми стінками? Чим вони відрізняються від масивного і Т-подібного стоянів?
6. В чому відмінність роздільного стояна від обсипного?
7. Чим відрізняється стоян з укісними крилами від інших типів стоянів?
8. Що таке зливи на стоянах і биках і для чого вони призначені?
9. Яка роль дренажу за стоянами мостів?
10. Що таке пальовий ростверк? Чим відрізняється високий ростверк від низького?

6. КОНСТРУКЦІЇ ОПОРНИХ ЧАСТИН ЗАЛІЗНИЧНИХ МОСТІВ. ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ОБЛАШТУВАННЯ НА МОСТАХ

6.1. Призначення опорних частин і їх розміщення

Опорні частини мостів залежно від покладених на них функцій поділяються на рухомі і нерухомі.

Конструкція рухомих опорних частин має задовольняти такі вимоги:

а) забезпечувати вільне поздовжнє переміщення опорного перерізу прогонової будови, обумовлене деформацією від навантаження і температурних дій;

б) забезпечувати безперешкодний поворот опорного перерізу прогонової будови на кут α , що виникає від вигину прогонової будови;

в) перешкоджати зміщенню прогонової будови в поперечному до осі моста напрямі. У широких мостах потрібні опорні частини іншого типу, що забезпечують безперешкодну деформацію прогонової будови не лише в поздовжньому, але і в поперечному напрямках;

г) передавати зосереджений опорний тиск з прогонової будови на опору, розподіляючи його на визначений розрахунком опорний майданчик.

Конструкції нерухомих опорних частин повинні забезпечувати вимоги пунктів б, в, г, передбачені для рухомих опорних частин і, крім того, фіксувати прогонову будову на опорі. Цей тип опорних частин має забезпечувати сприйняття і передачу на опору горизонтальної сили T , що виникає від гальмування поїзда на мосту, сили тяги, вітрового і інших навантажень.

Розміщувати опорні частини в плані слід так, щоб очікувані деформації прогонової будови викликали найменші додаткові зусилля.

Сталеві прогонові будови за рівних умов легші і податливіші, ніж бетонні. Тому в широких залізобетонних

мостах опорні частини повинні допускати поздовжнє і поперечне обертання.

За наявності в консольних системах підвісних прогонових будов з метою збереження незмінною відстані між осями опорних плит опорних частин, що встановлюються під підвісною прогоновою будовою, нерухомі опорні частини анкерних прогонів ставлять з боку консолей. Виготовлення і установка опорних частин вимагають високої кваліфікації, тому що надійність роботи прогонових будов у значній мірі визначаються умовами їх обпирання.

У залізничних балкових мостах у межах одного прогону досить поставити на одному кінці дві нерухомі, а на другому – дві рухомі опорні частини. При цьому необхідно закріпити кінці прогонових будов від поперечних переміщень.

У багатопрогонових розрізних мостах на проміжних опорах звичайно встановлюють різнойменні опорні частини. В окремих випадках для розвантаження вищих опор від дії горизонтальних зусиль на одній з опор можна розташувати лише рухомі опорні частини.

6.2. Види опорних частин

Опорні частини виготовляють з різних матеріалів: сталі, залізобетону, гуми та ін. З метою зниження сил тертя в сучасних опорних частинах широко використовують фторопласт та інші синтетичні матеріали.

Кути повороту опорних перерізів, поздовжні деформації прогонових будов і опорні реакції залежать від жорсткості прогонової будови, довжини прогону і діючого навантаження.

Для розрізних плитних прогонових будов довжиною до 9 м включно допускається улаштування плоских опорних частин (рис. 84, а) із сталевих листів товщиною; не менше 20 мм. Верхній опорний лист приварюють до металевої коробки прогонової будови. У середині верхнього листа

впресовують штир діаметром 50 мм, що фіксує положення листа відносно нижньої конструкції опорної частини, яка складається з нижнього опорного листа і середнього, привареного по контуру до нижнього листа. У середньому листі передбачено отвір для штиря: круглий діаметром 52 мм для нерухомої і овальний розміром вздовж прогону 80 мм для рухомої опорної частини. По кутах нижнього листа вварюють анкери діаметром 20 мм для закріплення опорної частини до підфермової плити.

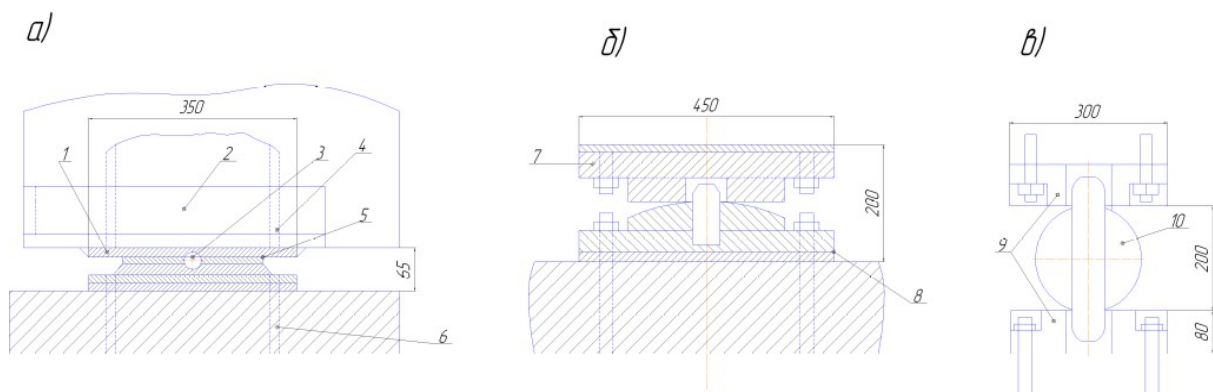


Рис. 84. Опорні частини для малих прогонових будов:

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

Між верхнім і середнім листами на місці встановлення прогонових будов ставлять пружні азбестові прокладки для зниження тертя в опорних частинах. Положення опорних частин можуть вирівнювати: підсипанням сухого цементу, підливанням цементного розчину, застосуванням свинцевих прокладок.

Для розрізних балкових прогонових будов прогоном від 9 до 18 м, а також для нерозрізних прогонових будов з температурним прогоном до 18 м застосовують сталеві опорні частини тангенціального типу (рис. 84, *б* та 85, *а*), що складаються з двох сталевих плит – балансирів. Верхній

балансир – плоский, а нижній – з циліндричною поверхнею дотикання. Між балансирами встановлюють штирі.

Товщину сталевих листів у цьому типі опорних частин приймають звичайно не менше 50 мм. Фіксація верхнього балансира, як і в плоских опорних частинах, забезпечується за допомогою сталевого штиря, запресованого в нижній балансир. Сталеві опорні частини випускають двох типів: литі і зварні. Для литих використовують сталь 25Л. Зварні можуть бути виготовлені з прокатної сталі.

Для опирання залізобетонних прогонових будов довжиною більше 18 м і металевих довжиною більше 25 м використовують коткові опорні частини (рис. 84, в та 85, б і в). Залежно від опорної реакції число котків може змінюватися від одного до чотирьох. Діаметр котків звичайно приймають 100÷200 мм. Прості однокоткові опорні частини складаються з двох плоских подушок і циліндрового котка між ними. Наявністю котка одночасно забезпечується шарнірність і поздовжня рухливість. У багатокоткових опорних частинах з метою зменшення розмірів балансирів застосовуються зрізані котки.

При великому опорному тиску застосовують рухомі опорні частини з двома (рис. 86, а) або більше (рис. 86, г та 87, а) котками. В цьому випадку поворот опорного перерізу забезпечується конструкцією верхнього балансира, що складається з двох плит, між якими розташований вкладиш з циліндричною поверхнею. Розміри котків приймають стандартними – діаметром 120 і 200 мм.

Поряд з котковими як рухомі застосовують секторні опорні частини (рис. 86, б та 87, б). Горизонтальні переміщення в них забезпечуються за рахунок кочення криволінійної поверхні сектора, а за допомогою шарніра забезпечується поворот опорного перерізу.

Для великих сталевих прогонових будов (більше 66 м) застосовують шарнірно-коткові рухомі опорні частини (рис. 86, в), що складаються з нижнього і верхнього балансирів і котків, що переміщуються по нижній опорній

подушці. Нерухома опорна частина відрізняється відсутністю котків. Балансири з'єднуються між собою за допомогою шарніра з вільним або щільним дотиком.

а)



б)



в)



Рис. 85. Опорні частини малих мостів

З'єднання двох циліндричних поверхонь однакового радіуса утворює щільний стик. Застосовуються циліндрові або зрізані котки. В останньому випадку розміри нижньої плити можуть бути трохи зменшені. Елементи таких опорних частин виконують з товстого сталевого прокату (до

150 мм) або сталевому лиття. Для зменшення об'єму сталі при відливанні балансири можна виконувати у вигляді тонкостінної ребристої конструкції.

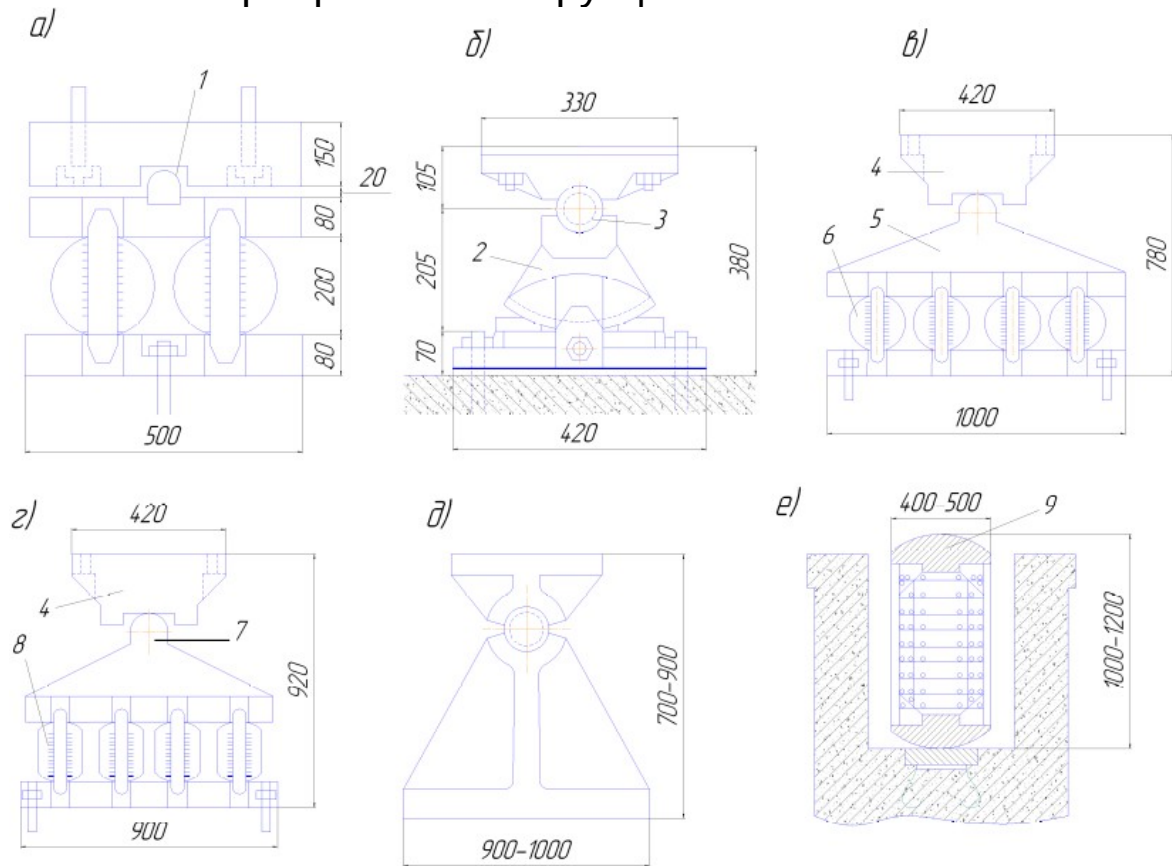


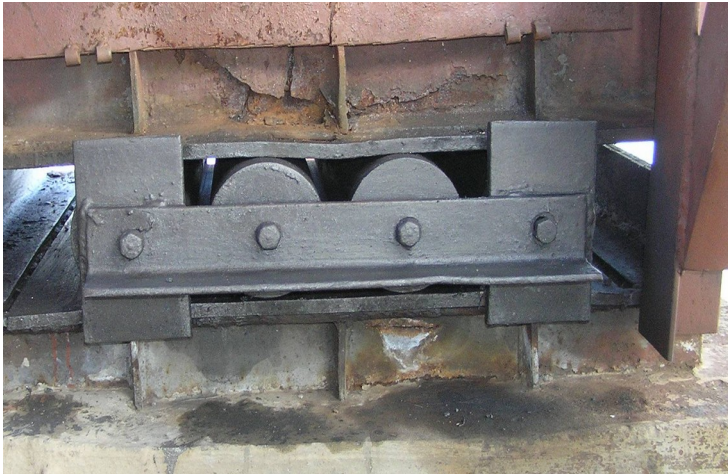
Рис. 86. Опорні частини для середніх і великих погонівих будов:

а - двокоткові; б - секторні; в - шарнірно-коткові; г - із зрізаними котками; д - нерухома опорна частина; е - залізобетонна опорна частина; 1 - вкладиш з циліндровою поверхнею; 2 - секторний балансір; 3 - шарнір; 4 - верхній балансір; 5 - нижній балансір; 6 - циліндровий коток; 7 - циліндрова головка при вільному стику; 8 - зрізаний коток; 9 - сталеве відливання

Рухомі і нерухомі опорні частини можуть мати різну висоту, в таких випадках нерухомі опорні частини, які мають завжди меншу висоту, встановлюють на залізобетонні тумби. Зручніше надавати опорним частинам однакову висоту шляхом штучного збільшення висоти нижнього балансира нерухомих опорних частин.

Для великих залізобетонних прогонових будов рухомі опорні частини можливо виконати у вигляді залізобетонних валиків, по кінцях яких влаштовують сталеві подушки. Поздовжнє переміщення кінця прогонової будови здійснюється за рахунок нахилу валика. Валик виконують з бетону марок 400 ÷ 450 і армують сітками із стержнів періодичного профілю діаметром 12 ÷ 14 мм з сіткою 10÷10 або 12÷12 см. Валики звичайно встановлюють у колодязях опори.

а)



б)



Рис. 87. Багатокоткові і секторні опорні частини

Валикові опорні частини можуть сприймати тиск 500 тс. Однак слід мати на увазі, що для такої конструкції набагато ускладнюються умови експлуатації через наявність колодязів для розміщення високих валиків.

В даний час значного поширення набули опорні частини з полімерних матеріалів. За способом забезпечення переміщення опорних вузлів прогонових будов вони поділяються на: деформівні, ковзні і комбіновані.

Полімерні опорні частини поділяються за характером роботи на всебічно рухомі, що допускають лінійні і кутові переміщення на всіх напрямках; нерухомі, що забезпечують

тільки кутові переміщення на всіх напрямках; обмежено рухомі, які допускають лише лінійні або лише кутові переміщення вздовж або впоперек моста.

В опорних частинах, що деформуються, кутові і лінійні переміщення опорних вузлів здійснюються шляхом зміни форми полімерного матеріалу – гуми. До таких опорних частин належать шаруваті гумові конструкції у вигляді паралелепіпеда, складеного з декількох шарів каучуку і сталевих листів (рис. 88, а). Товщина металевих прокладок – $0,8 \div 2$ мм, шарів каучуку – $5 \div 25$ мм.

Більшу несучу здатність має опорна частина, складена з листів каучуку товщиною $8 \div 12$ мм, обклеєних з двох боків тонкою листовою сталлю завтовшки 1 мм (рис. 88, б).

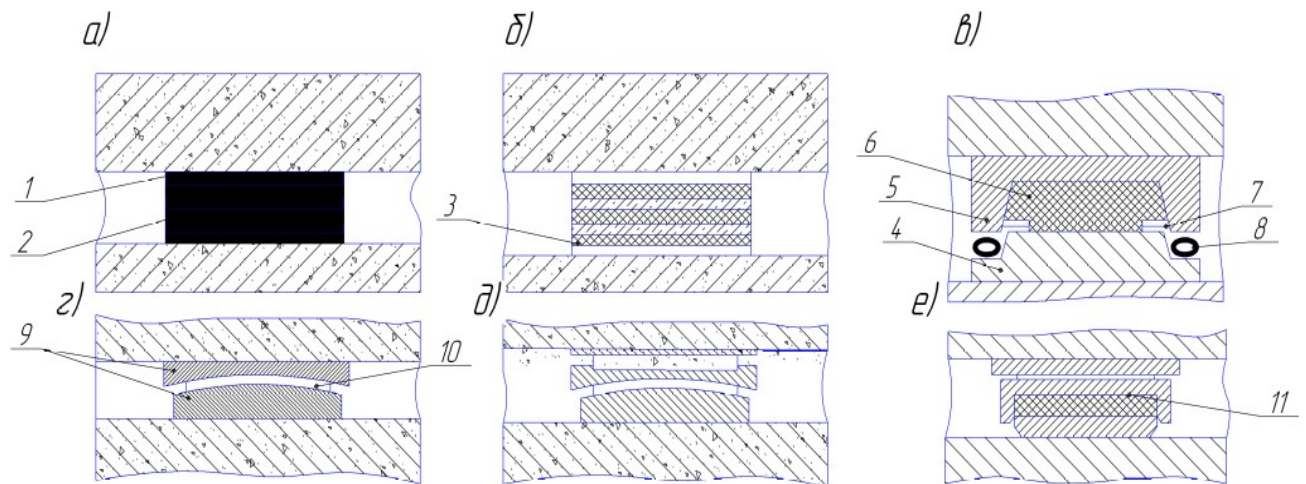


Рис. 88. Гумові опорні частини:

а - шаруватій конструкції; б - з обклеюванням листовим металом; в - стаканної конструкції; г, д - ковзні опорні частини; е - комбінованої конструкції; 1 - металева прокладка; 2 - шар каучуку; 3 - тонка листовая сталь; 4 - опорна плита; 5 - сталева обойма; 6 - гумова прокладка; 7 - латунна шайба; 8 - гумова трубка; 9 - сталеві балансири; 10 - антифрикційна прокладка; 11 - гумова прокладка

До цього ж типу належать стаканні опорні частини (рис. 88, в) у вигляді сталевій обойми, опорної плити і гумовій прокладки. Товщину гуми приймають рівною $\frac{1}{10}$ її діаметра, але не менше 20 мм. Гумова прокладка з боку опорної плити повинна мати кільцевий паз, в який

укладається латунна шайба ущільнювача. Зазор між плитою і стаканом ізолюється гумовою трубкою.

Ковзні опорні частини складаються із сталевих балансирів з криволінійною поверхнею і антифрикційної прокладки, що виконується з фторопласту (рис. 88, г, д, е).

6.3. Експлуатаційні облаштування на залізничних мостах

Великі та позакласні мости на залізницях України обладнуються таким експлуатаційним устаткуванням:

1. Оглядові пристрої.
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. Суднова сигналізація.

6.3.1. Оглядові пристрої

Для огляду, очищення, фарбування і ремонту прогонових будов при їх експлуатації влаштовують оглядові пристрої (рис. 89), що забезпечують зручний доступ до всіх елементів моста.

Верхня пересувна балка 1 виконується, як і платформа, з швелерів і пересувається по приварених до верхніх поясів шинах за допомогою лебідки. До пересувної балки на тросах, що намотуються на лебідки, підвішують підйомні колиски 2 зовні або всередині прогонової будови. У нерозрізних прогонових будовах влаштовують перехідні майданчики 3, що дозволяють піднятися на верхній пояс ферми. Сходи 4 і перехідні майданчики 3 виготовляють із смугової і круглої сталі, кутиків, швелерів тощо.

Нижній оглядовий візок 6 є платформою із швелерів з настилом (рис. 90), до якої по кінцях її прикріплені болтами рами з вертикальних і горизонтальних швелерів. У верхні вузли рам вмонтовані осі котків, що служать для переміщення оглядового візка. Котки опираються на двотаври, прикріплені за допомогою консольних кутиків до нижніх поясів ферм. Оглядовий візок переміщається обертанням рукояток по осях котків, що передаються через систему зубчатих коліс.

Рис. 89. Оглядіві пристосування на залізничних прогонових будовах:

1 - верхня пересувна балка; 2 - підйомна колиска; 3 - перехідні майданчики; 4 - драбини по опорних розкосах; 5 - сходи для спуску на опори; 6 - нижній оглядовий візок



Рис. 90. Нижні оглядові візки

Всі оглядові пристрої огороджують перилами. У прогонових будовах з їздою зверху має бути спуск 5 з проїжджої частини на опору і оглядові візки.

6.3.2. Майданчики – сховища

На всіх мостах довжиною більше 25 м, висотою більше 3 м, розташованих в межах станцій, і на всіх шляхопроводах повинні бути двосторонні бокові тротуари з поручнями і сховищами.

Для укриття людей при проходженні поїздів, розміщення протипожежного інвентарю, а також механізмів і матеріалів при виконанні ремонтних робіт на мостах повинні бути влаштовані сховища (рис. 91 та 92).

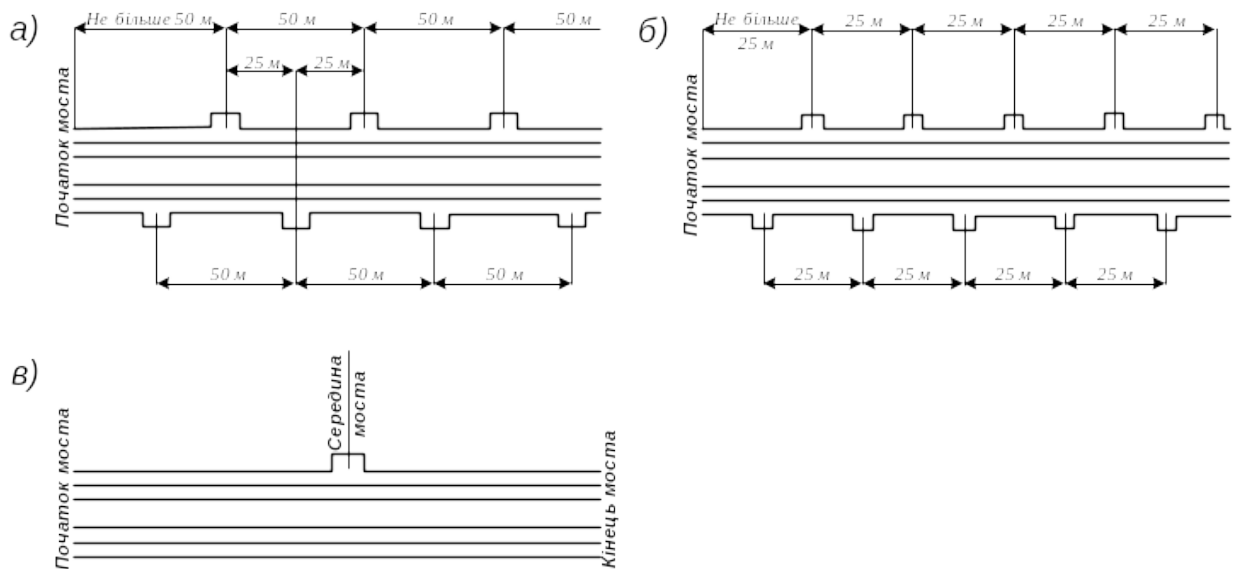


Рис. 91. Розміщення майданчиків – сховищ:

а - на мостах довжиною більше 100 м для нешвидкісних ділянок;
 б - на мостах довжиною більше 50 м для ділянок швидкісного руху;
 в - на мостах довжиною від 50 до 100 м для нешвидкісних ділянок і від 25 до 50 м для ділянок швидкісного руху

Сховища на мостах мають розташовуватися через 50 м (рис. 91) з кожного боку колії в шаховому порядку (при довжині моста від 50 до 100 м допускається спорудження одного сховища з кожного боку колії).

На ділянках із швидкістю руху пасажирських поїздів більше 140 км/год відстань між сховищами повинна бути 25 м. На діючих мостах на ділянках обертання пасажирських поїздів із швидкістю більше 140 км/год допускається зберегти існуючу відстань між сховищами 50 м, за умови розробки для кожного моста спеціальних умов техніки безпеки, затверджених начальником дистанції колії.



Рис. 92. Конструкції тротуарів і сховищ

Контрольні запитання для самоперевірки

1. Яких видів бувають опорні частини? Чим відрізняються рухомі опорні частини від нерухомих?
2. Основні вимоги до опорних частин? Опишіть роботу опорних частин.
3. З яких матеріалів можуть виготовлятися опорні частини?
4. При якій довжині прогонових будов застосовується багатокоткова опорна частина?
5. При якій довжині прогонових будов застосовуються секторні опорні частини?

6. При якій довжині прогонових будов застосовуються плоскі опорні частини?
7. Яким чином розміщуються майданчики-сховища на мосту довжиною 75 м?
8. Для яких цілей необхідний нижній оглядовий візок?

7. КОНСТРУКЦІЇ ВЕРХНЬОЇ БУДОВИ КОЛІЇ НА МОСТАХ І ПІДХОДАХ ДО НИХ

Верхня будова колії на мостах (мостове полотно) має відповідати вимогам „Інструкції щодо улаштування й конструкції мостового полотна на залізничних мостах” [4].

7.1. Верхня будова колії з їздою на баласті

При проектуванні і будівництві нових, а також перевлаштуванні існуючих мостів з їздою на баласті мостове полотно влаштовується з охоронними пристосуваннями у вигляді контруктників (рис. 93, 94).

Рис. 93. Мостове полотно з їздою на щебеновому баласті і залізобетонних шпалах при баластному кориті, що передбачає пропускання щебенеочисних машин: зліва – без

охоронних пристроїв (із звичайними залізобетонними шпалами); справа – з охоронними пристроями (мостові залізобетонні шпали)

Рис. 94. Мостове полотно з їздою на щебеновому баласті і дерев'яних шпалах при баластному кориті, що передбачає пропускання щебенеочисних машин: зліва – при костильному кріпленні рейок; справа – при клемно-шуруповому кріпленні рейок

На мостах, що експлуатуються, мостове полотно повинне відповідати рис. 95 з шириною плеча баластної призми 35 см з подальшим переходом на нові прогонові будови з розширеним баластним коритом, що забезпечує виконання робіт на мостах за допомогою колійних машин.

На ділянках обертання пасажирських поїздів зі швидкістю 141 - 200 км/год ширина плеча баластної призми повинна бути не менше 35 см при швидкості 141 - 160 км/год і не менше 40 см при швидкості 161 - 200 км/год.

Як баласт на мостах використовується щебінь з природного каменю.

Рис. 95. Мостове полотно з їздою на щебеновому баласті при ширині баластного корита, недостатній для пропускання щебенеочисних машин: зліва – на залізобетонних шпалах; справа – на дерев'яних шпалах

Товщина шару баласту під шпалою в підрейковій зоні має бути не менше 25 см. У виняткових випадках допускається товщина шару баласту не менше 15 см. Максимальна товщина баласту під шпалою допускається не більше 60 см, а на мостах з відкидними консолями - не більше 35 см.

Кількість шпал на мостах без охоронних пристроїв повинна бути такою ж, як на прилеглих ділянках колії. На мостах з охоронними пристроями на 1 км колії вкладається не менше 2000 шпал.

Охоронні пристрої (контруктники) укладають:

- на мостах повною довжиною більше 50 м або розташованих у кривих радіусом менше 600 м;
- на шляхопроводах повною довжиною більше 25 м або розташованих у кривих радіусом менше 1000 м;
- на багатокільйних мостах за наявності суцільного баластного корита – тільки на крайніх коліях.

Контруктчик (контррейка (рис. 95)) за межами моста зводиться в човник на відстані 10 м від задньої грані стояна (рис. 96, а). Для цього розкладкою спеціальних залізобетонних шпал (рис. 97, 98) передбачені типи 1 – 20, що відрізняються розмірами l_1 і l_2 – відстанями між отворами для кріплення контруктника (контррейки). На середній частині моста вкладаються спеціальні залізобетонні шпали типу 00.



