

О. М. Лівінський, Т. Е. Потапова, В. Л. Гарнага

МІСЬКІ ІНЖЕНЕРНІ СПОРУДИ

Частина I



Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

О. М. Лівінський, Т. Е. Потапова, В. Л. Гарнага

МІСЬКІ ІНЖЕНЕРНІ СПОРУДИ
Частина I

Навчальний посібник

Вінниця
ВНТУ
2016

УДК 69.034.2, 69.035.4

ББК 65.9(2)

Л155

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (протокол № 6 від 31.01.2013 р.)

Рецензенти:

А. С. Моргун, доктор технічних наук, професор

М. Ф. Друкований, доктор технічних наук, професор

Ю. М. Гніп, кандидат технічних наук, академік УТА

Лівінський, О. М.

Л155 Міські інженерні споруди. Частина 1 : навчальний посібник / Лівінський О. М., Потапова Т. Е., Гарнага В. Л. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 92 с.

В посібнику викладено основні відомості про міські інженерні споруди (мости, естакади, міські тунелі), матеріали з яких їх виготовляють, їх види, історію виникнення.

УДК 69.034.2, 69.035.4

ББК 65.9(2)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 МОСТИ.....	6
1.1 Класифікація штучних мостових споруд.....	6
1.1.1 Елементи мостового переходу і мостів.....	9
1.1.2 Основні визначення і позначення, які застосовуються в мостах.....	12
1.1.3 Класифікація мостів.....	13
1.1.4 Вимоги до штучних мостових споруд.....	15
2 ДЕРЕВ'ЯНІ МОСТИ.....	18
2.1 Загальні відомості про дерев'яні мости.....	18
2.2 Матеріали для дерев'яних мостів.....	19
2.3 Основні системи дерев'яних мостів.....	20
2.4 Монтаж дерев'яних мостів.....	22
2.5 Утримання дерев'яних мостів.....	27
3 ЗАЛІЗОБЕТОННІ МОСТИ.....	31
3.1 Загальні відомості.....	31
3.2 Вимоги до бетону для залізобетонних мостів.....	33
3.3 Арматура для залізобетонних мостів.....	35
3.4 Матеріали для гідроізоляції бетону мостів.....	36
3.5 Сфера застосування залізобетонних мостів.....	37
3.6 Основні системи залізобетонних мостів.....	38
3.7 Конструкція проїжджої частини.....	42
3.8 Утримання залізобетонних мостів.....	43
4 ВАНТОВІ І ПІДВІСНІ МОСТИ.....	45
4.1 Основні елементи і сфери застосування вантових мостів.....	45
4.2 Конструкції елементів вантових мостів.....	49
4.3 Конструкції мостів-лідерів вантової системи.....	51
5 МЕТАЛЕВІ МОСТИ.....	58
5.1 Загальні відомості.....	58
5.2 Монтаж металевих прогонових будов.....	60
5.3 Утримання металевих мостів.....	62
6 ЕСТАКАДИ.....	66
6.1 Основні відомості та класифікація міських естакад.....	66
6.2 Вимоги до проектування міських естакад.....	68
6.3 Основні конструктивні вимоги до міських естакад.....	69

6.4 Конструкції естакад і шляхопроводів	70
7 МІСЬКІ ТУНЕЛІ	79
7.1 Загальна характеристика міських тунелів	79
7.1.1 Класифікації підземних споруд.....	80
7.2 Автотранспортні тунелі	82
7.3 Тунелі метрополітену	86
7.4 Гірські тунелі.....	87
7.5 Підводні тунелі.....	88
ГЛОСАРІЙ	90
ЛІТЕРАТУРА	91

ВСТУП

Спецкурс «Міські інженерні споруди» призначений довести до відома студента важливу роль предмета в організації професійних знань, умінь та навичок з питань сучасних методів проектування, будівництва та експлуатації інженерних споруд. Основними завданнями, що мають бути вирішені в процесі вивчення дисципліни, є теоретична та практична підготовка студентів з таких питань:

- основні види інженерних споруд;
- способи проектування інженерних споруд;
- обладнання та умови експлуатації інженерних споруд;
- технологія ремонтних робіт при відновленні інженерних споруд;
- нормативна література;
- оцінювання стану споруд і окремих елементів в процесі експлуатації;
- організація виконання ремонтних робіт.

Інженерні споруди займають дуже важливе місце в такій системі як екополіс (місто та його життєзабезпечення, екологія навколишнього середовища тощо).

Інженерні споруди – це об'ємні, площинні або лінійні наземні, надземні або підземні будівельні системи, що складаються з несучих та, в окремих випадках, огорожувальних конструкцій і призначені для виконання виробничих процесів різних видів, розміщення устаткування, матеріалів та виробів, для тимчасового перебування і пересування людей, транспортних засобів, вантажів, переміщення рідких та газоподібних продуктів та інше.

Вони класифікуються в основному за інженерним задумом, що визначається цільовим призначенням об'єкта.

Інженерні споруди існують і експлуатуються людиною протягом не лише багатьох століть, а й тисячоліть.

Нові інженерні споруди будуються поряд з уже існуючими будівлями. Це потребує від проектувальників та будівельників додаткових знань та умінь. Проблеми можуть виникнути як при оцінюванні властивостей ґрунтів, розрахунках взаємних впливів фундаментів, так і в процесі технології і зведення.

До найбільш відомих інженерних споруд належать: транспортні споруди (залізниці, шосейні дороги, злітно-посадкові смуги, мости, естакади тощо), трубопроводи та комунікації, дамби, комплексні промислові споруди, спортивні і розважальні споруди та інше.

На кожен інженерну споруду є Державні будівельні норми (ДБН), які використовуються при проектуванні та будівництві інженерних споруд.

Вивчення кожної теми, наведеної в навчальному посібнику, варто завершувати самоперевіркою за списком контрольних запитань, запропонованих після кожного розділу.

1 МОСТИ

1.1 Класифікація штучних мостових споруд

Водопрпусні труби призначені для пропускання під проїжджою частиною дороги дрібних водойм або стоку зливних і талих вод, прогону худоби і проходу людей.

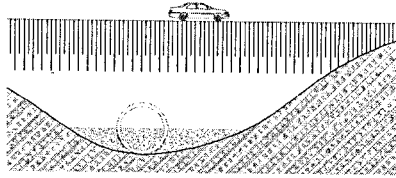


Рисунок 1 – Водопрпусна труба

Підпірні стінки призначені для зміцнення і стабілізації крутих укосів, насипів і виїмок, а також природних схилів пагорбів.

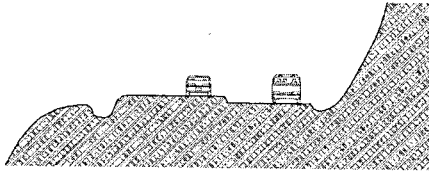


Рисунок 2 – Підпірні стінки

Естакади влаштовують при прокладанні траси дороги уздовж крутих гірських схилів, особливо в несприятливих гірничо-геологічних умовах (замість високих насипів і виїмок).

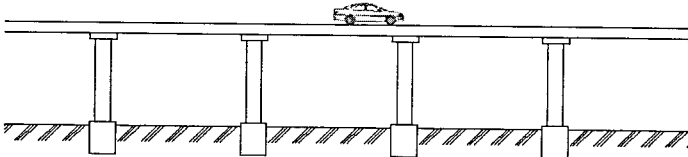


Рисунок 3 – Естакада

Шляхопроводи призначені для перетину з автомобільними дорогами, залізницями, вулицями і т. д.

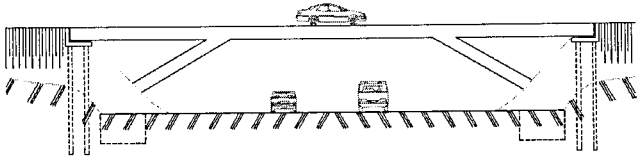


Рисунок 4 – Шляхопровід

Напівмости влаштовують на окремих важкодоступних ділянках траси, щоб уникнути порушення стійкості схилів пристроєм широкого врізання і влаштовують так, щоб проїжджа частина цілком або частково розташовувалася на несучій конструкції напівмоста.

Віадуки – це мостова споруда, яка з'єднує місця з однаковим рівнем на ландшафті, вона перетинає глибокі яри і прірви.

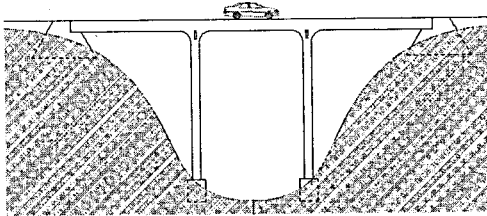


Рисунок 5 – Віадук

Мости – штучні споруди, які зводяться через ріки, озера, затоки чи будь-яку іншу водяну перешкоду.

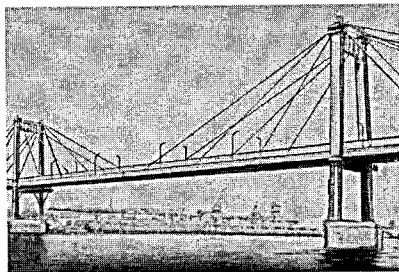


Рисунок 6 – Міст

Балкони – це консольні виступи з анкерами в гірському схилі, на яких частково або повністю розташовується проїжджа частина дороги (влаштовують в гірських місцевостях зі складним рельєфом).

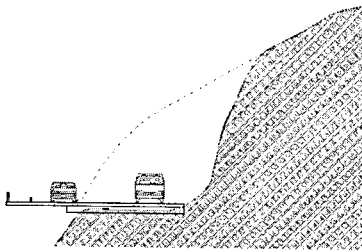


Рисунок 7 – Балкон

Галереї призначені для захисту дороги від камінепадів, обвалів, снігових лавин і заметів у гірських районах. Вони пропускають маси породи, що обвалилися, або сніги над дорогою.

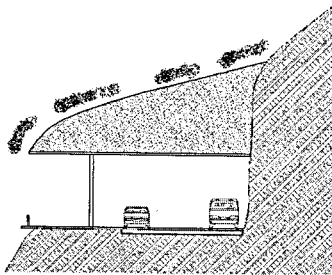


Рисунок 8 – Галерея

Тунелі призначені для подолання висотних перешкод і скорочення загальної довжини дороги.

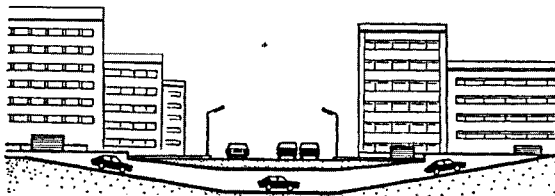


Рисунок 9 – Тунель

Пішохідні мости призначені для пропускання пішоходів над перешкодами (водоймами, дорогами, ярами і т. п.).

Розвідні мости забезпечують прохід великих суден при відносно малій висоті моста, що дозволяє, як правило, у містах або районах портових акваторій знизити вартість спорудження за рахунок скорочення витрат на

облаштування підходів і опор з урахуванням вартості експлуатації розвідних мостів.

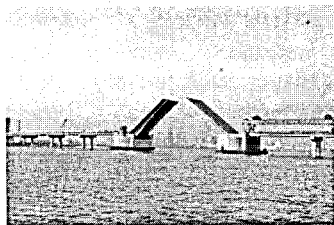


Рисунок 10 – Розвідний міст

Наплавні мости влаштовують при перетинанні багатководної ріки з великою глибиною або слабкими ґрунтами (плотові, понтонні, плашкоутні).

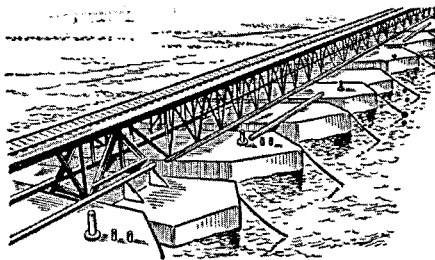


Рисунок 11 – Наплавний міст

1.1.1 Елементи мостового переходу і мостів. Комплекс споруд, побудованих при перетинанні ріки, називають мостовим переходом. До його складу входять міст, підходи до нього, льодорізи, регуляційні споруди та берегоукріплювальні пристрої.

Міст своїми конструкціями перекриває руслову частину ріки або русло і частину заплаву ріки.

Підходи до моста забезпечують сполучення дороги з мостом. Їх влаштовують у вигляді земляних насипів або естакад.

Льодорізи – це споруди для захисту проміжних опор моста від безпосереднього впливу льодоходу, який найбільш небезпечний для дерев'яних опор. Льодорізи зводять перед кожною опорою з верхнього боку на тій частині ріки, де можливий льодохід. У мостах з масивними опорами (кам'яними, бетонними, залізобетонними) льодорізи з'єднують з опорами.

Регуляційні споруди і берегоукріплювальні пристрої застосовують для запобігання розмиву ґрунту з опор моста і берегів. Їх влаштовують у вигляді дамб і траверс.

Дамби споруджують біля берегових опор, надаючи їм у плані вигин, що сприяє плавному протіканню в отвір моста водного потоку з заплав русла. З верхнього боку мостового переходу іноді влаштовують траверси у вигляді коротких дамб, що виступають в річку перпендикулярно або під кутом до берега, або насипного підходу. Траверси перешкоджають протіканню води вздовж берега або насипу, захищають їх від розмиву і направляють водяний потік в отвір моста.

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

Під проїжджою частиною прогонової будови розуміють сукупність конструктивних елементів, що сприймають дію рухомих навантажень (від транспортних засобів і пішоходів) і передають їх на несучу частину. До складу проїжджої частини входить мостове полотно і несучі елементи. Мостове полотно розташоване над несучими елементами проїжджої частини і призначене для забезпечення безпечного руху транспортних засобів і пішоходів, а також для відведення води. Несучі елементи проїжджої частини сприймають навантаження від транспортних засобів з дорожнього полотна, від пішоходів з тротуарів і передають їх на основні несучі конструкції прогонової будови. Застосовують три головних види несучих елементів проїжджої частини: балкова клітка – сукупність поперечних і поздовжніх балок; плоска або ребриста плита; ортотропна плита – зварена сталева конструкція, що складається з листа, підкріпленого ребрами.

Поняття проїжджої частини прогонової будови на даний час стало використовуватися в іншому, більш вузькому розумінні – це смуга на мостовому полотні для безпосереднього руху транспортних потоків. Ширина цієї смуги дорівнює сумі ширини смуг руху, встановлених для моста. До цієї смуги прилягають запобіжні смуги (смуги безпеки). Вони призначені забезпечувати рух на мосту з установленою швидкістю. Їх наявність усуває психологічний вплив на водія високого огороження на тротуарах. Запобіжні смуги також забезпечують можливість з'їзду транспортних засобів з проїжджої частини при виникненні небезпечних для руху ситуацій. Проїжджа частина, у вузькому розумінні цього поняття, разом із запобіжними смугами становлять смугу дорожнього полотна або габарит проїзду.

Несуча частина прогонової будови сприймає дію власної ваги і тимчасового рухомого навантаження і передає його на опори. У найпростіших балкових мостах малих прогонів несуча частина прогонової будови складається з дерев'яних або металевих прогонів, залізобетонних плит або балок. При середніх і великих прогонах як несучу частину застосовують балки, ферми, арки або рами (рис. 12).

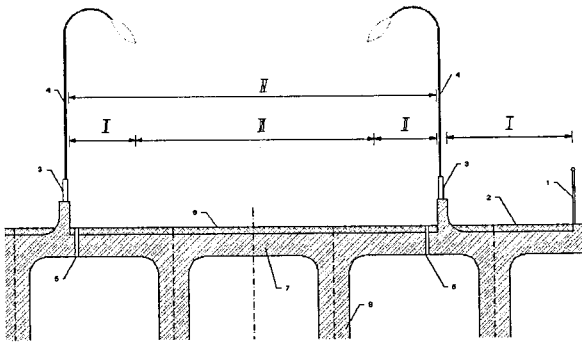


Рисунок 12 – Елементи мостового полотна:

I – тротуар; II – смуга безпеки; III – проїжджа частина; IV – дорожнє полотно; 1 – поручнєве огороження; 2 – покриття тротуарів; 3 – бар’єрне огороження; 4 – пристрій освітлення; 5 – пристрій для водовідведення; 6 – покриття дорожнього полотна; 7 – несучі елементи проїжджої частини; 8 – несучі елементи прогонової будови

Опорні частини – це спеціальні елементи, за допомогою яких опорні реакції від несучої конструкції передаються на опори в заданому місці. Крім того, опорні частини забезпечують поворот і зсув головних ферм (або балок) прогонової будови при їхньому прогині від дії рухомих навантажень, а також поздовжнього і поперечного зсуву кінців ферм (або балок), що виникають в результаті температурних деформацій прогонової будови.

Одним із принципів раціонального проектування є принцип поєднання функцій елементів конструкцій. В сучасних конструкціях прогонових будов мостів цей принцип використовується досить широко. Так, плита або поздовжня балка проїжджої частини також може виконувати і функції поясів головних ферм. Розвиті в плити пояси головних балок виконують одночасно і функції верхніх поздовжніх зв’язків. Конструкції, в яких частини прогонових будов виконують кілька функцій, будуть розглянуті в наступних розділах.

Опори мостів сприймають навантаження і передають їх на ґрунт через фундаменти або на воду (у наплавних мостах). Розрізняють проміжні і берегові опори. Проміжні опори сприймають навантаження від ваги прогонових будов, рухомого навантаження, що проходить по них, від напливу суден, впливу льоду і вітру. Берегові опори, крім того, можуть працювати як підпірні стінки, сприймаючи тиск від підхідних насипів.

Конструктивне рішення моста багато в чому залежить від ширини, глибини, швидкості плину річки, виду ґрунтів на дні її русла і заплави, умов льодоходу, вимог судноплавства по річці. Істотне значення мають і такі розрахункові рівні води в річці (рис. 13): рівень високих вод (РВВ) – найвищий рівень води в річці в місці мостового переходу, що визначають

за даними гідрометричних спостережень; розрахунковий судноплавний рівень (РСР) – найвищий рівень у річці в судноплавний період, що зазвичай трохи нижчий РВВ; середній рівень води в період між паводками називають рівнем межових вод (РМВ) або рівнем межі; розрахунковий рівень високих вод (РРВВ) у річці в місці будівництва моста встановлюють на підставі багаторічних спостережень, виходячи із ймовірного перевищення рівня високих вод (РВВ), що спостерігався.

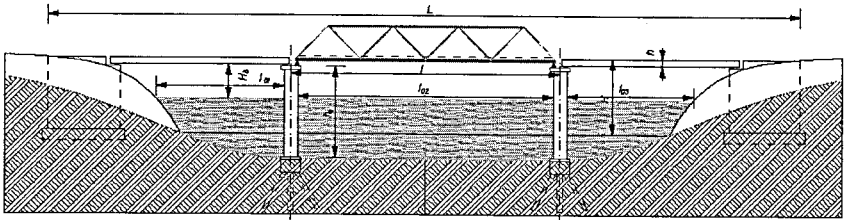


Рисунок 13 – Основні характеристики моста і рівнів річки

1.1.2 Основні визначення і позначення, які застосовуються в мостах. В мостах застосовують нижченаведені основні визначення і позначення:

- довжина моста L – відстань по осі моста між лініями, що з'єднують зовнішні кінці підвалин, що примикають до насипу підходів;
- отвір моста L_0 – горизонтальний розмір між внутрішніми гранями підвалин або конусами насипу, що вимірюється при розрахунковому рівні високих вод без товщини проміжних опор;
- висота моста H – відстань від поверхні проїжджої частини до рівня межових вод;
- вільна висота під мостом H_0 – відстань між низом прогонових будов і рівнем високих вод або розрахунковим судноплавним рівнем (якщо є судноплавання);
- висота опори h_0 – відстань від її верху до ґрунту;
- будівельна висота прогонової будови h – відстань від проїжджої частини до найнижчих частин прогонової будови;
- розрахунковий прогін l – відстань між осями опирання прогонової будови на суміжні опори;
- ширина моста B – відстань між поручнями у світлі;
- ширина прогонової будови B – відстань між осями крайніх головних балок;
- ширина проїжджої частини b – відстань між внутрішніми гранями смуг безпеки;
- ширина проїжджої смуги Γ – відстань між огороженнями.

Основні параметри моста встановлюють у процесі його проектування з урахуванням його призначення і місцевих умов.

1.1.3 Класифікація мостів. Мости класифікують за такими ознаками: за призначенням; за типом опор і прогонових будов; за видом матеріалу; за розташуванням рівня проїзду; за статичною системою; за здатністю пропускати високі води і льодохід; за шириною проїжджої частини і довжиною моста.

За призначенням розрізняють мости: автодорожні – для усіх видів транспорту, що пропускається по автомобільних дорогах, і пішоходів; залізничні – для залізничних потягів; міські – для усіх видів міського транспорту (автомобілів, тролейбусів, трамваїв, метро) і пішоходів; пішохідні – тільки для пішоходів; суміщені – для автомобілів і залізничних потягів; спеціальні – для пропуску трубопроводів, кабелів і т. д.

За типом опор, що застосовують, розрізняють мости: на твердих опорах, які передають через фундаменти навантаження, від прогонових будов, безпосередньо в ґрунт і характеризуються відсутністю значних осідань; на плавучих опорах, які передають навантаження на воду (наплавні мости на понтонах, баржах).

За типом прогонової будови розрізняють мости: нерухомі, у яких прогонова будова завжди займає стосовно опор незмінне положення; розвідні, в яких для пропуску суден влаштовують спеціальний розвідний прогін розмірами, необхідними для судноплавства. Розвідні мости застосовують, коли неможливо або неекономічно піднімати прогонову будову на висоту, достатню для пропускання суден. Неминучість перерв у русі по розвідних мостах є їхнім істотним недоліком.

За видом матеріалів, які використовують для мостів, розрізняють: дерев'яні, металеві, залізобетонні, бетонні і кам'яні мости.

Визначальним при цій класифікації є матеріал прогонової будови. Наприклад, до металевих мостів належать мости з металевими прогоновими будовами, в яких опори можуть бути з будь-яких матеріалів. Кожний з матеріалів додає свої істотні особливості як конструкції моста, так і способам його зведення.

За рівнем розташування проїжджої частини розрізняють мости з проїздом: зверху, коли проїжджа частина розташована зверху прогонових будов (рис. 14, а); знизу, коли проїжджа частина знаходиться на рівні низу прогонових будов (рис. 14, б); посередині, коли проїжджа частина знаходиться в середній за висотою частині прогонової будови (рис. 14, в).

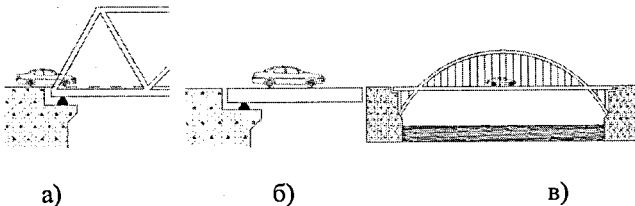


Рисунок 14 – Рівні розташування проїжджої частини мостів

Необхідність класифікації мостів за цією ознакою визначається істотними розходженнями в їхній роботі і у вписуванні їх у місцевість. Найявніші у мостах з проїздом знизу широкорозставлених головних ферм ускладнює влаштування проїжджої частини і зв'язків між фермами. Розходження відносно вписування в місцевість обумовлене тим, що прогонові будови з проїздом зверху мають більшу висоту, ніж прогонові будови з проїздом знизу, тому що в першому випадку будівельна висота визначається повною висотою, а в другому випадку – тільки частиною висоти прогонової будови. Мости з проїздом посередині за своїми конструктивними особливостями близькі до мостів з проїздом знизу.

За статичною системою головних несучих конструкцій прогонових будов розрізняють мости: балкових систем (розвідний – рис. 15, а; нерозвідний і консольний), у прогонових будовах яких від вертикальних навантажень виникають тільки вертикальні опорні реакції; розпірних систем (арковий – рис. 15, б; рамний – рис. 15, в; висячий – рис. 15, г), в яких при дії вертикальних навантажень виникають похилі опорні реакції, що мають горизонтальну складову – розпірку; комбінованих систем, в яких з'єднуються системи перших двох груп, причому кількість таких з'єднань може бути великою.

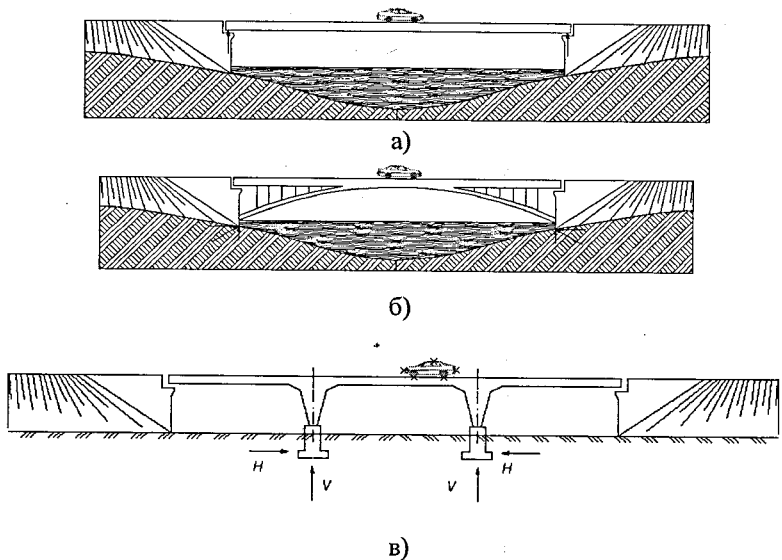
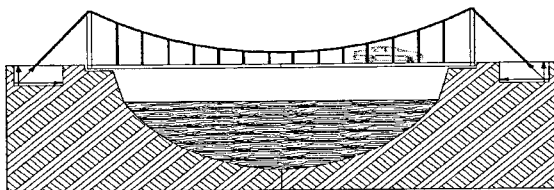


Рисунок 15 – Основні системи мостів



г)

Рисунок 15, аркуш 2

За здатністю пропускати високі води і льодохід розрізняють мости: верховодні – призначені для тривалої нормальної експлуатації, які забезпечують пропуск паводкових вод і весняного льодоходу; низьководні – призначені для експлуатації протягом обмеженого часу і не забезпечують пропуск високої води і весняного льодоходу.

За шириною проїжджої частини розрізняють мости, які мають різну кількість смуг руху: одну, дві, чотири, шість і вісім.

За характером перетинання перешкоди мости можуть бути прямими, косими і криволінійними. Вісь прямого моста (рис. 16, а) перпендикулярна до берегів ріки і напрямку плину, косого – перетинає їх під кутом (рис. 16, б), на відміну від прямого, криволінійний – перетинає під змінним за його довжиною кутом (рис. 16, в).

