

## ЗМІСТ

Вступ	4
РОЗДІЛ 1. Підземні канали і тунелі	5
1.1 Конструкції підземних каналів і тунелів	5
1.2 Особливості розрахунку каналів і тунелів	10
РОЗДІЛ 2. Залізобетонні підпірні стіни	15
2.1 Конструкції залізобетонних підпірних стін	15
2.2 Особливості розрахунку підпірних стін	18
РОЗДІЛ 3. Мости та мостові переходи	19
3.1 Основні поняття та класифікація мостів	22
3.2 Вибір місця розташування мостового переходу в місті	22
3.3 Розташування міських мостів в профілі	28
3.4 Призначення кроку та ширини міських мостів	34
Контрольні питання	41
Література	48
Додаток А. Розрахунок транспортного тунелю	51

## ВСТУП

У другій частині навчального посібника надані загальні відомості про підземні канали і тунелі, підпірні стіни, мости та мостові переходи, розглядаються особливості проектування основних несучих елементів конструкцій цих споруд. Також приведені контрольні питання з розглянутих тем, перелік використаної літератури і джерел, які рекомендуються для самостійного та більш глибокого засвоєння студентами матеріалу дисципліни, а також приклад розрахунку конструкцій підземного тунелю.

У першому розділі розглядаються підземні канали і тунелі, що застосовуються в багатьох містах, особливості їх конструкції та роботи під навантаженням, а також методика розрахунку елементів їх конструкцій.

У другому розділі розглядаються принципи розрахунку і особливості конструювання елементів конструкцій залізобетонних підпірних стін. Підпірні стіни широко застосовуються в міському будівництві при вертикальному плануванні та інженерній підготовці міських територій.

Третій розділ присвячений мостам і мостовим переходам – найбільш складним з інженерної точки зору та відповідальним спорудам не стільки за розрахунком, але й з планувально-містобудівних міркувань. Особлива увага приділяється вибору місця розташування мостового переходу в плані та профілі, а також призначенню кроку та ширини міських мостів.

У додатку наведено приклад розрахунку монолітного залізобетонного транспортного тунелю, результати якого використовуються для підбору робочої арматури і конструювання елементів конструкції тунелю.

Навчально-методичний посібник призначений для студентів спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія денної та заочної форм, що навчаються за освітньою програмою «Міське будівництво та господарство», а також для фахівців, які займаються питаннями проектування міських інженерних споруд і окремих конструкцій широкого призначення.

# РОЗДІЛ 1

## ПІДЗЕМНІ КАНАЛИ І ТУНЕЛІ

### 1.1 Конструкції підземних каналів і тунелів

Підземні канали і тунелі на територіях промислових і цивільних об'єктів виконують переважно неглибокого закладення. Вони призначені для прокладки магістральних тепло-, газо-, паро-, нафто-, маслопроводів, а також для міських інженерних мереж водопостачання та каналізації, електрокабелів, промислових мереж стисненого повітря, інших газоподібних і рідких речовин тощо.

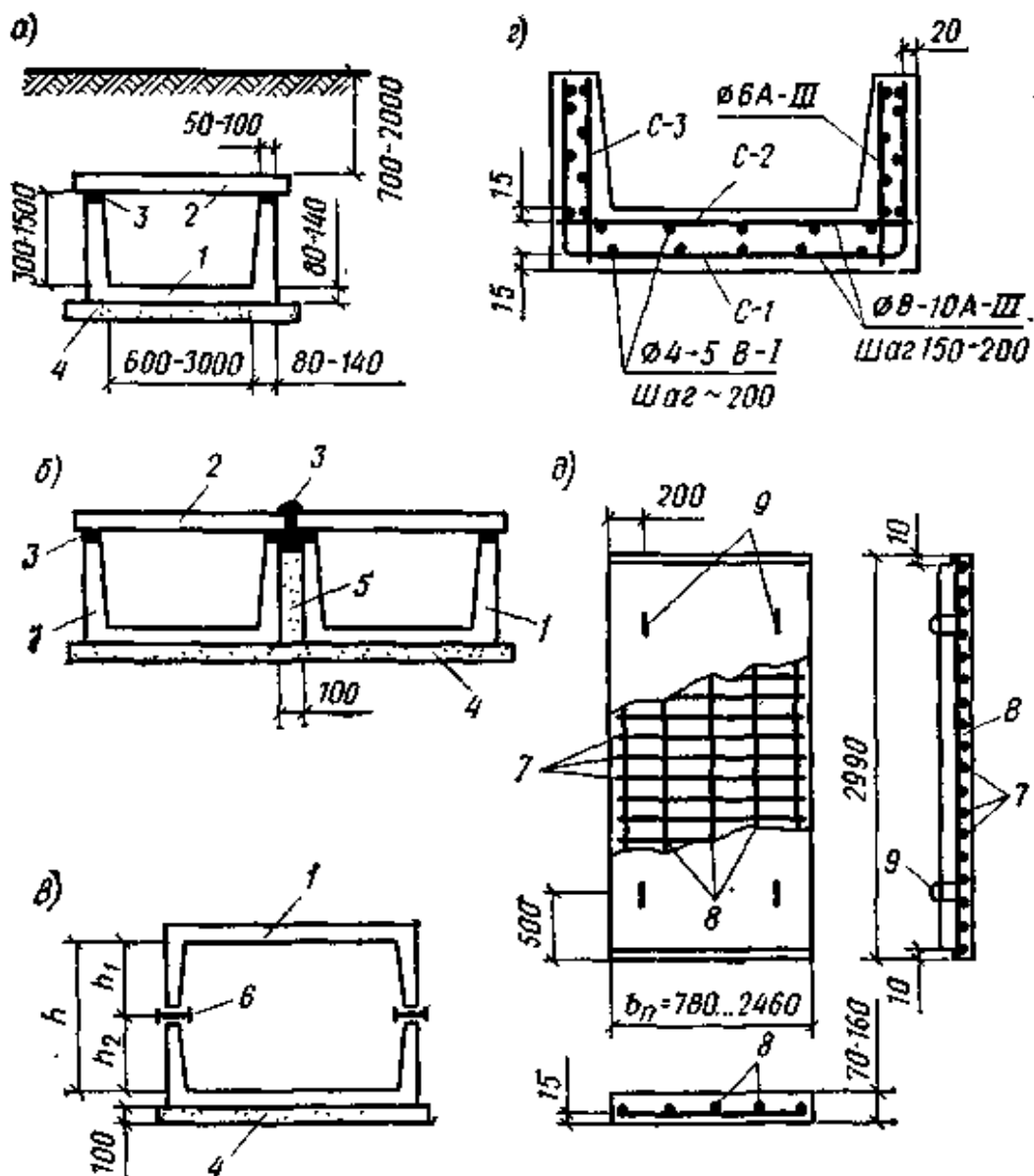
Канали роблять непрохідними або напівпрохідними з внутрішньою висотою «у світлі» не більше 1,5 м. Тунелі влаштовують прохідними з внутрішньої висотою не менше 1,8 м. Їх нерідко використовують для переходу людей і транспортування вантажів.

Тунелі укладають з поздовжнім ухилом для стоку випадкових вод, обладнують освітленням, вентиляцією, сигналізацією, протипожежними та іншими пристроями.

Покриття підземних каналів і тунелів розташовують нижче поверхні землі не менше ніж на 0,7 м (а до низу дорожнього покриття – не менше 0,5 м). По довжині каналів і тунелів влаштовують деформаційні шви в місцях примикання їх до камер і компенсаційних ніш, на межах різкої зміни ґрунтових умов, а на прямих ділянках – не більше ніж через 50 м.

Найменші витрати коштів і матеріалів виходять при будівництві залізобетонних каналів і тунелів (порівняно з цегляними або бетонними), а найменші трудові витрати й терміни зведення – при будівництві їх в збірному залізобетоні.

Типові конструкції каналів із застосуванням збірних залізобетонних лотків і плит (за серією 3.006-2) показані на рис. 1.1.



- а) розташування та конструкція односекційного каналу;
- б) конструкція двосекційного каналу;
- в) конструкція каналу із застосуванням лише лотків;
- г) схема армування поперечного перерізу лотка;
- д) схема армування плити.

Рисунок 1.1 – Типові конструкції збірних залізобетонних каналів:

1 – лоток; 2 – плита; 3 – замонолічування закладних деталей; 4 – бетонна підготовка; 5 – бетонне заповнення між секціями; 6 – закладні деталі; 7 – поперечна арматура плити; 8 – поздовжня арматура плити; 9 – монтажні петлі

Для скорочення числа типорозмірів лотків їх передбачають тільки певних розмірів:

- ширина «в світлі» – від 0,3 до 2,4 м з кроком 300 мм, а також 3 м;
- висота «в світлі» – 300, 450, 600, 900, 1200 і 1500 мм;
- довжина (номінальна, тобто з урахуванням товщини монтажних швів) – 3 м та 6 м.

Плоскі плити покриття і днища призначають відповідної ширини з номінальною довжиною 3 м. Крім елементів з основним розміром передбачено добірні елементи довжиною 720 мм.

З лотків і плит компонують односекційні канали з розміщенням лотків днищем униз (див. рис. 1.1, а) або днищем угору, а також двосекційні канали (див. рис. 1.1, б). Використовуючи тільки лотки (без плит), можна компонувати канали й тунелі за схемою, що показана на рис. 1.1, в (односекційні). Також їх можна робити двосекційними, об'єднуючи односекційні подібно компонуванню за схемою, що показана на рис. 1.1, б.

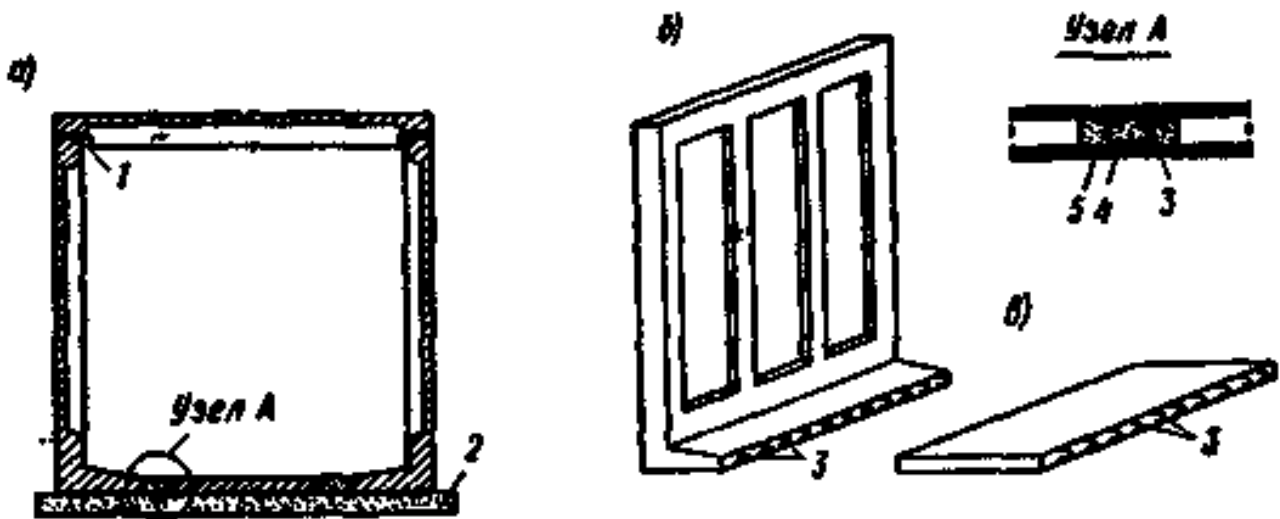
Верхні та нижні лотки поєднують в єдину конструкцію зварюванням на монтажні закладних коротишів із швелеру, що розташовуються у товщі поздовжніх швів. Лотки в каналах у поздовжньому напрямку вкладають без перев'язки торцевих швів лотків, а в тунелях – із перев'язкою.

У тунелях і напівпрохідних каналах передбачаються входи для людей і монтажні прорізи за розміром встановленого обладнання.

Уніфіковані збірні конструкції, що використовуються тільки для тунелів, розроблено для трьох конструктивних рішень (за серією 3.006-3):

- для односекційних тунелів із застосуванням куткових стінових елементів у поєднанні з плитами покриття та днища (рис. 1.2);
- для двосекційних тунелів з додатковим рядом проміжних колон і поздовжніми прогонами по них (рис. 1.3, а);
- для односекційних тунелів із об'ємних блоків (рис. 1.3, б).

Для тунелів з кутковими стіновими елементами передбачені габаритні



- а) конструкція збірного односекційного тунелю;
- б) кутковий ребристий стіновий елемент;
- в) плита днища.

Рисунок 1.2 – Типова конструкція тунелю з кутковими стіновими елементами:  
 1 – замонолічування закладних деталей; 2 – бетонна підготовка; 3 – петльові випуски арматури; 4 – поздовжні стержні стику; 5 – замонолічування стику

розміри тунелів:

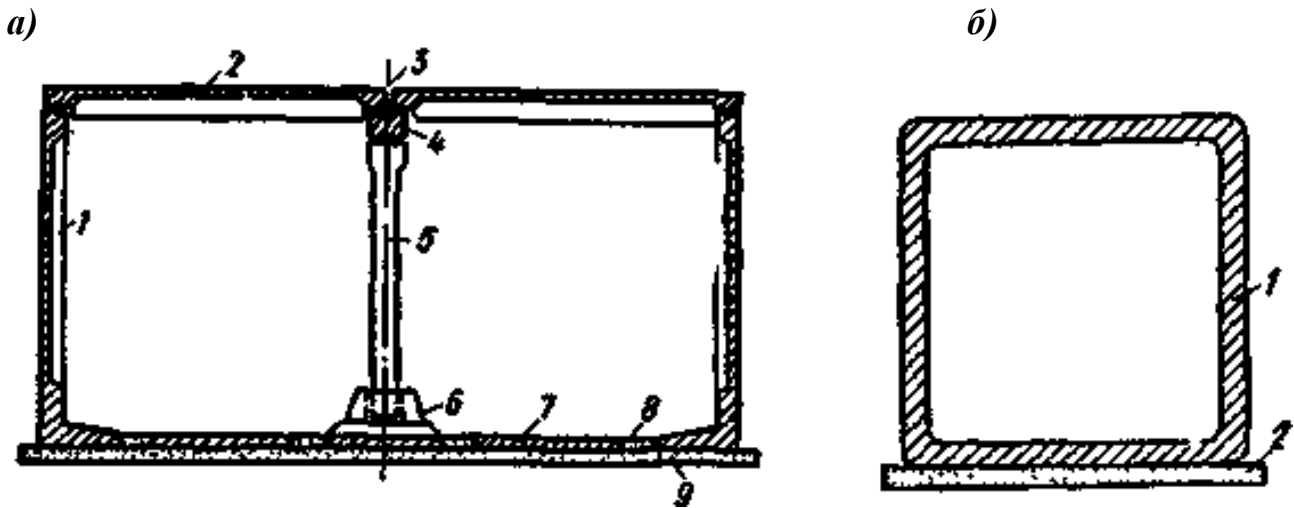
- висота – 2100, 2400, 3000 і 3600 мм;
- ширина – 1,5, 1,8 і 2,1 м для односекційних, а також 2,4, 3, 3,6 і 4,2 м як для одно-, так і для двосекційних.

Для тунелів з об'ємних блоків прийняті розміри:

- висота – 2100, 2400, 3000 мм;
- ширина – 1,5...3 м.

Існують розроблені конструкції тунелів для випадків їх розміщення:

- під автодорогами – на глибині до верху тунелю 0,5...6 м;
- під залізничними коліями – на глибині від низу шпал до верху тунелю 1...4 м;
- всередині виробничих будівель – на глибині до 6 м.



- а) конструкція збірної двосекційного тунелю;  
 б) односекційний тунель із об'ємних блоків.

Рисунок 1.3 – Типові конструкції збірних залізобетонних тунелів:

1 – кутковий стіновий елемент; 2 – плита покриття; 3 – замонолічування стику;  
 4 – поздовжній прогін; 5 – додаткова колона; 6 – опорна частина колони; 7 –  
 плита днища; 8 – стик; 9, 2' – бетонна підготовка; 1' – об'ємний блок

Односекційні збірні залізобетонні тунелі (див. рис. 1.2) монтують з двох куткових елементів, стінова частина яких приймається ребристою, ребристих плит покриття і суцільних плит днища. Збірні стінові елементи та плити днища з'єднують в єдину конструкцію жорстким стиком по всій їх довжині, для чого передбачають у збірних елементах зустрічні петльові випуски робочої арматури (стик Передерія), всередині яких розміщують на монтажі арматурні стержні та замонолічують бетоном класу не нижче С20/25 . Плити покриття виготовляють з ребрами, що мають на опорах підрізи для сприйняття бічного тиску стін.

У двосекційних тунелях (див. рис. 1.3, а) проміжна опора утворюється з прогону, колон і опорних фундаментних блоків. Двосекційний тунель також може бути виконаний з двох односекційних тунелів, розміщених поруч.

Номінальна довжина основних стінових елементів (уздовж тунелю)

прийнята 3 м.

Тунелі (див. рис. 1.3, б), що виконані з об'ємних блоків, мають номінальну довжину 1,5, 2,4 і 3 м. З'єднання блоків за довжиною виконується «у чверть» по стінах і днищу та зі шпонками по покриттю.

У ґрунтах природної вологості тунелі зверху покривають обклеювальною гідроізоляцією з двох шарів ізолю на бітумі. Зверху її захищають шаром цементного розчину товщиною 30 мм. Стіни обмазують гарячим бітумом.

При наявності ґрунтових вод необхідно влаштовувати обклеювальну гідроізоляцію днища та стін на висоту 0,5 м вище розрахункового рівня ґрунтових вод. Під днищем каналів і тунелів ґрунт трамбується та по ньому влаштовують для каналів – піщану підсипку, а для тунелів – бетонну підготовку. Всі монтажні шви збірних елементів каналів і тунелів заповнюють цементно-піщаним розчином.