Рис. 96. Експлуатоване мостове полотно на дерев'яних шпалах

На ділянках колії із залізобетонними шпалами на мостах з їздою на баласті в межах контруктників (контррейок) повинні вкладатися спеціальні залізобетонні шпали (рис. 97, б). При безстиковій колії на мостах з дерев'яними шпалами необхідно укласти скріплення типу КД.

На мостах, розташованих у кривих ділянках колії, підвищення зовнішньої рейки досягається збільшенням товщини баластного шару. При цьому прогонові будови за необхідності повинні мати підвищені борти баластного корита.

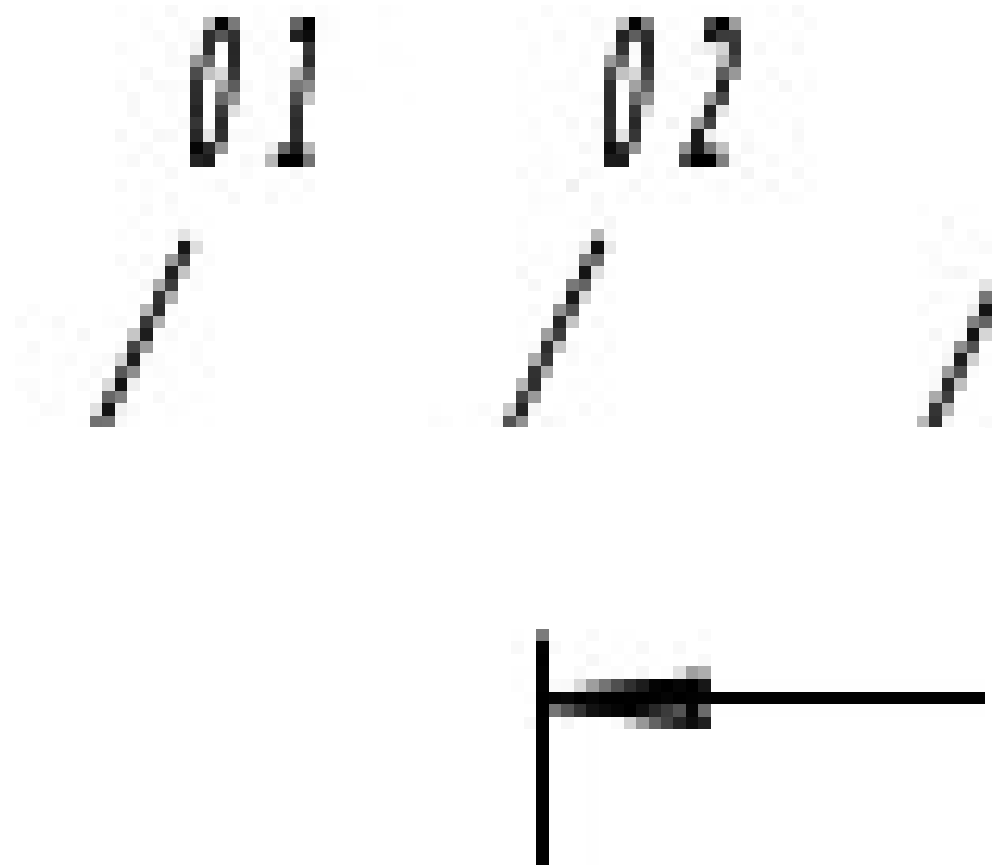


Рис. 97. Спеціальна мостова шпала на мосту:
а – розкладка залізобетонних шпал на мосту і підходах;
б – спеціальна мостова шпала



Рис. 98. Розкладка спеціальних залізобетонних шпал за межами моста

7.2. Безбаластне мостове полотно

Мостове полотно на дерев'яних поперечинах. Мостове полотно на дерев'яних мостових брусах влаштовується згідно з рис. 99 та 100. На експлуатованих мостах надалі до перевлаштування або капітального ремонту допускається утримувати мостове полотно згідно з рис. 101 та 102. При цьому, якщо на мосту застосовано роздільне клемно-шурупове рейкове кріплення (КД), контруктники повинні мати переріз $160 \times 160 \times 16$ мм.

Переріз мостових брусів має відповідати розмірам, наведеним у таблиці 1.

Таблиця 1

Переріз мостових брусів

Відстань між осями поздовжніх балок або ферм, м	Переріз мостових брусів, см	
	при контррейках	при контрсутниках
До 2,0	20×24	20×24
Від 2,0 до 2,2	22×26	20×24
Від 2,2 до 2,3	22×28	22×26
Від 2,3 до 2,5	24×30	22×28

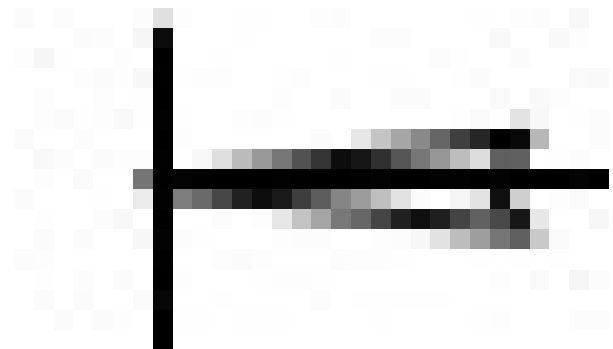


Рис. 99. Мостове полотно на мостових брусах з костильним кріпленням рейок: зліва – охоронний контрсутник прикріплений лапчастим болтом; справа – охоронний контрсутник прикріплений костилями

Нові мостові бруси за ГОСТ 8486-86 поставляються перерізом 20 × 24 і 22 × 26 см, довжиною 3,25 м. Бруси інших перерізів і довжин можуть виготовлятися за

індивідуальним замовленням як виняток. При повній заміні мостових брусів перерізом 22 × 28 см і більш, а також брусів довжиною 4,2 м мостове полотно потрібно, як правило, перевлаштувати з укладанням безбаластних залізобетонних плит.

Рис. 100. Мостове полотно на мостових брусах з роздільним клемно-шурупним кріпленням рейок: зліва – охоронний контруктник прикріплений лапчастим болтом; справа – охоронний контруктник прикріплений костиллями

При проектуванні і будівництві нових мостів необхідно застосовувати бруси перерізом 20 × 24 см, довжиною 3,25 м.

Мостові бруси мають утримуватися відповідно до «Інструкції з утримання й ремонту дерев'яних шпал і брусів» ЦП/0088.

Мостові бруси згідно з ДБН В2.3-14:2006 належать до несучих елементів першої категорії, тому вони мають виготовлятися із сосни або модрина не нижче за 1-й сорт за ГОСТ 8486-66 «Пиломатериали хвойных пород». Інші породи дерева допускаються лише з дозволу Головного управління колійного господарства Укрзалізниці.

Рис. 101. Мостове полотно на мостових брусах з контррейками і протиугінними (охоронними) брусами: зліва – мостові і протиугінні бруси прикріплені загальним лапчастим болтом; справа – мостові і протиугінні бруси мають роздільне кріплення

Рис. 102. Мостове полотно на мостових брусах з нерівнобічними контркутниками: зліва – охоронний контркутник прикріплений лапчастим болтом; справа – охоронний контркутник прикріплений костилями

Експлуатоване мостове полотно з контруктниками і контррейками показано на рис. 103 та 104.



Рис. 103. Експлуатоване мостове полотно з контруктниками і контррейками



Рис. 104. Експлуатоване мостове полотно з контруктниками

Бруси просочуються масляними антисептиками за ГОСТ 20022.5 - 75, передпросочувальна вологість деревини не повинна перевищувати 25 %, глибина просочення має складати не менше 85 % товщини заболони. Місця врубок і стінки отворів, зроблених у брусах після просочення, обмазують антисептиком не менше трьох разів.

Мостові бруси вкладають по косинцю з відстанню у просвіті не більше 15 і не менше 10 см. У поперечних балок відстань між осями мостових брусів не повинна перевищувати 55 см.

Мостові бруси щільно прирубують до поясів прогонових будов або поздовжніх балок. Глибина врубок у мостових брусах повинна бути не менше 0,5 і не більше 3 см. Для заклепувальних головок і високоміцних болтів упоперек бруса вирубують канавки. Усередині колії укладається настил з двох дощок перерізом 20×3 см із зазором 4 см; за відсутності бічних тротуарів усередині колії укладають три дошки.

Мостове полотно на металевих поперечинах. Мостове полотно на металевих поперечинах влаштовується згідно з рис. 105. На нових мостах повинні застосовуватися рейки типів Р65 і Р75. Відстань між осями металевої поперечини має бути не більше 600 мм.

Контруктники укладають на всіх мостах при довжині мостового полотна на металевих поперечинах більше 5 м або розташованих в кривих радіусом менше 1000 м. Протиугінні (охоронні) кутники вкладають на всіх мостах. Для попередження провалу коліс рухомого складу, що зійшов з рейок, над всіма поперечними балками, а також між поперечиною при відстані між ними у просвіті більше 20 см влаштовують підвісні містки.

Рис. 105. Мостове полотно на металевих поперечинах:
1 - металева поперечина; 2 - охоронний контруктник; 3 - колійна рейка зі скріпленням; 4 - контруктник; 5 - металевий настил;
6 - підвісний місток

Безбаластне мостове полотно на залізобетонних плитах. Безбаластне мостове полотно (БМП) складається з окремих залізобетонних плит, рейкової колії, охоронних пристроїв та прокладного шару під плити БМП. Плити полотна укладаються на верхні пояси головних або поздовжніх балок прогонової будови через прокладний шар. Рейкова колія та охоронні пристрої укладаються безпосередньо на плити. Вага одного погонного метра полотна дорівнює 1,6 т. Конструкція безбаластного мостового полотна наведена на рис. 106, 107, 108 та 109.

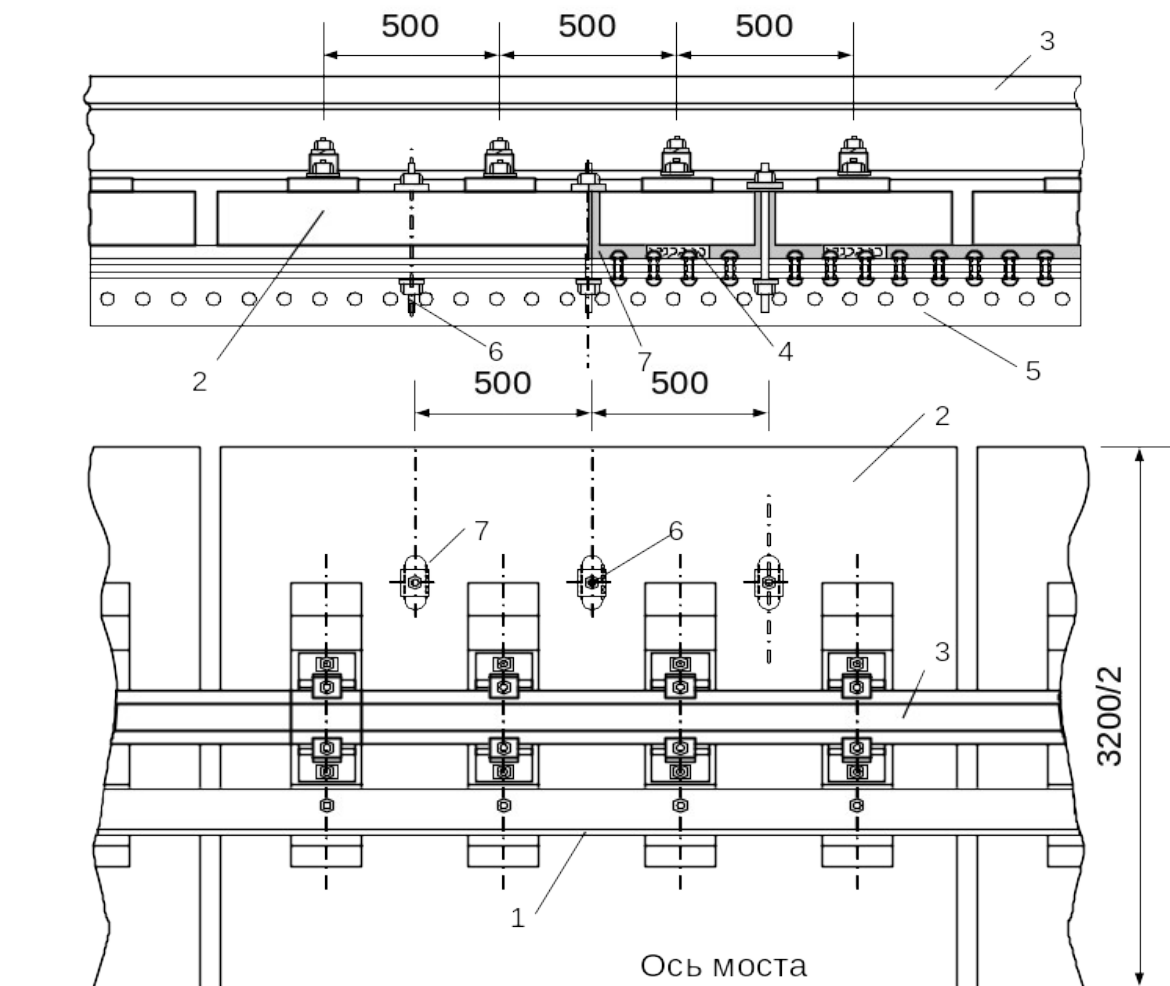


Рис.106. Конструкція безбаластного мостового полотна на залізобетонних плитах:

- 1 - контруктник; 2 - плита мостового полотна; 3 - колійна рейка; 4 - прокладний шар; 5 - головна або поздовжня балка; 6 - високоміцна шпилька; 7 - отвір для шпильки

Виготовлення і укладання безбаластних залізобетонних плит має проводитися за типовими проектами, затвердженими Укрзалізницею. Надалі до розробки і затвердження вказаної документації дозволяється використовувати розроблені Ленгипротрансместом з шифром РЧ-325 попередньо напружені плити і шифром РЧ-390 плити із звичайного залізобетону. З'єднання залізобетонних плит з балками прогонових будов може проводитися за допомогою прокладного шару.

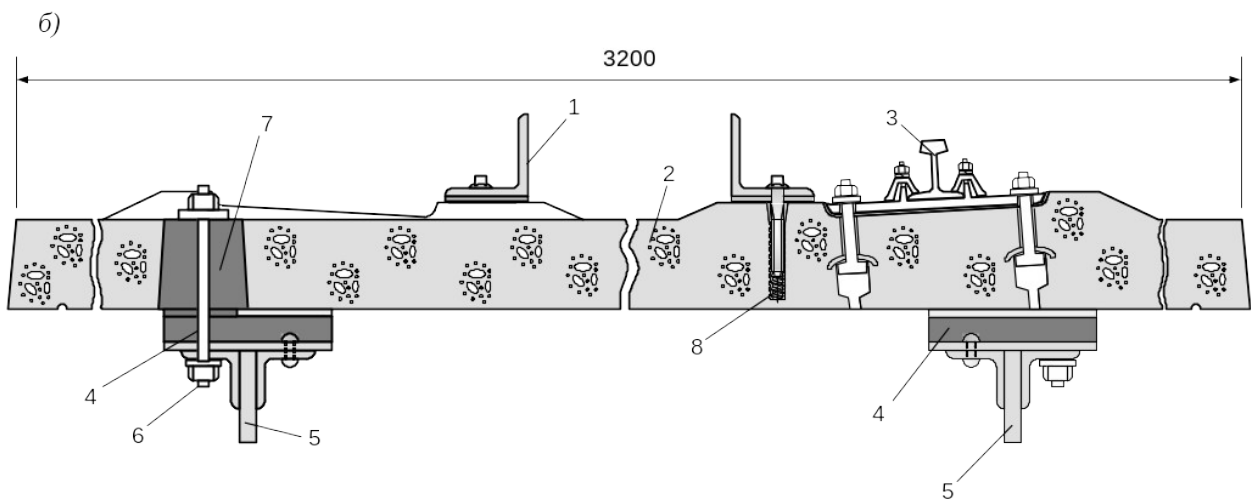
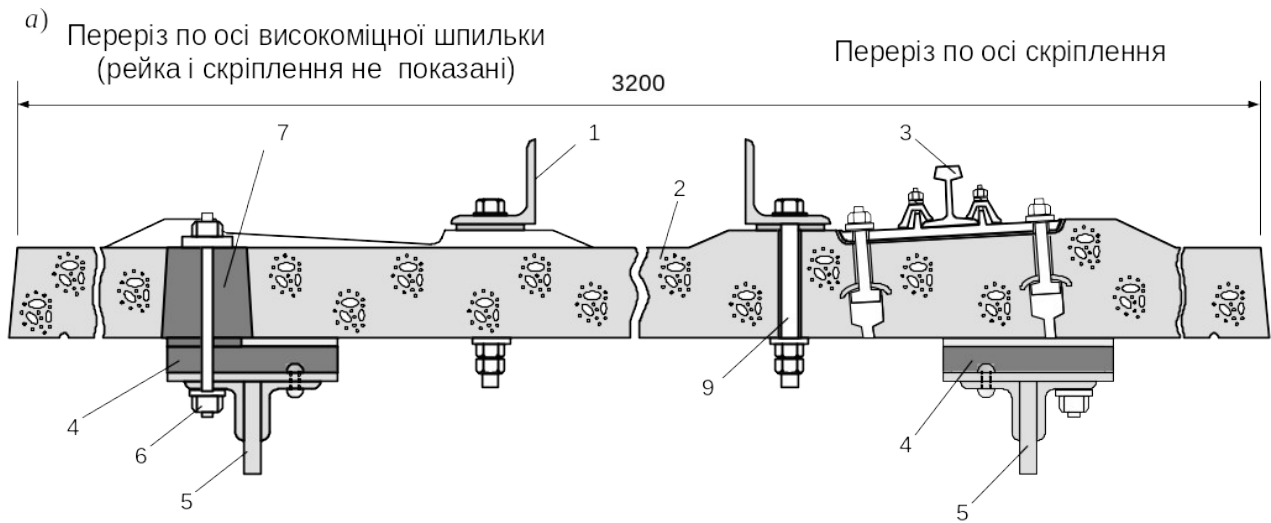


Рис. 107. Перерізи плити безбаластного мостового полотна:
 а - при болтовому кріпленні контруктника; б - при шуруповому кріпленні контруктника; 1 - контруктник; 2 - плита мостового полотна; 3 - колійна рейка; 4 - прокладний шар; 5 - головна або поздовжня балка; 6 - високоміцна шпилька; 7 - отвір для шпильки; 8 - полімерний дюбель із колійним шурупом; 9 - болт для кріплення контруктника



Рис. 108. Безбаластне мостове полотно на залізобетонних плитах на мосту з головними балками



Рис. 109. Безбаластне мостове полотно на залізобетонних плитах на мосту з головними фермами

Для можливості укладання мостового полотна на прогонових будовах різної довжини і при різних відстанях між головними або поздовжніми балками передбачаються відповідні марки плит, які відрізняються за довжиною (уздовж моста) та за відстанню між отворами для шпильок, які кріплять плиту до поздовжніх балок (упоперек осі моста) (табл. 2).

Прокладний шар між плитами і головними або поздовжніми балками, на які укладаються плити, влаштовується по всій довжині верхніх поясів поздовжніх або головних балок.

На залізницях України експлуатується прокладний шар таких типів:

- а) з двошарових прокладок, де верхній шар – гума товщиною 8÷10 мм, а нижній – дерев'яні дошки (сосна), рис. 110;
- б) з прокладок з гуми або гумокорду (транспортерна стрічка) товщиною не більше 10 мм;

- в) з армованого цементно-піщаного розчину або полімерцементного розчину (рис. 111);
- г) з двошарових прокладок, де верхній шар – гума (транспортна стрічка) товщиною 8÷10 мм, а нижній – полімеркомпозиційний шар.

При застосуванні прокладного шару типів *в*, *г* плити до влаштування прокладного шару тимчасово опираються на дерев'яні прокладки.

При влаштуванні нового прокладного шару під плити БМП рекомендується використовувати прокладний шар типів *а*, *б* (на зварних мостах з номінальним будівельним підйомом), а також перспективний варіант *г*.

Плити мостового полотна прикріплюються до балок високоміцними шпильками (рис. 112) із зовнішнього боку верхніх поясів балок через 50 см по довжині моста. На шпильки із верхнього боку встановлюються спеціальні збільшені шайби.

Таблиця 2

Маркірувальна відомість плит

Маршплати	Ескіз	b , мм	Кільк. близько плиток	Вага плитки
П1-170		1850	0,72	1,8
П1-180		1950		
П1-190		2050		
П1-200		2150		
П1-210		2250		
П1-220		2350		
П1-230		2450		
П1-240		2550		
П2-170		1850	0,77	1,9
П2-180		1950		
П2-190		2050		
П2-200		2150		
П2-210		2250		
П2-220		2350		
П2-230		2450		
П2-240		2550		
П3-170		1850	0,98	2,5
П3-180		1950		
П3-190		2050		
П3-200		2150		
П3-210		2250		
П3-220		2350		
П3-230		2450		
П3-240		2550		
П4-170		1850	1,03	2,6
П4-180		1950		
П4-190		2050		
П4-200		2150		
П4-210		2250		
П4-220		2350		
П4-230		2450		
П4-240		2550		

При укладанні плит на клепані балки рекомендується для кріпильних шпильок використовувати заклепкові

отвори, які за необхідності розсвердлюються до потрібного діаметра.

На поверхні плит, у стиках між плитами і на верхніх поясах поперечних балок улаштовується гідроізоляція. Отвори для закладних болтів рейкових скріплень до улаштування гідроізоляції мають бути змащені густим мастилом.



Рис. 110. Прокладний шар з гуми і дерев'яної дошки



Рис. 111. Прокладний шар з армованого цементно-піщаного розчину

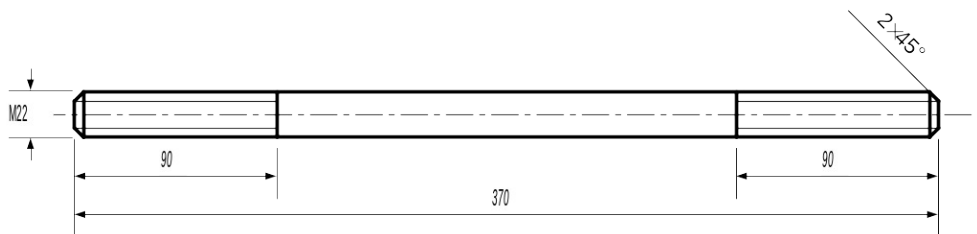


Рис. 112. Високоміцна шпилька

Верхню та бокові поверхні плит, краї нижньої поверхні плити, включаючи слізники покривають гідроізоляцією на основі епоксидних смол у заводських умовах при виготовленні плит.

Охоронні пристрої (контруктники) укладаються на всіх мостах при повній довжині моста більше 50 м або розташованих у кривих радіусом менше 600 м. Кріплення

контруктників до плит БМП здійснюється за допомогою болтів через спеціальний отвір (рис. 113) або за допомогою колійного шурупа довжиною $L=165$ мм (рис. 114) в разі, коли в плитах встановлено спеціальні дюбелі. В межах стоянів та “човників” рекомендовано застосовувати залізобетонні мостові шпали, не залежно від типу шпал, що укладені на перегоні.

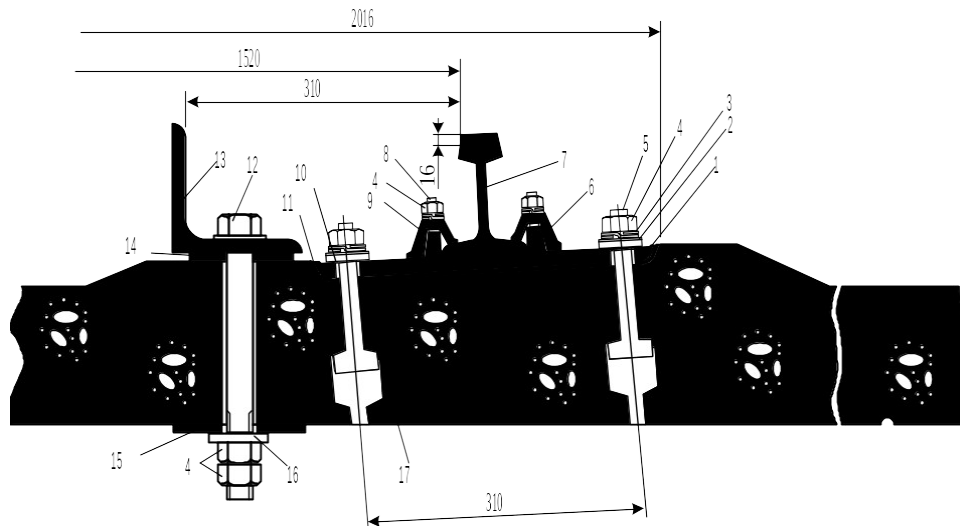


Рис. 113. Прикріплення рейок і контруктників (болтове прикріплення) до плити:

1 - рейкова підкладка; 2 - скоба для ізолювальної втулки; 3 - шайба двовиткова; 4 - гайка колійна; 5 - болт закладний M22; 6 - прокладка під подошву рейки; 7 - колійна рейка; 8 - болт клемний M22×75; 9 - клема проміжна; 10 - втулка ізолювальна; 11 - гумова прокладка під підкладку КБ; 12 - болт M22×280 або шуруп; 13 - контруктник 160×160×16; 14 - гумова прокладка під контруктник; 15 - шайба 100×100×10; 16 - шайба колійна; 17 - шайба закладна

Контрольні запитання для самоперевірки

1. Які види верхньої будови колії (мостового полотна) застосовуються на мостах?
2. Які види проміжних рейкових скріплень використовуються на мостах?

3. Яка мінімальна та максимальна товщина баласту може бути при їзді на баласті?

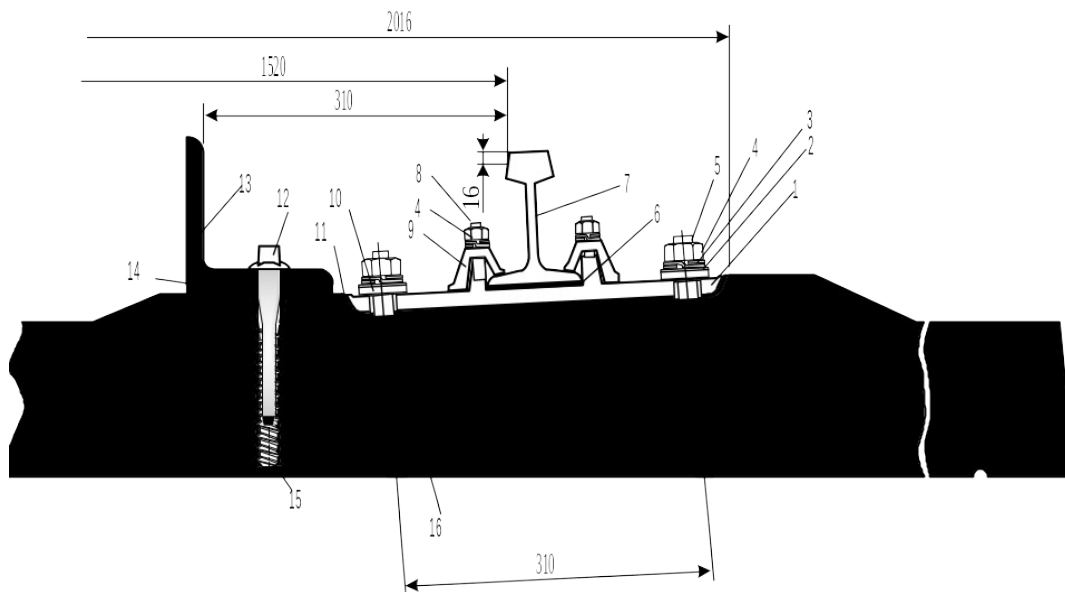


Рис. 114. Прикріплення рейок і контркутників (шурупне прикріплення) до плити:

1 – рейкова підкладка; 2 – скоба для ізолювальної втулки; 3 – шайба двовиткова; 4 – гайка колійна; 5 – болт закладний М22; 6 – прокладка під подошву рейки; 7 – колійна рейка; 8 – болт клемний М22×75; 9 – клема проміжна; 10 – втулка ізолювальна; 11 – гумова прокладка під підкладку КБ; 12 – шуруп колійний; 13 – контркутник 160×160×16; 14 – гумова прокладка під контркутник; 15 – полімерний дюбель; 16 – шайба закладна

4. Які види охоронних пристроїв використовуються при різних видах верхньої будови колії на мостах?
5. Які основні умови улаштування охоронних пристроїв?
6. Як виконується відвід контркутників (контррейок) за межами моста?
7. Які існують типи безбаластних залізобетонних мостових плит? В чому між ними відмінність?
8. Який нормативний документ регламентує конструкцію та основні вимоги до мостового полотна на залізницях України?

