

10. ПІДЗЕМНІ СПОРУДИ

10.1. ОСНОВНІ ТЕНДЕНЦІЇ БУДІВНИЦТВА У ВЕЛИКИХ МІСТАХ

Розвиток великих міст-мегаполісів у даний час при щільній міській забудові та гострому дефіциті вільних територій для будівництва, неможливий без освоєння підземного простору. Зарубіжний досвід свідчить, що для забезпечення стійкої рівноваги і комфортного проживання в мегаполісі частка підземних споруд від загальної площі об'єктів, що вводяться, повинна становити 20...25%. Сьогодні у Москві ця цифра не перевищує 8%, у Києві не більше 6%, ще менше в інших містах СНД.

Тим часом, під землею можна розміщувати до 70% всіх гаражів, 80% складських приміщень, 50 % архівів і сховищ і 30% об'єктів сфери послуг. Провідні фахівці відзначають, що інтенсивне освоєння підземного простору буде основною тенденцією в ХХІ сторіччі за перенаселення великих міст і необхідності створення нового середовища існування людей. З'явився навіть спеціальний термін, який підкреслює масштабність підземного будівництва – підземна урбаністика.

Раніше, коли казали про підземні міські об'єкти, мали на увазі метро. Зараз мова йде про створення багатофункціональних підземних комплексів, що включають паркінги, торгові комплекси, кінотеатри, розважальні центри, SPA-салони, об'єкти адміністративного призначення, спортивні та культурні споруди, готелі та офіси, підприємства побутового обслуговування, комунікації всіх видів (транспорт, енергопостачання, каналізація).

У виробничих комплексах також є багато (до 15% основної площі) підсобних і допоміжних приміщень, які доцільно розміщувати в підвальних поверхах або в заглиблених спорудах.

В даний час у великих містах Японії, Китаю, Англії, Італії, Франції, Швеції, Норвегії, США та інших країн підземний простір інтенсивно розвивається і вже накопичений значний досвід будівництва підземних об'єктів.

Складні проблеми міст на сучасному етапі можуть бути вирішені за рахунок створення багаторівневих і багатофункціональних об'єктів з максимальним розвитком по вертикалі, з комплексним використанням підземного простору відповідно до генерального плану розвитку міста. Одночасно намічається зміна загальної стратегії містобудування: на зміну централізованій схемі забудови з найвищою щільністю в центрі міста пропонується основну частину обсягу багатопверхового наземного будівництва розосередити в передмісті. Це дозволить зберегти центральну зону з густим озелененням і розвиненою підземною інфраструктурою транспортного та службового призначення як культурно історичну. При такій концепції будівництва особливо актуальною стає проблема системного підходу до освоєння підземного простору на глибині 50...100 м. Тому в перспективі передбачається розподіл міських підземних споруд за чотири рівнями глибини:

– 4-й рівень (передповерхневий 0-10 м) – установи, магазини, культурно-дозвільні центри і т. і., що постійно експлуатується великою масою людей;

- 3-й рівень (10-30 м) – транспортні тунелі, автостоянки, склади і т.і., що використовується необмежено великою кількістю людей короткочасно;
- 2-й рівень (30-50 м) – підприємства промисловості та енергетики з постійною присутністю обмеженої кількості кваліфікованого персоналу;
- 1-й рівень (найбільш глибоко розташований 50-100 м) – інженерні комунікації, що експлуатуються без постійної присутності людини.

10.2. КЛАСИФІКАЦІЯ ПІДЗЕМНИХ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

В даний час визначилися три основних напрямки використання підземного простору: системи підземного транспорту, будівництво підземних автостоянок і гаражів на урбанізованих територіях; будівництво будівель у стиснутих або обмежених умовах, а також екологічне та енергозберігаюче будівництво заглибленого обвалованого житла за межами міста, що знижує тепловтрати приміщень і витрати на підтримку мікроклімату будівлі в регіонах як з холодним, так і з жарким кліматом.

Заглиблені (підземні) споруди є особливим типом будівель, що різко відрізняються від розглянутих вище наземних будівель. Головна їх особливість полягає в тому, що вони завжди виконуються з кам'яних матеріалів (частіше залізобетонних), мають суцільний фундамент і кругову гідроізоляцію; всі їх конструкції зазвичай рівномірні та рівнодовговічні, виключаючи гідроізоляцію.

Підземні будівлі та споруди можуть бути розділені на три великі групи: цивільного, виробничого та спеціального призначення. Тим не менш, величезна їх різноманітність (сьогодні відомо понад 40 напрямів використання підземного простору) і постійне вдосконалення, вимагає більш детальної класифікації.

Сучасні підземні об'єкти можна класифікувати:

За призначенням:

- житлово-цивільні – житлові будівлі, підземні поверхи і фундаменти житлових і громадських будівель, які закладаються на глибину до 30 м, адміністративні будівлі та центри;
- підприємства торгівлі та громадського харчування – торговельні зали та підсобно-допоміжні приміщення кафе, їдалень, ресторанів, торговельні кіоски, магазини, торговельні центри та ринки;
- культурно-розважальні та спортивні – кінотеатри, виставкові зали, музеї, клуби, спортзали, плавальні басейни, громадські центри;
- навчально-виховні споруди – школи, училища, вузи, навчальні та наукові центри;
- транспортні – підземні переходи під вулицями, станції та тунелі метрополітенів; підземні автомагістралі, гаражі та автостоянки, транспортні центри, вокзали та інші споруди, які закладаються на глибині до 25...30 м;
- об'єкти комунально-побутового обслуговування та зв'язку – майстерні, лазні, пральні, пошти, телефонні станції, ошадкаси, ательє, комбінати побутового обслуговування, торгово-побутові центри;
- промислові – підземні поверхи і фундаменти промислових будівель, скіпові ями, колодязі для дробильних цехів збагачувальних комбінатів, бункерні ями; технологічні галереї, тунелі та ін.;

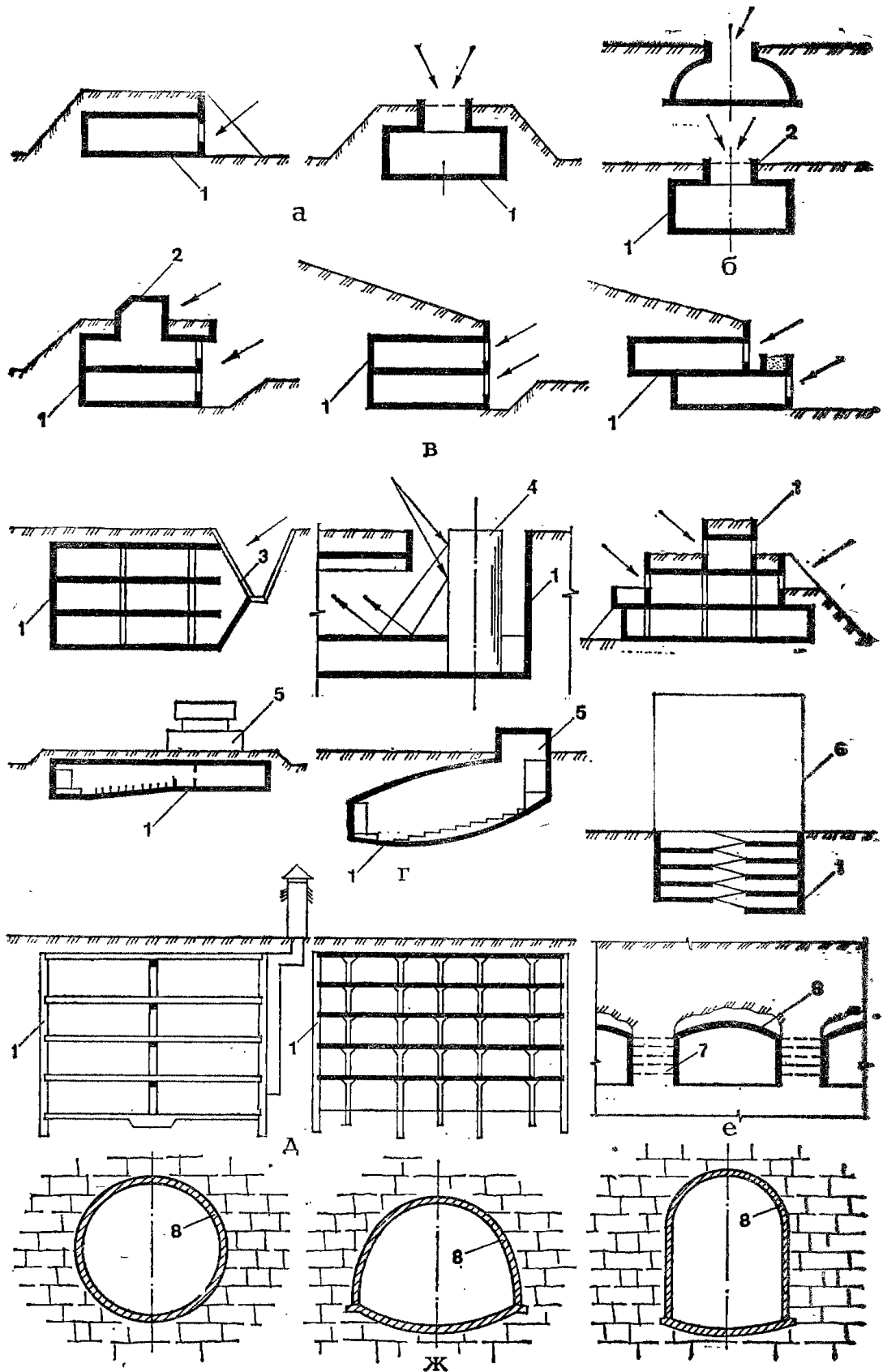


Рис. 10.1. Схеми житлових, громадських і виробничих будівель: а ... в – житлові, відповідно напівзаглиблені, мілкого закладання і на схилах; г – громадські; д – виробничі багатоповерхові; е, ж – те ж, відповідно в гірничій виробі й глибокого закладання; 1 – будівля, 2 – шахта для введення освітлення; 3 – вікно; 4 – циліндр, що відображає денне світло; 5 – вхід в кінотеатр; 6 – наземна частина будівлі; 7 – армування цілика породи; 8 – обробка

- об'єкти складського господарства і сховища – холодильники, продуктові та промислові склади, овоче- та книгосховища, резервуари, архіви;
- об'єкти інженерного обладнання – трубопроводи (тунелі) водопостачання, каналізації, теплопостачання, газопостачання, водозабори та насосні станції; підземні очисні споруди; дренажні колектори тощо;

За ступенем заглиблення Тетиор О.Н. поділяє на:

- напівзаглиблені (обваловані);
- неглибокого (звичайно не нижче 10 м від денної поверхні) закладання;
- глибокого закладання (як правило, глибше 10 м).

При заглибленні будівлі його освітлення зазвичай повинне бути природним. Будинки проектують з *освітленням*:

- природним боковим;
- природним, що влаштовується через вікна з прямиками, внутрішні дворики;
- з верхнім zenітним через прорізи або ліхтарі в покрівлі;
- з комбінованим природним, разом зі світловодами, розсіювачами;
- з повністю штучним.

За конфігурацією:

- лінійні, що складаються тільки з однієї протяжної стіни (підпирні стіни, стрічкові фундаменти глибокого закладання та ін.);
- лінійно-протяжні, що мають дві протяжні огорожувальні стіни, зазвичай паралельні одна одній (галереї, колектори для суміщеної прокладки інженерних мереж, тунелі з вертикальними стінами та ін.) ;
- споруди колодязного типу з вертикальними стінами – круглі, прямокутні і багатокутні в плані (підземні поверхи будівель, підвали, бункерні ями, насосні станції та станції метро та ін.).

За умовами розташування підземні будівлі проектують окремо розташованими над незабудованими і під забудованими ділянками, а також входять до складу наземних будівель; *за конструктивними рішеннями* – каркасними і безкаркасними, одно- і багатопверховими, одно- і багатопрогоновими.

За способом спорудження – відкритим, опускним, закритим і за допомогою спеціальних технологій та обладнання (заморожування, водозниження тощо).

10.3. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДЗЕМНИХ ОБ'ЄКТІВ

Житлові і громадські будівлі. Дефіцит міської землі та висока її вартість, напружена екологічна обстановка в місті, необхідність ресурсо- і теплозбереження зробили перспективним використання підземних і напівпідземних житлових і громадських будівель.

Житлові будинки виконують неглибокого закладання або обваловані й тільки з природним освітленням. Аналогічно проектують ті суспільні споруди, в яких неприпустима відсутність денного світла (дитячі установи та ін.).

У конструкціях житлових будівель успішно використовують монолітний і збірний залізобетон, цеглу, дерево, сталь; застосовують площинні та просторові конструкції. Частіше прагнуть створити просторову форму, що легше вписується в рельєф схилу та забезпечує враження легкості покриття.

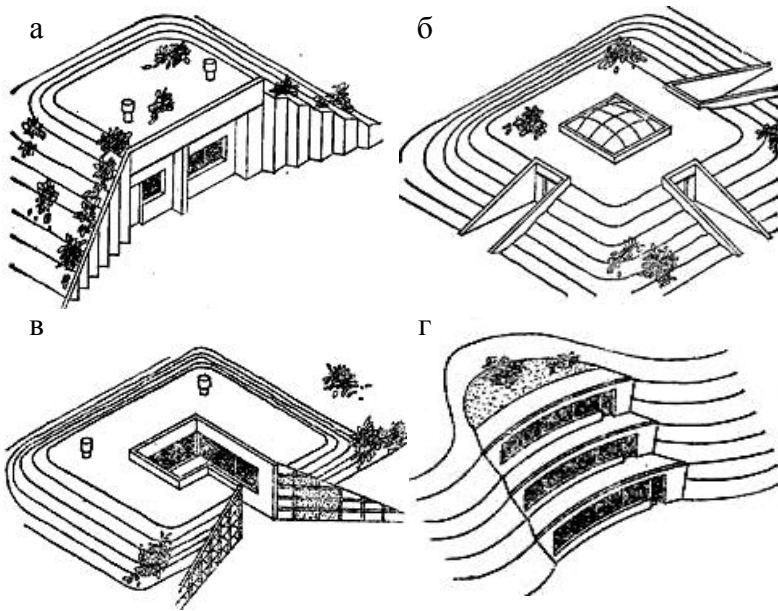


Рис. 10.2. Загальний вигляд житлових будівель:
 а – що піднесені; б – наскрізного типу; в – атриумні;
 г – будівлі на схилах

гатоповерхову терасну напівзаглиблену будівлю.