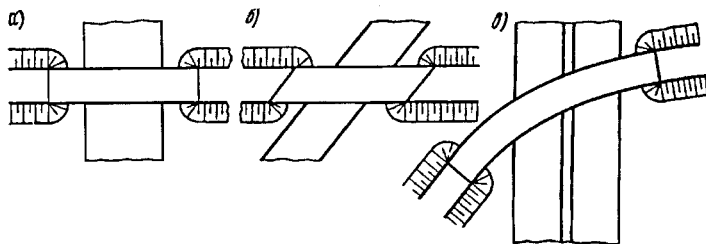


Рисунок 16 – Види мостів за характером перетинання перешкоди

За довжиною: мости довжиною $L < 25$ м вважаються малими, з довжиною $25 < L \leq 100$ м – середніми і довжиною $L > 100$ м – великими. Мости довжиною $L < 100$ м, але з одним із прогонів більше 60 м належать до великих мостів.

1.1.4 Вимоги до штучних мостових споруд. До дорожніх штучних споруд висуваються експлуатаційні, економічні, екологічні, архітектурні і розрахунково-конструктивні вимоги.

Експлуатаційні вимоги є основними і зводяться до того, щоб споруда

забезпечувала безпеку і зручність руху по ній без зниження швидкості протягом заданого терміну експлуатації. Для цього споруда повинна задовольняти такі вимоги: мати таку твердість, щоб деформації і переміщення при русі навантаження не були надмірними; мати необхідну ширину проїжджої частини і тротуарів залежно від його призначення з урахуванням перспективи росту інтенсивності руху; мати сприятливий для руху поперечний і подовжній профіль; бути довговічною, сконструйованою з міцних матеріалів, мостове полотно повинне бути виконане зі зносостійкого матеріалу і забезпечене надійним відведенням води; забезпечувати безпечний пропуск паводків і льодоходу, повинна задовольняти вимоги судноплавства; забезпечувати можливість її огляду, ремонту і реконструкції.

Економічні вимоги зводяться до необхідності одержання такого конструктивного рішення, для якого при заданому терміні служби споруди повна її вартість, враховуючи вартість будівництва, складу, ремонту і можливої реконструкції, була б мінімальною. Роль економічних вимог до мостової споруди в останні роки зростає в зв'язку з переходом на економічні методи керування. Для досягнення ефекту дуже важливий облік місцевих ресурсів і можливостей (наявність заводів або значних запасів будівельних матеріалів, забезпеченість механізмами, технікою і трудовими ресурсами), а також загальних народногосподарських можливостей і умов (наявність транспортних шляхів, можливість використовувати річковий транспорт, гелікоптери і т. ін.).

Вартість мостової споруди знижується при застосуванні конструкцій індустріального виготовлення і механізованого зведення при високих темпах будівництва і високій якості робіт.

Екологічні вимоги визначаються інтересами охорони навколишнього середовища. В останні роки питання охорони навколишнього середовища набувають все більшого значення, у зв'язку з цим підвищуються вимоги до проектів переходів через водоймища. Основа проектних рішень складається з дотримання принципу найменшого втручання в природне середовище.

Архітектурні вимоги зводяться до того, щоб форма споруди відповідала уявленням про красу і гармоніювала з навколишньою місцевістю або міською забудовою. Зазвичай раціонально спроектовані споруди відповідають естетичним вимогам. У них кожен елемент споруди підкреслює його функціональне значення. Сучасна архітектура штучних мостових споруд приділяє увагу простоті форм. Архітектурні вимоги дуже важливі для міських мостів, вони, в таких випадках, можуть вступати в протиріччя з економічними вимогами, але ніколи з експлуатаційними.

Розрахунково-конструктивні вимоги висуваються для того, щоб споруда в цілому і її окремі елементи були раціонально міцними, стійкими і твердими. Задоволення цих вимог є обов'язковим для всіх конструктивних рішень, що мають різні економічні й архітектурні показники.

Виконання обсягів мостового будівництва, що зростають, неможливе без різкого підвищення його індустріалізації.

Контрольні запитання

1. Як класифікуються штучні мостові споруди?
2. Назвіть основні елементи мостів.
3. За якими основними ознаками класифікуються мости?
4. Назвіть основні вимоги до штучних мостових споруд.

2 ДЕРЕВ'ЯНІ МОСТИ

2.1 Загальні відомості про дерев'яні мости

В Давній Русі, багаті лісами, мистецтво будівництва дерев'яних мостів було дуже розвинуте. Через великі ріки будували переважно наплавні мости на плотах або човнах. Такі мости називали «живими» через їхню рухливість. Існують дані, що при Володимирі Мономаші був побудований наплавний міст через р. Дніпро в Києві (1114 р.); при Дмитрі Донському, під час облоги Твері, – міст через р. Волгу. У 1380 р. під час війни з татарами був побудований міст через р. Дій, а в 1477 р. – наплавний міст через р. Волхов у Новгороді. Інший вид мостів того часу мав опори у вигляді дерев'яних зрубів, схожих на сучасні р'яжі (рис. 27, а). Прогони перекривали балками з колод. Стіни часто робили з зазорами між вінцями; такі зруби могли пропускати крізь себе воду і працювали аналогічно сучасним фільтрувальним насипам. У 1776 р. відомий російський механік І. П. Кулібін склав проект дерев'яного аркового моста для перекриття одним прогоном (приблизно 300 м) р. Неви в Петербурзі (рис. 27, б). Модель цього моста в 1/10 натуральної величини була побудована і випробована. Результати випробування виявилися гарними, але міст не був побудований через складність його зведення.

Для невеликих прогонів Палладіо застосовував шпренгельну, а також ригельно-підкісну системи. Для перекриття великих прогонів ним були запропоновані ґратчасті ферми.

На початку XIX ст. з'явилися перші залізниці. Оскільки вони перетинали ряд великих рік, де необхідне влаштування мостів на високих опорах з великими прогонами, виникла необхідність у нових системах балкових прогонових будов. Одна з таких систем була запропонована в США архітектором Тауном у 1820 р. Прогонові будови Тауна мали багатогратчасті ферми з дощок із з'єднаннями на дерев'яних нагельях. Інша система була запропонована в 40-х роках XIX ст. інженером Гау. Ферми цієї системи мали елементи з брусів, і тільки стояки були з металевих тяг. Ферми Гау були вивчені видатним російським інженером Д. І. Журавським (1821–1891 р.), що вніс у їхню конструкцію ряд покращень, розробив метод їхнього розрахунку і застосував для будівництва великих дерев'яних мостів.

Великий підйом у будівництві дерев'яних мостів в Росії виник після Жовтневої революції. Особливо широке застосування дерев'яні мости одержали на автомобільних дорогах і в містах.

Виняткове значення мали дерев'яні мости під час Великої Вітчизняної війни. В цей час на автомобільних дорогах усе більшого поширення набувають залізобетонні мости. Однак у багатьох лісом районах СРСР, а також на місцевих і сільських дорогах застосування дерев'яних мостів залишалося доцільним. При цьому, використовуючи дерево для

будівництва сучасних мостів, застосовували таку конструкцію, що дозволяє індустріалізувати їхнє виготовлення і механізувати процес складання. Крім того, потрібно вживати заходів для збільшення терміну служби дерев'яних мостів, надійно захищаючи їх від загнивання.

2.2 Матеріали для дерев'яних мостів

Для дерев'яних мостів застосовують хвойний і листяний ліс. Як будівельний матеріал – краще хвойний ліс, що має прямі і рівні стовбури, менш сучкуватий, з більш м'якою, смолистою і пружною деревиною. З хвойних порід найчастіше застосовується сосна, ялина, модрина, кедр і ялиця; з листяних порід – дуб, бук, граб, ясен. В природних умовах стовбур дерева працює на стиск із поздовжнім вигином, а також на поперечний вигин. Тому лісоматеріал найбільш пристосований до цих видів силових впливів і найкраще несе їх при роботі в конструкціях. Дерево має неоднорідну структуру. За товщиною стовбура найменшу міцність має серцевинна частина, ближче до оболонки міцність деревини зростає.

За довжиною стовбур дерева має конічну форму з природним утоншенням (збігом) від товстого кінця (комля) до тонкого. Стік в середньому становить приблизно 1%. При використанні для елементів конструкції колод з природною конічністю в них зберігається найбільша міцність і стійкість від загнивання зовнішньої частини деревини.

Якщо колоду обробити, надавши їй циліндричну форму (циліндрувати), то значна частина найбільш міцної і стійкої забленої деревини віддаляється і, крім того, перерізається велика частина волокон дерева, спрямованих по конічних утвореннях. Ще більшою мірою послабляється деревина при розпилюванні колод на бруси або дошки. Тому в мостах бажано застосовувати круглий ліс зі збереженням його природної конічності.

Циліндрований ліс потребує трудомісткої ручної обробки, тому застосовувати його небажано.

Використовуючи в мостах ліс, позбавлений найбільш міцних і стійких заблених шарів деревини, потрібно звертати особливу увагу на захист конструкції від загнивання.

Зі збільшенням вологості знижується міцність деревини. При висиханні деревина зменшується в розмірах. Усушка дерева вздовж волокон незначна; найбільша усушка відбувається за віковими кільцями. Через різну усушку в радіальному напрямку і за віковими кільцями, а також через нерівномірність висихання виникає короблення і розтріскування дерева.

Найбільше жолобиться тонкий лісоматеріал, причому дошки жолобляться в бік опуклості вікових шарів. Тріщини від усушки виникають радіально до вікових кілець.

Для мостів потрібно застосовувати напівсуху деревину з вологістю не більше 25%. Вологість пиломатеріалів не повинна перевищувати 20%.

Для дощатих ферм і дрібних деталей конструкції потрібно використовувати ліс з вологістю не більше 15% (повітряно-суха деревина).

Істотні недоліки дерева – небезпека загнивання і загоряння. Мости з гарного лісоматеріалу, обробленого антисептиком, при гарному догляді справно слугують до 25–30 років. Термін служби неантисептованих дерев'яних мостів у середньому становить тільки 12–15 років. Небезпека загоряння дерев'яних мостів практично несуттєва, тому що пожежі мостів трапляються дуже рідко. Головні металеві елементи дерев'яних мостів роблять з вуглецевої мартенівської гарячекатаної сталі. Оскільки, в більшості випадків ці елементи мають зварні з'єднання, тож сталь повинна допускати застосування зварювання. Неробочі конструктивні металеві елементи і кріплення можуть бути зі сталі більш низьких марок.

Для елементів, що знаходяться під водою, міцність розрахункової опори множать на коефіцієнт 0,9. Для конструкцій, виготовлених на заводі з деревини з вологістю не більше 15%, міцність розрахункових опор може бути збільшена на 10%. В елементах простих балкових систем і простих конструкцій проїжджої частини, які виготовлені з колод зі збереженням природної конічності, міцність розрахункових опор дозволяється підвищувати на 20%. Для елементів, виготовлених з інших порід дерева, міцність розрахункових опор множать на спеціальні перехідні коефіцієнти. Розрахункові опори сталевих елементів приймають: при дії осьових сил – 1900 кг/см²; при вигині – 2000 кг/см².

Модуль пружності деревини приймають 85 000 кг/см², а при визначенні деформацій тільки від тимчасового навантаження, що діє короткочасно – 100 000 кг/см².

2.3 Основні системи дерев'яних мостів

Вибір системи і конструкції дерев'яного моста залежить від величини прогонів, яка враховується за умовами вертикального планування будівельної висоти, розрахункового тимчасового навантаження, а також від місцевих умов. При перетинанні невеликих рік і ярів, а також при влаштуванні шляхопроводів застосовують просту балкову систему (рис. 17, а). Найпростішою балковою системою можуть бути перекриті прогони 8–10 м, а при застосуванні складених або клеєних балок – до 16–24 м. Прогони однопрогонових балкових мостів зазвичай становлять 4–6 м; при менших прогонах доцільніше влаштувати залізобетонні труби. Мости найпростішої балкової системи мають порівняно невелику будівельну висоту.

Підкісні системи мостів широко застосовувалися в минулому для прогонів від 8–10 м (рис. 17, б) до 20 м.

Дотепер на автомобільних дорогах ще зустрічаються підкісні мости. Однак у новому будівництві їх застосовують рідко, тому що зведення

підкісних конструкцій потребує трудомістких столярних робіт і не піддається індустріальним методам виготовлення і монтажу.

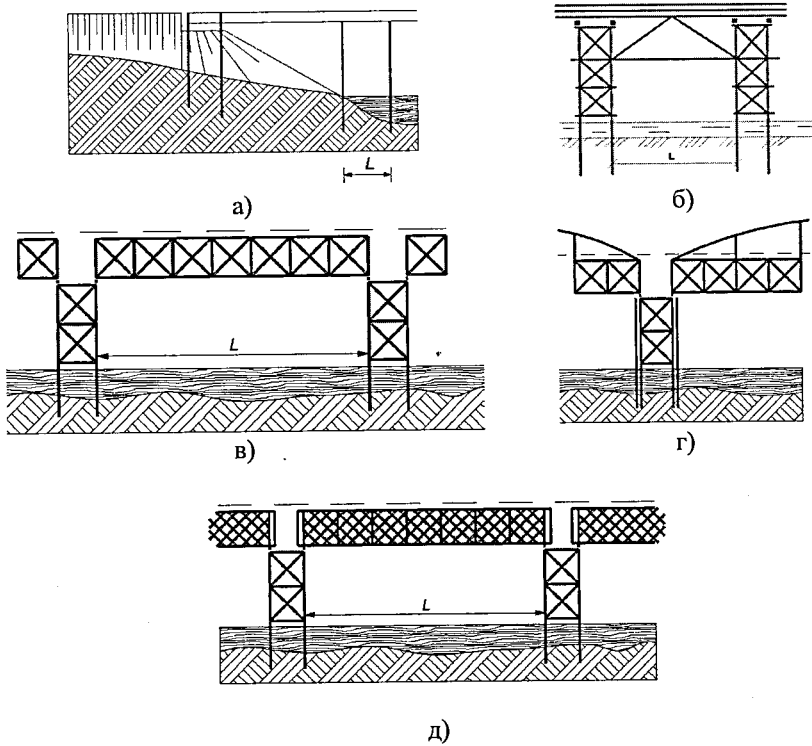


Рисунок 17 – Основні системи дерев'яних мостів

Для перекриття прогонів більше 16–20 м застосовують прогонові будови з ґратчастими фермами різних видів.

На даний час, найчастіше, для перекриття великих прогонів застосовують прогонові будови з фермами системи Гау-Журавського (рис. 17, в) із круглого лісу або рідше з брусів зі стояками у вигляді металевих тяжій. Для більшої надійності і збільшення терміну служби нижній шар або і верхній можуть бути зроблені металевими. Ферми Гау-Журавського роблять також збірними з блоків заводського виготовлення.

Застосовують також мости з дощатими фермами (рис. 17, г) на цвяхових з'єднаннях. Дощаті ферми зручні для виготовлення, але менш довговічні. Тому вони більш доцільні для мостів, розрахованих на обмежений термін служби. Дощаті ферми також можуть бути збірними з блоків, виготовлених на заводі.

Прогонові будови з ґратчастими фермами дають можливість перекривати прогони до 40–50 м. Великі прогони порядку 50–60 м можуть

бути перекриті лише комбінованою системою, що складається з ґратчастих ферм, посилених арковим поясом (рис. 17, д). Однак їхня конструкція досить складна і громіздка, тому застосовують їх лише у виняткових випадках. Зрідка на автомобільних дорогах можна зустріти дерев'яні аркові мости. Вони можуть перекривати прогони до 40–50 м, їх застосування найчастіше зумовлене архітектурним рішенням моста.

2.4 Монтаж дерев'яних мостів

Полотно проїжджої частини дерев'яних мостів зазвичай роблять дерев'яним.

При слабкому русі на сільських дорогах мости можуть мати найпростіший настил (рис. 18, а) з ряду накатів або пластин, безпосередньо покладених на прогони. Накати або пластини закріплюють притискними колодами, що слугують одночасно і колесовідбійними (бордюрними) елементами. Для рівності шляху і розподілу тисків коліс автомобілів, накати (пластини) іноді покривають зверху шаром товщиною 10–12 см із щебеню або гравію. Однак частіше улаштовують верхній настил з дощок, що працюють на знос і розподіляють зосереджені тиски рухомого навантаження. Таку проїжджу частину, зазвичай, влаштовують на мостах зі зближеними (розкиданими) прогонами (рис. 18, б).

У мостах із зосередженими прогонами поперечки розташовують рідше і роблять їх з більш товстих колод. Поверх поперечок укладають подвійний дощатий настил (рис. 18, в). Дощки нижнього настилу укладають із проміжками в 2–3 см для кращого провітрювання. Верхній настил може бути поперечним і поздовжнім. У більшості випадків застосовують поздовжній верхній настил, більш зручний при укладанні і що дозволяє використовувати дошки різної довжини. Зосереджені прогони мають велику висоту і потребують надійних кріплень для стійкості в поперечному напрямку. Зазвичай багатоярусні прогони обжимають брущатими стисками і зв'язують між собою поперечними анкерами з тонких колод діаметром 16–18 см, врубаних у колоди прогонів (рис. 18, г). Більш тверде поперечне з'єднання досягається за рахунок влаштування хрестових поперечних зв'язків (рис. 18, в). Оскільки балкові мости із зосередженими прогонами мають велику будівельну висоту і потребують спеціального закріплення прогонів та більш складної конструкції проїжджої частини, то при прогонах до 8 м доцільніше застосовувати мости зі зближеними (розкиданими) прогонами.

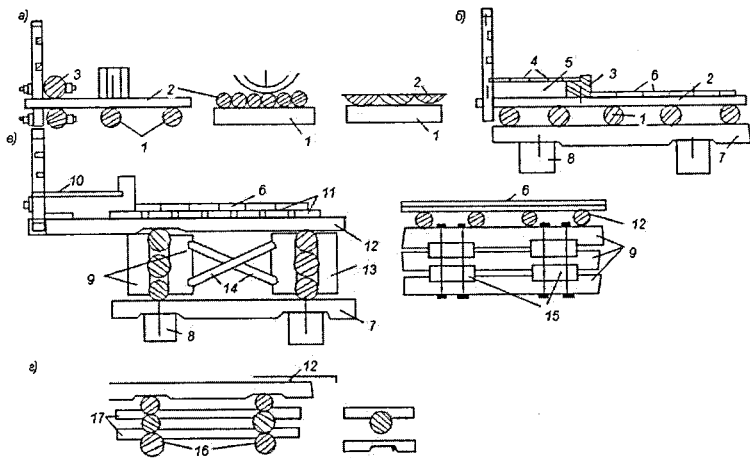


Рисунок 18 – Конструкція найпростіших балкових мостів:

1 – розкидані прогони; 2 – верхній настил з накатів або пластин; 3 – колесовідбійний (бордюрний) елемент; 4 – подовжній тротуарний настил; 5 – оцупок, що підтримує настил тротуару; 6 – дощатий верхній настил; 7 – насадка; 8 – паля; 9 – зосереджений прогін складеного перетину; 10 – поперечний тротуарний настил; 11 – нижній дощатий настил; 12 – поперечка; 13 – брущатий стиск; 14 – хрестові поперечні зв'язки; 15 – колодка; 16 – складний триярусний прогін; 17 – анкер; 18 – шар асфальтобетону; 19 – дошки деревоплити; 20 – клеєний прогін; 21 – горизонтальні цвяхи влаштовують тільки при прогонах більш 8–10 м, а при менших прогонах – лише в міських мостах при прокладанні по них трамвайних шляхів

На дорогах з асфальтобетонним покриттям можна влаштовувати на мостах настил з так званої деревоплити, покритої шаром асфальтобетону. Деревоплиту роблять з дощок, покладених на ребро (рис. 18, б) і зшитих між собою горизонтальними цвяхами. Дощки застосовують різної ширини, так що після укладання поверхня деревоплити виходить гребінчастою, що забезпечує зв'язок з асфальтобетонним шаром.

Тротуари дерев'яних мостів зазвичай роблять підвищеними. Настил тротуарів краще робити з подовжнім розташуванням дощок (рис. 18, б), більш зручних для пішоходів. Товщину дощок тротуарного настилу приймають 5 см. Дощки подовжнього настилу укладають на короткі поперечні підкладки (оцупки) з обтесаних колод або брусів, що лежать на кінцях поперечок. Іноді застосовують і тротуари з поперечним настилом, укладаючи його дошки одним кінцем на бордюрний елемент, а іншим на подовжню тротуарну балку (рис. 18, в), що слугує для кріплення поручневих стояків. У зв'язку з ростом швидкостей та інтенсивності руху автомобілів на дорогах необхідно приймати більш надійні заходи

огороження проїжджої частини від небезпеки виїзду автомобілів на тротуар і падіння їх з моста. Для цього на дерев'яних мостах потрібно влаштувати підвищені бордюри або спеціальні огороження. Підвищений бордюр може бути влаштований шляхом укладання додаткового бордюрного бруса (рис. 18, в), прикріпленого до поперечок болтами. Більш високе огороження можна влаштувати у вигляді найпростішої конструкції зі стояків і горизонтальних захисних поручнів, що огорожують тротуар, і складаються з поручневих стояків, укріпленого на них поручня і розташованих нижче поручня елементів поручневого заповнення. Для захисту поручня від випадкових ударів автомобілями по краях моста, їх закінчують вертикальними або похилими стовпами – надовбами (рис. 18, а). У тих випадках, коли немає потреби у влаштуванні на мосту тротуарів, проїжджу частину огорожують колесовідбійними (бордюрними) брусами або колодами, з якими зв'язують поручневі стояки (рис. 18, а). Поверхні настилу для стоку води надають подовжній нахил не більше 2–3% і двохсхилий поперечний нахил 1,5–2%. Воду спускають під міст за допомогою водовідвідних трубок або лотків.

Прогони балкових мостів потрібно робити з колод з природною конічністю.

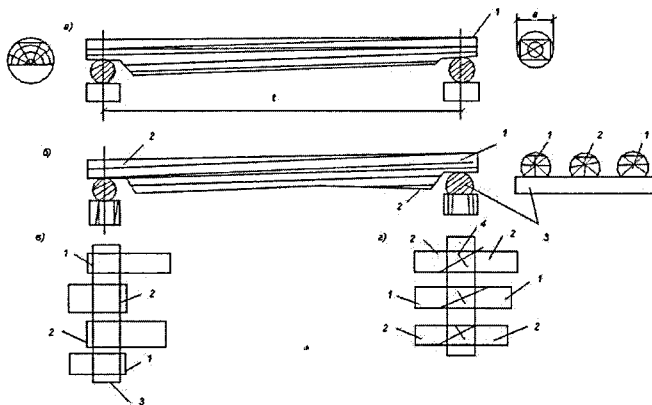


Рисунок 19 – Конструкція зближених (розкиданих) прогонів:
1 – відруб; 2 – комель; 3 – насадка; 4 – металева скоба

Колоди зближених (розкиданих) прогонів підтісують по всій їхній довжині, щоб утворити майданчик для опирання поперечок. Знизу колоди підтісують тільки на кінцях. В комлевих частинах підтіски роблять більші, а у відрубках менші, для того, щоб будівельна висота на обох кінцях прогонів була однаковою (рис. 19, а). Прогони потрібно укладати по черзі комлями в різні сторони, щоб сумарний переріз усіх прогонів з обох сторін від середини прогону був однаковим (рис. 19, б). Над опорами прогони

сусідніх будов укладають врозгін (рис. 19, в) або впритул до косих зрізів торців (рис. 19, г). В першому випадку розташування прогонів сусідніх будов виходить трохи різним, в другому – прогони в суміжних будовах можуть мати однакове розташування.

Елементи поперечного настилу з накатів, обтесаних на два канти або підтесаних знизу пластин, укладають по прогонах комлями до осі моста. Тоді за рахунок конічності цих елементів утвориться частина поперечного нахилу проїжджої частини. Іншу частину поперечного нахилу одержують за рахунок похилого підтіску поперечок або ж за рахунок влаштування похилих верхніх поверхонь.

Складні (пакетні) прогони залежно від величини, що перекривається, роблять з двох або трьох колод (рис. 19, г), покладених одна на одну і з'єднаних болтами. Колодам потрібно зберегти природну конічність, укладаючи їх послідовними шарами в різні боки. У складених прогонах колоди з'єднують між собою призматичними вкладишами – колодами з того ж лісу, що і колоди прогонів. Колоди влаштовують волокнами вздовж прогону, тоді їх всихання відбувається одночасно з колодами прогонів, а зминання відбувається вздовж волокон, завдяки цьому різниця в колодових з'єднаннях від всихання деревини незначна.

Прогони стягують болтами, які необхідно пропускати через колоди (рис. 19, в).

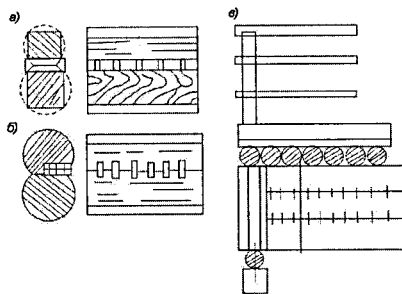


Рисунок 20 – Конструкція прогонів складеного перерізу на пластинчастих нагелях

Складені прогони на пластинчастих нагелях (рис. 19, в) роблять з металевими пластинами зі сталі товщиною 8–12 мм. Пластинчасті нагелі встановлюють в прорізи, які вибирають з елементів конструкції. Висоту пластинок приймають рівною 7–10-кратній їх товщині. Глибина врізання пластинок в кожний з елементів, що з'єднуються, не повинна перевищувати 1/6 висоти кожного з них. Пластинчасті нагелі можуть бути наскрізними, поставленими в пази, прорізані на всю ширину колод, що з'єднуються (рис. 20, а), або ж ненаскрізними, забитими в пази на глибину, більшу половини ширини елементів, що з'єднуються (рис. 20, б). Прогони

стягують невеликою кількістю болтів, необхідних і при виготовленні прогонів під час вибирання гнізд для нагелів.

Пластинчасті нагелі дозволяють надійно з'єднати яруси прогону, що добре працює під навантаженням. Однак їх дуже рідко застосовують у будівництві дерев'яних мостів.

В паливових опорах з'єднання насадки з палею виконують з дерев'яним шипом (рис. 21, а) або металевим штирем. Гнізда для дерев'яних шипів роблять трохи глибше висоти шипа, щоб тиск не міг передаватися через шипи у випадку всихання деревини насадки. Оскільки нарізка на головах паль шипів і відповідних їм гнізд в насадці досить трудомістка робота, тому в сучасних конструкціях влаштовують металеві штирі (рис. 21, б). Штирі забивають в палею через насадку або ставлять в просвердлений отвір. Насадку підтісують в місцях опирання на палі (рис. 21, а) або ж по всій її довжині (рис. 21, б).