8. КОНСТРУКЦІЇ ТРУБ І ЛОТКІВ У НАСИПІ НА ДОРОГАХ УКРАЇНИ

8.1. Загальні відомості

Трубою називається мала інженерна споруда, розташована в тілі насипу впоперек осі колії і призначена для пропускання невеликих витрат води (звичайно не більше $20 \text{ м}^3/\text{с}$).

Як правило, труби складаються з таких основних частин: вхідного і вихідного оголовоків (для плавного введення і виведення водного потоку), секцій труби (для можливості незалежного осідання) і фундаменту (рис. 115).

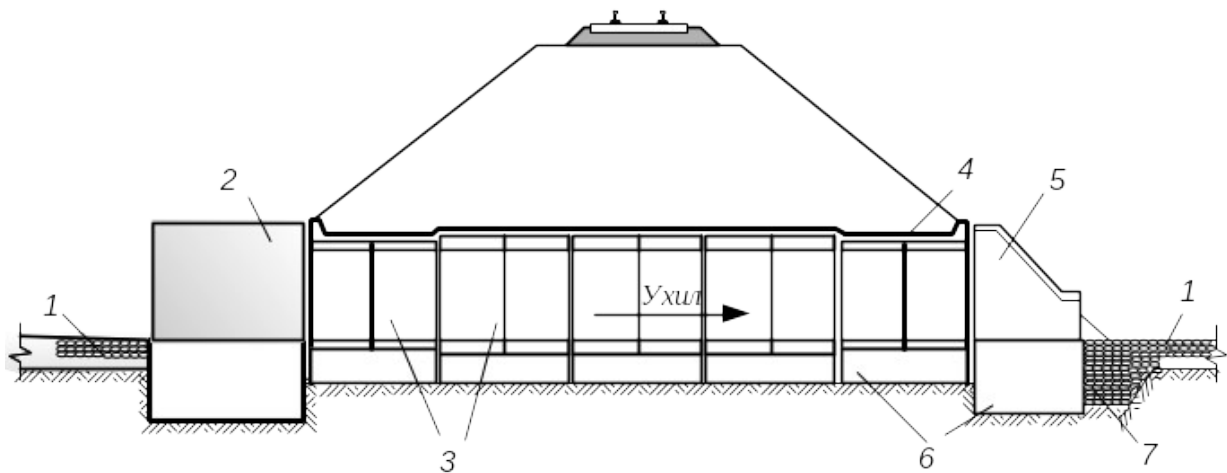


Рис. 115. Конструктивні частини труби:

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

Найбільша витрата води проходить через трубу під час паводків. Тому основна характеристика труби – її отвір – визначається гідравлічним розрахунком так, щоб під час паводка в самій трубі, а також при вході в трубу і виході з неї не виникало неприпустимих швидкостей руху води, які

могли б призвести до пошкодження труби, насипу і до розмиву ґрунту біля труби.

Водопрпускна здатність труб залежить від форми і розміру отвору, типу оголовків, глибини води перед трубою, швидкостей протікання води на виході з труби і інших умов.

Пропускнну здатність труби (максимальну витрату води, яку труба може пропустити під час паводка) можна істотно підвищити, не збільшуючи отвори, шляхом призначення раціональної форми поперечного перерізу труби, а також форми пристроїв, що вводять воду в трубу і що виводять її (оголовків), і зменшенням шорсткості русла в трубі.

Величину отвору труби визначають гідравлічним розрахунком залежно від розрахункової витрати водного потоку, швидкості протікання води і інших умов.

Довжина середньої частини труби визначається шириною насипу по підшві і довжиною вхідного та вихідного оголовків. Для виключення згинання труби розчленовують на секції довжиною не більше 5 м. Шви між секціями і ланками заповнюють пружним гідроізоляційним матеріалом, щоб вода з труб не проникала в насип і не розріджувала ґрунт. Дотичні з ґрунтом поверхні труб покривають гідроізоляцією, щоб вода з насипу не руйнувала кладку труб.

Щоб уникнути застою води після осідання, секції труби вкладають з будівельним підйомом по круговій кривій; при цьому відмітку лотка посередині труби призначають менше відмітки лотка вхідного оголовка і більше – вихідного.

Висоту насипу біля труб приймають не менше висоти труби плюс товщина засипки, яка повинна бути не менше 1,0 м, рахуючи від верху ланки труби до підшви рейок. Крім того, висота насипу має бути не менше глибини води (підпора) перед трубою з урахуванням висоти хвилі плюс підвищення брівки земляного полотна, яке приймають не менше 0,5 м, а при напівнапірному і напірному режимах - не менше 1 м.

Залежно від швидкості руху води на виході з труби відвідне русло і укоси насипу біля труби укріплюють обдернуванням, брукуванням або бетонними плитами. Для скорочення розмірів зміцнення влаштовують ківш, заповнений каменем. Глибину ковша приймають рівною глибині місцевого розмиву ґрунту біля кінця зміцнення. За необхідності перед входом у трубу влаштовують крізну огорожу для захисту труби від засмічення. Біля кожного кінця труби при висоті насипу більше 2 м на залізницях влаштовують, як правило, один постійний сходовий марш шириною 0,75 м.

Труби застосовують у будь-яких кліматичних, топографічних і геологічних умовах, на будь-яких ділянках плану і профілю доріг, при дуже значній висоті насипу для пропускання малих періодично діючих і постійних водотоків, але за відсутності льодоходу або корчоходу. Труби також застосовують для пішохідних переходів і скотопрогонів, для проїзду автотранспорту і сільськогосподарських машин, для прокладення трубопроводів і інших комунікацій.

Водопрпускні труби мають нескладну, надійну і довговічну конструкцію. Їх можна будувати індустріальним, комплексно-механізованим, потоково-швидкісним методом, що суттєво знижує трудомісткість і тривалість будівництва.

На відміну від моста, труба має висоту, залежну від горизонту води і не залежну від висоти насипу; довжина труби залежить від ширини насипу і його основи. При малому отворі труби економічніші, ніж мости, якщо висота насипу не дуже мала. Зі збільшенням висоти насипу вигідність застосування труб у порівнянні з мостами зростає.

Експлуатація труб простіша, ніж мостів. Крім того, колія над трубою знаходиться в тих же умовах, що і на насипу, що теж можна вважати позитивною якістю труби в порівнянні з малим мостом.

Труби менше, ніж мости, чутливі до зростання тимчасових навантажень. Тиск від тимчасових

навантажень, що діє на насип, розподіляється в його тілі і доходить до труби ослабленим. Динамічна дія тимчасових навантажень гаситься в насипу.

Завдяки техніко-економічним якостям труби є дуже поширеним видом споруд на дорогах. Так, на новобудовах число труб складає до 70 % загального числа інженерних споруд. Будівельна вартість, а також експлуатаційні витрати менші в порівнянні з тими ж показниками для мостів. Однак реконструкція, посилення і особливо усунення помилок проектування труб коштують дорожче і є складнішими, ніж для мостів. Тому, незважаючи на порівняну простоту конструкції, труби вимагають від проектувальника найсерйознішої уваги, а від інженера-будівельника – хорошого знання їх конструкції і особливостей експлуатації.

Класифікація труб. Залежно від режиму протікання води, труби поділяються на безнапірні, працюючі неповним перерізом, аналогічно водозливу з широким порогом; напірні, працюючі повним перерізом на вході в трубу і неповним на решті довжини подібно до витікання води з-під щита; і напірні, працюючі повним перерізом на всій довжині труби, як насадки великої довжини (рис. 116).

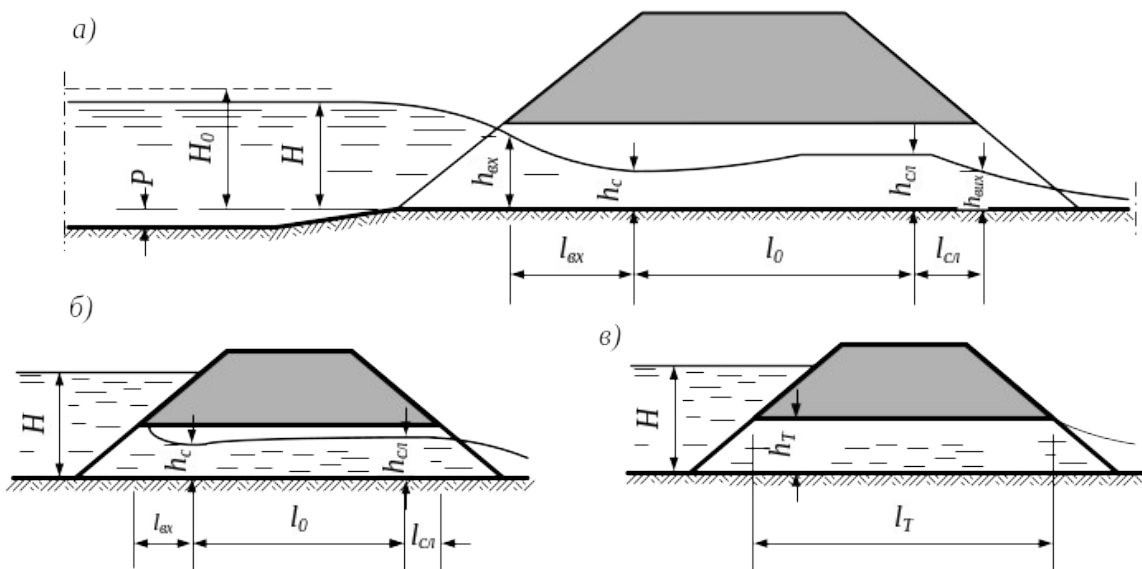


Рис. 116. Режими протікання води в трубах:
 а - безнапірний; б - напірний; в - напірний

За формою отвору труби поділяються на круглі, прямокутні, трапецеїдальні, трикутні, овоїдальні, з вертикальними стінками і склепіннями, еліптичні і ін. Прямокутні труби мають більшу водопропускну здатність, ніж круглі.

За числом отворів труби бувають одно-, дво- і тричкочовими. Багатоочкові труби не рекомендуються через можливу нерівномірність пропускання води їх отворами, збільшення швидкості перерізу на виході з деяких отворів і розмиву русла.

За способом будівництва є такі, що виготовляються на місці (монолітними), або збірними – з готових блоків.

За матеріалом труби можуть бути дерев'яними (як постійні споруди вони заборонені і застосовуються лише для тимчасового використання), кам'яними, бетонними, залізобетонними, металевими.

За конструкцією труби поділяються на такі, що мають фундаменти (під залізницями), і безфундаментні (під автодорогу на нестисливих дренавальних ґрунтах).

8.2. Конструкції труб

Основною частиною **труби** (рис. 115) є ланки, що сприймають тиск ґрунту насипу і розташованого на ній тимчасового навантаження. У середній частині труби тиск більше, і ланки мають бути міцнішими, але з метою стандартизації їх роблять часто однакової конструкції на всій довжині труби.

При вході в трубу і виході з неї влаштовуються оголовки (рис. 117, 118). Вони плавно вводять водний потік у трубу і виводять його з труби. Завдяки оголовкам знижується опір руху води і підвищується пропускну здатність труби, а також зменшується небезпека розмиву насипу і русла.

Труби можуть бути з оголовками і без них. Застосування оголовків підвищує водопропускну здатність труб.

За видом вхідної ланки оголовки бувають з нормальною ланкою, висота якої рівна висоті ланок середньої частини труби (рис. 117, а); з підвищеною ланкою (рис. 117, б) і з конічною ланкою (рис. 117, в). Труби з підвищеною і конічною вхідною ланкою мають більшу водопропускну здатність, ніж з нормальною ланкою.

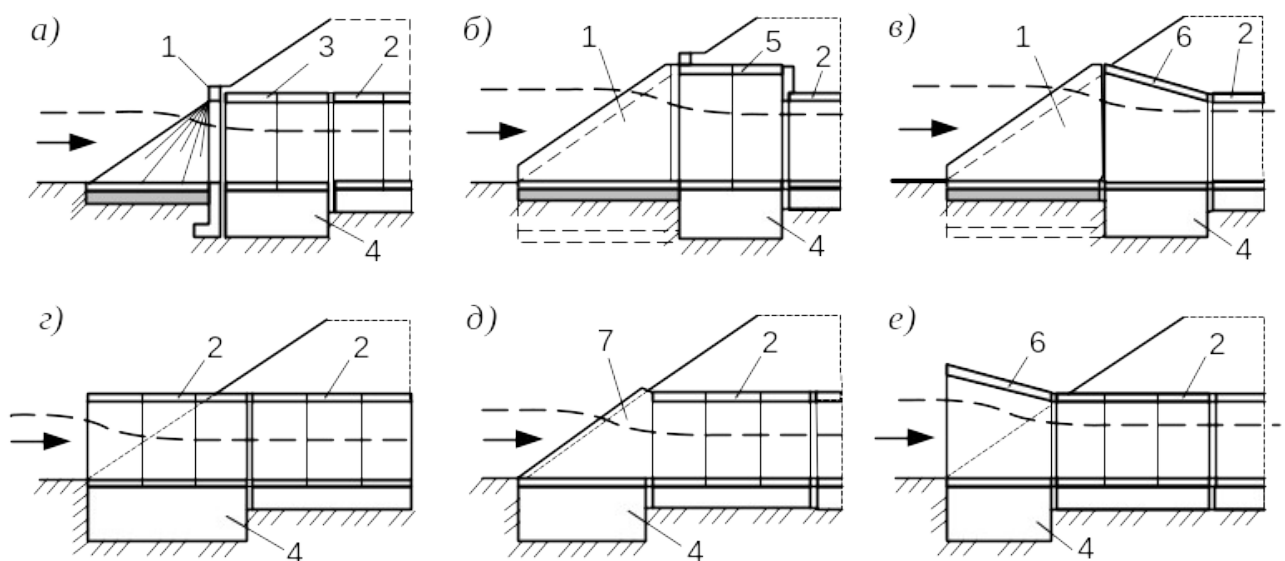


Рис. 117. Типи вхідних і вихідних ланок:

а – з нормальною вхідною ланкою; б – з підвищеною ланкою; в – з конічною ланкою; г – без оголовка з вертикальним торцем; д – без оголовка з похилим торцем (комірний); е – з підвищеною або конічною ланкою без укісних стінок; 1 – укісна стінка; 2 – секція труби; 3 – нормальна ланка; 4 – фундамент; 5 – підвищена ланка; 6 – конічна ланка; 7 – ланка з похилим торцем, зрізаним у площині укосу насипу

На водотоках з незначними витратами труби можуть бути без оголовків із вертикальним зрізом, виступним із насипу (рис. 117, г) або мати комірні оголовки з похилим зрізом у площині укосу насипу (рис. 117, д), а також з підвищеною або конічною ланкою без укісних стінок

(рис. 117, е). Водопропускну здатність труб без оголовок з вертикальним торцем (рис. 117, з) можна збільшити приблизно на 18 % улаштуванням горизонтальної діафрагми на вхідній ланці.

Ланки і оголовки звичайно встановлюють на фундаменти. За наявності фундаментів зменшуються осідання ланок під час експлуатації і деформації труби унаслідок випинання ґрунтів основи.

Типи оголовок труб. У даний час будують водопропускні труби з оголовками таких типів:

- портальний оголовок, що є вертикальною стінкою, розташованою паралельно осі насипу; до складу оголовка входять конуси насипу, укріплені брукуванням (рис. 118, а та 119);

- оголовок коридорного типу, який складається з двох паралельних вертикальних стінок, що мають на кінцях закруглення, такий оголовок забезпечує перепад води в межах оголовка до ланок труби, з цієї умови визначають довжину і висоту стінок (рис. 118, б);

- комірний оголовок, що є ланкою труби з невеликим стовщенням, зрізаною паралельно укосу насипу (рис. 118, в);

- розтрубний оголовок, бічні стінки якого (укісні крила) у верхній частині зрізають по укосу насипу (рис. 118, г, 120);

- розтрубний оголовок з конічною ланкою, в межах якої розташовується перепад (рис. 118, д).

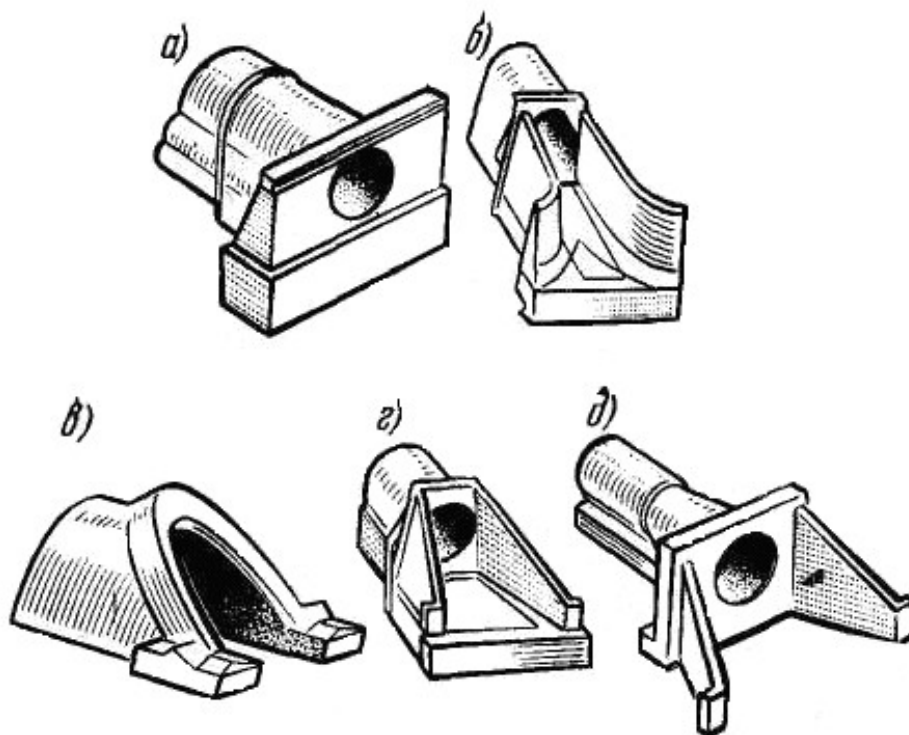


Рис. 118. Типи оголовоків труб:
 а - порталний; б - коридорний; в - комірний; г - розтрубний;
 д - розтрубний з конічною ланкою



Рис. 119. Металева труба з порталним оголовком



Рис. 120. Цегляна труба з розтрубним оголовком

Трубу ділять на секції деформаційними швами, щоб внаслідок нерівномірного осідання не стався злом труби. Довжина секцій приймається не більше 5 м; при довжині, що перевищує 3 м, потрібна перевірка міцності труби при її згинанні в площині осі труби.

Фундаменти під оголовками звичайно мають більшу глибину закладення, ніж під рештою частини труби, тому що тут більша глибина промерзання ґрунту, ніж під насипом, і, крім того, існує небезпека підмиву.

За належних умов (дренувальні ґрунти основи, низький рівень ґрунтових вод у період негативних температур) фундаменти можуть бути замінені подушкою з дренувального ґрунту. Такі безфундаментні труби за сприятливих геологічних умов можна застосовувати для труб малого діаметра під автомобільну дорогу при роботі їх у безнапірному режимі.

Шви між ланками труби мають бути добре ізольовані, щоб вода з труби не могла просочуватися в насип; це могло б викликати небезпечне розрідження ґрунту насипу. З

іншого боку, вода з насипу не повинна проникати в кладку труби, щоб не відбувалося вилуговування і руйнування кладки. З цією метою по поверхні труби, дотичної з ґрунтом насипу, влаштовують гідроізоляцію.

Русло водотоку біля входу в трубу і виходу з неї захищають від розмиву брукуванням. Особливо небезпечний розмив біля виходу з труби, де швидкості течії вищі. Тут брукування роблять посиленням або навіть влаштовують рисберму, тобто роблять поглиблення, що заповнюється каменем.

Дно труби оформляють у вигляді лотка, що має поздовжній ухил. Поверхні лотка надають будівельний підйом по круговій кривій із стрілою, рівною $1/40 - 1/80$ від висоти насипу, щоб після осідання ланок труби на лотку не могла застоюватися вода.

У безнапірних трубах підвищення верхньої точки внутрішньої поверхні труби над поверхнею води при розрахунковій витраті при висоті труби до 3 м мають бути не менше 25 % від висоти труби, якщо переріз труби круглий або склепінчастий, і не менше $1/6$ висоти труби, якщо переріз прямокутний.

На пересічених місцевостях при значних поздовжніх схилах русел, що підходять, і великих швидкостях періодичних потоків можливо утворення наносів перед вхідними отворами труб або на початку їх. Щоб не утворювалися наноси, в проекті передбачають пропускання потоку без різкого зниження його швидкості перед спорудою. Це досягається збільшенням отвору і збереженням природного схилу, а також очищенням русла, що підводить, від продуктів руйнування гірських порід і огороженням входу в трубу від засмічення предметами, що пливуть.

Величину отвору труби для зручності її очищення і експлуатації, як правило, приймають не менше 1 м. На автодорогах дозволяється використовувати труби отвором 0,75 і 0,5 м. Найбільший отвір стандартних труб, що застосовуються в даний час, із залізобетонними круглими ланками – 2 м. У разі потреби можна зробити двоочкову або навіть багатоочкову трубу, уклавши поряд дві або більше стандартних ланки.

Труби, як правило, розташовують перпендикулярно до осі дороги, але при косому перерізі глибоких ярів влаштовують скісні або криволінійні труби, а на крутих схилах місцевості – косогірні труби.

Скісні труби (рис. 121). Ці труби можуть мати індивідуальні оголовки або клиноподібні ланки в середній частині. Застосування індивідуальних оголовок покращує гідравлічні характеристики, але ускладнює конструкцію і збільшує довжину труб. Труби з клиноподібними ланками мають прості оголовки, але меншу водопропускну здатність.



Рис. 121. Скісна цегляна труба

Косогірні труби. Такі труби влаштовують на перехрещеннях доріг з малими бурхливими водними потоками з поздовжнім ухилом русла більше 0,02. Ці труби звичайно мають такі конструктивні частини: швидкотік з вхідною ділянкою, перехідний пристрій від швидкотоку до труби, середню частину труби, гаситель енергії водотоку на виході з труби і відвідне русло із зміцненням. Залежно від місцевих умов деякі з цих частин можуть бути відсутніми. При великих схилах русла труби звичайно мають на вході і виході водобійні колодязі або шахти. Швидкотоки є збірними залізобетонними або монолітними бетонними лотками з вертикальними або похилими стінками і звичайно з

шорстким дном для зменшення швидкості протікання води. Перехід від швидкотоків до труби здійснюють плавним зменшенням поперечного перерізу потоку за допомогою прямолінійних або криволінійних, вертикальних або похилих стінок.

Для зменшення швидкості протікання води створюють підвищену шорсткість поверхонь труб улаштуванням сходів, порогів і ребер. Не допускаються пристрої, що сприяють відкладенню наносів, застою і замерзанню води. Пороги повинні мати прорізи для повного стоку води. Труби з підвищеною шорсткістю не застосовують на водотоках, що несуть гравійно-галечні ґрунти. Поперечні пороги і ребра допускаються на швидкотоків і в трубах отвором не менше 1,25 м, якщо це не викликає великих витрат на очищення від наносів і льоду.

Гасителі енергії потоку влаштовують для зменшення швидкості протікання води на виході з труби і скорочення розмірів зміцнення відвідного русла. Гасителі є розтрубом з вертикальними стінками із збірною залізобетону або монолітного бетону. Застосовують такі типи гасителів енергії потоку: 1 - з водобійними порогами біля виходу з труби і в кінці гасителя; 2 - з одним порогом у кінці гасителя; 3 - з підвищеною шорсткістю лотка. Довжину і висоту стінок гасителя призначають відповідно до контуру поверхні води на виході з труби.

Для залізниць і автомобільних доріг розроблений типовий проект косогірних уніфікованих збірних залізобетонних, круглих і прямокутних труб, швидкотоків, водобійних колодязів і гасителів енергії потоків для різних кліматичних, топографічних і геологічних умов.

Дерев'яні труби. Ці труби звичайно мають прямокутний, трапецеїдальний або трикутний отвір (рис. 122). Вони складаються з лежнів, рам і обшивки. Лежні з колод укладають на спланований ґрунт або глинисту подушку товщиною 0,5÷0,75 м. Рами виготовляють з колод або брусів і ставлять на відстанях 1,0÷1,5 м.

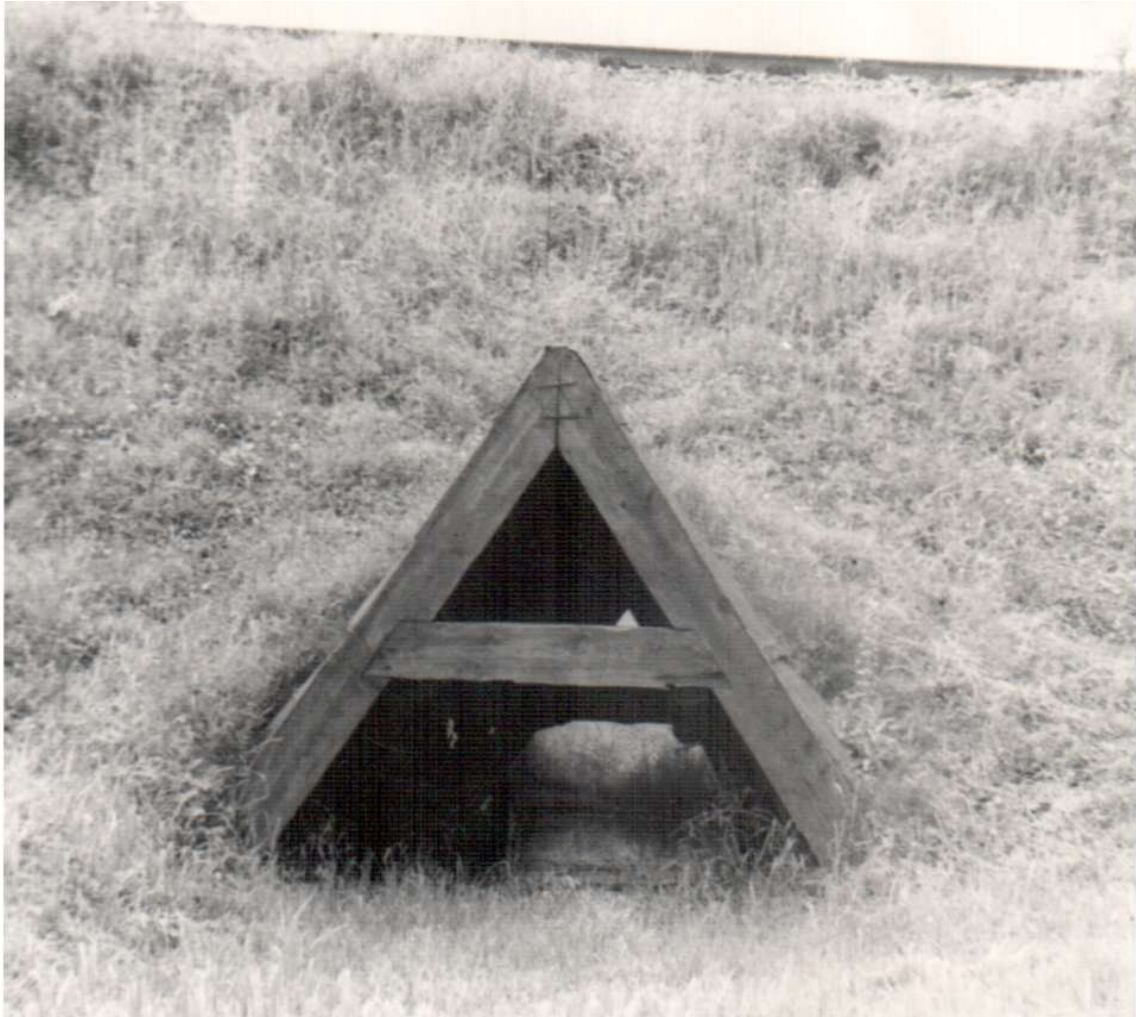


Рис. 122. Трикутна дерев'яна труба

Елементи труб з'єднують простими врубками з мінімальним застосуванням металевих скріплень. Обшивку роблять з пластин або товстих дощок. Зверху обшивки укладають шар м'ятої глини товщиною 0,2÷0,3 м. Круглі труби складаються з кільцевих кружал, обшитих обалолом або дошками. Оголовки труб є порталними або розтрубними стінками з паль і обшивки. Перед трубою в ґрунті влаштовують шпунтову стінку. Дерев'яні труби мають малу вартість, трудомісткість і тривалість будівництва. Їх можна зводити з місцевих матеріалів і у будь-який час року. Через гниття дерев'яні труби мають незначний термін служби (4÷6 років). Ремонт і заміна їх пов'язані із значними

труднощами. Тому дерев'яні труби можуть застосовуватися лише на тимчасових дорогах або як тимчасові споруди.