За конфігурацією житлові будинки поділяють (рис. 10.2) на піднесені, наскрізного типу, атриумні, а також будівлі на схилах.

Громадські будівлі відрізняються від житлових значно більшими об'ємами, розмірами в плані та глибиною (рис. 10.3). Вони можуть бути виконані зі збірного, збірно-монолітного або монолітного залізобетону, у відкритому котловані, способом «стіна в ґрунті», опускним колодязем, гірським. Зважаючи на більшу їх поверховість (порівняно з житловими) використовують введення денного світла через світловоди, розсіювачі сонячних променів у вигляді вертикальних циліндрів зі світловідбиваючою поверхнею.

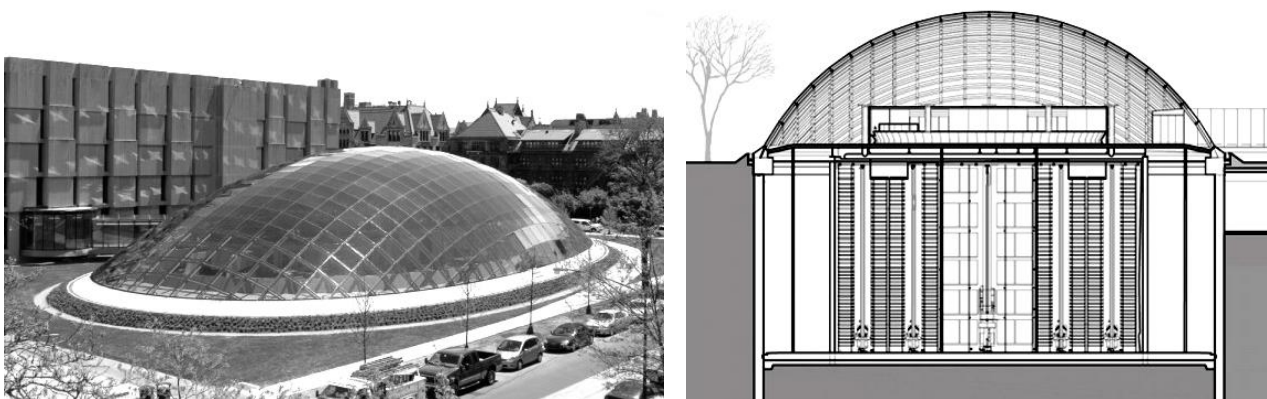


Рис. 10.3. Бібліотека Чиказького університету

Міські автотранспортні тунелі мілкового закладання .

Автотранспортні тунелі в містах споруджують для розв'язки руху в різних рівнях на перетинах, примиканнях або розгалуженнях магістралей, збільшення пропускної здатності магістралей, створення під'їзних шляхів до підземних автостоянок, торгових центрів, залізничних вокзалів та ін.

Розв'язки в різних рівнях (двох, трьох і більше) влаштовують у місцях перетину, примикання або розгалуження швидкісних доріг, магістралей безперервного руху, а також у місцях перетину швидкісних доріг з магістральними. Іноді розв'язки споруджують в окремих вузлах районних магістралей. Створення розв'язок в різних рівнях доцільно на перехрестях і площах з інтенсивністю руху більше 6-8 тисяч автомобілів на годину на підходах до вузла або при інтенсивності лівоповоротного руху більше 1200 автомобілів на годину.

Тунелі для збільшення пропускної здатності, мають порівняно прості планувальні схеми і зазвичай закладаються в напрямку основних магістралей. Рампові ділянки можуть влаштовуватися за всією шириною тунелю і складатися з двох частин так, що над тунелем будуть вільно проходити транспортні потоки.

Автотранспортні тунелі неглибокого закладання незалежно від планувальної схеми складаються з закритої, власне тунельної частини і відкритих рампових ділянок. У деяких випадках для поліпшення провітрювання і освітлення тунелів значної довжини в місцях, де не передбачено пропуску наземного транспорту, залишають відкриті зверху ділянки.

Поздовжній профіль автотранспортних тунелів проектують з мінімальним закладанням перекриття тунелю під проїжджою частиною вулиці для зменшення його повної довжини. Глибина закладання може бути збільшена, якщо над перекриттям тунелю передбачається прокладка підземних комунікацій, трамвайних ліній або пішохідних тунелів.

Повну довжину тунелю визначають як суму горизонтальних проекцій рампових і закритих ділянок. Довжину рампи при горизонтальній поверхні вулиці (рис. 10.4, а) можна визначити з виразу:

$$L_p = \frac{\Delta H}{i} + \frac{i(R_1 + R_2)}{2}, \quad (10.1)$$

де ΔH – різниця відміток проїжджої частини вулиці і тунелю, м; i – ухил рампи; R_1, R_2 – радіуси опуклої й увігнутої кривих, м.

Автотранспортні тунелі неглибокого закладання влаштовують для пропуску в одному рівні дво-, три-, чотири- і шестисмугового руху. На великих розв'язках зазвичай влаштовують тунелі для двостороннього руху, а при односторонньому вуличному русі проектують тунелі для одностороннього руху.

Можливо також будівництво багатоярусних автотранспортних тунелів з пропуском руху в двох або декількох рівнях (рис. 10.5). Розміри поперечного перерізу тунелів визначаються з умов необхідної пропускної здатності з розрахунком на перспективу і габарити транспортних засобів.

Пропускна здатність автотранспорт-

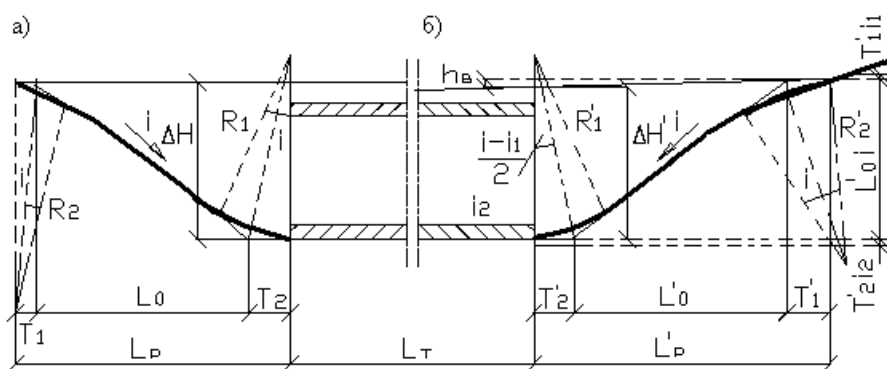


Рис. 10.4. Схема до визначення довжини рампової частини автотранспортного тунелю при горизонтальній (а) і похилій (б) поверхнях проїжджої частини вулиці

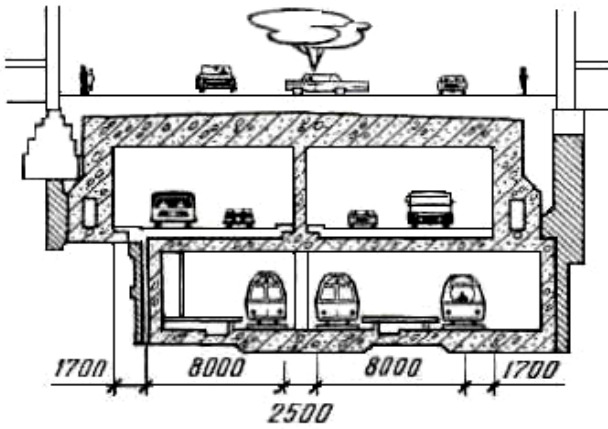


Рис. 10.5. Двохярусний транспортний тунель

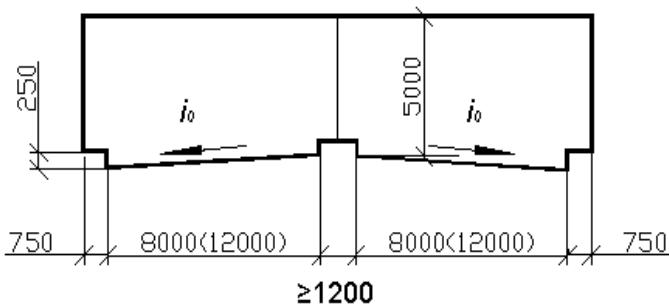


Рис. 10.6. Габарит наближення конструкції міського автотранспортного тунелю

7,5 м при двосмуговому і до 11,25 м при трисмуговому русі.

Підземні автомагістралі. Окремі відносно короткі автотранспортні тунелі неглибокого закладання не в змозі повністю вирішити транспортну проблему. У центральних районах міста доцільно створення протяжних автотранспортних тунелів, довжина яких може становити кілька кілометрів, які дублюють основні вантажонапружені магістралі і одночасно забезпечують розв'язку руху в різних рівнях на декількох вузлах.

Розвинена мережа досить протяжних тунелів здатна забезпечити транзит значних транспортних потоків через центральні райони міста, де концентрується велика кількість автомобілів і великі пішохідні потоки. За трасою магістральних тунелів і в місцях взаємного примикання і перетину доцільно створювати великі підземні комплекси, що включають автостоянки та гаражі.

Трасування підземних автомагістралей повинно виконуватися з урахуванням особливостей наземної дорожньо-вуличної мережі, розташування великих наземних і підземних споруд, а також інженерно-геологічних умов. Залежно від цих умов підземні автомагістралі можуть бути як неглибокого, так і глибокого закладання. Область застосування підземних магістралей неглибокого закладання обмежена малозабудованими територіями в периферійних районах міста. У межах центральної частини міст найбільш доцільно створення підземних магістралей глибокого закладання. У цьому випадку магістральним тунелям раціонально надавати круглий поперечний переріз – доцільно за умовами статичної роботи конструкції і дозволяє розмістити за межами габариту проїзду вентиляційні канали і відсіки для пропуску інженерних комунікацій (рис. 10.7).

них тунелів залежить від швидкості руху автомобілів, інтервалів між ними, ширини проїжджої частини, умов видимості, радіусів горизонтальних кривих, поздовжнього ухилу, стану дорожнього покриття і змінюється від 300 до 25000 автомобілів на годину при двосмуговому русі.

Розміри поперечного перерізу автотранспортних тунелів встановлюють у відповідності з існуючим габаритом наближення конструкції (рис. 10.6). Згідно габариту ширина проїжджої частини для двох смуг руху становить 8 м, а для трьох смуг – 12 м, висота тунелю від рівня проїжджої частини до низу перекриття повинна бути не менше 5 м. На магістралях районного значення ширина проїжджої частини може бути зменшена до

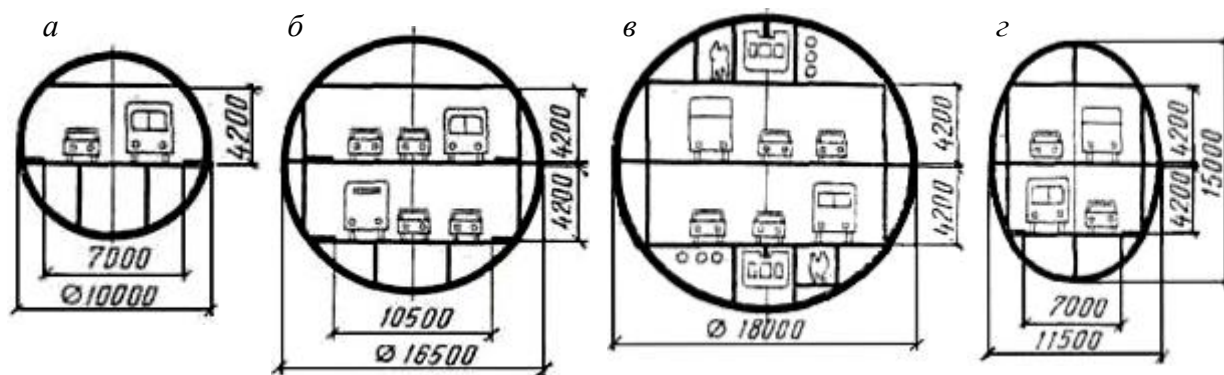


Рис. 10.7. Варіанти поперечного перерізу магістральних тунелів:
a – двохсмуговий; *б* – трьохсмуговий; *г* – чотирисмуговий; *д* – шестисмуговий

Розміри поперечного перерізу магістральних тунелів визначаються інтенсивністю автомобільного руху і габаритам транспортних засобів. Так, для пропуску двосмугового руху (легкові, вантажні автомобілі і автобуси) тунель повинен мати діаметр близько 10...11 м, трисмугового в одному рівні і чотирисмугового у двох рівнях – 13...13,5 м, а шестисмуговий у двох рівнях – 16...18 м. Оскільки чотири- і шестисмуговий тунелі є двоярусними, це призводить до ускладнення рішення в місцях перетину таких тунелів, вимагає посилення тунельної обробки і ускладнює провітрювання.

Пішохідні тунелі. У містах широко застосовують позавуличні пішохідні переходи мостового або тунельного типу.

Будівництво позавуличного пішохідного переходу через автомагістраль доцільно і виправдано в тому випадку, якщо пішоходи не встигають перейти лоругу наземним переходом за час циклу зеленого сигналу світлофора. Позавуличні пішохідні переходи слід будувати в першу чергу в таких транспортних вузлах, де протягом року відбувається п'ять ДТП і більше. Незважаючи на те, що вартість позавуличного пішохідного переходу в середньому в 10...20 разів вище вартості створення нерегульованого наземного переходу типу «зебра» і в 5...10 разів вище вартості регульованого наземного переходу, йому часто віддається перевага.

Економічна ефективність будівництва пішохідних тунелів досягається за рахунок ліквідації втрат часу транспорту біля світлофорів і повного усунення дорожньо-транспортних пригод, пов'язаних з пішоходами.

Планувальні рішення пішохідних тунелів відрізняються великою різноманітністю і залежать від топографічних і містобудівних умов (рис. 10.8).

Пішохідні тунелі можуть мати прямокутний, склепінчастий і круговий поперечний переріз. Ширину пішохідних тунелів призначають, виходячи з перспективної інтенсивності пішохідних потоків і пропускної здатності 1 м тунелю. При цьому в розрахунок слід приймати максимальну очікувану інтенсивність пішохідного потоку в години пік.