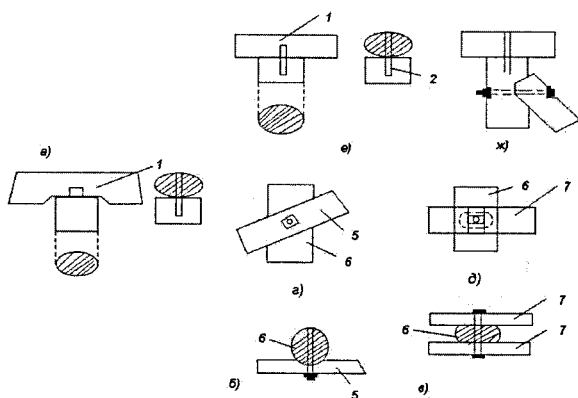


Рисунок 21 – Деталі конструкції паливових опор:

- 1 – проміжок; 2 – металевий штир; 3 – металевий хомут; 4 – милиця;
5 – похиле з'єднання; 6 – паля; 7 – горизонтальне з'єднання

В мостах невеликої висоти палі в опорах можуть бути з однієї колоди без стиків. При великій висоті опор доводиться застосовувати нарощування паль. Стик розташовують не менше, ніж 0,3–0,5 м над рівнем води в місці установлення горизонтальних стиків. Стик роблять в піддереві (рис. 21, г) і зміцнюють металевими хомутами.

При великій глибині забивання паль може стати необхідним їх нарощування в процесі забивання. У цьому випадку стик повинен мати конструкцію, яка була б надійна і при забиванні палі в землю. Для цього потрібно збільшувати кількість хомутів до трьох і зміцнювати їх цвяхами (рис. 21, д) проти зсуву по палі при забиванні її в ґрунт. Горизонтальні і похилі стики з'єднують з палями простої циліндричної врубкы (рис. 21, е) або ж взаємним врізанням з вибіркою в палі сегментних четвертей

(рис. 21, ж). Вкосини зазвичай врубують кінцями в палі одиночним зрубом (рис 21, в) і стягають врубку болтом.

В місцях з'єднання моста з підходами утворюються осідання полотна дороги, що викликані поштовхами проїжджих автомобілів. Однією з мір, яка пом'якшує ці поштовхи, може слугувати розташування дерев'яного щита, покладеного в піщаний шар на невеликій глибині під поверхню дороги (рис. 22, а).

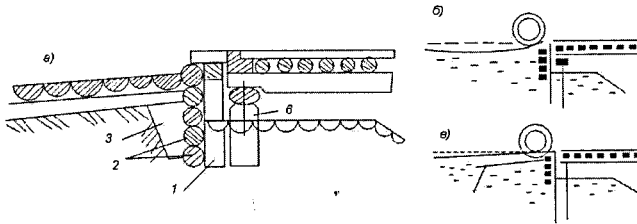


Рисунок 22 – З'єднання дерев'яного моста з насипом:

1 – паля забірної стінки; 2 – забірна стінка; 3 – глиняна подушка; 4 – дерев'яний щит; 5 – асфальтобетонне покриття; 6 – паля крайньої опори

Розподіляючи зосереджені тиски коліс проїжджих автомобілів, такий щит забезпечує більш плавний їхній перехід з дороги на міст при осіданні земляного полотна, викликаного поступовим його ущільненням. Кінець щита, обернений до моста, бажано сперти на забірну стінку.

Наявність щита при поєднанні насипу з мостом не усуває осідання, а тільки трохи згладжує його. Дійсно, без щита ущільнення ґрунту насипу викликало б появу дуже різкого осідання (рис. 22, б). При наявності щита, спертого одним кінцем на дерев'яну конструкцію моста, профіль нерівності згладжується (рис. 22, в).

На даний час від розташування щита частіше відмовляються, ретельно ущільнюючи ґрунт конуса і насипу в місцях з'єднання з мостом, а також захищаючи від зайвого зволоження ділянку земляного полотна на довжині приблизно 5 м пристроєм водонепроникного дорожнього покриття з асфальтобетону або чорного щебеню.

2.5 Утримання дерев'яних мостів

Першочерговою задачею поточного ремонту дерев'яних конструкцій є своєчасне вживання заходів для вилучення вологи і бруду з щілин, врубки, стиків і вузлів стиків. До таких заходів належать: відвід поверхневих вод з проїжджої частини, забезпечення щільності всіх стиків дерев'яних елементів, зовнішній захист за допомогою козирків та дахів і хімічний захист деревини від загнивання за допомогою антисептичних засобів.

Для продовження терміну служби деревини конструкцій мостів і своєчасного захисту від загнивання на початковій стадії ураження гниллю проводять антисептування дерев'яних елементів, палей заплавних опор і льодорізів, які найбільш інтенсивно піддаються загниванню на поверхні ґрунту, захищають антисептичним бандажем. Бандаж виготовляють з руберойду або мішковини. Антисептичну суміш наносять на ділянку палі, що захищається, і на бандаж з внутрішнього боку. Бандаж щільно накладають на палю з перекриттям шва на 10 см та прикріплюють його толевими цвяхами і прикручують дротом. Верхній край бандажа і частину палі, що примикає, на 10–15 см покривають бітумною гідроізоляцією. Верх бандажа повинен виступати над ґрунтом на 15–20 см.

У випадку сильного ушкодження елемента гниллю, тобто при ослабленні перерізу більше, ніж на 25% і при внутрішніх загниваннях, елемент необхідно замінити. Дрібні елементи (шпонки, колодки, подушки) при загниванні також замінюють.

Заміну верхнього настилу або заміну окремих дощок здійснюють при зносі його на глибину 3 см і більше. Наскрізні пробоїни зашпаровують негайно. Дощки в місцях їхнього відставання від поперечок щільно пришивають, а цвяхи, що виступають, забивають. Щоб уникнути передчасного загнивання, дошки нижнього настилу при його ремонті укладають для вентиляції з проміжками 2 см.

Дощки тротуарного настилу, розташованого на консолях поперечок, при ремонті також потрібно укладати для вентиляції з проміжками 2 см. Стояки і підкоси поручині повинні бути міцно закріплені.

Щоб уникнути руйнування настилу, колесовідбійні бруси повинні бути щільно і міцно підігнані до нього і притиснуті болтами, а при їхньому ушкодженні або значному загниванні – замінені. Для продовження термінів служби всіх елементів мостового полотна потрібно забезпечити водонепроникність (щільність укладання) верхнього настилу.

В балкових прогонових будовах замінюються зламані прогони або прогони, що загнилися, підтягуються ослаблені болти дво- або триярусних складених прогонів, підбивають шпонки і замінюють ушкоджені. Дефектні елементи кріплень замінюються, інші очищаються від бруду і підфарбовуються.

При нахилі і перекосі багатоярусних прогонів як попереджувальний захід застосовують підтяжку болтів і посилення поперечних зв'язків за допомогою додаткових хрестових зв'язків.

В підкісних прогонових будовах наскрізні тріщини в підкосах і відколи в підбалках локалізують за допомогою металевих хомутів і підбалок на зубах. В з'єднанні нижнього конуса з палею не повинно бути відколу палей або відколу зубів підбалка. За наявності таких дефектів встановлюють додатковий підбалок. Дуже ушкоджені підкоси замінюють, але по черзі, попередньо підводячи стояки під кінець ригеля поблизу місця примикання підкоса.

В фермах Гау-Журавського подушки і пояси, які мають відколи і значні тріщини, підсилюють шляхом врізання додаткових брусів в пояси. Тяжі з дефектами і підгаснички, які мають відколи, зминання і загнивання, замінюють, використовуючи додаткові тимчасові тяжі.

При наявності тріщин глибиною більше 1/4 товщини елемента в зоні дії великих сколювальних напруг, необхідно ставити накладки з двох сторін елемента, а при меншій глибині – тільки з боку тріщини.

Елемент потрібно попередньо затиснути до закриття тріщин і вирівняти поверхню балки. Накладки встановлюють на епоксидному клею і притягають до поверхні елемента шурупами, відстань між якими приймається не більше 20 см.

Тріщини в зоні невеликих сколювальних напруг заповнюють, за можливості, полімерною сумішшю.

В берегових опорах висотою до 3 м при значному загниванні палі заміняється вся її ділянка, розташована вище ґрунту. При цьому стик нароста палі влаштовують нижче зони загнивання. У високих берегових опорах вирізують лише загнилу частину. При цьому верхній стик вставки розташовують з обтисненням палі стиками, а нижній – поза зоною загнивання палі. Стики виконують впівдерава з металевими хомутами зі смугової сталі товщиною 8–10 мм.

У випадку загнивання палі на рівні, близькому до води, стик вставки виконують в торець на металевому штирі, діаметром 20–22 мм і перекривають дерев'яними накладками. На період ремонту поруч з палею тимчасово встановлюють під насадкою підклинений стаяк.

При ремонті опор і льодорізів особливу увагу приділяють забезпеченню твердості їхньої конструкції. Горизонтальні і діагональні стики повинні бути міцно скріплені з палями і стояками за допомогою болтів; підкоси, укуси і діагоналі зв'язків щільно врублені і притягнуті кріпленнями, а усі нещільності заповнені дерев'яними або металевими прокладками.

Ремонт опори полягає в частковій або повній її заміні. Аналогічним способом проводиться повна заміна насадки. Ремонт берегових опор виконують по черзі на кожній половині шляхом повної заміни конструкції з наступною гідроізоляцією її з боку насипу гарячим бітумом за два рази.

При ремонті ремне-лежневі опори стояка рам, що загнилися, замінюють по черзі. Лежні, що загнилися, замінюють окремими оцупками, причому ґрунт під оцупками ретельно утрамбовують для зменшення спадів. Для підвищення твердості таких опор стояки розкріплюють стиками.

При виявленні морозного випирання палі ґрунт навколо них вибирають на глибину промерзання і замінюють великим піском з галькою.

Контрольні запитання

1. Які матеріали використовуються при будівництві дерев'яних мостів?
2. Назвіть основні системи дерев'яних мостів.
3. Як виконують монтаж дерев'яних мостів?
4. Назвіть особливості утримання дерев'яних мостів.

3 ЗАЛІЗОБЕТОННІ МОСТИ

3.1 Загальні відомості

Історія залізобетонних мостів починається з 1873 р., коли винахідник залізобетону француз Моньє одержав патент на залізобетонні мости, в якому запропонував будувати з залізобетону як прогонові будови, так і опори. Міст його системи являв собою прогонову будову у вигляді зводу, затисненого в масивних опорах. Прогонова будова й опори мали єдиний каркас у вигляді сіток з металевих лозин. Для великих прогонів або навантажень Моньє пропонував ставити сітку з декількох шарів. У 1875 р. за цією системою був побудований у Франції в приватному парку перший залізобетонний міст. Він був пішохідним, мав довжину 16 м і ширину 4 м.

Перші залізобетонні мости мали аркову систему і за зовнішнім виглядом були схожі на кам'яні. Тільки товщина зводу, якщо вона зберігалася в зовнішніх лініях, указувала на матеріал споруди. У 1892 р. француз Геннебік запропонував систему армування, яка складалася з подовжніх стержнів з поперечними хомутами. Вона забезпечила перехід до сучасних залізобетонних споруд. За його пропозицією з'явилися і ребристі мостові конструкції, що сприяло подальшому розвитку аркових і балкових систем залізобетонних мостів. За столітній період їхнього розвитку були створені зразки різних систем. Залізобетон виявився настільки зручним матеріалом, що з нього, крім конструктивних форм, взятих з ділянки кам'яних, дерев'яних і металевих мостів, були створені дуже оригінальні конструктивні форми, властиві тільки йому.

Залізобетон – це матеріал, який складається з бетону і сталі, що працюють спільно. Бетон добре працює на стиск і погано на розтяг, тому сталь (арматура) розміщують в бетоні так, щоб вона сприймала розтяжні зусилля.

Завдяки гарному зчепленню між бетоном і сталеву арматурою, а також майже однаковим коефіцієнтам їхнього температурного розширення залізобетонні елементи у вигляді плит, балок, стояків, арок добре працюють в будівельних конструкціях. Крім того, сталева арматура, знаходячись в бетоні, не піддається ржавінню. В сучасних залізобетонних мостах застосовують два види армування. Стержні арматури можуть бути встановлені в бетон без додавання початкових зусиль. Таку арматуру називають ненапруженою, а залізобетон з цією арматурою – залізобетоном з ненапруженою арматурою (чи звичайним залізобетоном). Також арматура може бути піддана початковому розтягу і в такому вигляді введена в залізобетонну конструкцію. Тоді бетон буде обтиснутий реактивними зусиллями натяжної арматури. Таку арматуру називають напруженою, а залізобетон з цією арматурою попередньо-напруженим.

Конструктивні форми мостів змінювалися в міру збільшення прогонів, які перекиваються. При досягненні в аркових мостах прогону $l=50$ м в

зведеної частині почали застосовувати поперечні прорізи. В результаті цього звід відокремився від зведеної частини, що, в свою чергу, розділилася на вертикальні стінки і проїжджу частину. З'явилася система, яка складається із зводу, стінок і плит. Стінки підтримували плитну проїжджу частину, опираючись на звід за всією його шириною.

При подальшому збільшенні прогонів аркових мостів збільшувався і прогін проїжджої частини в зведеної конструкції. Виникла необхідність переходу від плоских плит в проїжджій частині до ребристих прогонових будов. Наявність ребер в плиті зосереджувало зусилля від проїжджої частини у визначеній точці, звідки вони передавалися на звід за допомогою стояків, а не стінок.

Наступні зміни в загальному компоунванні аркових мостів привели до створення раціональної системи, в якій зусилля від стояків (колон) стали сприйматися не зводом, а окремими арками, кількість яких дорівнює кількості колон в поперечному ряді і кількості ребер в проїжджій частині. При подальшому розвитку цієї системи кількість арок стала меншою за кількість поздовжніх ребер в проїжджій частині завдяки застосуванню поперечних балок, які підтримують поздовжні балки разом із плитами проїжджої частини.

В міру освоєння великих прогонів зменшувалася кількість несучих арок в складі прогонової будови до двох. З'явилася можливість застосування мостів з проїздом знизу. У наступних системах з проїздом знизу стали застосовувати затягування в рівні проїжджої частини, що дозволило усунути дію розпору на опори. Залізобетонні балкові мости з'явилися наприкінці XIX ст. спочатку з прогоновими будовами у вигляді плоских плит ($l=6$ м) з арматурою Моньє, а потім у вигляді ребристих плит або балок ($l=15$ м) з арматурою Геннебіка. Незабаром в мостах стали застосовувати нерозрізні залізобетонні балки, що дозволило перекидати прогони до 40 м. Подальший розвиток залізобетонних мостів на початку XX ст. пов'язаний з застосуванням консольних систем і наскрізних ферм. Значне поширення одержали також мости рамної системи.

В дореволюційній Росії залізобетонні конструкції взагалі і мости зокрема розвивалися під впливом закордонного досвіду і вітчизняної практики будівництва. Велику роль зіграли дослідження проф. Н. А. Белелюбського з вивчення роботи залізобетонних плит, балок, арок і моста прогоном 17 м, проведені ним у 1886–1891 рр. Широке застосування залізобетонних мостів у Росії почалося після видання в 1908 р. перших технічних умов і норм проектування залізобетонних мостів різних систем. До початку першої світової війни вже була побудована велика кількість розвідних, нерозвідних і рамних мостів ребристої конструкції. До цього періоду належить інженерна і наукова діяльність наших співвітчизників, великих фахівців із залізобетону проф. Н. А. Белелюбського, що керував розробкою технічних умов, проф. Г. П. Пересмикни – автора багатьох споруд, проф. А. Ф. Лолейта – одного із засновників теорії розрахунку залізобетону за стадією

руйнування, проф. І. С. Подільського, який видав в 1906 р. перший курс залізобетонних мостів російською мовою.

Протягом перших двох десятиліть після Великої Жовтневої революції в СРСР було побудовано велику кількість найбільших залізобетонних мостів через ріки Дніпро, Волгу, Ангару, Неву, через канал імені Москви та ін. Окремі прогони, які їх перекривають, досягали 130 м. Широке застосування залізобетон одержав у малих і середніх мостах. Великі залізобетонні мости будували з монолітного бетону з використанням аркової системи.

У післявоєнний період на високому технічному рівні виконані капітальне відновлення і будівництво нових мостів. Зведення в 1951 р. двоярусного моста для сполученого руху з рекордним дотепер арковим прогоном 228 м визначило можливість і широке застосування залізобетону в мостах.

З 1954 р. в країні почалася докорінна зміна технології виробництва, яка проявилася в переході на збірні конструкції й індустріальні методи роботи. До цього часу, в основному завдяки різнобічним роботам француза Фрейсіне, спостерігається широке використання попередньо напруженого залізобетону в мостах. У 50–60-х рр. зі збірного залізобетону побудовані цікаві за своєю системою мости: міський метроміст через р. Москву і рекордний за довжиною (2800 м) міст через р. Волгу в Саратові. У наступні десятиліття відбувається подальше вдосконалювання конструкцій і технології залізобетонних мостів.

Прикладами вдалих інженерних рішень є Автозаводський, Краснопресненський і Нагатинський мости і міст у Щукіно-Строгіно через р. Москву, автодорожні мости через р. Дніпро в Херсоні і Дніпропетровську. Одним з останніх досягнень у мостобудуванні можна назвати в Києві Південний перехід, в якому знайшли застосування найсучасніші вітчизняні досягнення в будівництві залізобетонних мостів.

3.2 Вимоги до бетону для залізобетонних мостів

Мости експлуатуються в складних умовах. Вони можуть знаходитися під впливом важких рухомих навантажень; їх несучі конструкції, зазвичай, не захищають від різноманітного атмосферного впливу: коливань температури, вологості, шкідливих газів; їх опори знаходяться під впливом льодоходів. Складні умови роботи мостів, а також умови проведення робіт при їх будівництві висувають ряд вимог до матеріалів і виробів для мостів. До бетону, який застосовується в залізобетонних мостах, висуваються такі вимоги: висока міцність, водо- і газонепроникність, морозостійкість, хімічна стійкість, необхідні терміни тверднення, зручновкладальність, помірна усадка і повзучість.

В залізобетонних мостах застосовують бетон на портландцементі, сульфатостійкому портландцементі, глиноземистому цементі та ін. Портландцемент найбільш вживаний для відповідальних споруд.

Сульфатостійкий портландцемент і глиноземистий цемент застосовують в конструкціях, які можуть піддаватися дії морської, мінералізованої і болотної води чи іншим агресивним хімічним впливам, які шкідливо впливають на портландцемент. Якість цементу визначається його маркою або так званою активністю. Активність (марка) цементу – це межа міцності на стиск кубика з цементного розчину у віці 28 днів. В мостах, зазвичай, застосовують цемент з активністю від 30 до 60 МПа.

Бетон конструкцій мостів підбирають залежно від необхідних умов міцності, морозостійкості, а в деяких випадках водостійкості і водонепроникності конструкції. При цьому повинні враховуватися розміри, довговічність і значення споруди, а також умови її роботи.

Проектні марки бетону характеризуються міцністю при стиску (в кгс/см²) кубів розміром 15×15×15 см у віці 28 днів при збереженні їх в умовах, аналогічних умовам тверднення конструкцій. В мостах застосовують бетон М-200, М-250, М-300, М-350, М-400, М-450, М-500, М-550, М-600, М-700 і М-800. В попередньонапружених залізобетонних конструкціях застосовують бетони не нижче М-350–М-450, залежно від виду арматури, яка застосовується.

Міцність бетону в момент його стискання попередньонапруженою арматурою повинна бути не менша 30 МПа незалежно від марки бетону, прийнятої для конструкції.

Проектна марка бетону за морозостійкістю відповідає кількості циклів попереминого заморожування і відтавання, після яких його міцність на стиск знижується не більше, ніж на 10–15%. Для конструкцій залізобетонних мостів передбачені марки за морозостійкістю F100, F150, F200 і F300, а в особливо тяжких умовах F400 і F500. Проектна марка бетону за морозостійкістю призначається залежно від середньомісячної температури повітря найбільш холодного місяця в районі будівництва і зони розташування розглянутої частини конструкції: над водою, в зоні змінного рівня, під водою, в зоні вічної мерзлоти і т. д.

Конструкції мостів зводять з важкого, віброваного бетону із середньою питомою вагою 23,0 кН/м³ на заповнювачі з піску і щебеню чи гравію міцних природних порід. Звичайна середня питома вага залізобетону становить приблизно 24,5 кН/м³. Допускається за спеціальними нормами застосовувати легкий бетон із заповнювачем з керамзиту чи інших матеріалів; середня питома вага таких бетонів становить приблизно 18 кН/м³.

Поряд із звичайним важким бетоном в дослідних конструкціях допускається застосовувати легкий бетон із заповнювачем з керамзиту або інших матеріалів. Середня щільність таких бетонів становить приблизно 1800 кг/м³. Перспективний також бетон з полімерними добавками, які дозволяють значно підвищити водонепроникність і опір розтягу бетону. Викликає зацікавленість також фібробетон, міцність на розтяг якого в 2–3 рази вище, ніж звичайного бетону.

Для сучасних збірних і перенапружених несучих конструкцій мостів

застосовують бетон марки не нижче 300. Найбільш поширені марки 400 і 500. Бетон марки 200 знаходить застосування в монолітних балкових і аркових мостах в порівняно невеликих прогонах і в монолітних опорах. Для заповнення порожнин опор застосовують бетон марки 150.

Для елементів конструкцій, підданих дії агресивного середовища, використовують бетон зі спеціальними добавками на сульфатостійких портландцементях або приймають конструктивні та інші заходи для захисту бетону.

3.3 Армування для залізобетонних мостів

Марки сталі для армування залізобетонних мостів і труб, приймають за табл. 29 СНиП 3.06.04–91 залежно від умов роботи елементів конструкцій і середньої температури зовнішнього повітря найбільш холодної п'ятиденки в районі будівництва. Нормами передбачене застосування в залізобетонних мостах таких армувальних сталей: гарячекатаних гладких круглих стержнів класу А-I; гарячекатаних стержнів періодичного профілю класів А-II, А-III, А-IV, А-V; термічнозмцнених стержнів періодичного профілю класів АТ-IV, АТ-V, АТ-VI; високоміцного холоднотягнутого гладкого дроту класу В-II; високоміцного холоднотягнутого дроту періодичного профілю класу Вр-11; армувальних канатів з високоміцного дроту класу ДО-7 у вигляді семидротових пасмів; канатів спіральних, подвійної звивки.

Стержні класів від А-I до А-III застосовують у конструкціях як ненапружену армування. Стержні класів А-IV, А-V, АТ-IV, АТ-V, АТ-VI, високоміцний дріт, пасма і канати застосовують як напружену армування в напружених залізобетонних конструкціях.

Основною міцнісною характеристикою сталі є межа текучості. М'які гарячекатані сталі мають фізичну межу текучості, яка відповідає межі текучості. Тверді сталі межі текучості не мають. Для таких сталей за умовну межу текучості приймають напруження $\sigma_{0,2}$, при якому залишкова відносна деформація становить 0,2%. Для дротової армування за основну міцнісну характеристику приймають тимчасовий опір розривові.

Тангенс кута нахилу прямолінійної ділянки лінії до осі деформацій чисельно дорівнює модулю пружності армувальної сталі.

Як попередньо напружену армування в мостових конструкціях застосовують також різного виду канати.

Особливості й умови застосування різних класів і марок армувальних сталей встановлені нормативними документами на проектування бруківок конструкцій.

Як конструктивну армування в мостах допускається застосовувати армувальну сталь класів А-I і А-II. Для монтажних петель передбачається застосування стержнів з армувальної сталі класу А-I марки В Стзсп. 2 і класу А-II марки 10ГТ.

3.4 Матеріали для гідроізоляції бетону мостів

Гідроізоляція запобігає проникненню атмосферної вологи або ґрунтових вод до бетону прогонових будов або опор і захищає бетон від руйнування, а арматуру від корозії.

Гідроізоляційні матеріали, які застосовують в мостобудуванні, поділяються на обмашувальні та обклеювальні. Для обмашувальної гідроізоляції застосовують холодне фарбування і гарячі обмазки. Для холодних фарбувань використовують бітуми марок III і IV, розріджені лігроїном або гасом, а також дьогтеві лаки. Холодне фарбування є першим ґрунтувальним шаром, на який наносять гарячу обмазку шаром товщиною 2–3 мм. Матеріалами для гарячих обмазок слугують спеціальні мастики – суміші бітуму з дрібним азбестовим волокном.

Для обклеювальної гідроізоляції застосовують традиційні рулонні матеріали на основі бітуму і нові матеріали на основі синтетичної гуми.

Найпростішим рулонним матеріалом на основі бітуму є руберойд. Руберойд має невисокі ізоляційні якості і довговічність, тому що складається з паперової міцної основи. Значно кращі властивості має гідроізол. Його гідроізоляційною основою також є бітум, але він зміцнений азбестовим або асбесто-целюлозним картоном. Завдяки гарним гідроізоляційним якостям і довговічності він знайшов широке застосування в мостобудуванні. Застосовується також гідросклоізол, який має армовану основу зі склотканини. Її стійкість до лужного середовища викликає сумніви.

Кращі гідроізоляційні властивості і технологічні переваги має фольгоізол, який випускається на основі рифленої або гладкої алюмінієвої фольги товщиною до 0,3 мм. Як покривний шар для фольгоізолу застосовують бітумно-резинову мастику. За гідроізоляційними властивостями він кращий за інші матеріали, але значно дорожчий. Фольгоізол застосовують тільки в найбільш відповідальних спорудах: великих мостах і тунелях.

Основний спосіб ведення робіт з бітумними гідроізоляційними рулонними матеріалами – безмастикова проклейка з обов'язковою попередньою ґрунтовкою бетону. Для оплавлення бітумного покривного шару застосовують нагрівальні пальники на всю ширину матеріалу.

Температурні обмеження у використанні бітумних гідроізоляційних матеріалів викликали необхідність розроблення нових гідроізоляційних матеріалів. Для ізоляції автодорожніх мостів розроблений бутизол – еластичний морозостійкий резиноподібний матеріал на основі бутилкаучуку. Резиноподібні рулонні матеріали приклеюють до матеріалу, який ізолюється холодними мастиками або клеями.

Перспективні як ізолювальні шари синтетичні матеріали у вигляді аркушів з полівінілхлориду, поліпропілену і поліетилену.

3.5 Сфера застосування залізобетонних мостів

Залізобетонні мости – капітальні споруди, які мають при правильному проектуванні і якісному виконанні будівельних робіт велику стійкість до атмосферних впливів і не потребують періодичного фарбування, як сталеві мости. Витрати за вмістом залізобетонних мостів менші, ніж сталевих мостів. Особлива перевага залізобетонних мостів – значно менша витрата металу порівняно зі сталевими мостами.