8.3. Конструкція кам'яних і бетонних труб

Ланки кам'яних труб у поперечному перерізі іноді мають овоїдальну форму, що дозволяє надати склепінню таких ланок контур по кривій тиску (рис. 123, а). Застосовуються і кам'яні труби прямокутного перерізу з перекриттям отвору склепінням. Такі труби кращі за пропускну здатністю (рис. 123, б). Склепінчаста конструкція кам'яних труб обумовлена властивостями матеріалу – кам'яної кладки, що недостатньо чинить опір розтягуванню.

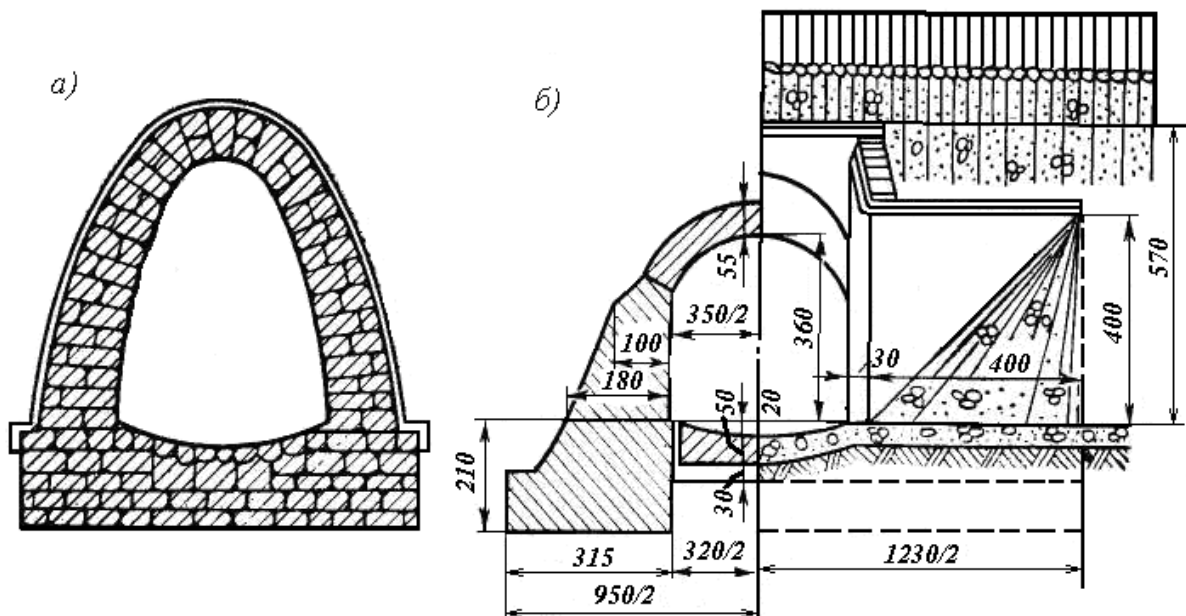


Рис. 123. Кам'яні труби:
а - овоїдальна; б - склепіння на стояках

Склепіння труб приймають параболічного, еліптичного, коробчастого або іншого контуру, що наближається до кривої тиску від навантажень на трубу, для зменшення згинальних моментів у перерізах склепінь. Залежно від геологічних і кліматичних умов склепіння опирають на суцільні або роздільні фундаменти або на вертикальні стіни (рис. 123, б та 124). Труби складаються з секцій довжиною від 3 до 6 м, покритих гідроізоляцією. Кам'яні труби мають порталні, розтрубні, коридорні і комірні оголовки з нормальними або

підвищеними вхідними ланками. Видимі поверхні оголовків звичайно облицьовують тесаним каменем.



Рис. 124. Кам'яна труба в насипі з розтрубним оголовком



Рис. 125. Бетонна овоїдальна труба з розтрубним оголовком
Аналогічну конструкцію мають і бетонні (неармовані) труби (рис. 125). Великим недоліком таких кам'яних і бетонних труб є трудність індустріалізації будівництва. Застосування труб збірної конструкції з дрібних бетонних блоків лише в невеликому ступені усувало цей недолік. Тому в даний час кам'яні і бетонні труби розглянутого типу не будують, але вони є у великій кількості на діючих залізницях.

Конструкція бетонних труб. Ці труби мають прямокутні отвори шириною 1,5, 2 і 3 м при висоті 2 м і шириною 2÷6 м через 1 м при висоті 3 м. Вони можуть бути одно- і двоочковими; водопропускна здатність їх досягає 150 м³/с.

Середня частина бетонних труб складається із секцій довжиною 3÷4 м, які можуть бути монолітними або збірними. Збірні секції складаються із залізобетонних плит перекриття отвору, бетонних блоків стін, насадок, лотка і фундаменту (рис. 126 та 127). Залізобетонні плити шириною 1 м не лише перекривають отвори труб, але і

служать розпірками між стінками труб. Бетонні блоки стін мають масивну фігурну конструкцію довжиною 1 м і заввишки 1,8 та 2,6 м. Зверху стінні блоки об'єднують залізобетонними насадками довжиною 3÷4 м, на які укладають плити покриття. Труби отвором 1,5, 2 і 3 м мають суцільні фундаменти, а інші – роздільні на природній основі, моновітні або збірні, або пальові фундаменти. Лотки бетонують на піщаній підготовці. Труби мають розтрубні оголовки з підвищеною вхідною і нормальною вихідною ланкою.

Бетонні труби мають велику кількість блоків різної форми і розмірів, що ускладнює їх виготовлення. Великий об'єм кладки блоків на цементному розчині, гідроізоляційні та інші роботи вимагають значних трудових витрат і часу будівництва. Ці труби мають малі експлуатаційні витрати і великий термін служби.

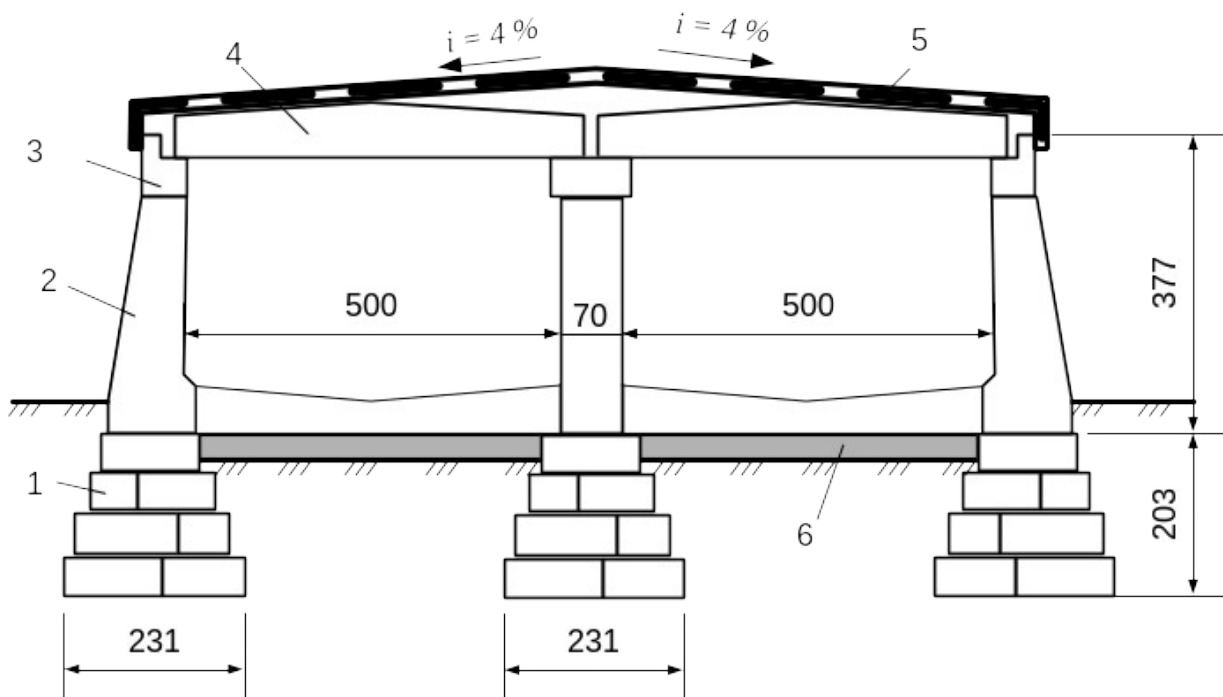


Рис. 126. Конструкція бетонної труби:

1 – фундамент; 2 – бетонний стінний блок; 3 – насадка; 4 – залізобетонна плита; 5 – гідроізоляція; 6 – лоток



Рис. 127. Збірна двоочкова бетонна труба

Бетонні труби застосовують при висоті насипу до 20 м для пропускання періодично і постійно діючих водотоків на всій території країни. Труби отвором не менше 3 м можна використовувати у водотоках з полоями, але обов'язково в комплексі з протиполійними пристроями, що гарантують запобігання шкідливому впливу полоїв на конструкцію труб і умови пропускання води.

8.4. Збірні залізобетонні і 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 індустріального будівництва, мають порівняно малу вартість, незначну трудомісткість і тривалість будівництва, мають хороші експлуатаційні якості і великий термін служби. Марки бетону за міцністю і

морозостійкістю, а також клас і марки арматурної сталі приймають відповідно до кліматичних умов експлуатації труб.

Конструкція залізобетонних ланок. Збірні труби складаються з круглих циліндрових, круглих з плоскою основою (п'ятою), овоїдальних і прямокутних ланок (рис. 128). Товщину стінок ланок приймають не менше 10 см. Довжина ланок, як правило, рівна 1 м. Подовження ланок до 2÷3 м знижує витрати праці на монтаж труби і улаштування гідроізоляції стиків між ланками на 15÷25 %.

Круглі циліндрові ланки (рис. 128, а та рис.129) мають отвори до 2 м. Товщину і армування ланок приймають залежно від висоти насипу, тимчасового і рухомого навантаження і положення ланки в трубі.

При дії тиску ґрунту насипу верхня і нижня частини ланок прогинаються всередину, а бічні – назовні. Тому у верхній і нижній частинах робоча арматура повинна розміщуватися у внутрішній поверхні ланок, а в бічних - у зовнішній, але у зв'язку з тим що циліндрові ланки можуть бути встановлені в будь-яке положення, їх арматуру роблять подвійною.

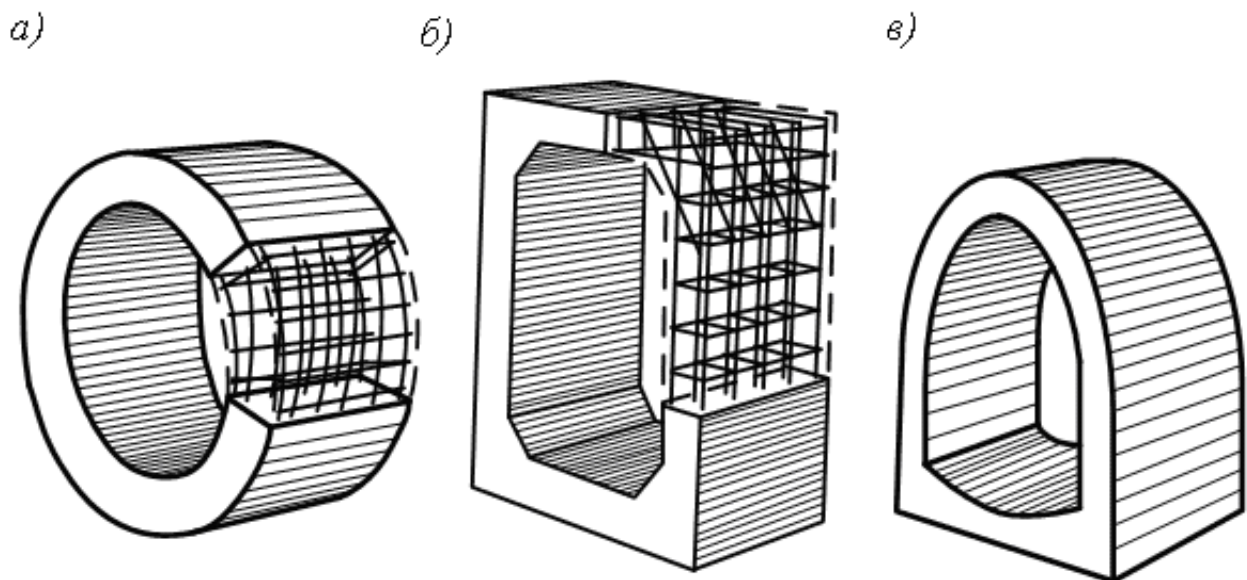


Рис.128. Ланки залізобетонних труб:
а - круглі; б - прямокутні; в - овоїдальні

Арматурний каркас круглих ланок складається із зовнішньої і внутрішньої спіралей з арматурної сталі діаметром 8 - 10 мм і поздовжніх стержнів діаметром 6 мм, з'єднаних зварюванням або в'язальним дротом. Зовнішню і внутрішню сітки з'єднують скріпками і отримують жорсткий просторовий каркас.

Овоїдальні ланки (рис. 128, в) складаються із склепіння і плити лотка, з'єднаних у замкнуту конструкцію з плоскою основою. Вісь склепіння має контур, близький до кривої тиску ґрунту, тому моменти в перерізах склепіння невеликі, що дозволяє зробити склепіння невеликої товщини і з незначним армуванням. Сучасні овоїдальні ланки мають одиночні арматурні каркаси, що скорочує витрату сталі до 50% і бетону до 20%.

Прямокутні залізобетонні ланки (рис. 128, б та 130) є замкнуті рами отворами 2 і 2,5 м заввишки 2 м і отворами 3 і 4 м заввишки 2,5 м. Товщина стінок ланок складає 13 ÷ 30 см, верхньої двосхилої плити – 17 ÷ 40 см залежно від отвору труби і висоти насипу.



Рис. 129. Кругла двоочкова залізобетонна труба діаметром 1 м



Рис.130. Залізобетонна прямокутна труба

При дії тиску ґрунту насипу стінки і плити прямокутних ланок прогинаються всередину, тому у середині стінок і плит робочу арматуру розташовують біля внутрішніх поверхонь, а в кутках – біля зовнішніх. Арматурний просторовий каркас прямокутних ланок складається із зовнішніх і внутрішніх сіток, з'єднаних скріпками, а в кутках, крім того, нахиленими стержнями.

Конструкція секцій труб. З круглих і овоїдальних ланок збирають одно-, дво- і тричкові секції довжиною 2÷3 м. Простір між ланками в трубах з фундаментами заповнюють пісним бетоном, а в безфундаментних – дренавальним ґрунтом. Верхній поверхні заповнення додають двосхилий ухил не менше 0,03.

Секції з прямокутних ланок можуть бути одно- і двоочковими за умови ретельного заповнення шва між стінками суміжних ланок (рис. 131). Між секціями влаштовують деформаційні шви шириною не менше 3 см.

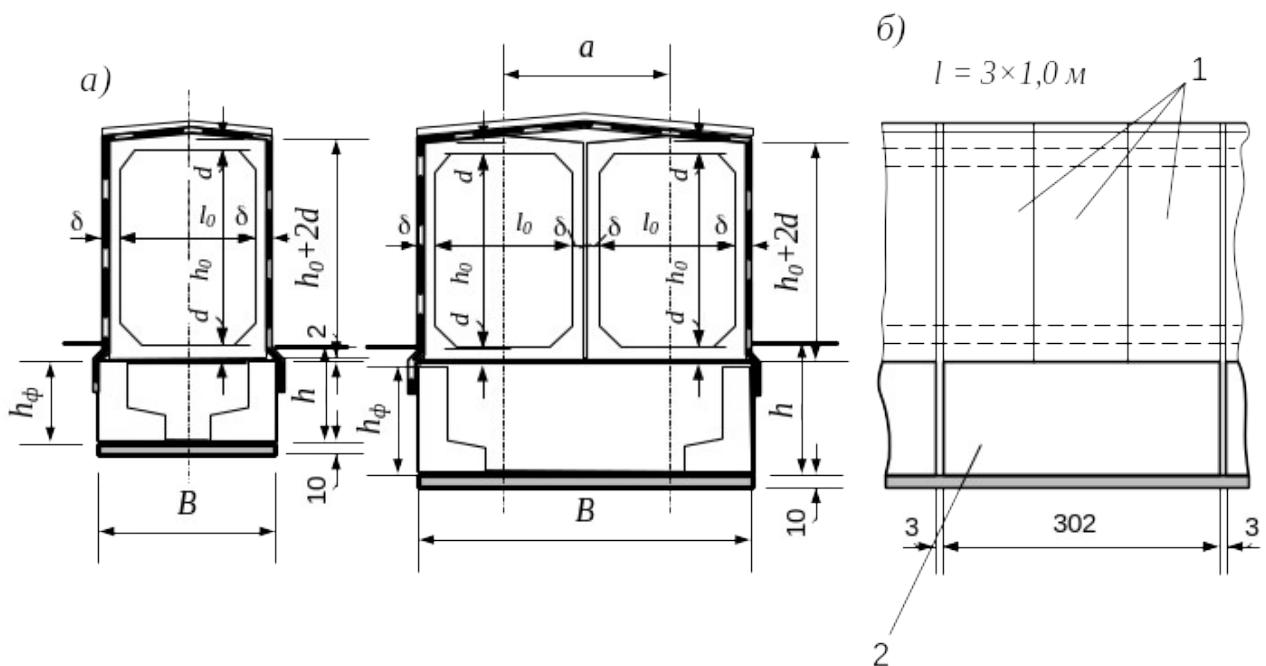


Рис. 131. Секції прямокутної труби:
а – одночкова; б – двоочкова; 1 – ланки труби; 2 – блоки фундаменту

8.5. Металеві труби

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

Чавунні труби мали невелику вартість і трудомісткість будівництва, хороші експлуатаційні якості, але велику витрату металу.

В кінці XIX ст. почали застосовувати економічніші труби з тонколистової гофрованої (хвилястої) сталі з підвищеною стійкістю проти корозії. Характерна особливість цих труб полягає в тому, що при дії тиску ґрунту насипу вони трохи сплющуються і деформуються в боки, при цьому виникає пружне відпирання ґрунту, який підвищує несучу здатність труб і тим значніше, чим вище якість і ступінь ущільнення навколишнього ґрунту.

Отвори гофрованих труб мають круглу, еліптичну або аркову форму. Отвори круглих труб досягають 9 м, а еліптичних – 12 м.

Гофровані труби, як правило, не мають оголовків і виступають з насипу із вертикальним (незрізаним) або похилим (зрізаним) торцем (рис. 117, г, д), що істотно знижує їх водопропускну здатність. Вертикальний торець труб повинен виступати з насипу на рівні їх підшви не менше ніж на 0,2 м, а похилої - не менше 0,5 м. Ці труби бувають багатоочковими і багатоярусними. При багатоярусному розташуванні верхні отвори пропускають лише весняні паводкові води і тому велику частину часу експлуатації залишаються сухими, що підвищує їх довговічність, дозволяє застосовувати на водотоках з полями.

Найбільший отвір має побудована в Канаді труба, що складається з п'яти еліптичних отворів по 10,8 м кожний. Загальний отвір її 54 м. Найбільше число отворів має двох'ярусна труба, побудована там же, що складається з

14 круглих отворів по 2,6 м у нижньому ярусі і 7 круглих отворів по 1,5 м у верхньому; разом 21 отвір.

Сталеві труби складаються з гнутих гофрованих листів завтовшки 1,5÷7 мм з кільцевими або спіральними гофрами. Для захисту від корозії листи після механічної обробки покривають на заводі тонким шаром цинку. Елементи труб мають невеликі габаритні розміри і малу вагу. Їх можна перевозити будь-яким транспортом, зокрема повітряним. Листи з'єднують внапуск, бандажами або фланцями, заклепками, звичайними або високоміцними болтами з фігурними головками і гайками або шайбами, а також зварюванням або паянням, спеціальними замковими швами або скріпленнями.

Гофровані труби можуть значно деформуватися без пошкоджень, тому їх укладають без фундаментів на ґрунтові подушки або ложе з будівельним підйомом. При підвищеній агресивності середовища поверхні труб додатково покривають бітумом, епоксидною смолою або полімерною емаллю. Для захисту від абразивної дії наносів і корозії лотки труб покривають бетоном або асфальтобетонними блоками, застосування яких скорочує вартість, трудомісткість і терміни робіт. Товщина покриття лотків має бути на 2 см вище за гофри.

Труби засипають піщаним, супіщаним або суглинним ґрунтом пошарово рівномірно з обох боків труби і ретельно ущільнюють для забезпечення надійної спільної роботи гнучкої сталеві труби з навколишнім ґрунтом. Коефіцієнт ущільнення ґрунту має бути не менше 0,95 максимальної стандартної щільності. Товщина засипки над трубою на залізницях має бути не менше 1,2 м. Горизонтальний діаметр труб у процесі засипки ґрунтом не повинен зменшуватися більш ніж на 0,03 діаметра.

Завдяки малій масі, транспортабельності елементів, незначній трудомісткості і швидкості складання сталеві гофровані труби відповідають сучасним вимогам індустриального будівництва, мають високу експлуатаційну

надійність. Застосування їх особливо ефективно у віддалених районах, при бездоріжжі і в суворих північних кліматичних умовах.

Типові гофровані круглі труби мають отвори 1÷3 м і можуть бути багатоочковими і багатоярусними. Вони не мають оголовок, тому водопропускна здатність їх приблизно в 2,5 разу менше круглих залізобетонних труб такого ж отвору, але з розтрубними оголовками і конічними ланками.

Типові труби виготовляють з мідистої сталі марки 15сп для районів із звичайним кліматом і з низьколегованої сталі марки 09Г2Д для північних районів. Основним елементом труб є гофрований лист розміром 1760 ÷ 910 мм, завтовшки 1,5÷2,5 мм з гофрами 130 ÷ 32,5 мм, зігнутий по заданому радіусу труби і з отворами для болтів (рис. 132, а). Довжина елемента дозволяє збирати круглі труби з інтервалом отвору 0,5 м. Кількість елементів по периметру труби

$$n = 2 D,$$

де D – діаметр труби, м.

Поздовжні і поперечні стики елементів виконують внапуск звичайними болтами нормальної точності діаметром 16 мм з плоско-опуклими і плоско-вгнутими квадратними шайбами, що забезпечують щільне прилягання шайб до поверхонь гребенів і западин хвиль стисливих гофрованих листів (рис. 132, б).

Труби захищають від корозії, укладають на ґрунтові основи (рис. 132, в) і засипають ґрунтом, як вказано вище. По кінцях труб влаштовують протифільтраційні екрани з глини або бетону (рис. 132, г). Важливою перевагою гофрованих труб є можливість укрупненого складання і нанесення додаткового захисного покриття в теплому приміщенні на центральному полігоні з подальшою доставкою на об'єкти готових секцій довжиною до 10 м, що

суттєво скорочує трудомісткість і терміни монтажу труб, особливо в холодну пору року.

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

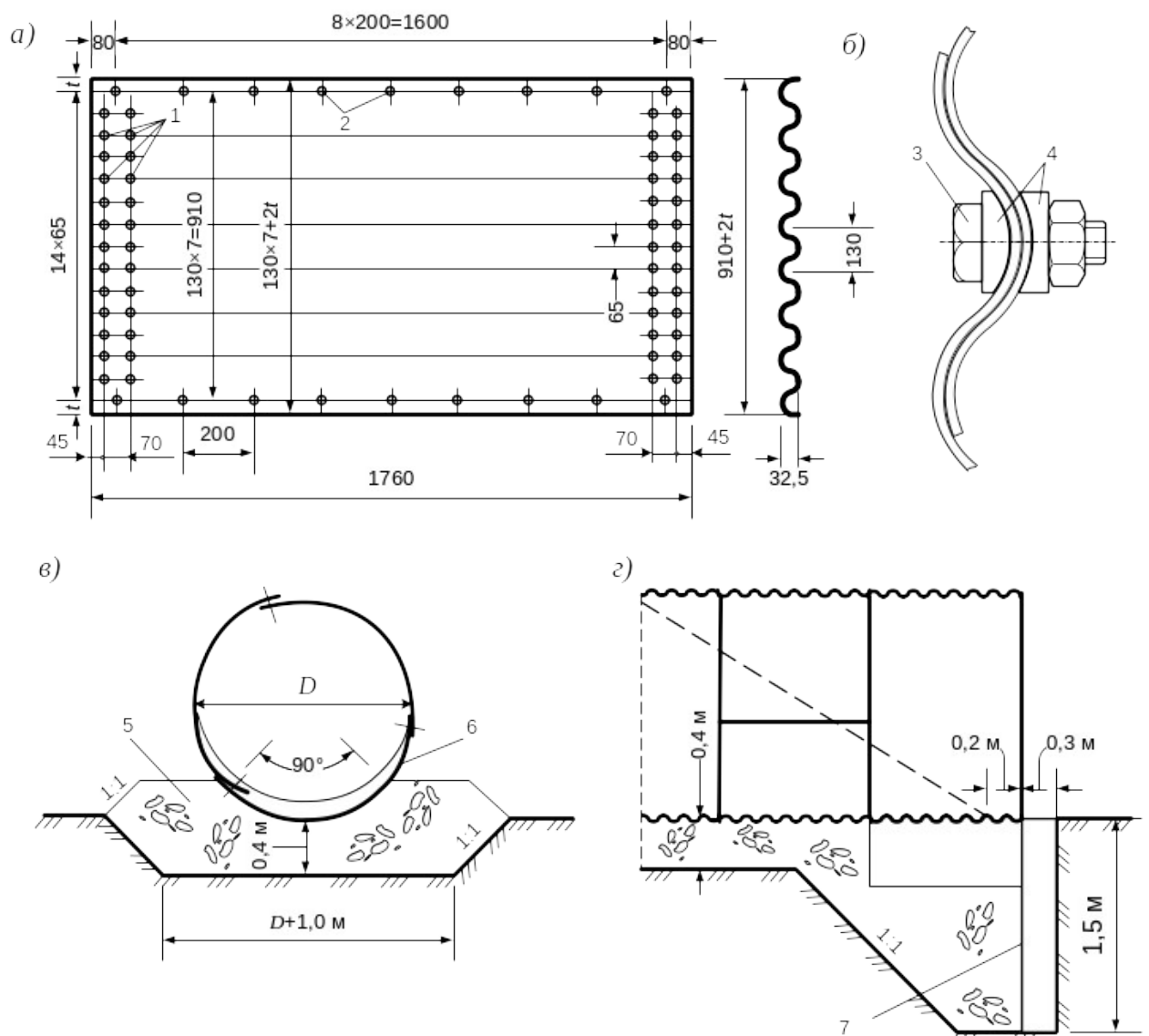


Рис. 132. Конструкція металевої гофрованої труби:
 а - розгортка металевого гофрованого листа (розміри в міліметрах);
 б - болтове з'єднання листів; в - поперечний розріз труби;

2 - поздовжній розріз труби; 1 – отвори для болтів поздовжнього стику; 2 – те ж поперечного; 3 – болт з гайкою; 4 – плоско-опукла і плоско-вгнута шайби; 5 – гравійно-піщана подушка; 6 – лоток; 7 – екран

При осіданнях основи труби ланки з хвилястої сталі легко деформуються без пошкоджень. У більшості випадків фундаменти влаштовують тільки під оголовками таких труб. По всій решті довжини можна обмежитися піщаною або гравійною подушкою невеликої товщини (рис. 133).