Визначаючи розміри пішохідних тунелів, треба враховувати, що ширина їх у просвіті повинна бути не менше 3, а висота – 2,3 м. Якщо пішохідні потоки невеликі, ширину підземного переходу допускається зменшувати до 2,5, а в деяких випадках до 2 м. У двопрілітних тунелях висота від рівня чистої підлоги

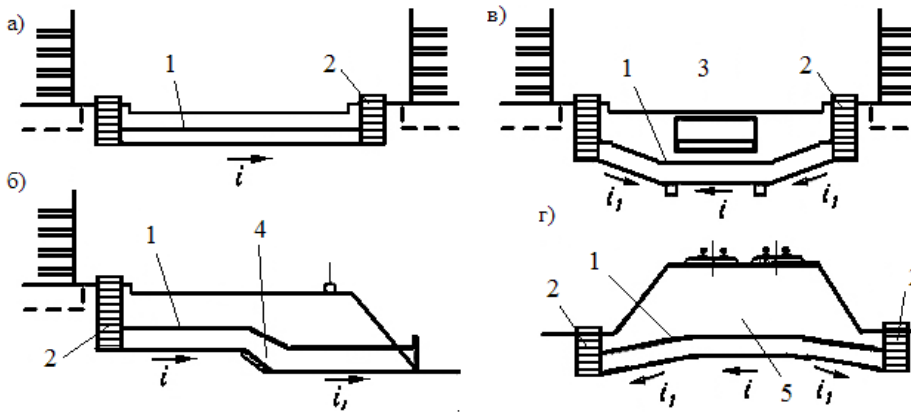


Рис. 10.8. Види поздовжнього профілю пішохідних тунелів: *а* – односхилий, *б* – ламаний, *в* – двосхилий увігнутий, *г* – двосхилий опуклий, 1 – пішохідний тунель, 2 – сходи, 3 – транспортний тунель, 4 – сходи, 5 – залізничний насіп

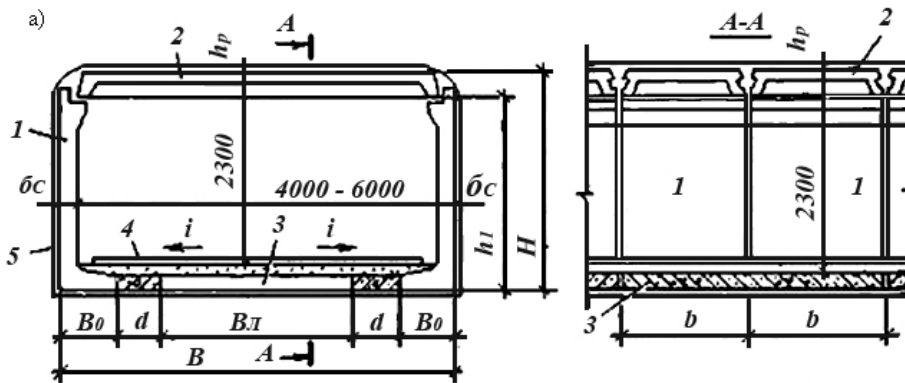


Рис. 10.9. Конструкція однопролітного пішохідного тунелю: 1 – стіновий блок; 2 – блок перекриття; 3 – лотковий блок; 4 – покриття підлоги; 5 – гідроізоляція

зменшенням кількості типів блоків та укрупненням останніх. Наприклад, знаходять застосування конструкції однопрогонових тунелів, що складаються з нижнього лоткового і верхнього П-подібного або двох U-подібних блоків, що утворюють замкнутий контур.

Підземні гаражі та автостоянки економічно ефективні та широко застосовуються в містах. Вони добре поєднуються з висотними будівлями. Об'ємно-планувальні схеми автостоянок і гаражів залежать від кількості машин.

Підземні автостоянки та гаражі для постійного зберігання автомобілів зазвичай розміщують у місцях житлової забудови, під вулицями, проїздами, скверами або парками у вигляді окремо розташованих споруд (рис. 10.10, *а*).

При цьому вони повинні знаходитися на певній відстані від житлової забудови, щоб газовиділення автомобілів не проникали в будівлі. При розміщенні стоянок та гаражів необхідно, щоб радіус їх доступності не перевищував 300...400 м. Найбільш доцільно розташовувати підземні стоянки та гаражі в підвальних і цокольних поверхах будинків (рис. 10.10, *б*). У ряді випадків влаштовують підземні гаражі у вигляді відрізків тунелів довжиною до 150...200 м, що споруджуються закритим способом практично без порушень поверхні землі.

Розрізняють підземні автостоянки та гаражі малої – до 60...75 автомобілів з площею приміщень $S_{п}$ до 1500 м², середньої – до 240 ... 300 автомобілів з $S_{п}$ до

до низу прогону повинна бути не менше 2 м. Зазвичай пішохідні тунелі влаштовують шириною 4, 6 або 8 м.

Підземні пішохідні переходи складаються з закритої частини (тунель) і відкритих східчастих, пандусних або ескалаторних входів і виходів.

Розроблені типові збірні залізобетонні конструкції однопролітних і двопротітних систем (рис. 10.9).

Подальше вдосконалення збірних конструкцій пішохідних тунелів багато в чому пов'язане зі змен-

6000 м² та великої місткості – більше 300 автомобілів. В окремих випадках споруджують підземні об'єкти на 1000, 2000, 3000 автомобілів.

При проектуванні підземних стоянок та гаражів враховують інженерно-геологічні умови і технологію робіт. При будівництві об'єктів відкритим способом підземні конструкції виконують у вигляді одно- або багатоярусних, одно- або багатопролітних рамних систем (рис. 10.11). Перетин окремо розташованих гаражів має прямокутну форму. Конструкція гаражів складається зі стін, перекриття і підлоги. Стіни можуть бути виготовлені із залізобетону або цегли на стрічковому або плитному фундаменті. Плити перекриття зазвичай виконуються з ребристих панелей, пустотних настилів або монолітних гладких залізобетонних плит. У разі будівництва автостоянок і гаражів під висотним житловим будинком їх фундаменти виготовляються з паль і ростверків.

У практиці будівництва набули поширення рампові та механізовані стоянки та гаражі. У рампових гаражах в'їзд і виїзд автомобілів, а також переміщення їх з ярусу на ярус виконується за прямими або спіральними рампами. У механізованих гаражах і стоянках рампи відсутні, і всі операції здійснюються без участі водія.

В'їзди і виїзди з гаража розташовують безпосередньо на прилеглих вулицях. Доцільно влаштовувати їх у напрямку другорядних вулиць, не порушуючи руху на головних магістралях. Безпосередньо перед в'їздом в підземний гараж влаштовують майданчики-накопичувачі для тимчасового розміщення в них

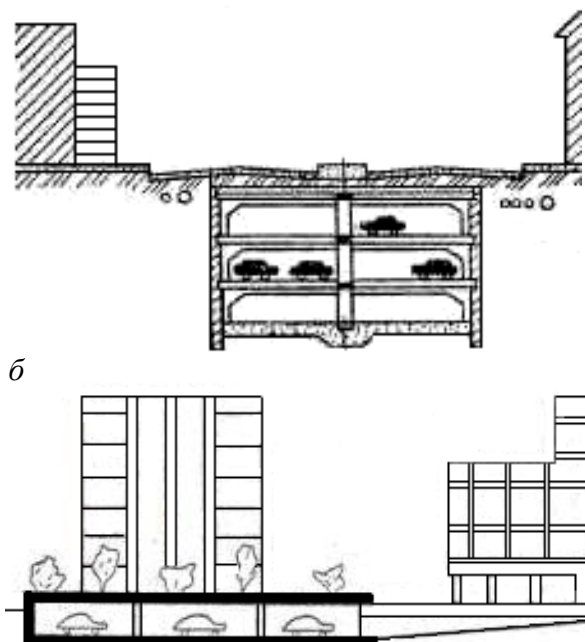


Рис. 10.10. Різновиди гаражів:
а – підземний, б – напівпідземний

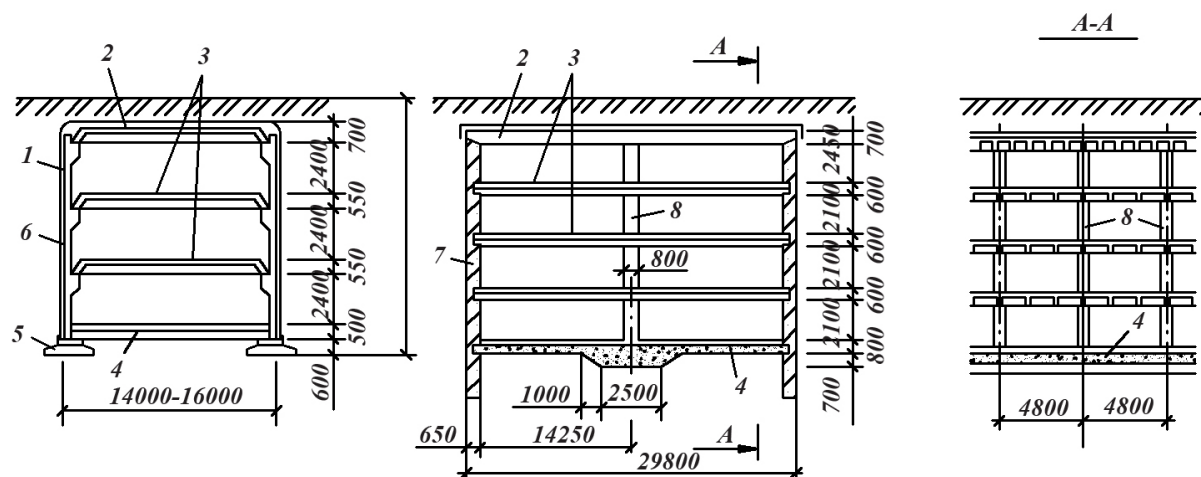


Рис. 10.11. Конструкції підземних гаражів: а – однопрогонові; б – двопрольотні;
1 – стеновий блок; 2 – верхнє покриття; 3 – між'ярусне покриття; 4 – лоток;
5 – фундамент; 6 – гідроізоляція; 7 – траншейна стіна; 8 – колони

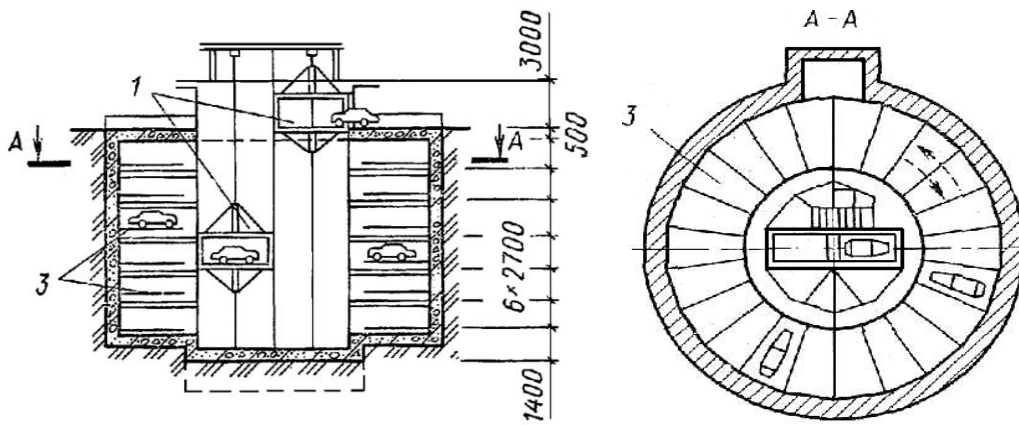


Рис. 10.12. Механізований підземний гараж з поворотними платформами: 1 – ліфтові підйомники, 3 – платформи

5...10 % загального числа автомобілів, призначених для зберігання в гаражі.

Механізовані підземні гаражі влаштовують прямокутного або кругового обрису в плані. У першому випадку їх обладнують спеціальними боксами з рухомими візками для прийому або видачі автомобілів. У гаражах кругової форми на кожному ярусі влаштовують поворотні платформи (рис. 10.12).

Багатофункціональні підземні комплекси.

У багатьох великих містах підземні стоянки та гаражі часто споруджують у складі багатоярусних підземних комплексів багатоцільового призначення. Їх розташовують зазвичай поблизу великих транспортних вузлів, на привокзальних площах, в районі аеропортів, торгових центрів і т.д. Оскільки в цих місцях в першу чергу виникає необхідність у будівництві різних транспортних споруд (станцій метрополітену і залізничних вокзалів, транспортних і пішохідних тунелів, стоянок і гаражів), доцільно об'єднати їх в одному комплексі. До складу підземних комплексів включають також підприємства торгівлі, громадського харчування, кінотеатри, підприємства побутового обслуговування тощо, що створює максимальні зручності відвідувачам. Залежно від конкретних умов підземні комплекси можуть мати 2...6 ярусів (рис. 10.13).

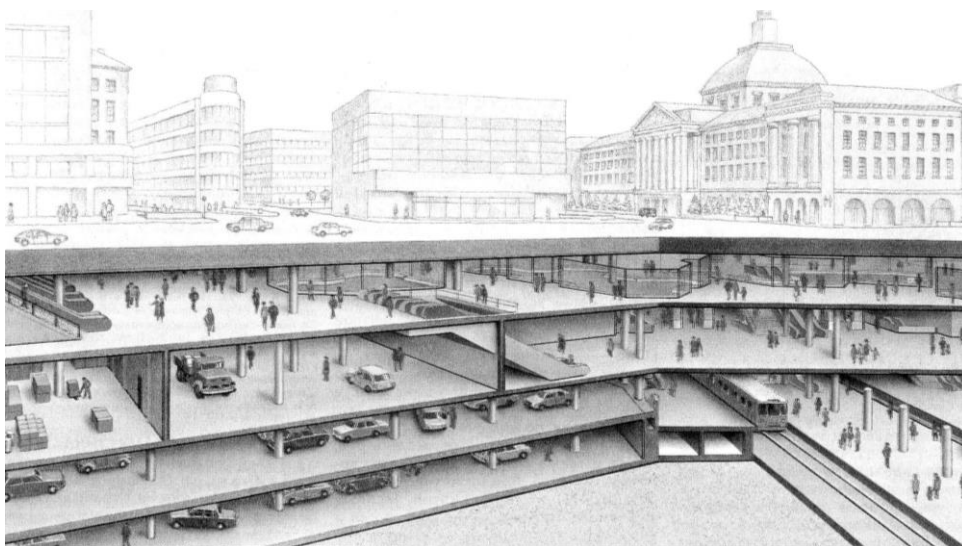


Рис. 10.13. Комплекс підземних споруд на Карлсплац, Мюнхен, Німеччина

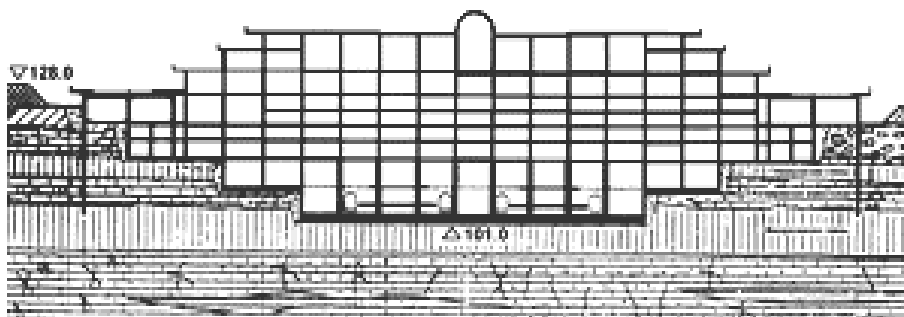


Рис. 10.14. Розріз Центрального ядра "Москва-Сіті"

Перший підземний ярус частіше призначається для пішохідного руху і з'єднується з прилеглими вулицями. На цьому ж ярусі розміщують невеликі магазини, кафе, кіоски та ін. На другому і третьому ярусах можуть перебувати стоянки автомобілів та станції технічного обслуговування. Нижні яруси зазвичай використовуються для розміщення станцій метрополітену, залізничних вокзалів, виїздів в автотранспортні тунелі. Для зв'язку між окремими ярусами служать ескалатори, ліфтові підйомники і сходи.

