

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ,  
МОЛОДЁЖИ И СПОРТА УКРАИНЫ**

**ХАРЬКОВСКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ  
ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

**М. Ф. Бронжаев, Т. В. Мишурова**

**Конспект лекций**  
по дисциплине

**ГОРОДСКИЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ**

*(для студентов 4 курса дневной и 3 курса заочной форм обучения  
направления подготовки 6.060101 – «Строительство»  
специальности «Городское строительство и хозяйство»)*

**Харьков – ХНАГХ – 2012**

**Бронжаев М. Ф.** Конспект лекций по дисциплине «Городские инженерные сооружения» (для студентов 4 курса дневной и 3 курса заочной форм обучения направления подготовки 6.060101 – «Строительство» специальности «Городское строительство и хозяйство») / Харьк. нац. акад. гор. хоз-ва; авт.: М. Ф. Бронжаев, Т. В. Мишурова. – Х.: ХНАГХ, 2012. – 64с.

Авторы: доц. М. Ф. Бронжаев, доц. Т. В. Мишурова

Рецензент: проф. А. Г. Рудь

Рекомендовано кафедрой механики грунтов, фундаментов и инженерной геологии, протокол № 27 от 10.11.2011 г.

## ***Введение***

Курс лекций по ГИС предусматривает изучение конструкций, методов расчета и способов возведения строительных сооружений в условиях существующих городов. Новые городские сооружения строятся вблизи от уже существующих зданий. Это требует от проектировщиков и строителей дополнительных знаний. Проблемы могут возникнуть как при оценке свойств грунтов, расчетах взаимных влияний фундаментов, так и в процессе технологии их возведения. К наиболее известным городским инженерным сооружениям относятся – подпорные стены различных конструкций, мосты, путепроводы, подземные и надземные переходы, стадионы, эстакады, подземные тоннели различного назначения, автостоянки, многоярусные гаражи и др.

В курсе ГИС будут рассмотрены следующие инженерные сооружения:

1. Подпорные стены (массивные, тонкостенные, монолитные, сборные, с дополнительными анкера и тонкостенные контрфорсные подпорные стены).
2. Стены в грунте и противофильтрационные завесы.
3. Городские пешеходные переходы;
4. Городские пешеходные тоннели;
5. Коммуникационные тоннели;
6. Лотковые каналы:

Ниже будет приведена историческая справка, из которой станет ясно, что городские сооружения существовали и успешно эксплуатировались человечеством на протяжении не только многих веков, но и тысячелетий.

## ***Историческая справка***

### ***Мосты***

**Мост** – искусственное сооружение, возведенное через реку, озеро, пролив или любое другое водное препятствие. Мост, возведенный через дорогу, называют путепроводом, мост через овраг или ущелье – виадуком. Мост является одним из древнейших инженерных изобретений человечества.

### **Конструкция мостов**

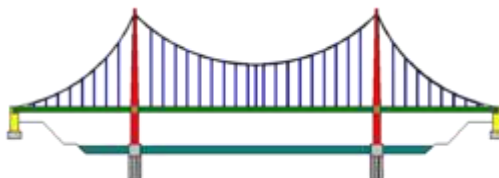


Схема конструкции висячего моста

Как правило, мосты состоят из пролётных строений и опор. Пролётные строения служат для восприятия нагрузок и передачи их опорам; на них может располагаться проезжая часть, пешеходный переход, трубопровод. Опоры переносят нагрузки с пролётных строений на основание моста.

Пролётные строения состоят из несущих конструкций: балок, ферм, диафрагм (поперечных балок) и собственно плиты проезжей части. Статическая схема пролётных строений может быть арочной, балочной, рамной, вантовой или комбинированной; она определяет тип моста по конструкции. Обычно пролётные строения прямолинейны, однако в случае необходимости (например, при постройке эстакад и дорожных развязок) им придают сложную форму: спиралеобразную, кольцевую, и т. д.

Формы опор могут быть весьма разнообразными. Промежуточные опоры называются быками, береговые – устоями. Устои служат для соединения моста с подходными насыпями.

Материалами для мостов служат металл (сталь и алюминиевые сплавы), железобетон, бетон, природный камень, дерево, верёвки.

### ***Классификация***

#### ***По области применения***

По области применения мосты делятся на:

- Железнодорожные;
- Автомобильные;
- Метромосты;
- Пешеходные;
- Комбинированные (например, автомобильно-железнодорожные);
- Водные путепроводы (мосты для кораблей с низкой ватерлинией в Ирландии, Германии).

Выделяют также трубопроводные мосты, акведуки (используются для транспортировки воды) и виадуки (мосты через овраги или ущелья; соединяют точки, равные по высоте).

### ***По конструкции***

По конструкции мосты делятся на балочные, распорные и комбинированные.

Балочные – самый простой вид мостов. Предназначены для перекрытия небольших пролётов. Пролётные строения – балки, перекрывающие расстояние между опорами. Основная отличительная особенность балочной системы состоит в том, что с пролётных строений на опоры передаются только вертикальные нагрузки, а горизонтальные отсутствуют. Балочные мосты разделяют на следующие типы:

- Разрезная система – состоит из ряда балок, причём одна балка перекрывает один пролёт. Система статически определима и может применяться при любых типах грунтов. Недостатки: большое количество деформационных швов и обязательное наличие двух опорных частей на каждой промежуточной опоре;

- Неразрезная система – одна балка пролётного строения перекрывает несколько пролётов или сразу все. Таким образом, пролётное строение неразрезной системы рассчитывается как многоопорная статически неопределимая балка с использованием метода сил, метода перемещений или других методов расчёта статически неопределимых систем, применяемых в строительной механике. Неразрезная система хороша меньшим, чем в разрезной, количеством деформационных швов и меньшей строительной высотой. Недостаток такой системы – чувствительность к грунтам;

- Консольная система – состоит из двух типов балок. Одни балки опираются на две опоры и имеют консольные свесы. Другие балки называются подвесными, поскольку опираются на соседние балки. Соединение балок осуществляется при помощи шарниров. Достоинством консольной системы является её статическая определимость, а следовательно, лёгкость расчёта и нечувствительность к грунтам. К недостаткам системы можно отнести большое количество и сложность устройства деформационных швов шарнирного типа, а также нарушение комфортности проезда в зоне шарниров. В настоящее время мосты такой системы сооружаются редко;

- Температурно-неразрезная система – состоит из двухопорных балок, объединённых в цепь с помощью верхней соединительной плиты. Под действием вертикальных нагрузок такая система работает как разрезная, а под действием горизонтальных – как неразрезная. Её достоинством является меньшее количество деформационных швов, а недостатком – обязательное наличие двух опорных частей на каждой промежуточной опоре;

- Распорные системы отличаются от балочных тем, что, нагрузки, передаваемые с пролётных строений на опоры, имеют не только вертикальную, но и горизонтальную составляющую, называемую в строительной механике

распором. Выделяют несколько разновидностей распорных систем, довольно сильно отличающихся друг от друга;

- Рамная система – состоит из рам, стойки которых выполняют роль опор, а ригели – роль пролётных строений. По форме рамы могут быть Т-образными, П-образными, а также иметь две наклонные стойки и консольные свесы (специального названия не имеют). Достоинствами рамной системы являются небольшая строительная высота и увеличенное по сравнению с балочными системами подмостовое пространство. Всё это делает рамные конструкции удобными для путепроводов и эстакад. Также данная система может быть применена в горных условиях из-за того, что там, в силу особенностей рельефа нельзя понизить уровень проезда. Недостатками рамной системы являются сложность строительства и чувствительность к грунтам. Такие системы в настоящее время малоприменимы из-за дороговизны и специфичности;

- Висячие – мост, в котором основная несущая конструкция выполнена из гибких элементов (канатов, цепей и др.), работающих на растяжение, а проезжая часть подвешена. Этот вид представляют все крупнейшие по длине и высоте пролёта мосты мира;

- Вантовые – разновидность висячих мостов: роль основной несущей конструкции выполняет вантовая ферма, выполненная из прямолинейных стальных канатов. Ванты прикреплены к пилонам — высоким стойкам, монтируемым непосредственно на опорах. Пилоны в основном располагаются вертикально, но не исключено и наклонное их расположение. К вантам крепится балка жёсткости, на которой располагается мостовое полотно. Ванты располагаются под углом наклона к горизонтали не менее 30 градусов, так как в противном случае в них возникают большие усилия, и жёсткость сильно уменьшается. Балку жёсткости лучше выполнять коробчатого сечения, поскольку это улучшает её работу на кручение от временных нагрузок и от действия ветра. Наиболее часто вантовая система применяется при перекрытии глубоких рек и в городских условиях;

- Арочные – основными несущими конструкциями являются арки или своды. Арка – криволинейный брус, у которого поперечный размер меньше высоты. Свод – криволинейный брус, у которого ширина сечения значительно больше высоты. Арочные мосты могут быть с ездой поверху, понизу и посередине. Опоры арочных мостов всегда массивные, поскольку должны быть рассчитаны и на восприятие распора. При больших пролётах арки всегда экономичнее балочных конструкций, но только в отношении пролётных строений. Из-за большого развития опор в поперечном сечении мост арочной системы дешевле балочного только при высоте опор до 2 м. Арочные мосты характерны для горных условий, поскольку позволяют перекрыть больший пролёт, чем балки, а в условиях горного рельефа сооружение дополнительных опор не оправдано. Также специфическая область применения арочных мостов обусловлена тем, что они требуют большого подмостового пространства, особенно с ездой поверху, что приводит к удорожанию и усложнению строительства насыпей подходов, которые могут достигать высоты 20 м; воз-

растает вероятность оползней на таких насыпях в начальный период их эксплуатации. Часто арочные мосты строят в городских условиях из соображений красоты.

- Понтонные, или наплавные – временные мосты на плавучих опорах. Стоит отметить отдельно горбатые мосты, которые отличаются своей формой: они существенно выгнуты вверх.

### ***Разводные мосты***

Особый тип мостов – разводные мосты. В разведённом состоянии мост не мешает проходу судов. Своими разводными мостами знаменит Санкт-Петербург, где все мосты через Неву, кроме Большого Обуховского моста, являются разводными.

Особые конструкции разводных мостов:

- мосты, разводимые поднятием средней части:
  - ❖ первый тип: пролёт поднимается в горизонтальном положении вверх (например, железнодорожный мост в Ростове-на-Дону);
  - ❖ второй тип: пролёт или пролёты поднимаются, поворачиваясь вокруг одного из шарниров (например, Дворцовый мост в Санкт-Петербурге);
- поворотные мосты: у таких мостов средняя часть шарнирно укреплена на стоящей в середине реки опоре. Мост разводится поворотом средней части на  $90^\circ$ , таким образом, средняя часть становится параллельна руслу реки. Примером такой конструкции служит Варваровский мост в украинском городе Николаеве, поворотный пролёт которого имеет длину 134 м, и мост в Валенсии, по которому проложена трасса для гонок Формулы-1.

### ***Строительство мостов***

Первым (и самым дорогим – до 50 % расходов от общей стоимости строительства) этапом в построении моста является возведение опор. Опоры сооружаются в открытых котлованах или путём погружения в грунт свай, опускных колодцев, кессонов, сборных оболочек. Сваи (в основном, железобетонные) используются, главным образом, при строительстве малых и средних мостов. Они погружаются в грунт при помощи дизельных молотов и электрических вибропогружателей. При возведении больших мостов используются в основном сборные оболочки диаметром до 3 м. В настоящее время наиболее популярным фундаментом на свайном основании является фундамент на буронабивных сваях (БНС), сооружаемых бурением в обсадной инвентарной трубе. Данная конструкция применяется как на суше, так и на акватории.

Пролётные строения обычно устанавливают на опоры монтажными кранами. При строительстве больших мостов пролётное строение нередко собирают на берегу и затем перемещают (надвигают) по опорам с одного берега на другой. Навесной метод установки предполагает наращивание конструкции от опоры моста в его пролёт. При этом применяется навесной монтаж с помощью крана,двигающегося по уже построенной части (для металличе-

ских пролётных строений) или же навесная сборка с изготовлением отдельных элементов на заводе и последующей транспортировкой их к объекту (для железобетонных).

Иначе происходит строительство навесных мостов: оно начинается с установки пилонов; затем на них подвешиваются временные кабели. С их помощью производится навивка основных кабелей моста, после чего монтируют подвески и балку жёсткости.

### *Деревянные мосты*

Вряд ли кто-нибудь усомниться в том, что одним из первых изобретений человечества стал мост. Незатейливые мосты, представлявшие собой переброшенное через ручей бревно, появились еще в глубокой древности. Это простое на вид открытие – деревянный мост стало революционным и открыло человечеству возможность перемещаться через различные преграды и препятствия.

Искусство строительства деревянных мостов было развито в Древнем Риме и Древнем Египте. Таким строительством занимались в основном рабы, но такие знания высоко ценились, и раб-архитектор мостов имел высокий авторитет. Первые мосты сооружались полностью из дерева, затем стали строить опоры из камня, и в последствии мосты часто стали строить целиком из камня с применением цемента.

Первые упоминания о мостах на Руси встречаются в летописях 11-12 веков. Тогда возводили деревянные мосты через большие реки с деревянными пролетными строениями и деревянными опорами.

Первый наплавной мост в Киеве был возведен в 1115 году при Владимире Мономахе. При Дмитрии Донском возведен мост при Твери. В Новгороде в 1230 году был возведен мост на опорах. В 1776 году Кулибин разработал деревянный арочный мост пролетом 310 метров через Неву. В 19 веке деревянные мосты были возведены в районе Нарвы (пролет 24 метра), у Ивангорода

Деревянные мосты закрывали с боков щитами, а сверху вдоль всего моста крышами для защиты от дождя, солнца и снега. В этом отношении заслуживает внимания крытый черепицей Часовенный мост в Швейцарии, городе Люцерне. Он имеет длину 198 м, построен в 1333 г. и практически не изменился.

На заре средневековья в укромном уголке Швейцарии возникла небольшая рыбацкая деревушка, на месте которой в 1178 году был основан город, названный Люцерном, что в переводе означает «город, излучающий свет». По-видимому, название это было дано не просто так, ведь через 300 лет Люцерн превратился в центр швейцарской культуры, большой торговый город. Самым интересным местом Люцерна считается Часовенный мост. Он был построен в XIV веке и считается одним из самых древних деревянных мостов в Европе. Этот мост, соединяющий берега реки Рейс, покрыт черепичной крышей и имеет в длину 198 м. Над серединой моста поднимается башня-



часовня, восстающая из речных вод, за что была названа Водяной. Мост и башня изначально были частью городских оборонительных сооружений. Часовня была одновременно и тюрьмой с камерой пыток и городской казней. Во всю длину моста в XVII веке были установлены деревянные картины, изображающие исторические моменты не только города Люцерна, но и всей Швейцарии, всего их 112. На некоторых из них представлены жизнь и деяния святых, почитаемых в городе – Маврикия и Леодегара.

Западнее от Часовенного моста находится Мельничный мост, построенный в 1407 году и тоже покрытый черепичной крышей. Три века спустя после своего создания, он был расписан картинами на тему Пляски Смерти. Мрачные рисунки изображают историю грехопадения человека и картину ожидающего грешника после смерти Страшного греха.

В 17-18 веках возведение больших пролетов каменных мостов стало очень дорогим и требовало больших временных затрат. В это же время рос товарооборот, и постоянно требовалось увеличивать сухопутные и водные пути сообщения. Поэтому вновь интенсивно увеличилось строительство **деревянных мостов**, особенно в странах, богатых лесом. Например, швейцарскими плотниками братьями Я. и Х. Грубенманами в Европе было построено несколько таких мостов с пролетами до 61 м (1778 г.). Это в то время, как пролеты каменных мостов не превышали 40 м.

В США активно развивалась промышленность и переселенцы в качестве строительного материала использовали древесину. В 1811 г. был построен **деревянный мост** "Колоссус" комбинированной системы из ферм и арок с пролетом 103,6 м, однако он просуществовал до 1838 г. сгорел при пожаре. В 1815 г. в Филадельфии был построен арочный **деревянный мост** с пролетом 109,9 м. Но он тоже просуществовал совсем недолго – два года и был разрушен необычно сильным ледоходом.

В СССР существовали деревянные мосты различных систем, возводимые в районах, богатых лесом. При пролётах 6-8 м применялись простейшие балочные системы, а при пролётах 10-18 м - с составными или клеёными прогонами либо подкосной системы. Деревянный мост, как правило, и по сей день делают из древесины хвойных пород (сосна, ель, лиственница), ответственные детали - из дуба. Для предохранения от загнивания элементы моста нужно обрабатывать антисептиками.

### ***Каменные мосты***

В Древнем Риме было построено большое число долговечных каменных мостов, сохранившихся до настоящего времени. Выдающимися грандиозными сооружениями древнеримской архитектуры стали аркады акведуков. В Рим, с его бассейнами, фонтанами и роскошными термами, воду подавали с Альбанских гор с помощью многокилометровых коммуникаций. Чтобы она шла самотеком, был необходим небольшой постоянный уклон. Поэтому при повышении рельефа трубы приходилось углублять в землю, а над оврагами и долинами возводить специальные мосты. Строительство водопроводов бы-

ло делом исключительной важности. Утилитарные устройства превратились в монументальные архитектурные сооружения, величественные даже в руинах.

Один из шедевров древнеримской архитектуры, так называемый Гардский мост, – огромная трехъярусная аркада, по которой канал акведука пересекает глубокую долину реки Гар вблизи города Нима во Франции. Нижний ярус аркады, высота которого 21,6 и ширина 6,36 м, состоит из шести арок и несет на себе второй ярус высотой 21,5 м и шириной 4,56 м. По третьему ярусу высотой 7,82 и шириной 3,06 м проложен канал акведука. В этом ярусе 35 маленьких арочек. Общая высота сооружения 48,77 м. Длина поверху составляет 275 м, аркады второго яруса – 242, нижней аркады – 142 м. Пролеты арок первого яруса и приходящейся над ним части второго совпадают по вертикали. Маленькие арочки третьего яруса расположены так, что над средней аркой, более широкой, чем остальные, их четыре, а над другими – по три. Для этого несколько изменены размеры столбов.

Каменные мосты и по сей день в большом количестве существуют во многих городах мира, например, в Париже через реку Сену, в Праге, Лондоне, Москве, Санкт-Петербурге и др.

### ***Металлические мосты***

Из-за обилия недостатков в качестве материалов, как деревянных, так и каменных мостов, пришлось обратиться к другому виду материала для строительства – металлу. Очень часто металл хорошо сочетается с камнем и получается, что опоры моста каменные, а пролетные строения металлические. Первым металлом, как строительным материалом в мостостроении, явился чугун. Первыми предложили использовать его итальянцы, но на деле осуществили это англичане в 18 веке. Но у чугуна очень большой недостаток. Чугун хрупкий. На смену ему пришло сварочное и литое железо. Оно хорошо работало на растяжение и сжатие. В 19 веке применение металла широко распространилось уже и в отечественном строительстве. Все больше и больше чугун заменяли на железо, железо на сталь, ну а ныне применяют сталь с примесями (добавками), которые увеличивают прочностные и антикоррозионные характеристики металла. Сейчас сплавы один из главных материалов в современном мире строительства. Характеризуется своей высокой прочностью, однородностью, непроницаемостью к жидкостям и газам и высокой коррозионной стойкостью.

Металл обладает отличными механическими свойствами при различных нагружениях и их сочетаниях. Металл хорошо себя ведет при обработке, позволяет делать из него различные формы и конструкции, что позволяет применять различные системы мостов. В металлическом балочном пролетном строении несущей конструкцией являются главные балки или фермы. Для пролетов до 33 метров применяются балки со сплошными стенками. Они более удобны в изготовлении и эксплуатации. В пролетах свыше 33 метров несущей конструкцией являются фермы. Фермы состоят из нижнего и верх-

него пояса, а также раскосов, подвесок и стоек. Относительное (к балкам) облегчение веса металла в фермах растет с увеличением пролета. Так же уменьшения массы можно добиться путем применения неразрезных конструкций балок, которые перекрывают сразу несколько пролетов.

Сейчас в мостостроительстве применяется углеродистые или низколегированные стали. А так же ведутся разработки по применению термообработанных сталей, которые высокопрочны.

Отличительной чертой металлических мостов, по отношению к мостам из других материалов, является их существенная длина, а так же возможность механизированного изготовления и сборки. Все конструкции изготавливаются на заводах, а после доставки к месту строительства сборка моста производится механизированным способом, что существенно упрощает процесс строительства, и уменьшает сроки.

На сегодняшний день существует много способов монтажа металлических пролетных строений, это и сборка навесным способом, и способом надвижки или доставки к пролету на плаву. Первые два способа применяются при крутых горных лощинах и на реках с интенсивным судоходством.

В Китае возведен самый первый мост (из известных) из чугуна. Во второй половине 18 века в Европе. Чугунные мосты могут быть балочной и арочной системы. В России мост через р. Яву. Висячий мост через р. Днепр возведен в 1850 г. Мосты с металлическими канатами в Брест-Литовске через Западный Буг построены в 1830 году. С начала 19 века применяются мосты из сварного железа.