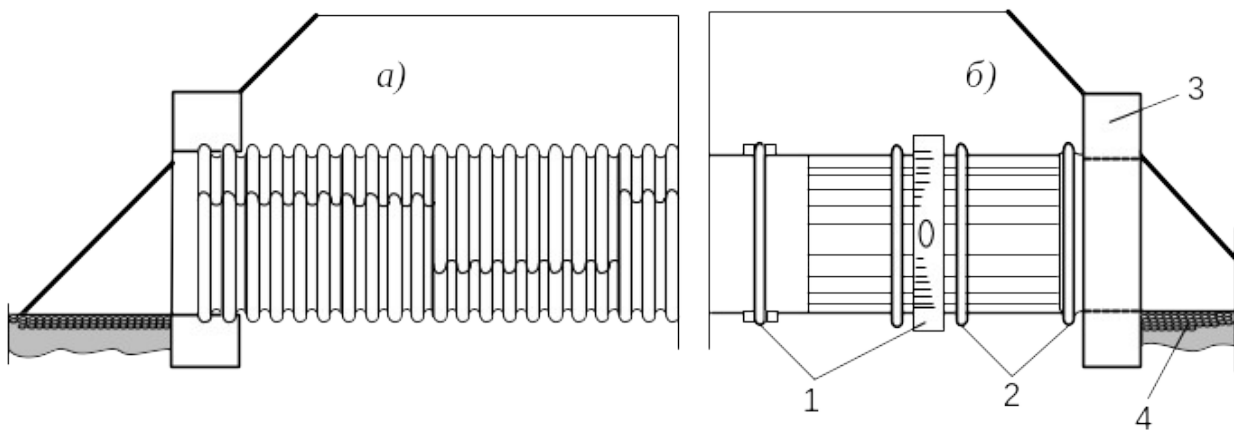


Рис. 133. Металеві труби:

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

Розроблений проект дослідних гофрованих труб отвором 5÷7,5 м круглого і еліптичного поперечного перерізу, а також з бетонними або залізобетонними стінами і склепінням з гофрованої сталі. Ці труби отвором 5 м можна застосовувати при висоті насипу до 20 м, а отвором більше 5 м – при висоті насипу до 15 м для пропускання водотоків з розрахунковою витратою до 60 м³/с, а також автотранспортних засобів. Техніко-економічні показники сталевих труб великих отворів кращі, ніж залізобетонних труб, естакад і шляхопроводів.

8.6. Фундаменти і ізоляція труб

Фундаменти труб. Круглі ланки труб діаметром до 1 м під автодорогами можна при скельових щебневих і гравелістих ґрунтах укласти прямо на ґрунт (рис. 134, а). У глинистих ґрунтах, 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. 134, б). Проектуючи трубу, слід мати на увазі, що рівень ґрунтових вод у період негативних температур повинен знаходитися нижче за цю підготовку на 0,3 м, інакше труба буде деформована при замерзанні води, що насичує підготовку.

Якщо в основі залягають пластичні глини, суглинки або супіски, то залізобетонні ланки труб під насипами автодоріг укладають на лекальні залізобетонні блоки або на монолітні фундаменти (рис. 134, в). Фундаменти з дрібних збірних блоків не рекомендують, оскільки вони більше схильні до деформацій (рис. 134, д).

Ланки прямокутних труб у звичайному кліматі укладають на фундаменти із збірних блоків або з монолітного бетону. Лише на скельовій основі можна замість фундаменту укласти вирівнювальний шар бетону завтовшки 10 см.

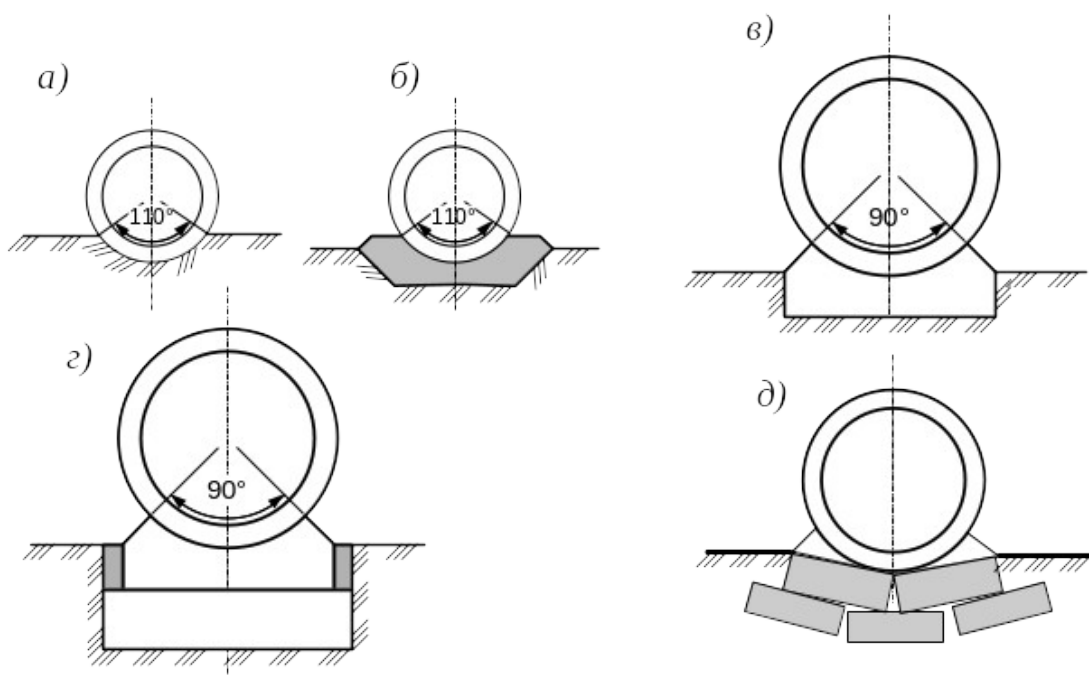


Рис. 134. Способи укладання ланок труб круглого перерізу: а - без фундаменту; б - на гравійну підготовку; в - на лекальний блок; г - на збірно-монолітний фундамент; д - на фундамент з дрібних блоків (показана деформація фундаменту)

Під залізницю труби без фундаментів не проектують у зв'язку з небезпекою деформації труб під впливом тимчасового навантаження.

Фундаменти під такі труби в звичайному кліматі за найбільш сприятливих умов (скельові, гравелісті і крупнозернисті піски, тверді глини і суглинки з розрахунковим опором не нижче $3,5 \text{ кгс/см}^2$ при низькому рівні ґрунтових вод) можна виконувати у вигляді лекальних блоків за рис. 134, в.

При малому отворі труби (до 2 – 3 м) у звичайних умовах і при великих отворах фундамент роблять роздільним під кожну стінку.

За типовими проектами північного виконання труби працюють на досить жорсткому фундаменті. Ця жорсткість у разі потреби може бути підвищена, наприклад, улаштуванням пальової основи. При цьому потрібно мати на увазі, що підвищення жорсткості основи сприяє збільшенню зусиль, що діють на ланки труби.

Серйозним ускладненням роботи труб у північній зоні є можливість появи поздовжніх розтягувань у конструкції труби, що виникають від нестійкості насипу і його основи і призводять іноді до розриву труби. Одним із заходів проти розтягування труби є улаштування пальового фундаменту (рис. 135).

Фундаменти під оголовками завжди повинні мати більш надійну конструкцію, ніж під ланками, оскільки вони схильні до дії води, що входить у трубу або виходить з неї; до того ж основа оголовків не захищена від промерзання тілом насипу. Тому в трубах звичайного виконання під автодорогу блоки оголовка заглиблюють у ґрунт, а ґрунт під оголовком замінюють піщано-гравійною підготовкою на глибину промерзання плюс 25 см. У трубах під залізницю в звичайному кліматі оголовки ставлять на фундаменти з

бетонних блоків або монолітні з аналогічним заглибленням (див. рис. 136).

Рис. 135. Прямокутна труба на палях

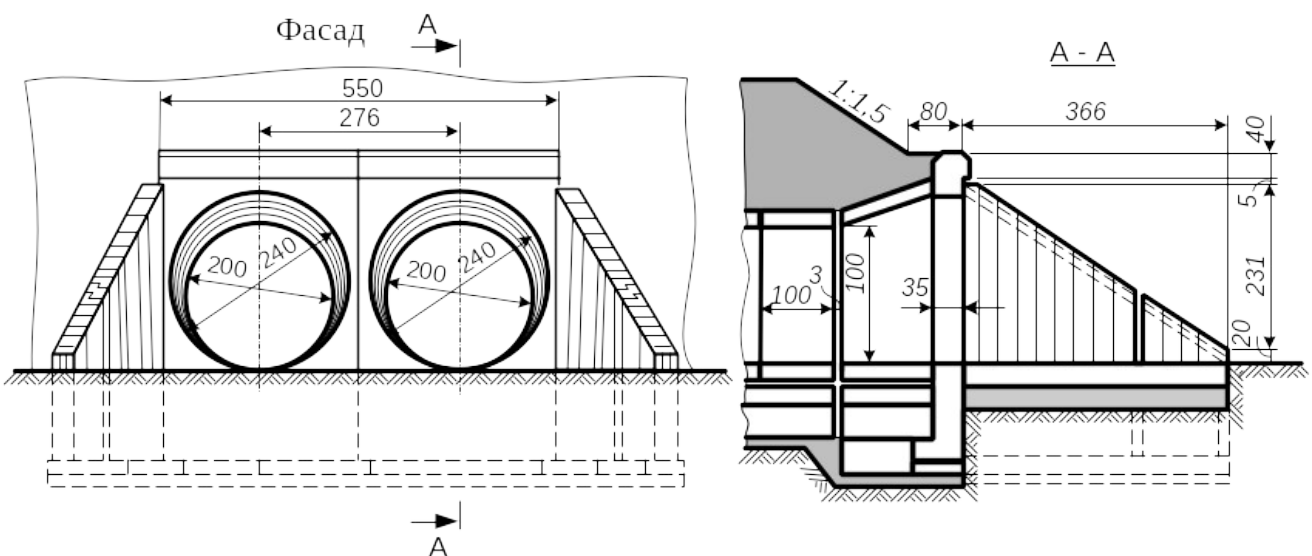


Рис. 136. Оголовок двоочкової труби з круглих ланок під залізницю

Гідроізоляція труб. Зовнішня ізоляція ланок труб може бути обмазувальною або обклеювальною. Обклеювальна ізоляція надійніше захищає трубу від

проникнення води в бетон ланок, ніж обмазувальна, але улаштування її складніше і вартість вище. Тому для ланок заводського виготовлення з щільного бетону, що пройшли заводські випробування на водонепроникність, можна застосовувати обмазувальну ізоляцію для всіх труб у звичайному кліматі і для автодорожніх труб у північних умовах (на тепломорозостійкому бітумі типу «Пластбіт»).

Обмазувальна гідроізоляція (рис. 137, а) складається з двох шарів бітумної мастики, що наносяться завтовшки 1,5 – 3 мм на поверхню ланок у холодному або гарячому стані по підготовці з бітумного лаку.

Обклеювальна гідроізоляція (рис. 137, б) у звичайному кліматі робиться з двох шарів склотканини або бітумізованої тканини, приклеєних до поверхні ланки труби, покритої бітумним лаком, за допомогою гарячої асбестобітумної мастики, яку укладають між шарами тканини і поверх ізоляції. Зверху влаштовують захисний шар з цементного розчину завтовшки 3 см для оберігання ізоляції від пошкодження.

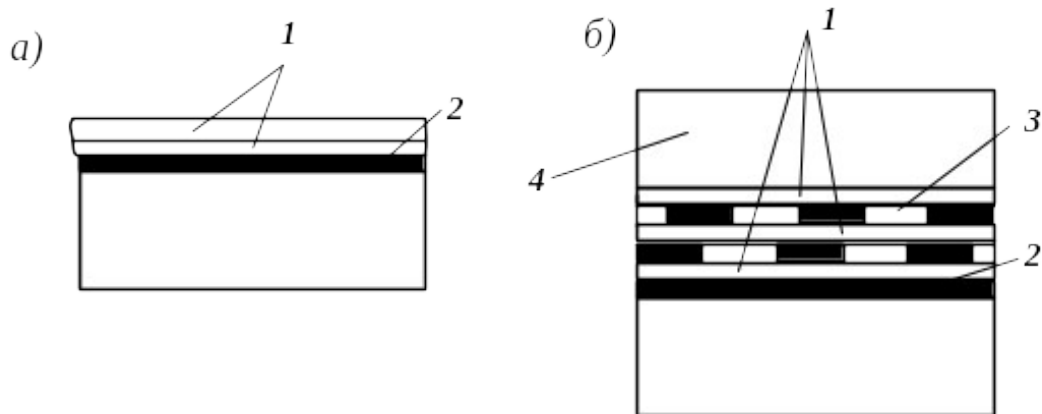


Рис. 137. Ізоляція труб:

а - обмазувальна; б - обклеювальна; 1 - бітумна мастика; 2 - бітумний лак; 3 - тканина; 4 - цементно-піщаний захисний шар

У північній будівельно-кліматичній зоні для залізничних труб застосовують лише обклеювальну ізоляцію з двох шарів склотканини марок ССШ або ССТЭ-6 за ГОСТ 8481-61

між трьома шарами мастики на тепломорозостійкому бітумі. Захисний шар завтовшки 3 см роблять з цементного розчину М 150 і армують його металевою сіткою, а гідроізоляцію стінок захищають цегляною кладкою в півцеглини.

Стики ланок (рис. 138) ізолюють від просочування води з труби в насип, заповнюючи їх з обох боків просоченим у бітумі клоччям. Із зовнішнього боку швів по шару гарячої бітумної мастики наклеюють гідроізоляцію, покриту гарячою бітумною мастикою. З внутрішнього боку шов на глибину 3 см закладають цементним розчином. При обмазувальній ізоляції над швом наклеюють смугу обклеювальної ізоляції шириною 25 см, покриту гарячою бітумною мастикою.

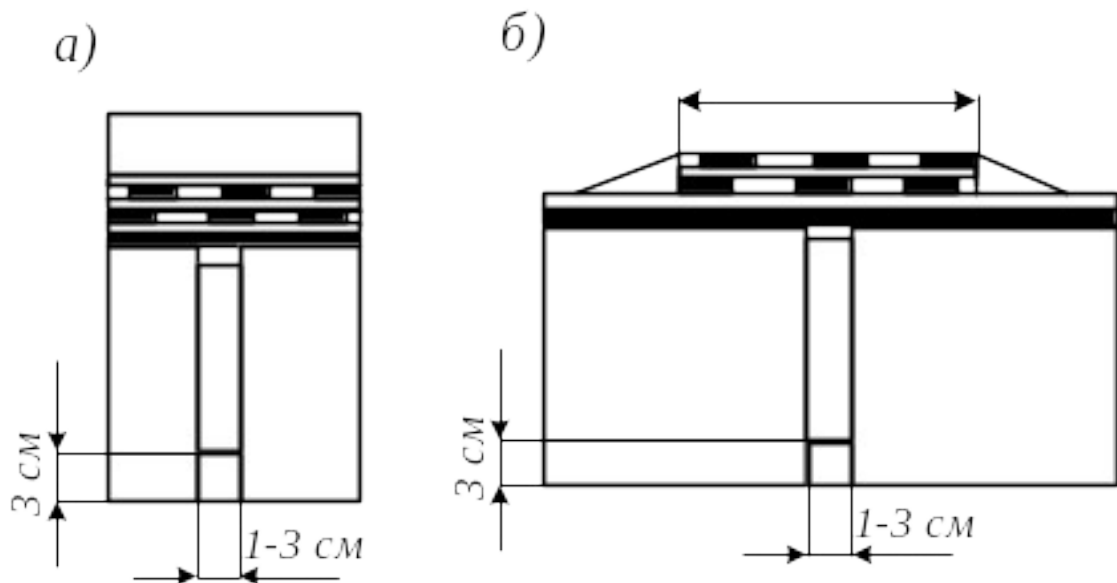


Рис. 138. Ізоляція шва між ланками:

а - при обклеювальній; б - при обмазувальній ізоляції ланок труб

Лоток, крім розглянутого призначення як елемент труби, має ще інше самостійне значення – як особливий вид малої штучної споруди (рис. 10 та 139).

Загальна кількість таких лотків невелика, оскільки обмежується порівняно вузькими межами їх застосування – для пропускання малих водотоків у насипах заввишки до 1,5 м.

Експлуатаційні якості лотків, як і труб, високі. Від мостів вони вигідно відрізняються тим, що не мають прогонової будови. Відстань вгорі між стінами лотка не перевищує відстані між шпалами. Для цього при отворі 1 – 1,5 м стіни лотка у верхній частині виконують із залізобетонними консолями. Перевага лотків перед трубами в тому, що вони відкриті зверху і можуть бути влаштовані в малих насипах, де труба, за умовою дотримання необхідної засипки ґрунту над нею, не застосовна.

В порівнянні з лотками ще застосовуються, в меншій кількості, фільтрувальні насипи, що відсипаються з каменю замість улаштування труби або малого моста. На відміну від лотків, труб і мостів, при яких весь водотік пропускається отвором споруди, причому вживаються спеціальні заходи щодо попередження небезпечного просочування води через звичайні, дрібнозернисті насипи – у фільтрувальних насипах вода, навпаки, пропускається самим насипом. Хороша водопроникна здатність, а разом з тим і збереження від розмиву забезпечується великими розмірами каменів, з яких складається насип. Іноді в тілі такого насипу для збільшення водопроникної здатності прокладають додатково ще звичайну залізобетонну трубу в одне або декілька очок з простими оголовками комірною типу. В необхідних випадках перед насипом відсипають невисоку кам'яну стінку, яка є свого роду фільтром і відстійником, що оберігає насип від замулювання.

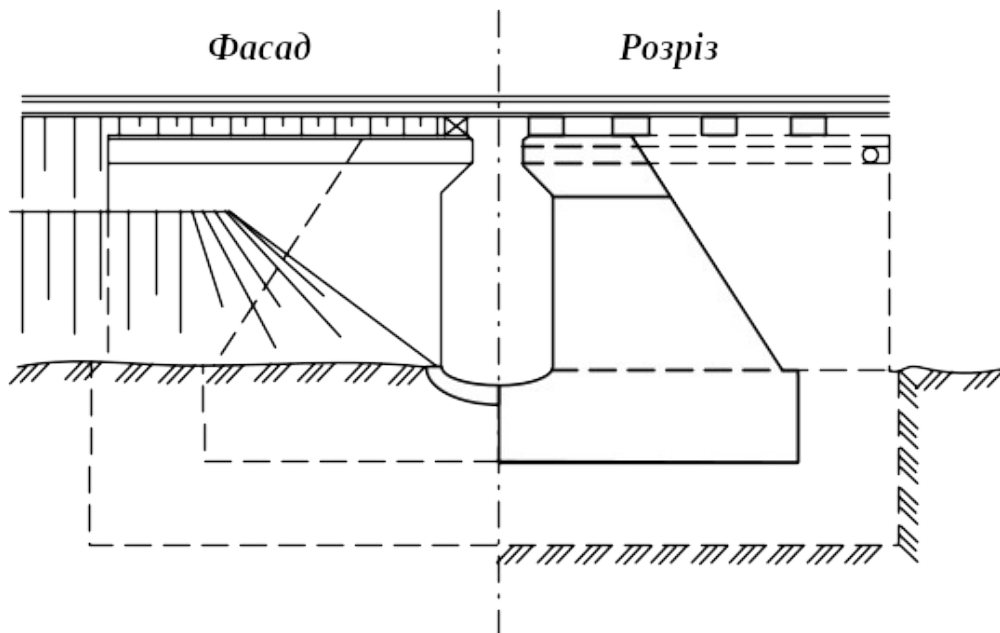


Рис. 139. Лоток

Дюкери – є двома колодязями, розташованими з обох боків виїмки, з'єднаних між собою трубою. Дюкери служать для пропускання води (зрошувальних каналів) з одного боку виїмки на іншу під полотном дороги (рис. 11).

Тут два колодязі, з'єднані трубою, служать як з'єднані посудини для пропускання водотоку під рейковою колією, прокладеним в неглибокій виїмці, коли улаштування звичайної труби неможливо. Щоб труба не замулювалася, дно колодязів трохи знижують відносно лотка труби. Періодичне вичерпування мулу з таких відстійників у колодязях виключає можливість засмічення самої труби, очищення якої вимагало б закриття водотоку і відкачування води з дюкера.

Контрольні запитання для самоперевірки

1. З яких основних конструктивних частин складається водопропускна труба?
2. З яких матеріалів виготовляють труби?
3. Для чого служать вхідний і вихідний оголовки?

4. Як поділяються труби залежно від режиму протікання води? Чим відрізняється в трубах напірний режим від безнапірного?
5. Як поділяються труби за числом отворів і контуром поперечного перерізу?
6. Чим відрізняються порталний і комірний оголовки від коридорного, розтрубного і конічного оголовків?
7. Чому в трубах влаштовують шви між ланками? Для чого і чим треба закладати шви?
8. Чому необхідне брукування підхідного і вихідного русел у трубах? Що таке рисберма і де вона розташовується?
9. Чим відрізняється дюкер від звичайної труби?
10. Для чого влаштовується лоток у трубі?
11. З якого матеріалу влаштовують фільтрувальні насипи?

9. КОНСТРУКЦІЇ ПІДПІРНИХ СТІН НА ДОРОГАХ УКРАЇНИ

9.1. Застосування підпірних стін

Підпірні стіни призначені для підтримки від обвалення ґрунту, що знаходиться за ними. На рис. 12 і 140 зображені підпірні стіни у виїмці на підході до тунеля. Вони захищають колію від обвалу крутих укосів виїмки. В іншому випадку (рис. 141) підпірні стіни утримують від обвалення земляне полотно, зведене на узгір'ї.

Роль підпірних стін виконують і деякі частини інженерних споруд. Так, стояни мостів, будучи опорами прогонових будов, у той же час підтримують від обвалення всередину підмостового простору земляне полотно підходів у межах ширини стояна. На решті частини ширини насипу ґрунт утримується конусами. За відсутності конусів були б потрібні також підпірні стіни, як у стоянів з укісними крилами (рис. 142). Підтримуючи укоси насипу з боку річки, укісні крила разом з тим захищають ґрунт від підмиву.



Рис. 140. Підпирна стіна біля вхідного порталу тунелю на ділянці Северськ - Відважна

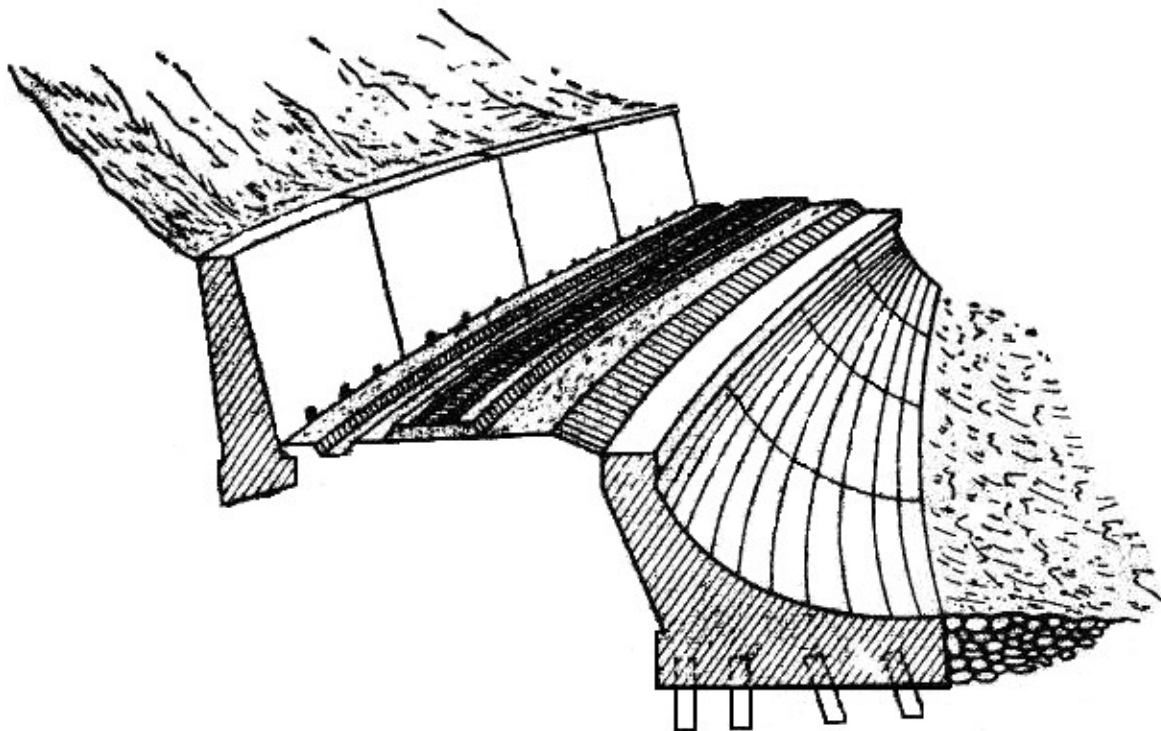


Рис. 141. Підпирні стіни

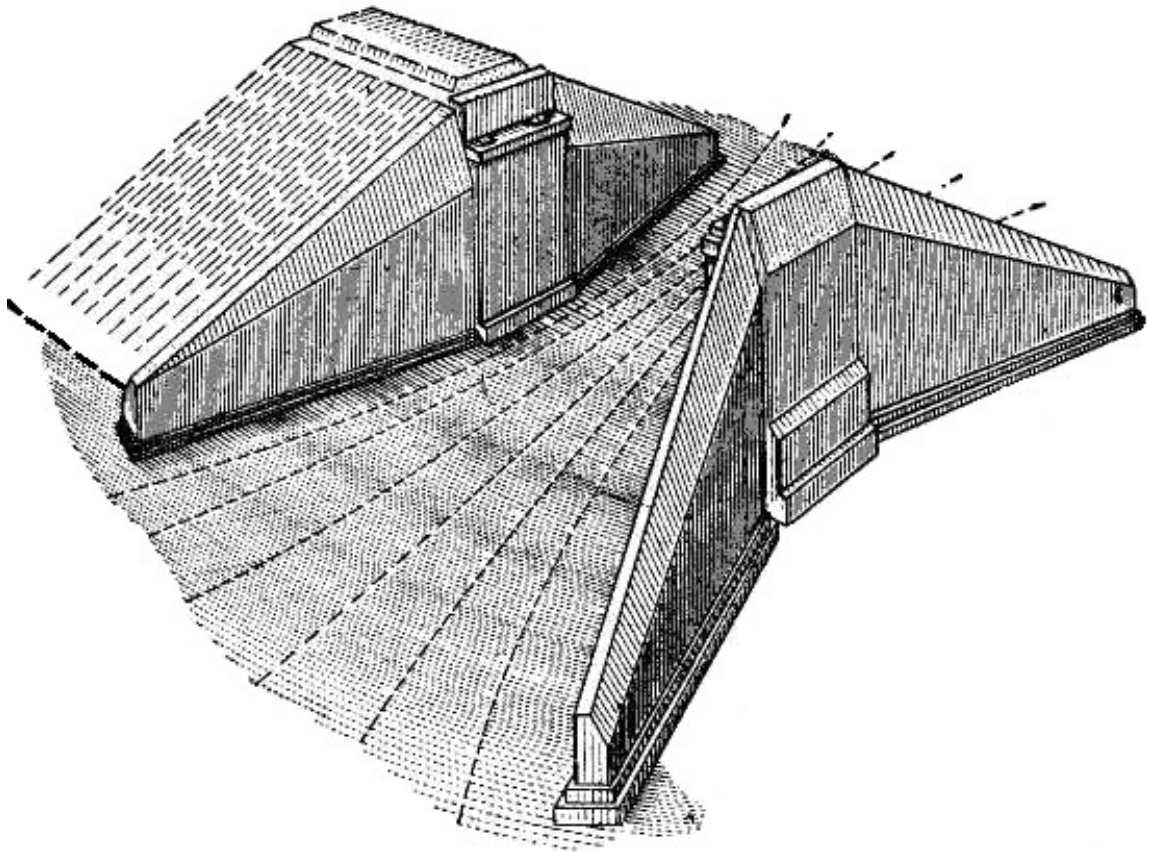


Рис. 142. Стоян з укісними крилами

Подібно до цього, підпірні стіни по берегах річок і морів оберігають берег від розмиву (рис. 143). Плавний контур лицьової грані морських стін знижує ударну дію хвилі на стіну.