Системи і конструкції залізобетонних мостів досить різноманітні. Основними є балкові, рамні, аркові, комбіновані системи, які мають, в свою чергу, багато різновидів. Так, наприклад, до балкових мостів відносять мости з простими, нерозрізними і консольними балками; рамні мости можуть бути рамно-нерозрізних, рамно-консольних, рамно-підвісних систем. Залізобетон застосовують в конструкціях наскрізних ферм, а також у висячих і вантових мостах.

За напруженим станом, який створюється при зведенні моста в його елементах, залізобетонні мости можна розділити на попередньо напружені і ненапружені. За способом зведення розрізняють монолітні залізобетонні конструкції мостів, бетоновані на місці, і збірні, які збираються з елементів, виготовлених на спеціальних заводах або полігонах. Застосовують також поєднання збірного і монолітного залізобетону.

Відповідно до задач індустріалізації будівництва застосовують, в основному, збірні конструкції залізобетонних прогонових будов.

За прийнятою для мостів класифікацією балкові залізобетонні мости бувають: за статистичною схемою – розрізні, нерозрізні, нерозрізні консольні; за розташуванням рівня проїзду – з проїздом зверху і знизу; за типом несучої конструкції – з плитами, ребристими, плитно-ребристими, коробчастими і наскрізними прогоновими будовами; за способом армування – з ненапруженою арматурою, з попередньо напруженою арматурою; за способом проведення робіт – з монолітного, збірно-монолітного і збірного залізобетону.

Розвиток конструкцій і способів будівництва залізобетонних і особливо попередньо напружених мостів дозволило перекидати значні прогони, причому в автодорожніх і міських мостах нарівні зі сталевими конструкціями, за винятком особливо великих прогонів (понад 400 м).

Для залізничних мостів великих прогонів в деяких випадках з успіхом застосовують розпірні аркові прогони будови. Однак місцеві умови, сприятливі для використання таких систем, зустрічаються порівняно рідко, тому в залізничних мостах великих прогонів застосовують переважно сталеві конструкції. Для мостів під залізницю з прогонами до 33 м і під автомобільну дорогу з прогонами до 42 м у колишньому СРСР створені типові конструкції залізобетонних балкових прогонових будов, які забезпечують їхнє індустріальне виготовлення й установлення на опори повністю або окремими секціями. За будівельною вартістю і терміном будівництва такі прогони будови не поступаються сталевим, але

потребують меншої витрати металу і менших витрат на експлуатацію. Тому в місцях із зазначеними прогонами сталеві прогонові будови застосовують рідко.

При великих прогонах, особливо в залізничних мостах і в мостах з проїздом знизу, сталеві конструкції виявляються іноді економічнішими залізобетонних і потребують менше часу для зведення. В цих випадках конструкцію вибирають на основі всебічного оцінювання основних показників за кожним варіантом: будівельної вартості, експлуатаційних витрат, термінів будівництва, трудомісткості робіт зі зведення моста. Враховують також витрату матеріалів, причому важливе значення має економія металу. Необхідно мати на увазі, що вартість і терміни зведення залізобетонних мостів будуть знижуватися в міру розвитку індустріальної бази для виготовлення залізобетонних мостових конструкцій, більш повної їх уніфікації, вдосконалення способів монтажу і заводського виготовлення конструкцій.

3.6 Основні системи залізобетонних мостів

В сучасному мостобудуванні залізобетонні мости набули широкого застосування при малих, середніх і навіть великих прогонах. В них застосовуються різноманітні конструктивні рішення і статичні схеми: балкові, рамні, аркові і комбіновані.

Прогонові будови малих прогонів (7,5–15 м у світлі) можуть бути зібрані: із таврових балок з каркасною арматурою та діафрагмами, або без діафрагм; з пустотілих струнобетонних блоків; з двотаврових струнобетонних блоків.

Найбільше поширення одержали балкові мости з використанням розрізних, нерозрізних і консольних систем. Балкові розрізні системи використовують для перекриття невеликих прогонів (6–42 м). Нерозрізні балкові мости застосовують при прогонах від 30–40 до 100–130 м. Нерозрізна система характеризується більшою твердістю і меншою деформованістю прогонової будови від тимчасових навантажень. Однак застосування нерозрізної системи можливе тільки при досить міцних ґрунтах в основі опор. Осідання опор в балкових нерозрізних прогонових будовах може викликати появу значних додаткових зусиль і слугувати причиною руйнування моста.

Найчастіше в мостах з малими і середніми судноплавними прогонами в світлі до 40 м застосовують розрізні збірні прогонові будови з попередньо напруженою арматурою. В мостах через великі ріки з судноплавними прогонами більше 40 м і розрізними прогоновими будовами з прогонами 15–40 м використовуються перекриття несуднохідних (заплавних) прогонів. В практиці бувають випадки застосування розрізних прогонових будов довжиною 50–70 м.

Для перекриття більш великих прогонів (більше 40 м) на даний час найчастіше застосовують рамно-балкові мости. Головна перевага полягає в

можливості зведення прогонових будов навісним складанням або начіпним бетонуванням. Разом з тим вони мають досить гарні показники витрати матеріалів порівняно з іншими можливими конструкціями.

Головний недолік рамно-балкових мостів – робота їх опор, крім стиску, на моменти закладення консолей ригелів, що викликало необхідність їх армування великою кількістю арматури, часто попередньо напруженої. Експлуатаційні незручності, які обумовлюються наявністю переломів в подовжному профілі проїжджої частини таких мостів, також потрібно віднести до їх істотних недоліків.

Найпростіші рамні системи мостів застосовують при прогонах 30–60 м. Через спільну роботу прогонових будов з опорами згинальні моменти в прогонових будовах зменшуються. Це дозволяє зменшити будівельну висоту прогонових будов. Досить широке поширення одержують рамні мости з похилими стояками.

В останні роки одержали поширення мости з Т-подібних рам: рамно-балкові і рамно-консольні. Рамно-балкові системи мостів виходять з рамних і підвісних прогонових будов, шарнірно обпертих на консолях рам. Прогони таких систем можуть бути в межах від 40 до 150 м. У ригелях Т-подібних рам виникають тільки негативні згинальні моменти, а в підвісних розрізних прогонових будовах – тільки позитивні. Опори цих рам від дії вертикальних навантажень передають на підставу вертикальну силу і згинальний момент.

У рамно-консольних системах Т-подібні рами шарнірно зв'язані між собою. Такі системи застосовують для прогонів 60–200 м. Опори мостів цієї системи передають на основу ще й горизонтальну силу. Консолях рам можуть бути монолітні, в цьому випадку виходить багатопрогонова рамна система з прогонами до 250 м.

В ряді великих споруд із прогонами 60–100–150 м застосовуються консольні попередньо напружені прогонові будови залізобетонних мостів, які зведені стрімким складанням або начіпним бетонуванням. Перевага таких прогонових будов порівняно з рамно-балковими мостами полягає в тому, що їх опори працюють від дії вертикальних навантажень тільки на стиск, що дає можливість виконувати їх з неармованого бетону.

При міцних ґрунтах в основі опор можливе застосування мостів аркових систем. Арками залізобетонних мостів перекриваються прогони від 50 до 390 м. Опори цих мостів сприймають значні горизонтальні складові реакції і потребують розвитку фундаментів. Самі арки працюють переважно на стиск, міцність залізобетону в них використовується досить ефективно. При досить сприятливих геологічних умовах можуть знайти застосування аркові розпірні залізобетонні мости. В даний час їх, як правило, роблять із збірної конструкції з тришарнірними або двошарнірними арками.

При перекритті прогонів 60, 80 і 100 м доцільною в сучасних умовах може бути конструкція у вигляді арки з твердим затягуванням з попередньо напруженою арматурою. Конструкція складена з монтажних

блоків масою не більше 10 т. Прогонові будови можуть бути зібрані на березі або на заплавах прогонах і потім насунуті в прогін. Можлива також доставка на плаву або збирання на риштуванні в прогоні. Важлива перевага конструкції аркових прогонових будов із твердим затягуванням — мала будівельна висота.

Також можливе застосування трипрогонових консольно-аркових мостів з верхнім затягуванням, запропонованих В. Д. Васильєвим. Система має в середині прогону поздовжньо-рухомий шарнір. Для сприйняття розпору використовується верхнє затягування, яке утворює елементи проїжджої частини, обтиснуті попередньо напруженою арматурою. Мости цієї системи потребують меншої витрати бетону і високоміцної арматури, ніж балково-консольні мости, близькі до них за схемою, але складніші за зведенням.

В останні роки знаходять своє застосування вантові системи. Вони є нерозрізними балками, підтримувані похилими вантами, закріплені на вершинах вертикальних пілонів опор. Ванти працюють тільки на розтяг, вони створюють пружні опори для балки твердості, що полегшує її роботу. Пілони працюють в основному на стиск. Прогони мостів такої системи на даний час становлять 50–400 м.

Сучасні залізобетонні мости зводять як монолітними, так і збірними. Монолітні мости будують різними способами з використанням інвентарної металевої опалубки. Збірні мости монтують з елементів, виготовлених на заводі або полігоні. Монолітні мости більш надійні, але темпи їхнього будівництва нижчі, ніж збірних. Їх доцільно використовувати при великих прогонах. Застосування збірних мостів дозволяє збільшити темпи будівництва, зменшити трудомісткість робіт на об'єкті.

Застосування збірних конструкцій дозволяє індустріалізувати їх виготовлення, прискорити темпи будівництва, звільнитися від влаштування риштування і опалубки та зменшити трудомісткість будівельних робіт.

В монолітних розрізних ребристих прогонових будовах (рис. 23, а) — відстань B між головними балками становить 2 м (рис. 23, б). Головні балки зв'язують між собою в поперечному напрямку поперечними балками (діафрагмами), зазвичай розташованих на відстанях $a=4-6$ м одна від одної (рис. 23, а). Іноді між головними балками роблять другорядні подовжні балки, які зменшують прогін плити, в цьому випадку відстань між головними балками може збільшуватися до 4–6 м.

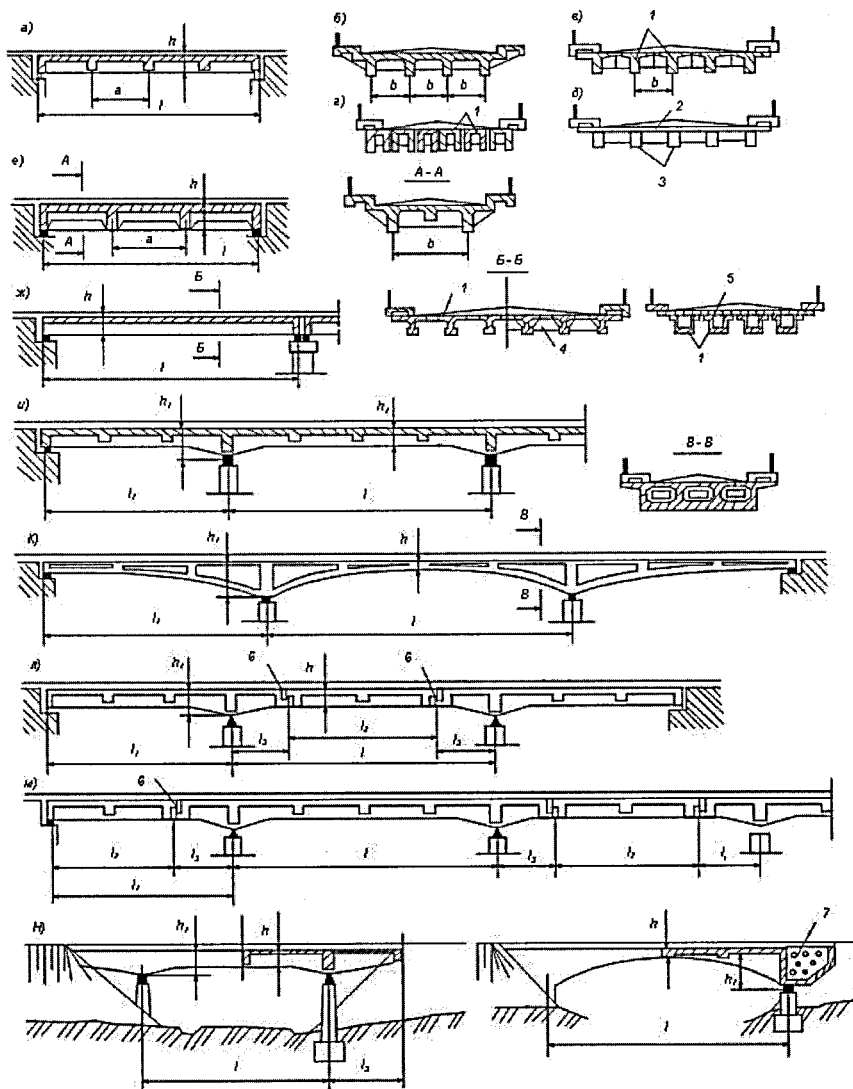


Рисунок 23 – Основні види балкових ребристих мостів

Конструкція збірних прогонових будов визначається утворювальними їх блоками, визначеними з урахуванням умов виготовлення, транспортування і монтажу. В автодорожніх мостах застосовують різні способи членування прогонових будов на блоки і різні перерізи цих блоків.

Досить поширені прогонові будови, складені з блоків (балок) таврового перерізу (рис. 23, в) з напівдіафрагмами. Блоки поєднують

стикуванням напівдіафрагм шляхом зварювання арматурних випусків металевих заставних частин. Пливу сусідніх блоків зазвичай не стикують, так що вона працює в поперечному напрямку як консоль. Прогонові будови можуть бути утворені з балок П-подібного перерізу (рис. 23, г). Шви між балками заповнюються бетонним розчином. Краще з'єднання таких блоків досягається зварюванням випусків поперечної арматури сталевих заставних частин, зроблених в блоках, або з високоміцними болтами. Знаходять застосування збірно-монолітні конструкції прогонових будов (рис. 23, д), в яких збірні блоки поєднують між собою бетонованою на місці плитою проїжджої частини і діафрагмами. Досить широке застосування одержали бездіафрагмові прогонові будови з таврових (рис. 23, ж) або двотаврових балок, стикованих між собою на плиті проїжджої частини. Тут діафрагми відсутні зовсім або їх влаштовують збірними і тільки на кінцях прогонової будови, в окремих випадках, зустрічаються прогонові будови з V-подібних балок, на які вкладають збірні плити проїжджої частини.

Сучасні транспортні і піднімальні засоби дозволяють застосовувати цільнопрогонові балкові блоки довжиною до 33 м. При великих прогонах маса кожної балки значно збільшується, тому транспортування їх ускладнюється. В цьому випадку балки виготовляють на приоб'єктній території чи полігонах, де застосовують конструкції з членованими за довжиною балками. Такі членовані балки збирають на місці будівництва з окремих блоків, транспортування яких не має труднощів.

3.7 Конструкція проїжджої частини

Під проїжджою частиною прогонових будов розуміють сукупність конструктивних елементів, які сприймають дію рухомих навантажень і передають їх на несучу частину прогонової будови. До складу проїжджої частини входять мостове полотно і несучі елементи.

Мостове полотно розташоване над несучими елементами проїжджої частини і призначене для забезпечення безпеки руху транспортних потоків і пішоходів, а також для відводу води. Мостове полотно залізобетонних мостів (як і інших) охоплює такі конструктивні елементи: покриття проїжджого полотна, покриття тротуарів, які огорожують пристрої, пристрій для водовідведення, деформаційні шви і з'єднання моста з підходами.

Мостове полотно залізобетонних мостів розташоване на плиті проїжджої частини, яка є несучим елементом проїжджої частини і разом з тим входить до складу основних несучих конструкцій прогонової будови, утворюючи разом з ними просторову систему.

Покриття проїжджого полотна влаштовують для виконання таких основних функцій: захист конструкцій, що знаходяться нижче, від механічного впливу; захист конструкцій, що знаходяться нижче, від впливу атмосферної вологи, слугує гідроізоляцією; збереження

призначеної геометричної форми і розмірів протягом усього терміну служби моста; мати достатню міцність і твердість для сприйняття всіх навантажень; бути максимально легким за масою; мати довговічність, відповідну іншим елементам моста, бути легко замінюваним під час ремонту; бути економічним; забезпечувати комфортність руху своєю гладкою поверхнею.

3.8 Утримання залізобетонних мостів

При ремонті кам'яних і бетонних аркових мостів в першу чергу потрібно вживати заходів з відведення поверхневих вод, щоб не допустити потрапляння води всередину кладки і нагромадження її там.

При поганому водовідведенні і незадовільній гідроізоляції необхідно розкрити і відремонтувати гідроізоляцію відповідно до діючих вимог, додаючи їй, за потреби, проектні нахили.

Якщо дренаж за задніми гранями підвалин погано працює, потрібно виконати його переукладання й очищення або влаштувати дренаж заново, розкривши земляне полотно в місцях з'єднання підходів з мостом.

Облицювання кладки може мати тріщини по швах і по цілому камені, вивітрювання швів, відділення і вивалювання лицевальних каменів. В цих випадках в порядку поточного ремонту потрібно замінювати окремі камені облицювання, розчищати кладку, розшивати шви.

Вивітрені і зруйновані шви кам'яної кладки необхідно очистити від слабого розчину, пилу і бруду на глибину до 5–6 см, промити струменем води і потім розшити заново цементним розчином, накладаючи шов ввігнутого профілю.

При сильному розвитку процесів вивітрювання при ремонті здійснюється суцільне нанесення на зовнішні грані захисного шару штукатурки.

При наявності глибоких тріщин і порожнин в кладці необхідно провести її цементацію.

При наявності тріщин в відкритках масивних підвалин кам'яних аркових мостів, якщо вони викликані наявністю в просторі між стінками осідаючих ґрунтів, осідаючий ґрунт замінюють неосідаючим.

Контрольні запитання

1. Коли з'явилися перші залізобетонні мости?
2. Які матеріали використовуються при будівництві залізобетонних мостів?
3. Які вимоги висуваються до бетону залізобетонних мостів?
4. Яка арматура використовується при будівництві залізобетонних мостів?
5. Які гідроізоляційні матеріали використовуються в залізобетонних мостах?
6. Назвіть основні системи залізобетонних мостів.
7. Які особливості монтажу залізобетонних мостів?
8. У чому полягають особливості утримання залізобетонних мостів?

4 ВАНТОВІ І ПІДВІСНІ МОСТИ

4.1 Основні елементи і сфери застосування вантових мостів

Вантовим називають міст (рис. 24), основними елементами якого є балка твердості 1, похилі ванти 2, один, два або кілька пілонів 3.

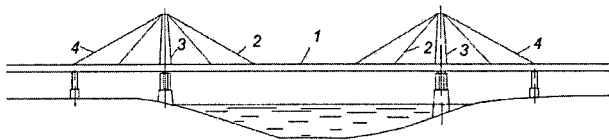


Рисунок 24 – Елементи вантового моста: 1 – балка твердості; 2 – ванта; 3 – пілон; 4 – крайня ванта

Похилі ванти кріпляться до пілонів і підтримують балку твердості, будучи для неї пружними опорами. Особливу роль відіграють крайні ванти 4, які з'єднують верх пілона з балкою твердості над опорами. Вони перешкоджають горизонтальним переміщенням верху пілона при дії тимчасових навантажень і забезпечують системі твердість у вертикальній площині. Ванти працюють тільки на розтяг, пілони – в основному на стиск, балка твердості – в основному на згин. Балка твердості працює також на стиск від горизонтальних складових зусиль у вантах. При кріпленні її до вант у багатьох місцях вона працює ніби на пружній основі, в ній не виникають значні згинальні моменти, тому вона може мати невелику висоту. Балка твердості може опиратися і на пілони, в цьому випадку в зоні опирання виникають значні негативні моменти. Щоб їх уникнути, останнім часом стали відмовлятися від опирання на пілони, передаючи вагу балки твердості і тимчасового навантаження винятково на верх пілонів через ванти.

Ванти можуть бути гнучкими і твердими. Гнучкі ванти виконують зі сталевих канатів або пучків рівнобіжних дротів. Тверді ванти містять у собі гнучкі, закріплені в бетонні або сталеві оболонки, порожнечі в яких заповнюють цементним розчином.

Балку твердості і пілони в залізобетонних мостах виконують із залізобетону. Залізобетонні вантові мости стали застосовувати недавно. Перший з них був побудований у Венесуелі через оз. Маракайбо в 1962 р., другий – в СРСР через гавань р. Дніпро в Києві в 1963 р. На сьогоднішній день у світі існує не більше 30 вантових залізобетонних мостів, але вони мають значні перспективи розвитку. Вони дозволяють перекидати прогони до 350–500 м. Їх, зазвичай, зводять на перетині глибоких рік,

морських заток або проток, в гирлі рік, де зведення опор складне і тому дороге.

Вантовим мостам властиві привабливі архітектурні форми, тому їх часто будують у містах. На даний час у залізобетонних вантових мостах рекордний прогін 440 м досягнутий в мосту, побудованому в 1983 р. в Іспанії (міст Барріос де Луна).

Схеми вантових мостів розрізняють залежно від кількості пілонів, системи і кількості площин вант.

Залізобетонні вантові мости по фасаді можуть мати один, два і більше пілони. При одному пілоні (рис. 25, а) ванти розташовані несиметрично, до балки твердості в основному прогоні вони кріпляться під різними кутами, в тому числі малими. Це потребує неоднотипних конструктивних рішень вузлів кріплення, що нетехнологічно, а наявність малих кутів прикріплення призводить до виникнення у вантах великих зусиль і зниження твердості прогонової будови. Проте однопілонна схема є прийнятною в міських умовах за архітектурними поняттями, тому що може вписатися в ансамбль місцевості та споруд міста на ріках. У великому прогоні однопілонного моста можуть бути встановлені звичайні опори, при цьому найближчу до вант (рис. 25, а) розміщують на відстані

$$a_1 = (1 \div 2) a,$$

де a – відстань між точками кріплення двох найбільш віддалених від пілона вант.

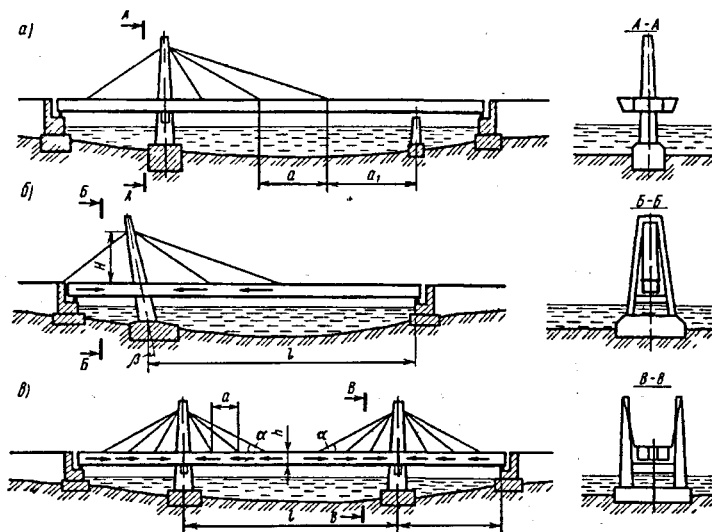


Рисунок 25 – Вантові мости з одним і двома пілонами

Пілон вантового моста може бути нахилений до вертикалі (рис. 25, б) під кутом $\alpha=10-20^\circ$. Крім архітектурного ефекту, це дозволяє передати на пілон частину горизонтального зусилля від вант основного прогону. В однопілонних мостах ванти можуть кріпитися до підвалин. В цьому випадку балка твердості опирається в одну з підвалин, передаючи на неї горизонтальне зусилля (рис. 25, б).

Вантові мости з двома (рис. 25, в) і більше пілонами працюють як системи зі сприйнятим у балці твердості розпором. В них на пілони від вант передаються тільки вертикальні зусилля. Це зумовлюється тим, що ванти в цих мостах розташовані симетрично щодо пілонів. Кути нахилу вант в них приймають не менше 30° , щоб в них не виникали значні зусилля і деформації. Балка твердості в цих мостах може підтримуватися у великій кількості точок, що сприятливо для її роботи.

В довгих мостах при можливості установки пілонів застосовуються багатопілонні системи, які мають переваги двопілонних систем.

У вантових мостах застосовують різноманітні системи розташування вант. Найбільш широко застосовують дві системи вант: «пучок» і «арфа». В системі «пучок» (рис. 26, а) ванти сходяться у верхній частині пілона в одній горизонтальній площині. При великій їх кількості це ускладнює вузол кріплення до пілона. В цій системі ванти мають різні кути кріплення до балки твердості, середні ванти більш нахилені до неї, що сприяє зменшенню зусиль, які в них виникають. При наявності в цій системі крайніх опорних вант в пілонах не виникають згинальні моменти, вони працюють тільки на стиск.

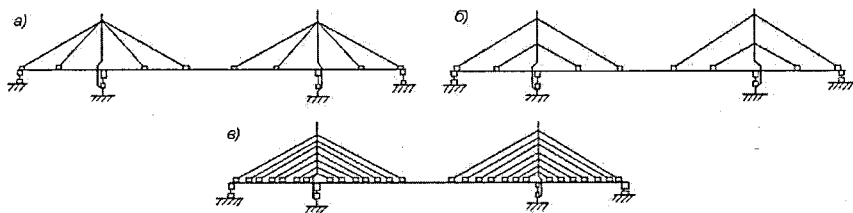


Рисунок 26 – Схеми розташування вант у мостах: а – «пучок»; б, в – «арфа»

В системі «арфа» (рис. 26, б, в) ванти кріпляться до пілона в декількох рівнях і мають однаковий нахил до балки твердості. Вузли кріплення вант до балки твердості і до пілона в ній однотипні.

При великій кількості вант (рис. 26, в) ця система дозволяє уніфікувати вузли кріплення вант до балки твердості і до пілона, уніфікувати елементи балки твердості й ефективно використовувати можливості їхнього індустриального виготовлення і будівництва. Однак при однобічному навантаженні основного прогону пілон інтенсивно працює на згин від горизонтальних складових зусиль у вантах.

До недоліків багатовантових систем належать також труднощі регулювання зусиль в них. В поперечному перерізі прогонової будови ванти розташовують в одній або в двох площинах. В широких мостах можлива і більша кількість цих площин. Відстані a між точками кріплення вант до балки твердості в одній їх площині змінюються в широких межах від 5–10 до 50–60 м. Залежно від цього змінюється висота h балки твердості. Її приймають, зазвичай, постійною за всю довжиною і рівною $(1/15 - 1/20)a$.