### *Древние канатные мосты*

В провинциях Сычуань, Юньнань, Тибет строят канатные мосты, используя при этом канаты из бамбука, кожи, плети или железные цепи. Древние канатные мосты подразделяются на следующие 6 видов: одно-канатный висячий, двойной двухсторонний висячий, сверху и снизу двух-канатный пешеходный, V-образно двух-канатный пешеходный, параллельно-многоканатный тележный, многоканатный сетчатый. Используют висячий мост так: человека или груз подвешивают на канат, затем переправляют через реку или ущелье. Конструкция такого моста элементарна, поэтому и в настоящее время в горных районах, как и раньше, для перехода между поселениями также строят такие простые мосты. У параллельно – многоканатного моста, горизонтально на тросы накладывают деревянные доски, а для безопасности прохода людей и скота по обеим сторонам делают перила. Многоканатный сетчатый мост прокладывают высоко над ущельями. Для этого тросы отделяются друг от друга и крепко связываются между собой веревками. Таким образом, образуется сеть. Когда проходят по такому мосту, хотя и сильно шатается, но опасности упасть с него, совершенно никакой нет. Самые древние исторические записи о канатных мостах относятся к канатному мосту «Дуцзяньнань» в провинции Сычуань. О нем писалось уже при династии Сун. Вначале это был мостом из множества параллельных бамбуковых канатов, длина которого составляла 330 м. Так как бамбук быстро гниет, сей-

час его заменили стальным канатом. Местные жители его называют «Мост качалка», который уже успел стать хорошим местом для туризма. Канатный мост на реке Лудин в провинции Сычуань славится своей превосходной технологией древнего канатного мостостроения в Китае. Строительство моста «Лудинцяо» было начато при династии Цин (1705 г. н. э.) и завершено через год. Его чистый пролет – 103 м, длина каждой стальной цепи – 127 м внизу протянуто 9 канатов, на которые горизонтально наложены деревянные доски, по обеим сторонам находятся перила из стальных цепей. Для укрепления стальных цепей по двум сторонам реки возведены каменные устои. Красиво построенная беседка, каменные устои, стальные цепи наглядно показывают превосходное искусство архитектуры канатного мостостроения древнего Китая.

### *Древние плавучие мосты*

Плавучие мосты древнего Китая в основном образуются способом соединения деревянных судов между собой. Но некоторые могут образовываться путем соединения бамбуковых или кожаных плотов. Мост «Пуцзиньфуцяо» в провинции Шаньси является самым древним и самым известным плавучим мостом Китая. По историческим записям, в г. Лучжао периода Чуньцю (541 г. до н. э.) молодой барин Чжэнь царства Цинь со своим тяжелым грузом и многочисленным отрядом отправился в царство Цзинь, и тогда у реки Хуанхэ, в местности Сяянцзинь временно построили большой плавучий мост. В 257 г. н. э. на старом месте этого моста снова построили деревянный плавучий мост «Пуцзиньфуцяо» скрепив суда бамбуковым тросом. При династии Тан (724 г. н. э.) решили «бамбук заменить железом» и по двум берегам реки для фиксирования железных цепей построили четыре железных быка весом по 1000 тн. В годы Лунцин династии Мин (1567 – 1572 гг. н. э.) железный бык на западном берегу по причине изменения течения реки Хуанхэ ушел под воду, а бык восточного берега в последние годы цинской империи был занесен илом. В 1989 году археологи после разведки обнаружили железные быки древнего плавучего моста «Пуцзиньфуцяо» уезда Юнцзи. Плавучий мост, длиной в 360 м, стал чудом искусства и техники мирового мостостроения того времени.

### *Знаменитые мосты*

- Мост «Золотые Ворота» находится в Сан-Франциско, США; перекинут через одноименный пролив. Открыт в 1937 году. Относится к типу висячих мостов, сооружён из стали. Высота основного пролёта – 230, длина основного пролёта – 1280, общая длина – 1970 м. Около тридцати лет «Золотые ворота» занимал первое место в списке крупнейших мостов мира. За более чем семьдесят лет, прошедшие с момента его открытия, мост стал одним из самых узнаваемых символов Сан-Франциско. Печально известен как «мост самоубийц» – в среднем каждые две недели кто-то накладывает на себя руки, спрыгнув в воду с этого моста.

- Тауэр Бридж – разводной мост через Темзу в Лондоне, Великобритания, открыт в 1894 году. Знаменит благодаря двум башням высотой по 65 м каждая, установленным на устоях.

- Бруклинский мост – один из старейших подвесных мостов США. Соединяет районы Бруклин и Манхэттен в Нью-Йорке, пересекая пролив Ист-Ривер. Был открыт в 1883 году; на момент основания это – крупнейший подвесной мост в мире. Бруклинский мост – первый в мире, в конструкции которого использовались стальные прутья.

- Мост Вздохов – арочный мост в стиле барокко. Перекинут через Дворцовый канал в Венеции, Италия и соединяет Дворец Дожей (в котором располагался суд) и тюрьму. По легенде, популяризированной Джорджем Байроном, название моста происходит от вздохов осуждённых, которые, проходя по мосту, бросали свой последний взгляд на Венецию, но это вряд ли соответствует действительности.

- Карлов Мост – арочный готический мост, украшенный барочной скульптурой, через реку Влтава в Праге, Чехия. Сохранился со Средних веков, известен благодаря башням на входе на мост и украшающими мост тридцатью скульптурами.

- Акаси-Кайкё – самый длинный подвесной мост в мире. Находится в Японии, пересекает пролив Акаси и соединяет города Кобе и Авадзи. Высота главного пролёта – 297 м, общая длина моста – 3911 м.

- Босфорский мост – первый висячий мост через Босфор, соединяет азиатскую и европейскую части Стамбула, Турция. Был открыт в 1973 году к пятидесятилетию Турецкой Республики. Проход пешеходов запрещён в связи с тем, что мост неоднократно пытались использовать для совершения самоубийств.

- Мост У Байн – самый большой в мире деревянный мост длиной свыше 2 км через озеро между городом Мандалай и предыдущей столицей Анарапурой в Бирме.

- Сургутский мост – мост через реку Обь в городе Сургут. Знаменит тем, что является мировым рекордсменом по длине пролёта среди однопильонных вантовых мостов.

- Мост через залив Ханчжоувань – самый длинный (36 км) трансокеанский мост в мире, призванный сократить путь из Шанхая до промышленной зоны Нинбо с 400 до 80 км, был открыт для проезда 1 мая 2008 года. Мост соединяет континентальную часть китайского портового города Циндао с островным районом Хуандао в заливе Цзяочжоу. По состоянию на 2011 год является самым длинным морским мостом.

### ***Аварии и катастрофы***

Причиной самопроизвольного обрушения моста может стать его неправильная конструкция. При создании проекта моста следует всегда учитывать возможные природные катаклизмы, такие, как сильный ветер или землетрясение.

Самая ранняя известная крупная катастрофа произошла в 1297 году, когда во время битвы у моста Стирлинг (Великобритания) этот мост оказался перегружен атакующей тяжёлой конницей и обрушился. Позднее от перегрузок обрушились ещё несколько мостов, в частности, мост Ярмуте (Великобритания, 1845), а также Серебряный мост (США, 1967).

В XIX – начале XX века несколько аварий мостов произошло из-за резонанса, в который входил мост, когда по нему проходили войска. Когда частота внешнего воздействия (шаг солдат в ногу), совпадает с собственной частотой колебаний моста, происходит резкое увеличение амплитуды колебаний моста, и конструкция моста не выдерживает этого. Из-за резонанса разрушились: мост в Анжере (Франция, 1850); Египетский мост (Санкт-Петербург, 1905); Такомский мост (США, 1940).

Причиной обрушения может стать естественный катаклизм: в таком случае вина ложится на архитектора, создававшего проект, так как мостостроитель должен принимать во внимание возможность природных бедствий. Мост через Фёрт-оф-Тэй в Данди (Великобритания) обрушился в 1879 г. из-за сильного шторма: жертвами этой катастрофы стали 75 человек. В 1953 ветер уничтожил мост через реку Вангаэху в Новой Зеландии, погиб 151 человек. В 1989 г. во время крупного землетрясения в Калифорнии обрушился виадук в Окленде (42 жертвы) и пострадал мост через залив Сан-Франциско: часть несущих конструкций обрушилась на проезжую часть, погиб один человек.

Нередки случаи террористических атак на мосты: их подрыв также является известным средством ведения партизанской войны. Крупнейшая катастрофа такого рода произошла в Индии в 2002, когда был подорван железнодорожный мост через реку Дхава, было убито 130 человек.

## Стадионы

Первый стадион (Стадион I) был образован в архаический период (середина VI века до н. э.) выравниваем поверхности земли к югу от холма Кроносиос в Греции. Западная короткая сторона стадиона была обращена к алтарю Зевса, которому были посвящены Олимпийские игры.

Новый стадион (Стадион II) был построен в конце VI века до н. э., беговая дорожка была расширена за террасу сокровищниц, вдоль южной стороны была сделана искусственная насыпь высотой в 3 метра, с северной стороны сидячие места обеспечивал склон холма.

Стадион получил свою окончательную форму (Стадион III) в V веке до н. э., когда был построен Храм Зевса. При этом игры стали очень популярными и стали привлекать все большее количество зрителей и атлетов, поэтому возросла необходимость в новом стадионе. Новый стадион был передвинут на 82 метра к востоку, на 7 метров к северу и был окружен искусственными насыпями для зрителей. После постройки Колоннады Эхо в середине IV века до н. э. стадион был изолирован от священной области Олимпии.

Это указывает на то, что Игры потеряли свою религиозную сущность и стали спортивным и социальным событием.

Площадь арены стадиона составляла 6784 м<sup>2</sup>, размеры — 212×32 м. Беговая дорожка имела длину 192,25 м. Линии старта и финиша обозначались плитами. Это был первый из стадионов древности, имевший трибуны и послуживший прообразом последующих построек аналогичного назначения. Древние греки отлично знали основные принципы обеспечения хорошей видимости с трибун. Закругленная линия трибун — удобная для зрителей, сидящих в одном ряду, сохранялась без существенных изменений в римскую эпоху и даже дошла до наших дней.

На арене Олимпийского стадиона устраивались грунтовые дорожки, которые размечались для одновременного бега 20 человек.

Стадион представляет собой неправильный прямоугольник: с западной стороны он примерно на четверть метра уже и соответственно с восточной на четверть метра шире, кроме того, в длину он чуточку выступает наружу. Такая неправильность не случайна и имеет оптическое оправдание: именно благодаря этим дефектам стадион представляется взору входящего как правильный прямоугольник в перспективе.

По античным источникам, олимпийский стадион вмещал до 40-45 тысяч зрителей. Современные исследования подтверждают эту цифру. Этот стадион не был в ту пору самым большим: афинский вмещал 60000 зрителей, а эфесский даже 70000. Не был он и самым роскошным, т. к. на дельфийском стадионе были каменные скамьи, на истмийском и афинском — мраморные, а пергамский стадион мог даже похвастать крышей. И все же Олимпийский стадион был самым знаменитым.

На стадионе находились несколько каменных сидений для официальных лиц, а в римские времена, когда стадион был отремонтирован (Стадион IV–V), были добавлены деревянные скамейки.

В 2004 г. стадион вновь обрел былую славу, так как на нем происходили соревнования по толканию ядра во время Олимпийских игр в Афинах.

Самый известный древний стадион - Римский Колизей. Колизей — самый большой амфитеатр старины, был построен в Риме (Италия). Он считается архитектурным и техническим совершенством.

Официальное название этого гигантского сооружения — «амфитеатр Флавиев», в честь Тита Флавия — сына императора Веспасиана. Начавшееся в 72 году н. э. и растянувшееся на много лет строительство Колизея проходило при трех императорах из рода Флавиев: Веспасиане, Тите и Домициане. До этого на месте постройки находилось искусственное озеро. Рядом с озером возвышался «Золотой Дворец», роскошная резиденция Нерона, печально известного тирана.

С Нероном непосредственно связано и само название Колизея. Перед амфитеатром есть площадка, на которой когда-то возвышалась тридцатиметровая бронзовая статуя Нерона, именовавшаяся как «Колосс». Считается, что название Колизей — огромный, колоссальный, связано именно с колоссом Нерона. Более чем 100000 кубических метров камня (45000 только для внеш-

ней стены), использовалось для строительства здания. Для подвоза камня была построена специальная дорога.

В честь открытия амфитеатра в 80 году н. э. были объявлены стодневные игры, в ходе которых римляне смогли увидеть бои многих тысяч гладиаторов, а в боях гладиаторов с хищниками было убито огромное количество львов, тигров и других зверей. По размаху празднеств с открытием амфитеатра мог лишь сравниться тысячелетний юбилей Рима в 246 году, когда по преданиям на арене Колизея было убито 32 слона, 60 львов, 40 диких лошадей и десятки других животных – лоси, зебры, тигры, жирафы и гиппопотамы. Тогда же в смертельном бою состязались около 2000 гладиаторов. Проведение боев между гладиаторами было прекращено в 404 году, однако схватки гладиаторов с хищниками продолжались до конца VI века.

Каждый арочный пролет первого яруса являлся входом в амфитеатр, 76 из этих входов были пронумерованы. Над арками и сегодня можно видеть римские цифры нумерации входов. Для элиты римского общества предназначались четыре главных входа: для императора и его окружения, для весталок, судей и для почетных гостей. У каждого зрителя имела табличка с указанием ряда, сектора и места.

Четырех-ярусный, облицованный травертином амфитеатр имеет форму эллипса длиной 188 м, шириной – 156 м и высотой – 48,5 м.

Три нижних яруса выполнены в виде арочных пролетов, разрезанных полу-колоннами в строго выдержанной строителями Колизея канонической последовательности: на первом ярусе – дорические полу-колонны, на втором – ионические, а на третьем – коринфские. Четвертый ярус был достроен позже и примечателен тем, что и сегодня на его карнизе видны отверстия, куда вставлялись опоры для растяжки тента над ареной амфитеатра специального тента, защищавшего зрителей от солнечных лучей и дождя. Тент держался на 240 деревянных балках.

Колизей мог вместить от 50 до 70 тысяч зрителей, для которых были предусмотрены места согласно их социальному статусу. Места сенаторов (часть первых рядов, выложенных из белого мрамора) предназначалась для римских сенаторов. На месте каждого сенатора было высечено его имя.

Широкие проходы позволяли зрителям быстро заполнять многотысячные трибуны Колизея. В случае необходимости, все зрители могли покинуть Колизей в течение 5-10 минут.

В то время Колизей являлся уникальным сооружением не только по своим размерам, но и по своей функциональности. На огромной арене Колизея проходили не только гладиаторские бои и конные состязания, но и морские битвы – «навмахии». Арена могла меняться под разные сценарии битв.

Арена Колизея имела размеры 76×44 м. Пол арены был покрыт деревянными досками и засыпан желтым песком.

Между ареной и зрителями находился некий ров. Есть много версий его предназначения: возможно, в нем размещались стрелки, которые защищали зрителей от диких животных или в нем были уборные, а возможно в нем была вода, как дополнительная защита от животных.



Под ареной находился лабиринт помещений для прохода гладиаторов и клеток для содержания хищников. Сегодня, когда арена амфитеатра отсутствует, а на ее месте проложены специальные настилы для туристов, можно в деталях рассмотреть этот искусно спланированный «закулисный мир» Колизея.

Крупные современные стадионы: в Рио-де-Жанейро 220 тыс. мест, Лужники 103 тыс. Самым большим в мире является Стадион Первого Мая (Rungrado 1st of May Stadium) в г. Пхеньян, Северная Корея. Вместимость 150 000. Построен в 1989 году.

### **Эстакады**

**Транспортная эстакада** (фр. *estacade*) – протяжённое инженерное сооружение, состоящее из ряда однотипных опор и пролётов, предназначенное для размещения дороги выше уровня земли с целью обхода занятых земель (чаще всего в городах) или транспортных потоков. Эстакады зачастую используют в качестве моста через железнодорожные пути или другие препятствия, либо эстакадного подъезда к пролету высокого моста, а иногда просто для отделения автомагистрали (зачастую метро) от городской инфраструктуры (например, в Бангкоке). Эстакады являются главной частью путепроводов.

Эстакады часто являются элементами других транспортных сооружений: Рампа (пандус), речных мостов, многоуровневых подъездных путей к и в зданиях (к терминалу международного аэропорта, многоуровневой парковке) и т. п., специальное вспомогательное приспособление, помост на сваях, изначально для причала судов, позволяющее существенно сократить процесс погрузки-разгрузки груза.

**Промышленная эстакада.** На промышленных предприятиях применяют крановые эстакады (по которым передвигаются подъёмные краны), разгрузочные эстакады для подачи сырья и готовой продукции и эстакады для прокладки технологических трубопроводов. На строительных объектах эстакады используют для транспортировки строительных материалов и изделий и перемещения подъёмных и монтажных кранов.

### **Тоннели**

Тоннэ́ль (фр. *tonnelle* от фр. *Tonneau* – «бочка»; вар.: туннель) – горизонтальное или наклонное подземное сооружение, одно из измерений которого (длина) значительно превосходит по размерам два других (ширину и высоту).

Тоннель может быть пешеходным или велосипедным, для движения автомобилей или поездов, трамваев, перемещения воды (деривационные тоннели гидроэлектростанций, канализационные коллекторы), прокладки сетей городского хозяйства и т. п. Существуют также так называемые экологические тоннели. Они прокладываются под автомобильными или железными дорогами и служат для того, чтобы звери могли безопасно перемещаться.

Основная часть метро также проложена в виде тоннелей. Чтобы избежать пересечений, линии метро прокладывают на различной глубине (уровне).

Тоннели строят для преодоления природных препятствий (например, тоннели под горами), для сокращения пути (тоннель через гору вместо дороги вокруг), для сокращения времени движения (тоннель вместо паромной переправы). Тоннели под водными преградами часто строят вместо мостов там, где мосты могли бы помешать проходу судов. Также тоннели строят во избежание пересечения разных транспортных потоков на одном уровне (подземные переходы, тоннели вместо железнодорожных переездов, тоннели как часть автомобильных развязок и тому подобное). В некоторых случаях проезды под пролётами мостов тоже называют тоннелями, что, однако, неправильно.

История развития тоннелестроения очень интересна. Тоннель является одним из древнейших изобретений человечества, наряду с мостом. В Вавилоне, Египте, Греции и Риме подземные работы проводились задолго до новой эры – сначала при добыче полезных ископаемых, сооружении гробниц и храмов, а затем для водоснабжения и транспорта. Первые тоннели сооружались, как правило, в скальных породах, без закрепления последних. Для ведения проходческих работ использовались примитивные орудия.

В раннее Средневековье тоннели строились редко и, в основном, в военных целях. В позднее Средневековье началось активное строительство судоходных тоннелей, соединяющих водные пути сообщения. В 1826–1830 г. в Великобритании на участке Ливерпуль – Манчестер был построен первый в мире железнодорожный тоннель. Изобретение пироксилина и динамита, а также успешное применение в горном деле бурильных машин обеспечили возможность сооружения больших альпийских тоннелей между Францией, Италией и Швейцарией, в том числе и знаменитого Симплонского тоннеля длиной около 20 км. Среди сооружённых в 1920-х – начале 1930-х гг. выделяются Большой Апеннинский двухпутный железнодорожный тоннель на линии Флоренция – Болонья (Италия) длиной 18,5 км, а также Ровский судоходный тоннель на водной магистрали Марсель – Рона (Франция) длина свыше 7 км.

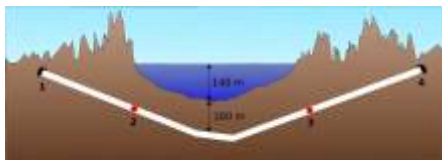
Первый в мире автомобильный тоннель был построен в 1927 году в США под рекой Гудзон. Он связал Кеннел-стрит на Манхэттене в Нью-Йорке с 12-й и 13-й улицами Джерси-сити.

Первый железнодорожный тоннель в России построен в 1862 г. (длина 1,28 км). После него было сооружено множество тоннелей на железных дорогах Урала, Кавказа и Крыма. Значительное развитие тоннелестроение получило в СССР, в связи с интенсивным железнодорожным строительством, созданием сети ГЭС, сооружением метрополитенов и объектов городского подземного хозяйства. Первый автомобильный тоннель в СССР был сооружён в Москве на Кутузовском проспекте в 1959 году. Первый пешеходный тоннель в Москве был построен под улицей Горького (ныне Тверской)

на её пересечении с Бульварным кольцом (Пушкинская площадь) в 1938 году.