## 1.2 Особливості розрахунку каналів і тунелів

Збірні елементи каналів і тунелів виконують з бетону класу не нижче С20/25, армують зварними сітками з арматури класу А400С та звичайної дроту класу Вр1.

Канали і тунелі неглибокого закладення зводять відкритим способом. У цьому випадку розрахункове навантаження від ґрунту на покриття та стіни – вертикальне  $p_1$  і горизонтальне  $p_2$  – визначають за формулами:

$$p_1 = p_{k1}\gamma_f = \gamma_f \rho h; \quad p_2 = p_{k2}\gamma_f = p_1 \operatorname{tg}^2(45^\circ - 0,5\varphi),$$

де  $h$  – відстань від поверхні ґрунту, м;

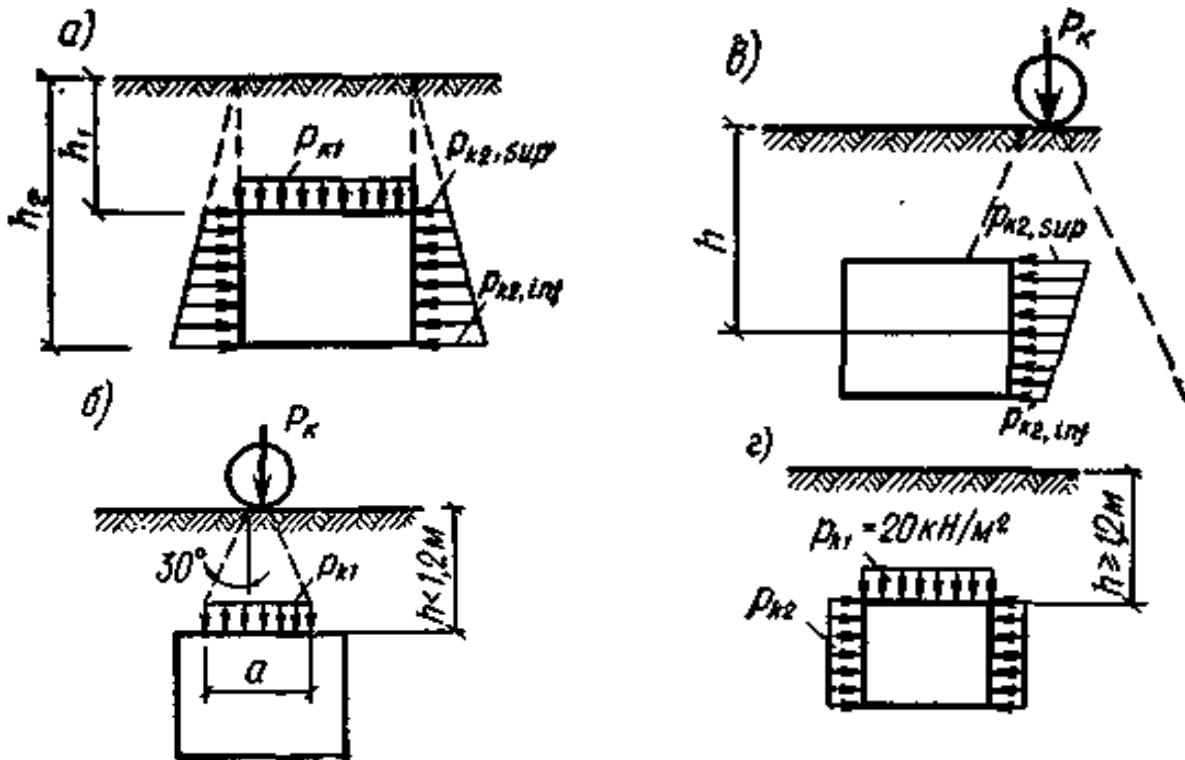
$\rho$  – навантаження від одиниці об'єму ґрунту, що в залежності від виду ґрунту та його вологості дорівнює 16...20 кН/м<sup>3</sup>;



$\gamma_f$  – коефіцієнт надійності за навантаженням, що усереднено приймається рівним 1,2;

$\varphi$  – нормативний кут внутрішнього тертя ґрунту, що в залежності від його виду приймається в межах 25...45°.

Можливі випадки розподілу навантажень, що застосовуються для будь-яких їх видів, на елементи конструкції каналів і тунелів показано на рис. 1.4.



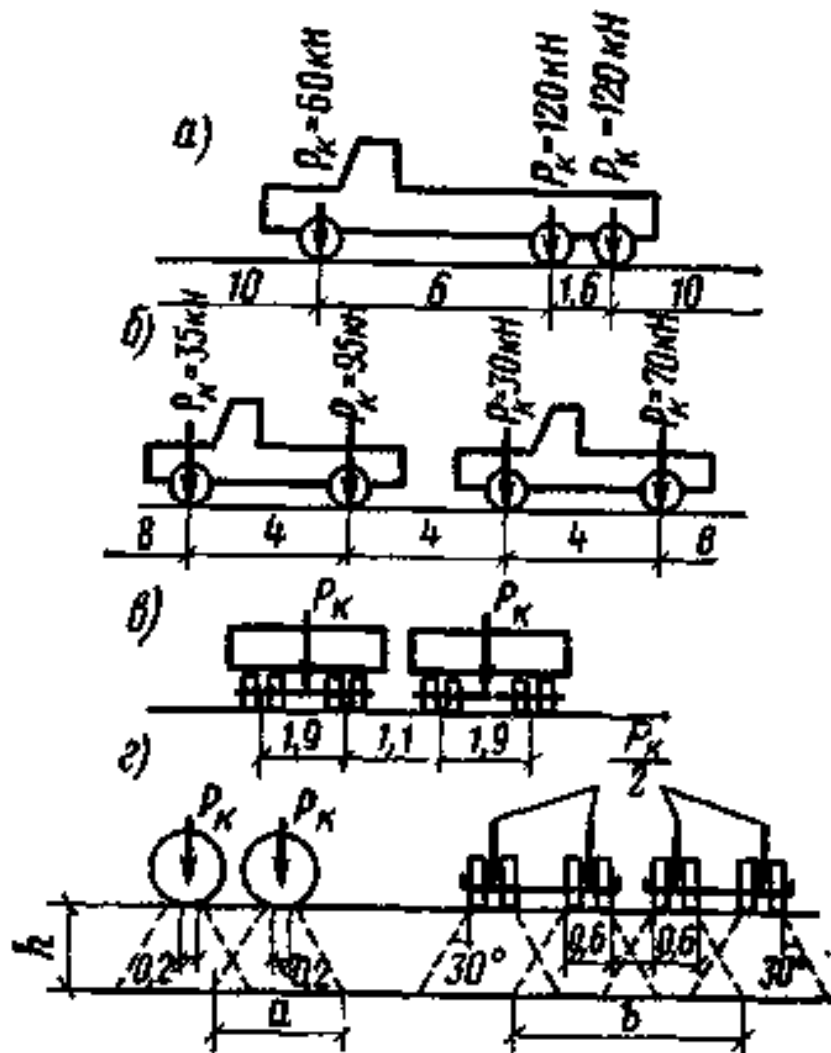
- а) загальний випадок розподілу навантажень;
- б) навантаження, що діє у межах покриття;
- в) навантаження, що приходить лише на стійку;
- г) розподіл при відстані від поверхні 1,2 м та більше.

Рисунок 1.4 – Розподіл навантажень в елементах конструкцій каналів і тунелів

У розрахунках конструкцій каналів і тунелів обов’язково враховується тимчасове навантаження на поверхню землі від автомобільного транспорту.

Для тунелів під автомобільними дорогами приймають навантаження від

двох колон тривісних автомобілів – з максимальним тиском на вісь  $P_k = 120$  кН (рис. 1.5, а), в інших випадках враховують навантаження від однієї колони двовісних автомобілів – з максимальним тиском на вісь  $P_k = 95$  кН (рис. 1.5, б). При цьому враховують коефіцієнт надійності за навантаженням  $\gamma_f = 1,4$ . Таким чином, розрахункове навантаження від коліс складає  $P = 1,4 \cdot P_k$ .



- а) схема навантаження від тривісного автомобіля;
- б) схема навантаження від двовісних автомобілів;
- в) схема навантаження від двох колон автомобілів;
- г) передача навантажень від коліс на покриття каналу або тунелю.

Рисунок 1.5 – Навантаження на поверхню землі від автомобільного транспорту

Відстань між колесами автомобілів у поперечному напрямку приймають за схемою, що наведено на рис. 1.5, б. Опорну площадку одного колеса приймають рівною 0,2 м в поздовжньому та 0,6 м в поперечному напрямку (див. рис. 1.5, г).

Тиск зосередженого навантаження, прикладеного до поверхні землі, розподіляється в ґрунті під кутом  $30^\circ$  до вертикалі (див. рис. 1.5, г), а в межах товщі дорожнього покриття – під кутом  $45^\circ$ .

Вертикальний тиск на глибині від поверхні землі  $h < 1,2$  м визначають за формулою:

$$p_1 = P / a \cdot b ,$$

де  $a$  і  $b$  – розміри площі тиску на глибині  $h$  (див. рис. 1.4, б, рис. 1.5, г).

При  $h > 1,2$  м тиск від автомобілів приймають у вигляді вертикального навантаження нормативного значення  $p_{kl} = 20 \text{ кН/м}^2$  з коефіцієнтом надійності за навантаженням  $\gamma_f = 1,4$ .

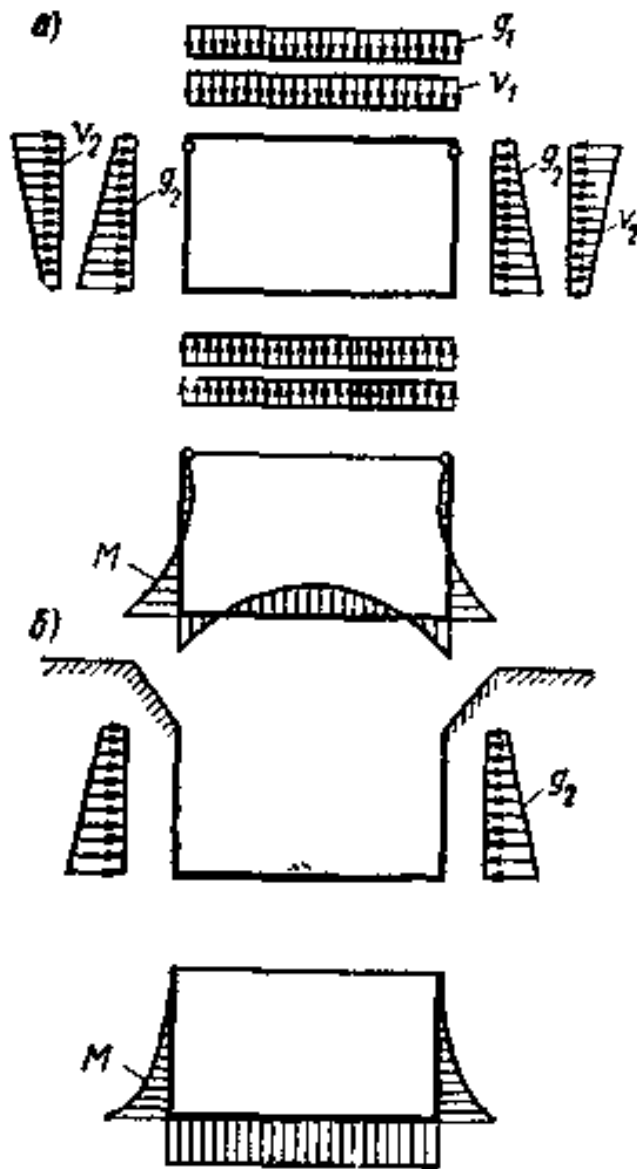
Горизонтальний тиск ґрунту при навантаженнях на поверхні в обох випадках визначають за другою формулою для  $p_2$  з розподілом, зображеним на рис. 1.4, в залежності від місця розташування навантажень.

У підземних спорудах все вертикальне навантаження від перекриття та стін врівноважується реактивним тиском ґрунту, який вважають рівномірно розподіленим під подошвою днища.

Плити покриття каналів і тунелів розраховують за однопрогоною балочною схемою з шарнірними опорами. Стіни, жорстко з'єднані з днищем в односекційних каналах і тунелях за схемами, зображеними на рис. 1.6, розраховують як П-подібну перевернуту раму з розпіркою (рис. 1.6, а). При зняттю перекритті (наприклад, у періоди монтажу або ремонту) раму розраховують без верхньої розпірки (рис. 1.6, б).

Конструкцію тунелю з об'ємних блоків (див. рис. 1.3, б) розраховують за

схемою замкнутої рами на вказані вище дії постійних  $g_i$  і тимчасових навантажень  $v_i$ .



а) на стадіях проектування та експлуатації;

б) на стадіях монтажу, ремонту або реконструкції.

Рисунок 1.6 – Розрахункові схеми каналу або тунелю:

$g_i$  – постійні навантаження;  $v_i$  – тимчасові навантаження;

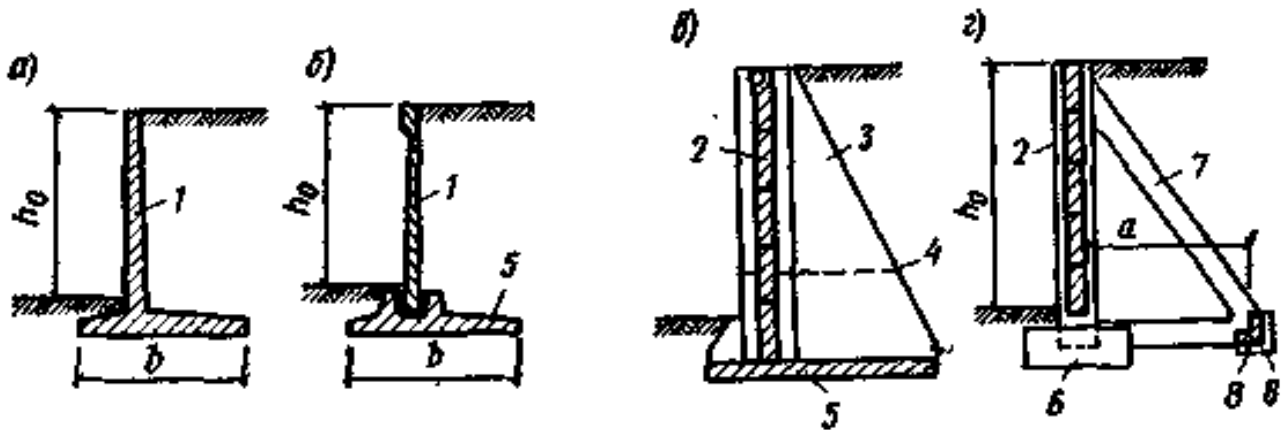
$M$  – епюри згинальних моментів

## РОЗДІЛ 2

### ЗАЛІЗОБЕТОННІ ПІДПІРНІ СТІНИ

#### 2.1 Конструкції залізобетонних підпірних стін

Залізобетонні підпірні стіни у порівнянні з кам'яними та бетонними є більш економічними. Їх застосовують переважно збірними. Розрізняють підпірні стіни куткові, з контрфорсами, анкерні (рис. 2.1).



- а) куткова з єдиних блоків;
- б) куткова зі збірних елементів;
- в) стінка з контрфорсами;
- г) анкерна підпірна стіна.

Рисунок 2.1 – Конструкції залізобетонних підпірних стін:

1 – стінова панель; 2 – панель-вкладиш; 3 – контрфорс; 4 – горизонтальні поздовжні ребра; 5 – опорна плита; 6 – фундамент; 7 – рама; 8 – анкерна балка

Куткові стіни застосовують, якщо повна висота підпірної стіни не перевищує 4,5 м. При більшій висоті більш економічними є анкерні стіни або

стіни з контрфорсами.

Куткові підпірні стіни можуть виготовлятися у вигляді єдиних блоків довжиною 2...3 м (рис. 2.1, а).

Існують розроблені типові конструкції збірних куткових підпірних стін, що складаються з двох елементів: стінової (лицевої) панелі та фундаментної плити (рис. 2.1, б). Передбачено висоти підпору ґрунту  $h_0$ , що дорівнюють 1,2...3,6 м з кроком 0,6 м. Номінальна довжина стінових панелей приймається 3 м, фундаментних плит – 3,0 і 1,5 м; ширина підосви  $b$  прийнята рівною 2,2; 2,5; 3,1 і 3,7 м. Враховано можливість встановлення фундаментної плити з нахилом підосви до  $7^\circ$  у бік масиву, що підпирається, для підвищення стійкості підпірної стіни проти зсуву.

В інших типах підпірних стін (рис. 2.1, в, г) огороження утворюється зі збірних стінових панелей, закладених у пази контрфорсів або рам. Контрфорси конструюють складеними з 2...3 частин. Їх встановлюють з кроком 2...3 м на збірні елементи опорної плити, з якою з'єднують зваренням металевих закладних деталей.

Рами анкерних підпірних стін розміщують через 4...5 м одна від іншої, спираючи їх на окремі фундаменти. Анкерна балка призначена для утримання всієї конструкції проти зсуву під впливом горизонтального тиску ґрунту. Відстань  $a$  (див. рис. 2.1, г) приймається рівною 0,3...0,6 висоти підпору  $h_0$ , якщо ґрунт має кут природного відкосу в межах  $30...45^\circ$ .