Кількість площин вант і кількість вант в одній площині впливають на архітектурні переваги моста, на роботу і конструкцію балки твердості та пілонів. Найбільш широко застосовують дві площини вант (рис. 27, а, б, в). Це дозволяє розосередити і зменшити зусилля в балці твердості та у вантах, забезпечити сприятливі умови роботи балки твердості при несиметричному її навантаженні щодо подовжньої осі. При двох площинах вант балка твердості може мати невелику твердість на кручення і бути виконаною з плитних або ребристих елементів.

Разом з тим мають перспективу застосування і мости з одною площиною вант, розташованою в зоні розділової смуги (рис. 27, г, д, е). Вони мають ряд економічних і архітектурних переваг: дозволяють зменшити ширину опор поперек моста, зосередити матеріал конструкції в невеликій кількості елементів, не утворюють хаотичних перетинів, не заважають огляду місцевості з мосту. Однак балка твердості при одній площині вант працює не тільки на згин, але й на кручення при несиметричному її навантаженні і повинна мати значну твердість при крученні.

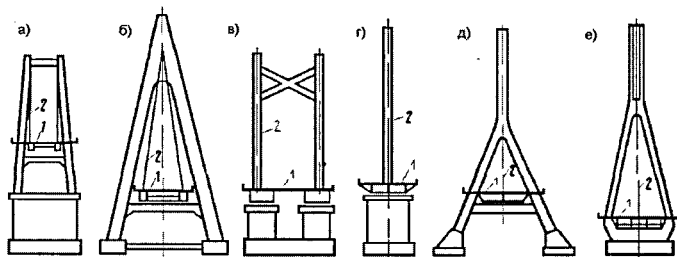


Рисунок 27 – Площини розташування вант і відповідні форми пілонів:
а, б, в – двоплощинний вант; г, д, е – одноплощинні ванти; 1 – балка
твердості; 2 – площина розташування вант

При розташуванні вант в одній площині використовують одностоякові (рис. 27, а) або А-подібні (рис. 27, б) пілони. Одностоякові пілон і ванти в цьому випадку розміщують в межах ширини розділової смуги між проїжджими частинами двох напрямків руху. Одностоякові пілони потребують менше матеріалу і простіші у виготовленні, але вузол їхнього перерізу з балкою твердості складний: пілон необхідно пропустити через

балку твердості зі збереженням її несучої здатності в зоні ослаблення.

Пілони А-подібної форми (рис. 27, д, е) складніші у виготовленні, але забезпечують вільний пропуск балки твердості через проріз, мають більшу твердість в поперечному напрямку. При розташуванні вант в двох площинах (рис. 27, а, б, в) проїжджа частина розташовується між ними, а тротуари виносяться на консолі за площини вант. Використовують при цьому А-подібні та П-подібні пілони.

При використанні А-подібних пілонів ванти розташовують в двох похилих площинах, а при П-подібних – в двох вертикальних площинах. Пілон П-подібної форми виконують у вигляді рами з двома стояками, з'єднаними зверху розпіркою. Розпірка сприймає стискальне зусилля, яке виникає при похилих стояках.

Висоту пілонів вантових мостів приймають з умови забезпечення необхідних кутів нахилу вант до балки твердості, зазвичай висота пілона становить 0,2–0,35 центрального прогону. Більшість вантових мостів мають три прогони: центральний і два бокових. Бокові прогони зазвичай становлять 0,5–0,8 центрального прогону.

4.2 Конструкції елементів вантових мостів

Конструкція балок твердості в основному залежить від ширини проїжджої частини, кількості площин вант, відстані між точками закріплення вант і незначно від величини основного прогону. При збільшенні кількості вант в одній площині відкривається можливість влаштування балок твердості навіть з найпростіших уніфікованих елементів, які застосовуються в найпростіших балкових мостах. При двох площинах вант залежно від ширини проїжджої частини і кількості вант в одній площині балки твердості можуть бути плитними, ребристими і коробчастими.

Плитні балки твердості можуть бути виконані з уніфікованих пустотних плитних блоків, якщо відстань між точками кріплення вант не перевищує 15–18 м, а ширина проїжджої частини не більше 8 м. Блоки в плиті твердості поєднуються в поперечному напрямку шпонковими стиками, а в поздовжньому – монолітними поперечними балками. Поперечні балки сприймають також згинальний момент, який діє в поперечному напрямку; їх використовують і для прикріплення плити твердості до вант. Із зростанням головного прогону майже лінійно зростає нормальна сила, яка стискає балку твердості. Для її сприйняття доводиться влаштовувати балку твердості з більшою висотою.

При відстанях між точками кріплення вант 15–30 м балку твердості можна формувати з уніфікованих двотаврових балок, поєднуючи їх в місцях кріплення вант потужними поперечними монолітними балками – діафрагмами, здатними сприймати згинальний момент в поперечному напрямку, сприймати зусилля від вант в похилій площині і передавати їх на подовжні балки, які становлять балку твердості.

При тих же відстанях між точками кріплення вант, знайшли своє застосування балки твердості, складені з двох широко розставлених П-подібних балок, по яких укладають поперечні балки проїжджої частини. Крайні балки, які розташовуються в площинах вант, мають потужні поперечні діафрагми, до яких кріпляться ванти. Така конструкція балки твердості була вперше застосована у вантовому мості через гавань р. Дніпро в Києві. При ширині проїжджої частини більше 12 м доцільне застосування балок твердості коробчастого перерізу, які мають значну твердість при крученні.

При одноплосинній системі вант тільки коробчаста форма перерізу балки твердості може надійно чинити опір згину і крученню. Коробчасті балки мають велику твердість при згині і крученні, однаково добре пристосовані до сприйняття як позитивних, так і негативних моментів, мають гарні аеродинамічні параметри, мають привабливий вигляд, зручні при транспортуванні і монтажі.

Ванти формують з одного або декількох канатів: кручених або рівнобіжних дротів. Перевага надається канатам з рівнобіжних дротів, які мають більший модуль пружності.

Канати у ванті розташовують щільно, поєднуючи їх між собою. В місці прикріплення вант до балки твердості або до пілона кожен канат ванта закріплюється окремо за допомогою анкерів, конструкції яких аналогічні анкерам для попередньо напружених арматурних пучків.

Канат шестигранного перерізу був утворений з 91 дроту діаметром 5 мм. При формуванні канатів зазори між дротами заповнювалися полімерним матеріалом, який протягом 3 місяців зберігав здатність до в'язко пластичного деформування. Канат обмотували спочатку стрічкою з іскрозахисного матеріалу, а потім стрічкою з нержавіючої сталі товщиною 0,5 мм. Після закінчення монтажу канати пофарбували полімерною фарбою з алюмінієвою пудрою. Для цих канатів були розроблені оригінальні анкери, основними елементами яких є склянка з конічною внутрішньою порожниною, упорний диск з конічними отворами, втулка з м'якого металу.

Попередньо розведені і розплющені кінці дроту кріпляться в диску. Внутрішня порожнина заповнюється сумішшю холодного тверднення на основі епоксидної смоли. Підвищенню витривалості дротів в місцях перегину дротів сприяє втулка з м'якого металу. Сталева трубка використовується для гідроізоляції пучка у вході в анкер. Обв'язувальна спіраль і захисна стрічка з нержавіючої сталі входять у трубку, а зазор між трубкою і стрічкою заповнюється тіколовим ущільненням.

Пілоні вантових мостів мають значну висоту, щоб забезпечити оптимальні кути нахилу вант до балки твердості. Для забезпечення необхідної їх твердості в елементах пілонів використовують коробчастий переріз. Конструкції деяких пілонів будуть наведені нижче при розгляді найбільш відомих вантових залізобетонних мостів.

4.3 Конструкції мостів-лідерів вантової системи

В усьому світі їх побудовано не більше 30, але на даний час спостерігається тенденція їх більш широкого застосування.

Перший залізобетонний вантовий міст був побудований за проектом італійського професора Р. Моранді в 1962 р. через оз. Маракайбо у Венесуелі. Міст має 135 прогонів за схемою: $22,6+46,6 \times 2+65,8+85 \times 15+160+235 \times 5+160+85 \times 11+65,8+46,6 \times 77+36,6 \times 20$ м. Він розрахований на чотири смуги руху автомобілів при ширині смуг по 3,6 м і має два тротуари по 0,9 м.

Розмір центральних прогонів визначається необхідністю проходження нафтових танкерів, для яких потрібні були підмостові габарити 200×45 м. Інші прогони визначилися профілем перешкоди, зменшенням висоти моста до берегів і прагненням до типізації конструктивних елементів. В мосту застосовані прогонові будови трьох систем: балкова в естакадній частині для прогонів 22,6; 36,6 і 46,6 м; рамно-підвісна зі звичайним ригелем для прогонів 85 м; рамно-вантова для прогонів 235 м. Прогони 160 м вийшли як перехідні від 85 до 235 м з їх консольних елементів.

В основних прогонових будовах довжиною по 235 м ригель посилений вантами і має довжину 189 м. В поперечному перерізі він є трисекційною коробкою; товщина її верхньої плити перемінна (17–27 см); товщина нижньої плити 20 см; товщина вертикальних стінок змінюється від 25 см на консолях до 60 см над опорою; висота перерізу 500 см. Кінці консолей підвішані до пілонів чотирма вантами, закріпленими в кінцевих поперечних балках. Ванти виконані твердими, кожен з них охоплює 16 канатів, омонолічених бетоном. На посилені вантами ригелі опирається підвісна прогонова будова довжиною 45,95 м, складена з чотирьох таврових балок висотою від 2,53 в середині прогону до 1,8 м на опорах. Такі ж прогонові будови прийняті в естакадній частині моста.

Опири центральних прогонів моста є залізобетонними конструкціями, що складаються з двох незалежних частин: пілона і Х-подібної опори. Пілон виконаний у вигляді просторової чотиристоякової рами висотою 92 м над рівнем озера, а Х-подібна опора складена з чотирьох пар пересічних похилих стояків. Фундамент опор виконаний у вигляді залізобетонного високого пальового ростверка, в якому застосовані бурові палі діаметром 1,35 м. Голови паль об'єднані залізобетонною подушкою товщиною 5 м.

Міст Моранді ще не має рис, властивих сучасним вантовим мостам: балка твердості в ньому за довжиною має шарніри, застосована мінімальна кількість вант. Проте вона знайшла застосування в ряді мостів: віадуки Полчевера в Італії (1967р.), віадуки Ваді-Ель-Куф у Лівії (1972 р.), міст Корієнтес в Аргентині через р. Парану (1973 р.).

Другий залізобетонний вантовий міст був побудований у 1963 р. через гавань р. Дніпро в Києві за проектом інж. В. І. Кириєнка. Він має 11 прогонів за схемою: $21 \times 3+63+143+634-21 \times 3+17 \times 2$ м і розрахований на

пропуск двох колон автомобілів; ширина його проїжджої частини 7 м, тротуарів – по 1,5 м. В поперечному перерізі основних прогонів розташовані дві нерозрізні головні балки висотою 1,5 м і шириною 1,26 м. На головних балках влаштована проїжджа частина з балок таврового перерізу шириною 1,5 м, покладених поперек моста на виступи головних балок. Головні балки підвишені до пілонів вантами: в середній частині основного прогону відстань між кріпленнями 17 м, в іншій частині – 21 м. Площини вант збігаються з осями головних балок. Зусилля від вант передаються на стінки головних балок через короткі і тверді діафрагми, які розміщені всередині головних балок і працюють в основному на зріз.

Ванти виконані у вигляді пучків сталевих канатів діаметром 63–67 мм. Всі ванти обгинають пілон, опираючись на загальну сталеву опорну частину. Закріплення вант на пілоні здійснено накладками з болтами. Пілони П-подібної форми виконані з монолітного залізобетону. Балка твердості за допомогою рухливих опорних частин опирається на пілони й опори естакадної частини моста.

Конструктивне рішення вантового моста через гавань р. Дніпро привернуло увагу багатьох інженерів, у тому числі і закордоном. Воно було використано при подальшому розвитку вантових мостів.

У 1973 р. в Голландії через р. Ваал був побудований міст загальною довжиною 1419 м, в тому числі власне вантовий міст довжиною 612 м за схемою: 77,5+95+267+95+77,5 м. Проїжджа частина розрахована на пропуск чотирьох смуг автомобільного транспорту і має дві смуги по 3,5 м для велосипедних доріжок і пішоходів. Щоб уникнути появи значних температурних зусиль і переміщень, в головному прогоні п'ятипрогонової залізобетонної балки твердості були введені два шарніри. Вони перетворили нерозрізну балку твердості в двоконсольну систему з підвісною прогоновою будовою довжиною 65 м. Консольно-нерозрізні ділянки балки твердості підтримуються в двох площинах вантами на відстанях 50,5 і 101 м від осі пілонів. Ці ділянки сформовані з двох великих залізобетонних коробок, з'єднаних плитою проїжджої частини і потужних похилих діафрагм у місцях кріплення вант. Площини розташування вант зміщені щодо осі коробок, що забезпечило необхідний габарит проїжджої частини, але призвело до зростання крутних моментів. Потужні поперечні діафрагми були використані для запобігання закручування балок.

Висота коробок консольно-нерозрізних ділянок балки твердості була прийнята постійною по їх довжині і рівною 3,5 м. Консольно-нерозрізні ділянки балок твердості опираються нерухомо на пілони, а інші опори опираються на рухливі опорні частини.

Підвісна прогонова будова довжиною 65 м виконана з легкого бетону, складається з чотирьох таврових балок, об'єднаних по плиті подовжніми монолітними монтажними стиками. Ванти виконані з канатів, укладених в попередньо напружену оболонку з бетону. Застосування твердих вант забезпечує кращий корозійний захист канатів і збільшує в 4–5 разів

твердість вант порівняно з такими ж вантами, але без обойми. Значне підвищення твердості вант забезпечило зменшення згинальних моментів в балці твердості і підвищило твердість головного прогону, ослабленого шарнірами. До балки твердості ванти кріпляться в похилих діафрагмах, в яких канати вант розведені і закріплені анкерами. На голові пілона ванти не перериваються, вони лише закріплені до її сталевій конструкції.

Пілони мають два стояки прямокутного коробчастого перерізу. Вгорі стояки з'єднані між собою хрестоподібною розпіркою і закінчуються сталевими коробками, в яких закріплені ванти.

Найвідомішим прикладом є залізобетонний вантовий міст Бреттон через р. Сену, побудований у 1977 р., який має прогін 320 м при висоті судноплавного габариту 50 м. В ньому реалізована ідея одноплосинних багатовантових мостів із залізобетонною коробчастою балкою твердості. Для підтримки балки твердості використовувалася рівнобіжна система вант («арфа») із гранично малою відстанню між вузлами кріплення до балки твердості, рівною 5 м. Розосередження канатів в цій багатовантовій системі не збільшило витрату канатів і поліпшило умови роботи балки твердості: зменшило згинальні моменти в ній і зусилля в місцях кріплення вант до неї. Це спростило конструкцію вузла кріплення, а також полегшило умови для навісного монтажу. Міст розрахований на чотири смуги руху і має два тротуари по 1,5 м. Балка твердості прийнята коробчастого перерізу з оригінальним кріпленням до неї вант. Замість раніше застосовуваних важких суцільних поперечних балок-діафрагм застосовані наскрізні конструкції – розподільні ферми. Можливість застосування цього рішення обумовлена невеликими зусиллями в кожній з 42 вант, що лежать в одній площині. Рівнобіжне розташування вант дозволило цілком уніфікувати анкерування кабелю в балці твердості. При цьому подовжня складова зусилля у ванті передається на балку твердості через верхню плиту, а вертикальна – на похилі стінки через розтягнуті поперечнонапружені залізобетонні розкоси під кутом 45° до вертикалі.

Пілони моста зведені з залізобетону. Кожен пілон є одиночним стояком. З кожної сторони до пілона підходить по 21 ванту в одній вертикальній площині. Висота пілона над проїжджою частиною становить 75,5 м. Пілон проходить крізь балку твердості.

В поперечному напрямку ширина перерізу пілона постійна і дорівнює 2,60 м; в подовжньому, в якому в пілоні виникають значні згинальні моменти, висота перерізу зменшується знизу до гори з 4,80 до 2,84 м. В середині пілона передбачені порожнини для проходу обслуговувального персоналу. Він армований стержнями арматури з межею текучості 400 МПа, діаметром до 56 мм і прокатними двотаврами. Пілон опирається на оболонку, яка має діаметр 10,5 м. Фундамент під неї, зведений в опускному колодязі, має знизу бетонну подушку діаметром 12,46 м.

Заслугує на особливу увагу також залізобетонний вантовий міст через р. Колумбія між містами Паско і Кенневік в США, 1978 р. Головний судноплавний прогін має довжину 299 м при висоті балки твердості

214 см. Схема моста: $38+124+299+124+3\times 45+38$ м, довжина моста 763 м, ширина між поручнями 24,4 м, в тому числі проїжджої частини 18,3 м. Балка твердості сформована з двох трикутних коробок 1, з'єднаних плитою 2 проїжджої частини і поперечної діафрагми 3, розміщеними через 2,7 м. Діафрагми армовані попередньо напруженою арматурою. Балки твердості розділені на збірні блоки масою 270 т довжиною 8,2 м. Кожен такий блок підтримується двома вантами, розташованими в двох площинах. Ванти виготовлені з рівнобіжних дротів діаметром 6 мм, кількість дротів у ванті змінюється від 83 до 283. Ванти доставляли з заводу в поліетиленових оболонках, внутрішній діаметр яких був трохи більше діаметра пучка. Порожнечі заповнювали інертним газом, а після установки і натягу вант заповнювалися цементним розчином під тиском 6–8 МПа. Верхні кінці вант кріпилися нерухомо до сталевго оголовка пілона, нижні – до потовщень плити проїжджої частини, де і забезпечувалося регулювання зусиль у вантах.

Балка не опирається на пілон, вона тільки підвішена на вантах. Пілон опирається на масивну опору, яка має бетонний фундамент розмірами $12,2\times 45,1$ м і тіло у вигляді пустотілої залізобетонної шухляди з розмірами в плані $9,1\times 42,3$ м. В масивну опору забиті залізобетонні стояки-пілони. Осі їх вертикальні; площини розташування вант злегка нахилені, щоб забезпечити розміщення балки твердості між стояками. По фасаді стояки коробчастого перерізу мають ширину від 3,35 внизу до 2,4 м вгорі; в поперечному розрізі ширина зменшується від 4,57 до 3,05 м. У верхній частині переріз стояків суцільний, вони тут з'єднані розпіркою. З кожної сторони до кожного стояка пілона підходять по 18 вант. Вони закріплені на вершині пілона в сталевих зварених коробках за допомогою спеціальних анкерів.

Ванти складаються з одного каната закритого типу діаметром 71 мм. Вузол кріплення вант до плити твердості однотипний, він використовується при будь-яких кутах нахилу вант. Для перекриття прогонів більше 300–400 м основними системами мостів стають вантові і висячі.

Вантові і висячі мости часто поєднують в одну групу мостових систем, ґрунтуючись на тому, що в обох системах істотну роль відіграють елементи з дротових канатів. Однак, якщо розглянути ці системи з погляду виділення основної несучої конструкції, їх можна розділити на три системи, кожна з яких має серйозні відмінні риси: вантові мости з балкою твердості, яка підтримується вантами (рис. 28, а); вантові ферми (рис. 28, б) і висячі мости (рис. 28, в). У вантових прогонових будовах з балкою твердості, яка підтримується прямолінійними вантами, основою системи є балка твердості, а ванти слугують ніби додатковими пружними опорами для неї.

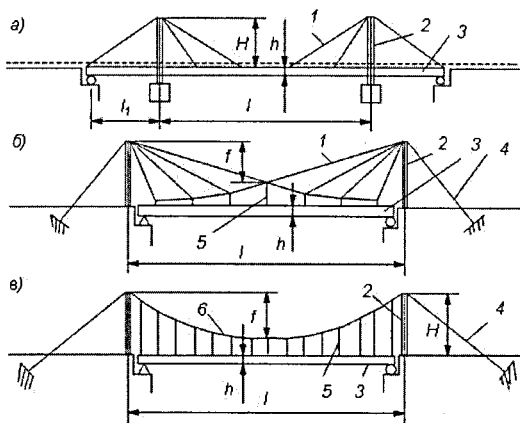


Рисунок 28 – Основні види вантових і висячих мостів: 1 – ванти; 2 – пілон; 3 – балка твердості; 4 – відтягнення; 5 – підвіски; 6 – головний кабель

В прогонових будовах з вантовими фермами (рис. 28, б) складеними тільки з розтягнутих прямолінійних елементів, головною несучою конструкцією слугує вантова ферма, яка підтримує балку твердості за всією довжиною прогону через підвіски. У висячих мостах із криволінійним головним кабелем (рис. 28, в) все навантаження передається на головний кабель, що і є основою системи. Такий розподіл умовний, оскільки в усіх трьох системах в сучасних мостах і балках твердості розтягнуті елементи, виконані з канатів, що працюють спільно, впливають на зусилля у вантах або головному кабелі. В усіх вантових і висячих мостах елементи з дровових канатів (ванти або кабель) закріплюються в ґрунті або на балці твердості, переходять через пілони і підтримують балку твердості в головному прогоні безпосередньо або через підвіски. Вантові мости з балкою твердості, яка підтримується прямолінійними вантами, останнім часом широко застосовуються для прогонів від 150–200 м до 400–500 м. Вважається, що в перспективі вантові мости з балками твердості виявляться раціональними для прогонів навіть до 1000–1500 м. Мости з вантовими фермами застосовують набагато рідше через їх відносну конструктивну складність. Зазвичай вантовими фермами перекривали прогони 100–200 м, стріла ферми f в існуючих мостах становить $1/6$ – $1/8$ прогону, а висота балок твердості – $1/25$ – $1/35$.

Для найбільших прогонів від 350–400 до 1500–2000 м використовують висячі мости з головним несучим кабелем. Найбільший прогін 1410 м на даний час має міст через затоку Хамбер в Англії.

Вантові мости з нерозрізною балкою твердості можуть мати симетричну (рис. 29, а) і несиметричну (рис. 29, б) схему. За розташуванням вантів можна розділити вантові мости на радіально-вантові (рис. 29, а, г), коли всі ванти сходяться на вершині пілона, віялоподібні

(рис. 29, д), коли ванти від пілона йдуть симетрично в обидва боки, переходячи через пілон на відносно невеликій ділянці висоти, і з рівнобіжними вантами (рис. 29, в). Радіально-вантова система має більш складну конструкцію опирання вантів на пілон через їх велику концентрацію на його вершині. За кількістю вантів можна розділити вантові мости на мости з декількома вантами (рис. 29, а, б, в), коли ванти підтримують балку твердості в окремих точках в головному прогоні, і багатовантову систему (рис. 29, г), де на більшій частині прогону балка твердості підтримується дуже часто розташованими вантами.

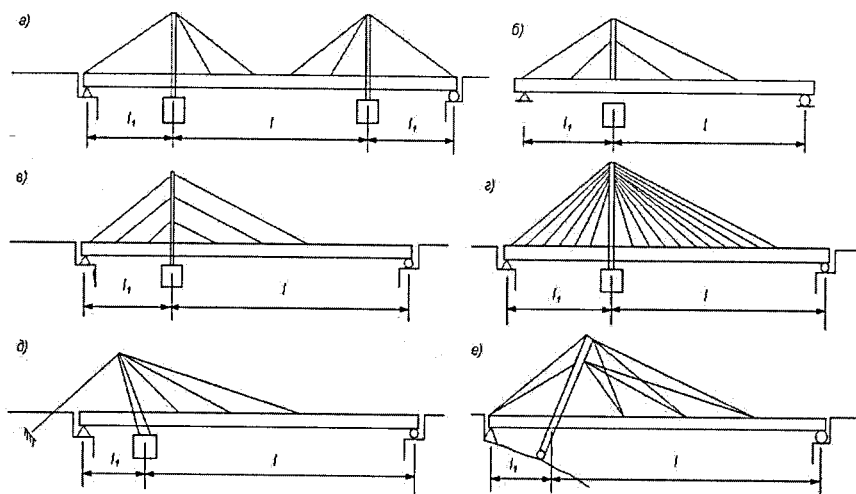


Рисунок 29 – Схеми мостів з балкою твердості, які підтримуються вантами

Також можна виділити вантові мости з вертикальним пілоном (рис. 29, а, б, в, г) і з похилим пілоном (рис. 29, д, е). В останньому випадку пілон може бути нахилений як вбік берегового прогону (рис. 29, д), коли розвантажуються відтягнення і її закріплення в ґрунті, так і вбік головного прогону (рис. 29, е). В цьому випадку трохи зменшується головний прогін, забезпечується менша довжина і краща робота вантів. Похилі пілони застосовують рідко, в основному виходячи з місцевих умов.

Вантові мости мають балку твердості постійної висоти, яка полегшує її виготовлення, а наявність вантів дозволяє легко організувати начіпний монтаж. При прогонах від 120–150 м вантові мости мають зазвичай меншу витрату сталі, ніж балкові сталеві або сталезалізобетонні. Балка твердості вантових мостів найчастіше виконується суцільностінчастою, але можливе застосування балкових ферм у вигляді балок твердості вантових мостів. Висячі мости можуть бути розділені на мости з ланцюгом і з кабелем зі сталевих дротів. Прикладом ланцюгового висячого моста може слугувати Кримський міст в Москві.

Більшість сучасних висячих мостів має нерозрізну балку твердості. При цьому розпір може бути переданий на ґрунт – зовні розпірна система, або на балку твердості – зовні безрозпірна система. Мости з цілком сприятливим розпором потребують великих витрат металу на балку твердості і тому застосовуються рідше.

Пілони висячих мостів і загальне компонування поперечного перерізу моста мають кілька характерних схем. Використовують в поперечному вигляді моста одностоякові пілони. В цьому випадку ванти або підвіски висячого моста підтримують балку твердості в середній площині. Розподіл зусиль поперек моста здійснюється через потужні поперечні балки, до яких і кріплять ванти або підвіски. Частіше застосовують П-подібні пілони. При такій конструкції пілонів зазвичай влаштовують дві площини вантів або два кабелі у висячих мостах, а ванти або підвіски кріплять до подовжніх балок твердості, на які опирається конструкція проїжджої частини.

Контрольні запитання

1. Назвіть основні елементи вантового моста.
2. В яких випадках застосовуються вантові мости?
3. З яких конструктивних елементів складаються вантові мости?
4. Назвіть найвідоміші вантові мости.

5 МЕТАЛЕВІ МОСТИ

5.1 Загальні відомості

Металеві конструкції мостів виготовляють на спеціалізованих заводах за робочими кресленнями (ДО, МД) заводського конструкторського бюро, складених на основі технічного проекту і за обліком прийнятої на заводі технології.