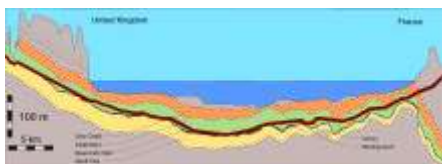
### ***Самые длинные тоннели***

Готардский базовый тоннель (Gotthard) – самый длинный тоннель в мире и крупнейший тоннель за всю историю Европы. Его протяжённость — 57 км (включая служебные и пешеходные ходы – 157 км), на него было потрачено 9,8 млрд. швейцарских франков (10,3 млрд. долларов), а работы выполняли больше, чем 2,5 тысячи рабочих. Движение поездов начнется в 2017 году.



«Сейкан» (en) 53,9 км

- До прокладки тоннеля Готард, самым длинным являлся японский тоннель «Сейкан», соединяющий острова Хонсю и Хоккайдо. Тоннель открыт для движения 13 марта 1988 года.
- Лердальский тоннель в Норвегии - самый длинный автомобильный, имеет протяжённость 24,5 километра. Открыт в 2000 году.



«Евротоннель» 49,94 км

- Евротоннель, проложенный под Ла-Маншем между Фолкстоуном (графство Кент, Великобритания) и Кале (Франция). Несмотря на то что этот тоннель уступает по общей протяжённости туннелю Сейкан, его подводный участок (около 39 км) на 14,7 км длиннее подводного участка железнодорожного туннеля Сейкан. Тоннель под Ла-Маншем официально открыт в 1994 г.
- Самым длинным сухопутным тоннелем является Лёчберг на линии Берн – Милан, который находится в Швейцарии. Его длина 34 километра. Он соединяет район Берна и Интерлакена с районом Брига и Церматта.

### ***Самые глубокие тоннели***

- Эйксуннский тоннель в Норвегии, открытый в феврале 2008 г., достигает глубины 287 м ниже уровня моря. Максимальный уклон дорожного полотна достигает 9,6 %, минимальная толщина скалы над тоннелем – 50 м.

## Типы подпорных стен

По конструктивному решению подпорные стены подразделяются на массивные и тонкостенные.

В массивных подпорных стенах их устойчивость на сдвиг и опрокидывание при воздействии горизонтального давления грунта обеспечивается в основном собственным весом стены, по этому их называют гравитационными.

В тонкостенных подпорных стенах их устойчивость обеспечивается собственным весом стены и весом грунта, вовлекаемого конструкцией стены в работу.

Как правило, массивные подпорные стены более материалоемкие и более трудоемкие при возведении, чем тонкостенные, и могут применяться при соответствующем, технико-экономическом обосновании (например, при возведении их из местных материалов, отсутствии сборного железобетона и т. д.).

Массивные подпорные стены отличаются друг от друга формой поперечного профиля и материалом (бетон, бутобетон и т. д.) (рис. 1).

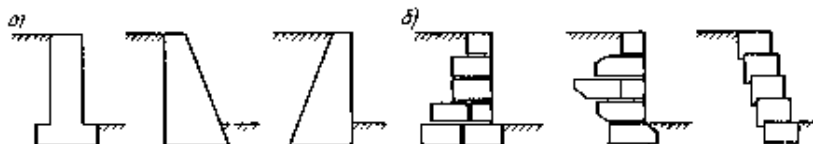


Рис. 1. Массивные подпорные стены  
а - в - монолитные; г - е - блочные

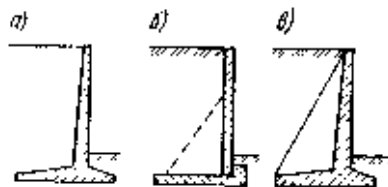


Рис. 2. Тонкостенные подпорные стены  
а - уголково-консольные; б - уголково-анкерные;  
в — контрфорсные

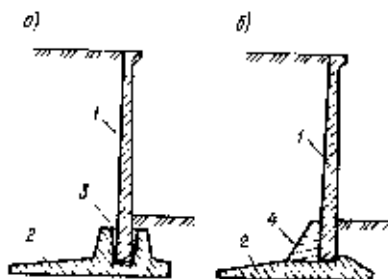


Рис. 3. Сопряжение сборных лицевых и фундаментных плит  
а - с помощью щелевого паза; б - с помощью петлевого стыка;  
1 - лицевая плита; 2 - фундаментная плита; 3 - цементно-песчаный раствор;  
4 - бетон замоноличивания

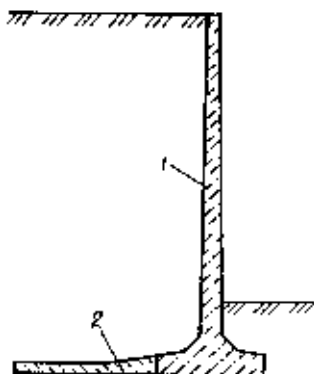


Рис. 4. Конструкция подпорной стены с использованием универсальной стеновой панели

*1 - универсальная панель стеновая (УПС); 2 - монолитная часть подошвы*

В промышленном и гражданском строительстве, как правило, находят применение тонкостенные подпорные стены углового типа, приведенные на рис. 2.

**Примечание.** Другие типы подпорных стен (ячеистые, шпунтовые, из оболочек и пр.) не рассматриваются.

**По способу изготовления** тонкостенные подпорные стены могут быть монолитными, сборными и сборно-монолитными.

Тонкостенные консольные стены углового типа состоят из лицевых и фундаментных плит, жестко сопряженных между собой.

В полносборных конструкциях лицевые и фундаментные плиты выполняются из готовых элементов. В сборно-монолитных конструкциях лицевая плита сборная, а фундаментная - монолитная.

В монолитных подпорных стенах жесткость узлового сопряжения лицевых и фундаментных плит обеспечивается соответствующим расположением арматуры, а жесткость соединения в сборных подпорных стенах - устройством щелевого паза (рис. 3,а) или петлевого стыка (рис. 3,б).

Тонкостенные подпорные стены с анкерными тягами состоят из лицевых и фундаментных плит, соединенных анкерными тягами (связями), которые создают в плитах дополнительные опоры, облегчающие их работу.

Сопряжение лицевых и фундаментных плит может быть шарнирным или жестким.

Контрфорсные подпорные стены состоят из ограждающей лицевой плиты, контрфорса и фундаментной плиты. При этом грунтовая нагрузка от лицевой плиты частично или полностью передается на контрфорс.

При проектировании подпорных стен из унифицированных панелей стеновых (УПС), часть фундаментной плиты выполняется из монолитного бетона с использованием сварного соединения для верхней арматуры и стыковки внахлестку для нижней арматуры (рис. 4).

## ***Расчет подпорных стен***

Подпорные стены следует рассчитывать по двум группам предельных состояний:

**первая группа** (по несущей способности) предусматривает выполнение расчетов:

- по устойчивости положения стены против сдвига и прочности грунтового основания;
- по прочности элементов конструкций и узлов соединений.

**вторая группа** (по пригодности к эксплуатации) предусматривает проверку:

- оснований на допускаемые деформации;
- элементов конструкций на допустимые величины раскрытия трещин.

Давление грунта для уголкового подпорных стен следует определять исходя из условия образования за стеной клиновидной симметричной (а для короткой задней консоли - несимметричной) призмы обрушения (рис. 7,б).

Давление грунта принимается действующим на наклонную (расчетную) плоскость, проведенную под углом  $\varepsilon$  при  $\delta = \varphi'$ .

Угол наклона расчетной плоскости к вертикали  $\varepsilon$  определяется из условия, но принимается не более  $(45^\circ - \varphi/2)$

$$\operatorname{tg} \varepsilon = (b - t)/h.$$

Наибольшая величина активного давления грунта при наличии на горизонтальной поверхности засыпки равномерно распределенной нагрузки  $q$  определяется при расположении этой нагрузки в пределах всей призмы обрушения, если нагрузка не имеет фиксированного положения.

### ***Расчет устойчивости положения стены против сдвига***

Расчет устойчивости положения стены против сдвига производится из условия

$$F_{sa} \leq \gamma_c F_{sr} / \gamma_n$$

где:  $F_{sa}$  - сдвигающая сила, равная сумме проекции всех сдвигающих сил на горизонтальную плоскость;  $F_{sr}$  - удерживающая сила, равная сумме проекций всех удерживающих сил на горизонтальную плоскость;  $\gamma_c$  - коэффициент условий работы грунта основания: для песков, кроме пылеватых - 1; для пылеватых песков, а также пылевато-глинистых грунтов в стабилизированном состоянии - 0,9; для пылевато-глинистых грунтов в нестабилизированном состоянии - 0,85; для скальных, невыветрелых и слабовыветрелых грунтов - 1; выветрелых - 0,9; сильновыветрелых - 0,8;  $\gamma_n$  - коэффициент надежности по назначению сооружения, принимаемый равным 1,2, 1,15 и 1,1 соответственно для зданий и сооружений различного класса сложности.

Сдвигающая сила  $F_{sa}$  определяется по формуле

$$F_{sa} = E_r + E_{qr};$$

где:  $E_r$  - горизонтальная составляющая суммарного активного давле-

ния, определяемая по формуле  $E_r = \sigma_r h_c/2$ ;  $E_{qr}$  – горизонтальная составляющая суммарного активного давления грунта от нагрузки, равная  $E_{qr} = \sigma_{qr} h_c$ .

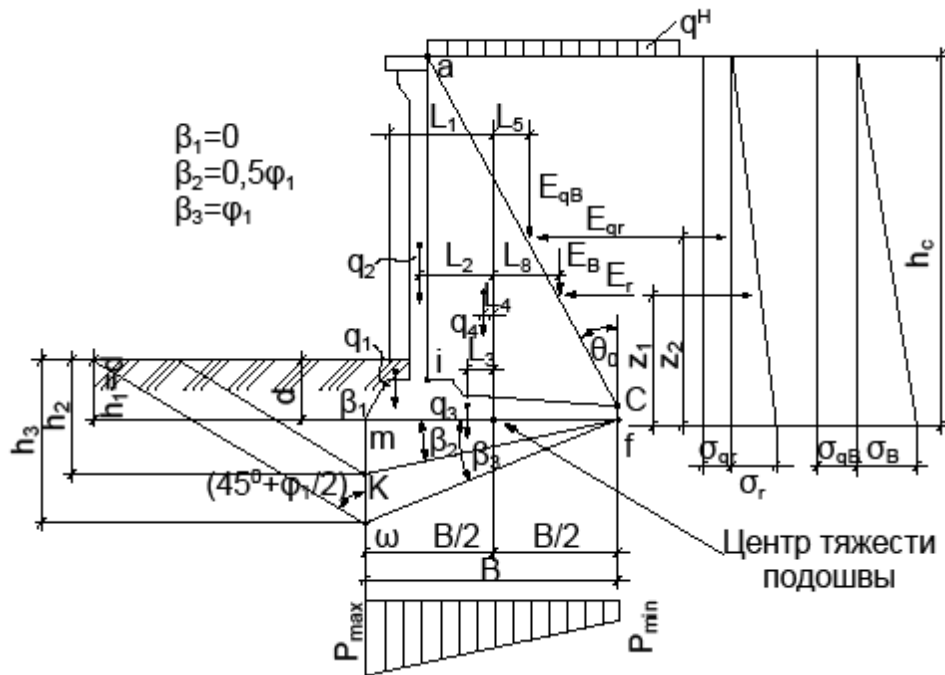


Рис. 5. Расчетные схемы подпорных стен  
а - массивных; б - углового профиля

Удерживающая сила  $F_{sr}$  для нескального основания определяется по формуле

$$F_{sr} = F_v \operatorname{tg}(\varphi_1 - \beta) + bc_1 + E_n,$$

где:  $F_v$  - сумма проекций всех сил на вертикальную плоскость;  
для угловых подпорных стен (при  $\varepsilon \leq \theta$ )

$$F_v = G_{ст} + \Sigma G_{гр} + E_v + E_{qv}$$

где:  $G_{ст}$  – собственный вес стены;

$\Sigma G_{гр}$  – собственный вес грунта вне призмы обрушения (над задней и передней консолью фундаментной плиты);  $E_v$  - вертикальная составляющая суммарного активного давления, определяемая по формуле  $E_v = \sigma_v h_c/2$ ;

$E_{qv}$  - вертикальная составляющая суммарного активного давления грунта от нагрузки, определяемая по формуле  $E_{qv} = \sigma_{qv} h_c$ ;

$B$  – ширина подошвы подпорной стены;

$\beta$  – угол наклона поверхности скольжения к горизонту. Расчет устойчивости подпорных стен против сдвига с горизонтальной поверхностью подошвы фундаментной плиты производится для трех значений угла  $\beta$  ( $\beta_1 = 0$ ,  $\beta_2 = 0,5 \cdot \varphi_1$ ;  $\beta_3 = \varphi_1$ );

$E_n$  - пассивное давление грунта, определяемая по формуле:

$$E_n = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot h^2 \cdot \lambda_n + \frac{C_1 h}{\operatorname{tg} \varphi_1} (\lambda_n - 1),$$

где  $\lambda_n$  - коэффициент пассивного давления грунта:

$$\lambda_n = \operatorname{tg}^2(45^\circ + \frac{\varphi_1}{2}),$$

$h_n$  - высота призмы выпора грунта

$$h_n = d + b \operatorname{tg} \beta.$$

$\beta_1 = 0$ ,  $\beta_2 = \varphi_1/2$  и  $\beta_3 = \varphi_1$ .

При наклонной подошве стены, кроме указанных значений угла  $\beta$ , следует производить расчет против сдвига также для отрицательных значений угла  $\beta$ .

При сдвиге по подошве ( $\beta_1 = 0$ ) следует учитывать следующие ограничения:  $c_1 \leq 5$  кПа,  $\varphi_1 \leq 30^\circ$ ,  $\lambda_n = 1$ .

Удерживающая сила  $F_{sr}$  для скального основания определяется по формуле

$$F_{sr} = F_v \cdot f + E_n,$$

где:  $f$  - коэффициент трения подошвы по скальному грунту, принимается по результатам непосредственных испытаний, но не более 0,65.

### ***Расчет оснований по деформациям***

Расчет основания по деформациям производится только для нескальных грунтов.

При отсутствии специальных технологических требований расчет деформации основания считается удовлетворительным, если среднее давление на грунт под подошвой фундамента от нормативной нагрузки не превышает расчетного сопротивления грунта основания  $R$ , а краевые -  $1,2 R$ :

$$\left. \begin{array}{l} p_{cp} \leq R, \\ p_{\max} \leq 1,2 R. \end{array} \right\}$$

При этом эпюру напряжений допускается принимать трапециевидной или треугольной. Площадь сжатой зоны при треугольной эпюре должна быть не менее 75% общей площади фундамента подпорной стены ( $e \leq b/4$ ) (рис. 8).

Краевые давления на грунт под подошвой стены  $p_{\max}$ ,  $p_{\min}$  при экс-

центриситете приложения равнодействующей всех вертикальных сил относительно центра тяжести подошвы  $e \leq b/6$  определяются по формуле (36), а при  $e > b/6$  - по формуле:

$$p_{\frac{\max}{\min}} = F_v \left[ 1 \pm \frac{6e}{b} \right] / b$$

где  $F_v$  - сумма проекций всех сил на вертикальную плоскость;  $e$  - эксцентриситет приложения равнодействующей всех сил относительно оси,



проходящей через центр тяжести подошвы стены;  $3d$  - длина эпюры по подошве фундаментной плиты:

$$d = 0,5b - e.$$

Расчетное сопротивление грунта основания  $R$ , кПа (тс/м<sup>2</sup>), определяется по формуле

$$R = \frac{\gamma_{c1}\gamma_{c2}}{k} (M_\gamma k_z b \gamma_{II} + M_q d \gamma'_{II} + M_c c_{II}).$$

где  $\gamma_{c1}$  и  $\gamma_{c2}$  - коэффициенты условий работы;

$k$  - коэффициент, принимаемый:  $k = 1$ , если прочностные характеристики грунта  $\varphi$  и  $c$  определены непосредственными испытаниями, и  $k = 1,1$ ;  $M_\gamma$ ,  $M_q$ ,  $M_c$  - коэффициенты, принимаемые по СНиП 2.02.01-83 "Основания зданий и сооружений";  $b$  - ширина подошвы фундамента;  $d$  - глубина заложения подошвы фундамента от нижней планировочной отметки.

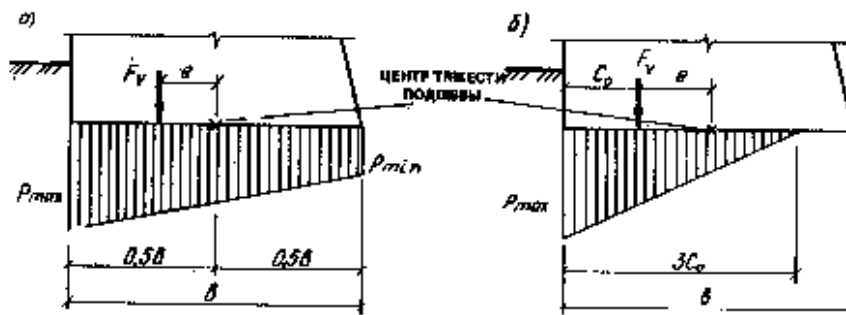


Рис. 6. Схема для определения давлений под подошвой стены

*а - при малых эксцентриситетах  $e \leq b/6$ ;*

*б - при больших эксцентриситетах  $e > b/6$*

#### Примечания:

1. К сооружениям с жесткой конструктивной схемой относятся такие, конструкции которых специально приспособлены к восприятию усилий от деформаций оснований, в том числе за счет применения мероприятий, указанных в п. 270,б СНиП 2.02.01-83 "Основания зданий и сооружений".

2. При гибкой конструктивной схеме значение коэффициента  $\gamma_{c2}$  принимается равным единице.

3. При промежуточных значениях  $L/H$  коэффициент  $\gamma_{c2}$  определяется по интерполяции.

### **Определение усилий в элементах конструкции**

Для массивной подпорной стены внутренние усилия  $N_i$ ,  $Q_i$  и  $M_i$  в сечении  $i-i$  на глубине  $y_i$ , определяются по формулам:

$$\left. \begin{aligned} N_i &= \sum F_{vi}, \\ Q_i &= \sum F_{sai}, \\ M_i &= \sum F_{vi} x_i + \sum F_{sai} y_i, \end{aligned} \right\}$$

где  $\Sigma F_{vi}$  - сумма всех вертикальных сил выше сечения  $i-i$ ;  $\Sigma F_{sai}$  - сумма всех горизонтальных сил выше сечения  $i-i$ ;  $\Sigma F_{vix_i}$  - сумма моментов всех вертикальных сил относительно центра тяжести сечения  $i-i$ ;  $\Sigma F_{saiy_i}$  - сумма моментов всех горизонтальных сил относительно центра тяжести сечения  $i-i$ .

Суммарные составляющие активного давления от веса грунта и пригрузки:

$$E_r = 0,5 \cdot \sigma_r \cdot h_c;$$

$$E_{qr} = \sigma_{qr} \cdot h_c.$$

Сумма проекций всех сил на вертикальную плоскость:

$$N = q_1 + q_2 + q_3 + G + G_q,$$

где  $q_1, q_2, q_3$ —определяют с коэффициентом  $\gamma_f = 1,1$ ;

$G$  – вес призмы грунта в контуре « $aicj$ » с площадью  $A_G$  при  $\gamma_f = 1,1$ ;

$G_q$  – вес пригрузки в пределах отрезка  $l_6$  с коэффициентом  $\gamma_f = 1,2$ .

Вес грунта  $G$  находят по формуле:

$$G = \gamma_f \cdot A_G \cdot \gamma_I'.$$

Вес пригрузки:

$$G_q = \gamma_f \cdot q^H \cdot l_6.$$

Сумма моментов всех вертикальных сил относительно вертикальной оси, проходящей через центр тяжести подошвы (рис. 6):

$$\Sigma M_{bi} = q_1 l_1 + q_2 l_2 + q_3 l_3 + q_4 l_4 - G l_4 - G_q l_5.$$

Сумма моментов всех горизонтальных сил относительно горизонтальной оси, проходящей через центр тяжести подошвы:

$$\Sigma M_{ri} = E_r z_1 + E_{qr} z_2.$$

Эксцентриситет приложения равнодействующей:

$$e = \frac{\Sigma M_{ri} + \Sigma M_{bi}}{N}.$$

Краевые давления находят по формулам:

$$P_{max} = \frac{N}{b \cdot 1} \left( 1 + \frac{6e}{b} \right) \text{ или } P_{max} = \frac{2N}{3t}.$$

Распределенные нагрузки в  $\text{кН/м}^2$  (рис. 6 и рис. 7) определяют от веса грунта и конструкций с коэффициентом  $\gamma_f = 1,1$ , а от веса пригрузки с

коэффициентом  $\gamma_f = 1,2$ .

Распределенные нагрузки над передней консолью фундаментной плиты:

от веса грунта -  $q_1 = \frac{q_1}{b_1}$ ;

от веса фундаментной плиты -  $q_2 = \frac{0,5h_{\Phi} \cdot b_1 \cdot \gamma_f \cdot \gamma_M}{b_1}$ .