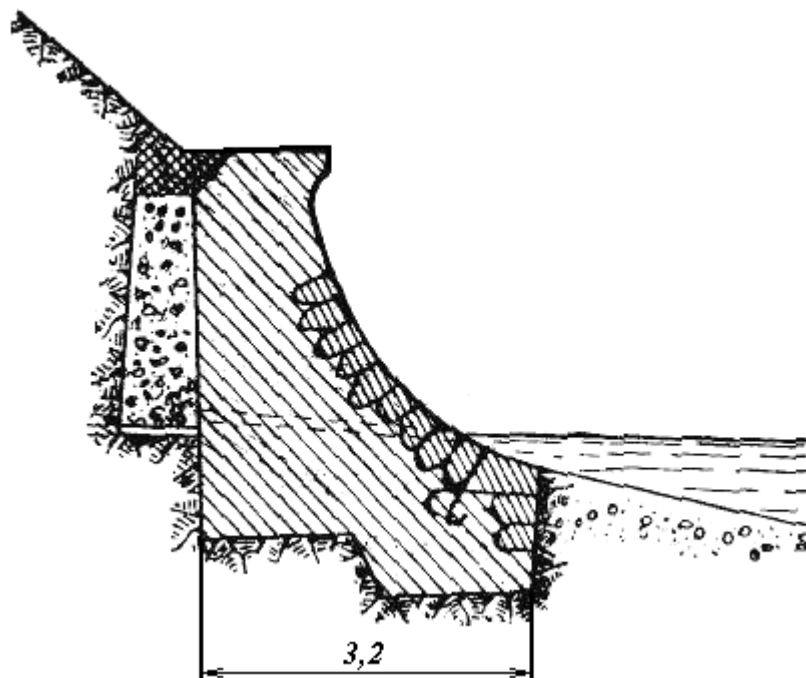


Рис. 143. Морська підпірна стіна

9.2. Конструкція підпірних стін

Підтримуючи збоку ґрунт від обвалення, підпірні стіни повинні мати достатню вагу і розміри, тобто мати достатню стійкість. Тому в порівнянні із звичайними стінами, наприклад у будівлях, підпірні стіни значно масивніші і розширюються в нижній частині. Інакше ґрунт може зрушити стіну, якщо сила тертя по подошві фундаменту, визначувана вагою стіни, буде менше тиску ґрунту. Так само легка стіна з вузьким фундаментом може бути перекинута ґрунтом навколо нижнього зовнішнього ребра фундаменту.

Підпірні стіни будують найчастіше з кам'яної, бетонної і бутобетонної кладки. Поряд із кладкою на розчині підпірні стіни невеликої висоти для менш відповідальних огорож викладують без розчину. У кам'яній кладці і тим більше без розчину необхідна хороша перев'язка швів у суміжних рядах по довжині і товщині стіни, що можливо лише при постілістих, довгастих каменях. Для більшої міцності і щільності кладки зазори між основними каменями заповнюють дрібним каменем і щебенем. Лицьову передню грань у необхідних випадках раніше облицьовували міцним каменем, нерідко чистого тесання, як це, наприклад, показано на рис. 143 в морській підпірній стіні, що піддається великому механічному стиранню дією хвилі.

За формою поперечного вертикального перерізу масивні підпірні стіни різні, хоча для кожної з них характерне стовщення в нижній частині. Відмінність конструктивних форм визначається призначенням стіни і місцевими умовами. Додатково до наведеного прикладу морської стіни на рис. 144 зображені ще дві різні за формою стіни. Одна з них (рис. 144, а) призначена для огорожі насипу в міських умовах, де для кращого архітектурного вигляду і улаштування тротуару в обмежених умовах переважна вертикальна лицьова грань стіни. Інша стіна (рис. 144, б) розташована біля основи високого узгір'я. Тут при великому тиску більш доцільна похила

стіна. Нахил у бік підтримуваного укосу збільшує опір стіни перекиданню і тому дозволяє скоротити витрату кладки. Для збільшення опору зсуву нерідко і підшву фундаменту закладають з ухилом у бік, протилежний зсуву, однак надійніше, за необхідності, закласти фундамент стіни на палях, ще краще – похилих (назустріч тиску ґрунту).

Форма і потужність підпірних стін залежать від величини тиску ґрунту на них, який у свою чергу визначається не тільки висотою всієї маси ґрунту, що захищається, але і його властивостями. Дрібні сипкі ґрунти, наприклад піщані, відрізняються великим бічним тиском, ніж зв'язні глинисті, в яких у сухому стані бічний тиск знижується іноді до нуля, як і в непорушених скельових породах. Але тиск сипких і зв'язних ґрунтів різко зростає з насиченням їх водою. Тому дуже важливо не допустити скупчення води за підпірними стінами. Для цього в стінах залишають дренажні отвори (рис. 145), а для кращого притоку до них води і зменшення їх замулювання за стінами влаштовують дренажну засипку з гравію і дрібного каменю по всій задній грані стіни (рис. 144, б).

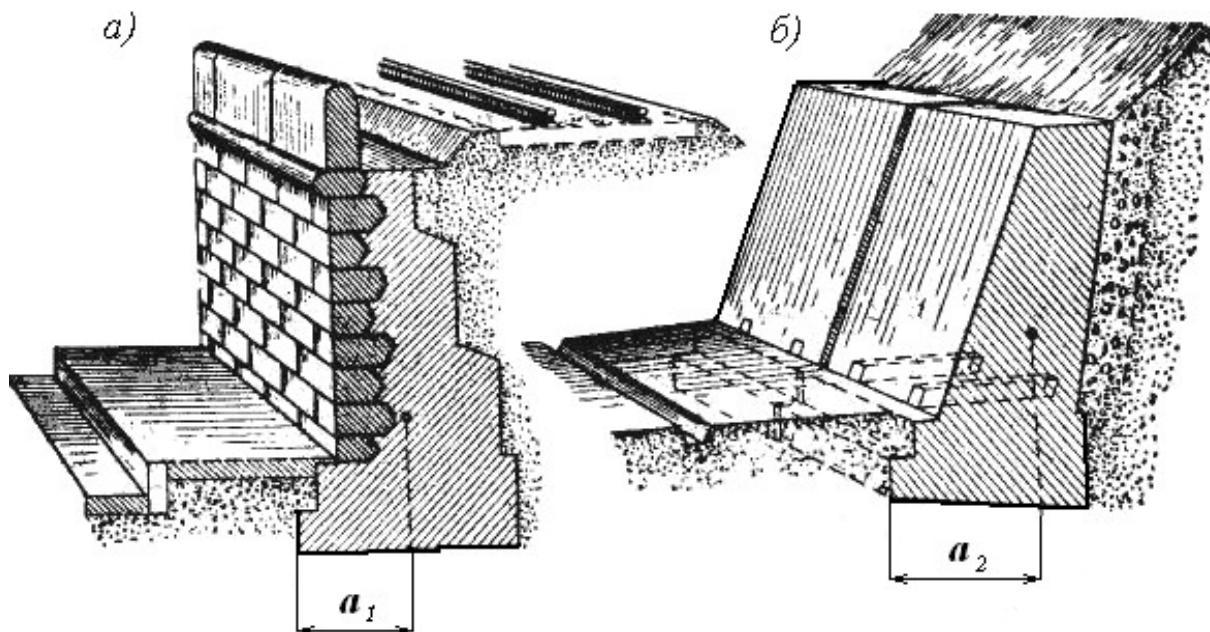


Рис. 144. Кам'яні підпірні стіни:
а - вертикальна; б - похила



Рис. 145. Дренажний отвір у підпірній стіні

Вода із-за стін проникає не тільки через дренажні отвори, які розташовують нерідко в два-три яруси по висоті, але і в деформаційні шви між ланками стіни. Шви влаштовують наскрізні на всю товщину і висоту, чим оберігають довгі стіни від появи в них тріщин, неминучих у разі нерівномірних осідань. Довжина ланок $3 \div 6$ м. Стіну з боку ґрунту покривають бітумом для захисту від намокання.

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

Залізобетон дозволяє різко знизити товщину стін, а головне, створити вдалу конструкцію, не здійсниму з каменю. Форма залізобетонних стін, наведених на рис. 146, різна. Однак по суті всі вони однакові: кожна з них має тонку вертикальну стінку, жорстко з'єднану з плитою фундаменту. Різна лише конструкція посилення цього з'єднання. В одному випадку з'єднання стіни з плитою посилене суцільним вутом (рис. 146, а), у другому – вертикальними ребрами, що окремо

стоять, – контрфорсами (рис. 146, б), у третьому – діафрагмами, поставленими між лицьовою і задньою стінами (рис. 146, в). Для всіх конструкцій залізобетонних стін характерне використання самої засипки ґрунту над плитою фундаменту для того, щоб обважчити підпірну стіну, що підвищує її стійкість проти перекидання і зсуву. У кам'яних стінах (див. рис. 144, а) об'єм такого ґрунту на уступах кладки не може бути таким значним.

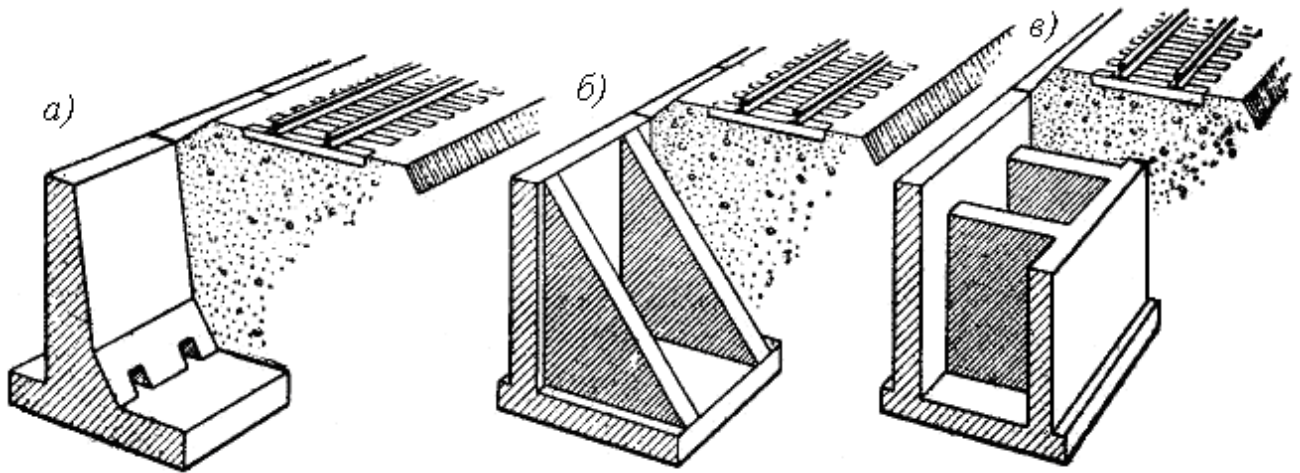


Рис. 146. Види залізобетонних підпірних стін

Залізобетонні стіни, як і масивні, розділені по довжині швами на ланки, вода із-за стін відводиться дренажними отворами, з поверхні стін, що засипається ґрунтом, яка покривається бітумною гідроізоляцією для запобігання фільтрації води через тіло підпірної стіни.

Принципово відмінні від розглянутих монолітних збірні стіни, складені із залізобетонних брусів (рис. 147, а). Стовщення по кінцях поперечних брусів 2 перешкоджають зсуву стіни в ярусах. Така стіна у вигляді зрубу, засипана ґрунтом, проста у будівництві, має гнучкість при нерівномірних осіданнях і не вимагає спеціальних дренавальних пристроїв. Однак при небезпеці розмиву таку стіну треба заповнювати не ґрунтом, а каменем, але в цьому випадку економічніше збудувати кам'яну або бутобетонну стіну.

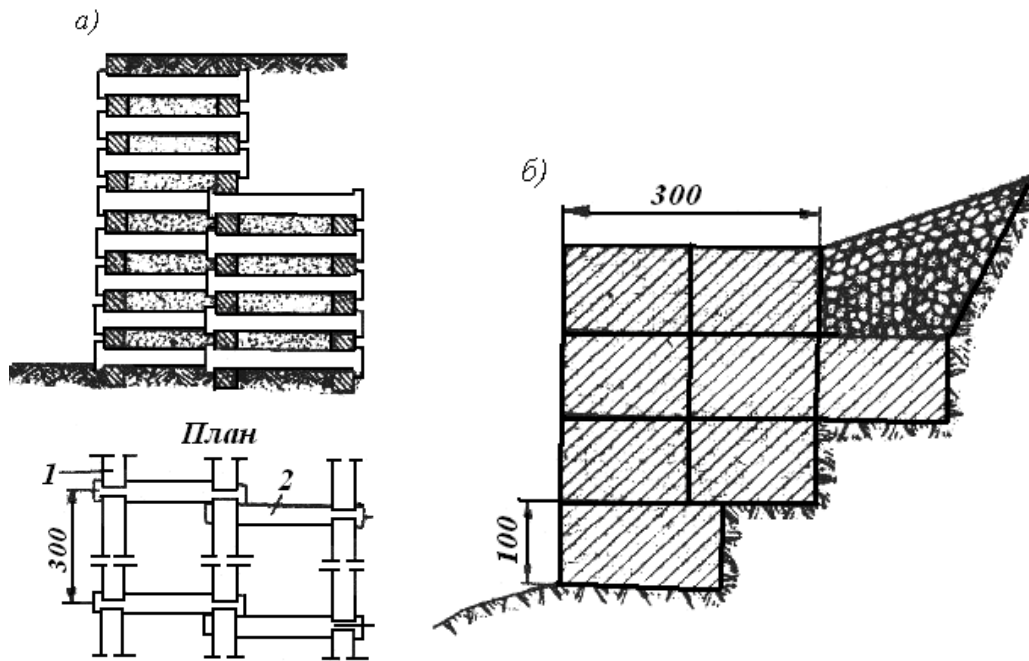


Рис. 147. Збірні підпірні стіни:
 а – із залізобетонних брусів; б – з габіонів

Із застосуванням кам'яної засипки відомі конструкції підпірних стін з габіонів (рис. 147, б). Однак через ржавіння дроту і руйнування габіонів такі стіни не є капітальними.

Підпірна стіна може бути виконана і у вигляді шпунтової огорожі. Замість дерев'яного і металевого шпунта, а також паль, що забиваються впритул одна до одної, для капітальної підпірної стіни з успіхом можуть бути застосовані залізобетонні палі, палі-оболонки і шпунт (рис. 148). На відміну від раніше перелічених стін стійкість проти перекидання шпунтових стін створюється виключно глибиною закладення їх у ґрунти, а міцність на злом – потужністю поперечного перерізу шпунта і оболонок, якщо не влаштовано додаткових ним підкосів і відтяжок.

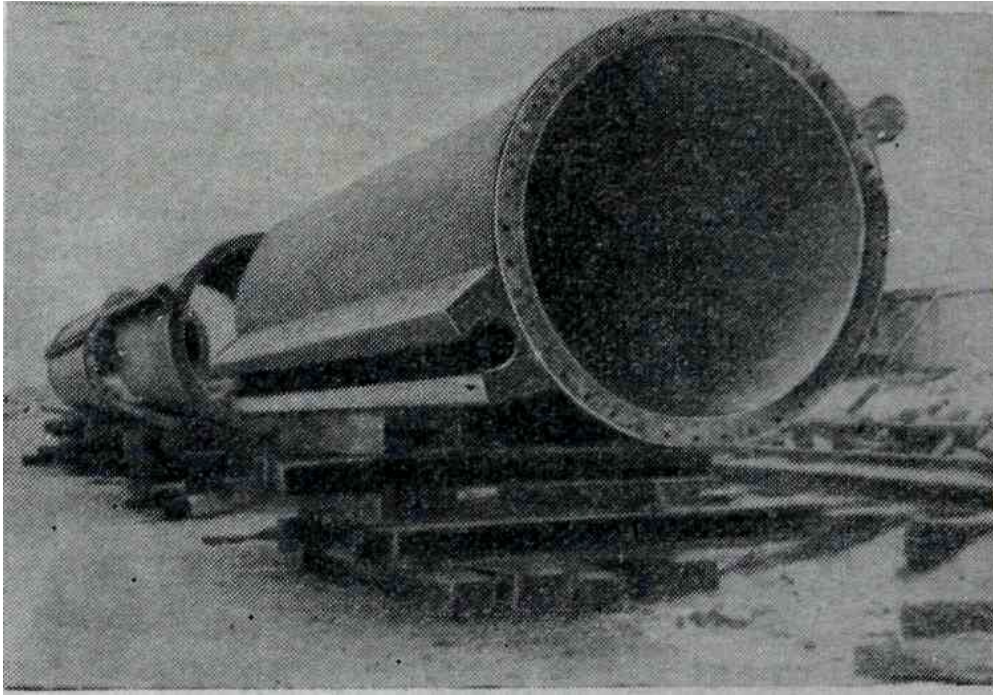


Рис. 148. Залізобетонний трубчастий шпунт

Контрольні запитання для самоперевірки

1. Для чого призначені підпірні стіни?
2. З яких матеріалів будуються підпірні стіни?
3. Як відводиться вода із-за стін?
4. Як призначається розташування швів між секціями стін?
5. Як може посилюватися конструкція підпірних стін?

10. КОНСТРУКЦІЇ ЗАЛІЗНИЧНИХ ТУНЕЛІВ І ТУНЕЛІВ МЕТРОПОЛІТЕНІВ

10.1. Призначення тунелів і їх класифікація

Тунелем називають горизонтальну або похилу підземну інженерну споруду, що має значну протяжність, призначену для пропускання транспортної магістралі під перешкодою або крізь неї.

Крім транспортних цілей тунелі використовуються для пропускання води, прокладання міських комунікаційних мереж або розміщення виробничих підприємств.

Тунелі на залізницях служать засобом для подолання різного роду перешкод або для розвитку лінії під землею з використанням обмеженого ухилу.

До транспортних тунелів належать залізничні, автодорожні, судноплавні, перехідні тунелі і тунелі метрополітенів, а також тунелі великого поперечного перерізу, в яких відбувається рух транспорту декількох видів.

Класифікації транспортних тунелів визначаються ознаками, покладеними в їх основу. Так, за місцем розташування тунелі можна поділити на гірські, підводні і міські тунелі різного призначення.

За способом будівництва розрізняють тунелі, що споруджуються відкритим і закритим способом. При відкритому способі в заздалегідь розробленому котловані споруджують тунельну конструкцію, яку після її завершення засипають ґрунтом. Закритий спосіб спорудження або проходки тунелів у свою чергу підрозділяють на гірський і щитовий.

При гірському способі робіт створюється підземна виробка, що негайно закріплюється тимчасовим кріпленням, під захистом якого надалі створюється постійна тунельна конструкція, звана обробкою. Така конструкція звичайно виконується з монолітного бетону.

Щитовий спосіб спорудження пов'язаний з використанням прохідницького щита (рис. 149) – рухомого сталевого кріплення, що захищає місця розробки породи і споруди обробки, яке при щитовому способі звичайно виконується збірним із залізобетонних або чавунних елементів заводського виготовлення. Окрім перелічених, існують і інші способи спорудження тунелів, що одержали назву спеціальних. Вони застосовуються в особливих

місцевих умовах, коли використання звичайних способів викликає значні ускладнення.

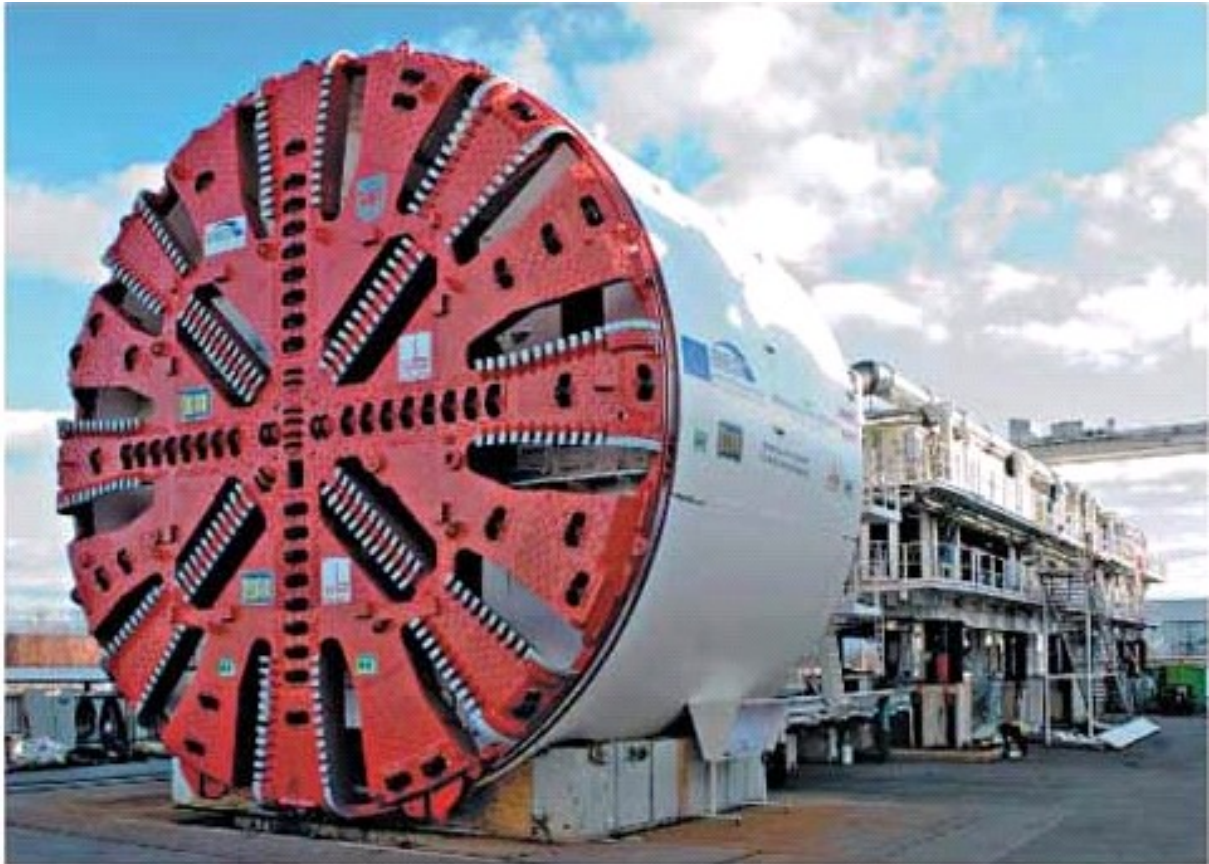


Рис.149. Прохідницький щит діаметром 13,03 м (Австрія)

Подолання перешкод за допомогою тунелів розширює можливості трасування і покращує експлуатаційні показники транспортної лінії. Розрізняють висотні і контурні перешкоди. До перших належать гірські хребти, вододіли та інші височини. Контурними перешкодами називають ділянки земної поверхні, по яких складно або неможливо провести відкриту транспортну лінію без використання інженерних споруд. До таких перешкод у гірських районах належать ділянки обвалів, осипів, лавини і снігових заметів, на рівнинах – водотоки, водоймища і населені пункти, в містах – ділянки густої забудови.

Тунельні варіанти перерізу висотної перешкоди необхідно порівнювати з двома іншими можливими варіантами – обходу перешкоди і розвитку лінії з підйомом на перевал і улаштуванням глибокої виїмки.

Подолання контурних перешкод пов'язане із застосуванням інженерних споруд у вигляді естакад, мостів і тунелів, а захист від осипів, лавини і снігових заметів вимагає улаштування спеціальних галерей. У ряді випадків найбільш радикальним рішенням є перенесення траси в тунель, розташований у глибині гірського масиву за межами небезпечної зони.

Для подолання водної перешкоди необхідне улаштування моста або тунеля. Тунельне рішення можливо у двох варіантах: при споруді щитовим способом або способом опускних секцій. Обидва варіанти можуть успішно конкурувати з варіантом мостового переходу, оскільки підводний тунель порівняно з мостом має ряд важливих переваг: відсутність перешкод судноплавству, захищеність від вітру, льоду і хвиль, менша некорисна висота підйому транспорту і менша довжина перерізу при високому габариті суден і широкій заплаві.

Особливо успішно у світовій практиці конкурують з мостами підводні тунелі з опускних секцій, які, окрім зазначених переваг, відрізняються незвичайно високою індустріальністю виготовлення. Секції таких тунелів довжиною 100 – 150 м виготовляють подібно до суден у заводських умовах у доках або на стапелях, сплавляють до місця спорудження тунелю і опускають у заздальгідь підготовлену траншею або, при глибоких водотоках, на греблю.

Процес спорудження тунелю зводиться до порівняно мало трудомісткого і добре механізованого з'єднання окремих секцій у тунель під водою.

До недоліків тунельного рішення належать необхідність вентиляції, постійного освітлення і водовідведення.

За економічними показниками короткі тунелі поступають мостам. Із збільшенням ширини водної перешкоди вартість 1 пог. м моста збільшується, а вартість 1 пог. м тунеля знижується.

10.2. Огляд розвитку тунелебудування

Тунелі, побудовані до нашої ери і на її початку на території стародавньої Римської імперії, не мали обробки. Вони споруджувалися в скельових породах, достатньо міцних, щоб не обрушитися без підтримуючих пристроїв, але і достатньо м'яких або тріщинуватих, щоб виробку можна було пройти за допомогою таких примітивних інструментів, як кирка, лом і клини.

Подальший розвиток тунельного будівництва відбувався в кінці середніх століть у зв'язку з розширенням торгівлі і розвитком міждержавних зв'язків, а також завдяки винаходу пороху, який швидко знайшов застосування для підривання гірських порід.

Нове інтенсивне будівництво тунелів пов'язане з бурхливим розвитком у 30-ті роки позаминулого сторіччя залізниць, що вимагали порівняно малих ухилів і спорудження тунелів для подолання висотних перешкод. У той же час розвивалися технічні засоби, що розширювали можливості будівельників тунелів. Корінні зміни відбулися у середині XIX ст., коли були відкриті піроксилін і динаміт – вибухові речовини, набагато сильніші, ніж чорний порох. У цей же час були винайдені бурильні машини, що замінили малопродуктивне ручне буріння. Нова техніка відкрила можливість вирішення важких задач тунелебудування – спорудження великих тунелів через Альпи, що розділяли Францію, Італію і Швейцарію.

У XX ст. будівництво тунелів розвивалося не лише на залізницях, але і на автомобільних дорогах всього світу. Область будівництва тунелів значно розширилася після того, як у 1825 р. англійський інженер Брюнель винайшов

прохідницький щит. Будівництво тунелів у слабких нестійких породах перестало бути небезпечною і надзвичайно важкою справою.

Перші залізничні тунелі в Росії були побудовані в 1859-1862 рр., на колишній Петербурзько-Варшавській дорозі. Це – два двоколіїні тунелі довжиною 1280 і 427 м. Побудовано багато тунелів у Криму, на Кавказі, Уралі і в Сибіру.

У 1886 - 1890 рр. споруджений найдовший двоколіїний тунель на території Росії під Сурамським перевалом на Кавказі протяжністю 3998 м. Його будівництво ускладнювалося важкими геологічними умовами. Як геодезичні, так і прохідницькі роботи велися на виключно високому для того часу технічному рівні. Методи робіт і конструкції, запропоновані для Сурамського тунелю, послужили зразком для багатьох наступних споруд і були використані при будівництві низки інших тунелів на Кавказі, в Сибіру і на Далекому Сході.