Найбільшим об'єктом підземного будівництва в Москві став Московський міжнародний діловий центр «Москва-Сіті». Центральним ядром цього комплексу є багатофункціональна споруда, до складу якої входять пересадочний вузол метро, стоянки автомашин, магазини, виставкові офісні та інші приміщення. Центральне ядро запроектовано як 8-поверхова будівля, шість поверхів якого є підземними (рис. 10.14). Будівля має в плані розміри 125×471 м і глибину котловану 23 м.

В Україні лідером за кількістю підземних об'єктів є Київ. Найвідоміший – підземний торговий центр «Глобус», розташований під Майданом Незалежності в Києві. Його будівництво викликало чимало суперечок, однак плани забудови площі, тоді Жовтневої Революції, були ще в радянський час. Наприкінці 1970-х років був розроблений проект, що включав у себе кінотеатр, виставкові зали і ресторани в підземному ярусі. Це було б першим досвідом освоєння підземного простору в комерційних цілях в Радянському Союзі, але спочатку роботи затягнулися, а потім, з розпадом СРСР, і зовсім припинилися. Проект був реалізований лише в 2001 році.

Об'ємно-планувальні рішення підземних комплексів багатофункціонального призначення розробляють з урахуванням конкретних містобудівних і транспортних умов відповідно з характером об'єктів, що входять до складу комплексу.

У більшості випадків підземні комплекси проектують зального типу, надаючи їм в плані різний обрис: прямокутної, полігональної, кругової, еліптичної або неправильної форми. Площу окремих ярусів та їх висоту встановлюють залежно від призначення підземних об'єктів.

Заглиблені підземні споруди промислових підприємств.

У багатьох випадках промислові підприємства повністю або частково заглиблюються в землю, наприклад, заглиблені насосні станції, що мають круглу форму в плані. У сухих ґрунтах вони зводяться у відкритих котлованах, а за на-

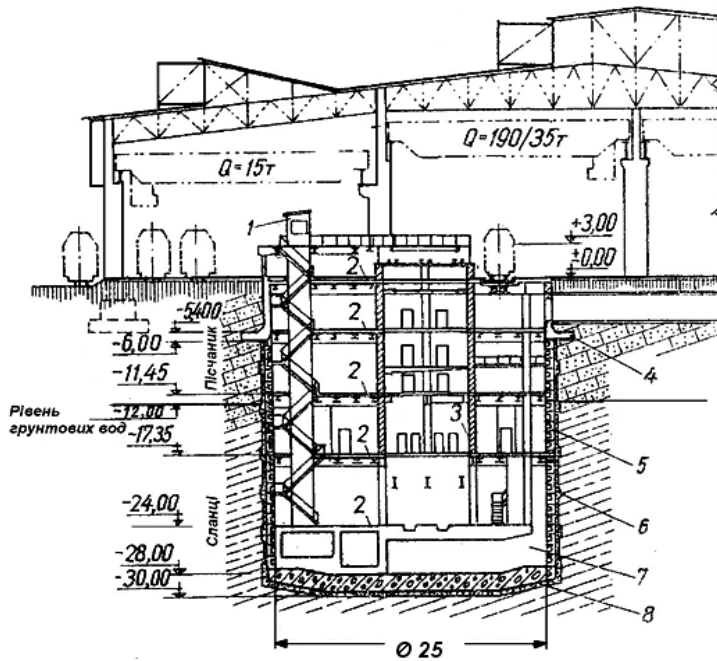


Рис. 10.15. Стакан установки безперервного розливання сталі Донецького металургійного заводу: 1 – ліфт; 2 – міжповерхові перекриття; 3 – внутрішня камера; 4 – оголовок; 5 – тюбінги; 6 – тампонажний шар; 7 – монолітне днище; 8 – гідроізоляція

ляція споруд здійснюється за рахунок застосування тампонажного розчину з гідрофобними добавками. За наявності напірних ґрунтових вод виконано влаштування гідроізоляції та внутрішньої залізобетонної сорочки.

Підземні резервуари для нафти й газу відносяться до спеціальних споруд і повинні бути запроектовані з урахуванням стійкості до низькотемпературних впливів. Вони можуть бути виготовлені із залізобетону або сталі.

Одним з видів низькотемпературних резервуарів для зрідженого природного газу є залізобетонні заглиблені резервуари, конструкція якого наведена на

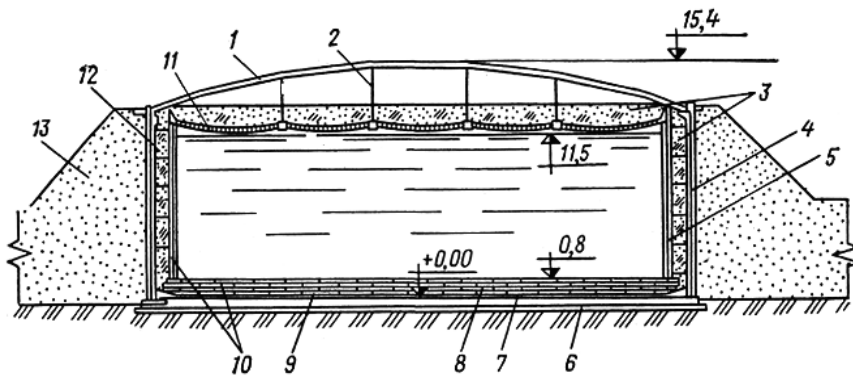


Рис. 10.16. Залізобетонний резервуар для пропану об'ємом 1000 м^3 : 1 – збірний залізобетонний купол; 2 – підвіска; 3 – шар спученого перліту товщиною 1000 мм; 4 – зовнішня залізобетонна стінка; 5 – підпірна стінка з торкретбетону; 6 – труба підігрівача; 7 – гідроізоляція; 8 – днище з попередньо напруженого залізобетону; 9 – шар піноскла; 10 – внутрішні стінки; 11 – додаткове навантаження з керамзитобетону; 12 – сталева розтяжка; 13 – піщаний ґрунт

явності ґрунтових вод – способом опускного колодязя з водовідливом.

На рис. 10.15 показаний підземний комплекс для установки безперервного розливання сталі (УНРС) в мартенівському цеху Донецького металургійного заводу.

Стінка стакану підземного об'єкта виконана у вигляді оболонки, зібрана із залізобетонних тюбінгів.

Міцні породи, в якій споруджували УНРС руйнувалися вибуховим способом і у емностях піднімалася двома екскаваторами Е-5047. З'єднання міжповерхових перекриттів з циліндричними стінами стакану виконувалася шарнірно. Гідроізоляція споруд здійснюється за рахунок застосування тампонажного розчину з гідрофобними добавками. За наявності напірних ґрунтових вод виконано влаштування гідроізоляції та внутрішньої залізобетонної сорочки.

рис. 10.16. Застосування для будівництва резервуарів попередньо напруженого залізобетону дозволяє уникнути утворення тріщин, як від термічних, так і від гідростатичних навантажень. Крім цього, при проектуванні резервуарів необхідно враховувати проникність бетону для рідкої і газоподібної фаз, коефіцієнт тертя бетону по піску та ін.

Нафта і більшість нафтопродуктів мають специфічні властивості, котрі суттєво впливають на процес їх зберігання. Основними з них є висока випаровуваність, вогне- і вибухонебезпечність і здатність до електризації.

Сталеві резервуари для зберігання нафти можна класифікувати за кількома ознаками. Так, за величиною робочого тиску в газовому просторі розрізняють резервуари низького тиску (до 2000 Па), з підвищеним тиском (до 70000 Па) і атмосферні (для зберігання важких продуктів – масла, мазуту та ін.) За конструкцією сталеві резервуари поділяються на вертикальні циліндричні, горизонтальні циліндричні, краплеподібні та траншейні.

Найбільш поширеним типом резервуарів для зберігання нафти і нафтопродуктів є вертикальні сталеві циліндричні резервуари. Типові циліндричні резервуари можуть мати обсяг 100; 200; 300; 400; 500; 700; 1000; 2000; 3000; 5000; 10000; 20000; 30000 і 50000 м³.

10.4. РОЗРАХУНОК ПІДЗЕМНИХ СПОРУД ГЛИБОКОГО ЗАКЛАДАННЯ

Навантаження на підземні конструкції. Конструкції підземних транспортних споруд піддаються впливу різних зовнішніх навантажень, характер розподілу та інтенсивність яких залежать від низки чинників: глибини закладання, інженерно-геологічних умов, характеру міської забудови та руху наземного транспорту, технології виробництва робіт і т.ін.

Навантаження на підземні споруди поділяють на:

постійні, які створюють на конструкцію регулярний вплив – власна вага підземних конструкцій, вага дорожнього покриття і підземних комунікацій, тиск ґрунту і води, а також навантаження від маси будівель і споруд, розташованих над підземними виробками, зусилля попереднього напруження арматури;

тривалі – вага обладнання на перекриттях, тиск рідин, сипучих тіл у місткостях, нормована частина тимчасового навантаження в житлових будівлях, службових і побутових приміщеннях та ін.;

короткочасні, які характеризуються періодичним тривалим або короткочасним впливом – вага транспортних засобів, що рухаються по тунелю, підземному гаражу або над ними, вага людей, деталей, матеріалів в зонах обслуговування, ремонту; частина навантаження на перекриттях будівель, снігові і вітрові, температурні впливи; при виготовленні і т.ін.

особливі – сейсмічні, вибухові впливи; навантаження, викликані різкими порушеннями технологічного процесу, тимчасовою несправністю чи руйнуванням обладнання; зумовлені нерівномірними деформаціями основи при докорінній зміні структури ґрунту, осіданням у районах гірничих виробок.

Всі перераховані вище зовнішні навантаження можуть діяти на підземну конструкцію одночасно або в різні моменти часу. У зв'язку з цим можливі різні поєднання навантажень, що викликають у конструкції різні напружені стани. Для розрахунку підземних конструкцій необхідно виявити найбільш не вигідні сполучення навантажень (основні та особливі), при впливі яких в конструкції виникнуть найбільші внутрішні зусилля.

У основні сполучення включають постійні навантаження і тимчасові впливи від транспортних засобів, а також тимчасові будівельні і експлуатаційні навантаження. Особливі сполучення складаються з деяких постійних і тимчасових навантажень основного сполучення і особливих впливів. Включення тих чи інших навантажень в основні або особливе поєднання носить умовний характер і залежить від конкретної ситуації, причому ті ж навантаження можуть входити і в основні і в особливі сполучення. У більшості випадків розрахунків роблять на основні сполучення навантажень, а на особливі виконують перевірку.

Підземні конструкції розраховуються за несучою здатністю (граничні стани першої групи) і за придатністю до нормальної експлуатації (граничні стани другої групи). Конструкції протяжних підземних споруд, довжина яких значно перевищує розміри поперечного перерізу, закладених в однорідному середовищі, розраховують в умовах плоскої деформації.

При проектуванні конструкцій підземних транспортних споруд застосовують досить прості наближені методи розрахунку на задані навантаження з використанням апарату будівельної механіки. При цьому спочатку визначають всі діючі на обробку активні навантаження, а потім розраховують її як основну систему з урахуванням або без урахування пружного відпору ґрунту. Основний недолік методів розрахунку на задані навантаження полягає в тому, що вони не враховують повною мірою дійсних умов взаємодії обробки з навколишнім ґрунтовим масивом.

Постійні навантаження від власної ваги конструкцій приймають рівномірно розподіленими по перекриттю підземної споруди. Власну вагу конструктивних елементів визначають згідно з їх проектними геометричними розмірами і питомої ваги будівельних матеріалів. Якщо власна вага конструкцій становить не більше 5% розрахункового вертикального тиску, дію її можна не враховувати.

Навантаження від ваги шарів дорожнього одягу і розташованих на перекритті підземних споруд мілкого закладання різних інженерних комунікацій також визначають за даними проекту.

Вертикальний тиск ґрунту (гірський тиск) при глибокому закладанні підземних споруд визначають відповідно до гіпотези М.М. Протодьяконова, відповідно до якої ґрунти (гірські породи) розглядаються як незв'язні і характеризуються коефіцієнтом міцності $f_{кр}$: для незв'язних ґрунтів $f_{кр} = tg \varphi$; для скельних $f_{кр} = 0,1R$, де φ – кут внутрішнього тертя, R – міцність порід на стиск, МПа.