Також зустрічаються інші конструктивні рішення підпірних стін:

– зі зворотним ухилом стінової панелі, що підвищує стійкість стіни проти зсуву в горизонтальному напрямку (рис. 2.2, а);

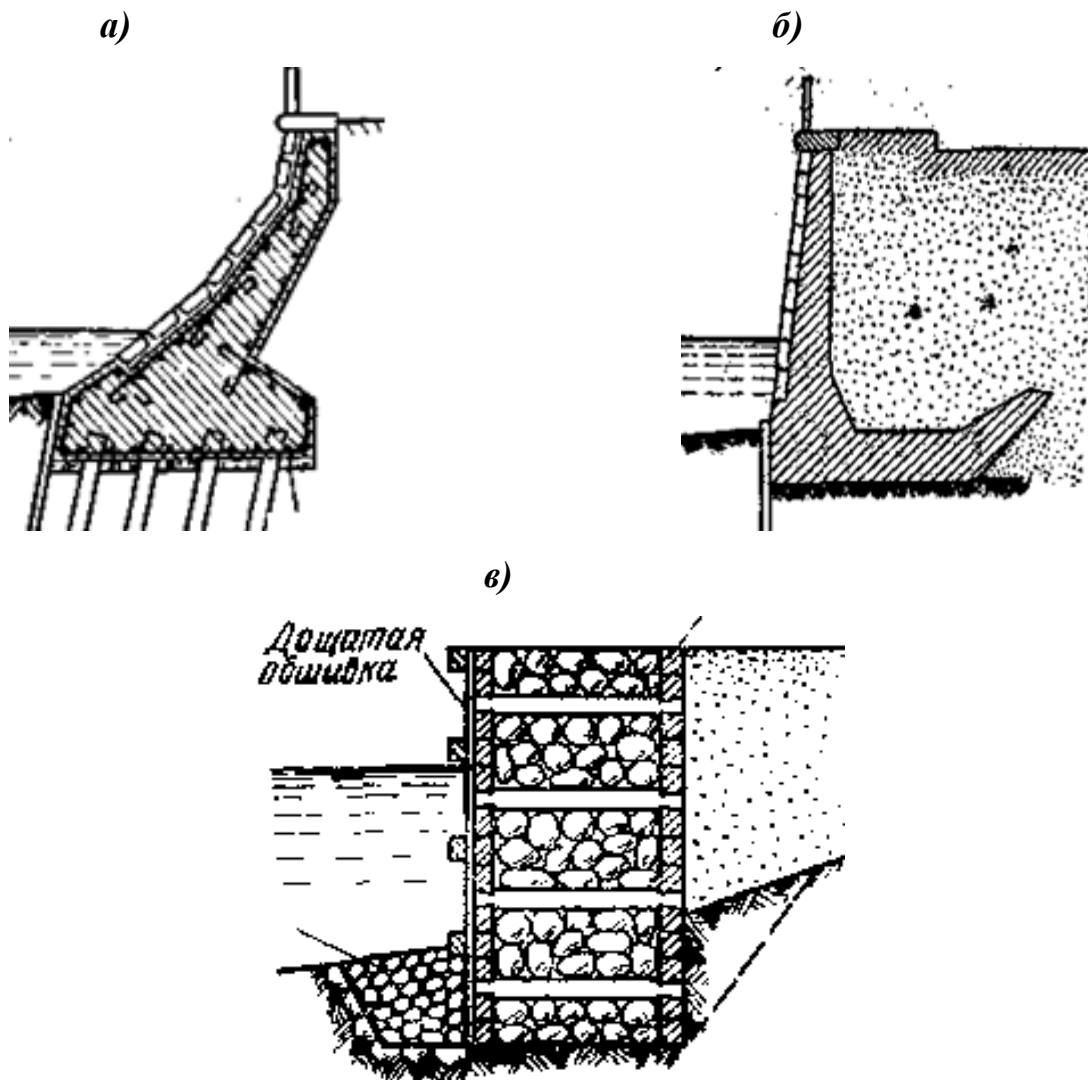
– з анкерним зубом нижче підосви опорної плити (рис. 2.2, б);

– з розвантажувальними майданчиками, що влаштовуються на проміжних рівнях висоти стінової панелі з її задньої сторони з метою зменшення ширини опорної плити;

– з ребристими стінами замість гладких для зменшення витрат бетону;

– ряжеві підпірні стіни, що збираються з дрібних балкових залізобетонних збірних елементів в клітини (подібно до дерев'яних ряжів), які заповнюються кам'яною накидкою (рис. 2.2, в) та інші.

За витратами матеріалу ряжеві стіни більш економічні за інші підпірні стіни, але дорожчі за монтажем.



- а) зі зворотним ухилом стінової панелі;
- б) з анкерним зубом нижче підшви опірної плити;
- в) ряжева підпірна стіни.

Рисунок 2.2 – Інші конструктивні рішення підпірних стін

## 2.2 Особливості розрахунку підпірних стін

Тиск ґрунту на елементи конструкцій підпірних стін, згідно до формул опору матеріалів, залежить від щільності ґрунту  $\gamma$ , кута природного відкосу ґрунту  $\varphi$ , кута нахилу задньої грані підпірної стіни, кута нахилу відкосу засипки вище підпірної стіни. У простому випадку, коли задня грань стіни вертикальна, а поверхня ґрунту над стіною горизонтальна, нормативне значення рівнодіючої горизонтальної тиску ґрунту на 1 м довжини стіни (рис. 2.3) визначається за формулою:

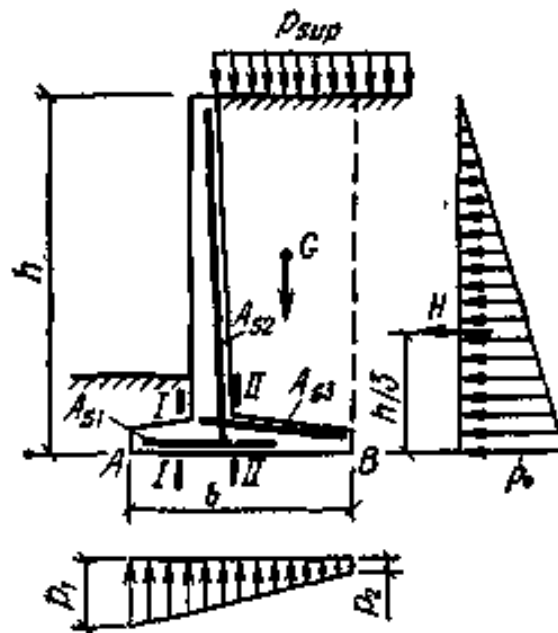


Рисунок 2.3 – Схема навантаження та армування підпірної стіни

$$H = 0,5\gamma h^2 \operatorname{tg}^2(45^\circ - 0,5\varphi).$$

Розподіл тиску ґрунту за висотою стіни приймається прямолінійним (трикутним), тому його рівнодіюча вважається прикладеною на відстані  $h/3$  від підшви, а значення інтенсивності в нижній точці дорівнює:



$$p_0 = 2H / h.$$

У звичайних умовах щільність ґрунту  $\gamma$  коливається в межах 1,6...1,9 т/м<sup>3</sup>, кут природного відкосу ґрунту  $\varphi$  – 30...45°. Коефіцієнт надійності за горизонтальним тиском на стіну приймається рівним  $\gamma_f = 1,2$ .

Рівномірно розподілене навантаження  $p_{sup}$ , що діє на верхньому рівні ґрунту та приймається з коефіцієнтом надійності  $\gamma_f = 1,3$ , приводиться до ваги шару ґрунту заввишки  $h_{sup} = p_{sup} / \gamma$  та враховується при визначенні рівнодіючої тиску на стіну за формулою:

$$H = 0,5\gamma h^2 \text{tg}^2(45^\circ - 0,5\varphi).$$

Попередньо ширину опорної плити  $b$  та її передню консоль приймають такими, щоб найбільше значення крайнього тиску на ґрунт під подошвою

$$\left. \begin{array}{l} P_A \\ P_B \end{array} \right\} = \frac{\sum G}{A} \pm \frac{\sum M}{W}$$

не перевищувало  $1,2 \cdot R_0$  при дотриманні умови, щоб середній тиск  $p_m = F / N \leq R_0$  та щоб наближено гарантувалася стійкість стіни проти перекидання та ковзання згідно співвідношенням:

$$M_h / M_v \geq 1,5; \quad \sum G\mu / H \geq 1,2.$$

У цих формулах:

$M$  – момент від усіх розрахункових зусиль, діючих на стіну відносно центра ваги подошви;

$A, W$  – відповідно площа та момент опору подошви;

$R_0$  – умовний розрахунковий тиск на ґрунт;

$M_v$  – перекидаючий момент від тиску ґрунту відносно переднього краю підшови (точка А на рис. 2.3);

$M_h$  – утримуючий момент, який гарантується вертикальними навантаженнями (вагою стіни та ґрунту на її виступах), обчислений відносно тієї ж точки;

$\Sigma G$  – сума вертикальних навантажень;

$\mu$  – коефіцієнт тертя бетону по ґрунту, що приймається в межах 0,3...0,6 залежно від виду та стану ґрунту.

Доцільно, щоб при цьому на краю внутрішнього виступу (точка В на рис. 2.3) тиск на ґрунт мав приблизно нульове значення.

Остаточно розміри підшови і консолі опорної плити підпірної стіни приймають згідно до результатів розрахунку основи за несучою здатністю та деформаціям відповідно до вимог нормативних документів щодо розрахунку основ будинків і споруд [35].

Зовнішній та внутрішній виступи опорної плити розраховують на згинання як консолі, жорстко закріплені відповідно в перетинах I-I і II-II. Зовнішня консоль завантажена тиском ґрунту знизу, а внутрішня – ще й ґрунтом, розташованим вище неї. Розрахункова кількість арматури  $A_{S1}$  і  $A_{S2}$  розміщується відповідно понизу та поверху опорної плити (див. рис. 2.3).

Від тиску  $H$  конструкцію стінової панелі розраховують так само, як консоль, що згинається, яка жорстко закріплена в опорній плиті. Розрахункова кількість арматури  $A_{S3}$  розташовується збоку внутрішньої поверхні стінової панелі.

На рис. 2.4 наведено приклад армування підпірної стіни куткового типу. Робочі стержні об'єднуються в сітки за допомогою монтажної арматури. Для економії арматури частина стержнів розміщується тільки в зонах дії найбільших згинальних моментів. Арматурна сітка С4 встановлюється за конструктивними міркуваннями.

Збірні стінові панелі розраховуються на дію горизонтального тиску

грунту як плити, що працюють за балковою схемою з прольотом від одного контрфорсу або рами до іншого контрфорсу або рами. Контрфорс розраховується як консоль, жорстко закріплена в опорній плиті. З'єднання збірних елементів розраховуються на сприйняття моментів і зусиль, що передаються через них.

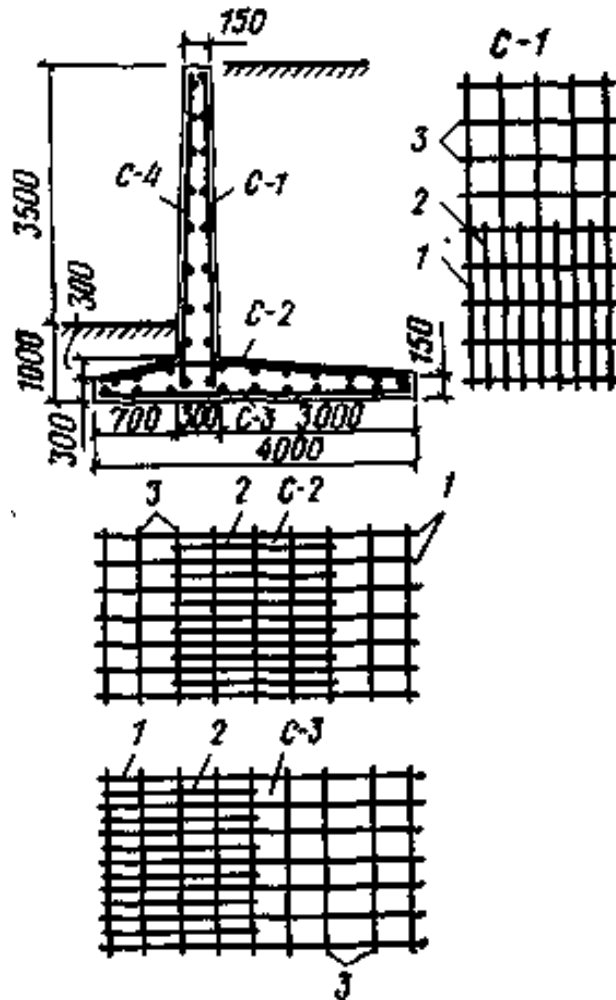


Рисунок 2.4 – Приклад армування куткової підпірної стіни:

- 1 – робочі стержні на всю довжину елемента; 2 – робочі стержні, що обриваються; 3 – розподільчі арматурні стержні

## РОЗДІЛ 3

### МОСТИ ТА МОСТОВІ ПЕРЕХОДИ

#### 3.1 Основні поняття та класифікація мостів

Міст – це споруда, що складається з прольотних конструкцій, які підтримують їздове полотно, та опор, що передають опорний тиск прольотних конструкцій на ґрунт.

Якщо у моста тільки дві опори, його називають однопрольотним, за наявності ж проміжних опор – багатопрольотним (рис. 3.1).

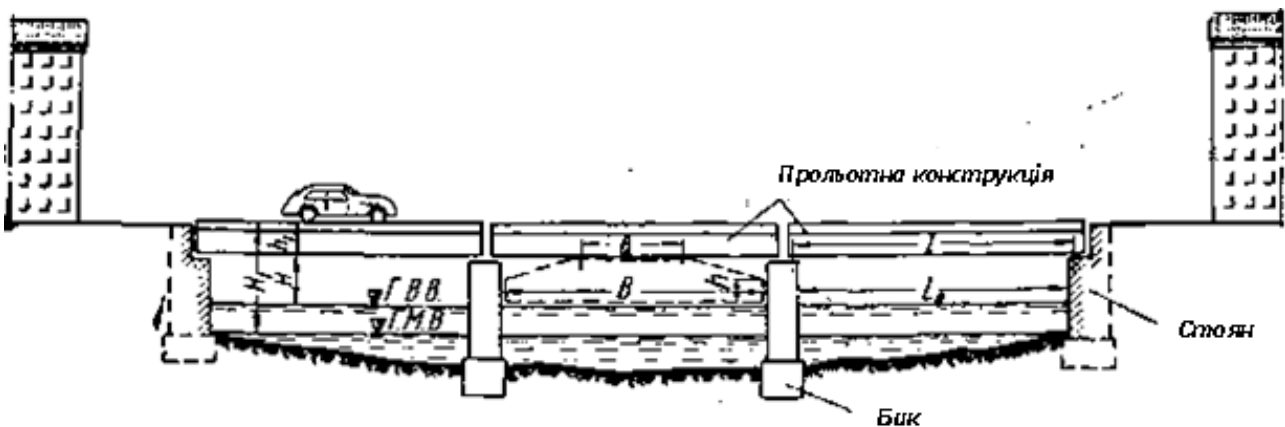


Рисунок 3.1 – Схема багатопрольотного мосту

Крайні опори, розташовані в місцях сполучення моста з берегами, називають стоянами; проміжні опори – биками.

Відстань між центрами опорних точок прольотних конструкцій називають розрахунковим прольотом.

Рівень води в річках коливається. У більшості річок України, окрім гірських районів, в літній час вода тримається на низькому рівні, який називається горизонт межених вод (ГМВ). У зимовий час вода стоїть

приблизно на тому ж рівні. Найвищий горизонт води, можливий на даній річці при паводках, називається горизонтом високих вод (ГВВ).

Вільна ширина дзеркала води під мостом за ГВВ називається отвором мосту. Для багатопрольотного мосту отвір визначається сумою відстаней у світлі між окремими опорами. Отвір вимірюється за ГВВ.

Відстань від поверхні проїзду по мосту до ГМВ називається висотою мосту  $H_1$ . Відстань  $H$  від низу прольотної конструкції до ГВВ або до найвищого судноплавного горизонту називається вільною висотою під мостом.

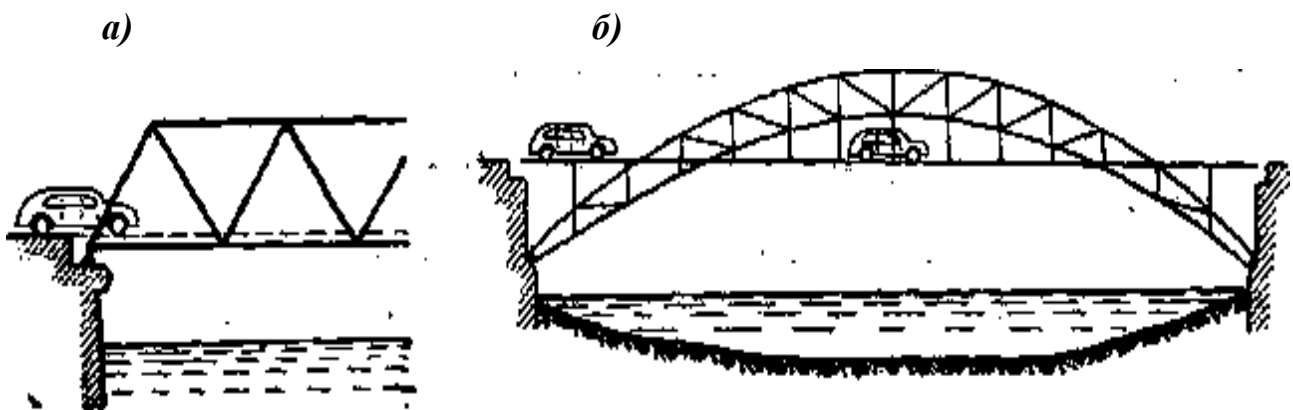
Відстань  $h_1$  від поверхні проїзду по мосту до найнижчих частин прольотної конструкції називається будівельною висотою моста.

Залежно від розташування рівня проїзду по мосту розрізняються:

1) мости з їздою поверху, якщо проїзна частина розташована на верхньому рівні прольотних конструкцій (рис. 3.1);

2) мости з їздою понизу, в яких проїзна частина розташована на нижньому рівні прольотних конструкцій (рис. 3.2, а);

3) мости із заниженою їздою або їздою посередині, якщо проїзна частина знаходиться в межах висоти прольотних конструкцій (рис. 3.2, б).