Після Великої Жовтневої соціалістичної революції і ліквідації розрухи будівництво тунелів на залізницях набуло нового розвитку. У роки перших п'ятирічок на будівництві тунелів у Радянському Союзі починає застосовуватися велика механізація, використовуються нові матеріали і способи ведення робіт, упроваджуються збірні конструкції, удосконалюються і розвиваються методи вишукувань, проектування і розрахунків підземних конструкцій. Найбільшим внеском у техніку світового тунелебудування стало спорудження Московського метрополітену ім. В.І. Леніна. У 1975 р. протяжність ліній Московського метрополітену досягла 180 км, а число станцій перевищило 100.

В даний час успішно експлуатуються і розширюються метрополітени Києва, Харкова і Дніпропетровська. В їх будівництві використаний величезний досвід, накопичений метробудівцями, широко застосовувалися механізовані щити оригінальної конструкції і комплексна механізація

виробничих процесів. Це дозволило досягти рекордних швидкостей проходки.

Проведені великі підземні роботи на будівництві Байкало-Амурської залізничної магістралі, де запроектовані і побудовані найбільші тунелі: Байкальський (6,7 км) і Северо-Муйський (15,3 км), які за розмірами і складністю умов будівництва по праву можуть бути віднесені до найунікальніших підземних споруд у світі.

10.3. Внутрішній контур обробок

Розміри і форми внутрішнього контуру обробок транспортних тунелів визначаються, головним чином, габаритом наближення споруд. Для залізниць нормальної колії встановлений габарит С, для автомобільних доріг – Г-7 і Г-8; спеціальний габарит наближення споруд прийнятий для перегінних тунелів метрополітену.

Оброблення тунелів, що споруджуються закритим способом, мають плавний криволінійний контур. Внутрішній контур обробки одноколійного залізничного тунелю для прямої ділянки колії, описаний навколо габариту С, є коробчастою кривою (рис. 150), побудованою з трьох або п'яти центрів. Внутрішній контур обробки двоколійного тунелю (рис. 151) є коробчастою кривою з трьома центрами, розташованими достатньо близько для того, щоб їх можна було об'єднати в один центр. У цьому випадку контур окреслюється дугою одного кола і обмежений ним внутрішній простір виходить трохи надмірним.

Між габаритом у точці А (рис. 151) і внутрішнім контуром обробки залишається вільний простір розміром 10÷15 см, що забезпечує запас на неточність будівельних робіт, а в точці Б - розміром 30÷35 см – для розміщення за межами габариту С пристроїв сигналізації, зв'язку, світильників і кабелів.

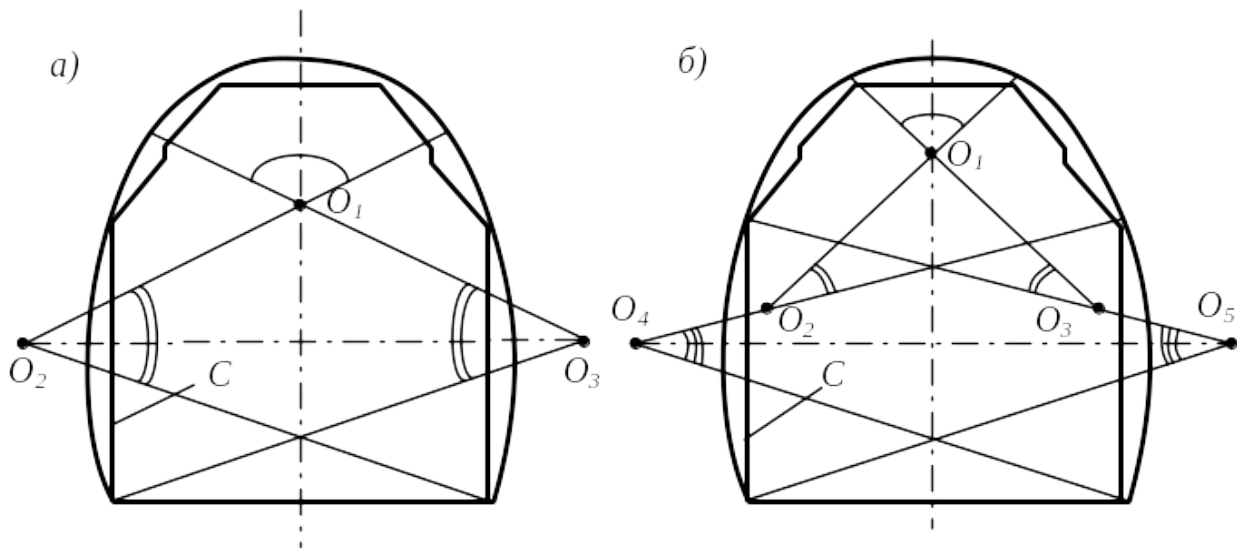


Рис. 150. Побудова внутрішнього контуру підковоподібної обробки одноколійного тунелю:
а - з трьох центрів; б - з п'яти центрів

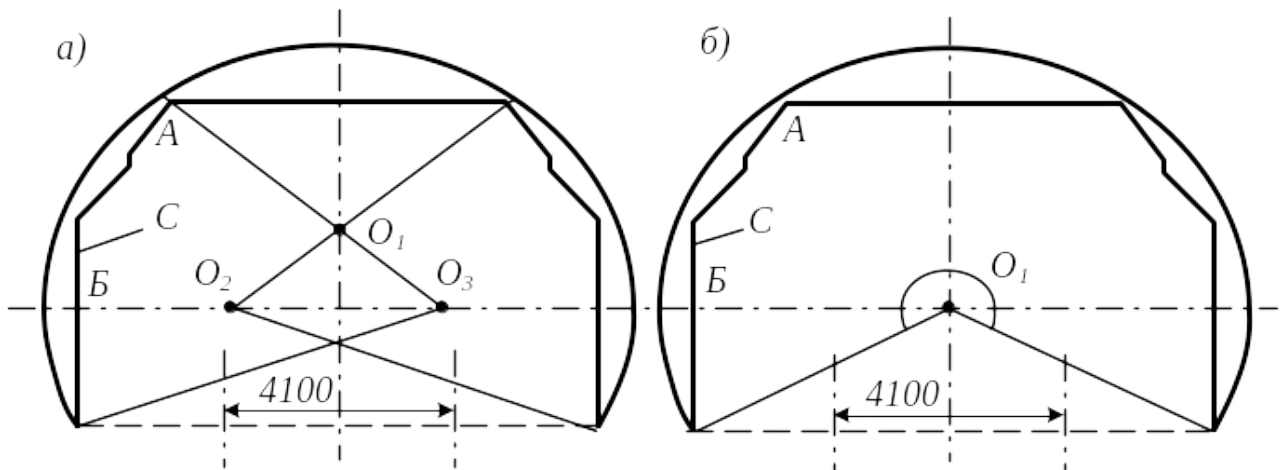


Рис. 151. Побудова внутрішнього контуру підковоподібної обробки двоколійного тунелю:
а - з трьох центрів; б - з одного центру

Внутрішній контур обробки автодорожнього тунелю для габариту Г-8 формою і розмірами близький до контуру двоколійного залізничного тунелю. Надмірний простір над габаритом використовується звичайно для вентиляції тунелю. На кривих ділянках колії розміри габариту наближень споруд збільшуються, а для двоколійних тунелів

збільшується і відстань між осями колій з урахуванням максимально можливих перспективних швидкостей руху поїздів.

У практиці тунелебудування мали місце випадки, коли внутрішній контур обробки одноколійного тунелю приймався у вигляді повного кола, що вміщало габарит С, колію і водовідливні пристрої.

При такому контурі бокові частини поперечного перерізу тунелю виходили із значними надлишками, оскільки розмір габариту С по висоті, збільшений знизу запасом на необхідні пристрої, значно більший, ніж його ширина.

Замкнутий круговий контур, як правило, застосовується в одноколійних тунелях метрополітену, що споруджуються закритим способом, де круговий контур не приводить до істотних надлишків внутрішнього простору тунелю у зв'язку з особливостями габариту метрополітену і необхідністю розміщення великої кількості кабелів.

10.4. Конструкції обробок з монолітного бетону

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

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

Обробка складається з таких основних частин (рис. 152): верхнього склепіння 2, стін 4, фундаментів 5 і зворотного склепіння 6. Найвища точка склепіння називається замком 1. Площина переходу склепіння в стіну називається п'ятою склепіння 3.

У дуже міцних породах, невивітрованих і нерозчинних, що не проявляють гірського тиску і є суцільним масивом без тріщин, виробку можна нічим не закріплювати, тунель експлуатується без обробки. Проте такі умови зустрічаються надзвичайно рідко і, як правило, навіть у найміцніших породах виробки закріплюють постійною обробкою, яка не виконує функцій несучої конструкції, а служить облицюванням.

Розглянемо конструкції монолітних обробок одноколійних залізничних тунелів з монолітного бетону, розроблені Метрогипротрансом.

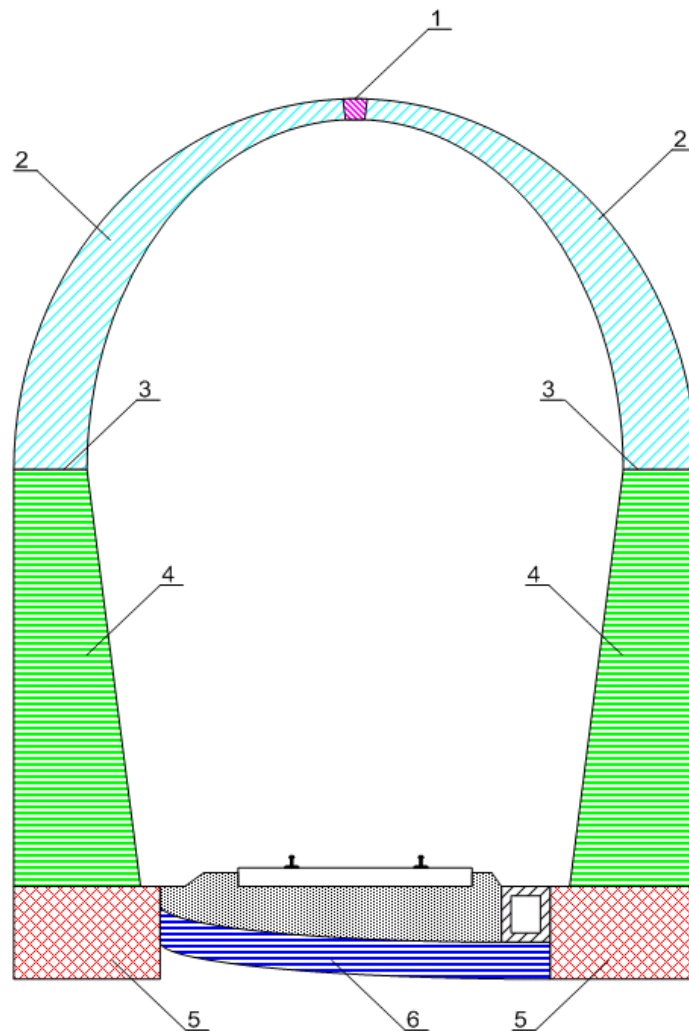


Рис. 152. Конструктивні частини обробки тунелю

У міцних породах з коефіцієнтом міцності $f > 10$ рекомендується неповна обробка у вигляді циркульного склепіння, а стіни виробки залишають незакріпленими (рис. 153, а). У породах середньої міцності застосовується підковоподібна обробка у вигляді склепіння з високим підйомом (рис. 153, б). Аналогічна конструкція з розміром склепіння в замку (верхньої частини) 40 см і стін у місці сполучення їх із склепінням – 50 см рекомендується для слабкіших порід з коефіцієнтом міцності $f = 3 \div 4$. Ці конструкції застосовуються в умовах, коли породи проявляють вертикальний тиск, а бічний тиск практично відсутній або дуже незначний.

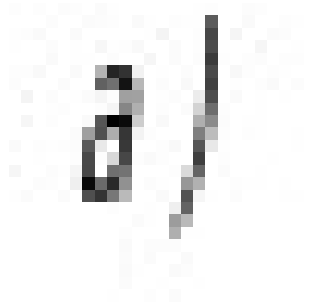


Рис. 153. Конструкція обробок одноколійних залізничних тунелів у породах з різними коефіцієнтами міцності:
 $a - f \geq 10$; $b - f \approx 6$; $b - f = 3 \div 4$ за наявності бічного тиску

За наявності бічного тиску влаштовують замкнуті обробки із зворотнім склепінням у лотковій частині (рис. 153, в). У слабких породах з коефіцієнтом міцності $f = 1 \div 2,5$, де можливий не тільки значний бічний тиск, але також і тиск з боку підшви виробки, застосовується аналогічна конструкція з великими розмірами основних елементів: товщиною в замку – 50 см, стін – 80 см.

Обробка двоколісного тунелю, що споруджується в тих же умовах, що і одноколісний (коефіцієнт міцності $f = 5$), у зв'язку з великим прогоном зазнає більшого гірського тиску і має велику товщину (рис. 154). У породах меншої міцності ці обробки влаштовують замкнутими, із зворотнім склепінням. Товщину елементів збільшують. При коефіцієнті міцності породи $f = 3; 2$ і $1,5$ товщину обробки в замку приймають відповідно 60; 70 і 80 см, а стін – 90; 100 і 140 см. Розміри поперечних перерізів обробок автодорожніх тунелів для габариту Г-8 і двоколісних залізничних тунелів близькі.

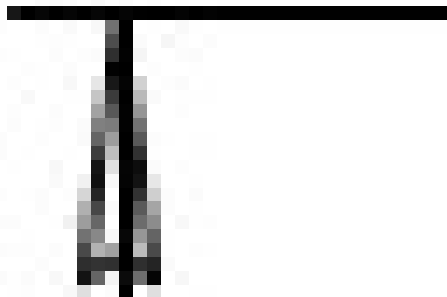


Рис. 154. Конструкція обробки двоколісного залізничного тунелю в породах з коефіцієнтом міцності $f = 5$

10.5. Ніші, камери і портали

Для укриття людей, що перебувають у тунелі при проходженні поїзда, в обробці влаштовують спеціальні заглиблення – ніші (рис. 155). Заглиблення більшого розміру, звані камерами (рис. 156), призначені для зберігання робочого інвентарю, матеріалів і інструментів.

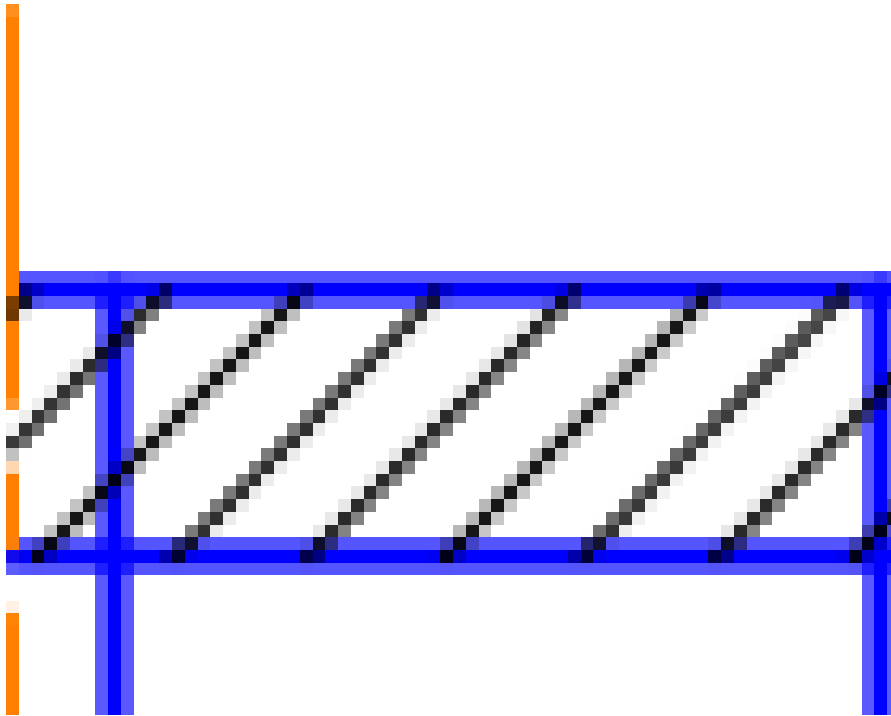


Рис. 155. Ніша

Ніші розташовують в обох стінах тунелю в шаховому порядку через 60 м на кожному боці (рис. 157), а камери – відповідно через 300 м. При довжині тунелю 300÷400 м у ньому влаштовують одну камеру в середині тунелю. У тунелях довжиною більше 3 км, окрім звичайних однакових камер, влаштовують 1 або 2 камери більшої довжини (до 6 м) для зберігання запасу матеріалів і обладнання.

В одноколійних залізничних тунелях з обробкою кругового контуру замість ніш допускається улаштування по всій довжині тунелю трохи підведеного майданчика шириною не менше 70 см із сходами для входу на нього через кожні 30 м.

Портал споруджують для з'єднання конструкції тунелю з підхідною виїмкою. Він забезпечує стійкість лобового і бічних укосів, а також відведення від тунелю води, що стікає з лобового укосу.

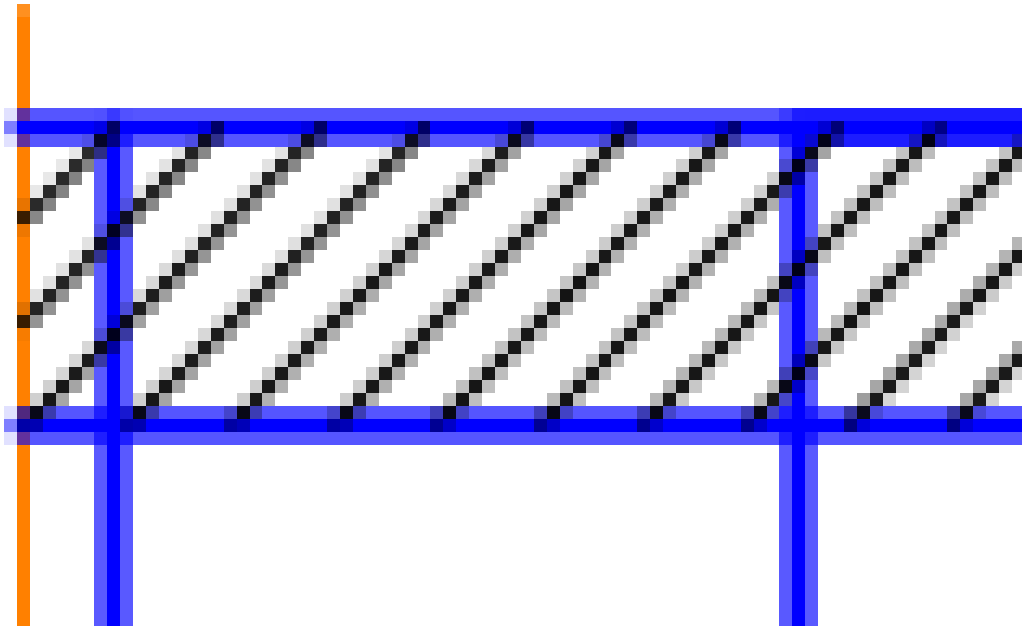


Рис. 156. Камера

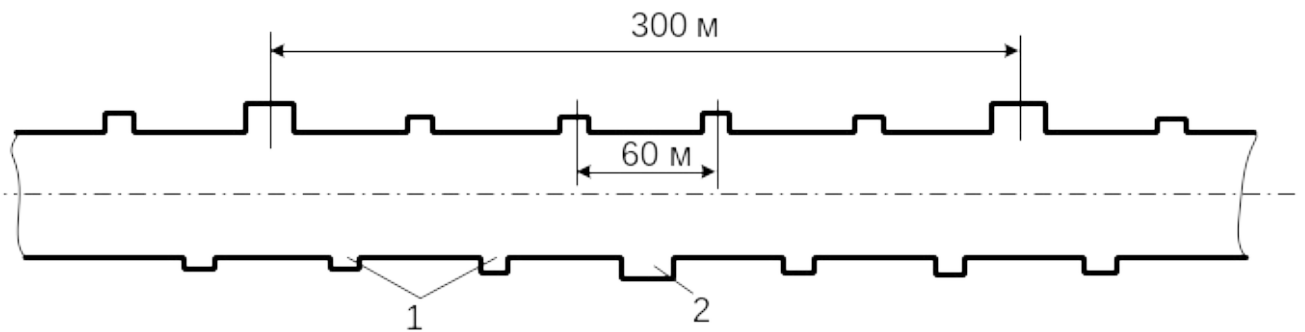


Рис. 157. Схема розташування ніш і камер у плані:
1 - ніші; 2 - камера

Портал – єдиний елемент тунелю, відкритий для огляду, тому природньо прагнення надати цій частині відповідальної споруди належне архітектурне оформлення (рис. 158).

а)

б)

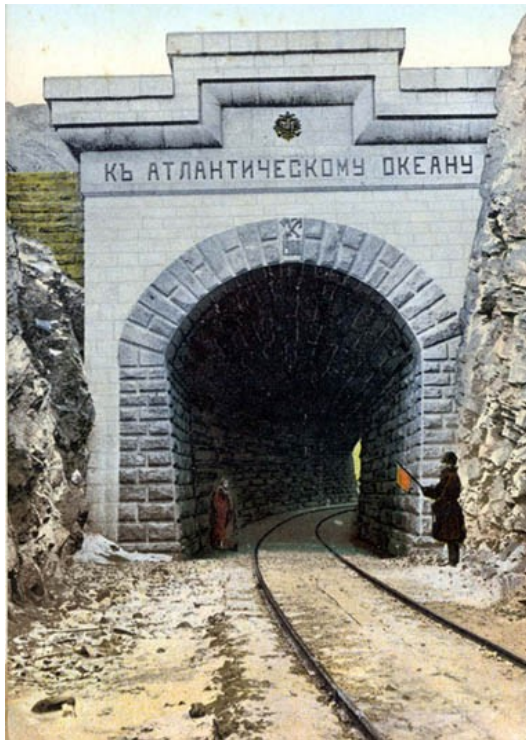


Рис. 158. Зовнішній вигляд порталів тунелю:
а - портал тунелю через Яблуневий перевал (Транссиб); б – портал автодорожнього тунелю

Найпростіше конструктивне рішення portalу (рис.159) можливо, коли напрям осі на початку тунелю збігається з напрямом горизонтальної проекції лінії найбільшого схилу лобового укосу. В цьому випадку площину порталльної стіни встановлюють перпендикулярно осі тунелю. Такий портал прийнято називати прямим на відміну від косого portalу – складнішого рішення, до якого доводиться вдаватися, якщо напрям осі тунелю складає з проекцією лінії найбільшого схилу деякий кут α . Практично необхідність такого рішення виникає, якщо величина цього кута перевищує 30° .

При цьому площина порталльної стіни складає з віссю тунелю кут, менший 90° на величину, близьку до кута α .

Рис. 159. Конструкція прямого порталу

Улаштування косого порталу істотно знижує можливості архітектурного оформлення входу в тунель і ускладнює конструкцію з'єднання порталльної стіни з тунелем. Тому і в таких ускладнених умовах прагнуть влаштувати портал прямим, розмістивши порталну стіну перпендикулярно осі тунелю, але тоді зміна обметувань лобового укосу в площині порталу стає значною, і для сполучення конструкції з укосом необхідно лобовій порталній стіні надати східчасту форму (рис. 160).

Рис. 160. Конструкція східчастого порталу

10.6. Збірні конструкції тунельних обробок

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

Металеві обробки відрізняються точністю виготовлення, водонепроникністю і простотою складання. При будівництві тунелів метрополітенів чавунні обробки до недавнього часу мали найширше розповсюдження. 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.

Залізобетонні збірні обробки останнім часом стали основними в тунелях, що споруджуються щитовим способом. Вони значно дешевші за чавунні обробки і не поступаються їм за більшістю показників, окрім водонепроникності.

Збірна обробка з чавунних тюбінгів (рис. 161) має форму кільця. Її складають з окремих елементів - тюбінгів, з'єднаних між собою болтами. Велику частину обробки

складають однакові тубінги (нормальні). У кільці нормальні тубінги примикають один до одного площинами бортів, що мають радіальний напрям. Такі тубінги прагнуть проектувати якомога більшими за розміром. Умови, обмежуючі їх розміри, полягають у зручності складання кільця і транспортування тубінгів через стовбур шахти і у вузьких підземних виробках.

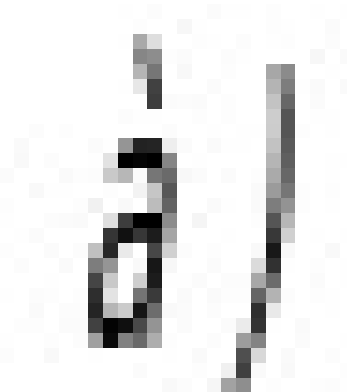


Рис. 161. Конструкція обробки з чавунних тубінгів:

а - схема кільця; б - нормальний тубінг; 1 - нормальні тубінги; 2 - суміжний тубінг; 3 - замковий тубінг; 4 - отвори для болтів; 5 - спинка тубінга; 6 - діафрагми; 7 - радіальний борт; 8 - отвір для нагнітання розчину; 9 - кільцевий борт

Один з тубінгів 3, що розташовується звичайно у верхній частині обробки, має значно менші розміри. Площини його бортів не радіальні; тубінг формою близький до трапеції, коротка сторона якої обернена назовні. Цей елемент обробки встановлюють останнім, замикаючи кожне кільце. Тому його називають замковим або ключовим. Направлення бортів ключового тубінга дозволяє запровадити його в проектне положення з внутрішнього боку простим радіальним переміщенням.

Тюбінги 2, що примикають до замкового, відрізняються від нормальних тільки напрямом площини борту, суміжного з ключовим тюбінгом. Вони називаються суміжними.

Нормальний тюбінг має коробчасту форму. Його спинка 5 (рис. 161, б) звернена до породи і зігнута по циліндровій поверхні. Борти тюбінгів радіальні 7 (поздовжні відносно осі тунелю) і кільцеві 9 мають отвори для болтів 4, що скріпляють тюбінги. Зовнішні поверхні бортів простругані. У спинці тюбінга є отвір 8 з різьбленням, через яке за обробку проводиться нагнітання розчину. Для збільшення жорсткості тюбінга, зменшення довжини спинки і кращого розподілу тиску щитових домкратів є поздовжні і поперечні діафрагми 6.

Обробка з чавунних тюбінгів є жорсткою водонепроникною конструкцією, але матеріал її дорогий і дефіцитний. Тому в даний час в нашій країні застосування збірних чавунних обробок допускається лише при спорудженні найбільш відповідальних підземних конструкцій у слабких водонасичених породах.

Тунельні обробки із збірного залізобетону багато в чому відрізняються від обробок з чавунних тюбінгів у зв'язку з відмінністю властивостей матеріалів, що вимагають різних раціональних форм. Зокрема, з'єднання елементів за допомогою болтів, успішно вживане для чавунних обробок, виявляється неприйнятним для обробок із збірного залізобетону: у бетоні поблизу болтових з'єднань з'являються чисельні тріщини, матеріал викришується, арматура піддається корозії.

Пошуки жорсткого з'єднання суміжних елементів привели до використання в обробленні залізничного тунелю з блоків стику Передерія (рис. 162). Така конструкція має велику жорсткість, необхідну при закладенні тунелю в слабких породах, що проявляють всебічний тиск.

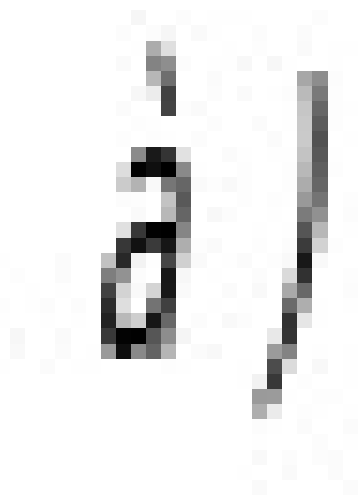


Рис. 162. Конструкція обробки з блоків із зв'язками, що працюють на розтягування:
а - схема кільця; б - конструкція верхнього вузла

У той же час дослідження статичної роботи збірних обробок, що ведуться в Росії і за кордоном, показали, що елементи підземних конструкцій кругового контуру зберігають проектне положення, не маючи зв'язків, навіть у таких породах, як піски і пластичні глини, якщо забезпечена рівномірна передача на конструкцію активного і реактивного тиску гірських порід. Тому в сучасних конструкціях збірних залізобетонних обробок (рис. 163) суцільного і ребристого поперечних перерізів застосовується шарнірний циліндровий стик без яких-небудь зв'язків, здатних працювати на розтягування. Сталеві стержні, що закладаються в отвори в торцях блоків (рис. 164, а), не виконують функцій зв'язку, вони фіксують взаємне проектне положення торців сусідніх блоків при монтажі.