Вертикальний гірський тиск на кріплення підземного об'єкта зверху створюється масою порушених порід, область яких обмежена склепінням тиску і контуром виробки. Проліт склепіння тиску визначають з урахуванням утворення призми обвалення під кутом $45^\circ - \varphi/2$ до вертикалі (рис. 10.17, а, б):

$$B = b + 2h \operatorname{tg} (45^\circ - \varphi/2) \text{ або } B = D + 2D \operatorname{tg} (45^\circ - \varphi/2). \quad (10.2)$$

Висоту склепіння тиску $h_{св}$, в якому мають діяти тільки стискаючі напруження, знаходять з умови його рівноваги, під дією рівномірно розподіленого вертикального навантаження за формулою:

$$h_{св} = B/2f. \quad (10.3)$$

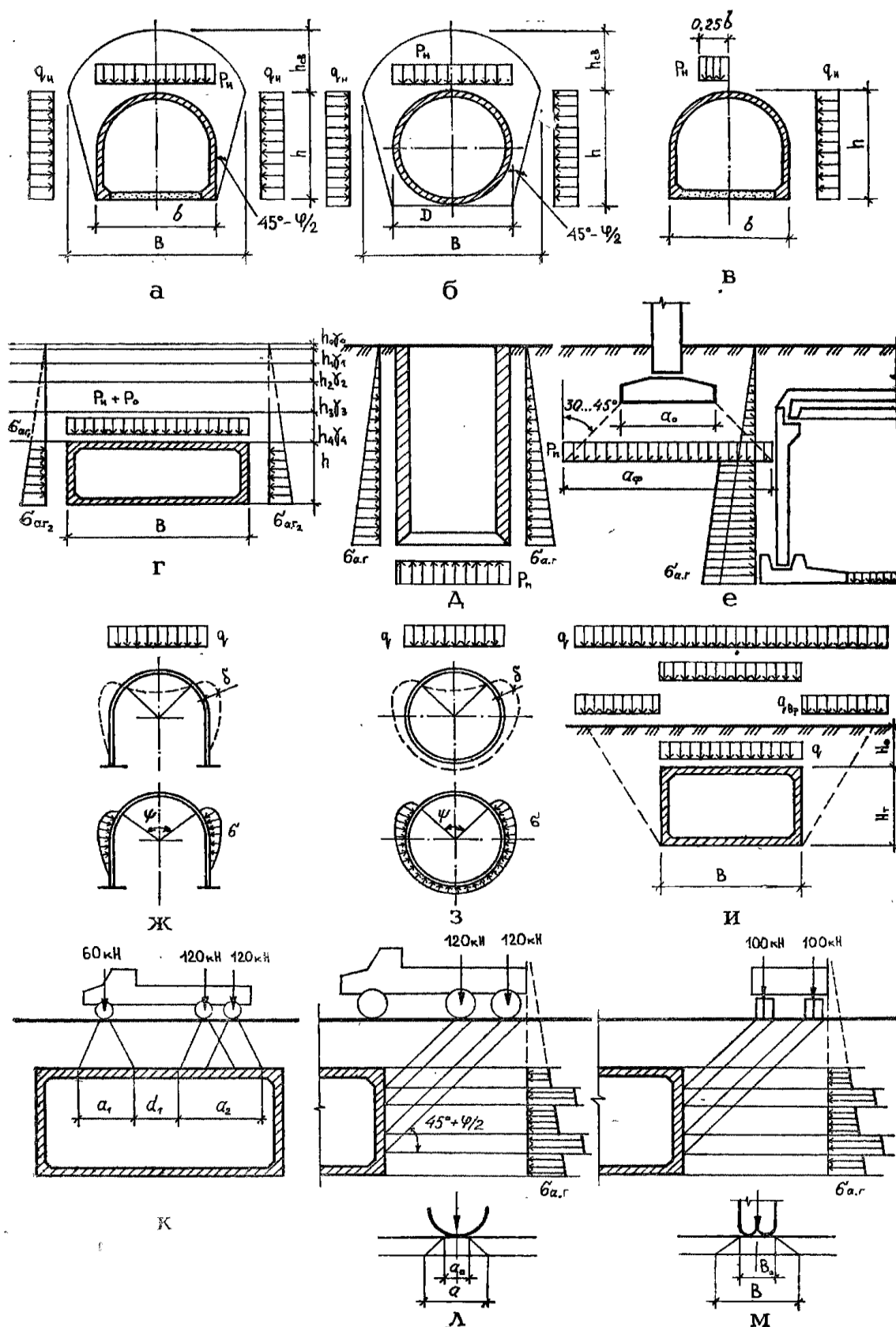


Рис. 10.17. Схеми навантажень: а, б – від склепіння тиску; в – від вивалу; г – для будівель неглибокого закладання; д – для опускних споруд і вертикальних виробок; е – при тиску поруч розташованої будівлі; ж, з – при взаємодії обробок з ґрунтом, і – від тимчасового навантаження на поверхні; к ... м – від автотранспорту

Для практичних розрахунків вертикальний гірський тиск p_n і горизонтальний q_n , Па приймають рівномірно розподіленими (див. рис. 10.17):

$$p_n = k_p \gamma h_{св}, \quad (10.4)$$

$$q_n = \gamma (h_{св} + 0,5 h) \eta. \quad (10.5)$$

де k_p – коефіцієнт умов роботи ґрунтового масиву; γ – питома вага, Н/м³, η – коефіцієнт бічного тиску: $\eta = \operatorname{tg}^2(45^\circ - \varphi/2)$ – для всіх ґрунтів, крім пластичних, $\eta = \mu/(1 - \mu)$ – для пластичних ґрунтів; μ – коефіцієнт Пуассона.

У тріщинуватих скельних породах величину гірського тиску від вивалу приймають залежно від середньої відстані між тріщинами b_T : $p_n = 0,6\gamma b$, при $0,04b < b_T \leq 0,08b$; $p_n = 0,6\gamma b$ при $0,08b < b_T < 0,17b$; p_n не враховують, якщо $b_T > 0,17b$; $q_n = 0,19 \gamma h$ при $0,04b < b_T \leq 0,08b$; q_n не враховують, якщо $b_T > 0,08b$. При розрахунку приймають вертикальний тиск від вивалу рівномірно розподіленим по довжині $0,25b$ з розташуванням його на тій ділянці конструкції, де він викликає найбільші зусилля (рис. 10.17, в). Бічний тиск від вивалу q_n має бути з одного боку конструкції.

Якщо відстань від покрівлі виробки до денної поверхні більше двох висот склепіння тиску, то значення гірського тиску при $f_{кр} < 4$ приймають рівним вазі ґрунту в обсязі, обмеженому склепінням тиску. При меншій глибині закладання споруди, а також у тих випадках, коли умови утворення вивалів не дотримуються, а теорія М.М. Протодьяконова неприйнятна (у слабких водонасичених і розріджених ґрунтах), вертикальний тиск ґрунту приймають у вигляді маси всієї товщі ґрунту над виробками (рис. 10.17, з):

$$p_n = \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i, \quad (10.6)$$

де γ_i – питома вага ґрунту; h_i – потужність шару; n – кількість шарів.

Горизонтальний тиск ґрунту на стіни підземної споруди неглибокого закладання визначають з урахуванням розподілу його за трикутною епюрою (рис. 10.17, з). Аналогічно знаходять тиск ґрунту на стіни опускних колодязів і вертикальних виробок (шахтних стволів):

$$q_n = \gamma h \eta; \quad \eta = \mu/(1 - \mu). \quad (10.7)$$

Для опускних колодязів рекомендується визначати тиск залежно від виду ґрунту. Розрахункове значення тиску в глинистих ґрунтах

$$p_q = k_h \left(\sum_{i=1}^n \gamma_i h_i + q \right), \quad (10.8)$$

де k_h – коефіцієнт, що дорівнює $\mu'/(1 - \mu')$; μ' – коефіцієнт бічного тиску ґрунту (при відсутності даних припускається приймати $\mu' = 0,5$ для суглинків, $\mu' = 0,7$ для глин); γ_i , h_i – питома вага і висота i -го шару ґрунту; q – вертикальне рівномірно розподілене навантаження.

Якщо підшва споруди розташована нижче рівня ґрунтових вод, треба враховувати гідростатичний тиск. При його визначенні необхідно враховувати зниження рівня води, викликане спорудженням виробки і відновлення його на стадії експлуатації. У зв'язку з цим, його рівень приймається щонайнижчим при будівництві та найвищим при експлуатації об'єкта. Водонепроникну конструкцію розраховують на дію гідростатичного тиску, при цьому в розрахунок вво-

дять зменшений тиск на ґрунтову основу від власної ваги будівлі і ґрунту над ним і знижені значення розрахункових опорів водонасиченого ґрунту в основі.

Питому вагу водонасиченого ґрунту приймають з урахуванням виважуючої дії води:

$$\gamma_{взе} = (\gamma_s - \gamma_w)/(1 + e), \quad (10.9)$$

де γ_s – питома вага часток ґрунту, Н/м³; γ_w – питома вага води, Н/м³; e – коефіцієнт пористості ґрунту.

При цьому необхідно також враховувати зменшення кута внутрішнього тертя водонасиченого ґрунту. Якщо нижче горизонту води залягають водонепроникні ґрунти, тиск води враховують тільки як навантаження, що збільшує тиск ґрунту нижче горизонту води, без урахування його «зважування».

Якщо підземні будівлі розташовуються поблизу існуючих наземних будівель, в розрахунку враховують тиск від існуючих фундаментів, якщо останні потрапляють в зону призми обвалення (рис. 10.17, е). Тиск від фундаментів розподіляється під кутом 30° або 45° до вертикалі, залежно від того, який випадок є найбільш несприятливим.

$$p_\phi = Q/a_\phi; \quad q_\phi = Q/a_\phi \operatorname{tg}^2(45^\circ - \phi/2) \quad (10.10)$$

де Q – вертикальний тиск на підшву фундаменту; a_ϕ – ширина майданчика завантаження з урахуванням розподілу тиску за глибиною.

При взаємодії залізобетонної конструкції будівлі з ґрунтом (внаслідок вдавнення ділянок конструкції в ґрунт, наприклад, обробок, обжатих в ґрунтовий масив, або при вигині споруд), проявляються сили і напруження пружного відпору ґрунту. Значення напружень можна визначити на основі гіпотези Вінклера

$$\sigma = k \cdot \delta, \quad (10.11)$$

де k – коефіцієнт пружного відпору; δ – переміщення ґрунту на контакті з підземною будівлею.

Враховуючи деякі недоліки гіпотези Вінклера, у розрахунках використовують також гіпотезу загальних деформацій, у якій ґрунтовий масив розглядається як середовище, що деформується лінійно.

Якщо ділянки підземних споруд мілкового закладання розташовані безпосередньо під будівлями, фундаменти яких спираються на підземні конструкції, останні повинні бути розраховані на навантаження, що передаються від будівель. Впливи від натягу арматури попередньо напружених залізобетонних конструкцій визначаються згідно з встановленим в проекті максимальним значенням зусиль натягу.

Для будівель неглибокого закладання, розташованих під проїжджою частиною, визначають навантаження від транспортних засобів: автомобілів, тролейбусів, автобусів, а за наявності рейкового транспорту – від залізничних поїздів, трамваїв, метро. При розрахунку приймають розташування тимчасового навантаження на перекритті і призмах обвалення (рис. 10.17).

При закладання верху підземної будівлі менше 0,8 м тимчасове транспортне навантаження встановлюють вздовж і впоперек будівлі, а при глибині закладання більше 0,8 м її замінюють вагою еквівалентного шару ґрунту

$$h_{екв} = p_{вр}/\gamma, \quad (10.12)$$

де p_{ep} – інтенсивність тимчасового навантаження.

При розрахунку тиску на покриття приймають розподіл тиску від рухомих навантажень Н-30 і НК-80 в ґрунті під кутом 30° до вертикалі, а в дорожньому одязі – 45° . Розмір завантаженого майданчика, через який передається тиск від коліс транспорту, знаходять в залежності від розміру відбитка колеса a_0 і b_0 і товщини дорожнього одягу δ_n : вздовж руху $a = a_0 + 2\delta_n$; впоперек руху $b = b_0 + 2\delta_n$,

$$p_{ep} = P/F, \quad F = ab, \quad (10.13)$$

де P – зосереджене тимчасове навантаження.

При розташуванні тимчасового навантаження на призмі обвалення визначають бічний тиск на стіну будівлі

$$q_{ep} = (\Sigma P/bc) \operatorname{tg}^2(45^\circ - \varphi/2) \alpha. \quad (10.14)$$

де b – ширина відбитка колеса; c – розмір по висоті стіни будівлі, на який передається навантаження, але не більше 4 м для навантаження Н-30 і 3,6 м – для НК-80, і не більше довжини будинку; параметр α – див. [11].

Навантаження від натовпу людей над підземною будівлею або всередині неї приймають 4 кПа, якщо відсутні більш інтенсивні навантаження від транспорту.

Температурні дії при розташуванні будівель в зонах коливань температур враховують для статично невизначених конструкцій з урахуванням їх форми, а також теплофізичних властивостей матеріалу.

Якщо верхня частина будівлі розташована в ґрунтах, схильних до морозного здимання, необхідний додатковий розрахунок на дію цих сил.

Сейсмічні дії враховують при розрахунку будинків, розташованих у зонах з 7 ... 9-бальною сейсмічністю. При цьому сейсмічні зусилля можна визначати як сили інерції ваги будівлі та ґрунту і прикладати як статичні в горизонтальному і вертикальному напрямках.

Розрахунок конструкцій, при відкритому способі зведення. Обваловані конструкції житлових, громадських будівель, підземних споруд неглибокого закладання при відкритому способі зведення розраховують аналогічними способами.

При відкритому способі зведення конструкції можуть бути рамними, прямокутними в плані та просторовими – у вигляді оболонки різного типу, що спираються на стіни будівлі, колони або безпосередньо на фундаменти.

У транспортному будівництві знайшли широке застосування будівлі з позовжнім розташуванням ригелів. Прямокутні в плані рамні конструкції зі збірного залізобетону розраховують як звичайні наземні залізобетонні рамні будівлі, але при цьому виключаються горизонтальні вітрові навантаження, додаються горизонтальний тиск ґрунту і вага ґрунту на покритті (рис. 10.18). Елементи конструкцій розраховують у такому порядку: плити покриття і перекриттів, ригелі, колони, стіни, фундаменти.

Конструкції плит (блоків) покриттів і перекриттів, зазвичай у вигляді ребристих П-подібних або таврових плит, працюють на вигин як однопрогонові шарнірно оперті балки від вертикальних навантажень з додатковою дією горизонтального стискаючого зусилля від бокового тиску ґрунту.