Для розрізання балок, великих кутиків і дрібних профілів пачками застосовують дискові пилки. Особливо широке розповсюдження одержало кисневе різання металу завдяки своїм перевагам: можливості різання металу будь-якого профілю, великої товщини і при будь-якому обрисі розрізу, виконання операцій з утворення фасок і крайок під зварювання, а також можливості механізувати та автоматизувати сам процес різання. Автоматизоване різання здійснюється газорізальними машинами із прямолінійними і криволінійними різачками. Інші машини можуть виконувати ці процеси по копіях-кресленнях. Ряд машин може одночасно обробляти крайки під Х- і У-подібні шви.

Для поліпшення якості поверхні прямолінійного розрізу і механічних властивостей металу товщиною до 40 мм розроблений спосіб різання, так званий змив-процес. В особливих різачках два допоміжних струмені кисню змивають з крайок розрізу борозенки і напливи, які залишилися після різання.

Отвори для з'єднувальних заклепок утворюють продавлюванням (при товщині сталі до 20 мм) на отворопробивному пресі або свердлінням спочатку на неповний діаметр, а після складання на повний проектний діаметр. Продавлювання отворів простіше свердління, але через вплив напруг сколювання навколо отвору утворюються волосяні тріщини і метал, який продавлюється, втрачає необхідні механічні властивості. Цей метал видаляють наступним розсвердлюванням отворів після складання на повний діаметр.

Операції з виготовлення елементів конструкції залежать від виду з'єднання їх деталей (листів, кутиків) – заклепками, болтами або зварюванням, а для елементів із заклепувальними і болтовими з'єднаннями – від способу їхнього складання.

Складання елементів виконують за проектними розмірами на стелажах за задалегідь пробитих або просвердлених на менший діаметр отворах. Потім у 25–30% отворів встановлюють болти діаметром 16 мм і в 10% – конічні оправлення. В міру розсвердлювання отворів на проектний діаметр болти діаметром 16 мм замінюють на болти діаметром 22 мм, а конічні оправлення на пробки.

При бездірковому складанні елементи формуються з деталей в кондукторах, які забезпечують габаритні розміри і щільне примикання

деталей. В зібраних в такий спосіб елементах просвердлюють кілька отворів повного діаметра, які заповнюють монтажними болтами (для щільного стягування), пробками (для з'єднання отворів). Потім елемент виймають з кондуктора і направляють для свердління інших отворів під з'єднувальні заклепки. Розташування цих отворів визначають розміткою на верхніх деталях лінійним шаблоном або ділильним пристроєм.

При клепанні елементів з'єднувальні заклепки на заводах ставлять клепальними дужками за допомогою пневмомолотків, механічних і пневматичних підтримок. Зусилля натискання на обтиск в скобі досягає 500 кН, що дозволяє нагрівати заклепки в печах лише до темно-червоного розжарювання (650–700 °С). Постановку заклепок, недоступних машинній клепаці на скобі, виконують ручними пневматичними клепальними молотками, при цьому заклепки нагрівають до ясно-червоного розжарювання 1000–1100 °С.

Останнім часом для монтажних з'єднань все частіше застосовують високоміцні болти, а для заводських з'єднань елементів сталевих конструкцій автоматичне зварювання під шаром флюсу.

Форма обробки країв зварювальних деталей залежить від їх товщини. Краї, які з'єднуються автоматичним зварюванням листів товщиною до 16 мм не обробляють. При більшій товщині в краях знімають кути для утворення Х- і У-подібного шва. Особливу увагу звертають на припасування країв із зазором 1–2 мм. Поверхню металу в зоні 40–50 мм від шва очищають наждачним колом.

Основний спосіб зварювання мостових конструкцій – електричне дугове зварювання. При цьому застосовують автоматичне і напівавтоматичне зварювання під шаром флюсу, а також зварювання суцільним і порошковим дротом в захисному середовищі вуглекислого газу і ручне електродугове зварювання електродами. Найбільш прогресивне автоматичне зварювання металевим електродом під шаром флюсу товщиною 45–50 мм. В цьому випадку електрод подається і переміщається вздовж шва автоматично, забезпечуючи сталість довжини дуги. Флюс (порошок) захищає розплавлений метал шва від окислювання киснем повітря і вводить леговані добавки, які підвищують його механічні властивості. Крім того, флюс захищає зварювальника від світлового впливу полум'я дуги. Автоматичне зварювання виробляється зварювальним трактором, наприклад ТС-17М.

Перед застосуванням флюс і електроди прожарюють. Режим закалки вказують в документах на зварювальні матеріали. Наприклад, для зварювання сталей класу міцності до 40 флюс і електроди прожарюють протягом 2–3 год при температурі 200–250 °С.

Для зменшення усадочних напруг при зварюванні товстих листів зварювальний шов накладають декількома шарами при низькій силі струму. Низьколеговані сталі зварюють на режимах більш високих, ніж вуглекисневу М16С, тобто при великих напругах і силі струму, меншій швидкості руху трактора (для зменшення швидкості охолодження металу і

ступеня його загартування). Зі зміною режиму змінюють і товщину валика шва.

Для складання елементів Н-подібного перерізу використовують кондуктори, аналогічні застосовуваним для складання клепаних елементів. Для складання і зварювання двотаврових балок довжиною до 34 м і висотою до 3,8 м застосовують спеціальні кондуктори-кантувальники, які забезпечують зручність складання, повороту і кантування конструкції в положенні, необхідному для якісного накладання поясних швів.

Разом з відправленими на будівництво конструкціями з заводу надходять виконавчі креслення, маркірувальна відомість, монтажна схема та акт прийняття конструкцій заводською технічною інспекцією. Схема маркування елементів повинна відповідати прийнятій в проекті. На кінцях кожного елемента з зовнішнього боку на відстані 1 м від торця білилом наносять марку.

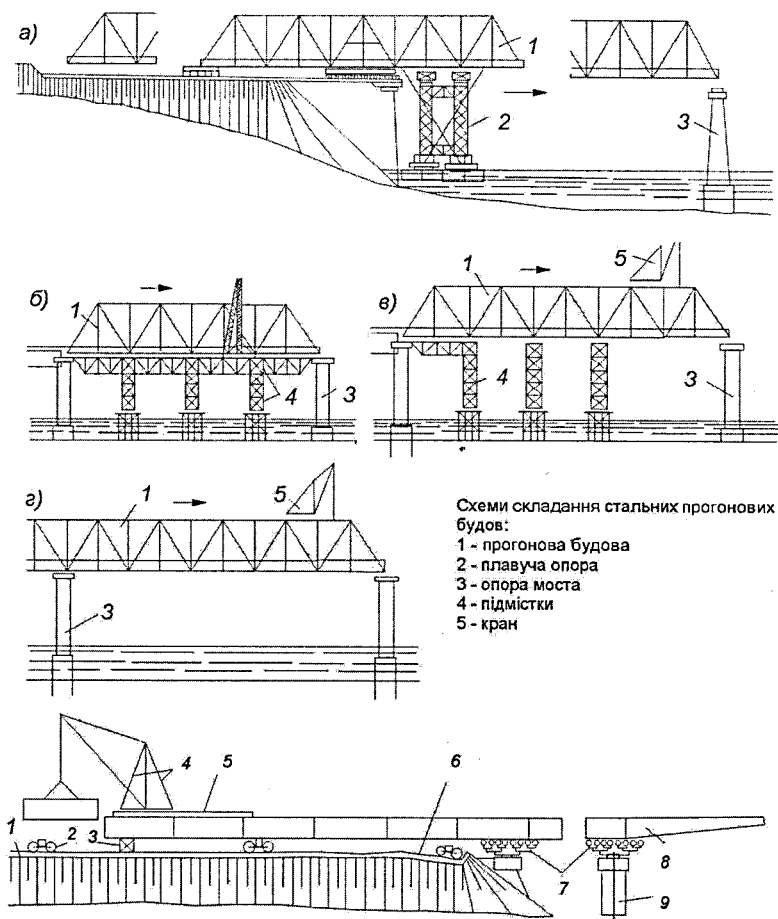
Метал ґрунтують після прийняття конструкції відділом технічного контролю (ВТК). Поверхню елемента попередньо очищають від прокатної окалини, жирних плям, бруду і вологи за допомогою механічних сталевих щіток і полум'ям газового пальника. Щілини між нещільно підігнаними деталями шпаклюють замазкою з крейди і ґрунтувальної суміші. Ґрунтують, зазвичай, залізним суриком на оліфі за допомогою фарбопультів. У важкодоступних місцях застосовують щітки. Не ґрунтують: дотичні площини монтажних з'єднань; частини конструкції, які підлягають бетонуванню; місця монтажного зварювання на ширину до 100 мм в кожну сторону від шва.

На даний час на заводах металевих конструкцій почали застосовувати очищення дрібнонакидальним методом. При надходженні на завод листового і прокатного металу його пропускають через струмін дробу. Цілковито очищену поверхню покривають ґрунтом, який консервує метал. Для покриття, яке консервують, використовують протекторні ґрунти на основі епоксидних смол (ЭП-057, ЭП-057А, ЭП-060) або ж металеві покриття (наприклад, алюмінієві), які наносяться методом металізації. Така технологія сприяє одержанню якісного і довговічного фарбування конструкції.

5.2 Монтаж металевих прогонових будов

Металеві прогонові будови можна складати безпосередньо в прогонах або поблизу моста з наступним переміщенням і встановленням на опори.

В прогоні монтують суцільними (рис. 30, б, в) напівначпінними і начпінними способами (рис. 30, г), встановленням з плавучих засобів (рис. 30, а), а також подовжнім насувом (рис. 30).



Схеми складання сталевих прогонових будов:
 1 - прогонова будова
 2 - плавуча опора
 3 - опора моста
 4 - підмістки
 5 - кран

Схеми монтажу поздовжнім насуванням:
 1 - насувний шлях; 2 - пересувний візок; 3 - шпальна клітка; 4 - монтажний кран;
 5 - підкрановий шлях; 6 - вловлювальний тупик для візків; 7 - каретки; 8 - аванбек; 9 - опора моста

Рисунок 30 – Схеми складання металевих прогонів

При складанні на заклепках отвори для них спочатку з'єднують за допомогою конічних оправлень, виготовлених з м'якої сталі, щоб уникнути ушкодження металу елементів. Потім для фіксації отвору, а також для сприйняття монтажних зусиль ставлять циліндричні пробки зі сталі марки Ст.5. Крім пробок стики стягають монтажними болтами так, щоб шуп товщиною 0,3 мм не входив між елементами пакета. Кількість пробок і болтів в стикі обумовлюється проектом. Отвори перед клепаанням ретельно оглядають, прочищають, а за необхідності розсвердлюють. Очищення здійснюють чотириканальними розгорненнями (райберами),

розсвердлюють свердлами за допомогою пневматичних або електричних свердлильних машинок.

Перед клепаанням заклепки нагрівають в переносному горні з пневматичним дугтям до ясно-жовтого розжарювання (1000–1100 °С).

Спочатку клепають отвори, вільні від пробок і болтів, потім зайняті пробками та, в останню чергу, отвори, зайняті болтами. Клепаання виконують пневматичними клепальними молотками із застосуванням пневматичних, гвинтових і, в окремих випадках, ручних підтримок.

З'єднання металевих монтажних елементів високоміцними болтами принципово відрізняється від заклепувальних тим, що діючі в елементі зусилля передаються по стику винятково силами тертя, які виникають на дотичних площинах, за рахунок стягувальних зусиль у високоміцних болтах. Вимоги до таких стиків підвищені. Болти, гайки і шайби виготовляють з хромової сталі шляхом штампування з механічною і термічною обробкою. Контактну поверхню очищають переважно дробопіскоструминною або піскоструминною обробкою (коефіцієнт тертя – 0,55). Можлива і газополуменева обробка металу (коефіцієнт тертя – 0,45). Зазвичай для очищення застосовують чистий кварцовий пісок, який просушують гарячим повітрям в обертовому барабані із ситом на кінці для відділення частинок крупніше 2,5 мм. Тиск в піскоструминному апараті повинен бути в межах 0,3 – 0,6 МПа.

Необхідний натяг болтів досягається шляхом додавання до гайок болта з крутним моментом.

При проведенні робіт з монтажу конструкцій металевих прогонових будов необхідно виконувати вимоги техніки безпеки.

5.3 Утримання металевих мостів

Поточний ремонт металевих конструкцій, відповідно до номенклатури робіт, передбачає заміну слабких або ушкоджених заклепок, усунення тріщин в металі, виправлення місцевих деформацій елементів, посилення або заміну окремих ушкоджених елементів, відновлення захисного покриття.

Заміні підлягають слабкі заклепки з неоформленими або перепаленими головками. Замість заклепок потрібно використовувати високоміцні болти. Нові заклепки застосовуються тільки у виняткових випадках.

В кріпленні допускається одночасно замінити не більше 10% загальної кількості заклепок, а за наявності в кріпленні 10 заклепок і менше – тільки по одній. Слабкі заклепки видаляються газовим різанням головок (не допускаючи нагрівання основного металу) або свердлінням заклепок. Після видалення головки стержень вибивають з отвору молотком або, якщо це неможливо, висвердлюють. Категорично забороняється при цих роботах випалювати стержень газовим різанням або застосовувати електрозварювання.

Отвір під заклепку очищається від іржі, бруду та олії, у випадку овальності або чорності розсвердлюється до наступного більшого діаметра. Звичайні заклепки з напівкруглою головкою повинні відповідати ДСТУ 10299–80, а з потайною ГОСТ 10300–80.

Розсвердлювання отвору дозволяється не робити, якщо в ньому є почорніння, овальності або косина, не перешкоджаючи влаштуванню болтів без ушкодження різьблення і щільному опираюню шайби всією поверхнею.

Перед влаштуванням високоміцних болтів (не раніше, ніж за 12 годин) поверхня елементів в межах площі опираюня шайб, а також самі шайби, болти і гайки очищають від бруду, іржі, старої фарби, масляних плям і окалини, видаляють також задирки навколо отвору і на різьбленні. Попередньо гайки повинні бути прокручені по всьому різьбленню болтів вручну. Перед затягуванням різьблення гайок повинне бути змазане мінеральною олією, при цьому різьблення болтів не змазують.

Діаметр високоміцних болтів приймають залежно від діаметра замісних заклепок: заклепки діаметром 19 мм, 21 мм, 23 мм і 26 мм заміняють відповідно болтами діаметром 18 мм, 22 мм і 24 мм. Повну довжину болта призначають залежно від товщини пакета, який стягується. В усіх випадках після затягування болта гайка повинна бути цілком нагвинчена на болт, при цьому стержень болта повинен виступати над гайкою на 2–3 витки.

Натяг високоміцних болтів до розрахункових величин зусиль виконують динамометричними ключами або пневматичними гайковертами. Затягують болти в два прийоми: спочатку затягують болт накидним ключем і остаточно – ключем з манометром.

Тріщини, розташовані на краях елементів, вирубують зубилом з наступним зачищенням поверхні або знімають частину краю з тріщиною наждаковим колом. Довгі тріщини засвердлюють на кінцях свердлами діаметром 12 і 16 мм на всю товщину елемента, після свердління стінки отворів фарбують.

Тріщини в зварених швах вирубують або знімають частину шва з тріщиною наждаком.

При наявності в елементах викривлень, вм'ятин та інших пошкоджень, попередньо оцінюється розташування дефекту і його вплив на вантажопідйомність споруди. Елементи, в яких можуть бути допустимими невеликі залишкові деформації і деяке зниження несучої здатності, потрібно виправити холодним або гарячим виправленням. Деформації основних елементів, що сприймають значні зусилля, виправляються тільки при капітальному ремонті відповідно до проекту.

Дрібні погнутості виправляють струбцинами або спеціальними захватками. Для виправлення значних викривлень і вм'ятин потрібно використовувати домкрати з балками.

Погнуті елементи зв'язків і з'єднувальні планки складених стержнів для виправлення по черзі знімають, заміняючи їх тимчасовими, які

встановлюють на чорних болтах. Ці роботи потрібно виконувати при обмеженому русі, тобто в період часу з найменшою інтенсивністю руху з обмеженням швидкості і маси транспортних засобів, які рухаються по споруді. Гаряче виправлення потрібно проводити з нагріванням металу до температури не вище 850 °С.

При ушкодженні звареного елемента питання його посилення повинно бути вирішене спільно з фахівцями зі зварювання. Якщо посилення за допомогою зварювання неприпустиме, то елемент підсилюють із застосуванням накладок або цілковитою його заміною.

Для ремонту сталевих елементів потрібно застосовувати сталі, які використовуються при будівництві мостів.

В прогонових будовах, виконаних з вуглецевої сталі, для ремонту елементів потрібно використовувати вуглецеві сталі марок 18 ГСП, 18 СП, 18 ГПС за ГОСТ 23570–79, ВСТ 3 СП, ВСТЗГ ПС за ТУ 11-1-3023-80.

Прогонові будови, виконані з низьколегованих сталей, ремонтують із застосуванням сталей марок 15ХСНД або 10ХСНД за ГОСТ 6713–91. Дозволяється також використовувати низьколеговану сталь марки М-Г2ЛФД. При відсутності низьколегованих сталей допускається використовувати сталі вуглецеві з відповідним збільшенням перерізу елемента.

Для посилення, залежно від конструктивних особливостей елемента, застосовують плоскі й кутикові односторонні і двосторонні накладки. Ушкодження в стінках суцільних балок складного перерізу перекривають двосторонніми листовими накладками на всю висоту видимої стінки. Кількість рядів заклепок, які прикріплюють накладки, визначається розрахунком з умови рівномірності стінки і з'єднання.

Ушкодження в полицях поясних кутиків перекриваються кутиковими накладками, переріз яких приймається рівним або більшим за переріз поясних кутиків. Для забезпечення щільного прилягання металу до обушка накладки необхідно зняти.

Тріщини в складених стержнях перекривають односторонніми або двосторонніми накладками, площа перерізу яких повинна бути не менша площі елемента, який перекривається.

При неможливості ремонту елементів шляхом постановки накладок роблять часткову або повну заміну елемента. При частковій заміні вирізається дефектна ділянка і замінюється новою, яка може прикріплюватися до існуючих стиків стиковими накладками. Прикріплення змінної ділянки розраховується з умови рівномірності стику й елемента.

Площа перерізу елемента, який встановлюється, або його ділянки повинна бути не менша за існуючу.

Влаштування накладок здійснюється при обмеженому русі по споруді. Якщо потрібне розклепування стиків і прикріплень великої кількості з'єднувальних заклепок, рух по споруді повинен бути повністю припинений.

При свердлінні отворів для заклепок або болтів у деталях посилення, відстані між ними приймаються: мінімальна між центрами отворів у будь-якому напрямку – $2,5d$; максимальна в крайніх рядах при відсутності оточувальних кутиків, при розтязі і стиску – $8d$ або $12t$; максимальна в середніх рядах, а також у крайніх рядах при наявності оточувальних кутиків, при розтязі – $16d$ або $24t$; те ж при стиску – $12d$ або $18t$; мінімальне вздовж зусилля від центру отвору до краю елемента – $2d$; те ж поперек зусилля – $1,5d$; максимальне від центру отвору до краю елемента – $4d$ або $8t$, де d – діаметр отвору, t – товщина найбільш тонкого елемента.

Контрольні запитання

1. Назвіть основні елементи металевих мостів.
2. Назвіть особливості монтажу металевих мостів.
3. Які основні принципи утримання металевих мостів?

6 ЕСТАКАДИ

6.1 Основні відомості та класифікація міських естакад

Естакадою називають споруду, яка слугує для безперешкодного пропуску транспорту та пішоходів, прокладання комунікацій тощо над поверхнею землі. Вона складається з ряду опор та горизонтальних або похилих прогонів. Естакадою інколи називають і шляхопровід із значною кількістю прогонів. Але шляхопровід зводять тільки на перехресті міських магістралей, а галузь використання та призначення естакад набагато більша. Естакади зводять в місцях високої концентрації транспортних та пішохідних потоків в умовах давно сформованої забудови міських територій.

За своїм призначенням міські естакади потрібно розділяти на: естакади призначені для збільшення пропускної здатності вулиць та доріг; естакади призначені для прокладання швидкісних магістралей над міською забудовою, незалежно від функціонуваної мережі вулиць та доріг; естакади призначені для пропуску по вулиці рейкового транспорту (наземні лінії метрополітену, швидкісний трамвай, залізничний та монорельсовий транспорт); естакади на підходах до мостів; естакади призначені для розв'язки руху в різних рівнях; естакади призначені для під'їзду транспорту до місць значного накопичення людей (вокзали, аеропорти, готелі, стадіони, ринки, тощо); естакади призначені для збільшення ширини набережних та організації руху вздовж водоймищ; естакади, які розташовуються на косогорах, складному рельєфі та в інших складних умовах замість насипів та підпірних стінок.

За розташуванням у плані естакади поділяються на: прямолінійні, криволінійні, розгалужені, кільцеві, спіральні.

За кількістю рівнів руху естакади можуть бути одноярусні та багатоярусні. Кожному з цих типів притаманні свої планувальні рішення та конструктивні особливості. Альтернативою використання естакадного рішення можуть бути тунельні варіанти. Доцільність влаштування естакад визначається комплексом переваг, які вони мають, порівняно з тунелем.

До цих переваг належать: більш низька будівельна вартість; менша вартість експлуатаційних робіт; відсутність в більшості випадків необхідності в перепрокладанні інженерних комунікацій (це інколи буває основною причиною будівництва естакади, а не тунелю); більш низька вартість експлуатації.

До основних недоліків використання естакадного рішення потрібно віднести: затемнення нижніх поверхів будинків біля естакад; збільшення шумності та погіршення обміну повітря на прилеглих територіях; неможливість у деяких випадках пов'язати архітектуру естакади з прилеглою забудовою, особливо в центральній частині міста.

Естакади для збільшення пропускної здатності вулиць у більшості випадків зводяться в зв'язку з реконструкцією міської території або конкретної ділянки вулично-дорожньої мережі, коли проїжджа частина діючої магістралі не забезпечує пропуск по ній транспортного потоку з необхідною швидкістю та умовами безпеки руху.

Естакади такого типу в більшості випадків влаштовують вздовж міських магістралей. Це, як правило, єдина можливість збільшення пропускної здатності магістралі без знесення будівель. Такі естакади можуть бути з одним або кількома рівнями руху. У ряді випадків таке рішення виправдане несприятливими ґрунтовими умовами чи вимогами охорони навколишнього середовища. Естакада вздовж міської вулиці повторює її напрямку.

Вартість будівництва естакад в усіх випадках більша, ніж влаштування насипів. Для часткового відшкодування витрат на будівництво естакадного підходу до мосту підестакадний простір може бути використаний для розміщення автостоянок, закритих гаражів або складів. В цьому випадку відстань між підлогою гаража та частинами прогонів, які виступають, повинна бути не менше 2,20 м. При більшій висоті підходів до мостів можливе будівництво дво- або триповерхових гаражів. Етажність при цьому може змінюватися по довжині естакади. На ділянках, де естакада по висоті становить менше 2,20–2,50 м, замість естакади влаштовують насип в підпірних стінках. При використанні підестакадного простору для влаштування автостоянок і гаражів вздовж естакади влаштовують проїзди.

Естакади для розв'язки руху в різних рівнях широко використовують при будівництві багаторівневих розв'язок, коли в складних транспортно-планувальних умовах необхідно забезпечити високу швидкість поворотних потоків. В результаті створюються багатоярусні, різнохарактерної форми в плані і під різні напрями руху естакадні споруди. Такі розв'язки зустрічаються як в містах зі складною ВДМ та інтенсивним рухом у всіх напрямках, так і на перехрестях швидкісних магістралей з магістральними вулицями та дорогами.

Цікавим прикладом використання естакад даного типу є естакадна розв'язка на підході до Південного мосту в Києві. Широко використовують такі споруди в м. Лос-Анджелесі та інших містах світу.

Естакади використовуються в обмежених умовах забудови, коли використання інших типів перехресть пов'язане з необхідністю знесення забудови. В цьому випадку розв'язку руху здійснюють за типом дуже «сплющеного люцернового листа», що забезпечує мінімальну площу перерізу. Однак при цьому варіанті швидкість руху ліво- і правоповоротних потоків незначна, оскільки радіуси горизонтальних кривих мінімальні.

За дуже складних територіальних можливостей використовується рішення, коли за допомогою естакади в межах перехрестя в різних рівнях розв'язуються прямі і правоповоротні потоки. Лівоповоротний рух в цьому

випадку переноситься на найближчі перетини чи виконується за рахунок віднесених кільцевих поворотів. Останній варіант рішення дозволяє зменшити перепробіги лівоповоротного руху і, як наслідок, зменшити транспортні витрати.

Віднесені кільцеві повороти влаштовуються на магістралях, які проходять по естакаді. Для забезпечення зміни смуги руху в потоці відстані від кінця естакади до віднесеного кільця повинні бути не менше 50–70 м. Підестакадний простір цих естакад може бути використаний для автомобільних стоянок. Прикладом такого планувального рішення може бути розв'язка біля метро «Шулявська» в Києві.

Естакади для під'їзду до великих об'єктів тяжіння відвідувачів на легковому автотранспорті займають особливе місце серед міських дорожньо-транспортних споруд. До цих об'єктів належать центри притягання поїздок на індивідуальному легковому автомобілі, такі як залізничні, річкові та морські вокзали, аеропорти, великі готелі. Періодичне накопичення автомобілів виникає біля стадіонів та інших споруд культурно-масового призначення.

6.2 Вимоги до проектування міських естакад

До основних вимог належать:

- планувальні рішення, кількість ярусів, радіуси поворотів та довжина підходів повинні бути узгоджені з архітектурою прилеглої забудови, а також враховувати вартість міської території, необхідної для будівництва естакади;

- планувальні рішення перехресть магістралей з використанням естакадних споруд повинні визначатись напрямом та інтенсивністю транспортних потоків, які перетинаються, а також способом їх з'єднання із забезпеченням швидкості та безпеки руху;

- вимоги щодо безпеки руху на естакадах повинні бути більш жорсткими, ніж на магістралі на рівні землі, в зв'язку з можливостями здійснення більш тяжких наслідків аварій. На межах проїжджої частини повинна бути влаштована надійна жорстка огорожа для захисту від ударів чи наїзду автомобілів на тротуар;

- загальний силует естакади, і особливо її опори, повинні бути легкими, м'якими та гармоніювати з навколишньою забудовою. Оздоблення поверхонь опор та прогонів повинні виконуватись особливо якісно і мати привабливий зовнішній вигляд;

- естакади повинні відповідати вимогам охорони навколишнього середовища (задовольняти норми відносно шуму та загазованості найближчих до естакади будинків та на прилеглої території). Освітлення естакади не повинно перешкоджати жителям прилеглої до естакади забудови;

- відведення поверхневого стоку необхідно під'єднувати до міської дощової мережі, не допускаючи природного водоскиду;

- довжина прогонів міської естакади, збудованої на перетині магістралей, визначається шириною магістралі, яка перетинається, в межах зони перетину. На решті довжини цих естакад та для естакад інших типів довжина прогонів визначається за умовами архітектурних вимог і найменшої вартості всієї споруди;

- будівельна висота прогонів естакад повинна бути мінімально можливою для конкретних умов з врахуванням забезпечення габариту руху транспорту, який проходить під естакадою, та умовами видимості.