а) з їздою понизу;

б) з їздою посередині.

Рисунок 3.2 – Види мостів за рівнем проїзду

За матеріалом прольотних споруд мости можуть бути дерев'яні, кам'яні, бетонні, залізобетонні, металеві.

Залежно від виду навантаження розрізняються мости:

- 1) міські, призначені під автомобільний, трамвайний та пішохідний рух у міських умовах;
- 2) автодорожні – під всі види руху, що допускаються по автомобільних дорогах;
- 3) пішохідні – для пропуску тільки пішохідного руху;
- 4) залізничні – для пропуску тільки залізничного руху;
- 5) поєднані – для одночасного пропуску як автодороги, так і залізниці;
- 6) спеціального призначення – для трубопроводів, кабелів тощо.

Залежно від конструктивних особливостей та умов експлуатації мости поділяються на наступні основні види (рис. 3.3, а...в):

- звичайні (високого рівня, рис. 3.1...3.2);
- розвідні (рис. 3.3, а);
- трансбордери або мостові пороми (рис. 3.3, б);
- наплавні (рис. 3.3, в).

Крім мостів, у містах зустрічаються інші види інженерних споруд, конструкції яких аналогічні конструкціям мостів. До них відносяться шляхопроводи (рис. 3.3, г), естакади (рис. 3.3, д) і віадуки (рис. 3.3, е).

Звичайними або мостами високого рівня називають мости, розташовані на такій висоті над водою, при якій вони не перешкоджають пропуску високих вод, а також судноплавству або сплаву. У цих мостах величина  $H$  (див. рис. 3.1) має бути більше за величину судноплавного габариту для даної ріки. В разі відсутності на річці судноплавства або сплаву лісу величина  $H$  визначається безпекою пропуску під мостом високих вод.

Для тимчасового транспортного зв'язку на невеликій висоті над ГМВ інколи будують низьководні мости, які не здатні пропускати високі води та при паводках затоплюються або розбираються (демонтуються).

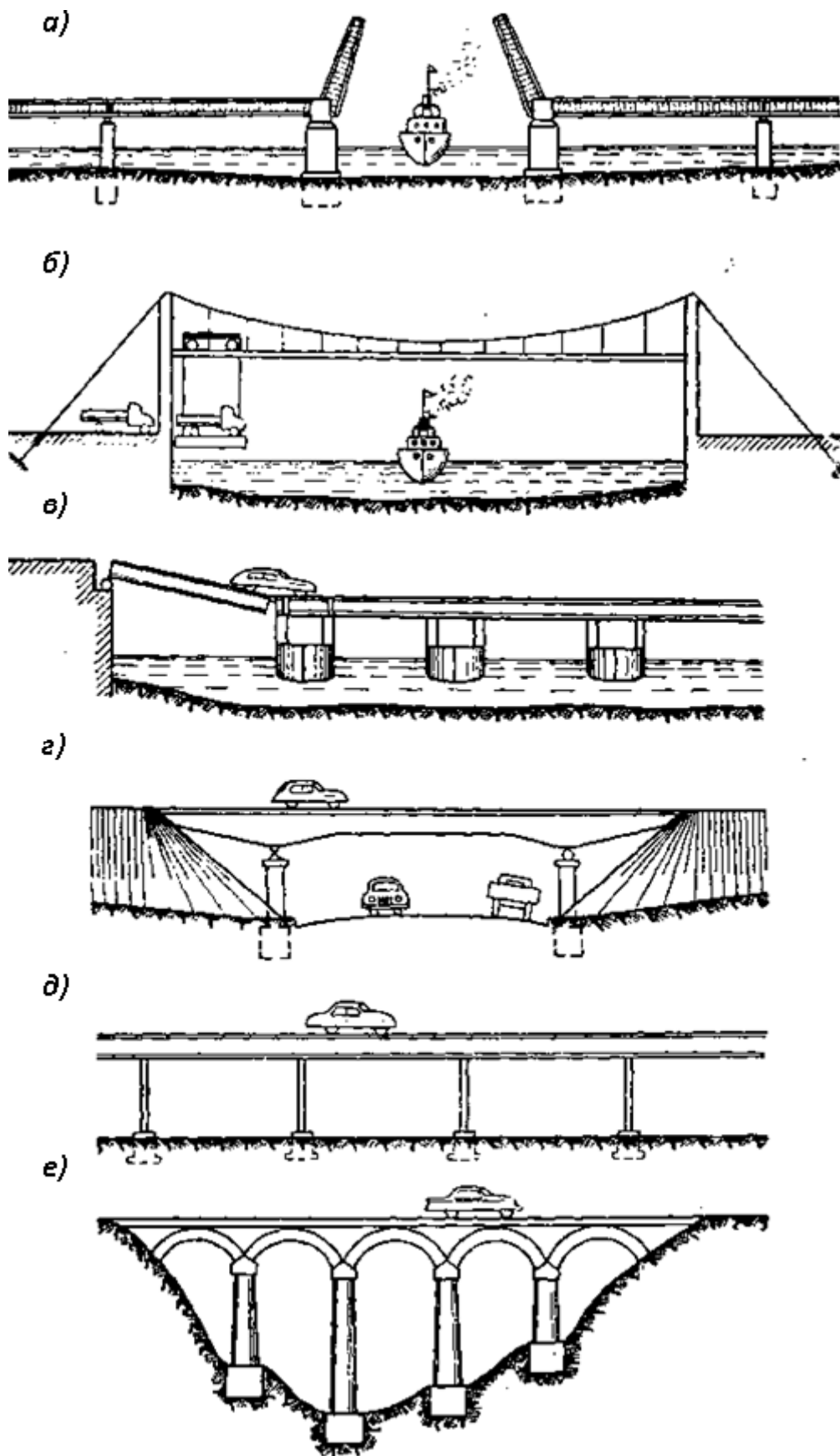


Рисунок 3.3 – Види мостів за конструктивними особливостями

Розвідними називають мости на постійних опорах, що мають рухливі прольотні конструкції, які піднімаються для пропуску суден (див. рис. 3.3, а). Розвідні прольоти влаштовують, якщо висота мосту недостатня для пропуску суден. Основний їх недолік полягає в неминучості перерв руху по мосту при розведеному прольоті та по річці при закритті розвідного прольоту.

Трансбордери або мостові пороми (див. рис. 3.3, б), влаштовуються для перетину широкого водного простору при слабкому русі. Трансбордер – це легка конструкція, що перекриває водну перешкоду та підтримує направляючі, по яких рухається візок з підвішеною платформою для перевезення.

Наплавними називаються мости на плавучих опорах (див. рис. 3.3, в). Вони застосовуються при перетині широких і/або багатоводних річок у випадках, коли будівництво моста на постійних опорах дороге, складне і не виправдовується передбачуваною інтенсивністю руху по мосту. Примітивним способом зв'язку між берегами багатоводних річок є паромна переправа.

Шляхопроводами називаються мостові споруди, призначені для перетину доріг у різних рівнях (див. рис. 3.3, г). Будівництво шляхопроводів в містах пов'язано з необхідністю незалежного пропуску транспорту при взаємному перетині двох вулиць з інтенсивним рухом, автомагістралі з міськими вулицями або при перетині вулиць із залізничними коліями.

Естакадою називається мостова споруда для пропуску руху над поверхнею землі (див. рис. 3.3, д) для того, щоб простір на поверхні землі міг бути використаним для інших цілей. У містах естакади часто влаштовуються для пропуску швидкісного автомобільного руху, метрополітену або залізниці.

Віадуки влаштовуються замість насипів при перетині дорогою глибоких улоговин, ярів або суходолів (див. рис. 3.3, е). При глибині перешкоди 15 м і більше будівництво віадуку виходить значно більш економічним за високий насип.

Мости та аналогічні їм інженерні споруди за конструктивною схемою поділяються на балочні, арочні, рамні та висячі.



Будь-який міст є відповідальною інженерною спорудою та повинен задовольняти низці архітектурно-планувальних, виробничих, експлуатаційних, розрахунково-конструктивних і економічних вимог.

Архітектурно-планувальні вимоги полягають у тому, що розташування моста в плані та профілі має прив'язуватися до генерального плану міста або детальних планів прилеглих районів. Положення мосту має бути зручним для транспортного сполучення між районами, що знаходяться на протилежних берегах, і забезпечувати найменший пробіг транспорту. Крім того, міські мости, як і всі інженерні споруди, повинні мати красивий зовнішній вигляд, що гармонує з архітектурним ансамблем навколишньої забудови. Це досягається чіткістю конструктивної схеми і архітектурного силуету моста. При цьому архітектурні вимоги необхідно пов'язати з конструктивними.

Виробничі та експлуатаційні вимоги полягають у зручному та безпечному русі по мосту. Міст слід розташовувати так, щоб всі види міського транспорту могли їздити по ньому зручно та безперешкодно. Ширина їздового полотна має відповідати розрахунковій пропускній спроможності з урахуванням перспективи зростання руху. Полотно проїзної частини виготовляють з міцного та зручного для руху матеріалу. Має бути передбачене відведення дощової води з поверхні полотна. Схема мосту, величини прольотів і висота прольотної конструкції над горизонтом води в річці мають задовольняти вимогам судноплавства. Конструкція мосту має забезпечувати встановлений термін експлуатації й можливість зручного огляду, технічного обстеження та ремонту її елементів; в той же час зручною для виготовлення й монтажу, такою, що дозволяє максимально механізувати будівельні роботи. Міські мости, як правило, влаштовуються з їздою зверху. Вони краще відповідають виробничим, експлуатаційним, а також архітектурним вимогам, простіші за конструкцією та умовами монтажу. Проїзна частина таких мостів захищає прольотні конструкції від атмосферних опадів. У міських умовах міст з їздою поверху не порушує загального виду навколишньої забудови. У зв'язку з цим в міських мостах їзда

понизу допускається тільки у виняткових випадках, якщо будівництво моста з їздою поверху дороге або неможливе за умовами вертикального планування.

Розрахунково-конструктивні вимоги визначаються тим, що споруда в цілому, а також окремі її елементи мають бути міцними, жорсткими й стійкими. Умова міцності полягає в тому, щоб напруження у всіх елементах і з'єднаннях не перевищували допустимих значень. Стійкість споруди визначається її здібністю зберігати первинну форму та положення при дії будь-яких зовнішніх навантажень. Вимоги до жорсткості споруди полягають в тому, що її деформації при дії навантажень не мають перевищувати допустимих величин. Якщо міст або окремі його елементи недостатньо жорсткі, то при русі можуть виникати значні вібрації, що ослаблюють з'єднання елементів, що може привести до руйнування конструкції. Великі прогини прольотної споруди приводять до шкідливих для конструкції провисань.

Економічні вимоги полягають в необхідності вибору такого проектного рішення, що вимагає найменшої витрати коштів і матеріалів для спорудження мосту при якомога меншому обсязі трудомістких робіт. Проте оцінка економічності споруди тільки за будівельною вартістю недостатня: також необхідний облік експлуатаційних витрат на ремонт і відновлення конструкцій.

### 3.2 Вибір місця розташування мостового переходу в місті

Вибір місця переходу через річку в місті або на підходах до нього та розташування моста по відношенню до річки залежать насамперед від тієї ролі, яку має міст як елемент вуличної мережі, від характеру планування прилеглих районів, а також від передбачуваної інтенсивності руху міського транспорту.

При виборі місця переходу велике значення мають розміри річки, вимоги судноплавства, а також топографічні та гідрогеологічні умови місцевості.

У містах, розташованих на великих річках, необхідність в будівництві

мосту виникає, якщо місто розташовується на обох берегах або знаходиться на одному березі, але вимагає зв'язку з районами, передмістями, населеними пунктами або промисловими майданчиками, що знаходяться на іншому березі.

При виборі місця переходу через велику річку необхідно враховувати її гідравлічний режим, рельєф місцевості та геологічні умови, які мають настільки велике значення, що розташування мосту доводиться підпорядковувати саме їм. Тому мости, призначені для зв'язку міста з об'єктами, що знаходяться на іншому березі (заріччі), розташовуються на найбільш придатних ділянках річки, навіть у шкоду зручності руху або планувальним міркуванням (рис. 3.4).

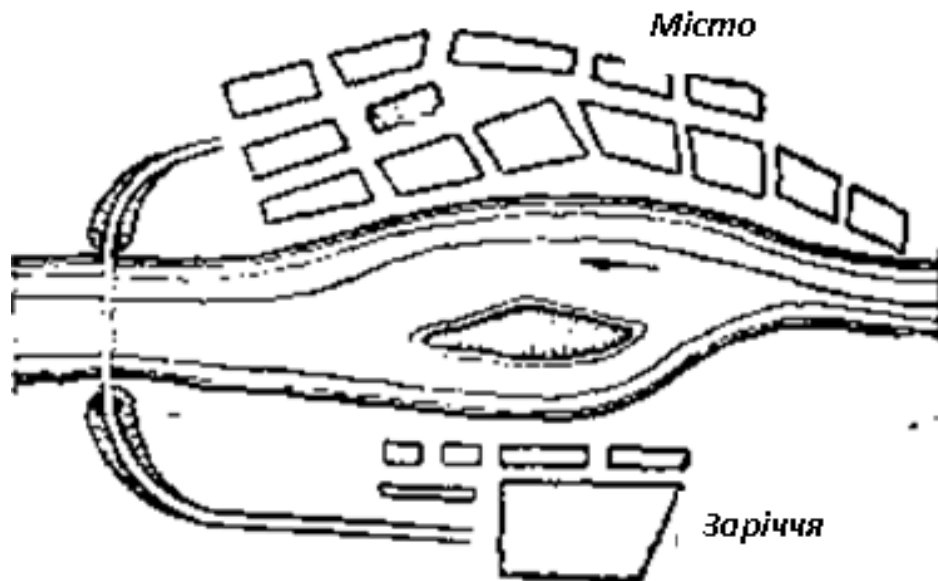


Рисунок 3.4 – Розташування моста на місцевості

Якщо місто розташоване на обох берегах великої річки, планувальні вимоги мають значно більше значення, але гідрогеологічні й топографічні умови все ж залишаються основними. Аналогічно вирішується задача вибору місця переходу річки в невеликих містах і населених пунктах.

Якщо в місці, де передбачається будівництво мосту, міська забудова ще не підійшла до річки або підлягає реконструкції, розташування мостового переходу вибирається таким чином, щоб воно було найбільш сприятливим за

топографічними, геологічними та гідрологічними умовами. Далі планування забудови прилеглих до мосту районів ув'язується з розташуванням мосту.

З точки зору гідравлічного режиму річки, умов безпеки та зручності судноплавства, місце мостового переходу має також задовольняти наступному.

1. Ділянка зі стійким розробленим руслом, без островів, із заплавами найменшої ширини.

2. Напрямок течії під час проходження високих вод має якнайменше відхилятися від напрямку течії вод при меженному горизонті. Цій вимозі більшою мірою задовольняє перетин річок на ділянках плесо (рис. 3.5).

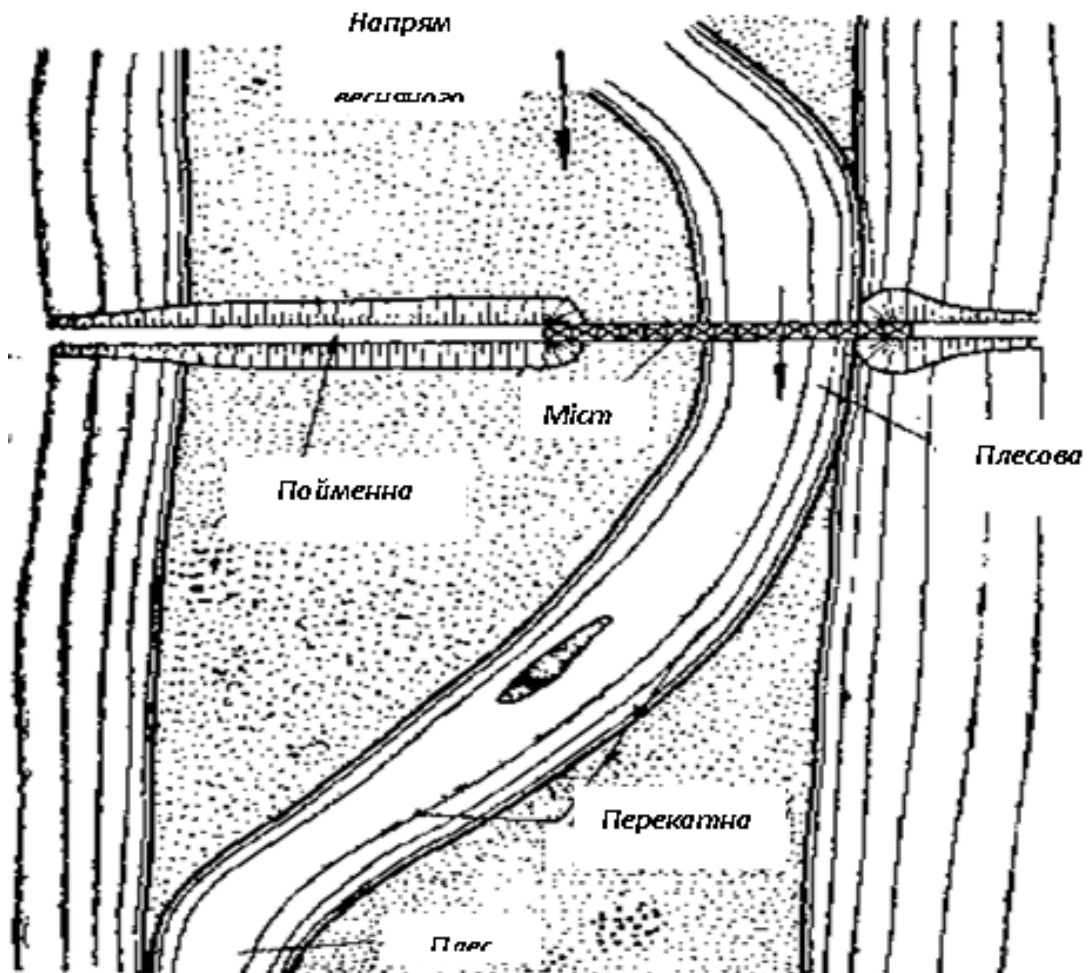


Рисунок 3.5 – Перетин ріки на ділянці плесо

Мостовий перехід прагнуть розташовувати перпендикулярно як

головному руслу, так і долині річки, по якій рухається річковий потік при високому паводку. Для зручності судноплавства бажано, щоб головне русло в місці переходу було прямою ділянкою, довжина якої вище за течією була б не менше подвійної довжини суднового каравану, а нижче за течією – не менше довжини каравану.