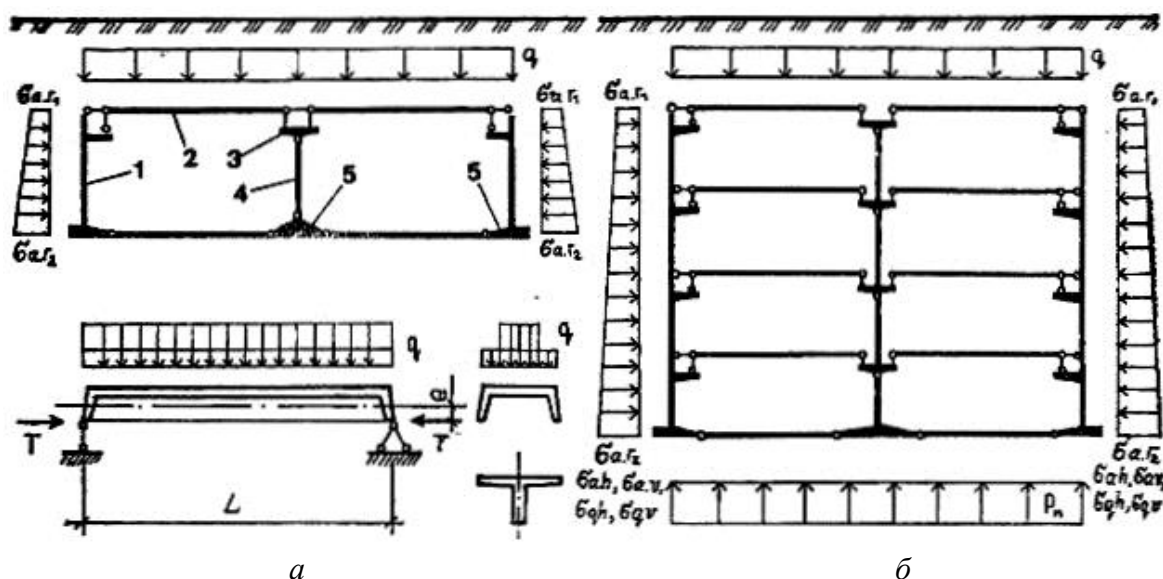


Рис. 10.18. Розрахункові схеми будівель, що зводяться відкритим способом:
 а – одноповерхова будівля і панель покриття; б – багатоповерховий будинок;
 1 – стіна; 2 – покриття; 3 – ригель; 4 – колона; 5 – фундамент

Розрахунок полиць ребристих плит перекриттів і покриттів полягає в наближеному розрахунку плити як балки на двох опорах з урахуванням пружного защемлення в ребрах і в розрахунку ребер як позацентрово стиснутих елементів.

Стіни будівель прямокутної форми в плані розраховують як позацентрово стиснуті елементи з урахуванням дії тимчасового навантаження на призмі обвалення. Вертикальне навантаження N може бути передане на стінові блоки центрально або позацентрово, при цьому в місці передачі позацентрового навантаження діє згинаючий момент $M_1 = Ne_1$, а в місці закладання $-M_2 = -0,5 Ne_1$. При визначенні згинальних моментів від дії бічного тиску ґрунту блоки приймають як одно-або багатопролітні нерозрізні балки.

Конструкції стін розраховують за міцністю, тріщиностійкістю (допустиме розкриття тріщин $a_{\text{кр}} \leq 0,2$ мм), деформацією (максимальні прогини $f \leq 1/300 N_c$). Фундаментні блоки крайніх рядів працюють на спільну дію нормальної сили і згинального моменту від стінового блоку, а також на бічний тиск ґрунту. Перевіряють розмір підшви за умови забезпечення осідання та міцності основи, потім роблять розрахунок фундаменту.

При розташуванні ригелів вздовж будівлі (рис. 10.18) за середніми колонам їх розраховують як розрізні або нерозрізні балки на навантаження від блоків перекриття, приведенного до рівномірно розподіленого, середні колону або розділювальну несучу стіну – як позацентрово стиснуті елементи.

Одноповерхові збірні рамні конструкції з повним каркасом розраховують як симетрично завантажену раму з шарнірним обпиранням ригелів на колони і з закладанням колон у фундаментах (рис. 10.19).

Однопролітну замкнуту раму з монолітного залізобетону розраховують методами сил, переміщень або розчленування, враховуючи властивості основи за гіпотезою місцевих чи загальних деформацій.

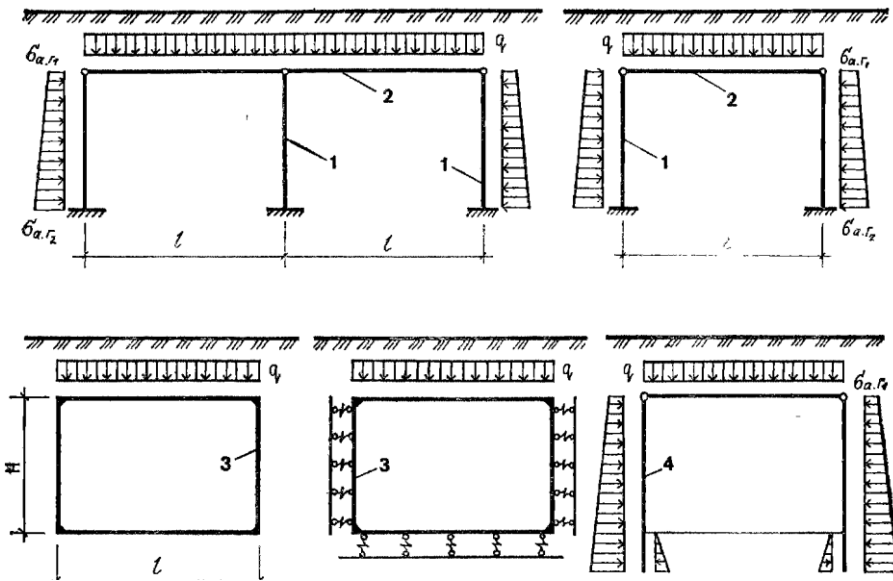


Рис. 10.19. Розрахункові схеми рамних одноповерхових будинків: 1 – колона; 2 – ригель; 3 – замкнута рама; 4 – стіна в ґрунті

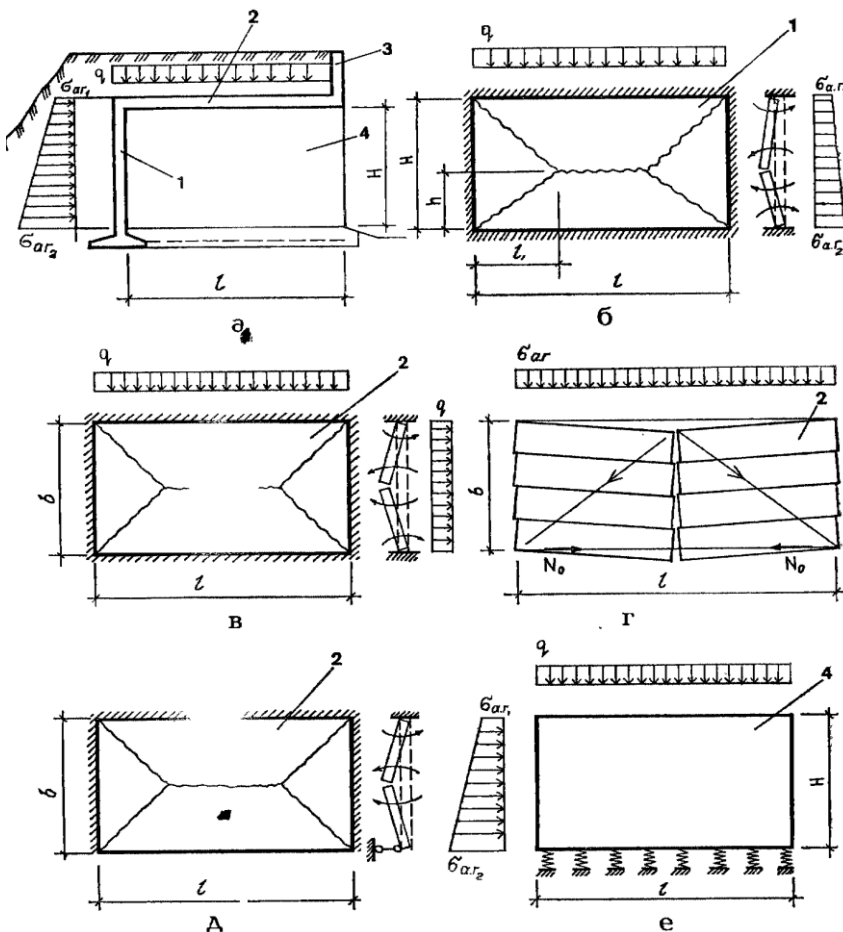


Рис. 10.20. Розрахункові схеми елементів обвалованих житлових будинків: а – обвалованої стіни, б – покриття; в – збірного перекриття; г – покриття з шарнірною опорою; д – внутрішньої стіни; е – внутрішньої стіни; 1, 4 – стіни – власне обвалована і внутрішня; 2 – покриття, 3 – парпет

Раму на пружній основі з урахуванням гіпотези місцевих деформацій рекомендується розраховувати за методикою ЦНІС-Метропроекту, пружний відпір імітують системою пружних стрижнів. У місцях постановки пружних стрижнів і у середині покриття врізають шарніри, прикладають невідомі моменти M_i , вирішують задачу методом сил.

Раму розраховують на дію вертикального і бічного тиску ґрунту і одиничних моментів, прикладених у місцях пружних опор і в центрі покриття. Зусилля в основній системі від одиничних невідомих і від зовнішнього навантаження знаходять послідовним вирізанням вузлів. Фундаментну плиту розраховують як балку на пружній основі, використовуючи гіпотезу місцевих чи загальних деформацій.

Розрахунок конструкцій обвалованих будинків виконують, розділяю-

чи їх на окремі елементи: плити покриття, перекриття, бічні обваловані стіни, необваловані стіни, внутрішні стіни, фундаменти (рис. 10.20). Різним чином оперті прямокутні плити рекомендується розраховувати методом граничної рівноваги з урахуванням сил розпору. Наприклад, зовнішня обвалована стіна будівлі знаходиться під дією активного тиску ґрунту і вертикального навантаження реакції покриття. Вертикальне навантаження стискає плиту в її площині, а тиск ґрунту викликає вигин плити. У підсумку плита працює на позацентровий стиск, але її міцність може бути розрахована методом граничної рівноваги.

При розрахунку напружено-деформованого стану та міцності плоских прямокутних плит перекриттів і стін потрібно враховувати фактичні умови їх спирання – шарнірний або жорсткий стики з пов'язаними конструкціями стін і перекриттів (рис. 10.20, б ... д). Трапецієвидну епюру тиску ґрунту для зручності розрахунку можна розділити на трикутну і прямокутну епюри, після чого розрахувати плити окремо на кожне навантаження. Збірні залізобетонні перекриття з поздовжнім розташуванням плит рекомендується розраховувати з урахуванням сил тертя у швах плит (рис. 10.20, е).

Внутрішні стіни, на які передаються горизонтальне навантаження від обвалованих стін і вертикальна – від покриттів, рекомендується розраховувати як балки-стілки на пружній основі (рис. 10.20, е).

10.5. ТЕХНОЛОГІЯ БУДІВНИЦТВА ПІДЗЕМНИХ ОБ'ЄКТІВ

Розглянуті вище підземні об'єкти, а також комплекс виробок метрополітену, можуть розташовуватися на різній глибині, що припускає різні технології їх спорудження. Відкритий спосіб робіт, при якому розкривається поверхня землі, застосовується при неглибокому закладенні об'єктів. Відкритим способом на лініях мілкового закладання споруджуються перегінні тунелі, станції, розтруби, камери з'їздів, тупики та інші виробки (рис. 10.21).

При спорудженні підземних об'єктів відкритим способом можуть бути застосовані 3 способи робіт: котлований, траншейний та з застосуванням пересувного механізованого кріплення. Закритий спосіб спорудження підземних об'єктів, в тому числі виробок метрополітену, передбачає використання гірничих технологій і в даному розділі не розглядається.

Будівництво підземних споруд у котлованах.

Котлованим називають спосіб робіт, при якому конструкція підземного об'єкту зводиться в попередньо розкритому на повну глибину котловані. Після монтажу об'єкта та влаштування гідроізоляції здійснюють зворотнє засипання котловану, відновлюють або упорядковують поверхню землі.

Залежно від форми і габаритів підземної споруди, особливостей міської забудови та інженерно-геологічних умов котловани можуть бути (рис. 10.22) з природними укосами, з вертикальними стінами і з комбінованими стінами. В умовах щільної міської забудови найчастіше застосовують котловани з вертикальними стінами, що припускають установку тимчасового кріплення для забезпечення стійкості стін котловану.

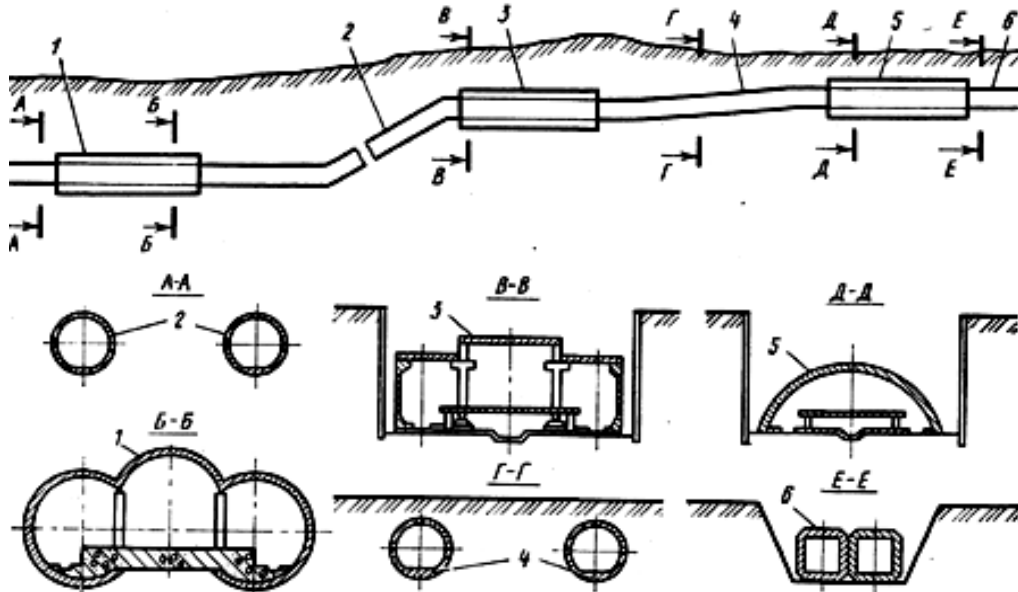


Рис. 10.21. Схема способів спорудження метрополітену: 1 і 2 – перегінні тунелі і станції глибокого закладання – споруджують закритим способом; 3 і 5 – станції мілкового закладання – споруджують відкритим способом; 4 – перегінні тунелі мілкового закладання – споруджують закритим способом; 6 – перегінні тунелі мілкового закладання – споруджують відкритим способом

Для кріплення вертикальних стін котлованів, що розробляють у вологих ґрунтах, найчастіше застосовують металеві палі, в якості яких використовують сталеві балки двотаврового перерізу, труби або залізобетонні/бетонні (буронабивні) палі.