Распределенные нагрузки над задней консолью фундаментной плиты:

от временно распределенной нагрузки –

$$q_3 = q^H \cdot \gamma_f;$$

от веса грунта –

$$q_4 = \frac{h' \cdot l_6 \cdot \gamma'_I \cdot \gamma_f}{l_6};$$

от веса фундаментной плиты –

$$q_5 = \frac{h_{\text{ср}} \cdot l_6 \cdot \gamma_M \cdot \gamma_f}{l_6}.$$

Здесь  $\gamma_M$  - удельный вес железобетона  $\gamma_M = 25 \text{ кН/м}^3$ ;

$h_{\text{ср}}$  – средняя толщина задней консоли фундаментной плиты.

Суммарные значения горизонтальных составляющих активного давления на уровне сечения I-I находят с подстановкой значения  $h'$  (рис. 7):

$$E'_r = 0,5 \cdot \sigma'_r \cdot h',$$

$$\sigma'_r = \gamma_f \cdot \gamma'_I \cdot h' \cdot \lambda_r,$$

$$E'_{qr} = \sigma_{qr} \cdot h'.$$

Изгибающие моменты и поперечные силы в сечениях определяют по формулам:

в сечении 1-1

$$M_{1-1} = E'_r \cdot z'_1 + E'_{qr} \cdot z'_2;$$

в сечении 2-2

$$M_{2-2} = \frac{q_1 \cdot b_1^2}{2} + \frac{q_2 \cdot b_1^2}{2} - \frac{b_1^2}{3} \left( P_1 + \frac{1}{2} P_2 \right);$$

$$Q_{2-2} = q_1 b_1 + q_2 b_1 - 0,5 b_1 (P_1 + P_2).$$

в сечении 3-3

$$M_{3-3} = \frac{q_3 \cdot l_6^2}{2} - \frac{q_4 \cdot l_6^2}{2} - \frac{q_5 \cdot l_6^2}{2} + \frac{l_6^2}{3} \left( \frac{1}{2} P_3 + P_4 \right);$$

$$Q_{3-3} = q_3 l_6 + q_4 l_6 + q_5 l_6 - 0,5 l_6 (P_3 + P_4).$$

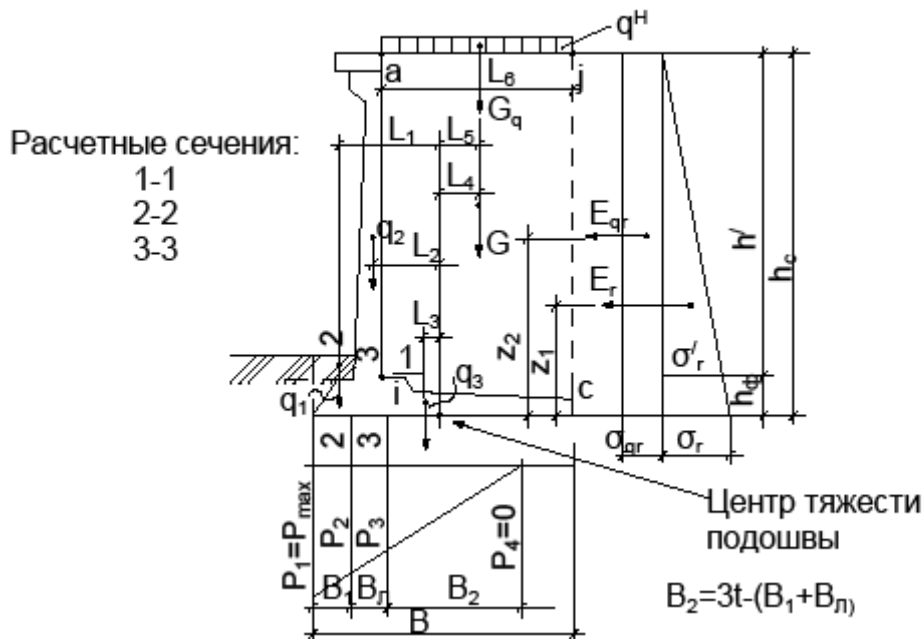


Рис. 7. Расчетная схема угловой подпорной стены при расчете ее на прочность

Максимальные расчетные усилия  $M$  и  $Q$  в лицевых и фундаментных плитах должны приниматься по граням сопрягаемых элементов.

Краевые давления на грунт под подошвой стены  $p_{\min}$  и  $p_{\max}$  определяются из условия расчета по второй группе предельных состояний.

### Конструктивные указания

1. Габаритные схемы подпорных стен определяются в основном одним параметром – высотой подпора грунта  $H$ .
2. Предварительные размеры подошвы массивной подпорной стены назначаются в пределах  $0,5-0,7H$ .
3. Минимальные размеры сечений элементов подпорных стен:
  - для каменных и бутобетонных – 600 мм;
  - для бетонных – 400 мм;
  - для железобетонных – 100 мм.
4. Основные размеры подпорной стены (высота всей стены, высота перепада, ширина подошвы, вылет консоли) назначаются кратными 300 мм.
5. Толщины кратные 20 мм.

### ***Глубина заложения подошвы и подготовка основания***

1. Глубина заложения определяется на основании требований СНиП 2.02.01-83 “Основания зданий и сооружений” и кратна 100 мм.
2. Минимальная глубина заложения для нескальных оснований не менее 0,6 м, при скальных – не менее 0,3 м.
3. Под подошвой монолитной стены следует устраивать выравнивающую подбетонку толщиной 100 мм из тощего бетона класса В 3,5.
4. Сборные фундаментные плиты следует устанавливать на подготовленное основание в виде щебня толщиной 100 мм.
5. В продольном направлении подошву стены следует принимать горизонтальной, или с уклоном не более чем 0,02 ‰, при большем уклоне подошву следует выполнять ступеньками.
6. В поперечном направлении подошву следует принимать горизонтальной или с уклоном в сторону засыпки  $< 0,125 ‰$ .

### ***Температурно-осадочные швы***

1. Конструкции подпорных стен должны быть разделены по температурно-осадочным швам.
2. Расстояние между швами:
  - у монолитных, бутобетонных, бетонных – 10 м;
  - при армировании – 20 м;
  - монолитные, сборно-монолитные – 25 м;
  - сборные – 30 м
3. Ширина швов – 30 мм.
4. Температурно-осадочные швы решают конструктивно путем установки просмоленной доски.

### ***Обратная засыпка***

1. Обратную засыпку пазух подпорной стены рекомендуется производить дренирующими грунтами (песчаными или крупнообломочными) грунты нужно трамбовать до величины удельного веса сухого грунта –  $1,65 \text{ т/м}^3$ .
2. Не допускается применять для обратной засыпки тяжелые пластичные глины.

## ***Стена в грунте***

### ***Общие сведения***

«Стена в грунте» - это сооружение, возводимое из монолитного или сборного железобетона или противofильтрационного материала в узких глубоких траншеях. В процессе разработки грунта устойчивость стен траншей обеспечивается за счет заполнения траншеи глинистыми растворами, обладающими тиксотропными свойствами. После разработки траншеи заданных размеров, глинистый раствор замещается различного рода материалами, которые образуют в грунте или несущие конструкции.

### ***Применение в строительстве***

- в гражданском - при строительстве подземных этажей высотных зданий, гаражей, складов;
- в транспортном – при строительстве тоннелей, пешеходных переходов, опор мостов, объектов метрополитена мелкого заложения;
- в коммунальном – при возведении глубоких камер и колодцев сточных вод, канализационных коллекторов;
- в гидротехническом – для устройства водозаборов, насосных станций, противofильтрационных завес плотин и дамб, крепления берегов рек и водоемов;
- в промышленном – подземных технологических галерей, бункерных ям, дробильных цехов горно-обогатительных предприятий.

### ***Достоинства:***

- возможность устройства подземных сооружений вблизи существующих зданий и сооружений без нарушения их устойчивости и создания динамических нагрузок, что важно при реконструкции объектов;
- отказ от крепления стенок котлованов шпунтом;
- отказ от дорогостоящих способов водопонижения, замораживания при высоком уровне грунтовых вод;
- сокращение трудоемкости возведения ограждающих конструкций и противofильтрационных завес за счет высокой механизации производства труда.

### ***Применение не допускается:***

- на площадках с геологически неустойчивыми условиями (карст, оползни, пьывуны и т.п.);
- в рыхлых крупнообломочных грунтах;
- в грунтах текучей консистенции.

## ***Классификация подпорных «стен в грунте»***

### **I. По способу изготовления:**

- траншейные (непрерывные или сооружаемые секциями);
- свайные (соприкасающиеся или пересекающиеся сваи).

### **II. По назначению:**

- несущие;
- противодиффузионные.

### **III. По материалу:**

- железобетонные;
- бетонные;
- грунтоцементные;
- глинистые;
- комбинированные.

### **IV. По способу изготовления:**

- монолитные;
- сборные;
- сборно-монолитные.

Для монолитных стен применяется тяжелый бетон класса не ниже В 15, для сборных конструкций – не ниже В 22,5.

Рабочая арматура – стержни периодического профиля (А 400, А 240) Ø 10 – 30 мм, распределительная (А 240) Ø 8 – 20 мм.

Толщина защитного слоя  $\geq 50$  мм.

## ***Конструктивные решения и технология работ***

Сооружения, возводимые способом «стена в грунте», могут в плане иметь любую форму, которая определяется их технологическим назначением. При возведении подземных гаражей, подвальных этажей высотных зданий, транспортных тоннелей – применяются обычно параллельные, прямолинейные стены.

При строительстве насосных станций, резервуаров – применяются стены круглого очертания.

Ниже приводятся конструктивные схемы сооружений с параллельными стенами

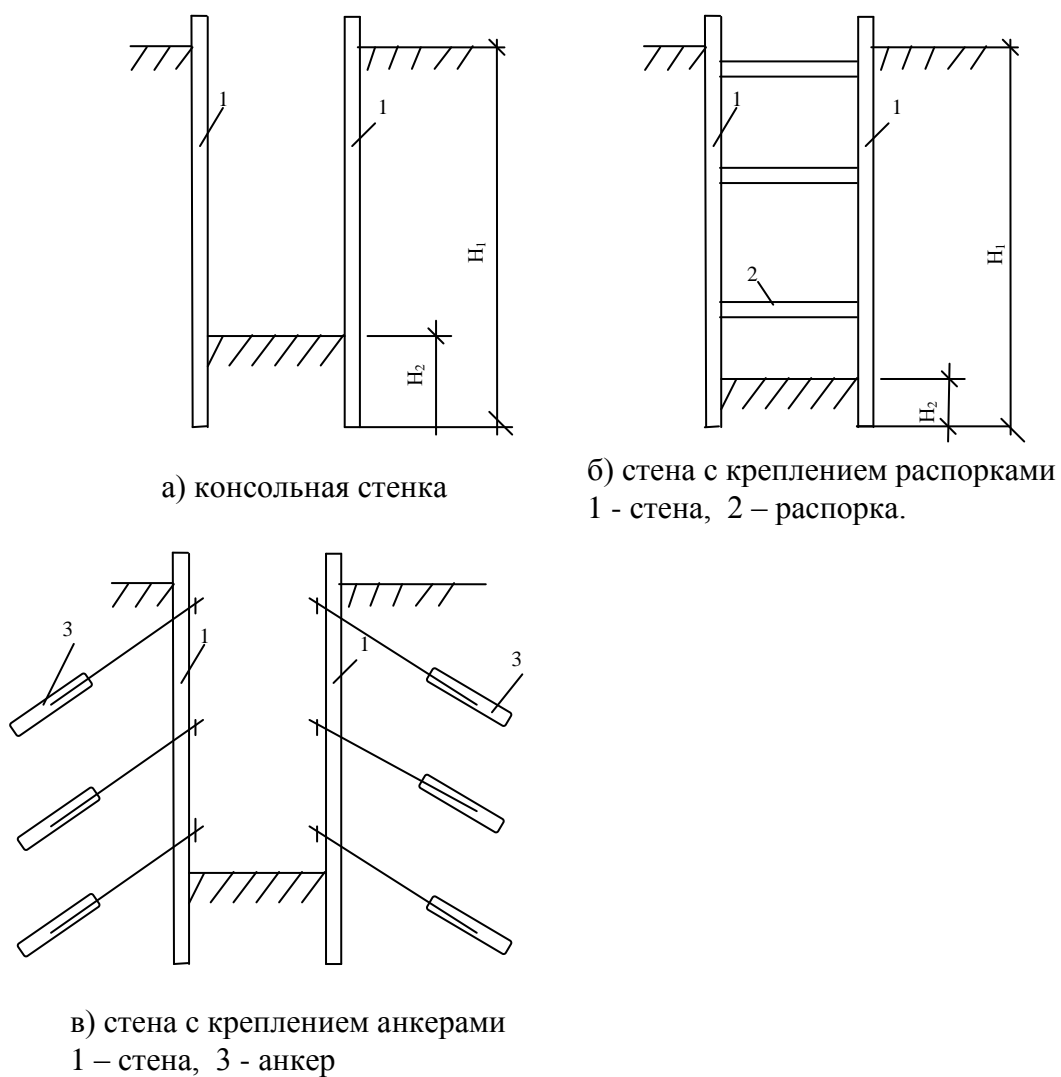


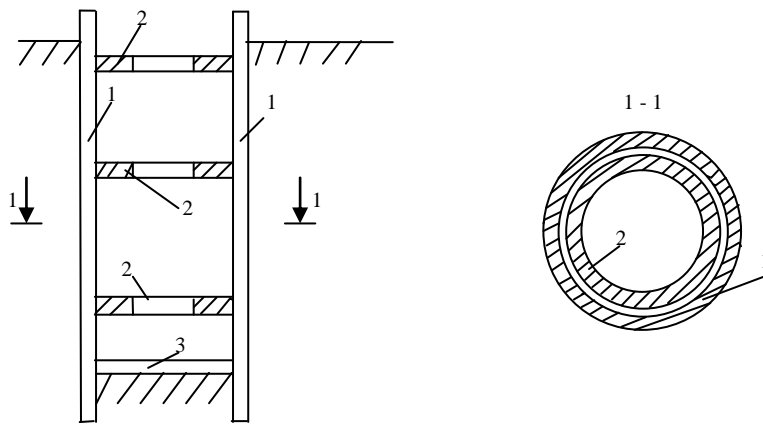
Рис.8. Схемы сооружений с параллельными стенами

Устойчивость стен подземного сооружения обеспечивается заделкой их нижней части в грунтах, а также применением распорных конструкций:

- железобетонных поясов (при расстоянии между параллельными стенами  $\leq 15$  м);
- анкеров (при расстоянии между параллельными стенами  $\geq 15$  м).



### ***Устройство круглых в плане сооружений***



- а) стена с креплением круглыми железобетонными дисками  
1 - стена, 2 – железобетонный пояс, 3 – днище сооружения

Рис. 9. Круглые стены в плане

Глубина заложения «стен в грунте» назначается исходя из:

- гидрогеологических условий строительной площадки;
- принятой конструкции стен;
- технологии производства работ.

При расположении подземного сооружения в водонасыщенных грунтах и вблизи залегания водоупора, рекомендуется заглублять низ стены в водоупор от 0,5 – 1,5 м – в зависимости от вида грунта.

Траншейные стены, как правило, должны иметь прямоугольное поперечное сечение толщиной:

- для монолитных стен 0,4 – 1,0 м;
- для сборных стен 0,3 – 0,4 м.

Днище подземных сооружений, выполняемых способом «стена в грунте» обычно выполняется в монолите с предварительным выравниванием дна котлована и устройством дренажного слоя.

### ***Технологи выполнения работ***

Траншейные и свайные подпорные стены сооружают поточным методом (захватками). Длина захваток при устройстве траншейных монолитных стен принимается 3 – 6 м, при устройстве сборных стен определяется шириной сборных панелей и составляет 1,5 – 3,5 м.

При сооружении траншейных стен основными строительными работами являются:

- изготовление направляющих стенок (форшахт) для отрывки траншей по контуру сооружения;
- приготовление глинистой суспензии и контроль за ее качеством;

- отрывка между направляющими стенками рабочей траншеи под защитой глинистой суспензии;
- выполнение монолитных или сборных стен.

Форшахта предназначена для укрепления устья траншеи от обрушения в процессе разработки грунта и служит для направления движения грунтоработывающих механизмов. Форшахты изготавливаются из сборного или монолитного бетона и железобетона  $t_{\text{стенок}} = 15 - 30$  см;  $H_{\text{форшахты}} = 80 - 150$  см.

Глинистая суспензия при устройстве «стен в грунте» выполняет следующие функции:

- удерживает стенки траншей от обрушения на период возведения за счет создания на стенки повышенного гидростатического давления;
- образует на стенках траншей малопроницаемый защитный экран;
- облегчает вынос из траншей раздробленного грунта;
- обогащает глинистыми фракциями местный грунт, что позволяет использовать его для заполнения противифльтрационных завес.

Для приготовления глинистых суспензий применяются:

- бентонитовые глины;
- каолинит-гидрофлюидистые глины;
- полыгорскитовые глинопорошки.

При отсутствии этих составов могут использоваться местные грубо-дисперсные глины, подвергнутые специальной обработке.

### ***Оборудование для устройства «стены в грунте»***

Выемка для траншей устраивается с помощью землеройных механизмов:

- экскаваторов (с обратной лопатой, многоковшовых);
- подвесных грейферов (одноканатных, двухканатных, гидравлических);
- штанговых грейферов;
- погруженных электробуров.

После разработки траншеи заданных размеров и зачистки забоя от шлама производится заполнение траншей монолитным или сборным железобетоном. Заполнение траншей осуществляется захватками. При устройстве монолитных стен на каждой захватке выполняются следующие операции:

- заведение в траншею ограничителя между захватками;
- установка арматурного каркаса;
- заполнение захватки бетонной смесью с одновременной откачкой глинистой суспензии;
- извлечение ограничителя после схватывания бетона.

При устройстве сборных траншейных стен после разработки грунта выполняются следующие операции:

- погружение сборных элементов;
- замена глинистой суспензии тампонажным раствором.

### *Разрез монолитной стены в грунте*

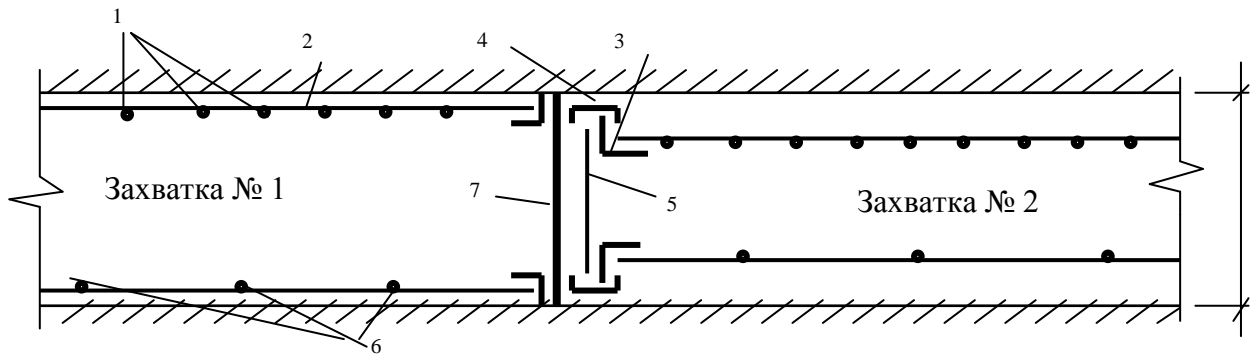


Рис.10. Монолитная стена в грунте

*1 – рабочая арматура; 2 – монтажная арматура; 3 – уголок;  
4 – швеллер; 5 – связь из прутков; 6 – монтажная арматура;  
7 – стальной лист ограничитель захватки №1.*

### *Разрез сборной стены со шпунтовым соединением*

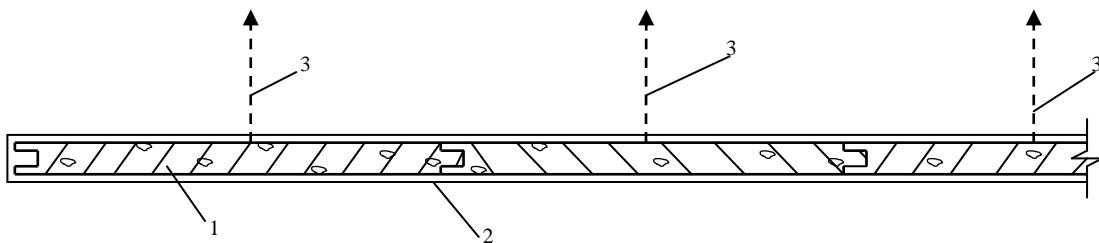


Рис.11. Сборная стена в грунте

*1 – сборная панель; 2 – глиноцементный раствор;  
3 – анкерный тяж.*

## ***Городские тоннели***

**Тоннелем принято называть** подземное инженерное сооружение, находящееся на известной глубине от поверхности земли и служащее для пропуска транспорта или для других целей.