3. Міст має бути віддалений від ділянок перекатів річки не менш як на дво-трикратну довжину суднового каравану. Його не слід розташовувати на ділянках річки, де судновий хід направлений від одного берега до іншого. При будівництві мостового переходу на ділянці, де напрям головного русла не збігається з напрямом руху високих вод, вісь мосту на судноплавних річках декілька відхилюють від нормалі до основного русла річки у бік зближення з нормаллю до напрямку паводкового потоку. На несудохідних річках вісь моста орієнтують по нормалі до напрямку розливу з деяким відхиленням у бік зближення з нормаллю до головного русла. Це також враховується при проектуванні опор, постійних споруд і підходів до мосту.

4. У великих містах з інтенсивним рухом транспорту, в яких забудова здійснюється по затвердженому плану, розташування мостів повністю підлаштовується під планування міста та вимоги зручності руху. Міст в цих випадках є елементом вуличної мережі та разом з тим – складовою частиною архітектурного ансамблю навколишньої забудови.

5. Мости через широкі багатоводні річки у великих містах розташовують на трасах вулиць, що прямують до річки. Вісь мосту бажано направляти перпендикулярно до річки. Якщо вулиця перетинає річку під гострим кутом, то й міст проектується косим (рис. 3.6). У багатопрольотних косих мостах бики слід розташовувати за напрямом течії.

6. Мости через малі річки у великих містах на користь планування вулиць і організації руху транспорту часто розташовують абсолютно не зважаючи на напрям течії річки, застосовуючи як косі перетини, так і криволінійні.

7. При виборі місця для міського мосту велике значення має зручність

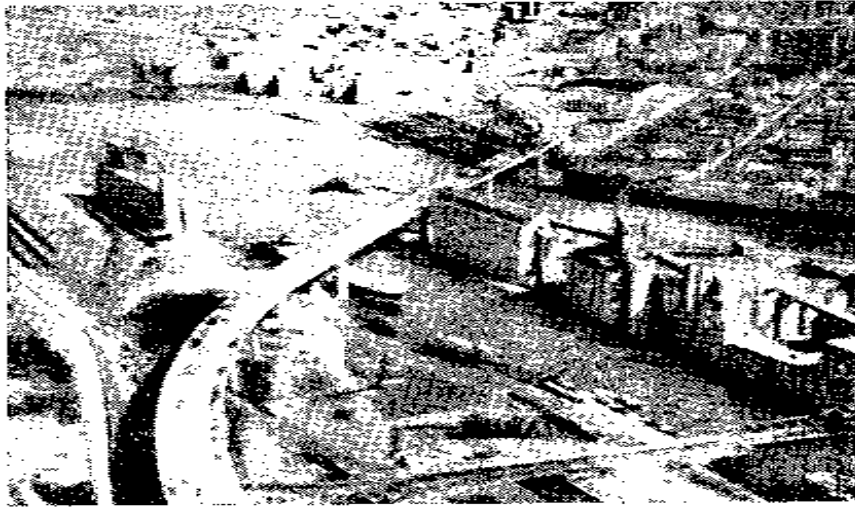


Рисунок 3.6 – Перетин ріки на ділянці плесо

руху по ньому транспорту. Міст бажано розташовувати так, щоб транспортні витрати потоків руху, що проходять через нього, були найменшими.

Задача визначення такого розташування моста може бути вирішена приблизно наступним чином. Якщо відома інтенсивність потоків руху на окремих напрямках в районі розташування мосту, то можна позначити їх через  $W_1$ ,  $W_2$ ,  $W_3$ , враховуючи для кожного потоку рух в обох напрямках (рис. 3.7). Щоб досягти мосту, транспорт повинен проходити по вуличній мережі відповідну відстань до берега річки, а також відстань вздовж річки до мосту.

Шлях, який проходить транспорт за нормаллю до річки, є змінним і залежить від місця розташування мосту. Натомість шлях, який проходить транспорт паралельно річці, залежить від положення мосту. Робота транспорту при русі через міст і транспортні витрати найменші, якщо сума добутків інтенсивності окремих потоків на відстані, які вони проходять вздовж річки до місця розташування моста, буде мінімальною. Для цього треба вибрати на річці довільну точку й позначити відстані від неї до пунктів, що визначають довжину шляху уздовж річки, що проходить кожний заданий потік руху, через  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ . Відстань від крапки  $O$  до місця розташування моста позначимо через  $x$ .

Роботу транспорту на шляху, який він проходить вздовж річки до місця

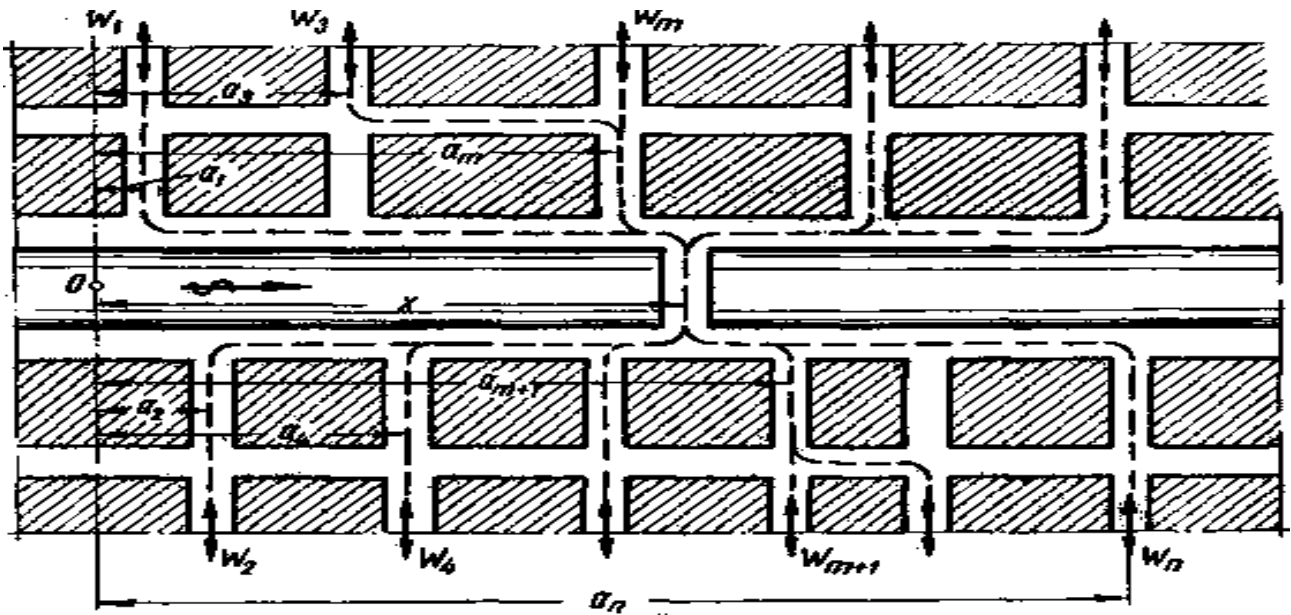


Рисунок 3.7 – Схема потоків міського транспорту в районі розміщення мосту

розташування мосту, можна виразити так – для потоків, що примикають до річки вище за течією:

$$\sum_1^m W_i(x - a_i) ;$$

для потоків, що примикають до річки нижче мосту за течією:

$$\sum_{m+1}^n W_i(a_i - x)$$

Умова мінімуму сумарної роботи транспорту наступна:

$$\frac{d}{dx} \sum_1^m W_i(x - a_i) + \frac{d}{dx} \sum_{m+1}^n W_i(a_i - x) = 0 ,$$

звідки одержується:

$$\sum_1^m W_i = \sum_{m+1}^n W_i$$

Найвигідніше місце розташування мосту, що забезпечує мінімум транспортних витрат, має задовольняти умові, при якій суми інтенсивності потоків руху з верхової та низової сторін рівні між собою. Міст доцільно орієнтувати за віссю вулиці, найближчої до місця найвигіднішого його розміщення. Наведений вище теоретичний метод не може повною мірою обґрунтувати найбільш доцільне розміщення міського моста на річці.

8. У реальних умовах вибір місця мостового переходу в місті залежить від планувальних, архітектурних, транспортних, топографічних, геологічних, гідрологічних та інших чинників. Проте наведене вище теоретичне рішення все ж надає деякі передумови економічного характеру, корисні для вибору раціонального місця мостового переходу в місті.

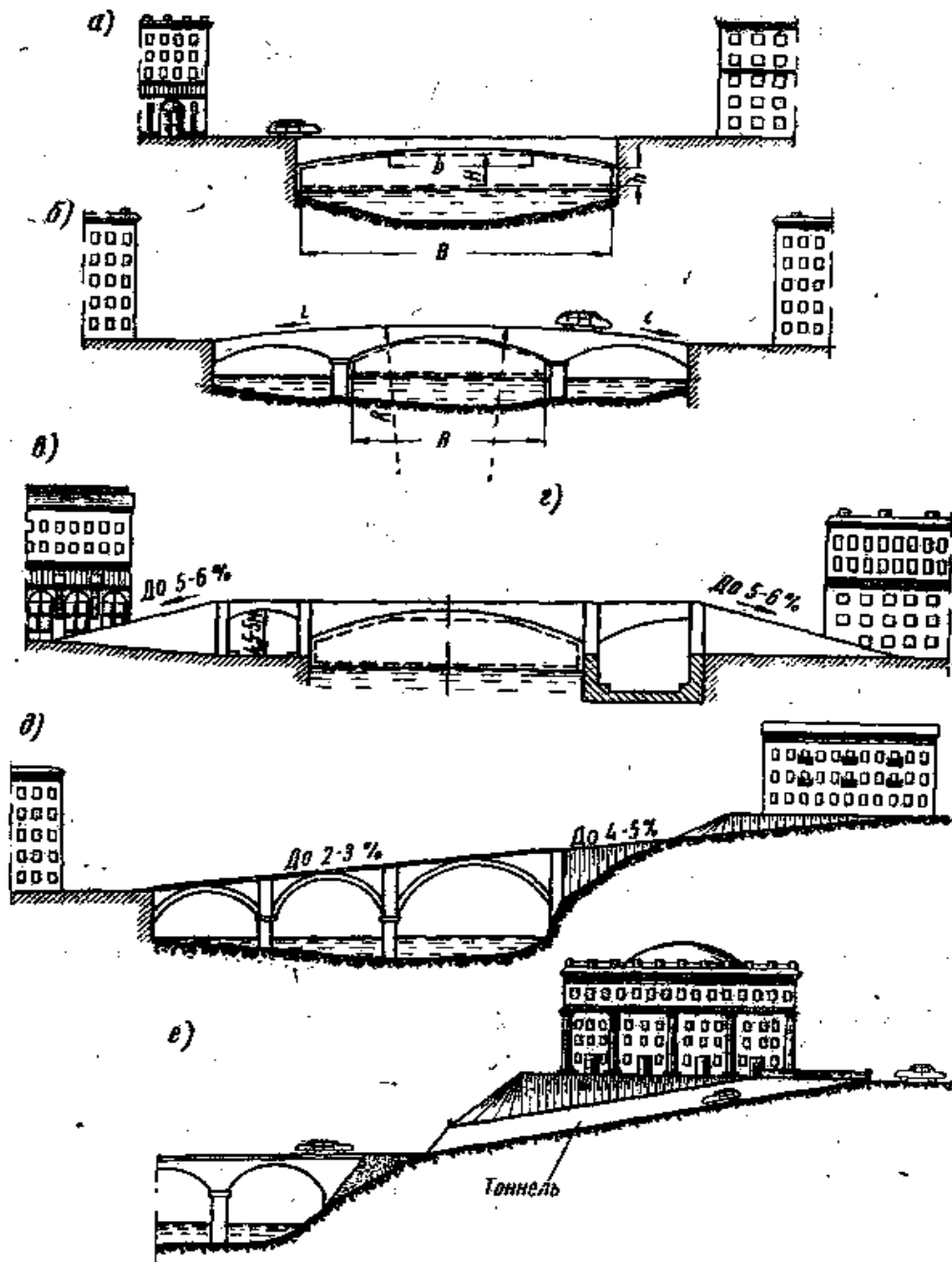
### 3.3 Розташування міських мостів в профілі

Розташування міських мостів в профілі, або їх вертикальне планування залежить від низки факторів – рельєфу берегів в місці переходу, розрахункових горизонтів води в річці, що перетинається, вимог судноплавства, умов міського руху і т.д. Залежно від сукупності умов проектування вертикальне планування міського мосту може здійснюватися різними способами.

У випадках, якщо різниця відміток між рівнем набережних і верхом судноплавного габариту достатня для розміщення в цих межах мосту прольотних конструкції, а також якщо рух вздовж набережної невеликий і може бути розв'язаним в одному рівні, міст розташовується в одному рівні з набережними (рис. 3.8, а). З погляду зручності руху транспорту, а також в архітектурному відношенні таке рішення є якнайкращим.

Якщо судноплавний габарит не розміщується під мостом, розташованим в одному рівні з набережними, то міст влаштовується з двобічним схилом (рис. 3.8, б). Поздовжні уклони мосту не мають перевищувати 2...3 %; зустрічні





- а) в одному рівні з вулицями;
- б) з двобічним схилом;
- в) з рампами;
- г) шляхопровід нижче рівня води;
- д) з одnobічним схилом;
- е) з під'їздом у вигляді тунелю.

Рисунок 3.8 – Вертикальне планування міських мостів

уклони мають сполучатися з вертикальною кривою радіусом не менше 400 м.

Якщо вимоги судноплавства примушують підняти міст настільки високо, що розташувати його кінці в одному рівні з набережними неможливо, то доводиться влаштовувати підходи до мосту у вигляді спеціальних похилих в'їздів – рамп (рис. 3.8, в). Їх уклін не має перевищувати 4...4,5 % і лише у виняткових випадках може скласти 5...6 %. Похилі в'їзди на досить велику довжину входять в прилеглі вулиці або передмостові площі. Рух вздовж набережної в цьому випадку пропускають через спеціальні шляхопроводи, при недостатній їх висоті може здійснюватися опускання рівня проїзду по набережній навіть нижче за рівень води у річці (рис. 3.8, г).

Місцеві топографічні умови інколи примушують вдаватися до особливих рішень при вертикальному плануванні мосту. Наприклад, якщо один берег значно вищий за інший, доцільно будівництво мосту з однобічним схилом (рис. 3.8, д). Величина схилу мосту не має бути більше 2...3 %. При високому крутому березу під'їзд може влаштовуватися у вигляді тунелю (рис. 3.8, е) або спрямований вздовж схилу високого берегу та пов'язаний з мостом кривою. У всіх випадках найбільший уклін під'їздів не має перевищувати 4...5 %.



Рисунок 3.9 – Характерні ділянки мостового переходу через широку річку

У випадку будівництва мосту на широкій багатководній річці, коли вибір місця переходу в основному визначається режимом річки, топографічними та геологічними умовами, траса мостового переходу зазвичай має наступні характерні ділянки (рис. 3.9): I – міст; II – спуск з мосту на заправну насип; III –

заплавна насип; IV – спуски з берегів річкової долини на заплавну насип і міст. Відмітка проїзду по мосту залежить від розмірів підмостового габариту та будівельної висоти прольотних конструкцій. Відмітка бровки заплавного насипу повинна підноситися не менше ніж на 0,5 м над розрахунковим високим рівнем води у верхового скосу насипу. Розрахунковий рівень визначається з урахуванням висоти хвилі з набігом, а також наростання горизонту води вздовж насипу від основи моста до границі розливу.

Якщо річкою необхідно пропускати великі судна, а підйом рівня мосту на велику висоту неможливе з планувальних міркувань, то влаштовується розвідний міст. В цьому випадку розвідний проліт розміщують в найбільш зручному для судноплавства місці та призначають йому розміри, що відповідають судноплавним вимогам; відмітку ж проїзду мостом призначають однаковою з відміткою набережних або близькою до неї.

У поздовжньому профілі мостового переходу треба уникати переломів профілю та будівництва увігнутих вертикальних кривих в місцях сполучення мосту з під'їздами. Кінець вертикальної кривої має розташовуватися не ближче 10 м від початку мосту.

Міські мости, особливо короткі, часто розташовують на горизонтальних площадках. Проте для поліпшення водовідводу з проїзної частини моста, що здійснюється на горизонтальній площі тільки за рахунок поперечного схилу, на довгих мостах слід робити одно- або двобічний схил з уклоном не менше 1 %.

У випадках, якщо сполучення мосту з вулицями, що примикають до нього, здійснюється за допомогою передмостових площ, їх поздовжні схили не мають бути більше 2 %, а поперечні – 1...1,5 %.

При вертикальному плануванні з'їздів, які служать для зв'язку мосту з набережними, має приділятися особлива увага вертикальному плануванню. Окремі ділянки з'їздів, на яких відбуваються круті повороти автотранспорту, треба влаштовувати з пологими схилами. На кривих крутих радіусах, за якими проводяться праві повороти з рамп мосту на з'їзди до набережних і при виїзді з

цих з'їздів на рампи мосту, а також на сполученнях з'їздів і набережних, уклони схилів слід приймати у межах 2...2,5 %.