Металеві палі 3 (рис. 10.23) занурюють вздовж котловану або траншеї на відстані 0,5...1,5 м одна від одної із заглибленням нижче дна на 3...5 м. Простір між палями може бути закріплено за допомогою дерев'яних дощок 5, залізобетонних плит або шляхом нанесення покриття з набризкбетону в зв'язаних ґрунтах. Для додання стійкості палі розпирають залежно від глибини котловану і інтенсивності бічного тиску одним або двома рядами розстрілів 2, в якості яких застосовують дерев'яні або металеві елементи різних перетинів: швелерні, трубчасті або у вигляді наскрізних ферм. При глибині траншей або котлованів менше 3...4 м можливе застосування паль консольного типу. У котлованах глибиною понад 10 м ставлять два ряди розстрілів.

Останнім часом замість систем кріплення із застосуванням розстрілів для утримання вертикальних паль використовують анкерне кріплення (рис. 10.24).

Замкову частину анкерів розташовують за межами можливої призми об-

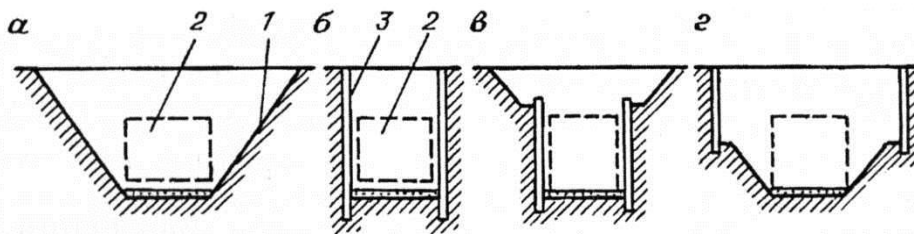


Рис. 10.22. Схеми конструкцій котлованів : 1 – укiс; 2 – тунель, 3 – паля
а – з природними укосами, б – з вертикальними стiнами і в – з комбiнованими стiнами

валення. В якості анкерів застосовують сталеві труби, стрижні періодичного профілю, а також високоміцний дріт у вигляді пучків або канатів. Граничне зусилля анкера зі стрижневими відтяжками становить 150...500 кН, з трубчастими – 300...1500 кН, з дротяними – до 2500 кН. Анкери розташовують по довжині котловану через 3-5 м в один або декілька ярусів по висоті з кутом нахилу до горизонту $\alpha = 25^\circ - 30^\circ$. У деяких випадках влаштовують горизонтальні анкерні відтяжки (рис. 10.24, б). У такому випадку їх закріплюють на спеціальних палях.

Влаштування котлованів із застосуванням тимчасового кріплення включає наступні технологічні операції (рис. 10.25): підготовчі роботи (I); забивання палей (II); розробка ґрунту (III); планування дна котловану (IV); влаштування бетонної підготовки (V); гідроізоляція лотка (VI); монтаж обробки (VII); гідроізоляція

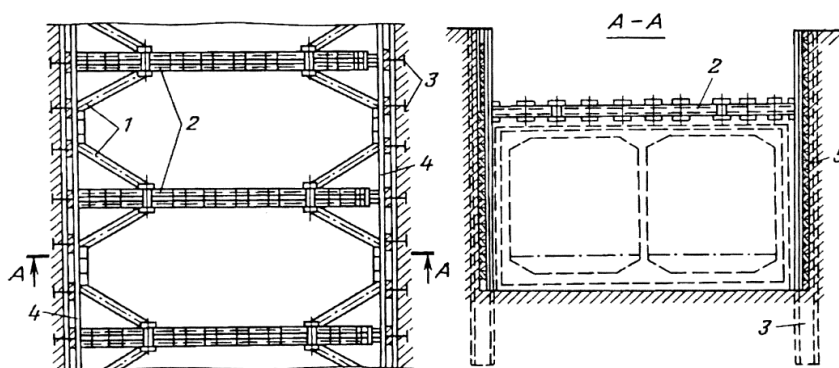


Рис. 10.23. Схема тимчасового кріплення котловану

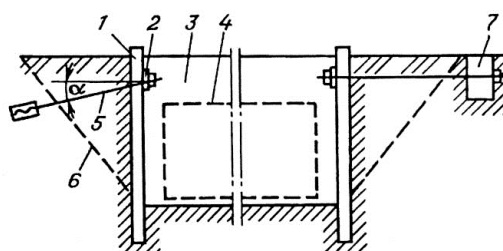


Рис. 10.24. Схеми кріплення стін котлованів: 1 – палі; 2 – пояси; 3 – котлован; 4 – контур підземної ї споруди; 5 – анкери; 6 – призма обвалення; 7 – маякові палі

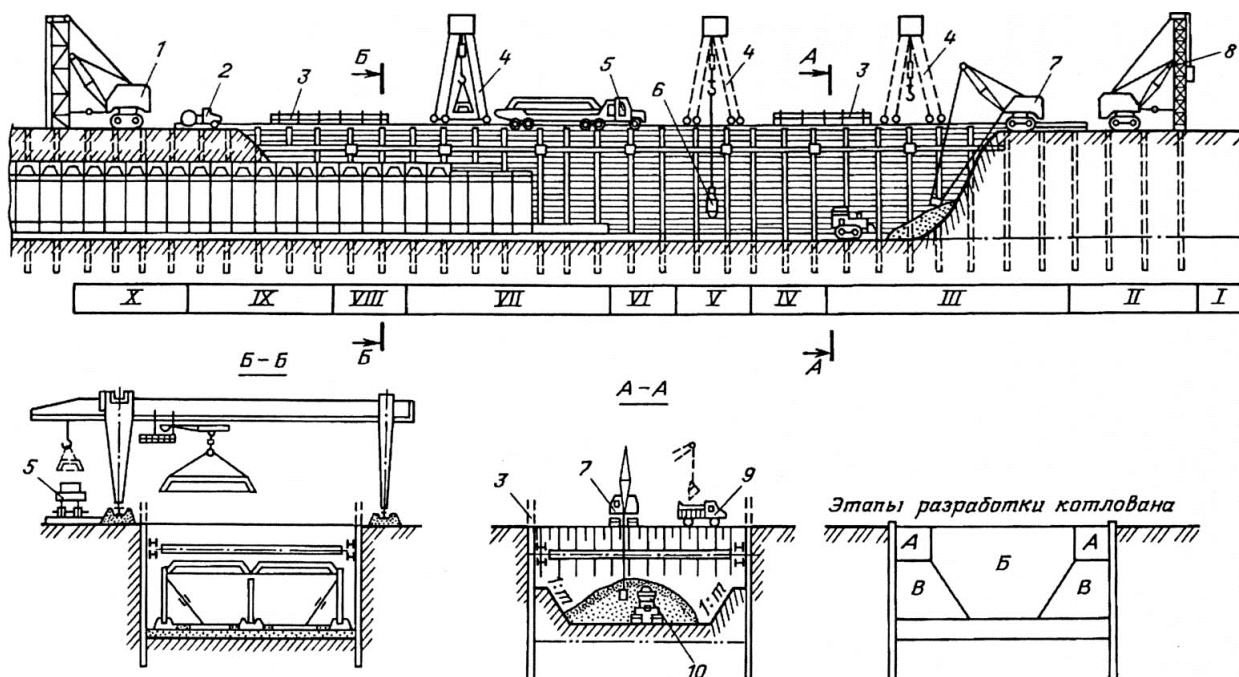


Рис. 10.25. Технологічна схема будівництва тунелю в котловані зі пальною кріпленням (I - X - етапи робіт): 1 – установка для витягування палей; 2 – каток; 3 – огорожа котловану; 4 – козлові крани, 5 – трейлер; 6 – цебер для бетону; 7 – екскаватор; 8 – установка для забивання палей; 9 – автосамоскид; 10 – бульдозер

стін і перекриття (VIII); зворотнє засипання конструкції і планування (IX); витягання паль (X).

Будівництво підземних споруд із застосуванням огорожувальних конструкцій (траншейний спосіб)

Траншейним називають спосіб робіт, при якому спочатку у вузьких траншеях зводять стіни підземного об'єкта, розкривають поверхню землі на всю ширину (на всій площі) підземного об'єкта, влаштовують перекриття та здійснюють зворотну засипку котловану. Потім під захистом перекриття розробляють ґрунт у центральній частині і зводять бетонну подушку.

Траншейний спосіб застосовують в умовах щільної міської забудови під вузькими вулицями для якнайшвидшого відновлення поверхні.

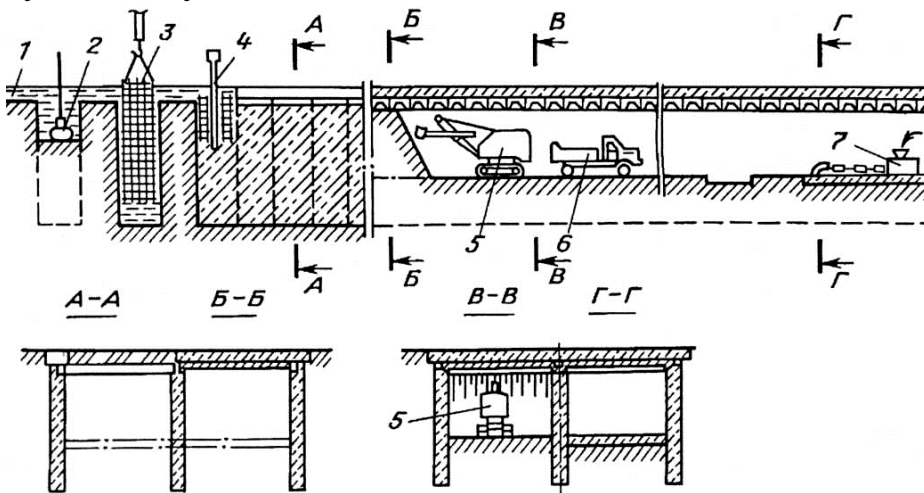


Рис. 10.26. Схема будівництва тунелю траншейним способом:

1 – піонерна траншея, 2 – дрейфер; 3 – арматурний каркас, 4 – бетонолитна труба; 5 – екскаватор; 6 – автосамоскид; 7 – бетононасос

Комплекс технологічних операцій з влаштування траншейних стін в останні роки виконують способом «стіна в ґрунті», описаний вище.

Після влаштування траншейних стін розкривають поверхню між ними до необхідної позначки і влаштовують перекриття (рис. 10.26). Готове

перекриття покривають гідроізоляцією і засипають ґрунтом з наступним його плануванням. Після цього приступають до розробки ґрунту усередині споруди.

При будівництві протяжних споруд (переходи, автотранспортні тунелі) розробку ґрунту здійснюють в один прийом з боку порталних ділянок за допомогою малогабаритних екскаваторів, бульдозерів, породонавантажуючих машин. Транспортування породи здійснюють у автосамоскидах, вагонетках або конвеєрами.

При будівництві багатоярусних споруд типу підземних гаражів розробку ґрунту ведуть шарами в напрямку зверху вниз. На поверхню землі породу можна видавати баддями за допомогою крана через отвори, залишені в перекриттях, або автосамоскидами, що пересуваються по спеціально влаштованих пандусах.

Конструкції між'ярусних перекриттів можна влаштовувати за двома технологічними схемами: зверху-вниз і знизу-вгору.

За першою схемою ґрунт виймають на висоту ярусу підземного об'єкту і відразу ж зводять перекриття, після цього цикл повторюють до тих пір, поки не будуть зведені всі яруси (рис. 10.27).

За другою схемою одночасно з розробкою ґрунту здійснюють кріплення траншейних стін за допомогою розстрілів або анкерами. Після розробки ґрунту

на проектну глибину приступають до зведення між'ярусних перекриттів у напрямку знизу вгору. При цьому демонтують пояса і розстріли.

Будівництво підземних об'єктів із застосуванням пересувних кріплень.

При застосуванні пересувного кріплення підземні споруди зводять за допомогою спеціальних щитів незамкнутого профілю, що переміщуються за рахунок відштовхування від зібраної обробки. Щити виконують роль тимчасового пересувного кріплення, запобігаючи обваленню породи при її розробці. Під захистом оболонки щита зводять обробку тунелів. У міру переміщення щита і зведення обробки простір між обробкою і ґрунтом засипають піском.

Пересувне механізоване кріплення (ПМК) (рис. 10.28) застосовують при будівництві різних тунелів неглибокого закладання (до 12 м) з суцільносекційною обробкою поблизу будівель і споруд. ПМК являє собою просторове розпирне пересувне металеве кріплення Н-подібної форми в плані, що складається з двох частин, розділених між собою домкратною секцією. Передня ножова частина призначена для розробки забою, хвостова – для монтажу секцій обробки. Домкратна секція призначена для переміщення ПМК.

Цикл робіт при будівництві тунелів із застосуванням ПМК (рис. 10.29) складається з наступних основних операцій:

- розробка ґрунту екскаватором і переміщення ПМК і екскаватора з засипанням будівельного зазору, що утворився спеціальним заповнювачем;
- влаштування дренажного шару основи і монолітного залізобетонного днища колектора;
- монтаж збірної залізобетонної обробки тунелю;
- влаштування гідроізоляції конструкції тунельної обробки;
- зворотне засипання ділянки тунелю.

Продавлювання – спосіб прокладки трубопроводів, утворення свердловин, будівництва тунелів та інших підземних споруд шляхом послідовного вдавнення в ґрунт сполучених між собою за довжиною ланок труб, тунельних конструкцій або готових замкнутих секцій підземної споруди з обов'язковим видаленням ґрунту з контуру виробки в процесі її зведення.

Продавлювання в міцних ґрунтах ведуть з їх одночасним розбурюванням всередині або попереду трубопроводу, що прокладається. Для розробки і транспортування ґрунту зазвичай використовують горизонтальні шнеки.