Специфічна конструкція замка (рис. 164, б) на відміну від ключового тюбінга чавунної обробки, збірної

залізобетонної конструкції замикається з торця з простору між площиною забою і передньою площиною збираного кільця. Для полегшення цього процесу замковий елемент складають з трьох невеликих вкладишів, які послідовно всовують вручну у вільний простір. Зовні на замкових вкладишах укріплені стержні, приварені до закладених деталей. Ці стержні виключають можливість випадання елементів замка в процесі монтажу обробки. Різноманітні конструкції збірних залізобетонних обробок розроблені в проектах і здійснені в натурі. Деякі з них відрізняються надмірною складністю форм і способів взаємного з'єднання елементів, що не враховують особливості матеріалу обробок. Практика будівництва і експлуатації різних конструкцій показала, що найперспективнішими є обробки з елементів порівняно простої конструкції з циліндровими стиками без зв'язків (див. рис. 164, а).

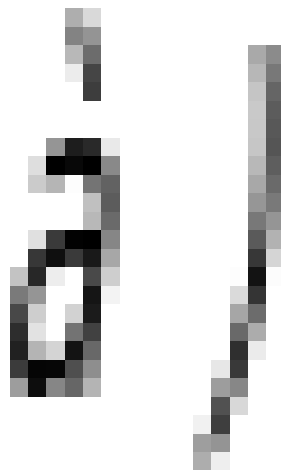


Рис. 163. Конструкція обробок з блоків:
а - суцільного прямокутного перерізу; б - ребристого перерізу

Дуже перспективні збірні обробки, що попередньо обтискуються в породу. Необхідна умова їх застосування - сурово циліндрова форма тунельної виробки, яка може бути досягнута при механізованій щитовій проходці. Використання конструкцій, обтиснутих у породу, включає

необхідність нагнітання за обробку розчину, запобігає або значно знижує осідання земної поверхні над тунелем і покращує умови статичної роботи конструкції. Простим і надійним способом обтискання обробки є втискування в них з торця клинових блоків. Широко застосовується обтискання за допомогою домкратів різної конструкції. При обтисканні обробок великих довжин добре зарекомендували себе домкрати Фрейсине.

Рис. 164. Елементи збірної залізобетонної обробки:
а - торець нормального блока; б - замковий блок

Існують проектні рішення збірних залізобетонних обробок підковоподібної форми. Від обробок кругового контуру їх невігдно відрізняє велика кількість різних типів блоків у кожному кільці; в даний час вони поступаються перед підковоподібними обробками з монолітного бетону.

10.7. Гідроізоляція обробок, пристрої водовідведень у тунелях

Мета гідроізоляції – недопущення підземних вод у внутрішній простір тунелю. Гідроізоляція в першу чергу забезпечується водонепроникністю матеріалу конструкції.

Додатковим засобом, що збільшує водонепроникність конструкції і навколишнього масиву, є нагнітання за обробку спочатку цементно-піщаного, а потім цементного розчину. Розчин заповнює тріщини і порожнини в обробці і масиві породи, перепиняє дорогу підземним водам.

Радикальним засобом, що дозволяє забезпечити повну водонепроникність обробки, є включення в її конструкцію замкнутих водонепроникних мембран.

Обробка з монолітного бетону може бути виконана практично водонепроникною завдяки відповідному підбору складу бетону і якісному ущільненню при його укладанні. Течі звичайно з'являються в місцях робочих швів, залишених при бетонуванні. Вони ліквідовуються після нагнітання за обробку цементно-піщаного розчину через трубки, закладені в бетон при його укладанні.

Порівняно простим засобом збільшення водонепроникності бетонної обробки є торкретування її внутрішньої поверхні двома-трьома шарами цементно-піщаного розчину. Для запобігання можливості появи в торкрет-бетоні усадкових тріщин рекомендується виготовляти його на водонепроникному безусадочному цементі. Ефективність торкретної ізоляції значно збільшується при нанесенні її по сталевій сітці, заздалегідь прикріпленій до обробки анкерними стержнями. Армоване торкретне покриття забезпечує водонепроникність обробки при гідростатичному тиску до 1 кгс/см^2 .

При зведенні бетонних обробок у сильно обводнених породах з великим гідростатичним тиском конструкцію ізолюють суцільною водонепроникною мембраною (рис. 165) з гнучких рулонних матеріалів, приклеєних до внутрішньої поверхні обробки. Така ізоляція, звана гнучкою або обклеювальною, притискається до обробки внутрішньою залізобетонною конструкцією («сорочкою»).

Для гнучкої ізоляції використовують такі матеріали, як гідроізол – азбестовий картон, просочений нафтовим окисленням бітумом, а також склорубероїд і склобіт –

матеріали, що мають більшу механічну міцність, ніж гідроізол. Рулонний ізолюючий матеріал наклеюють у 3÷5 шарів. Тришарова ізоляція застосовується при гідростатичному тиску до 3 кгс/см².

Рис. 165. Обклеювальна гідроізоляція бетонної обробки:
1 - ізоляція; 2 - залізобетонна «сорочка»

Щоб забезпечити водонепроникність невеликих частин підземних конструкцій з монолітного бетону, що з'єднують відповідальні елементи підземної споруди, виконані з іншого матеріалу (наприклад з чавуну), застосовують гідроізоляцію із сталевих листів завтовшки 8÷12 мм, зварених між собою. Листи встановлюють з внутрішнього боку тунельної обробки; при будівництві вони звичайно виконують також роль опалубки. Спільність роботи сталеві ізоляції з бетоном обробки досягається завдяки анкерам, привареним до листів і заглибленим у бетонний масив.

Обробки з чавунних тюбінгів мають найвищу водонепроникність. Однак і в них є місця, через які в тунель може надходити вода. Це – шви між тюбінгами, отвори для болтів і для нагнітання за обробки.

Шви між тюбінгами (рис. 166) з внутрішнього боку розширюються, утворюючи канавку, яку заповнюють і

закарбовують мастикою з водонепроникного цементу (ВРЦ), що розширюється, або із суміші, що швидко твердіє (БУС). У найбільш відповідальних спорудах при великому гідростатичному тиску і значних коливаннях температури експлуатованої конструкції для карбування швів допускається застосування дорожчого матеріалу — свинцевого шнура, що складається зі свинцевої трубки, заповненої крученими азбестовими нитками, просоченими бітумом. При карбуванні свинцевий шнур мнеться і щільно прилягає до стінок канавки, забезпечуючи герметичність шва.

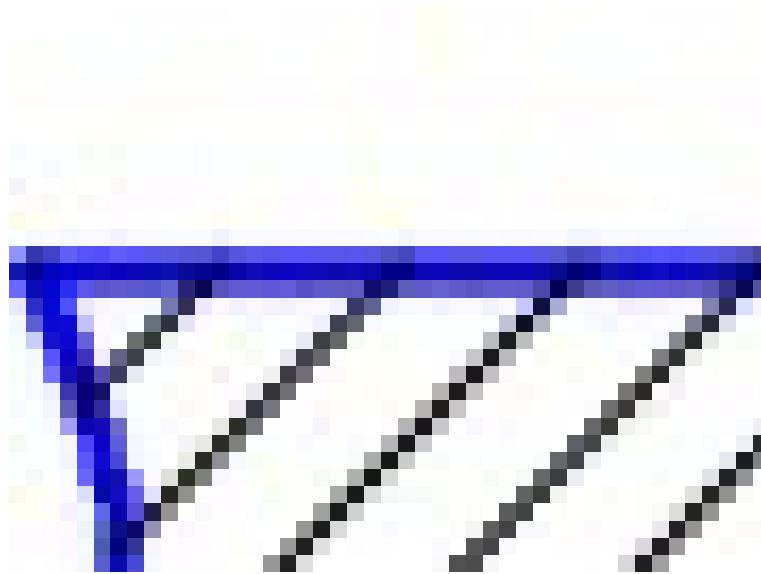


Рис.166. Гідроізоляція обробки з чавунних тюбінгів:
1 - канавка для розкарбовування; 2 - сферична шайба з азбестобітумним заповненням; 3 - азбестова шайба

Ізоляцію болтових отворів у тюбінгах (рис. 166) виконують за допомогою сферичних сталевих шайб з азбестобітумним заповненням, яке вдавлюється в порожнину між болтом і отвором при затягуванні гайки. В даний час замість азбестобітумної ізоляції отворів застосовують конічні шайби з пластмас, що мають пружність, завдяки якій шайба продовжує герметизувати отвір і при деякому ослабленні болта.

Отвір для нагнітання закривають чавунною пробкою з нарізкою, під фланець якої закладають азбестову шайбу, просочену бітумом.

Гідроізоляція збірних обробок із залізобетонних блоків виконується в основному тими ж засобами, що і в чавунних обробках, але ефективність її значно нижча. Це пояснюється тим, що після складання і завантаження кільця в тілі самих блоків, що працюють в умовах позацентрового стиснення з великими ексцентриситетами, з'являються тріщини. Тріщини утворюються також поблизу карбувальних канавок від ударів карбувальних молотків і дії мастики, що розширюється при твердінні, розпирає стінки канавки. Через ці тріщини в тунель проникає вода, арматура блоків піддається корозії, що спричиняє збільшення тріщин.

У гідроізоляції конструкцій з блоків особливої важливості набуває нагнітання за обробку розчинів, а також розігрітого бітуму і бітумних емульсій.

Для нагнітання застосовуються також розчин бентонітової глини і різні суміші, від вдалого вибору яких залежить ефективність гідроізоляції обробки.

Водонепроникність блоків збільшується завдяки покриттю їх із зовнішнього боку і з торців шаром бітуму.

При улаштуванні збірної залізобетонної обробки у водонасичених породах потрібно улаштування обклеювальної гідроізоляції в поєднанні із залізобетонною сорочкою аналогічно тому, як це виконується при ізоляції обробки з монолітного бетону. Така гідроізоляція значно ускладнює конструкцію і збільшує терміни її улаштування.

В даний час проблема забезпечення водонепроникності залізобетонних обробок розв'язується в двох напрямках: створенням водонепроникного тіла блоків і надійною гідроізоляцією швів між блоками.

Незважаючи на обов'язкове вживання заходів щодо забезпечення водонепроникності обробок у тунелях, у різні періоди їх експлуатації може накопичуватися вода, яку необхідно зібрати і видалити.

Видалення води з тунелю і скидання її за межами порталів виконується за допомогою водовідливних лотків (рис. 167, а), поздовжній ухил яких, як правило, відповідає ухилу колії в тунелі і повинен бути не менше 0,003. Поперечний ухил бетонного вирівнювального шару у бік лотка – не менше 0,02. Внутрішні розміри лотка призначають відповідно до гідравлічного розрахунку на максимально можливу притоку води, але не менше 30 ÷ 30 см.

Для запобігання можливості замерзання води в лотку між ним і зовнішньою кришкою укладають утеплювальну засипку (рис. 167, б). У місцевості з суворим кліматом конструкцію лотка з усіх боків утепляють блоками із матеріалу з малою теплопровідністю або листами теплоізоляції (рис. 167, в).

Іншим способом гідроізоляції тунелів є перехоплення води в заобробному просторі, збір її і відведення за межі тунелю за допомогою дренажних пристроїв.

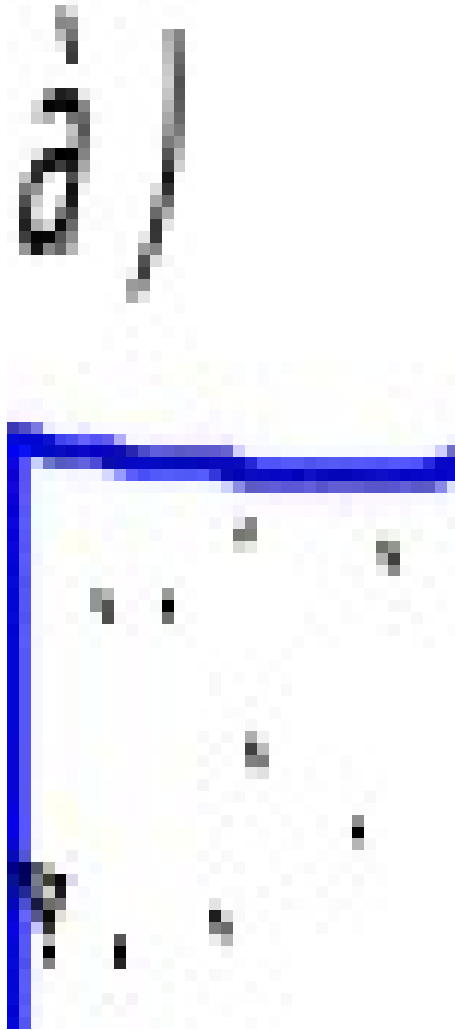


Рис. 167. Лотки водовідведень:

а - без утеплення; б - з утеплювальною засипкою; в - з утепленням з блоків теплоізоляцією; 1 лоток; 2 - блок з легкого бетону; 3 - трубка водовідведення; 4 - утеплювальна засипка; 5 - блок теплоізоляції; 6 - блок теплоізоляції перекриття

У складніших випадках обводнення додатково до нагнітання за обробкою влаштовують дренажні штольні паралельно тунелю на відстані 4 – 9 м у просвіті від нього. Закладають також поперечні дренажі-прорізи, заповнені каменем досуха. Їх розташовують під баластним коритом або з боків за тунельною обробкою. Воду з них відводять у поздовжні штольні, а коли їх немає – в тунельний лоток. Останнім часом упроваджується дешевше в порівнянні зі штольнями буріння дренажних свердловин довжиною до 25 – 30 м, завіс, що розташовуються у вигляді намету або вертикальними, по боках тунелю (рис. 168). Свердловини

бурять або з наявної штольні, або із спеціальних для цього поперечних до тунелю виробок, використовуваних потім для пропускання води зі свердловин у лоток тунелю.



Рис. 168. Осушення тунелю дренажними штольнями і свердловинами:

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

Всім цим заходам, зрозуміло, передуює виконання хорошого планування надтунельної поверхні і відведення убік від тунелю атмосферної води. Але оскільки тунель може обводнюватися не тільки з водозбору над ним, а і підземними водами з віддалених районів, то одного приведення в порядок надтунельної зони часто буває недостатньо і потрібні інші вказані заходи. Всі вони достатньо трудомісткі і дорогі, виконуються звичайно зсередини тунелю, що складно в умовах руху поїздів, а головне, не завжди приводять до повного осушення.

Контрольні запитання для самоперевірки

1. Що таке тунель?
2. З яких матеріалів споруджуються тунелі?
3. Як розрізняють тунелі за способом спорудження?
4. З яких основних елементів складається тунель?
5. Що таке обробка тунелю? Для чого вона призначена?
6. За яких умов влаштовується зворотне склепіння?
7. Яке призначення ніш і камер?
8. Яку форму поперечного перерізу мають збірні обробки?
9. З яких елементів складається чавунний тубінг?
10. Які існують способи гідроізоляції тунельних обробок?
11. Які водовідвідні пристрої використовуються в тунелях?

Бібліографічний список

1. Бобриков Б.В., Русаков И.М., Царьков А.А. Строительство мостов. – М.: Транспорт, 1987. – 304 с.
2. Брик А.Л. и др. Эксплуатация искусственных сооружений на железных дорогах. – М.: Транспорт, 1990. – 232 с.
3. Інструкція по утриманню штучних споруд. ЦП/0054. – К.: Транспорт України, 1999. – 96 с.

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

5. Клинов С.И. Железнодорожный путь на искусственных сооружениях. – М.: Транспорт, 1990. – 144 с.

6. Колоколов Н.М., Бутков Л.В., Копац Л.Н., Файнштейн И.С. Искусственные сооружения. – М.: Транспорт, 1977. – 455 с.

7. Колоколов Н.М. Искусственные сооружения. – М.: Транспорт, 1988. – 440 с.

8. Лиманов Ю.А. Содержание и реконструкция тоннелей. – М.: Транспорт, 1976. – 192 с.

9. Осипов В.О. и др. Содержание, реконструкция, усиление и ремонт мостов и труб. – М.: Транспорт, 1996. – 471 с.

10. Осипов В.О. и др. Содержание и реконструкция мостов. – М.: Транспорт, 1986. – 327 с.

11. Осипов В.О. и др. Мосты и тоннели на железных дорогах. – М.: Транспорт, 1986. – 368 с.

12. Попов С.А., Осипов В.О., Померанцев А.М., Бобриков Б.В., Храпов В.Г. Мосты и тоннели: Учебн. для вузов ж.-д. трансп. / Под ред. С.А. Попова. – М.: Транспорт, 1977. – 526 с.

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

14. Практичні рекомендації з підготовки інженерних споруд залізниць до введення швидкісного руху пасажирських поїздів. Вип. № 1. ЦП-0122. – К.: ТОВ „Швидкий рух”, 2005. – 42 с.

15. Савин К.Д. Искусственные сооружения. – М.: Трансжелдориздат, 1959. – 306 с.

16. Справочник мостового и тоннельного мастера / В.А. Аретинский, И.И. Меринов. – М.: Трансжелдориздат, 1963. – 520 с.

17. Храпов В.Г. и др. Тоннели и метрополитены. – М.: Транспорт, 1990. – 232 с.

Предметний покажчик

Арматура залізобетонних конструкцій 36	Довжина моста 20
Арковий міст 25	Довжина прогонових будов 20
Аркові металеві мости 125	Естакади 19
Балково-консольні прогонові будови	Залізобетонні круглі труби 198
- залізобетонні 47	Залізобетонні прямокутні труби 199
	Зв'язки металевих прогонових

- металеві 122
- Балкові нерозрізні прогонові будови
 - залізобетонні 47
 - металеві з наскрізними фермами 119
 - металеві з суцільними балками 116
- Балкові розрізні прогонові будови
 - залізобетонні 30
 - металеві з наскрізними фермами 99
 - металеві з суцільними балками 84
- Безбаластне мостове полотно
 - на дерев'яних поперечинах 165
 - на металевих поперечинах 170
 - на залізобетонних плитах 171
- Безшарнірні арки 59, 125
- Будівельна висота моста 20
- Вантові залізобетонні мости 64
- Вантові металеві мости 131
- Віадуки 9
- Висячий міст 25
- Високоміцні болти 76
- Висота моста 20
- Водопропускна труба 181
- Гідроізоляція прогонових будов 67
- Гідроізоляція тунелів 242
- Гідроізоляція труб 204
- Гофровані металеві труби 202

- Перехідний підфермовик 141
- Підпірні стіни
 - конструкція 216
 - призначення 214
- Плитні прогонові будови
 - автодорожніх мостів 33

- будов
 - поперечні 74, 85
 - поздовжні 74, 85
- З'єднання елементів металевих конструкцій
 - високоміцними болтами 76
 - на заклепках 75
 - зварні 75
- Комбіновані системи металевих мостів 129
- Консольні залізобетонні прогонові будови 47
- Контур тунелів 227
- Коробчасті прогонові будови 94, 117
- Лотки 13, 211
- Мостове полотно
 - безбаластне 165
 - з їздою на баласті 160
- Обробка гірських тунелів 229
- Оголовки труб 187
- Опорні частини
 - малих мостів сталеві 149
 - малих мостів гумові 155
 - середніх мостів 151
- Опори
 - проміжні (бики) 136
 - кінцеві (стояни) 143
- Отвір моста 20

- Сталезалізобетонні прогонові будови 90, 92
- Сталі для мостів 78
- Тришарнірні арки
 - залізобетонні 59
 - металеві 125
- Тротуари залізобетонних мостів 45
- Труби

- залізничних мостів 30
- Проміжні опори
 - збірно-монолітні 136
 - масивні 136
 - пальові 139
 - стовпчасті 137
- Рамні залізобетонні мости 51
- Рамні металеві мости 128
- Рибристі прогонові будови
 - автодорожніх мостів 33, 34
 - залізничних мостів 30
- Режими протікання води в трубах
 - безнапірний 184
 - напівнапірний 184
 - напірний 184
- Розрахунковий прогін 22
- Системи залізобетонних мостів
 - аркові 59
 - балкові нерозрізні 47
 - балкові розрізні 30
 - вантові 64
 - консольні 47
 - рамні 51
- дерев'яні 192
- бетонні 196
- залізобетонні круглі 198
- косогірні 191
- металеві гофровані 202
- овоїдальні 194, 198
- прямокутні 198
- Тунель 14, 222
- Тунельна обробка 222
- Шляхопровід 11

В.А. Лютий, А.В. Никитинський, О.А. Дудін

**УЛАШТУВАННЯ, ЕКСПЛУАТАЦІЯ И РЕКОНСТРУКЦІЯ
ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД ЗАЛІЗНИЦЬ**

Навчальний посібник

Частина 1

УЛАШТУВАННЯ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД ЗАЛІЗНИЦЬ

Відповідальний за випуск Беляєв В.О.

Редактор Решетилова В.В.

Підписано до друку
Формат паперу Папір писальний
Умовн.-друк.арк. 6,0. Обл.-вид.арк. 6,25.
Замовлення № Тираж 200 Ціна

Видавництво УкрДАЗТу, свідоцтво ДК 2874 від 12.06.2007 р.
Друкарня УкрДАЗТу,
61050, Харків – 50, пл.Фейєрбаха, 7

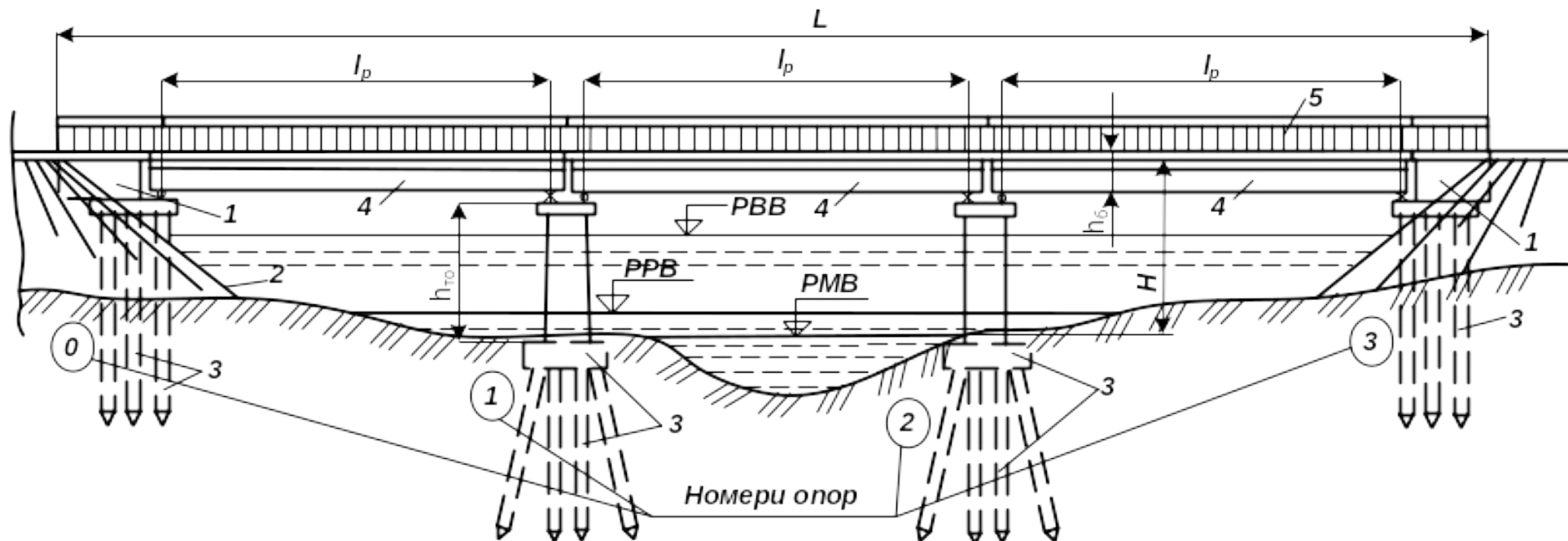


Рис. 17. Міст довжиною L :

1 - берегові опори (стояни) на пальових фундаментах; 2 - конус насипу; 3 - пальовий фундамент; 4 - прогонова будова з суцільними головними балками; 5 - поручневе огорожування; PVB – рівень високих вод; PPB – робочий рівень води; PMB – рівень меженних вод

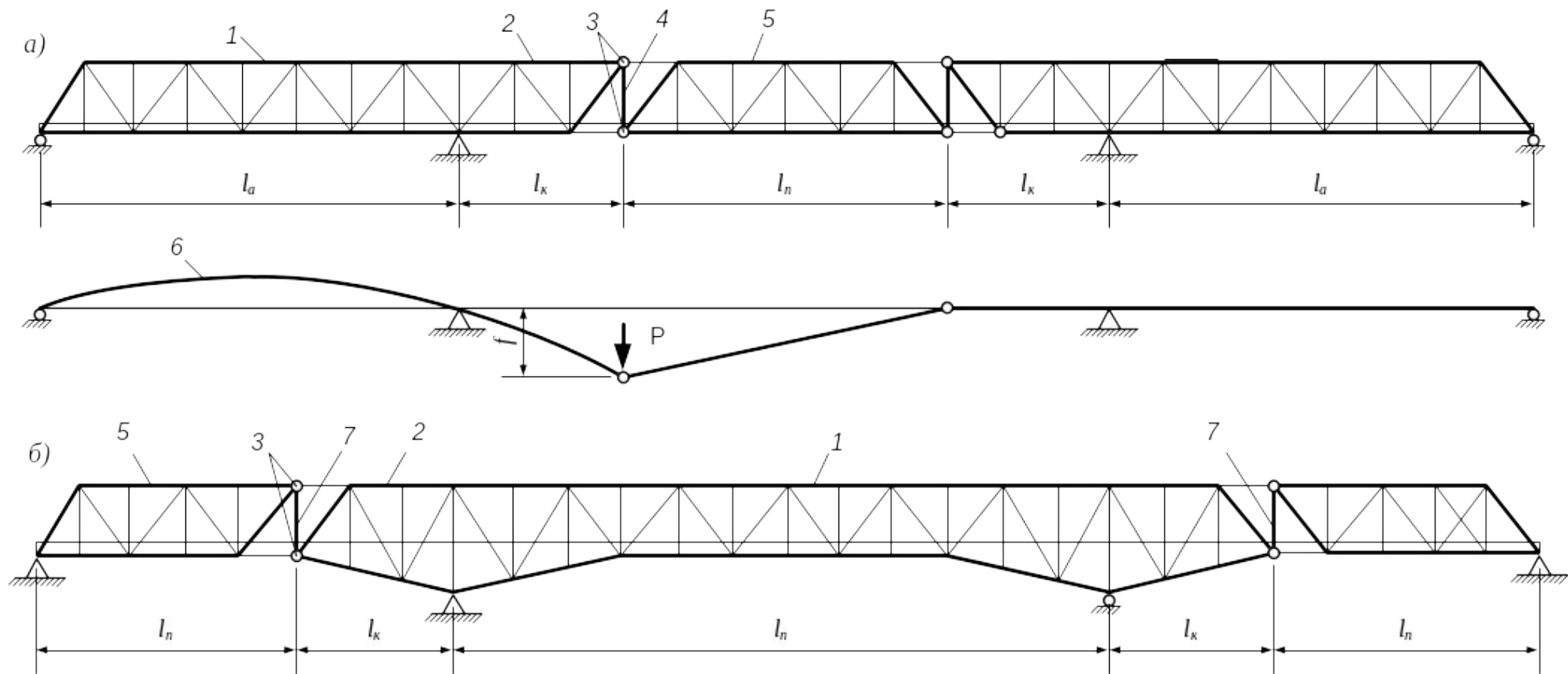


Рис. 70. Схеми балково-консольних ферм:

1 – анкерний прогін; 2 – консоль; 3 – шарнір; 4 – підвіска; 5 – підвісний прогін; 6 – лінія прогину ферми; 7 – стояк