Вертикальне планування міських мостів має не лише забезпечувати зручність руху транспорту та відповідати архітектурно-планувальним вимогам, але й вирішувати питання водовідводу з проїзної частини, тротуарів і під'їздів.

### 3.4 Призначення кроку та ширини міських мостів

У випадках, якщо у місті проектується єдиний міст, що зв'язує райони, розташовані на різних берегах, а також при будівництві мосту на виходах з міста, ширину його призначають, виходячи з пропускної спроможності вулиці або дороги, на якій передбачається міст.

У випадках, якщо місто розташовується на обох берегах річки, займаючи значну її довжину та якщо потрібний пропуск великих пасажирських і вантажних потоків, виникає необхідність будівництва декількох мостів.

Ширину міського мосту призначають залежно від розрахункового потоку руху з урахуванням перспективи його зростання, при цьому ширину пов'язують з плануванням і шириною вулиць, що примикають до мосту.

Якщо міст перетинає невелику річку та вздовж неї немає набережних, ширину мосту, як правило, приймають рівною ширині вулиці.

Якщо річка широка та міст через неї має значну довжину, ширина мосту може прийматися менше ширини вулиць, що підходять до нього.

Звуження проїзної частини мосту допустимо, тому що забороняється зупинка автотранспорту, й ширина їздового полотна може бути зменшена за цих умов на ширину двох смуг руху. Звуження проїзної частини можливе, якщо ширина її на мосту достатня для пропуску розрахункового потоку руху.

Якщо вулиця, що йде через міст, розташовується в одному рівні з проїздами вдовж набережних, то на передмостових площах має

організовуватися розв'язка взаємно пересічних потоків руху.

При інтенсивному русі по мосту та набережних, а також при примиканні до мосту декількох вулиць, можна влаштувати передмостову площу з нерегульованим безперервним кільцевим рухом.

Виїзди та в'їзди на міст мають розглядатися в кожному конкретному випадку з урахуванням інтенсивності руху, застосовуючи при цьому рампи.

У складних випадках сполучення мосту з прилеглими вулицями розв'язки транспортного вузла можуть бути різноманітними. За всіх умов треба прагнути до такого рішення, щоб пропускна спроможність передмостової площі та виїздів на міст не була менше пропускної спроможності самого мосту.

Ширину проїзду на мосту визначають залежно від виду транспорту, що рухається через нього. Смугу трамвайному руху та ширину тротуарів призначають відповідно до розмірів вулиці, яка примикає до мосту, але при обов'язковому дотриманні встановлених стандартних габаритів.

Залежно від виду руху встановлено наступні габарити міських мостів.

Найменша ширина тротуарів в міських мостах – 1,5 м. При інтенсивному пішохідному русі вона може бути збільшена на величину, кратну 0,75 м. На мостах, де пішохідний рух не передбачений, тротуари можуть бути замінені службовим проходом шириною 0,75 м.

За наявності трамвайного руху під його полотно відводять смугу шириною 6,6...6,8 м (для двох колій) залежно від місця розташування доріг в поперечному перерізі мосту (рис. 3.10, г, д). Повна ширина проїзної частини мосту між бордюрами призначається 13,6; 19,6; 24,6 м – при розташуванні трамвайних колій по вісі мосту, та 13,3; 18,8 або 24,8 м при однобічному.

У мостах, призначених для пропуску тільки трамвайного руху, розміри габариту приймають відповідно до схем, наведених на рис. 3.10, е, ж.

Найменша висота підвіски контактного дроту в мостах з їздою зверху приймається не менше 5,25 м (рис. 3.10, г, ж); в мостах з їздою низом, посередині та під шляхопроводами – не менше 4,2 м.

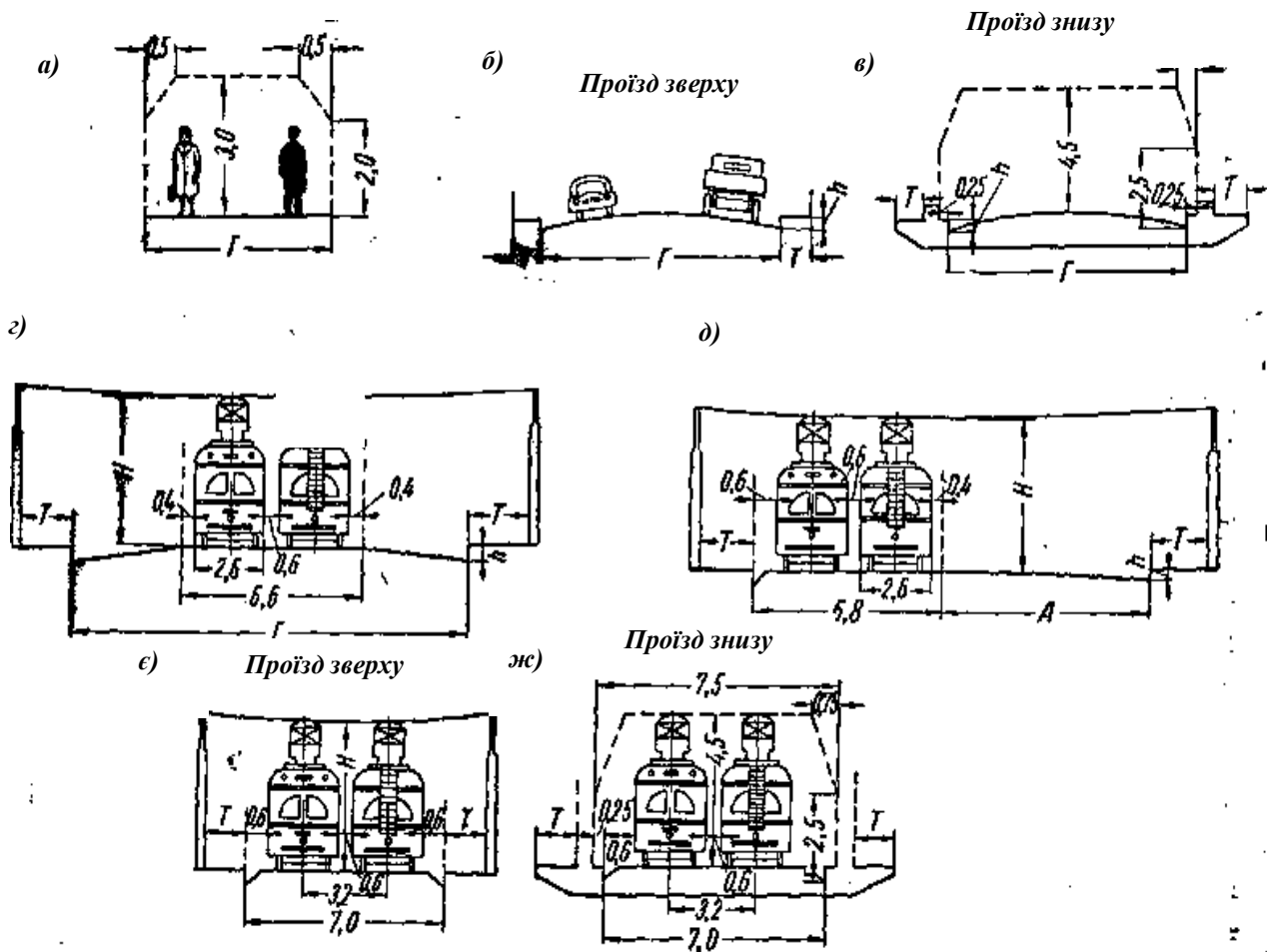


Рисунок 3.10 – Габарити міських мостів

Висота бордюрів з боків їздового полотна за нормами має прийматися рівною 0,20...0,18 м. Проте досвід експлуатації мостів показує, що ця висота (особливо в зимовий час) недостатня для забезпечення безпеки автомобільного руху. Тому на міських штучних спорудах висоту бортів, що захищають їздове полотно, слід приймати більшою – наприклад, на мостах 30 см, на шляхопроводах – 40 см.

Наведені вище габарити мостів з їздою низом можуть бути використані при призначенні основних розмірів міських тунелів.

## КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Для чого призначені канали?
2. Як розраховують контрфорс підпірної стіни?
3. Кратній якому модулю приймають висоту поверхів багатоповерхової будівлі?
4. Як враховується вплив податливості стиків вертикальних діафрагм багатоповерхових будівель при розрахунку?
5. Для чого призначені тунелі?
6. Як розміщують розрахункову арматуру самої підпірної стіни?
7. Перерахувати найбільш поширені сітки колон багатоповерхових каркасних будівель.
8. Як розглядають міжповерхові перекриття в розрахунковій схемі багатоповерхових будівель?
9. Перерахувати типи каналів.
10. Як розраховують конструкцію самої підпірної стіни?
11. Перерахувати основні несучі конструкції багатоповерхового каркасного будинку.
12. Що повинні відображати розрахункові схеми в'язевих систем багатоповерхових будівель?
13. Перерахувати типи тунелів.
14. Як розміщують розрахункову арматуру опорної плити підпірної стіни?
15. Перерахувати системи забезпечення просторової жорсткості багатоповерхової будівлі.
16. Що повинні відображати розрахункові схеми рамно-в'язевих систем багатоповерхових будівель?
17. На якій відстані від поверхні землі розташовують покриття підземних каналів?
18. Як розраховують зовнішній і внутрішній виступи опорної плити підпірної

стіни?

19. Чим забезпечується просторова жорсткість будівлі по рамної системі?
20. Як армують залізобетонні панелі несучих стін багатоповерхових будинків?
21. В яких місцях влаштовують деформаційні шви по довжині тунелю?
22. Як завантажена внутрішня консоль опорної плити підпірної стіни?
23. Чим забезпечується просторова жорсткість будівлі по в'язевий системі?
24. Як армують бетонні панелі несучих стін багатоповерхових будинків?
25. З якою періодичністю влаштовують деформаційні шви по довжині тунелю на прямих ділянках?
26. Як завантажена зовнішня консоль опорної плити підпірної стіни?
27. Перерахувати типи обпирання плит перекриттів багатоповерхових каркасних будівель.
28. З якого бетону і якої товщини виконують панелі несучих стін панельних багатоповерхових будівель?
29. З яких елементів komponують збірні канали і тунелі?
30. Згідно чого приймають остаточні розміри підшви і виносу підпірної стіни?
31. У чому полягає конструкція безбалкових перекриттів багатоповерхової будівлі?
32. Які класи бетону використовують для монолітних ядер жорсткості багатоповерхових будівель і як їх армують?
33. Яким чином можна розташовувати лотки та плити при komponуванні каналів?
34. Як враховують рівномірно розподілене навантаження, що знаходиться на верхньому рівні ґрунту?
35. Як забезпечується просторова жорсткість будівлі з безбалковими перекриттями?
36. Як встановлюється товщина стінок ядер жорсткості багатоповерхових будівель?
37. З яких елементів komponують збірні тунелі?



38. Яким має бути тиск на ґрунт біля краю внутрішнього виступу підпірної стіни?
39. Як здійснюють стик ригелів збірних рам з колонами багатоповерхових будівель?
40. Перерахувати елементи збірних вертикальних зв'язевих діафрагм багатоповерхових будівель.
41. Який клас бетону застосовують для влаштування збірних каналів і тунелів?
42. Виходячи з чого беруть попередню ширину опорної плити підпірної стіни і її винесення?
43. Як розташовують стик елементів колон збірного каркаса багатоповерхової будівлі?
44. Як досягається збільшення несучої здатності колон постійного по висоті перерізу на нижніх поверхах багатоповерхових будівель?
45. Яку арматуру застосовують для влаштування збірних каналів і тунелів?
46. Яким приймається розподіл тиску ґрунту по висоті підпірної стіни?
47. Якими виконують стики багатоповерхових збірних рам?
48. Яким чином забезпечують вільне планування в багатоповерхових будівлях з центральним ядром жорсткості?
49. Яким способом зводять канали і тунелі неглибокого закладення?
50. Від яких параметрів залежить тиск ґрунту на підпирні стіни?
51. Чому стики багатоповерхових збірних рам виконують жорсткими?
52. Перерахувати конструктивні схеми багатоповерхових будівель.
53. Які навантаження необхідно враховувати в розрахунках каналів і тунелів?
54. Перерахувати можливі конструктивні рішення підпирних стін.
55. Яку арматуру використовують у збірних ригелях багатоповерхових будівель прольотом 6 м?
56. Як забезпечується просторова жорсткість панельних багатоповерхових будівель?
57. Як приймають навантаження від автотранспорту для тунелів під

автодорогами?

58. Для чого призначена анкерна балка підпирних стін анкерного типу?

59. Яку арматуру використовують у збірних ригелях багатоповерхових будівель прольотом 9 м?

60. Що служить основними несучими конструкціями в панельних багатоповерхових будівлях?

61. Як приймають навантаження від автотранспорту для тунелів у загальному випадку?

62. Для чого передбачена можливість установки підпірної стіни з нахилом підшви?

63. Як армують колони багатоповерхових будівель?

64. Чим забезпечується просторова жорсткість будівлі по рамно-в'язевій системі?

65. Під яким кутом зосереджені навантаження, розташовані на поверхні землі, розподіляються в ґрунті?

66. Які висоти підпору ґрунту передбачені для влаштування куткових підпирних стін?

67. Які навантаження сприймаються жорсткими стиками колон багатоповерхових рам?

68. Як досягається забезпечення спільної роботи різнотипних вертикальних конструкцій в багатоповерховому будинку при дії горизонтальних навантажень?

69. Чим в підземних спорудах врівноважується вертикальне навантаження від перекриття і стін?

70. З яких елементів складаються збірні куткові підпирні стіни?

71. Як досягається зменшення згинального моменту в стиках колон багатоповерхового каркаса будівлі?

72. Перерахувати основні несучі конструкції багатоповерхового каркасного будинку.

73. Як розраховують плити покриття каналів і тунелів?
74. У яких випадках застосовують куткові підпірні стіни?
75. Як армують ригель багатоповерхової монолітної рами?
76. Для яких багатоповерхових будинків застосовують каркасні конструкції?
77. Як розраховують стіни каналів і тунелів, жорстко з'єднані з дном?
78. Перерахувати типи найбільш поширених збірних залізобетонних підпірних стін.
79. Яким чином забезпечується жорсткість вузлового сполучення ригеля з колоною?
80. Перерахувати основні конструктивні схеми багатоповерхових цивільних будинків.
81. Назвати основні види підпірних стінок.
82. Навести класифікацію міських набережних в залежності від висоти та призначення.
83. Перерахувати основні види набережних підпірних стінок, їх призначення, переваги та недоліки.
84. Назвати основні види конструкцій підпірних стінок, їх призначення, переваги та недоліки.
85. Навести основні види дерев'яних набережних підпірних стінок.
86. Перерахувати види масивних стінок набережних.
87. Види залізобетонних підпірних стінок.
88. Яким чином слід розташовувати температурні шви в підпірних стінках?
89. Яке призначення і склад температурних швів в підпірних стінках?
90. Чим відрізняються контрфорсні підпірні стінки? Які їх переваги і недоліки?
91. Пальові і шпунтові підпірні стінки.
92. Одягаючі стінки набережних, їх призначення.
93. Способи гідроізоляції підпірних стінок і відведення води від них.
94. Види дренажів, їх призначення, конструкція і технологія будівництва.
95. Основні схеми сходу з набережних, їх призначення і конструкція.

96. Яке основне призначення графіка розподілу земляних робіт при зведенні стінок набережних?
97. Які види робіт виконуються при зведенні підпірних стінок із монолітного залізобетону?
98. Які види робіт виконуються при зведенні підпірних стінок зі збірних залізобетонних конструкцій?
99. Основні поняття про мости і мостові конструкції.
100. Яким чином класифікуються мости в залежності від розташування рівня проїзду по мосту? Навести схеми.
101. Загальна класифікація міських мостів.
102. Яке основне призначення мостів в залежності від особливостей і умов їх експлуатації?
103. Які основні вимоги пред'являються до міських мостів?
104. Які основні вимоги до вибору місця для мостового переходу в місті?
105. Які основні фактори впливають на призначення кроку і ширини міських мостів?
106. Які габарити мосту необхідні для пропуску автомобільного і пішохідного рухів?
107. Які габарити мосту необхідні для пропуску автомобільного, пішохідного і трамвайного рухів?
108. Навести схеми основних варіантів вертикального планування міських мостів.
109. Які основні види розрахункових навантажень на міські мости?
110. Як визначається рухливе вертикальне навантаження на міст?
111. Як визначається горизонтальне навантаження на міст?
112. Способи будівництва залізобетонних мостів, основні переваги та недоліки.
113. Характеристика залізобетонних мостів із балочними та плитними прольотними спорудами.
114. Переваги залізобетонних мостів з ребристими прольотними спорудами.