Городские тоннели служат:

- 1) для пересечения улиц в разных уровнях;
- 2) для пропуска поездов метрополитена;
- 3) для пересечения пешеходами улиц с интенсивным движением;
- 4) для проезда под реками;
- 5) для пересечения горных отрогов (для городов, расположенных в горной местности);
- 6) для прокладки подземных инженерных сетей (тоннели-коллекторы).

Вид и конструкция тоннели зависят от его назначения.

Часто этим определяется и глубина заложения тоннеля под уровнем естественной поверхности земли. По этому признаку тоннели делятся на 2 типа:

### **I. Тоннели *глубокого заложения***

(расположены на большой глубине в толще горных пород)

### **II. Тоннели *мелкого заложения***

(устраиваются на незначительной глубине или так, что их верхнее перекрытие располагается непосредственно под естественной поверхностью грунта или вышележащего проезда).

К тоннелям I типа (глубокого заложения), как правило, относятся следующие городские тоннели:

1. Горные тоннели;
2. Тоннели метрополитена;
3. Подводные тоннели.

## ***Основные элементы тоннеля***

Для строительства тоннеля необходима выработка – искусственная пустота в земной коре. В устойчивых породах выработку обычно оставляют без закрепления, в неустойчивых – сооружают временную крепь, основными элементами которой являются рошпаны; а затем, обделку. Обделка является важнейшим элементом тоннеля, воспринимающая давление окружающих горных пород и обеспечивающая гидроизоляцию тоннеля. Участки тоннеля, находящиеся возле его выходов, называются порталами. Порталы придают архитектурный вид входам в тоннель на фоне окружающего ландшафта.

Для гидроизоляции тоннелей по технологии ново-австрийского метода (NATM) применяется геомембрана с сигнальным слоем.

## **Закрытые способы строительства**

Закрытые способы строительства тоннелей применяются как для строительства тоннелей глубокого (>20 м), так и мелкого залегания.

В зависимости от того, в какой породе располагается тоннель, выбирают ту или иную технологию строительства:

#### ***Устойчивые грунты средней крепости и крепкие***

- **Горный способ проходки с использованием буровзрывных работ** – производится обруивание забоя шпурами в которые закладывают заряды взрывчатого вещества и затем происходит взрыв, разрушающий горную породу. Разрушенная порода транспортируется на поверхность, устраивается сначала временная крепь, а затем постоянная обделка.
- **Комбайновый способ проходки** – похож на предыдущий, но разработка грунта осуществляется не взрывами, а при помощи специальных тоннелепроходческих комбайнов с рабочими органами различных типов.

#### ***Сильнотрещиноватые и мягкие породы***

- **Новоавстрийский способ проходки (проходка с использованием податливого свода)** – временная крепь (обычно набрызг-бетон плотно нанесённый на породу и армированный) работает совместно с прилегающим грунтовым массивом, укреплённым анкерами, при этом основные нагрузки воспринимает массив. Такая конструкция крепи позволяет увеличить устойчивость свода выработки, без загромождения сечения тоннеля временной крепью. Постоянная обделка может возводиться на значительном удалении от забоя сразу по всему сечению с использованием высокопроизводительных механизмов.
- **Щитовой метод проходки** – при помощи проходческого щита проводится разработка грунта на полное сечение, а затем сооружение обделки тоннеля.

#### ***В неустойчивых, обводнённых грунтах и агрессивных средах***

- **Специальные способы проходки** – с применением сжатого воздуха, замораживания, водопонижения или закрепления грунтов специальными растворами.
- **Щитовой метод проходки с использованием активного пригруза забоя** – при помощи специальных механизированных проходческих щитов, имеющих герметичную призабойную зону. Активный пригруз может создаваться либо грунтом, перемешиваемым в призабойной зоне, либо специально нагнетаемыми бентонитовой суспензией или сжатым воздухом.

#### ***Открытые***

Применяются, как правило, для возведения тоннелей мелкого залегания. По сравнению с закрытыми способами, открытые способы отличаются относительной дешевизной строительства, но при использовании требуют обязательного перекладывания дорог и коммуникаций, находящихся над тоннелем. К открытым способам относят

- **Котлованный способ** – разывается котлован на полную ширину тоннеля до уровня его подошвы. Стены котлована либо оставляют под углом естественного откоса грунта, либо укрепляют в вертикальном положении. Обделку сооружают в котловане, который затем засыпают

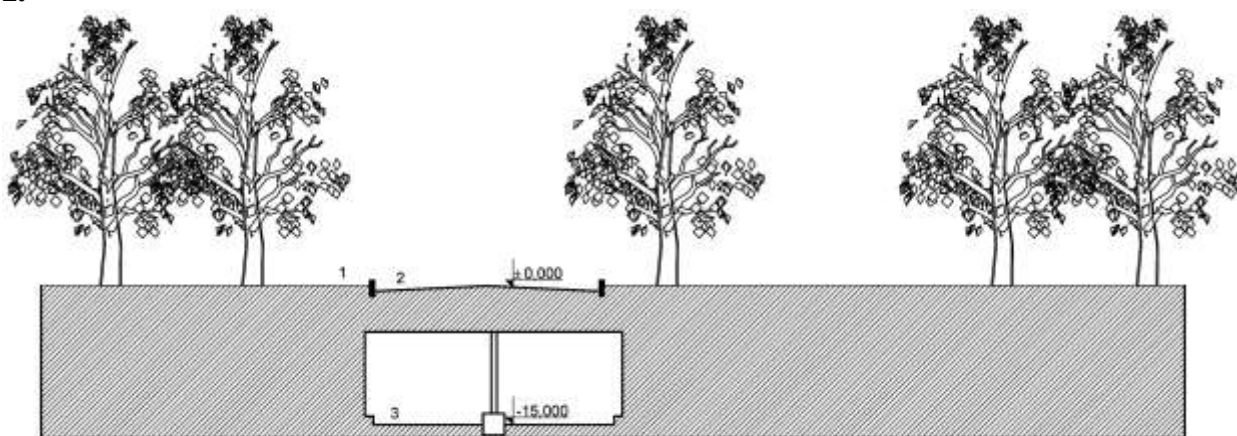
грунтом. Данный способ применялся при строительстве метро в Берлине и поэтому иногда называется «берлинским».

- **Траншейный** способ – котлован разбивается по частям, стены возводятся методом «стены в грунте». Таким способом часто строят пешеходные тоннели.
- **Щитовой** способ – для возведения используется прямоугольный щит, аналогичный тому, что используется при закрытом способе. С его помощью возводят обделку тоннеля.

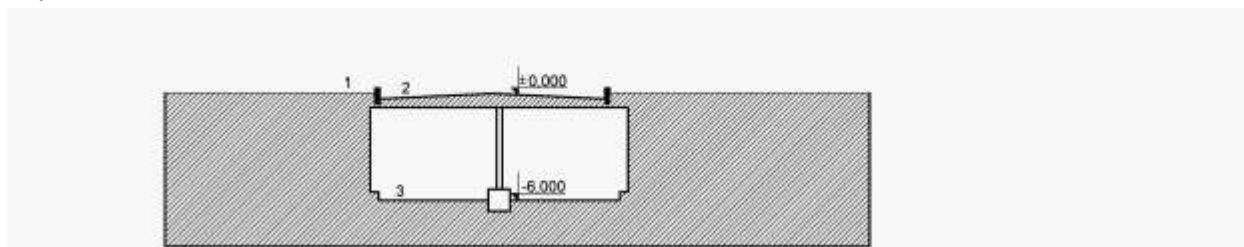
При сооружении тоннелей в сложных инженерных условиях используют различные специальные методы (дренаж, замораживание грунтов, кессонный способ с применением сжатого воздуха и пр.).

### *Пример*

I.



II.



1. Тротуар
2. Проезжая часть для общественного и местного транспорта
3. Проезжая часть для транзитного транспорта

К тоннелям II типа (мелкого заложения), как правило, относятся тоннели:

1. Для пропуска уличного движения;
2. Тоннели-коллекторы;
3. Пешеходные тоннели.

Сооружение глубоких тоннелей связано с выполнением трудоемких работ по разработке и извлечению горных пород.

Проще постройка тоннелей мелкого заложения, которая обычно ведется открытым способом в котлованах. Однако, в городских условиях (при наличии густой застройки и интенсивном уличном движении), возведение тоннелей открытым способом вызывает большие трудности.

Строительству тоннелей должно предшествовать изучение геологических и гидрологических характеристик пород, залегающих на их трассе.

Для этого проводятся подробные инженерно-геологические и гидрологические исследования, которые позволяют выяснить:

- а) характер и условия залегания горных пород;
- б) их физико-технические характеристики;
- в) наличие, уровень грунтовых вод; химический состав; интенсивность и направление притока подземных вод.

Разведка ведется путем бурения и отбора проб грунтов и грунтовых вод.

Бурение проводится на глубину более  $6\div 10$  м отметки низа тоннеля. Это позволяет судить о физико-химических свойствах грунтов, залегающих как выше, так и ниже тоннеля.

При геологических исследованиях должны использоваться данные ранее проведенных в данных районах геологических разведок, существующие геологические карты, разрезы.

При проектировании городских тоннелей должен учитываться тот факт, что реконструкция этого вида сооружений крайне трудна. Поэтому при планировке их должны учитываться перспективы развития интенсивности и скоростей движения транспорта на значительное время  $> 20$  лет.

Жестких нормативов для проектирования городских тоннелей нет. Форма и размеры внутреннего очертания городских тоннелей назначаются в зависимости от габаритов, необходимых для пропуска городского движения транспорта или пешеходов.

При проектировании продольного профиля городских тоннелей под автомобильное движение уклоны подходов (рамп)  $4\div 4,5\%$ . В пределах самого тоннеля уклон не более  $2\div 3\%$  (иногда до  $4\div 5\%$ ). Из-за необходимости отвода воды, продольный уклон не должен и быть менее  $2\div 3\%$ . В плане тоннелей надо избегать крутых кривых, радиус закругления для автомобильного движения  $> 200\div 300$  м. Важным вопросом является для тоннелей – вентиляция. В коротких тоннелях вентиляция может быть естественной. В длинных тоннелях вентиляция обязательно искусственная. Необходимо учитывать, что количество выхлопных газов автомашин увеличивается с увеличением крутизны подъема профиля дороги, поэтому это обстоятельство влияет на обоснование допустимых уклонов продольного профиля тоннелей, которые делают более пологими, чем на открытых участках улиц.

### ***1. Тоннели для пропуска уличного движения в разных уровнях***

В современных городах тоннели используются для развязки пересечения улиц в разных уровнях, для скоростных магистралей, для пересечения

пешеходных улиц и площадей с оживленным движением, для подземных автостоянок. Эти тоннели – обычно мелкого заложения. Въезды, сходы в эти тоннели короткие. Прокладка тоннелей мелкого заложения обычно ведется открытым способом, поэтому их трасса должна проходить вне зоны застройки. Эти тоннели устраивают вдоль улиц (под улицами, площадями, зелеными насаждениями).

Проектирование тоннелей мелкого заложения связано с вопросами перекладки и прокладки подземных инженерных сетей. Избежать перекладки **разводящих сетей** водопровода, теплосети, фекально-хозяйственной канализации, газопроводов, ливневой канализации и кабельных линий обычно не представляется возможным. Однако, при проектировании необходимо избегать пересечений с **магистральными инженерными подземными сетями**: водоводы, теплофикационные каналы, коллекторы фекально-хозяйственной канализации, общие коллекторы для подземных сооружений, газопроводы высокого давления, силовые маслонаполненные кабели с напряжением 110 кВ, тоннели метрополитена и т.п.

При выборе транспортного сооружения предпочтение отдают такому типу пересечения, строительство которого в наименьшей степени потребует перекладки существующих подземных сооружений.

Простейший вид тоннеля мелкого заложения для развязки улиц в разных уровнях устраивают на перекрестке скоростного движения под пересекаемой улицей (без развязки угловых транспортных потоков).

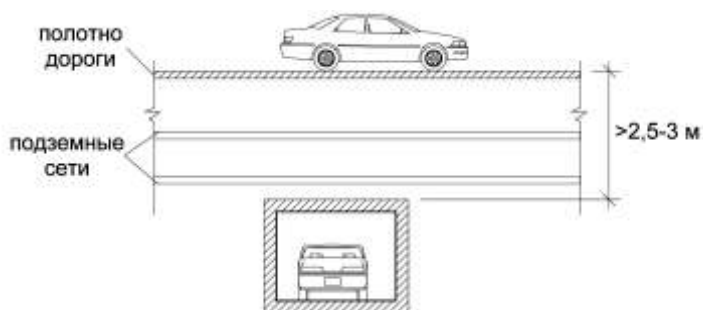
Ширину тоннеля назначают в зависимости от ожидаемой интенсивности движения.

Тоннель состоит из:

- а) открытых участков-подходов;
- б) закрытой собственно тоннельной части.

Глубина заложения тоннеля под уровнем естественной поверхности земли может быть разной:

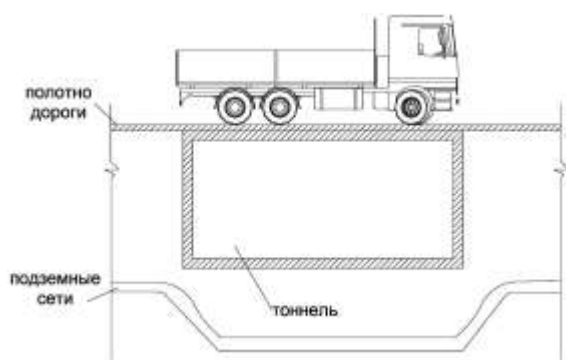
1. Если хотят сохранить подземные сети, расположенные вдоль улицы, нетронутыми, тоннель располагают ниже их, на глубине 2,5÷3 м и более от поверхности земли (под сетями).



В этом случае наклонные участки тоннеля получают значительное развитие и общая длина тоннеля получается больше.

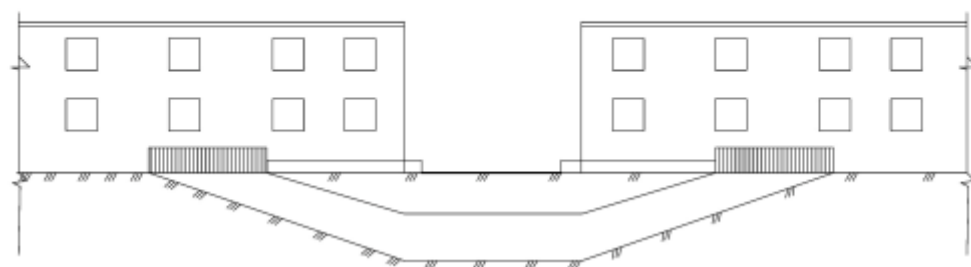
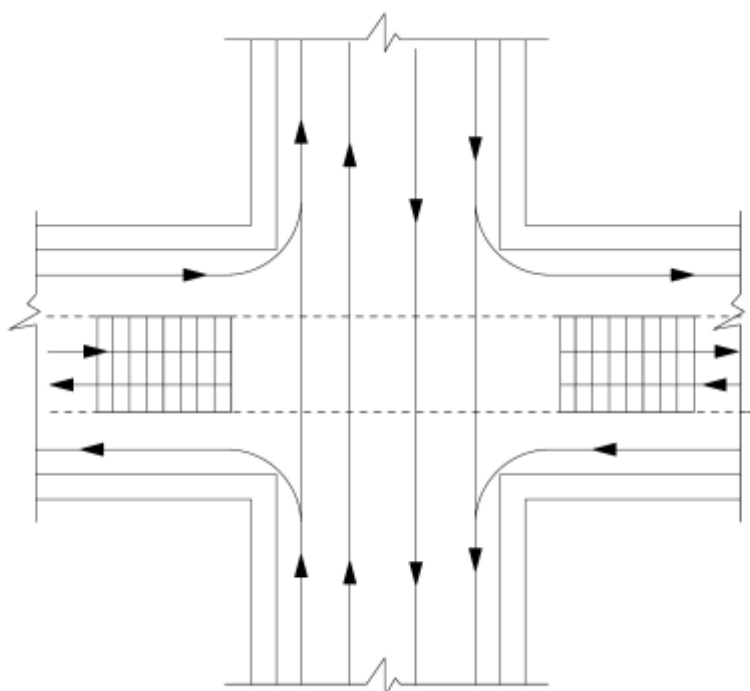
2. Если хотят сократить длину тоннеля и глубину его закладки. В этом случае тоннель пересекает подземные сети. При этом возникает необходимость полной или частичной их перекладки.





Верх тоннеля в этом случае можно расположить непосредственно под полотном вышележащей улицы или опустить на небольшую глубину. Для этого решения трубопроводы и часть кабелей могут быть подведены под устраиваемый тоннель, или выведены в сторону.

### Схема устройства тоннеля для пересечения улиц в разных уровнях



Открытые участки тоннелей должны быть ограждены периллами или парапетом.

В пониженных точках тоннеля устраивают водосборные колодцы, которые снабжены насосами для перекачки воды в ливневую сеть.

В городской застройке большое распространение получили тоннельные **пешеходные переходы**. Особенно часто используются для перехода через широкие улицы с интенсивным движением, для устройства подземных выходов из мест скопления пешеходов (вокзалы, станции метро и др.) Альтернативное тоннелям решение в данном случае в виде пешеходных мостов не всегда выполнимо. Часто пешеходные мосты нарушают перспективу улицы, мешают своими опорами движению транспорта, нарушают архитектурный ансамбль застройки.

Пешеходные тоннели под улицами желательно делать с более мелким заложением (для того, чтобы уменьшить высоту, на которую необходимо опускаться и подниматься пешеходам).

Однако этот вопрос связан с пересечением тоннелем подземных сетей.

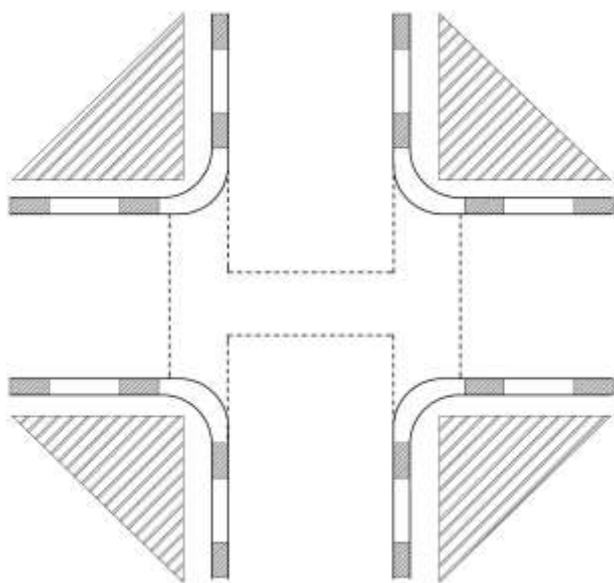
Более глубокое заложение, не затрагивая подземного хозяйства улиц, требует большой длины тоннеля и увеличивает преодолеваемую пешеходом высоту.

Выбирать то или иное решение можно из следующих соображений:

- если переходы расположены далеко друг от друга, то перекладка сетей возможна; переходы могут быть мелкого заложения;
- если переходы располагаются на улице достаточно часто, тогда тоннели необходимо опускать глубже, чтобы не затрагивать подземные сети. В этом случае рационально устройство эскалаторов на выходе. Входы и выходы могут быть устроены или за счет помещений зданий основной застройки улиц или возведены специальные строения (если имеются широкие тротуаты, зеленые полосы).

Иногда для спуска в подземные переходы используются пандусы, их уклон для открытых не более 1/10, для закрытых 1/10 до 1/6.

#### **Схема тоннельного пешеходного перехода под перекрестком (наиболее простое решение)**



Для входа и выхода простые лестницы, выходящие на края тротуаров.

Тоннель имеет мелкое заложение, это позволяет иметь лестницы лишь с двумя маршами.

В плане имеет двутавровую форму, связывающую четыре угла тротуаров перекрестка.

## Тоннели-коллекторы

Это специальные тоннели для пропуска кабелей и трубопроводов городских инженерных сетей. Эти тоннели-коллекторы располагаются обычно вдоль трассы улиц. По конструкции они являются тоннелями мелкого заложения, отличие в том, что они имеют небольшую ширину и высоту сечения отверстия.

### Конструкция тоннелей мелкого заложения

Тоннели мелкого заложения устраивают чаще всего прямоугольного сечения. Это объясняется открытым методом возведения этих тоннелей и условиями работы конструкций под нагрузкой. Прямоугольное сечение тоннеля также позволяет меньше заглублять его по отношению к сводчатому тоннелю при одинаковой рабочей высоте тоннелей.

Прямоугольный тоннель состоит из:

- а) боковых стенок;
- б) верхнего перекрытия;
- в) нижней плиты (фундамент, лоток).

По условиям возведения тоннели мелкого заложения могут быть:

- а) монолитные;
- б) сборные;
- в) сборно-монолитные.