Ширина естакад (шляхопроводів) залежить від інтенсивності руху на них. Ширина однієї смуги руху становить 3,75 м, а її пропускна здатність при однорядному легковому русі може досягати до 1500 транспортних одиниць за годину. Якщо відома сумарна величина транспортного потоку на естакаді, то визначається розрахункова кількість смуг руху.

Як правило, пішохідний рух на естакадах не допускається, і тоді влаштовується службовий тротуар завширшки не менше 0,75–1,0 м (0,75 м – ширина пішохідної смуги, а 0,25 м – захисна смуга).

Величина радіусів горизонтальних кривих на криволінійних ділянках естакад в плані не може прийматися меншою, ніж допускається для магістралі залежно від її категорії.

Залежно від місцевих умов, загальний габарит та ширина прогонів визначаються по-різному.

Ширину естакади понад 30–40 м приймати недоцільно, як з архітектурних, так і з конструктивно-експлуатаційних міркувань (обмеження поперечних температурних деформацій). Такі естакади доцільно розбити на два самостійні проектні рішення завширшки 15–20 м, які можна розмістити на відстані 3–10 м одне від одного. При цьому буде забезпечена зручність зведення естакади та можливість її поетапного будівництва. Кожну естакаду в цьому випадку виділяють для руху в одному напрямі.

Сполучення з'їздів з основними естакадами можна здійснити за рахунок ширини захисних смуг проїжджої частини не менших 0,75 м. Поздовжній нахил в'їздів на естакади не повинен перевищувати допустимого для даної категорії магістралі. В містобудівельній практиці є приклади будівництва в'їзних пандусів з уклонами 60–70%. Мінімальна підестакадна висота в місці переходу руху з прогонів на конструкції, виконаних у вигляді насипів (в підпірних стінках) повинна бути не меншою 2,2 м, щоб забезпечити вільний прохід пішоходів.

6.3 Основні конструктивні вимоги до міських естакад

Для забезпечення найбільш повного використання нижнього рівня магістралі для місцевого руху необхідно прагнути до найбільшої компактності опор. Це найповніше досягається при одностовпчастих опорах чи зближенні двостовпчастих.

Оптимальна відстань, з економічних міркувань, між опорами естакад становить 6–8 м. Однак в реальних міських умовах величина прогонів зазвичай приймається 20–30 м. Це дозволяє перекидати магістраль, яка перетинається, і стає вигідним для виробників конструкцій прогонів.

Складним завданням є поєднання силуету естакади з міською забудовою. Для цього важливо конструктивно і зорозво зменшити будівельну висоту конструкцій прогонів. Перила влаштовують з рідко розташованими стояками і поздовжніми елементами з сталі чи алюмінію. Крайні балки прогону влаштовуються з тротуарними консолями, щоб тінь від них ніби зменшувала висоту балок. Часто влаштовують плитні чи коробчасті прогони з малою висотою балок і т. д.

Транспортні естакади, як правило, влаштовують із залізобетону, оскільки цей матеріал в міських умовах найбільш відповідає архітектурним, санітарно-гігієнічним (знижується шум) та експлуатаційним вимогам.

Прогони та опори естакад за формою повинні гармоніювати. При плавному округлому силуеті прогонів бажано, щоб вигляд опор був аналогічним. Інколи опори, за своїм силуетом, можуть бути продовженням прогону. Кутасті, різкі форми прогонів допускають використання таких же кутастих опор. Це стосується форм розгалужених естакад. Прогони можна розгалужувати плавно, округлюючи всі гострі кути, чи навпаки, підкреслюючи різкість відгалужень.

Ритм опор довгих естакад бажано урізноманітнювати. Цього можна досягти зміною величини прогонів, деякою зміною форми самих опор чи їх кількості в поперечному напрямі. Інколи використовують шахове розташування стояків опор.

6.4 Конструкції естакад і шляхопроводів

Найбільше поширення одержали естакади і шляхопроводи балкової системи. Їх влаштовують з розрізними (рис. 31, а), нерозрізними (рис. 31, б) і, рідше, консольними (рис. 31, в) прогоновими будовами.

Прогін в шляхопроводах визначається шириною вулиці або дороги і становить зазвичай не більше 40–50 м. В шляхопроводах, розташованих над залізничними коліями, прогони досягають 60 м і навіть більше. Висоту прогонових будов в таких шляхопроводах, як правило, приймають постійною.

Способи виготовлення прогонових будов залізобетонних естакад і шляхопроводів не відрізняються від тих, які застосовуються в автодорожніх мостах. Прогонові будови можуть бути монолітними або збірними.

Застосування монолітного залізобетону найбільш доцільно для прогонових будов з великою кривизною або косиною, спіральних або з шириною, яка змінюється за довжиною споруди. Збірно-монолітні конструкції прогонових будов дозволяють відмовитися від риштування і прискорюють темпи будівництва, однак їх складніше застосовувати при складній формі естакад. Прогонові будови, які збираються зі збірних елементів, найбільшою мірою пристосовані для прямих споруд і забезпечують найбільші швидкості зведення.

За конструкцією прогонові будови естакад і шляхопроводів, як і мостів, виконують плитними, ребристими, і коробчастими.

Сфера застосування плитних естакад і шляхопроводів балкової і рамної систем обмежена прогонами $l=25\div30$ м. Плитні прогонові будови можуть мати постійну або змінну висоту як в подовжньому, так і поперечному напрямках. При постійній висоті поперечних перерізів прогонові будови опираються на ригелі рамних опор (рис. 32, а), на опори-стілки або в окремих точках на стояки опори.

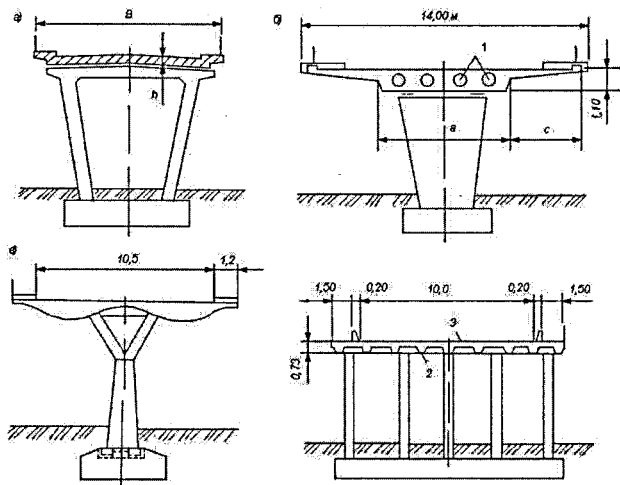


Рисунок 32 – Поперечні перерізи плитних залізобетонних естакад і шляхопроводів: 1 – порожнечі; 2 – збірний елемент – брус; 3 – монолітна плита проїжджої частини

Плитні прогонові будови, які опираються на опори-стілки або одностовпчасті опори, часто мають змінний поперечний переріз. Таку

зміну перерізу можна влаштовувати ступінчастою (рис. 32, б) або плавною (рис. 32, в). Відносну товщину звисів призначають рівною $h/l = 1/4 \div 1/8$, а відносну висоту несучої конструкції в потовщеній частині $h/l = 1/14 \div 1/25$.

Для полегшення ваги монолітних прогонових будов в них передбачають порожнечі (рис. 32, б).

Збірно-монолітні прогонові будови виконують зі збірних елементів – дощок, коритоподібних плит, перевернених таврів, коробчастих або суцільного перерізу брусів, об'єднаних для спільної роботи монолітним бетоном, поперечною ненавантаженою або попередньо напруженою арматурою (рис. 32, г).

Найбільш відповідальною ділянкою нерозрізних плитних прогонових будов є надпорний вузол. Нерозрізну систему конструкцій поєднують установкою або стикуванням подовжньої арматури.

Розрізні плитні елементи можуть бути об'єднані в температурно-нерозрізні прогонові будови.

Для монолітних прогонових будов характерне застосування двохчотирьох ребер в поперечному перерізі. Форму ребер з умови простоти розпалублення приймають прямокутною (рис. 33, а) або трапецієдальною. Товщина ребер зазвичай буває достатньою для розміщення в них необхідної арматури, яка напружується, без влаштування розширень, їх призначають рівною $a = 0,2 \div 0,8$ м. Відстані між ребрами приймають у межах 2–5 м.

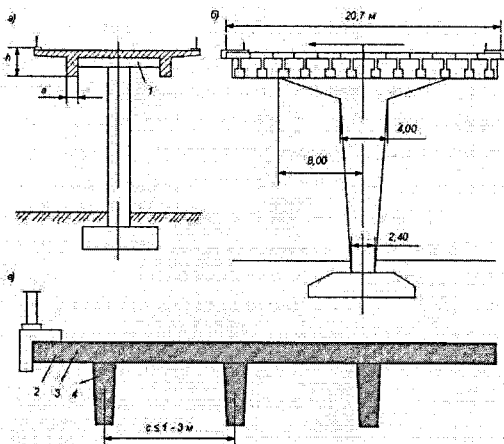


Рисунок 33 – Поперечні перерізи ребристих залізобетонних естакад і шляхопроводів: 1 – опорна діафрагма; 2 – нез’ємна опалубка; 3 – монолітна плита проїжджої частини; 4 – збірний елемент – ребро

Відносна висота монолітних ребристих прогонових будов становить $h/l = 1/18 \div 1/30$.

Збірно-монолітні ребристі прогонові будови складають зі збірних елементів – ребер, які є розрізними балками, і монолітними плитами проїжджої частини (рис. 33, б). Поперечні діафрагми виконують монолітними або збірними.

Збірні балки виготовляють прямолінійними довжиною $l=10-40$ м і висотою $h=(1/15\div 1/20)l$. Поперечні перерізи таких балок приймають прямокутними, трапецеїдальними, двотавровими та у вигляді перевернутих таврів. У поперечному перерізі балки встановлюють із кроком $s=13$ м. Їх армують ненавантаженою і попередньо напруженою арматурою.

Часто як опалубку верхньої плити застосовують тонкі залізобетонні плити (товщиною 30–50 мм), які укладаються по верхніх полицях балок (рис. 33, б). Така опалубка залишається в прогоновій будові.

Збірні ребристі прогонові будови в балково-нерозрізній і рамній системах мають відносну висоту $h/l=1/15\div 1/25$. Відстані між ребрами в поперечному перерізі прогонової будови призначають залежно від способу їх з'єднання між собою. Балки з діафрагмами встановлюють через 1,2–1,6 м, а бездіафрагмові балки можуть бути розсунуті до 2,5–2,8 м (рис. 33, в). Як збірні елементи ребристих прогонових будов приймають балки таврового, П-подібного перерізу, а також компоновані з плоских елементів – ребер, плит і діафрагм.

В міських естакадах і шляхопроводах збірні ребристі балки зазвичай поєднують в подовжньому напрямку в нерозрізну або рамну багатопрогонову систему.

Висоту прогонових будов призначають найчастіше постійною вздовж прогону. Ширину приймають залежно від заданого габариту проїзду в межах 7–20 м. При більшій ширині зводять поруч кілька роздільних прогонових будов. В поперечному перерізі монолітні прогонові будови мають один або кілька замкнутих контурів.

В архітектурному розумінні стінки прогонових будов в окремих випадках роблять криволінійними (рис. 34, а). Висоту одноконтурних перерізів h призначають рівною $(1/15\div 1/20)l$. При цьому товщина стінок зазвичай становить 0,2–0,5 м, нижньої плити – не менше 0,12 м, а верхньої плити $h_1=(1/12\div 1/15)b_1$, де b_1 – відстань в світлі між стінками (рис. 34, б, в, г). При збільшенні товщини стінок до $b_c=0,5\div 2,0$ м висота прогонової будови може бути зменшена і становитиме $(1/20\div 1/40)l$. Прогонові будови з такими перерізами (рис. 34, б) дозволяють скоротити загальну довжину споруди і її підходів.

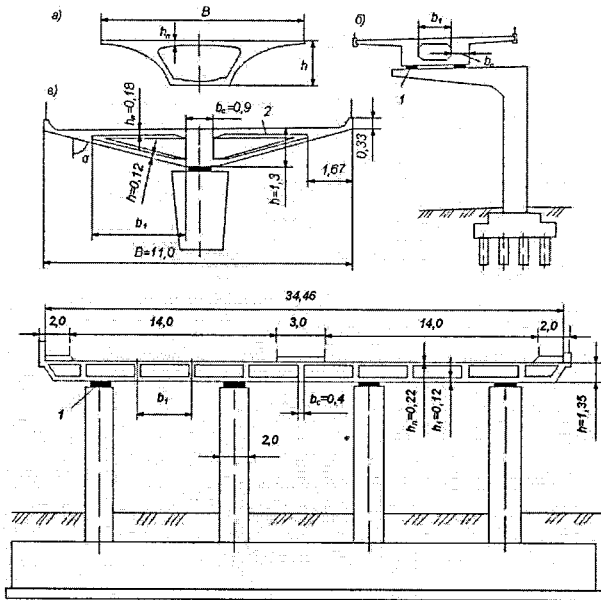


Рисунок 34 – Поперечні перерізи естакад і шляхопроводів з монолітними коробчастими прогоновими будовами: 1 – опорна частина; 2 – поперечне ребро

Коробчасті прогонові будови з нижньою похилою плитою ($\alpha > 45^\circ$) відповідають підвищеним архітектурним вимогам і дозволяють істотно зменшити ширину опор естакади або шляхопроводу (рис. 34, в).

Багатоконтурні коробчасті прогонові будови (рис. 34, г) при ширині споруди більше 20 м і при відношенні $h/B > 1/8 \div 1/10$ за умовами роботи наближаються до багатопустотних плитних конструкцій.

Збірно-монолітні коробчасті прогонові будови найчастіше утворюють зі збірних коробчастих елементів, об'єднаних в поперечному напрямку монолітним бетоном. Збірними елементами можуть бути плити, які утворюють, наприклад, похилі бокові грані і нижню плиту (рис. 35, а).

Для надання естакаді або шляхопроводу сприятливого зовнішнього вигляду збірні блоки виконують з похилими (рис. 35, б) або криволінійними (рис. 35, в) гранями. Збірні елементи розташовують в поперечному напрямку майже впритул один до одного (рис. 35, в) або з кроком, який відповідає інтервалу розміщення стоек опори (рис. 35, б). В останньому випадку збірні елементи з'єднують між собою не тільки монолітною плитою проїжджої частини, але і монолітними діафрагмами.

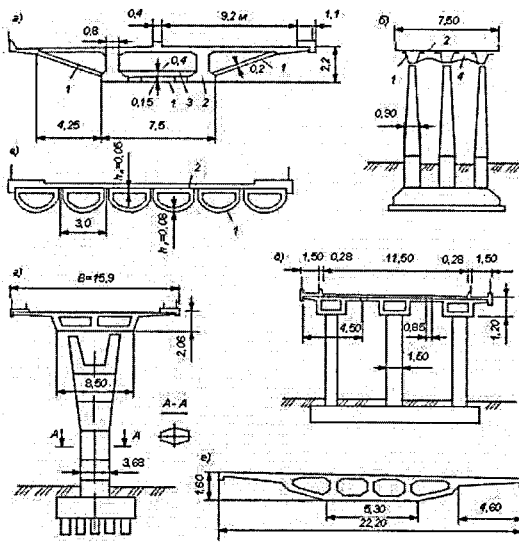


Рисунок 35 – Поперечні перерізи естакад і шляхопроводів зі збірно-монолітними і збірними коробчастими прогоновими будівлями: 1 – збірний елемент; 2 – монолітний бетон; 3 – монолітний бетон, покладений після встановлення нижньої збірної плити

Збірні коробчасті прогонові будови в поперечному перерізі можуть складатися з одного (рис. 35, г) або декількох коробчастих блоків, об'єднаних на плиті проїжджої частини (рис. 35, д).

Естакади і шляхопроводи зі збірними коробчастими прогоновими будовами раціональні при перекритті прогонів більше 30–40 м. Ширина коробчастих блоків зазвичай не перевищує 25 м (рис. 35, е).

При постійному перерізі прогонових будов їх висоту призначають в межах $(1/20 \div 1/30)l$, а при змінному перерізі – $(1/30 \div 1/50)l$ в середині прогонів і в 2–3 рази більше – над опорами.

Залізобетонні прогонові будови естакад армують ненавантаженою або напруженою арматурою. Найбільш складно армуються косі і криволінійні несучі конструкції. Подовжню робочу і поперечну конструктивну ненавантаженою арматурою плитних прогонових будов в широких косих конструкціях розташовують паралельно зовнішнім граням. В різних косих системах поперечну арматуру розміщують перпендикулярно подовжньої осі. У вузьких косих конструкціях поперечну арматуру, як правило, орієнтують перпендикулярно до подовжньої осі.

Криволінійні нерозрізні прогонові будови армують аналогічно прямолінійним. Однак через різну твердість зон прогонової будови, які примикають до зовнішньої і внутрішньої граней, зусилля в них будуть також різними. Подовжні елементи арматури, яка напружується, в плитних

прогонових будовах пропускають по всій довжині конструкції, плавно переводячи з нижньої зони в прогоні в верхню над проміжними опорами. В протяжних естакадах напружену арматуру, обривають в прогонах, відгинаючи її до верхньої або нижньої граней.

Армування плитних прогонових будов в поперечному напрямку залежить від способу опирання на опори. В косих прогонових будовах поперечну арматуру в надопірній зоні розташовують за скісним напрямком, а в іншій частині – перпендикулярно до осі моста. Якщо прогонова будова опирається на одностовпчасті опори, то подовжню і поперечну напружену арматуру зміщують до стовпа шляхом збільшення кількості арматурних елементів і згинальних в плані подовжніх елементів.

Косі і криволінійні прогонові будови естакад і шляхопроводів можуть бути виконані зі збірних елементів.

В косих конструкціях збірні елементи в кожному прогоні можуть бути однакової довжини. При цьому ці елементи встановлюють на опори з уступом по довжині. Для об'єднання блоків в нерозрізну або рамну систему в зазор, який утвориться, між блоками суміжних прогонів встановлюють арматурний каркас і роблять омонолічування поперечного надопорного стику. Торці збірних елементів можуть бути скошеними, тоді ширина проміжної опори буде меншою.

Поперечна твердість косих збірних ребристих або коробчастих прогонових будов забезпечується діафрагмами, які влаштовуються за нормаллю до подовжньої осі в вузьких конструкціях або за косим напрямком в широких спорудах ($B > 1$).

До опор естакад і шляхопроводів, крім загальних вимог, характерних для опор усіх видів мостових споруд, висувають ряд додаткових вимог. Опори міських транспортних споруд повинні гармоніювати з навколишньою забудовою, бути легкими, мати красивий зовнішній вигляд, забезпечувати безпечні умови проїзду транспорту під спорудами.

Перерахованим вище вимогам найбільшою мірою відповідають одностовпчасті опори. В криволінійних естакадах окремі одностовпчасті опори жорстко поєднують з діафрагмами прогонових будов, чим забезпечується сприйняття крутних моментів. При необхідності опирання прогонової будови на дві опорні частини, верхню частину одностовпчатих опор виготовляють з розгалуженням.

В широких естакадах і шляхопроводах одностовпчасті опори постачають ригелем, який частково або цілком роблять схованим.

В поперечному перерізі стояки і стовпи опор виконують круглими, овальної форми, багатограними та прямокутними.

В спорудах з напіввідчиненим поперечним перерізом прогонових будов, а також при значній ширині естакад і шляхопроводів опори складаються з декількох стояків, з'єднаних знизу фундаментом.

В окремих випадках опори естакад і шляхопроводів виконують у вигляді стінок, товщина яких в п'ять і більше разів менша їх ширини. Ширина опори по висоті може залишатися незмінною або зменшуватися

до фундаменту. Для збільшення згинальної міцності стінок з площини їм надають двотавровий поперечний переріз.

Для плитних і ребристих прогонових будов застосовують П-подібні рамні опори. Стояки рамних опор можуть бути вертикальними або похилими. В широких спорудах ригель рамних опор обжимається напруженою арматурою.

В криволінійних естакадах, які перетинають широкі вулиці, доводиться влаштовувати Г-подібні рамні опори, стояки яких розташовують поза проїжджою частиною вулиці. Опори естакад і шляхопроводів виконують монолітними, збірно-монолітними і збірними. Армують їх як ненапруженою, так і напруженою арматурою.

Контрольні запитання

1. Що таке естакада?
2. Як класифікуються естакади?
3. Назвіть вимоги до проектування міських естакад.
4. Які конструктивні вимоги висуваються до міських естакад?
5. Які існують схеми транспортних розв'язок в різних рівнях?
6. Яку будову мають опори багатоярусних транспортних розв'язок?

7 МІСЬКІ ТУНЕЛІ

7.1 Загальна характеристика міських тунелів

Одним з перспективних напрямів розвитку сучасних та майбутніх міст є широке використання їх підземного простору. Тунелі та станції метрополітену, підземні автостоянки та гаражі, транспортні, пішохідні та колекторні тунелі – ці та багато інших підземних споруд, без яких неможливо уявити сучасне велике місто. Сучасні міста розвиваються не тільки по горизонталі, але й по вертикалі з використанням надземного і підземного простору.

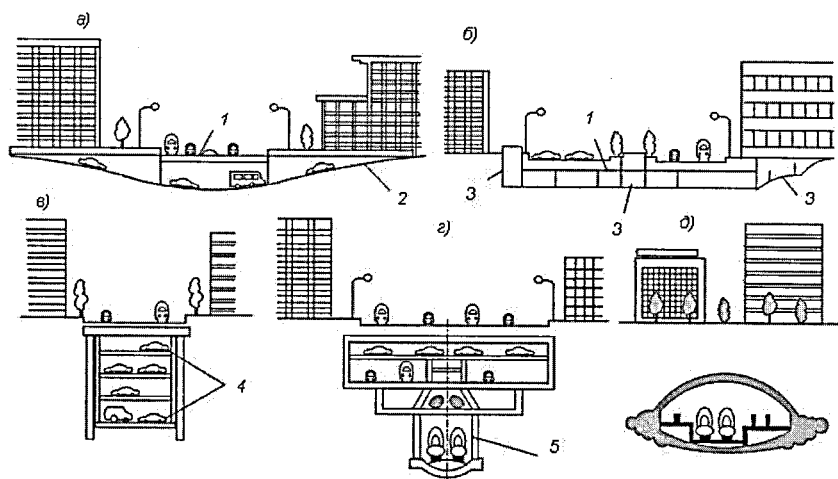


Рисунок 36 – Схеми міських підземних споруд:

- а) автотранспортна споруда; б) пішохідний тунель; в) гараж-стоянка;
г) багаторушній транспортний комплекс; д) станція метрополітену;
1 – тунель; 2 – рампа; 3 – сходи; 4 – стоянка; 5 – монорельсова дорога;
6 – тунель метрополітену

Серед численних міських підземних споруд провідне місце займають транспортні споруди. Вони дозволяють успішно вирішувати численні транспортні проблеми. Основною штучною спорудою при підземному будівництві є тунель.

Тунелями називають інженерні споруди, які розташовані на деякій глибині під поверхнею землі і які використовуються для пропуску чи зберігання транспортних засобів, розміщення промислових, комунально-побутових, торгівельних та видовищних підприємств, а також мають

багатоцільове призначення – об'єднувати транспортні, інженерні об'єкти, підприємства торгівлі, споруди цивільної оборони.

В міських умовах тунелі широко використовуються для подолання природних перешкод (гірські тунелі), розосередження руху по вертикалі, розв'язки руху в різних рівнях, для метрополітену, для подолання водних перешкод, для прокладання підземних інженерних комунікацій.

Світова містобудівна практика накопичила значний досвід будівництва таких споруд (рис. 36). Системне уявлення про міські тунелі може бути отримане в результаті ознайомлення з запропонованою Л. В. Маковським класифікацією міських підземних дорожньо-транспортних споруд.

Найбільш суттєвий вплив на об'ємно-планувальне рішення та формування ВДМ міста мають тунелі: автотранспортні, метрополітену, гірські, підводні та пішохідні.

7.1.1 Класифікації підземних споруд. Підземними називають такі споруди, головні частини яких, за експлуатаційними міркуваннями, розташовані під землею.

За своїм призначенням підземні споруди поділяються на: транспортні (пішохідні, автотранспортні і залізничні тунелі, метрополітени, автостоянки і т. д.); промислові (корпуси первинного дроблення руди, скіпові ями доменних цехів, підземні частини бункерних естакад, установок грануляції шлаків, безперервного розливання сталі та ін.); енергетичні (підземні комплекси ГЕС, ГРЕС і АЕС, шинні і кабельні тунелі і шахти, енергетичні водоводи, низові басейни ГРЕС та ін.); сховища (нафти, газу, шкідливих і радіоактивних відходів, холодильники); суспільні (підприємства комунально-побутового обслуговування, торгівлі і громадського харчування, складські, спортивні і видовищні споруди і т. д.); інженерні (тунелі і колектори тепло-, газо-, електромереж і водопроводу, бензопроводи між автозаправними станціями, очисні, перекачні і водозабірні споруди і т. д.); спеціального і наукового призначення (прискорювачі заряджених частинок, тунелі для аеродинамічних випробувань, підземні заводи, оборонні об'єкти, споруди цивільної оборони та ін.).

Відповідно до планувальної схеми розрізняють протяжні підземні споруди – тунелі – горизонтальні або похилі підземні споруди, довжина яких в багато разів перевищує розміри поперечного перерізу, і підземні споруди обмеженої довжини – камери – гірські утворення, які мають великі розміри у всіх трьох напрямках. Вертикальні гірські утворення називають стовбурами або шахтами. Штольня – це горизонтальне або слабонахилене гірське утворення, призначене для обслуговування підземних робіт (вивіз ґрунту, розвідка гірських порід, вентиляція, водовідлив та ін.).