115. Основні види залізобетонних мостів із блочними прольотними спорудами.
116. Приведіть схеми розрізних, нерозрізних і консольних прольотних споруд з/б мостів.
117. Назвіть основні несучі елементи арочних з/б мостів і класифікацію арочних мостів по статичній схемі.
118. Основні види арок і їх застосування.
119. Порядок операцій при зведенні монолітних залізобетонних мостів.
120. Основні вимоги до дерев'яної опалубки при зведенні монолітних залізобетонних мостів.
121. Зведення мостів із збірних конструкцій, переваги й недоліки.
122. Основні способи виготовлення збірних мостових конструкцій.
123. Основне призначення шлюзових кранів при зведенні мостів.
124. Порядок будівництва арочних збірних залізобетонних мостів.
125. Загальна характеристика металевих мостів, їх переваги та недоліки.
126. Основні системи металевих мостів.
127. Основні характеристики проїжджої частини міських металевих мостів.
128. Тротуари і поручні мостів.
129. Основні види міських пішохідних мостів.
130. Пішохідні мостові переходи через вулиці.
132. Пішохідні переходи через залізничні колії.
133. Пішохідні мости через річки.
134. Паркові мости.
135. Залізобетонні та металеві пішохідні мости.
136. Переваги й недоліки перехідних і тунельних переходів.
137. Характеристика металевих мостів з суцільними головними балками.
138. Характеристика металевих балочних мостів із наскрізними фермами.
139. Металеві мости з комбінованими прольотними спорудами.
140. Назвіть основні системи металевих арочних і висячих мостів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Подпорные стенки, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения : СНиП 2.06.07-87. – [Чинний від 1988-01-01]. – М.: Госстрой СССР, 1989. – 36 с.
2. Захист від небезпечних геологічних процесів. Інженерний захист територій, будівель і споруд від зсувів та обвалів. Основні положення : ДБН В.1.1-3-97. – [Чинний від 1997-07-01]. – К.: Держбуд, 1998. – 46 с.
3. Гідротехнічні споруди. Основні положення : ДБН В.2.4-3:2010. – [Чинний від 2011-01-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 37 с.
4. Определение расчетных гидрологических характеристик : СНиП 2.01.14-83. – [Чинний від 1984-07-01]. – М.: Стройиздат, 1985. – 37 с.
5. Інженерне обладнання будівель і споруд. Зовнішні мережі та споруди : ДБН В.2.5-20-2001. – [Чинний від 2001-08-01]. – К.: Госстрой Украины, 2001. – 131 с.
6. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування : ДБН В.2.5-75:2013. – [Чинний від 2014-01-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2013. – 96 с.
7. Ануфриев В. Е. Городские гидротехнические сооружения / В. Е. Ануфриев. – М., 1957.
8. Будин А. Я. Тонкие подпорные стенки / А. Я. Будин. – Л.: Стройиздат, 1974.
9. Кохновер Ф. Г. Инженерное проектирование городских набережных / Ф. Г. Кохновер, О. С. Расторгуев. – М., 1978.
10. Розанов В. А. Инженерная подготовка пойменных территорий городов и районов / В. А. Розанов. – М., 1979.
11. Ткачук О. А. Системи подачі та розподілення води населених пунктів / Ткачук О. А., Косінов В. П., Новицька О. С. – Рівне: НУВГП, 2011. – 273 с.
12. Абрамов С. К. Подземные дренажи в промышленности и городском строительстве / С. К. Абрамов. – М., 1973.
13. Найфельд Л. Р. Гидротехника в градостроительстве / Л. Р. Найфельд. – М., 1965.
14. Железняков Г. В. Гидрология, гидрометрия и регулирование стока / Железняков Г. В., Неговская Т. А., Овчаров Е. Е. – Л., 1984.

15. Хильмер Клаус. Повреждения подземных конструкций / Клаус Хильмер. – [пер. с нем. Марков А. И.] – Запорожье: Настрой, 2009. – 408 с.
16. Смородинов М. И. Устройство фундаментов и конструкций методом «стена в грунте» / М. И. Смородинов, Б. С. Федоров. – М.: Стройиздат, 1986. – 216 с.
17. Банах В. А. Спецкурс «Фундаменты городских зданий и сооружений» : [Методические указания к выполнению курсового проекта и контрольных работ для студентов дневной и заочной форм обучения специальности «Городское строительство и хозяйство»] / Банах В. А., Галушко О. М., Банах А. В. – Запорожье: ЗГИА, 2002. – 28 с.
18. Вулиці та дороги населених пунктів : ДБН В.2.3-5-2001. – [Чинний від 2001-10-01]. – К.: Держбуд України, 2001. – 50 с.
19. Мости і труби. Правила проектування : ДБН В.2.3-14:2006. – [Чинний від 2007-02-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2006. – 217 с.
20. Мости і труби. Основні вимоги проектування : ДБН В.2.3-22:2009. – [Чинний від 2010-03-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 73 с.
21. Саламахин П. М. Инженерные сооружения в транспортном строительстве / [П. М. Саламахин, Л. В. Маковский, В. И. Попов и др.]. – М.: Академия, 2007. – 352 с.
22. Саламахин П. М. Мосты и сооружения на дорогах / П. М. Саламахин. – М., 1991.
23. Петровский А. А. Вантовые мосты / А. А. Петровский, Е. И. Крыльцов. – М., 1985.
24. Шилова Т. О. Міське комунальне господарство / Т. О. Шилова. – К.: КНУБА, 2006.
25. Осітнянко А. П. Планування розвитку міста / А. П. Осітнянко. – К.: КНУБА, 2005. – 386 с.
26. Гибшман Е. Е. Городские инженерные сооружения / Е. Е. Гибшман. – М., 1959.
27. Конюхов Д. С. Строительство городских подземных сооружений мелкого заложения. Специальные работы / Д. С. Конюхов. – М.: Архитектура-С, 2005. – 304 с.
28. Карпик А. П. Составление проекта вертикальной планировки городской территории / А. П. Карпик, А. В. Горобцов, Г. В. Лифашина. –

Новосибирск: СГГА, 2006.

29. Проектування висотних житлових і громадських будинків : ДБН В.2.2-24:2009. – [Чинний від 2009-09-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 155 с.

30. Навантаження та дії. Норми проектування : ДБН В.1.2-2006. – [Чинний від 2007-01-01]. – К.: Минрегионстрой Украины, 2006. – 78 с.

31. Прогини і переміщення. Норми проектування : ДСТУ Б В.1.2-3-2006. – [Чинний від 2007-01-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2006. – 30 с.

32. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення та монтажу : ДБН В.2.6-163:2010. – [Чинний від 2011-12-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 127 с.

33. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення : ДБН В.2.6-98:2009. – [Чинний від 2011-06-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с.

34. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування : ДСТУ Б В.2.6-156:2010. – [Чинний від 2011-06-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 118 с.

35. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування : ДБН В.2.1-10-2009. – [Чинний від 2009-07-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 104 с.

36. Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови : ДСТУ 3760:2006. – [Чинний від 2007-10-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 28 с.

37. Барашиков А. Я. Залізобетонні конструкції : [підручник для вузів] / [А. Я. Барашиков, Л. М. Буднікова, Л. В. Кузнєцов та ін.]. – К.: Вища школа, 1995. – 591 с.

38. Байков В. Н. Железобетонные конструкции. Общий курс : [учебник для вузов] / В. Н. Байков, Э. Е. Сигалов. – [5-е изд.] – М.: Стройиздат, 1991. – 767 с.

39. <http://www.dbn.at.ua/>

40. <http://www.engineering.ua/library/>

41. <http://www.dwg.ru/>

42. <http://ppeterr.narod.ru/podpor.html>



## Додаток А

### РОЗРАХУНОК ТРАНСПОРТНОГО ТУНЕЛЮ

У зв'язку з високим коефіцієнтом використання земельних територій у великих містах, однією з актуальних проблем сучасного містобудування є використання підземного простору. Його ефективно використання передбачає в першу чергу влаштування підземних паркінгів для автотранспорту, магазинів, майстерень, інших службових і виробничих приміщень.

Одними з найпоширеніших підземних споруд є тунелі. Це підземні переходи, транспортні тунелі, включаючи метро, підземні транспортні розв'язки, канали для інженерних мереж, в'їзди та виїзди у підземних гаражах і т.д. Розрахунки таких відповідальних споруд повинні виконуватися в суворій відповідності з нормативними вимогами для забезпечення необхідної міцності, жорсткості і стійкості його елементів. Особливо це важливо для територій зі складними інженерно-геологічними умовами (наявність просідаючих ґрунтів, на підроблюваних територіях тощо).

Необхідно розрахувати і запроектувати монолітний залізобетонний транспортний тунель (рис. А.1), який має наступні характеристики (вихідні дані задачі, розміри вказані «у світлі»):

- висота тунелю  $H = 5,25$  м;
- ширина тунелю  $B = 14,5$  м;
- довжина тунелю  $L = 40$  м;
- відстань від поверхні планування до верху тунелю  $d = 3,5$  м;
- матеріал стін – бетон марки С20/25;
- армування – сталеві стержні класу А400С.

За методами розрахунку протяжних конструкцій та споруд виділяється ділянка тунелю довжиною 1 м. Результати розрахунку такої ділянки приймаються для тунелю в цілому. Поперечний переріз тунелю являє собою замкнуту раму із жорсткими вузлами з'єднання ригелів і стійок.

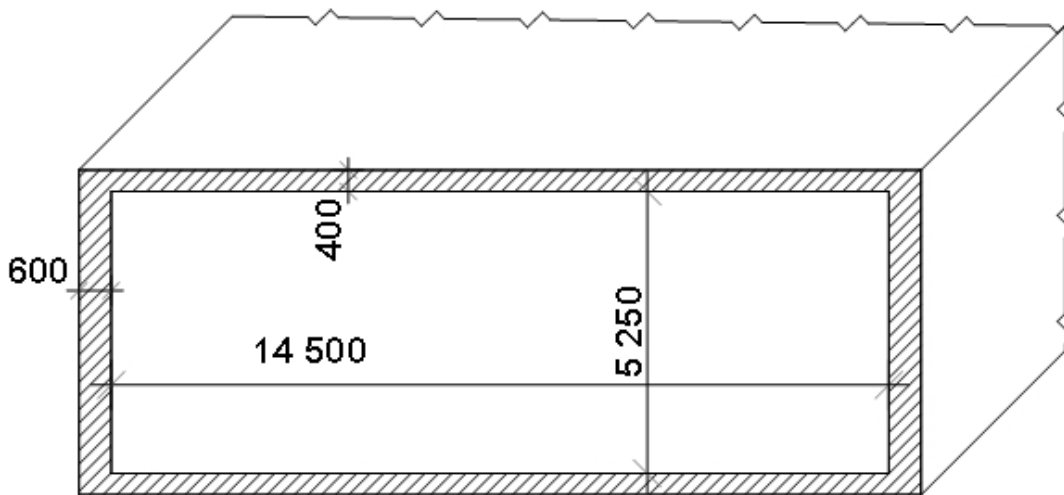


Рисунок А.1 – Схема транспортного тунелю у розрізі

Задача розрахунку замкнутої рами є статично невизначеною, отже для визначення внутрішніх зусиль необхідно задатися попередніми розмірами перерізів елементів конструкції тунелю.

Приймається висота перерізу горизонтальних елементів  $h_1 = 60$  см, вертикальних –  $h_2 = 40$  см. Ширина перерізів елементів конструкції тунелю дорівнює довжині ділянки, що розраховується, та складає 100 см.

Виходячи з попередньо заданих розмірів перерізів елементів конструкцій, знаходяться моменти інерції  $I_b$  і  $I_h$ . Перерізи прямокутні, отже моменти інерції обчислюються за стандартними формулами:

$$I_h = \frac{h^3 \cdot l}{12} = \frac{60^3 \cdot 100}{12} = 1800000 \text{ см}^4 ;$$

$$I_b = \frac{b^3 \cdot l}{12} = \frac{40^3 \cdot 100}{12} = 533333,33 \text{ см}^4.$$

Визначається коефіцієнт жорсткості перерізу, який залежить від жорсткостей та довжин окремих елементів конструкції тунелю:

$$k = \frac{I_b \cdot H}{I_h \cdot B} = \frac{533333,33 \cdot 525}{1800000 \cdot 1450} = 0,11$$

Елементи конструкції тунелю працюють на згин під дією тиску шару ґрунту і зовнішніх навантажень зверху, реактивного тиску ґрунту знизу, а також горизонтального тиску ґрунту з боків. Таким чином, головними зусиллями для горизонтальних елементів конструкції тунелю є згинальні моменти  $M$ , для вертикальних – згинальні моменти  $M$  та подовжні сили  $N$ . Визначення внутрішніх зусиль в елементах конструкції тунелю проводиться за наближеними формулами, викладеними у [16].

Схема завантаження елементів конструкції тунелю наведена на рис. А.2.

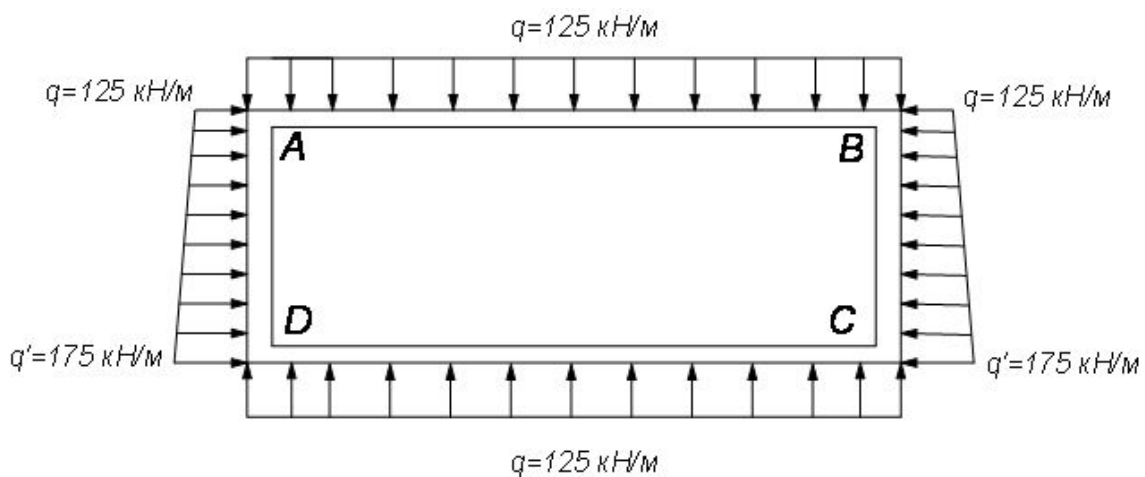


Рисунок А.2 – Схема завантаження тунелю

Загальна розрахункова схема завантаження конструкції тунелю розкладається на три прості складові – в залежності від виду зовнішнього навантаження, за кожною схемою з простим навантаженням обчислюються згинальні моменти  $M$  і подовжні сили  $N$  та будуються епюри зусиль. Потім епюри за завантаженнями складаються, в результаті чого виходять сумарні епюри зусиль. Простими є рівномірно розподілені навантаження – окремо вертикальне (схема 1), окремо горизонтальне (схема 2), а також горизонтальне навантаження, розподілене за трикутником (схема 3).

Схема завантаження вертикальним навантаженням (схема 1) і відповідна епюра згинальних моментів представлена на рис. А.3, схема завантаження

рівномірною складовою горизонтального навантаження (схема 2) і відповідна еюра згинальних моментів представлена на рис. А.4, схема завантаження нерівномірною складовою горизонтального навантаження (схема 3) і відповідна еюра згинальних моментів представлена на рис. А.5.

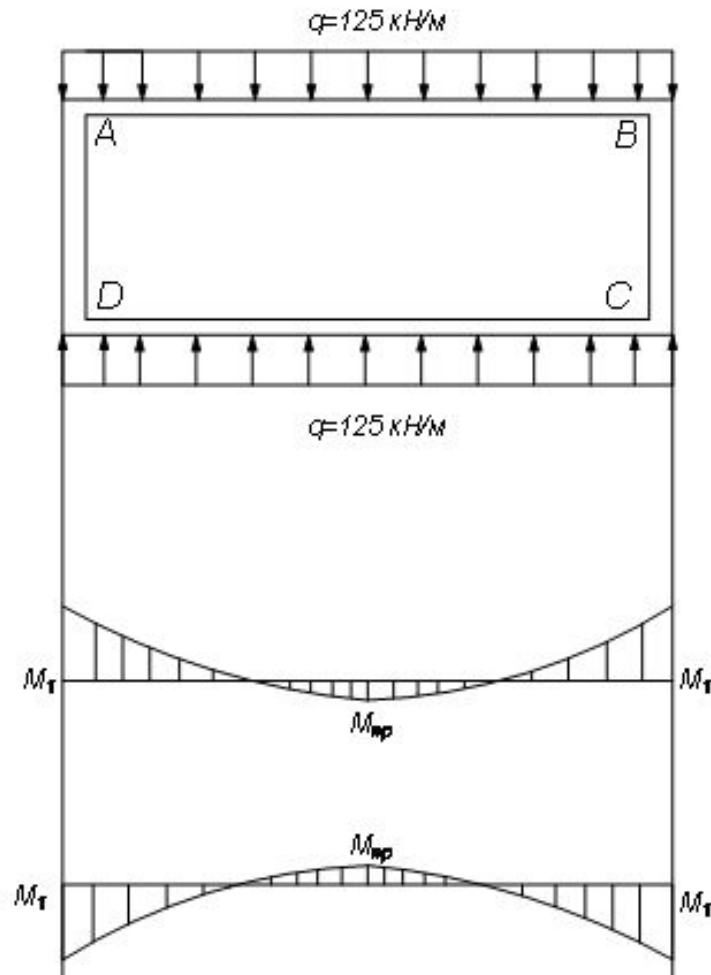


Рисунок А.3 – Схема завантаження вертикальним рівномірно розподіленим навантаженням (схема 1) і відповідна еюра згинальних моментів

Опорні від’ємні та прольотний додатний моменти за схемою 1, враховуючи симетричність конструкції, що розраховується, та діючого зовнішнього навантаження, дорівнюють:

$$M_1 = M_A = M_B = M_C = M_D = -\frac{q \cdot B^2}{12} \cdot \frac{0.11 + 3}{0.11^2 + 4 \cdot 0.11 + 3} = \frac{125 \cdot 14,5^2}{12} \cdot 0.89 = -194.9 \text{ Т} \cdot \text{м} ;$$

$$M_1^{np} = \frac{q \cdot \frac{B}{2}}{12} \cdot 0.89 = \frac{125 \cdot \left(\frac{14,5}{2}\right)^2}{12} \cdot 0.89 = 48,71 \text{ Т} \cdot \text{М}$$