По конструкции тоннели могут иметь плитные или ребристые покрытия и стенки.

Плитные тоннели проще в изготовлении, однако, менее экономичны по материалу.

При монолитной конструкции плитный тоннель в поперечном сечении представляет собой замкнутую железобетонную раму, армированную в растянутых зонах рабочей и распределенной арматурой (сетками). Наиболее интенсивно работают на вертикальное давление грунта нижняя и верхняя плиты тоннеля, их изготавливают толще боковых стенок тоннеля, которые работают на горизонтальное давление грунта.

При ширине тоннеля, превышающей 5÷6 м, толщина горизонтальных его плит получается очень значительной. В этом случае целесообразнее устраивать **двухпролетный тоннель с промежуточной опорой**. Эта опора может быть выполнена из отдельных стоек или сплошной поперечной стенки.

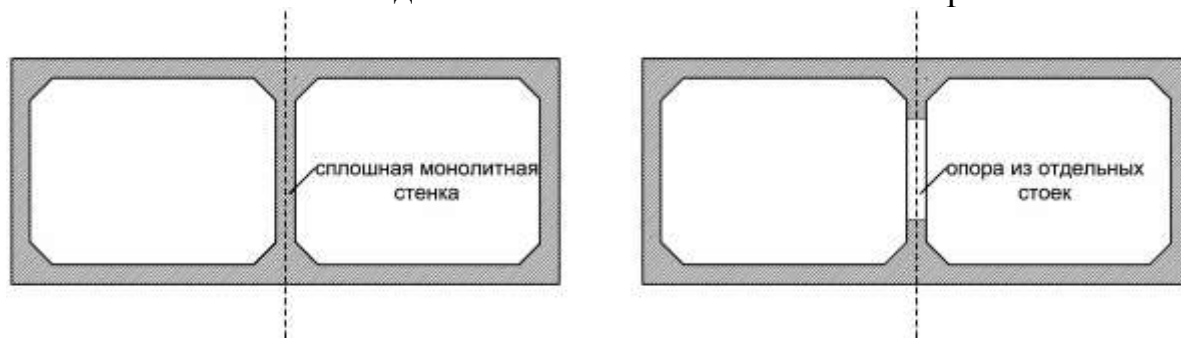


Рис. 12. Поперечное сечение монолитных конструкций тоннелей:  
а) со сплошной поперечной стенкой; б) с опорой из отдельных стоек

**Сборные** тоннели могут собираться из отдельных элементов не связанных между собой монолитно. Так, например, тоннель может быть образован из боновых стенок, опертой на них плиты перекрытия и нижнего лотка.

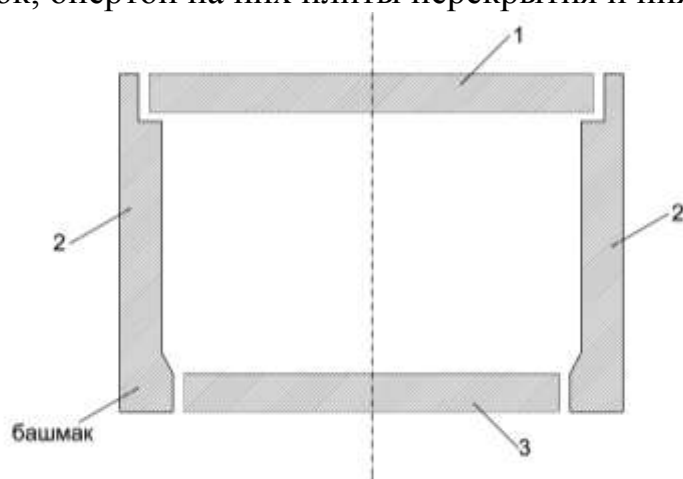


Рис. 13. Поперечное сечение тоннеля плитной конструкции:

*1 – железобетонная плита перекрытия;*

*2 – стенки-устои; 3 – нижний лоток*

При такой конструкции верхняя железобетонная плита поддерживает вышележащий грунт и передает свои опорные давления станкам-услоям. Стенки воспринимают боковое давление грунта и передают вертикальное давление на нижележащие породы. Такие применяют только при прочных грунтах (не требуется распределение давления на всю ширину его лотка). Эти конструкции не применяют при водонасыщенных грунтах.

Для обеспечения конструкций применяют ребристые конструкции перекрытий и стенки.

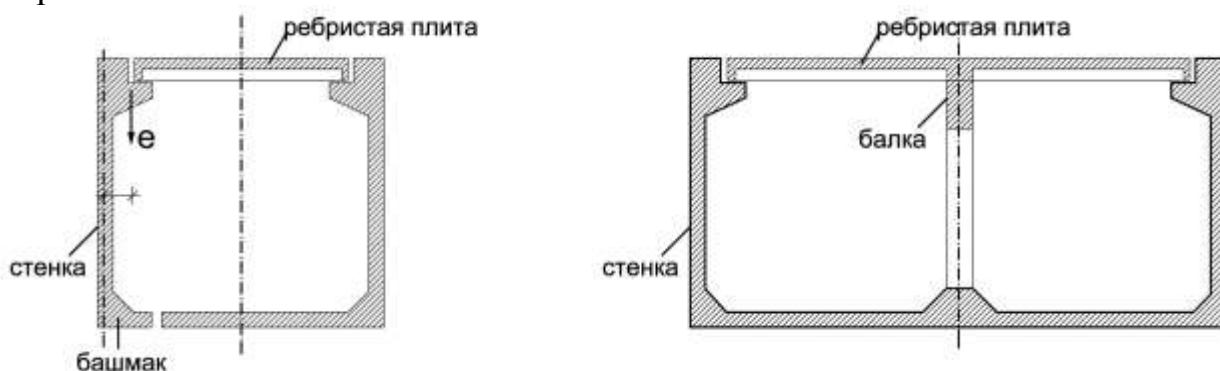


Рис. 14. Поперечное сечение сборно-монолитных тоннелей с ребристым перекрытием

Перекрытие состоит из плит, которые расположены поперек тоннеля. Оно поддерживается боковыми стенками, которые опираются на грунт башмаками или передают давление через нижнюю плиту (лоток), жестко связанную с ними. Такое решение применяется при слабых грунтах.

В двухпролетном тоннеле устраивается промежуточная опора в виде сплошной стенки или отдельных стоек, на которые укладываются продольные прогоны.

В длинных тоннелях мелкого заложения для предотвращения разрушений от температурных деформаций обязательно устройство температурных (деформационных) швов через 40÷60 м.

Рассмотрим конструкционные особенности тоннелей разного назначения.

### ***Конструкции коммуникационных тоннелей***

Типовые унифицированные сборные железобетонные тоннели представлены в серии ИС-01-05.

В этой серии содержатся одно- и двухсекционные тоннели высотой 2100, 2400 и 3000 мм при ширине от 1500 до 4200 мм. Типовые конструкции тоннелей применяются при заглублении верха перекрытия не менее чем на 0,7 м и не более чем 2 м. Они разработаны для прокладки в непросадочных и просадочных сухих грунтах и при наличии грунтовых вод в несейсмических и сейсмических районах.

Односекционные тоннели устраиваются из сборных железобетонных плит (рис. 1), а двухсекционные – из сборных железобетонных плит для стен и перекрытий, а днища их возводятся из монолитного железобетона. Плиты перекрытий смежных секций опираются на прогон, устраиваемый по стойкам с шагом 3 м (рис. 2).

Для сборных вариантов проектирования тоннелей разработаны сортаменты основных элементов тоннелей.

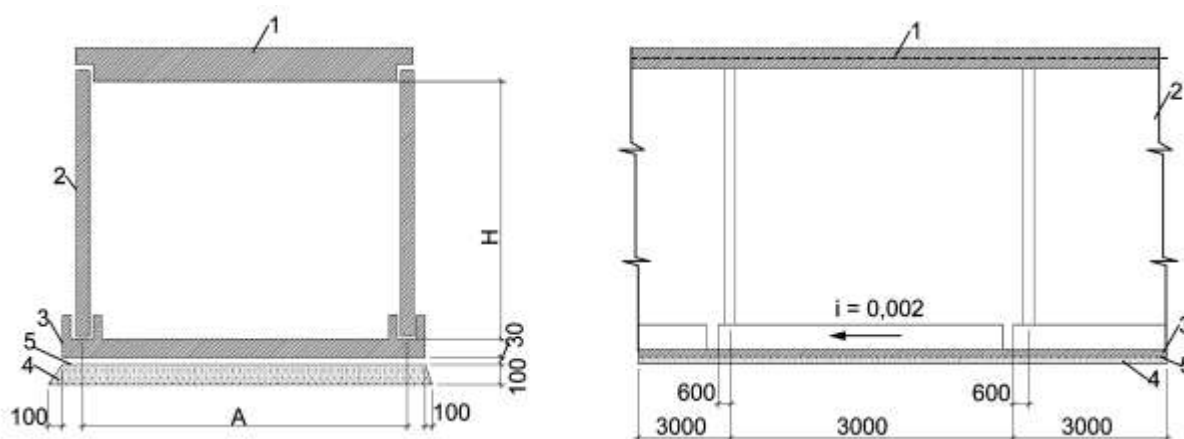


Рис. 15. Продольный и поперечный разрезы односекционного тоннеля  
*1 – плита перекрытия марки ПТ; 2 – плита стеновая марки ПСТ;  
3 – плита днища марки ПДТ; 4 – подготовка из бетона марки 50;  
5 – песчаный выравнивающий слой.*

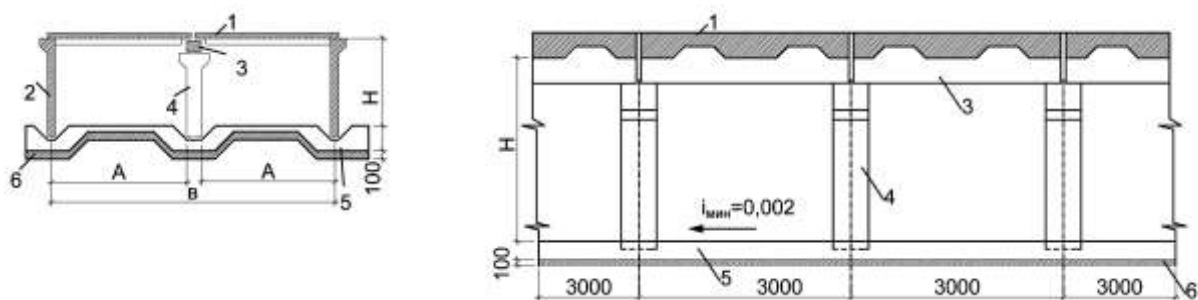


Рис. 16. Продольный и поперечный разрезы двухсекционного тоннеля  
 1 – плита перекрытия марки ПТ; 2 – плита стеновая марки ПСТ;  
 3 – прогон марки ПРТ; 4 – стойка марки СТ; 5 – монолитное днище;  
 6 – подготовка из бетона марки 50.

Стеновые плиты соединяются с плитами днищ с помощью пазов, замоноличиваемых бетоном класса В20 на мелком щебне. Длина стеновых плит вдоль трассы 3000 мм, плит днища и плит перекрытия 1500 и 3000 мм. Используются и доборные плиты перекрытий и стеновых плит. Длина доборных элементов 600 мм. В местах уширений и поворотов стены и днища тоннелей выполняются в монолитном железобетоне. Для отвода воды из тоннелей, днищу придается продольный уклон  $i_{min} = 0,002$ . По покрытию устраивается гидроизоляция с поперечным уклоном 4%.

Для выходов из тоннеля устраиваются шахты из сборных железобетонных колец, перекрываемые чугунными люками. При возведении тоннелей для районов с сейсмичностью 7÷8 баллов и ниже, выполняется подготовка под основание – 100 мм из бетона класса В7,5 марки 50. При устройстве тоннелей в районах с высоким уровнем грунтовых вод устраивается гидроизоляция – асфальтовая из холодных мастик, асфальтовая на горячих растворах или оклеечная. Если уровень грунтовых вод ниже верха перекрытия тоннеля, гидроизоляцию следует предусматривать не менее, чем на 0,5 м выше максимального уровня грунтовых вод, а выше стены должны быть изолированы против капиллярной влаги.

Тоннели маркируются буквой Т и цифрами, обозначающими их геометрические размеры и число секций. Например, Т210-210 – односекционный тоннель шириной 210 см, высотой 210 см; 2Т360-240 – двухсекционный тоннель с шириной секций по 360 см, высотой 240 см. По серии ИС-01-05 разработано 29 типоразмеров железобетонных изделий.

В этом же разделе кратко остановимся на **коммуникационных каналах**.

Существует разделение каналов по:

конструкционному типу

а) лотковые;

б) сборные (собираемые из плит, днища, стен и перекрытия).

секционности

а) одно;

б) двух;

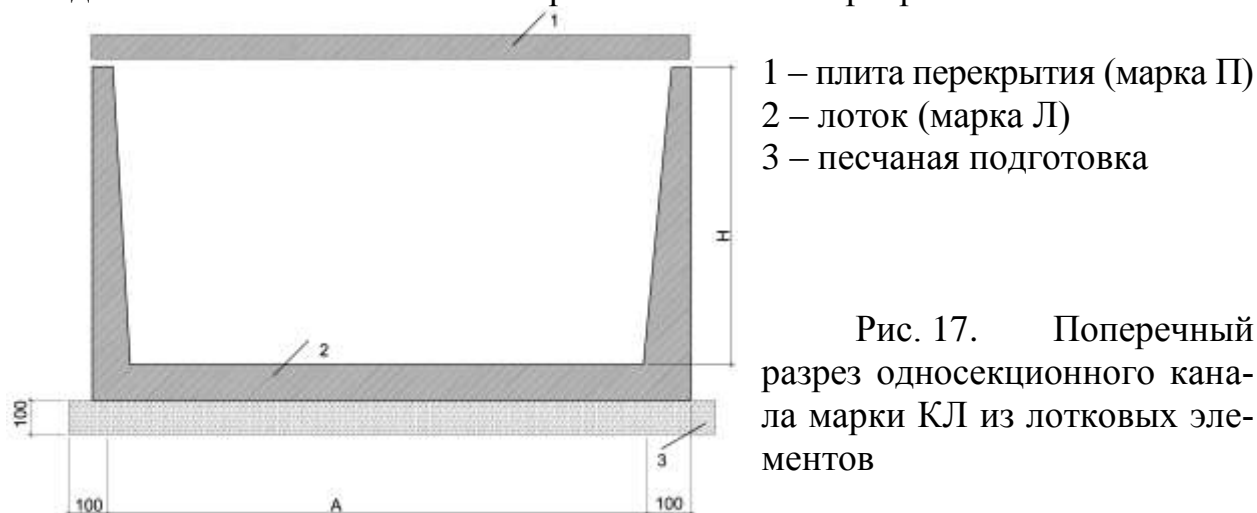
в) многосекционные каналы.

### Лотковые каналы (КЛ)

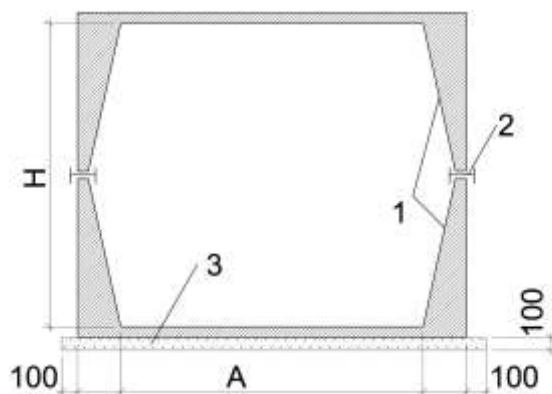
Типовые унифицированные сборные железобетонные каналы представлены в серии ИС-01-04.

В этой серии разработаны конструкции непроходных каналов, предназначенных для прокладки трубопроводов различного назначения и кабелей. При подземной прокладке верх перекрытия должен быть заглублен не менее чем на 0,7 м и не более чем на 2 м.

В серию вошли односекционные каналы высотой  $H = 300, 450$  и  $600$  мм в виде лотковых элементов со сборными плитами перекрытий.

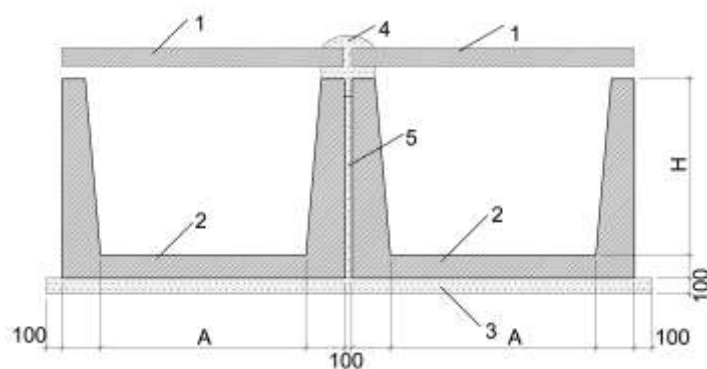


В серию также вышли одно и двухсекционные каналы высотой 900, 1200 мм. Эти каналы могут быть образованы путем установки одного лотка на другой. При возведении этих каналов лотковые элементы соединяются между собой с помощью корытышек из швеллеров, закладываемых в продольные швы.



- 1 – плита перекрытия (марка П)  
2 – лоток (марка Л)  
3 – песчаная подготовка  
4 – цементный раствор марки 50  
5 – песок

Рис. 19. Поперечный разрез двухсекционного канала марки 2КЛ из лотковых элементов



Для отвода воды днищу каналов придается уклон 0,002.

Для подземных каналов расстояние между деформационными швами не более 50 м.

### **Конструкции полупроходных каналов (сборные) (КС)**

Для этого типа каналов разработаны конструкции с габаритами промежуточными между непроходными каналами и проходными тоннелями.

Высота этого типа каналов принята 1500, 1800, 2100 мм. Серия ХТР1-1. Предназначены для прокладки технологических трубопроводов, совмещенной прокладки коммуникаций.

Рис. 20. Габаритные схемы полупроходных каналов

Марка канала

А Н

КС 120 – 1500

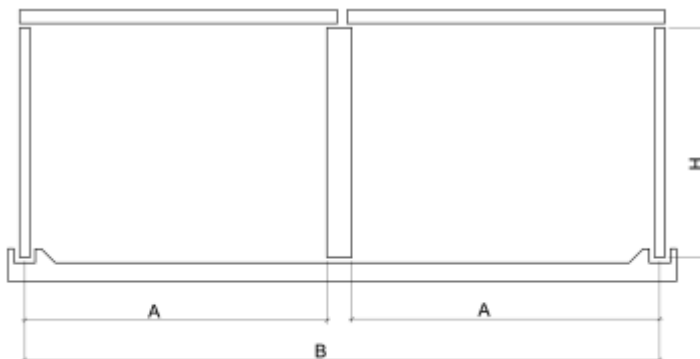
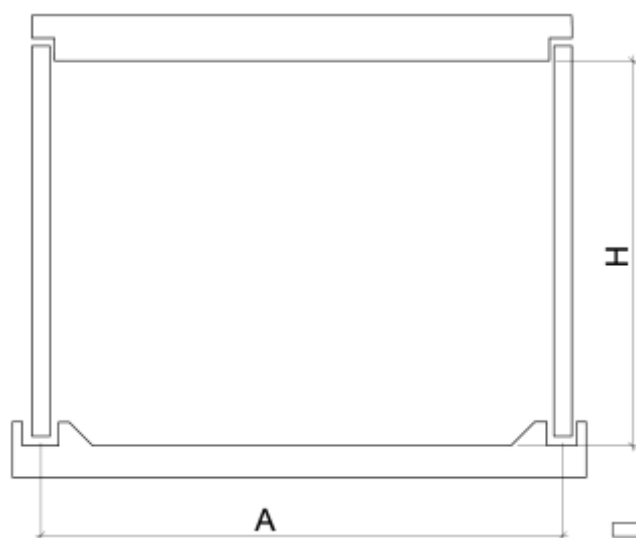
КС 150 – 150

КС 150 – 180

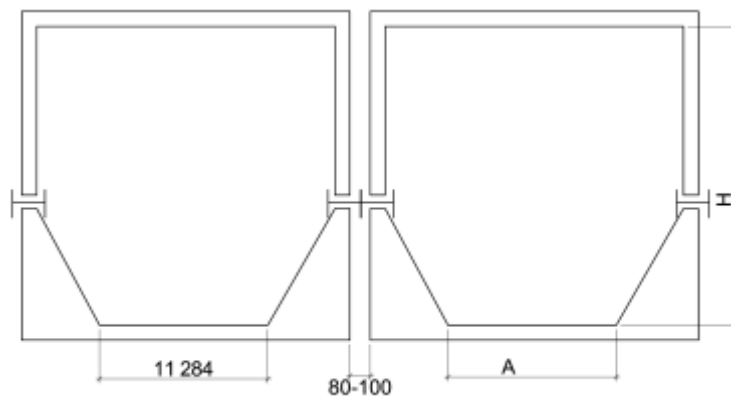
КС 420 – 210

Н = 1500, 1800, 2100

А = 1200÷4200 через 300 мм



А Н  
2КС 150 – 150  
2КС 150 – 180  
2КС 210 – 180  
Н = 1500, 1800  
А = 1200÷2100  
В = 2700÷4500



2КЛс 150 - 150

2КЛс 180 - 180

Н = 1500, 1800

А = 1500, 1800

Минимальное заглубление 0,7 м, максимальное – 2 м.