Форма поперечного перерізу тунелю залежить від інженерно-геологічних умов району будівництва і способу ведення робіт по його проходженні. Існують такі форми поперечного перерізу тунелів:

- 1) прямокутна – для колекторів і тунелів дрібного заставляння;
- 2) кругова – для тунелів, які зводяться механізованим способом і в складних інженерно-геологічних умовах;

3) склепінчаста: коритоподібна з пологим зведенням – для тунелів в міцних скельних породах з незначним гірським тиском; коритоподібна з півциркульним зводом – для тунелів в скельних породах середньої міцності при невеликому вертикальному і відсутності бокового гірського тиску; коробчаста з розширеною основою, зведенням малого радіусу і криволінійними стінками – при великому вертикальному і невеликому боковому гірському тиску; підковоподібна – в слабких породах при великому вертикальному і горизонтальному гірському тиску і при тиску гірських порід знизу.

У великих камерних утвореннях можуть розміщуватися машинні зали підземних споруд енергетики, станції метрополітену, різні сховища, склади, емності, спортивні споруди, притулки, каналізаційні, насосні, очисні станції та інші об'єкти. Існують такі форми поперечного перерізу камерних утворень:

- коритоподібна: з вертикальними стінками і пологим зведенням (рис. 37, а) використовується в щільних і міцних скельних породах, які не чинять гірського тиску; з вертикальними стінками і зведенням (рис. 37, б) з високим підйомом – в породах з невеликим гірським тиском; з похилими стінками і пологим або з високим підйомом зведення (рис. 37, в) – в породах з невеликим гірським тиском при неспівпаданні кутів нашарування;

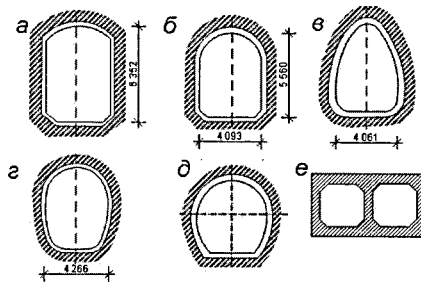


Рисунок 37 – Типові форми поперечних перерізів тунелів

- коробчаста: підковоподібна (рис. 37, г), яка використовується в породах, що чинять вертикальний і боковий гірський тиск, а також при великому тиску підземних вод; колоїдальна (рис. 37, д) – якщо вертикальний гірський тиск значно перевищує боковий;

- еліптична: овальна з горизонтальною і вертикальною великою віссю – при неглибокому заляганні утворення в породах, які чинять великий гірський тиск;

- напівциркульна і кругла, які використовуються при великому гірському і зовнішньому гідростатичному тиску, а також при несиметричному тиску породи;

- несиметрична – при односторонньому гірському тиску, а також при необхідності розміщення експлуатаційного устаткування.

За способом розташування міські підземні споруди можуть бути як під забудованою, так і під незабудованою територіями. Підземні об'єкти, розташовані під забудованою територією, можуть бути: ізольованими від будівель і споруд; вбудованими – підземні споруди, суміщені з підвальними поверхами будівлі; прибудованими – підземні споруди, розташовані поряд з будівлями і приєднані до них підземними проїздами і переходами; вбудованими – прибудованими.

Залежно від глибини закладання підземні споруди поділяються на: дрібного заставляння, розташовані на глибині $H < (2-3)B$; глибокого заставляння, $H > (2-3)B$, (де B – найбільший розмір, прогін або висота поперечного перерізу утворення).

За взаємодією підземного об'єкта із зовнішнім середовищем (за екологічністю) підземні споруди можна класифікувати таким чином: споруди, необхідність зведення яких визначається директивно, без врахування їх можливої взаємодії із зовнішнім середовищем (об'єкти спеціального призначення, цивільної оборони, деякі транспортні тунелі, перші лінії метрополітенів та ін.); споруди, при проектуванні і будівництві яких екологічні чинники враховуються в неявному вигляді (більшість транспортних тунелів і метрополітенів, підземні ГЕС і ГАЕС, різні сховища і т. д.); споруди, при проектуванні і будівництві яких максимально враховується взаємодія підземного об'єкта і природного середовища (Манежна площа, сучасні лінії метрополітенів); об'єкти, зведені з метою мінімізації впливу шкідливих чинників на навколишнє середовище (підземні АЕС, сховища агресивних і шкідливих речовин, радіоактивних відходів, сучасні автотранспортні тунелі); споруди екологічного призначення (альтернативні системи тепло- і енергопостачання, які використовують сонячну енергію, і т. д.).

7.2 Автотранспортні тунелі

Такі тунелі поділяються на дві групи: тунелі мілкого і тунелі глибокого закладання.

Автотранспортні тунелі мілкого закладання в містах зводяться для організації руху в різних рівнях на перехрестях, примиканнях та розгалуженнях магістралей; збільшення пропускної здатності окремих ділянок магістралі; покращення структури ВДМ міста, підвезення пасажирів, товарів, різних вантажів до торгових комплексів, а також до

транспортних комплексів (вокзал, аеропорт, великі автостоянки, гаражі тощо).

Найбільш простим вирішенням при організації руху в різних рівнях на перехрестях міських магістралей є заглиблення однієї з магістралей, які пересікаються, у виїмки з природними укосами. Для в'їзду та виїзду автомобілів з виїмки в місцях укосів влаштовуються пандуси. Таке вирішення потребує значної території через необхідність влаштування укосів. Заміна укосів підпирними стінками зменшує потребу вузла в території, однак при цьому ускладнюється влаштування в'їздів та виїздів на перетині. Особливо раціональне будівництво шляхопроводів тунельного типу при випуклому рельєфі. Перехрестя в різних рівнях з використанням тунелю дозволяє: ефективно використовувати міську територію; створювати більш комфортне, з точки зору транспортного шуму, міське середовище.

Різновидом автотранспортних тунелів є тунелі для збільшення пропускної здатності міських магістралей. Вони виконуються як тунелі мілкового закладання і мають відносно прості планувальні схеми. Такі тунелі, як правило, зводяться в напрямі основних міських магістралей. Рампові ділянки в тунелі влаштовуються як по всій його ширині, так і можуть складатися з двох окремих підходів.

Автотранспортні тунелі складаються з закритої – власне тунельної частини і відкритих рампових ділянок. Відкриті підходи до тунелю влаштовуються залежно від місцевих умов за типом виїмки з укосами або в підпирних стінках. Укоси виїмки приймаються з відношенням 1:1,5 (без укріплення) або 1:1,0 (при укріпленні укосів). Підпирні стінки використовуються за складних умов. Поздовжній уклон в закритій частині тунелю бажано приймати найменшим – 4–5% для забезпечення стоку води. Рампові ділянки, навпаки, потрібно виконувати з максимальними уклонами для зменшення загальної довжини тунелю. Величина цих уклонів повинна відповідати нормативним вимогам для відповідної категорії магістралі, яка проходить в тунелі (для загальноміських магістралей – 50%, для районних магістралей 60%). При проектуванні в плані важливим є визначення місця переходу від рампової частини до тунелю. В усіх випадках потрібно прагнути до того, щоб довжина закритої частини тунелю була найменшою.

Поздовжній профіль автотранспортних тунелів мілкового закладання бажано проектувати безпосередньо під проїжджою частиною вулиці для зменшення загальної довжини тунелю. Як правило, всі міські транспортні тунелі мають двосхилий поздовжній профіль увігнутого окреслення. З'єднання ділянок тунелю виконують шляхом вписування вертикальних кривих, радіуси яких залежать від розрахункової швидкості руху, категорії магістралі, умов видимості і плавності руху. Радіуси вертикальних кривих приймаються відповідно до нормативних вимог для категорії магістралі, яка пролягає в тунелі. На загальноміських і районних магістралях

найменші радіуси вертикальних кривих відповідно становлять 6000 і 4000 м для випуклих і 1500 та 1000 м для ввігнутих кривих.

Кількість смуг руху в тунелі встановлюється з необхідності забезпечення розрахункової пропускної здатності та нормативних вимог відповідно до категорії магістралі, яка проходить в тунелі.

Ширина однієї смуги руху транспорту в автотранспортних тунелях приймається 4,0 м. На магістралях районного значення ширина проїжджої частини може бути зменшена до 7,5 м при двосмуговій і до 11,25 м при трисмуговій проїжджій частині.

На перехресті міських магістралей з організацією руху транспорту в різних рівнях при тунельному варіанті ширина однієї смуги руху в тунелі приймається такою, як і на підході до перехрестя – 3,75 м.

В тунелях з двосторонньою організацією руху потрібно влаштовувати розподільчі смуги завширшки не менше 1,2 м.

Пішоходний рух в автотранспортних тунелях не передбачається (виняток становлять тунелі для розв'язки руху в різних рівнях). Тому в тунелях влаштовуються службові тротуари завширшки 0,75–1,0 м. Якщо в тунелі передбачається односторонній рух транспорту, службові тротуари влаштовують з двох сторін проїжджої частини. Поперечний уклон в тунелі приймають приблизно 15–25%. Поперечний профіль в тунелі може бути як односхилий, так і двосхилий.

На криволінійних ділянках на проїжджій частині влаштовують віражі з уклоном 30–40% при радіусі кривої – 300–700 м, та з уклоном 20% при радіусі 700–1000 м центра кривої для зменшення впливу на рух дії відцентрових сил. Висота міських тунелів від рівня проїжджої частини до низу перекриття приймається 5,0 м. В світовій містобудівній практиці є приклади малогабаритних автотранспортних тунелів, коли ця висота приймається 3,0 м. В таких тунелях пропускається потік легкового транспорту.

При довжині тунелю більше 400 м в обов'язковому порядку проектується припливно-витяжна вентиляція. У випадках, якщо довжина тунелю від 150 до 400 м, примусова вентиляція влаштовується тільки у випадках недостатнього провітрювання.

Автотранспортні тунелі можуть бути виконані як в одному, так і в декількох рівнях. В більшості випадків автотранспортні тунелі мілкого закладання виконуються з прямокутним поперечним перерізом. Хоча мають місце приклади з склепінчастим та круговим окресленням поперечного перерізу тунелю.

Розгалужена мережа достатньо витягнутих автотранспортних тунелів глибокого закладання дає можливість забезпечувати пропуск транзитного потоку через центр міста.

Основними принципами трасування підземних магістралей можуть бути такі: створення підземної радіально-кільцевої мережі; дублювання мережі швидкісних магістралей; дублювання надземної радіально-

кільцевої мережі і мережі міських швидкісних доріг; дублювання привілейованих напрямів транспортних магістралей.

До переваг підземних автомагістралей потрібно віднести можливість створення для них порівняно простих перехресть в різних рівнях, хоча це значно важче, ніж на поверхні землі. Розв'язки у вузлах перехресть чи примикань підземних магістралей займають вдвічі меншу територію, ніж на поверхні землі. Переваги підземних автомагістралей перед надземними зростають в зв'язку з підвищенням вартості міських земель та інтенсивним розвитком техніки тунелєбудування.

Основні вимоги до міських автотранспортних тунелів глибокого закладання визначають особливості їх інженерно-планувального та конструктивного вирішення. Глибина закладання автотранспортних тунелів (підземних автомагістралей) визначається необхідністю розташування тунелю в однорідних, стійких і неводоносних ґрунтах. Траса таких тунелів повинна проходити нижче підземних комунікацій колекторних тунелів, тунелів метрополітену та автотранспортних тунелів мілкового закладання. По можливості підземні автомагістралі розташовують на прямолінійних в плані трасах. Криволінійні ділянки можуть бути в місцях організації в'їзду і виїзду на поверхню землі, ділянках відгалужень до діючих підземних споруд. Підземні автомагістралі можуть складатись з окремих ділянок, розділених підземними транспортними комплексами. В межах кожної з цих ділянок повздовжній профіль магістральних тунелів може бути як односхилим, так і двосхилим увігнутого чи випуклого окреслення.

Вхід в тунельну частину обмежується порталом. Найбільші поздовжні уклони підходів повинні відповідати допустимим уклонам для категорії магістралі, яка проходить в тунелі. В складних умовах поздовжній уклон може бути збільшений до 60–80%. Найменший уклон в закритій частині тунелю приймається 4–5%.

В'їзди та виїзди з автотранспортних тунелів потрібно передбачати, виходячи з конкретних умов, але не рідше, ніж через 3–5 км. Вони повинні бути розташовані таким чином, щоб не заважали основним потокам наземного транспорту та пішоходам.

В'їзди та виїзди можуть бути виконані у вигляді прямих чи спіральних рамп. Прямі рампи з поздовжнім уклоном 60–80% можуть розташовуватися вздовж основної підземної траси чи під кутом до неї. В складних умовах може виявитись доцільним влаштування спіральних рамп, які займають менше місця ніж прямі і які дозволяють раціонально вирішити питання розміщення автостоянок. Найменший радіус кривизни спіральних рамп залежить від висоти проїзду і поздовжнього уклону. Він дорівнює 20 м при уклоні 50% і 24 м при уклоні 40% та висоті проїзду 5 м.

Міські автотранспортні тунелі можуть влаштуватися з одностороннім та двостороннім рухом. Для безпеки руху більш прийнятним є перший варіант. Однак влаштування двох тунелів з

одностороннім рухом замість одного з двостороннім призводить до збільшення вартості будівництва на 25–30%. Інколи трасування тунелю виконується на кривих. На кривих радіуси заокруглень не повинні перевищувати для магістралей загальноміського значення – 400 м, районного значення – 250 м. Поздовжні уклони закритої частини тунелю не повинні перевищувати 40%. Тільки в особливо складних умовах допускається величина поздовжнього уклону – 60–80%.

Відведення поверхневих вод з проїжджої частини проїздів і майданчиків виконується за рахунок поздовжніх та поперечних уклонів і збору води в водоприймальні колодязі.

Поперечний уклон приймається 20%. Найменший поздовжній уклон 5%. Інколи виникає необхідність проектувати горизонтальні ділянки з пилкоподібним уклоном тільки в лотку або без поздовжнього уклону в лотку, але з суцільною стрічкою водоприймальних решіток в лотку.

Висотний габарит підземних проїздів, як правило, приймається 4–5 м. При використанні тільки легкових і малолітражних вантажних автомобілів габарит може бути прийнятий – 3,0 м.

Швидкість руху транспорту в підземних проїздах обмежується 10–15 км/год з обов'язковою зупинкою на другорядних проїздах перед примиканням до головних проїздів. Можливе використання світлофорного регулювання руху.

В спеціальних транспортних спорудах – гаражах, автозаправних станціях обслуговування автомобілів, які розміщуються в підземному просторі потрібно враховувати інтенсивність руху транспорту, пропускну здатність проїздів, з'їздів і проектувати їх з урахуванням нормативних вимог для підземних гаражів.

7.3 Тунелі метрополітену

Приблизно 50 років тому почалось будівництво першого в Україні київського метрополітену. Його перша ділянка завдовжки 5,2 км від станції «Вокзальна» до станції «Дніпро» була введена в дію в 1960 році. Зараз в Україні діють п'ять ліній метрополітену – три в Києві (506 км); дві в Харкові (29,5 км). Завершується будівництво перших ділянок Дніпропетровського (7,8 км) та Донецького (9,7 км) метрополітенів.

На сьогодні експлуатаційна мережа метрополітену в розрахунку на один мільйон мешканців становить у м. Києві та м. Харкові 17 км, в той час, як в більшості великих міст Європи – 25–35 км (в Москві – 25, Мюнхені – 25, Барселоні – 27, Мадриді – 28, Парижі – 32, Франкфурті – 35, Гамбурзі – 39, Стокгольмі – 69, Лондоні – 75).

У Києві функціонують 57 станцій метрополітену.

В генплані розвитку метрополітену розглянуті 15 найзначніших українських міст і серед них Одеса, Запоріжжя, Кривий Ріг, а також Львів, Маріуполь, Луганськ, Миколаїв, Вінниця, Сімферополь, Севастополь, Кременчук та інші.

Більше ніж 91% буде реалізовано в тунельному варіанті. Метрополітен є одним з найбільш ефективних видів швидкісного пасажирського сполучення, яке забезпечується повною ізоляцією метрополітену від інших видів транспорту. Це досягається розташуванням метрополітену в тунелях на певній глибині під поверхнею землі. Тільки в особливих випадках (перетин річок, різка зміна рельєфу місцевості), окремі ділянки метрополітену влаштовуються за типом надземних транспортних споруд.

Тунелі метрополітену влаштовуються як глибокого, так і мілкого закладання.

Тунелі глибокого закладання влаштовуються при проходженні метрополітену під забудованими територіями пересіченої місцевості. Тунелі мілкого закладання дозволяються при прокладанні метрополітену під міськими вулицями, територіями зелених насаджень, при рідкій малоповерховій забудові. При пересіченій місцевості ділянки тунелів глибокого закладання можуть чергуватися з ділянками мілкого закладання.

Для зв'язку наземного пасажирського і пішохідного руху з метрополітеном влаштовуються наземні станції, які зв'язують з посадочними майданчиками, і підземні станції, ескалатори чи, в окремих випадках, переходи, обладнані, за необхідністю, сходами.

Тунелі мілкого закладання для метрополітену використовуються також для пропуску нижче поверхні землі швидкісного трамваю, залізничного транспорту.

Для тунелів метрополітену обов'язково влаштовується примусова вентиляція та штучне освітлення.

7.4 Гірські тунелі

Тунелі гірського типу мають широке використання при будівництві міських магістралей в гірській та горбистій місцевості. Такі тунелі, як правило, влаштовуються методом глибокого закладання та значної довжини. Цим пояснюється обов'язкове влаштування примусової вентиляції та освітлення. Наочним прикладом використання в містобудівній практиці тунелів гірського типу можуть бути міста Тбілісі, Будапешт, Прага, Пловдив, Велико-Тирново, Женева та багато інших. Тунелі, які перетинають окремі горби, висоти або гори та безпосередньо вклинюються в міську територію, мають низку особливостей, які потребують їх врахування при проектуванні, будівництві та експлуатації.

В плані траса тунелів гірського типу розглядається з врахуванням характеру магістралей на підходах, характеру забудови, що прилягає, інженерно-геологічних та гідрологічних умов. Бажано їх розташовувати на прямолінійних ділянках. Криволінійні ділянки можуть бути доцільні лише в зв'язку з необхідністю збереження діючої забудови, забезпечення плавного сполучення тунелю з міською магістраллю.

При довжині тунелю менше 300 м його переважно виконують з односхилим поздовжнім профілем. При більшій довжині поздовжній

профіль тунелю може бути як односхилий, так і багатосхилий з випуклим окресленням в середині тунелю.

Найбільший поздовжній уклон проїжджої частини тунелю гірського типу приймається 40% з урахуванням вимог вентиляції. В складних топографічних умовах при довжині тунелю до 500 м величина поздовжнього уклону може бути збільшена – до 60%. Проектування поздовжнього профілю тунелів гірського типу в багатьох випадках пов'язане з розташуванням порталів та вимогами забезпечення умов видимості в'їзду в тунель.

7.5 Підводні тунелі

До основних переваг підводних тунелів належить те, що вони: найменшою мірою порушують архітектурний ансамбль міста; не перешкоджають судноплавству; не порушують побутового режиму водотоку; забезпечують захист транспортних засобів від несприятливих атмосферних впливів.

Згідно з легендами через р. Євфрат за розпорядженням цариці Ассирії Семіраміди був зведений підпільний тунель завдовжки приблизно 900 м і шириною необхідною для проїзду.

Більше 4 тис. років потрібно було, щоб в 1842 році в м. Лондоні був збудований другий у світі підводний тунель.

В основному вартість будівництва мосту нижча від вартості будівництва підводного тунелю (при прогонах до 160 м). Однак при більших прогонах мосту (200–300 м) вартість 1 погонного метра довжини мосту і тунелю зрівнюються.

Залежно від розташування відносно дна водотоку підводні тунелі відрізняються заглибленнями в ґрунтовий масив.

Вибір місця для розташування підводних тунелів в населеному пункті визначається характером планування та забудови берегових ділянок, топографічними умовами, а також технологією будівництва даної споруди.

В основному тунель трасують перпендикулярно до осі водотоку. Місцеві умови можуть викликати необхідність косоного перетинання водної перешкоди. Підводний тунель може частково чи повністю розташовуватися на прямій або криволінійній в плані трасі. Інколи на криволінійній трасі розташовують тільки підводну частину тунелю.

Підводні тунелі завдовжки складаються з окремих ділянок: підруслової, берегової та відкрито-рампової. Поздовжньому профілю підводних тунелів найчастіше надають форму двосхилого ввігнутого окреслення. Ділянки поздовж його профілю з різними уклонами з'єднують вертикальними кривими, радіуси яких приймають такими, як і для відкритої ділянки магістралі.

Велике значення при проектуванні поздовжнього профілю підводного тунелю має глибина закладання вершу тунелю відносно дна водотоку. Закладання тунелю визначає його загальну довжину. В зв'язку з цим

глибина закладання підводного тунелю повинна прийматись найменшою, залежно від способу зведення тунелю та властивостей ґрунтів в руслі водотоку.

Підводні тунелі зводяться для пропуску руху як в одному, так і в двох рівнях. В разі необхідності суміщення пропуску в тунелі транспорту та пішоходів влаштовуються для пішоходів окремі спеціальні відсіки, відокремлені від транспорту окремими стінками.

В підводних тунелях в обов'язковому порядку влаштовується примусова вентиляція і штучне освітлення. Один з найсміливіших проектів підводного тунелю – це проект тунелю від м. Баку до м. Красноводська завдовжки 250 км.

Контрольні запитання

1. Як класифікуються підземні споруди?
2. Які існують форми поперечного перерізу тунелів?
3. Як розташовують підземні споруди під забудованою і незабудованою територіями?
4. Як поділяються підземні споруди за глибиною закладання?
5. Охарактеризуйте автотранспортні тунелі.
6. У чому полягають особливості будівництва тунелів метрополітену?
7. В яких випадках будують підводні тунелі?

ГЛОСАРІЙ

Автомагістраль – автомобільна дорога між віддаленими один від одного населеними пунктами або районами, призначена для швидкісного руху великої кількості автомобілів у двох протилежних напрямках.

Анкер – вмурована у стіновий масив конструктивна металева або дерев'яна деталь для скріплення частин споруди або підтримки елементів, які виступають.

Вантовий міст – тип підвісного мосту, який складається з одного або більше пілонів, які з'єднані з дорожнім полотном за допомогою прямолінійних сталевих канатів – вантів.

Віадук – міст на високих опорах через глибокий яр або ущелину.

Галерея – склепінчастий навіс у гірській місцевості над залізничною колією, призначений захистити поїзди від обвалів каменів.

Естакада – інженерна споруда для руху транспортних засобів та (або) пішоходів, підняття однієї дороги над іншою у місці їх перетину, а також для створення дороги на певній висоті, яка не має з'їздів на іншу дорогу.

Льодоріз – пристрій, окрема конструкція, заглиблена у воду споруда, зазвичай, з клиноподібним виступом, для захисту опор мостів, боків гребель, гідротехнічних споруд і трубопроводів від ударів криги під час льодоходу та попередження крижаних заторів.

Міст – штучна споруда, призначена для руху через річку, яр, озера та інші перешкоди, межами якої є початок і кінець прогонових споруд.

Пілон – масивний стовп, який підтримує ванти.

Понтонний міст – міст, що має плавучі опори-понтони. Різновидом понтонного моста є наплавний міст, який не має відокремлених понтонів – плавучими є самі прогонові будови.

Транспортна розв'язка – споруда на перехресті головних шляхів, призначена забезпечувати безперервний рух пішоходів і транспорту двома і більше рівнями.

Трубопровід – штучна споруда, призначена для транспортування газу або рідини, а також інших твердих речовин у вигляді суспензії під дією різниці тиску у різних перерізах.

Тунель – горизонтальна або похила підземна споруда, яка має два виходи на поверхню.

Ферма – тримальна геометрично незмінна конструкція, що складається з прямолінійних стрижнів, вузлові з'єднання яких в розрахунках вважаються шарнірними.

Шляхопровід – інженерна споруда мостового типу над іншою дорогою (залізницею) в місці їх перетину, що забезпечує рух по ній на різних рівнях та дає можливість з'їзду на іншу дорогу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кириенко И. И. Гидротехнические сооружения. Проектирование и расчет / И. И. Кириенко, Ю. А. Химерик. – К. : Вища школа, 1987. – 253 с.
2. Колоков Н. М. Строительство мостов / Н. М. Колоков, Б. М. Вейнблат. – М. : Изд-во «Транспорт», 1984. – 504 с.
3. Металлические мосты / [Протасов К. Г., Теплицкий А. В., Крамарев С. Я., Никитин М. К.]. – [2-е изд.]. – М. : Изд-во «Транспорт», 1973. – 352 с.
4. Метрополітени: ДБН В.2.3-7-2003. – [Чинний від 2004-01-01]. К. : Державні будівельні норми України, 2003. – 215 с.
5. Мосты и тоннели : учебник для вузов ж-д транспорта / [А. С. Попов, В. О. Осипов, А. М. Бобриков и др.]. – М. : Изд-во «Транспорт», 1977. – 526 с.
6. Мосты и тоннели на железных дорогах : учебник для вузов / [В. О. Осипов, В. Г. Храпов, Б. В. Бобриков и др.]. – М. : Изд-во «Транспорт», 1988. – 367 с.
7. Мости та труби. Правила проектування: ДБН В.2.3-14:2006. – [Чинний від 2007-02-07]. – К. : Державні будівельні норми України, 2006 – 181 с.
8. Никонов И. Н. Искусственные сооружения железнодорожного транспорта / Никонов И. Н. – М. : Трансжелдориздат, 1963. – 375 с.
9. Саламахин П. М. Инженерные сооружения в транспортном строительстве / П. М. Саламахин. – М. : Академия, 2007. – 267 с.
10. Смирнов В. А. Висячие мосты больших пролетов / Смирнов В. А. – М. : Высшая школа, 1970. – 410 с.
11. Справочник проектировщика инженерных сооружений / [А. П. Величкин, В. Ш. Козлов, В. Д. Альшиц и др.]. – К. : Будивельник, 1973. – 552 с.
12. Справочник проектировщика инженерных сооружений / [В. Ш. Козлов, В. Д. Альшиц, А. И. Аптекман и др.]. – К. : Будивельник, 1988. – 352 с.
13. Удовиченко В. Н. Морские и речные гидротехнические сооружения / В. Н. Удовиченков, П. И. Яковлев. – М. : Изд-во «Транспорт», 1976. – 416 с.

Навчальне видання

Лівінський Олександр Михайлович
Потапова Тетяна Едуардівна
Гарнага Вікторія Леонідівна

Міські інженерні споруди
Частина I
Навчальний посібник

Редактор О. Кондратьєва
Оригінал-макет підготовлено В. Гарнагою

Підписано до друку 15.11.2016 р.
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 5,8.
Наклад 50 пр. Зам. № 2016-202.

Вінницький національний технічний університет,
навчально-методичний відділ ВНТУ.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, к. 2201.
Тел. (0432) 59-87-36.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-87-38.
publish.vntu.edu.ua; email: kivc.vntu@gmail.com.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.