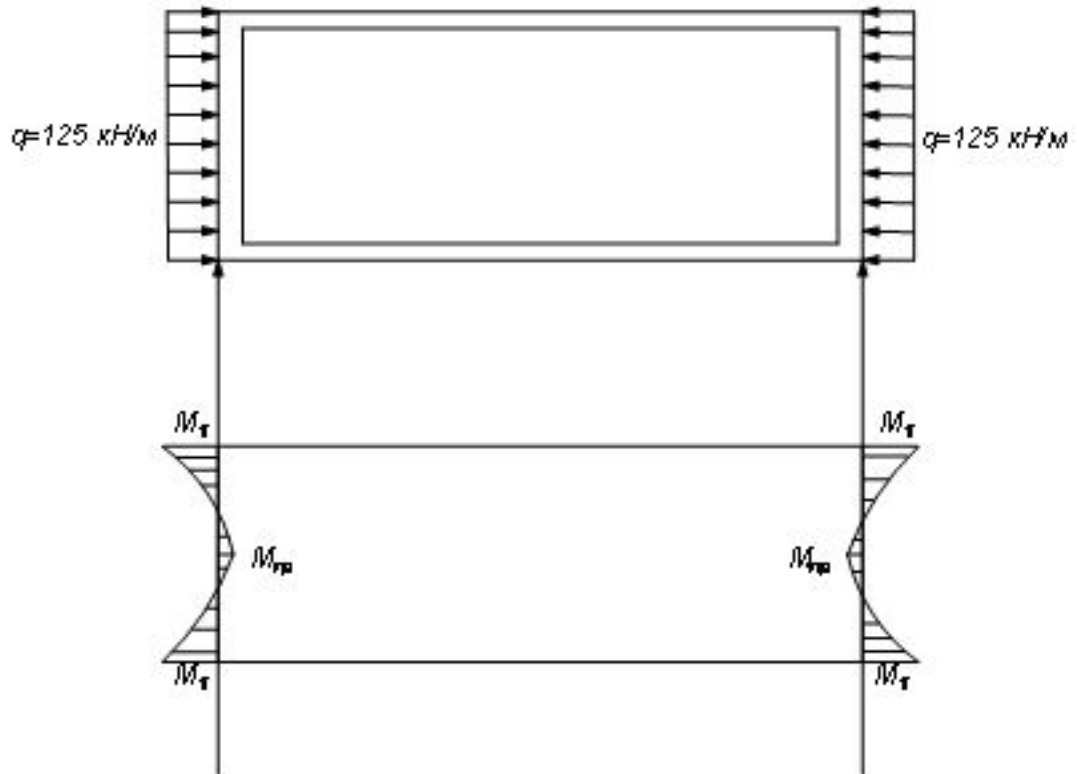


Рисунок А.4 – Схема завантаження рівномірною складовою горизонтального навантаження (схема 2) і відповідна еюра згинальних моментів

Опорні та прольотні моменти за схемою 2, враховуючи симетричність конструкції та діючого зовнішнього навантаження, дорівнюють:

$$M_2 = M_{A2} = M_{B2} = M_{C2} = M_{D2} = -\frac{q \cdot H^2}{12} \cdot \frac{0.89}{0.89 + 1} = \frac{12.5 \cdot 5.25^2}{12} \cdot 0.47 = -13.49 \text{ Т} \cdot \text{М} ;$$

$$M_2^{np} = -M_2^{np} = \frac{q \cdot \frac{H^2}{2}}{12} \cdot \frac{0.89}{0.89 + 1} = \frac{12.5 \cdot 2,625^2}{12} \cdot 0.47 = 3.37 \text{ Т} \cdot \text{М}$$

Опорні та прольотні моменти за схемою 3, що завантажена несиметричним зовнішнім навантаженням, дорівнюють:

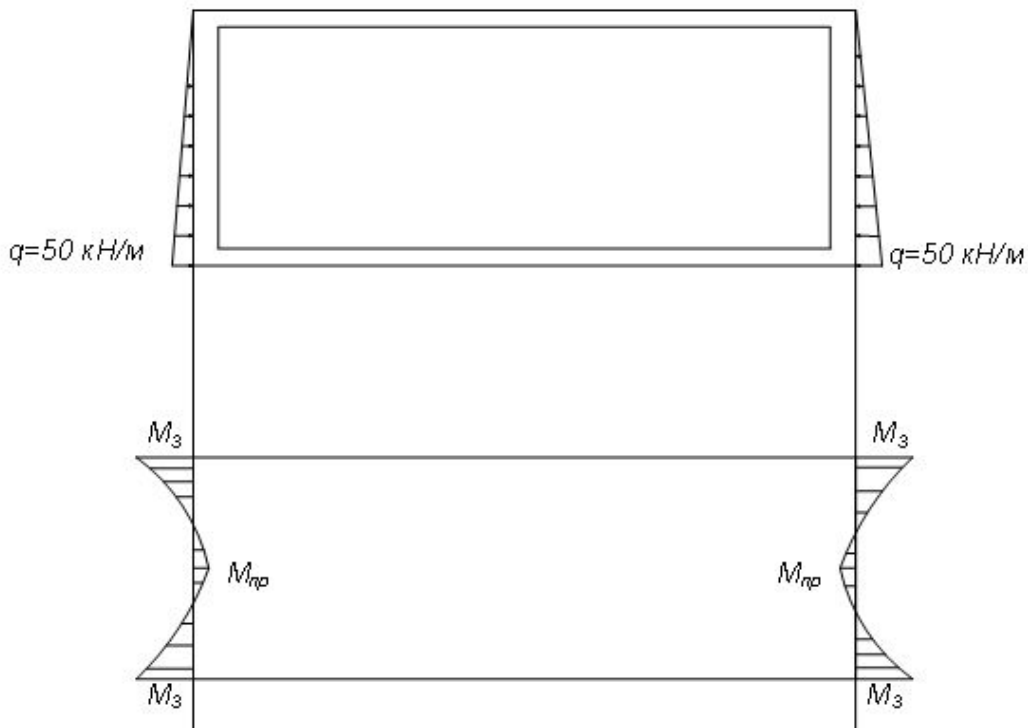


Рисунок А.5 – Схема завантаження нерівномірною складовою горизонтального навантаження (схема 3) і відповідна еюра згинальних моментів

$$M_{A3} = M_{B3} = -\frac{(q' - q)H^2}{60} \cdot \frac{0.89 \cdot (2 \cdot 0.89 + 7)}{0.89^2 + 4 \cdot 0.89 + 3} = -\frac{5 \cdot 5.25^2}{60} \cdot 1.06 = 2,43 \text{ Т} \cdot \text{м} ;$$

$$M_{C3} = M_{D3} = -\frac{(q' - q)H^2}{60} \cdot \frac{0.89 \cdot (3 \cdot 0.89 + 8)}{0.89^2 + 4 \cdot 0.89 + 3} = -\frac{5 \cdot 5.25^2}{60} \cdot 1.29 = 2,96 \text{ Т} \cdot \text{м} ;$$

$$M_3^{np} = \frac{5 \cdot 2,625^2}{60} \cdot 1.29 = 0,74 \text{ Т} \cdot \text{м} .$$

Значення сумарних моментів знаходяться алгебраїчним складенням відповідних значень моментів за всіма схемами завантажень у характерних точках перерізу тунелю. Сумарну епюру моментів наведено на рис. А.6:

$$M_A^\Sigma = M_B^\Sigma = -(M_1 + M_2 + M_{A3}) = -(2,43 + 13,49 + 194,9) = -210,82 \text{ Т} \cdot \text{м}$$

$$M_C^\Sigma = M_D^\Sigma = -(M_1 + M_2 + M_{C3}) = -(194,9 + 13,49 + 2,96) = 211,35 \text{ Т} \cdot \text{м}$$

$$M_{np} = M_1^{np} + M_2 + M_{C3} = 48,71 + 13,49 + 2,96 = 65,16 \text{ Т} \cdot \text{м}$$

$$M_{np}' = M_1 + M_2^{np} + M_3^{np} = 194,9 + 3,37 + 0,74 = 199,01 \text{ Т} \cdot \text{м}$$

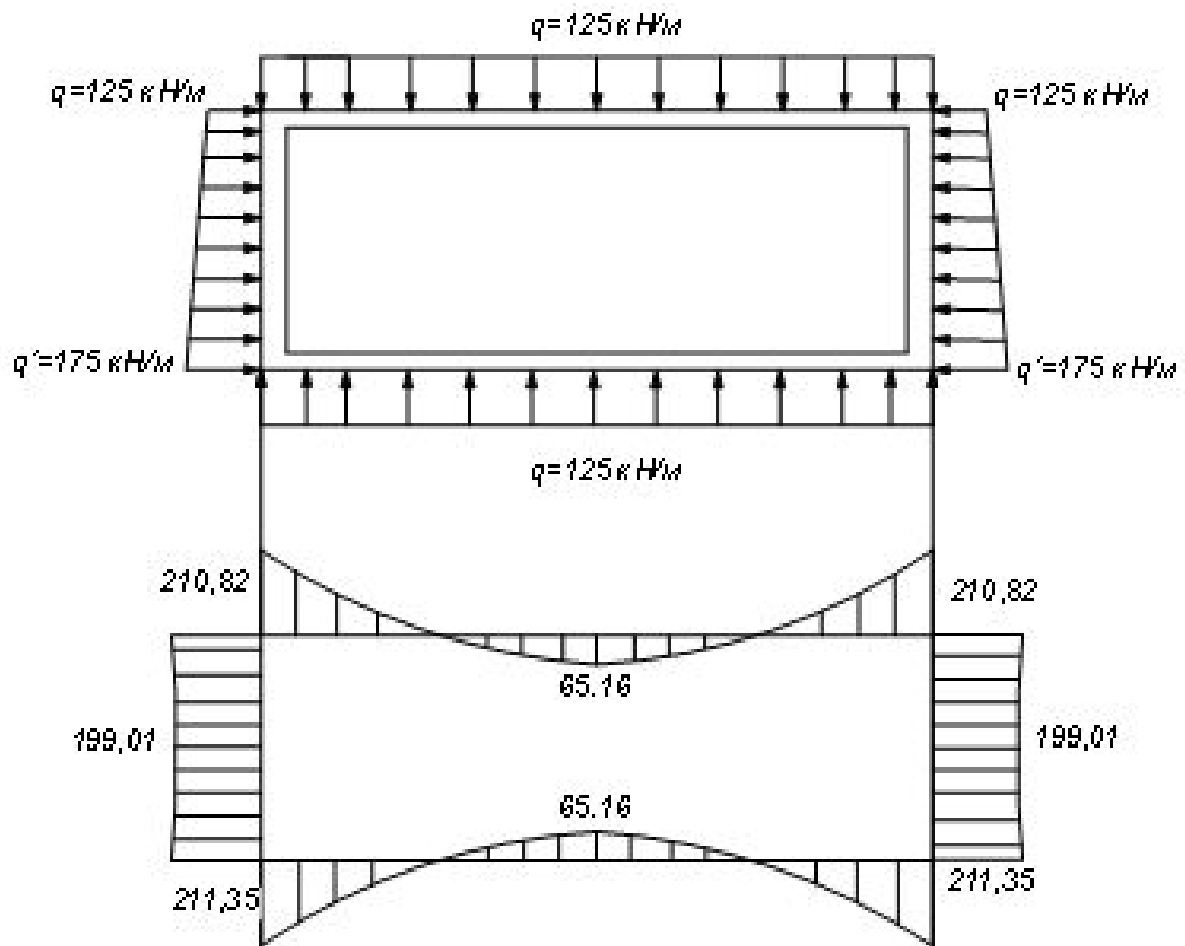


Рисунок А.6 – Сумарна епюра згинальних моментів

Для визначення необхідного армування перекриття та підлоги тунелю з умови міцності визначаються потрібні розміри поперечного перерізу:

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W} \leq f_{cd}$$

$$W = \frac{h^2 \cdot b}{2}$$

$$h = \sqrt{\frac{6 \cdot M_{\max}}{f_{cd}}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 211.35}{36.5}} = 590 \text{ мм}$$

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

$W$  – момент опору перерізу елементів тунелю;

$f_{cd}$  – міцність бетону на стискання.

Розміри поперечного перерізу округлюються в більшу сторону кратно 50 мм – в даному випадку до 600 мм ( $h = 600$  мм). Висота перекриття тунелю підбирається по максимальному моменту, а оскільки згинальний момент, що діє в перекритті  $M_A^\Sigma$ , приблизно дорівнює згинальному моменту, що діє в опорному елементі конструкції тунелю (у підлозі)  $M_D^\Sigma$ , то приймаємо їх висоту однаковою.

Робоча висота перерізу перекриття та підлоги тунелю:

$$d = h - (a_s + a_s') = 600 - 60 = 540,$$

де  $a_s$  – захисний шар нижньої арматури;

$a_s'$  – захисний шар верхньої арматури.

Потрібна площа перерізу поздовжньої робочої арматури із розрахунку на 1 м довжини тунелю:

$$A_s = \frac{M_c^\Sigma}{0.9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{211350}{0.9 \cdot 540 \cdot 36.5} = 119.1 \text{ см}^2,$$

де  $f_{yd}$  – міцність сталі вздовж стержня на стискання.

За сортаментом сталеві арматури приймається 10 Ø 40 А400С з  $A_s = 125,6 \text{ см}^2$ , де 10 – кількість стержнів із розрахунку на 1 м довжини тунелю.

Крок поздовжніх стержнів  $s$  дорівнює:

$$s = \frac{100}{10} = 10 \text{ см}.$$

Підбір арматури для стінок тунелю здійснюється із умови міцності на осьове стискання, виходячи із значення поздовжньої сили  $N$ :



$$N = \frac{q \cdot b}{2} = \frac{125 \cdot 14.5}{2} = 906,25 \text{ kN} ;$$

$$A_s^{cm} = \frac{\frac{906,25}{0,98} - 1,7 \cdot 60 \cdot 100}{36,5} < 0$$

Арматура за розрахунком не потрібна, конструктивно приймається 7 Ø12 А400С з кроком стержнів  $s = 14$  см.

У торцевих частинах перерізу тунелю також конструктивно встановлюється арматура для сприйняття навантажень від згинальних моментів, з улаштуванням відгинів на відстань 1,2 м 7 Ø45 А400С.

У прольотних частинах вертикальних елементів тунелю встановлюється арматура для сприйняття прольотного моменту:

$$A_s^{np} = \frac{199010}{0,9 \cdot 54 \cdot 36.5} = 112,18 \text{ см}^2$$

Приймається 10 Ø40 А400С з площею  $A_s = 125,6 \text{ см}^2$  і кроком стержнів  $s = 10$  см.

ВАРІАНТИ ЗАВДАНЬ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ № 2

№	Висота тунелю, м	Ширина тунелю, м	Марка бетону	Клас арматури	Навантаження $q$ , кН/м <sup>2</sup>	Навантаження $q'$ , кН/м <sup>2</sup>
1	3	10	C32/40	A240C	110	170
2	4	11	C30/35	A300C	120	180
3	4,5	12	C25/30	A400C	130	190
4	5	13	C20/25	BpI	140	200
5	5,5	14	C32/40	A240C	150	210
6	6	15	C30/35	A300C	160	220
7	6,5	16	C25/30	A400C	170	230
8	7	17	C20/25	BpI	180	240
9	7,5	18	C32/40	A240C	190	250
10	8	19	C30/35	A300C	200	260
11	8,5	18,5	C25/30	A400C	210	270
12	9	17,5	C20/25	BpI	220	280
13	9,5	16,5	C32/40	A240C	230	290
14	3,25	15,5	C30/35	A300C	115	300
15	5,25	14,5	C25/30	A400C	125	175
16	7,25	13,5	C20/25	BpI	135	185
17	9,25	12,5	C32/40	A240C	145	195
18	8,75	11,5	C30/35	A300C	155	205
19	6,75	10,5	C25/30	A400C	165	215
20	4,75	19,5	C20/25	BpI	175	225
21	3,75	20	C32/40	A240C	185	235
22	5,75	21	C30/35	A300C	195	245
23	7,75	22	C25/30	A400C	205	255
24	9,75	23	C20/25	BpI	215	265
25	4,25	20,5	C32/40	A240C	225	275
26	6,25	21,5	C30/35	A300C	235	285
27	8,25	22,5	C25/30	A400C	240	295
28	10	23,5	C20/25	BpI	245	305
29	12	24	C32/40	A240C	250	310
30	11	25	C30/35	A300C	260	320

## ВАРІАНТИ ЗАВДАНЬ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ № 2

(продовження)

№	Висота тунелю, м	Ширина тунелю, м	Марка бетону	Клас арматури	Навантаження $q$ , кН/м <sup>2</sup>	Навантаження $q'$ , кН/м <sup>2</sup>
31	3	10	C20/25	A400C	115	250
32	4	11	C32/40	BpI	125	260
33	4,5	12	C30/35	A240C	135	270
34	5	13	C25/30	A300C	145	280
35	5,5	14	C20/25	A400C	155	290
36	6	15	C32/40	BpI	165	300
37	6,5	16	C30/35	A240C	175	175
38	7	17	C25/30	A300C	185	185
39	7,5	18	C20/25	A400C	195	195
40	8	19	C32/40	BpI	205	205
41	8,5	18,5	C30/35	A240C	215	215
42	9	17,5	C25/30	A300C	225	225
43	9,5	16,5	C20/25	A400C	235	235
44	3,25	15,5	C32/40	BpI	240	245
45	5,25	14,5	C30/35	A240C	245	255
46	7,25	13,5	C25/30	A300C	250	265
47	9,25	12,5	C20/25	A400C	260	275
48	8,75	11,5	C32/40	BpI	110	285
49	6,75	10,5	C30/35	A240C	120	295
50	4,75	19,5	C25/30	A300C	130	305
51	3,75	20	C20/25	A400C	140	310
52	5,75	21	C32/40	BpI	150	320
53	7,75	22	C30/35	A240C	160	170
54	9,75	23	C25/30	A300C	170	180
55	4,25	20,5	C20/25	A400C	180	190
56	6,25	21,5	C32/40	BpI	190	200
57	8,25	22,5	C30/35	A240C	200	210
58	10	23,5	C25/30	A300C	210	220
59	12	24	C20/25	A400C	220	230
60	11	25	C32/40	BpI	230	240