Конструкции полупроходных каналов серии ХТР1-1

проверены на гидростатическое давление и могут применяться при высоком уровне грунтовых вод (1 м от поверхности земли), при условии проверки конструкций на устойчивость против всплытия.



## **Пешеходные тоннели**

### **Конструктивные особенности**

**Область применения.** Создание специальных пешеходных путей, изолированных от транспорта, удобных и доступных населению.

**Преимущества.** В отличие от мостов пешеходные тоннели защищают пешеходов от воздействия вредных газов, неблагоприятных погодных факторов. Пешеходные тоннели не стесняют проезжую часть дороги. Легче осуществляется связь с подземными сооружениями.

#### **Недостатки**

1. Сооружение пешеходных тоннелей связано с выполнением большого объема земляных работ и переустройства подземных коммуникаций.

2. Строительство пешеходных тоннелей в центре города (без перерыва уличного движения) значительно дороже, чем таких же тоннелей на незастроенных территориях.

3. Стоимость сооружения тоннеля в 1,5-2 раза превышает стоимость строительства моста.

Пешеходные тоннели в городах сооружаются:

1) по трассе скоростных дорог и магистралей;

2) на улицах и дорогах с регулируемым движением транспорта, при интенсивности пешеходного движения через проезжую часть  $> 3000$  чел/час и при ее ширине  $> 14$  м;

3) на улицах и дорогах с нерегулируемым движением транспорта, интенсивность  $> 600$  автомобилей в час и интенсивностью пешеходного движения  $> 1500$  чел/час;

4) на перекрестках, развилках улиц и дорог, крупных площадях;

5) в местах наибольшего тяготения пешеходных потоков: станций метро, железнодорожных вокзалов, авто- и аэровокзалов и т.п.

**Входы в тоннели и выходы из них.** В зависимости от глубины заложения тоннеля, рельефа местности, наличия свободной территории, интенсивности пешеходных потоков и других факторов применяют: лестничные, пандусные, эскалаторные, лифтовые или комбинированные входы и выходы. Они могут размещаться только по концам пешеходных тоннелей, а также и в промежуточных сечениях. Входы и выходы могут располагаться по направлению тоннеля, перпендикулярно или под углом к его оси; их можно устраивать непосредственно на тротуарах, в первых этажах или подвалах зданий, а также делать совмещенными с подземными сооружениями: станциями метрополитена, гаражами и т.п.

При интенсивности пешеходного движения  $< 7000$  чел/час и глубине заложения пола тоннеля  $< 3 \div 3,2$  м – устраивают лестничные входы и выходы.

Лестничные марши должны иметь уклон  $< 1 : 3,3$  с размерами ступеней  $12 \times 40$  см.

При интенсивности пешеходного движения  $> 7000$  чел/час и глубине заложения пола тоннеля  $> 3 \div 3,2$  м – устраивают эскалаторы.

При определенном рельефе можно применять сходы в тоннель в виде пандусов с уклоном 60 ‰, иногда 80 ‰.

**Поперечные сечения** – могут иметь прямоугольное, сводчатое и круговое поперечное сечение.

Ширину пешеходных тоннелей назначают, исходя из перспективной интенсивности пешеходных потоков и пропускной способности 1 м тоннеля.

Определяя размеры пешеходных тоннелей надо учитывать, что ширина их в свету должна быть  $\geq 3$  м, а высота – 2,3 м. Ширина лестничных и пандусных сходов  $\geq 2,25$  м. Обычно пешеходные тоннели устраивают шириной 4, 6 и 8 м.

**Материалы** – должны обладать повышенной прочностью, водонепроницаемостью, морозостойкостью, огнестойкостью, стойкостью к электрохимической агрессии, должны обладать большой долговечностью. Материалы – бетон, железобетон, сталь, чугун. Класс бетона для бетонных конструкций  $\geq B15$ , толщина несущих элементов  $\geq 20$  см.

Для железобетонных ненапрягаемых конструкций – бетон класса

- для монолитных  $\geq B15$

- для сборных  $\geq B20$  толщина  $\geq 15$  см.

Для предварительно напряженных железобетонных конструкций марка бетона должна быть  $\geq B20$ .

При строительстве подземных сооружений в сложных инженерно-геологических условиях в качестве несущих конструкций применяют обделки из чугунных тубингов.

### **Конструкции пешеходных тоннелей**

Состоят из: - закрытой (тоннельной части)

- открытой (лестничной, пандусной или эскалаторной) – выходы – входы.

Разработаны типовые сборные железобетонные конструкции однопролетных и двухпролетных систем.

Однопролетные (шириной 4, 6 м) собираются из трех типов блоков: лоткового, двух стеновых и блока перекрытия.

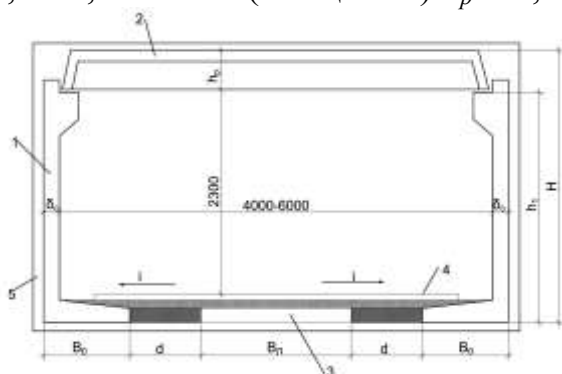
Необходимость в специальных блоках фундаментных отпадает из-за:

- пешеходные тоннели меньше транспортных;

- усилия, передающиеся на грунт невелики.

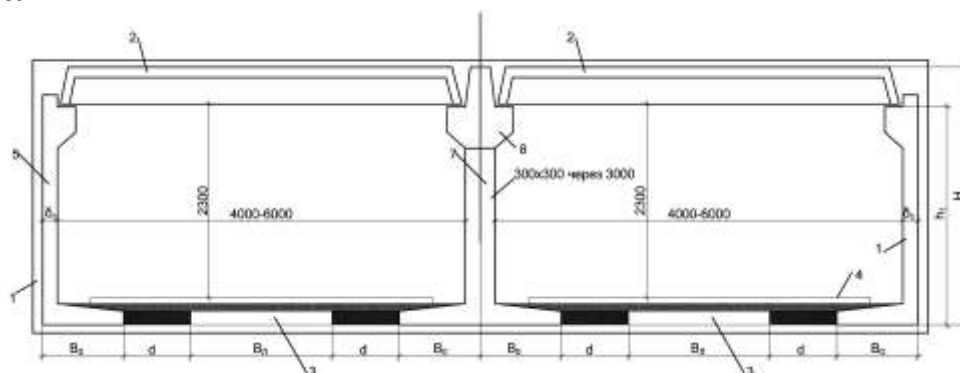
Из-за этого стеновые блоки пешеходных тоннелей снабжены в нижней части консольной пятой, опирающейся на грунт, а верхней части – выступом для установки плит перекрытия.

Стеновые блоки имеют ширину  $b = 1,48$  м, толщину  $\delta = 0,2 \div 0,25$  м. Блоки перекрытий – П-образного поперечного сечения шириной  $b = 1,48$  м, 1,31 м, высотой (толщиной)  $h_p = 0,3 \div 0,45$  м, длиной  $l = 4,12; 6,1$  м.

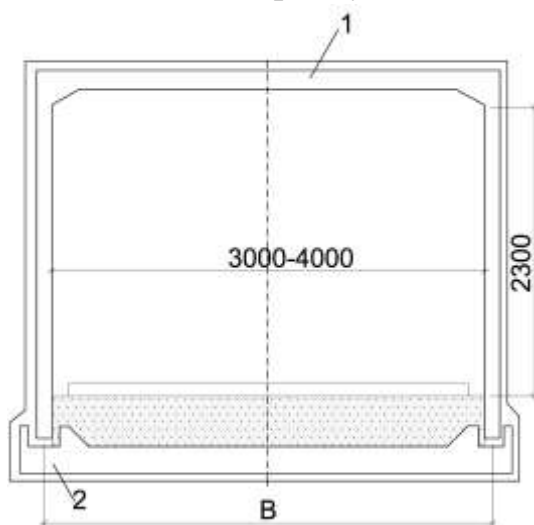


- 1 – стеновой блок
- 2 – блок перекрытия
- 3 – лотковый блок
- 4 – покрытие пола
- 5 – гидроизоляция
- 6 – подколонник
- 7 – колонна
- 8 – прогон

**Двухпролетные пешеходные тоннели** состоят из двух отсеков шириной 4; 6 м и более, разделенные рядом колонн, располагаемых через 3 м от оси тоннеля



Колонны прямоугольного поперечного сечения (30х30, 40х40, 30х40 см), опираются на подколонники и несут продольный прогон (прямоугольного или таврового сечения).

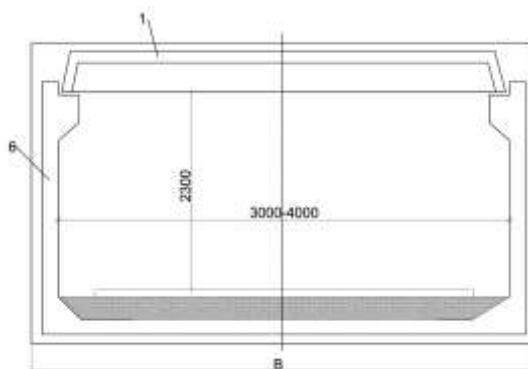
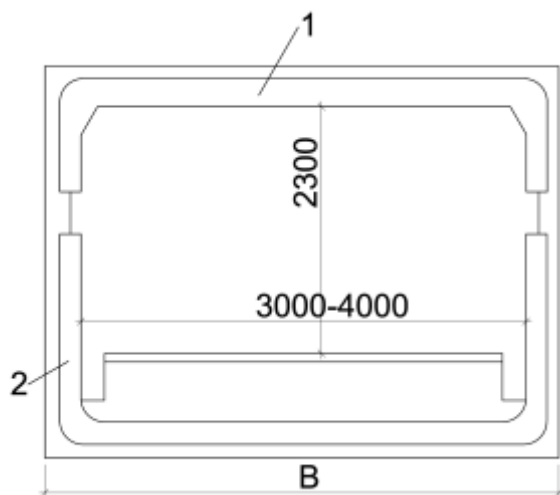


Блоки перекрытия П или Т-образные, если пролеты пешеходных тоннелей  $< 3 \div 4$  м, их выполняют из облегченных плит с овальными или круглыми пустотами.

Применяются конструкции однопролетных тоннелей, состоящих из П-образных блоков, опирающихся на плоский лотковый элемент.

1 – верхний блок; 2 – нижний блок.

Используются также конструкции из Ц-образных блоков, на которые опирают блоки перекрытия.



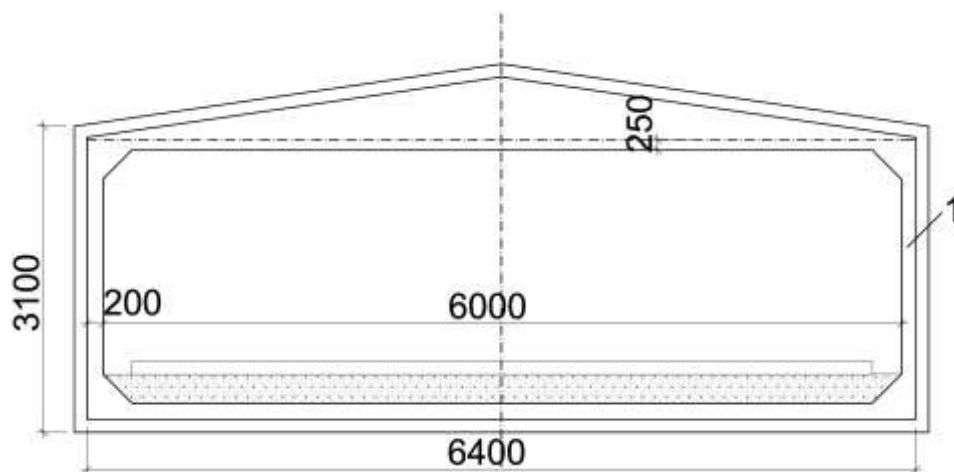
Пешеходные тоннели могут быть выполнены из 2х П-образных железобетонных блоков, установленных один на другой.

1 – верхний блок  
2 – нижний блок

Стык верхних и нижних блоков устраивается путем сварки выпусков арматуры с последующим обетонированием.

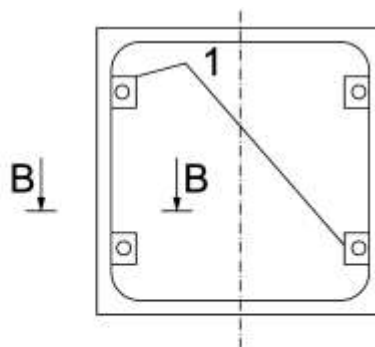
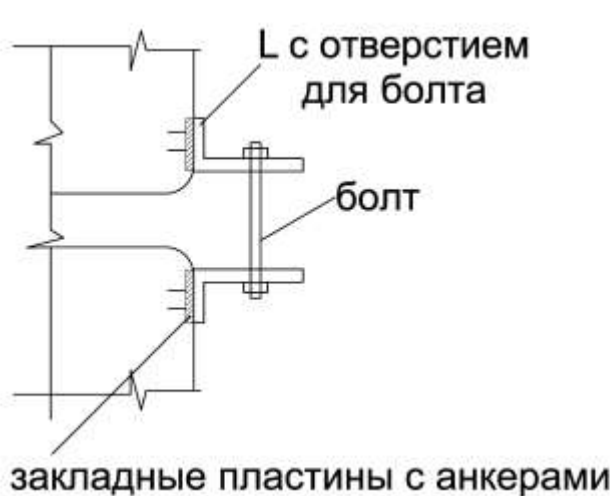
Основным недостатком таких конструкций является большая протяженность продольных швов.

Применяются цельносекционные пешеходные тоннели, состоящие из отдельных пространственных элементов замкнутой конструкции. Их выполняют из железобетонных плит прямоугольного, сводчатого или кругового очертания длиной 1,5÷3 м.

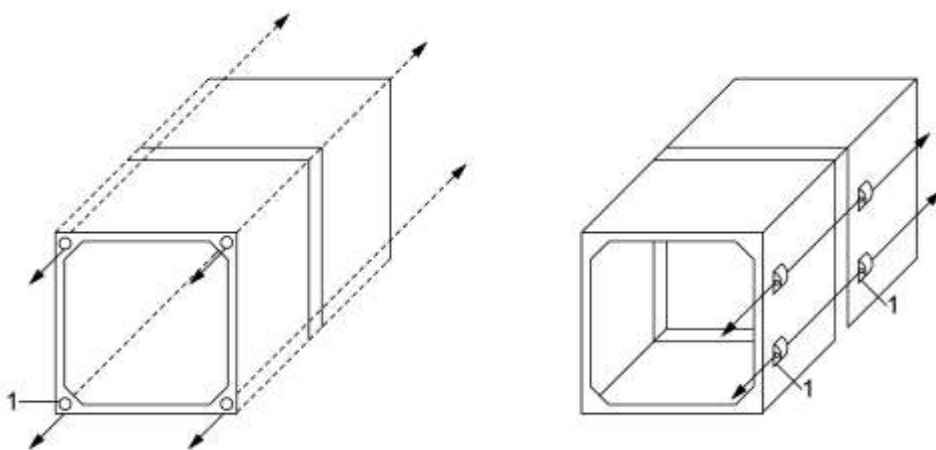


Эти конструкции имеют заводскую гидроизоляцию, на месте работ производится только герметизация стыков между секциями. Длина секции ограничивается массой элемента (ограничивается грузоподъемностью транспортного и монтажного оборудования).

Отдельные секции тоннелей стыкуют между собой при помощи сварки арматурных выпусков, скрепляемых на болтах закладных деталей в пазах по торцам блоков.



Стыки со сваркой выпусков арматуры, а также стыки на болтах необходимо омоноличивать, это трудоемко. Более технологичными являются стыки, позволяющие стягивать секции стальными стержнями, пропущенными через отверстия в секциях. Тяжи располагают по углам секции (чтобы наименьшим образом ослаблять конструкцию отверстиями). Иногда на наружной поверхности устраивают консольные выступы с отверстиями (при этом конструкция не ослабляется, но сложнее изготовление и гидроизоляция элементов).



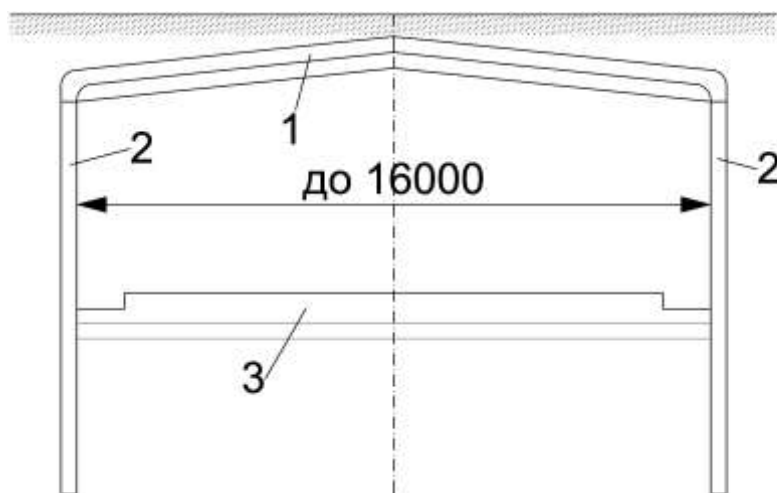
1 – отверстие для тяжей

Преимущества тоннелей, выполненных из цельных секций:

- повышенная трещиностойкость;
- водонепроницаемость;
- сокращение расхода бетона и стали;
- упрощение устройства гидроизоляции;
- снижение трудоемкости строительства.

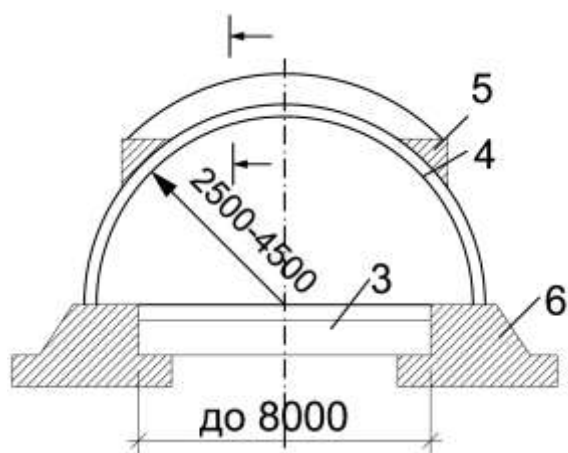
Конструкции пешеходных тоннелей могут быть выполнены из стальных элементов. Стальной шпунт используется в качестве постоянной конструкции стен, на него опирают готовые элементы двускатного профиля и сводчатого поперечного сечения, изготовленные из листовой стали.

Стыки между конструкциями сваривают. Ширина, пролет таких конструкций до 12÷16 м.



- 1 – элемент покрытия
- 2 – стальной шпунт
- 3 – лоток

При строительстве пешеходных тоннелей под насыпями используют конструкции замкнутого сводчатого очертания из гофрированных высокопрочных стальных звеньев. Собранные из отдельных листовых звеньев тоннеля пролетом 4-8 м и высотой 2,5÷5,5 м соединяют между собой внахлестку при помощи сварки или на болтах. Конструкции устанавливают на грунт или на подготовку. Для придания дополнительной жесткости устраивают сплошные рандбалки из монолитного или сборного железобетона. Их соединяют со звеньями обделки на болтах. Антикоррозионное покрытие.



Антикоррозионное покрытие.

- 3 – лоток
- 4 – гофрированные стальные звенья
- 5 – рандбалка
- 6 – фундамент

## ***Нагрузки и расчет конструкций подземных сооружений***

Все виды нагрузок делятся на:

- а) постоянные
- б) временные

**Постоянные:** собственный вес подземных конструкций; вес дорожного покрытия, давление грунта и воды, а также нагрузка от зданий и сооружений, расположенных над подземным сооружением и еще ряд некоторых нагрузок.

**Временные:** от транспортных средств, проезжающих над тоннелем и по нему, а также временный характер носят воздействия колебаний температуры, морозного пучения грунтов, сейсмические воздействия, ударные – возникающие в результате каких-либо аварийных ситуаций.

Возможны разные сочетания этих нагрузок. Выявляют наиболее невыгодные сочетания (основные и особые), при воздействии которых в конструкции возникнут наибольшие внутренние усилия.