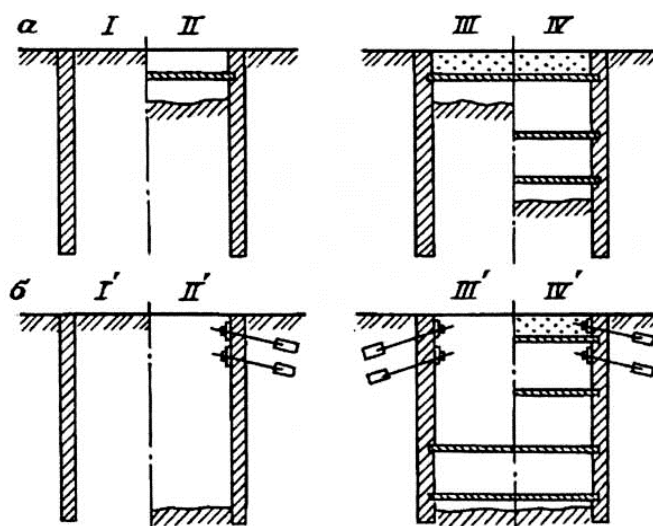


Рис. 10.27. Будівництві багатоярусних підземних споруд: а, I – зведення несучих стін; II – розтин котловану і зведення верхнього перекриття; III – зворотна засипка; IV – розробка ґрунту і зведення між'ярусних перекриттів; б, I', II' – розробка ґрунту на проектну глибину котловану і закріплення стін; III' – зведення між'ярусного перекриття; IV' – засипання котловану та відновлення поверхні

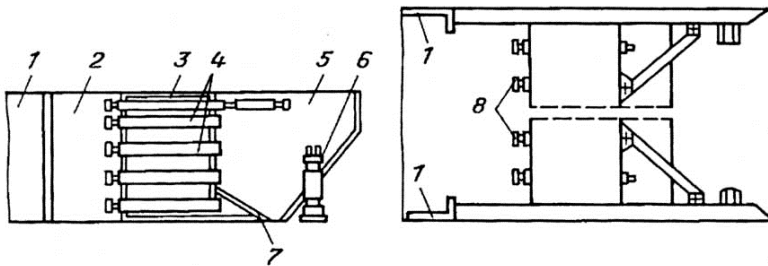


Рис. 10.28. Принципова конструкція ТМ для будівництва тунелів: 1 – фартухи, 2 – хвостова частина; 3 – домкратна секція; 4 – гідродомкрати переміщення; 5 – ножова частина; 6 – гідродомкрат управління; 7 – підризний ніж; 8 – гідродомкрат нижнього маневру

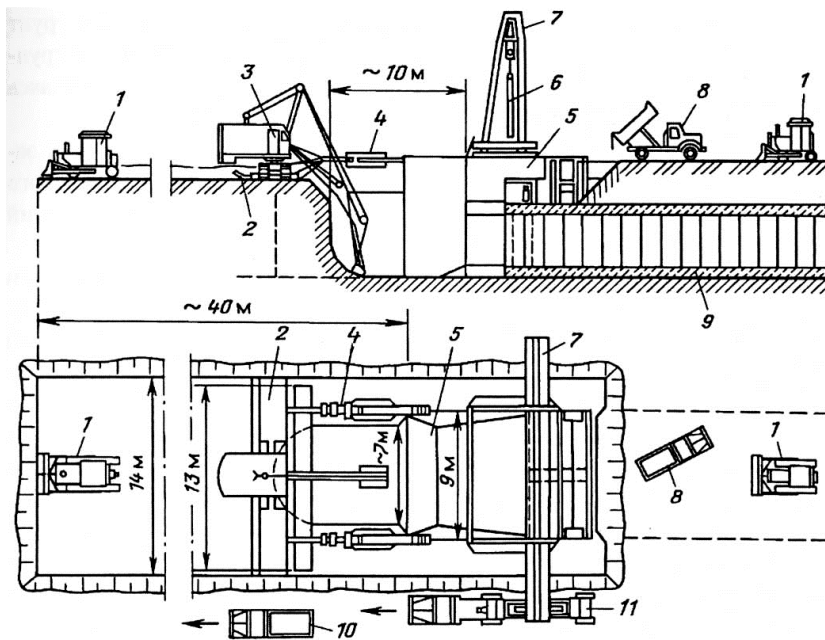


Рис. 10.29. Схема будівництва тунелю за допомогою ТМ: 1 – бульдозери, 2 – технологічна платформа, 3 – екскаватор, 4 – гідроциліндр переміщення платформи; 5 – ТМ; 6 – секція обробки; 7 – козловий кран; 8 – автосамоскид; 9 – бетонна підготовка; 10 – автосамоскид для вивезення ґрунту; 11 – трейлер для перевезення секцій

При будівництві тунелів способом продавлювання найбільшого поширення набула схема, коли тунельну обробку зі збірних елементів, блоків, тьюбінгів або кілець продавлюють слідом за автономно працюючим прохідницьким щитом-лідером. Схема може бути застосована при щитовому проведенні тунелів в основному невеликої протяжності (до 100 м) діаметром від 2 до 5,6 м.

Разом з тим у вітчизняній і особливо в зарубіжній практиці останнім часом отримує розвиток мікрощитова технологія, яка також ґрунтується на принципі продавлювання обробки слідом за щитом і дозволяє проводити тунелі малих діаметрів: 1...2 м, що суттєво розширює область застосування способу.

Спорудження тунелів способом продавлювання з механізованою виїмкою породи всередині споруди (рис. 10.30).

За цією схемою головну ланку тунельної обробки (збірне або суцільнозамкнуте кільце) або першу секцію підземної споруди оснащують масивним керованим або некерованим ножовим пристроєм відповідно із зовнішнім обрисом і розмірами споруди. Головна ланка обробки з ножовим пристроєм вдавлюється в ґрунт, а за ним проштовхують чергові кільця обробки або секції підземної споруди.

Практика показує, що трубопроводи, тунелі та підземні споруди можна продавлювати на довжину до 300...400 м. Відомі випадки продавлювання автотранспортних тунелів прямокутного перерізу розміром $38 \times 12,5$ м на 2 км.

Продавлювання виробок великих поперечних перерізів

Крупногабаритні секції можна продавлювати як з одного боку, так і зустрічним забоем. Такі секції, як правило, виготовляють безпосередньо на місці робіт у створі майбутнього переходу на заздалегідь влаштованій залізобетонній

основі, заанкерованої в ґрунт для сприйняття реактивних зусиль, що виникають при продавлюванні. Враховуючи велику масу таких секцій, гідродомкрати упирають тільки в днище (рис. 10.31).

Три залізобетонні секції прямокутного поперечного перерізу шириною 9,3 м, висотою 6,9 м і довжиною 9,8; 16,5 і 18 м продавили в місці транспортної розв'язки. Продавлювання великих секцій дозволяє отримати високоякісну конструкцію тунелю з мінімальним числом швів і значно скоротити терміни будівництва.

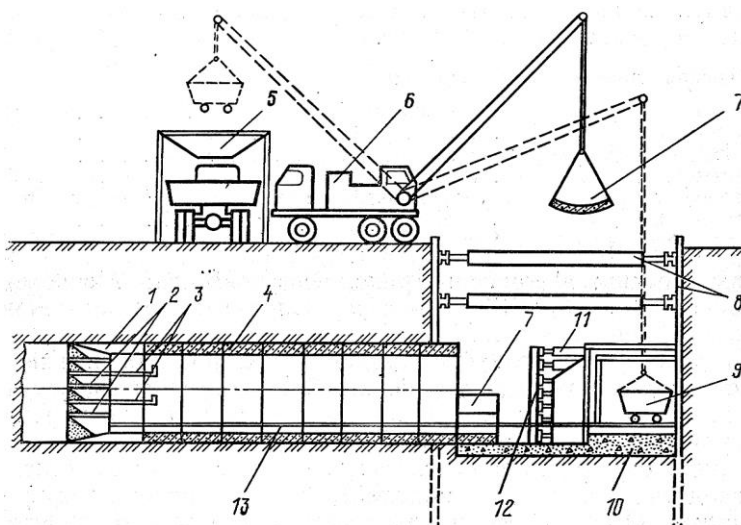


Рис. 10.30. Розміщення технологічного обладнання при використанні комплексу КМ-35: 1 – ножева секція; 2 – допоміжні перегородки, 3 – робочі майданчики; 4 – тунельна обробка; 5 – бункер; 6 – автомобільний кран; 7 – тубінги; 8 – кріплення робочого котловану; 9 – вагонетка; 10 – залізобетонна основа робочого котловану; 11 – гідродомкратне устаткування; 12 – нажимне розподільне кільце; 13 – рейкова колія

Визначення натискних зусиль на кріплення (обробку)

Опір руху конструкції, що продавлюють (металевої труби, залізобетонного кільця) в ґрунті складається дією декількох складових: лобовим опором вдавлюванню, зчепленням і силами тертя ґрунту за бічною поверхнею конструкції, які залежать від зовнішніх навантажень і способу проведення.

При застосуванні способу продавлювання для проведення виробок діаметром до 2,0 м, у тому числі трубопроводів-футлярів, натискні зусилля можуть бути визначені за формулою

$$P = q_c l_n + [2(l + \xi_0) P_1 + \sigma_l] L \operatorname{tg} \varphi, \quad (10.15)$$

де q_c – питомий опір вдавлюванню ножа направляючого оголовка в ґрунт, кН/м. Значення q_c для різних умов наведено в табл. 10.1; l_n – периметр ножа направляючого оголовка, м; ξ_0 – коефіцієнт бічного тиску ґрунту, рівний для піску 0,35...0,41, для суглинку 0,5...0,7, для глини 0,7...0,74; σ_l – вага 1 м залізобетонного кільця кріплення або металевої труби, що продавлюється, кН/м; L – довжина продавлювання, м; $\operatorname{tg} \varphi$ – коефіцієнт тертя металевої труби (залізобетонного кільця) по ґрунту, рівний для глини 0,4...0,5 (0,68...0,73), для пісків 0,6...0,65 (0,8...0,85); P_1 – вертикальне зовнішнє навантаження на 1 м довжини кріплення (труби), кН/м.

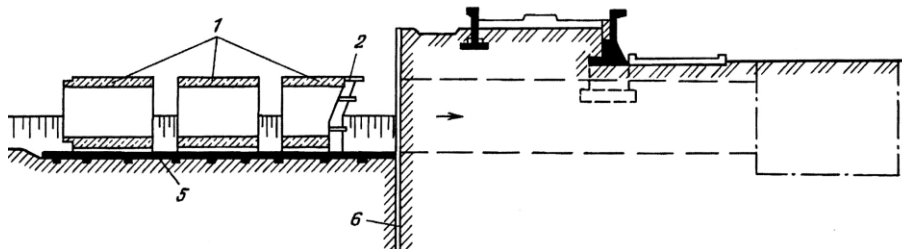


Рис. 10.31. Схема робіт з продавлювання великогабаритних секцій кріплення під автомобільною дорогою: 1 – секція кріплення, 2 – ножева частина; 5 – фундаментна залізобетонна плита; 6 – шпунт

$$P_1 = \gamma D_n^2 / 3 f_k, \quad (10.16)$$

де γ – щільність ґрунту, кН/м³; D_n – зовнішній діаметр виробки (труби), м; f_k – коефіцієнт міцності ґрунту за шкалою проф. М.М. Протодьяконова.

Таблиця 10.1. Питомий опір вдавлювання в ґрунт q_c

q_c , кН/м, при продавлюванні:	ґрунт		
	глинистий	піщаний	міцний
без залишення ґрунтової пробки	50...70	70...1000	150...2000
із залишенням ґрунтової пробки	240...330	370...550	570...600

Необхідне натискне зусилля для продавлювання виробок великих перетинів (тунелі та підземні споруди) визначають за виразом:

$$P = k_n \{ [2(pB + qH) + g]L\mu + Ps \}, \quad (10.17)$$

де k_n – коефіцієнт надійності, приймається 1,2; p і q – відповідно вертикальний і бічний тиск ґрунту, кПа; B і H – відповідно ширина і висота прямокутної секції кріплення (для секції круглого перерізу діаметром D замість B і H слід підставляти D), м; g – вага 1 м кріплення, кН/м; μ – коефіцієнт тертя кріплення по ґрунту; P – периметр ножовий секції, м; s – питоме зусилля вдавлювання ножовий секції на 1 м довжини її периметра (визначається експериментальним шляхом), кН/м.

Література

1. Власти Москвы намерены увеличить объём подземного строительства <http://citytowers.ru/viewtopic.php?id=1296>
2. Подземная урбанизация. Закономерный этап развития крупных городов // http://www.stroy puls.ru/vipusk/detail.php?article_id=27364
3. Лернер В.Г. Систематизация и совершенствование технологий строительства подземных объектов / В.Г. Лернер, Е.В. Петренко. – М.: ТИМР, 1999. – 188 с.
4. Маркова Е.Б. Архитектура общественных заглубленных зданий // http://archvuz.ru/2012_2.
5. Тетиор А.Н. Проектирование и строительство подземных сооружений / А.Н. Тетиор, В.Ф. Логинов. – К.: Будивельник, 1990. – 167 с.
6. Самедов А.М. Будівництво міських підземних споруд: Навч. посіб. / А.М. Самедов, В.Г. Кравець. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 400 с.
7. Цимбал С.Й. Підземне будівництво: Навчальний посібник / С.Й. Цимбал. – К.: КНУБА, 2004. – 148 с.
8. Конюхов Д.С. Строительство городских подземных сооружений мелкого заложения. Специальные работы: Учебное пособие для вузов / Д.С. Конюхов – М.: Архитектура-С, 2005. – 304 с.
9. Харченко А.В. Использование подземного пространства большого города для размещения транспортной инфраструктуры / А.В. Харченко. – М.: Издательство МГГУ, 2005. – 210 с.
10. Основания, фундаменты и подземные сооружения: Справочник проектировщика / Под ред. Е.А. Сорочана, Ю.Г. Трофименкова. – М.: Стройиздат, 1985. – 497 с.
11. Маковский Л.В. Городские подземные транспортные сооружения / Л.В. Маковский. – М.: Стройиздат, 1985. – 439 с.
12. Шахтное и подземное строительство: Учеб. для вузов / Б.А. Картозия, Б.И. Федунец, М.Н. Шуплик и др. – М.: Изд-во МГГУ, 2003, – Т. 2. – 815 с.