**Основные сочетания:** постоянные нагрузки + временные воздействия от транспортных средств + временные строительные и эксплуатационные нагрузки.

**Особые сочетания:** состоят из некоторых постоянных и временные нагрузок основного сочетания.

Расчет производится на основные сочетания нагрузок, а на особые выполняют проверку.

### ***Расчет конструкций тоннелей*** (общая схема расчета)

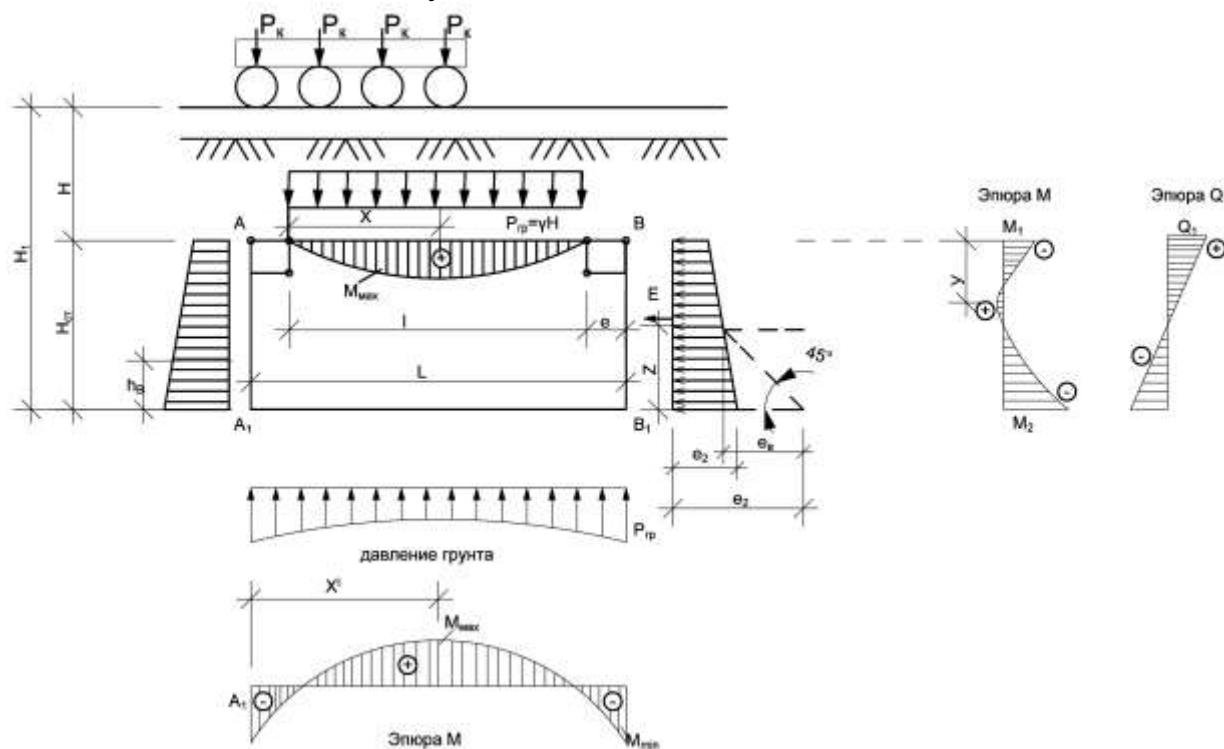
Городские пешеходные и транспортные тоннели относятся к тоннелям мелкого заложения, что и определяет выбор основных несущих конструкций (в виде боковых стен с панельным заполнением, плоского ребристого или плитного перекрытия и плит фундамента). Эти конструкции могут быть и сборными и сборно-монолитными, что определяет, влияет на их расчетные схемы.

Если конструкция сборная с последующим омоноличиванием (а это бывает чаще всего), то в поперечном направлении образуется рамная система.

Отдельные конструктивные элементы рамы (поперечника тоннеля) в расчетах могут рассматриваться как балочные элементы или как элементы с жесткими опорами. А это определяется жесткостью узлов.

Схема 1.

$P_k$  – давление на одну ось колеса

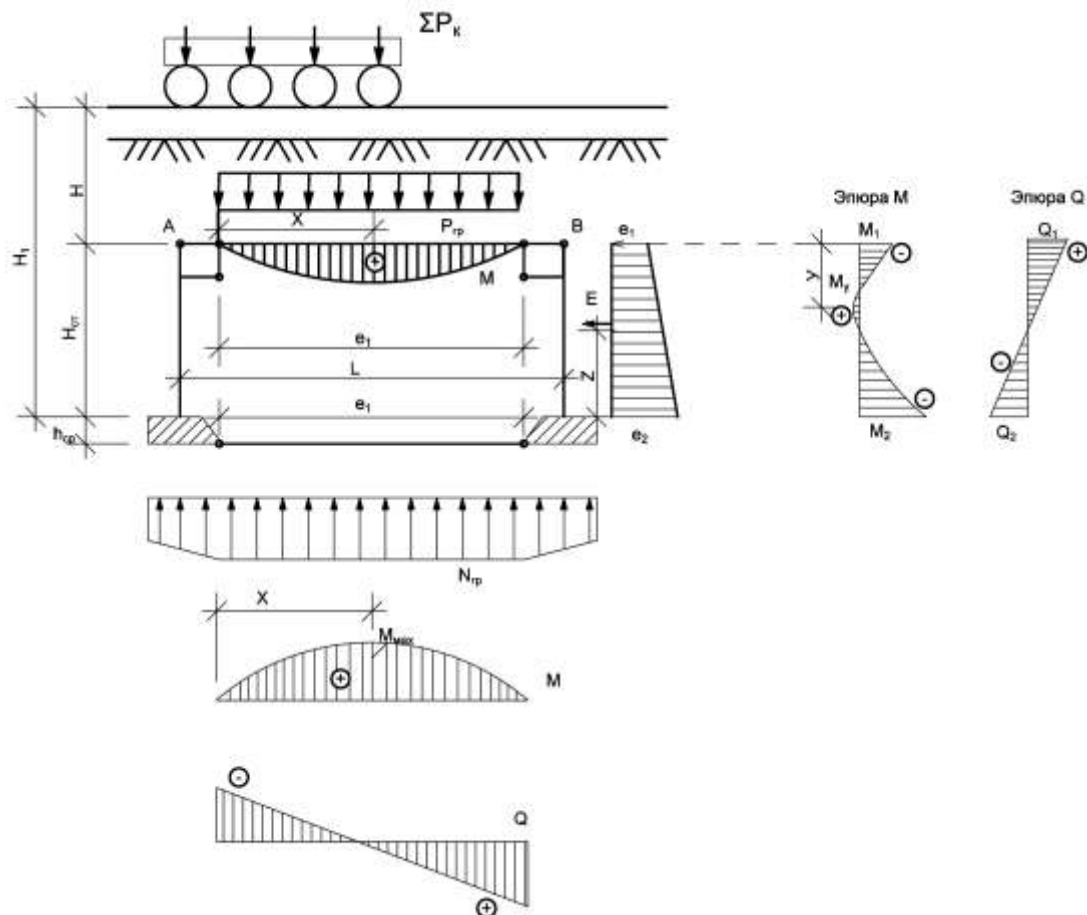


***Рамная схема с шарнирным креплением элементов перекрытия***

Рама по этой схеме имеет жесткие узлы сопряжения стенок с лотком и шарнирные с перекрытием. Ее рассчитывают раздельно на каждый вид нагрузки.

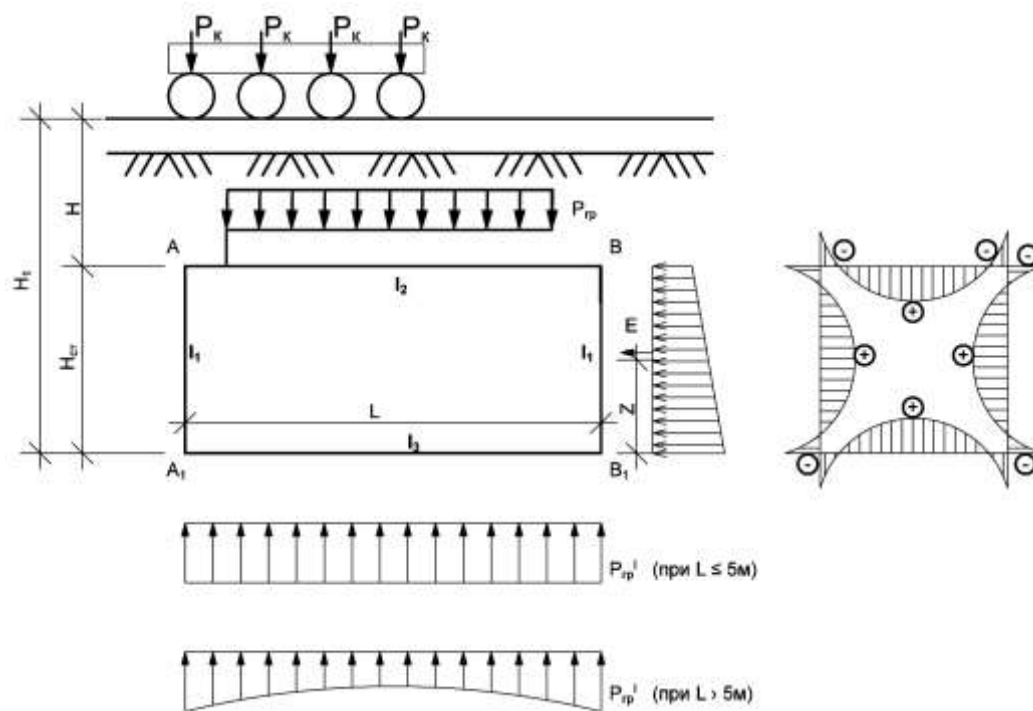


Схема 2.



б) шарнирная схема с жесткой заделкой стенки в фундамент

Схема 3.



в) рамная замкнутая схема с жесткими узлами

$$M = \frac{P_{2p} l_1^2}{8}; \quad Q = \frac{P_{2p} l_1}{2},$$

$$M = \frac{(P_{\text{зр}} + P_{\text{кэкв}}) l_1^2}{8};$$

где  $P_{cp} = \gamma H$ , а  $P_{кэкв} = \frac{\sum P_k}{\gamma F}$  ( $F$  – площадь распределения нагрузки).

Могут иметь место следующие случаи:

$$H_I = H_{cm} + H.$$

$$E = \frac{1}{2} \gamma H_I^2 \tan^2(45^\circ - \frac{\phi}{2})$$

Плечо ( $Z$ ) давления  $E$  относительно низа стенки

$$Z = \frac{H_{cm}}{3} \left( \frac{2e_1 + e_2}{e_1 + e_2} \right).$$

58



Учет сил трения производится путем уменьшения временной нагрузки за счет умножения на коэффициент  $\varepsilon_m$  (зависит от угла призмы  $\theta$  обрушения, для среднего угла внутреннего трения  $\varphi=35^\circ$  ( $\varepsilon_m - 1 \div 0,652$ )).

Из схем видно, что стенка нагружена трапециевидной нагрузкой с ординатами  $e_1$  и  $e_2$  и полосовой временной нагрузкой с ординатой  $e_p$ , расположенной в пролете с эпюрой давлений. Определение расчетных значений изгибающих моментов  $M$  и поперечных сил  $Q$  для такого элемента производится отдельно для каждого вида загрузений:

- 1) для равномерно распределенной нагрузки с ординатой  $e_1$
- 2) для треугольной нагрузки с ординатой  $(e_2 - e_1)$  и потом для нагрузок  $e_p$ .

Расчетные величины  $M$  и  $Q$  получаются путем суммирования всех полученных значений.

### ***Определение давления со стороны подошвы тоннеля***

Подошва тоннеля испытывает давление снизу вверх от выпирания слабых грунтов под действием нагрузки вертикальных стенок, вследствие разбухания глинистых пород и напора грунтовых вод при их горизонте выше подошвы.

Собственный вес бетонного и железобетонного покрытия + стены и днище тоннеля обычно полностью компенсируют указанное давление.

Расчет давления грунта на подошву производится с учетом активного и пассивного давления грунта, развивающегося в угловых зонах тоннеля. В уровне подошвы тоннеля давление грунта от слоя засыпки и временных автомобильных нагрузок характеризуется величинами  $AB$  и  $A_1B_1$ . Под влиянием этой нагрузки с внешней стороны плоскостей  $AC$  и  $A_1C_1$  образуются призмы активного давления  $ABC$  и  $A_1B_1C_1$ , а с внутренней стороны – призмы пассивного сопротивления  $ACD$  и  $A_1C_1D_1$ . Высота призм  $X_0$  определяется углом плоскости обрушения ( $\theta = 45^\circ + \varphi/2$ ), проведенной из точки В и отвечает уровню, на котором активное и пассивное давление в плоскости  $AC$  и  $A_1C_1$  будет равно:

$$H + b + h_0 + x_0) \cdot \gamma \cdot \operatorname{tg}^2(45^\circ - \varphi/2) = x_0 \gamma \operatorname{tg}^2(45^\circ + \varphi/2) \Rightarrow$$

$$x_0 = \frac{(H + B + h_0) \operatorname{tg}^2(45^\circ - \varphi/2)}{\operatorname{tg}^2(45^\circ + \varphi/2) - \operatorname{tg}^2(45^\circ - \varphi/2)}.$$

На плоскости  $AC$  и  $A_1C_1$  действуют эпюры активного и пассивного бокового давления грунта. Для того, чтобы произошел сдвиг призм  $ACD$  и  $A_1C_1D_1$  необходимо, чтобы  $E_{акт}$  было больше  $E_{пас}$ . Если  $E_{пас} > E_{акт}$ , выпирания грунта по подошве тоннеля не будет.

Если  $E_{акт} > E_{пас}$  находят разницу этих давлений  $E_p$  и определяют силы, действующие на подошву по вертикали (снизу вверх)

$$E_p = E_{акт} - E_{пас}.$$

По площадкам сдвига  $CD$  и  $C_1D_1$  действуют сдвигающие (касательные) силы  $T$  и удерживающие (нормальные) силы  $S$ :

$$T = E_p \cos(45^\circ - \varphi/2)$$

$$S = E_p \sin(45^\circ - \varphi/2).$$

Суммарное касательное усилие по плоскости  $CD$  и  $C_1D_1$  будет меньше сил  $T$  на величину сил трения грунта о грунт.

$$T_o = T - S \cdot \operatorname{tg} \varphi.$$

Проецируя силы  $T_o$  на вертикальную плоскость, получим давление грунта на подошву тоннеля:

$$N_z = 2T_o \sin(45^\circ - \varphi/2).$$

Интенсивность давления пород снизу вверх по верхней поверхности призмы выпирания

$$q_{zp}^B = \frac{N_o}{y} = \frac{T_o \sin(45^\circ - \varphi/2)}{x_o \operatorname{tg}(45^\circ + \varphi/2)}.$$

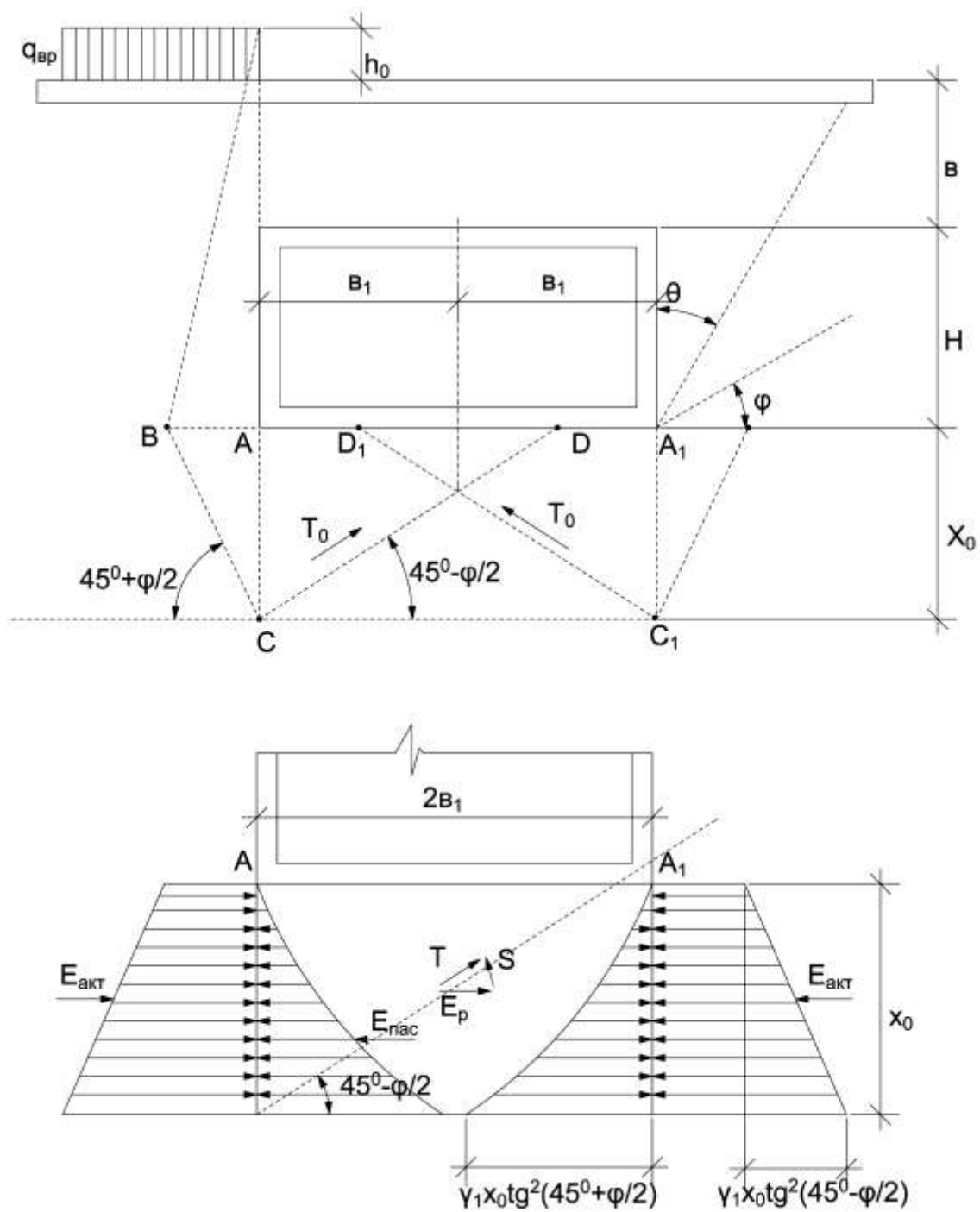


Рис. 21. Расчетная схема к определению давления со стороны подошвы тоннеля

### ***Список рекомендуемых источников***

1. Руководство по проектированию подпорных стен и стен подвалов для промышленного и гражданского строительства. – М.: Стройиздат, 1984. – 118 с.
2. Основания, фундаменты и подземные сооружения: Справочник проектировщика, - М.: Стройиздат, 1985.
3. Клейн Г.К., Черкесов И.И. Фундаменты городских транспортных сооружений.. – М.: Транспорт, 1985. – 224 с.
4. Емельянов Л.М. Расчет подпорных сооружений мелкого заложения. – М.: МГМИ, 1980. – 105 с.
5. Будин А.Я. Тонкие подпорные стенки. – Л.: Стройиздат, 1974. – 191 с.
6. В.М. Бондаренко, А.И. Судницын. Расчет строительных конструкций. Железобетонные и каменные конструкции. – М.: Высшая школа, 1984.
7. Методические указания для выполнения курсового проекта по городским инженерным сооружениям для студентов 4-5 курсов всех форм обучения специальности 1206 «Городское строительство»/Сост. А. Г. Рудь, А. Д. Гильман.- Харьков: ХГАГХ, 2003.

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

**БРОНЖАСВ Михайло Федорович,  
МІШУРОВА Тетяна Віталіївна**

Конспект лекцій  
з дисципліни

## **«МІСЬКІ ІНЖЕНЕРНІ СПОРУДИ»**

*(для студентів 4-х курсів денної та 3-х курсів заочної  
форм навчання напряму підготовки  
6.060101 – «Будівництво»  
спеціальності «Міське будівництво та господарство»)*

(Рос. мовою)

Відповідальний за випуск: *А. Г. Рудь*

Редактор: *З. І. Зайцева*  
Комп'ютерне верстання: *І. В. Волосожарова*

План 2009, поз.4Л

---

Підп. до друку 27.04.2010  
Друк на різнографі.  
Зам. №

Формат 60×84/16  
Ум. друк. арк. 4,0  
Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:  
Харківська національна академія міського господарства  
вул. Революції, 12, Харків, 61002  
Електронна адреса: [rectorat@ksame.kharkov.ua](mailto:rectorat@ksame.kharkov.ua)  
Свідоцтво суб'єкта видавничої діяльності:  
ДК № 4064 від 12.05.2011р.