

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**В.А. Березнёв, В.М. Шувалов**

## **ИНЖЕНЕРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ (с основаниями и фундаментами)**

*Допущено методическим советом Пермского государственного национального  
исследовательского университета в качестве учебного пособия для студентов  
геологического факультета, обучающихся по специальности  
«Гидрогеология и инженерная геология», а также для студентов,  
обучающихся по направлению подготовки бакалавров и магистров  
«Геология»*

Пермь 2014

УДК 624.15+626/627

ББК 38.58+38.77

Б 484

**Березнёв В. А., Шувалов В. М.**

Б 484 Инженерные сооружения (с основаниями и фундаментами): учеб. пособие / В. А. Березнёв, В. М. Шувалов; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2014. – 204 с.: ил.

ISBN 978-5-7944-2267-2

Учебное пособие состоит из двух частей. В первой части содержится теоретический курс, списки основной, дополнительной и нормативной литературы.

Во второй части представлены практические задания и рассматриваются задачи из практики строительства.

Пособие предназначено для студентов геологического факультета и строительных специальностей вузов.

**УДК 624.15+626/627**

**ББК 38.58+38.77**

Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Пермского государственного национального исследовательского университета

*Рецензенты:* д-р геол.-мин. наук, проф., директор НПФ ООО «Геопробноз»  
**А. И. Кудряшов**; канд. техн. наук, зав. каф. строит. произв. ПГСХА, проф.  
**В. Н. Зекин**

ISBN 978-5-7944-2267-2

© Березнёв В.А., Шувалов В.М., 2014

© Пермский государственный национальный  
исследовательский университет, 2014

## Часть 1

# ИНЖЕНЕРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ (с основаниями и фундаментами)

### ВВЕДЕНИЕ

Строительная деятельность человека началась более 2 миллионов лет назад. На заре своего существования люди строили сооружения со стенами, крышами, входами и с конструктивными особенностями, присущими современным постройкам.

Первым жилищем, которое появилось у наших далеких предков, пытавшихся укрыться от непогоды и врагов, были пещеры, созданные самой природой. Наделенные разумом от природы, сообразительностью и предприимчивостью первобытные люди начали возводить и искусственные сооружения для жилища. Это произошло в период, когда человек научился изготавливать простейшие орудия труда. Древнейший дом был построен **57 тыс. лет назад**. Его остатки найдены недалеко от водопада **Калембо** в Африке. Это сооружение получило название "**родезийский дом**". Сооружение представляет собой маленькое каменное строение со стенами, дверью и крышей.



В зависимости от климата, местных строительных материалов и развития производительных сил человек создавал различные жилые постройки: свайные деревни в лесных полосах с жарким климатом; охотничьи дома-шалаша из бревен и коры в лесных зонах с умеренным климатом; хижины из дерева и кустарника в лесостепных массивах; юрты из войлока и кошмы в степях; палатки из шерсти в песчаных пустынях; глинобитные уступчатые дома на склонах предгорий и речных долин; чумы из меха и шкур в зоне снежных пустынь и тундры.



В эпоху неолита наши предки одновременно с жилищами начали возводить сооружения из очень крупных камней: менгиры, дольмены, кромлехи. Эти сооружения получили название **мегалитических** (от

греческих слов "мегас" - большой и "литос" - камень).

Мегалитические постройки были художественным выражением идеологических, духовных и эстетических потребностей. **Менгир** ("длинный камень") - вертикально поставленный камень, иногда завершавшийся изображением головы мог символизировать род и его силу, будучи одновременно местом, связанным с культом предков.



**Дольмен**, состоящий обычно из двух или четырех вертикально поставленных камней, перекрытых другим камнем, ученые связывают с культом захоронения: это склеп, простейший саркофаг.

Развитие строительной отрасли в России связано с ее историей. К концу XV в. Москва становится общепризнанным политическим, религиозным и культурным центром Руси. Государственная централизация способствует окончательному освобождению страны от монголо-татарского ига, расширению внутренних экономических связей, укреплению политического единства русского народа. Возрастает международный престиж Московского государства, которое после завоевания Константинополя турками в середине XV в. становится наследником и хранителем византийского православия. Политическая идея "**Москва - третий Рим**" подкрепляется **каменным монументальным строительством**. Одним из центральных событий было строительство в Кремле главного храма Московской Руси - **Успенского собора** (1475 – 1479 гг.). Его строитель **Аристотель Фьорованти** воплотил в новых формах традиции национальной архитектуры, приняв за образец **владимирский Успенский собор** (вторая половина XII в.). Многие современные здания стадионов, цирков или концертных залов своими архитектурными формами очень часто напоминают увеличенные во много сотен раз раковины, которые можно встретить в прибрежной



**Аристотель Фьорованти** воплотил в новых формах традиции национальной архитектуры, приняв за образец **владимирский Успенский собор** (вторая половина XII в.). Многие современные здания стадионов, цирков или концертных залов своими архитектурными формами очень часто напоминают увеличенные во много сотен раз раковины, которые можно встретить в прибрежной

полосе морей и океанов.

На протяжении истории строительной деятельности человек часто обращался к окружающей природе. Он видел, что конструктивные формы прекрасно приспособлены к окружающей среде, к внешним воздействиям и при этом прекрасно выполняют те функции, для которых они созданы. Сооружения бобров и термитов, гнезда птиц и пчелиные соты – вот те образцы, которым начал подражать человек, возводя свои первые жилища. В более позднее время мы встречаем естественные формы в египетских, греческих и готических храмах, а также в творчестве великих мастеров итальянского Возрождения [Ф. Брунеллески](#) и [Леонардо да Винчи](#). В течение многих столетий философы, зодчие, художники и инженеры творчески использовали в архитектуре и строительстве принципы формообразования живой природы.

Уже на рубеже XIX и XX вв. успехи естествознания, а также появление в строительстве стали, железобетона и стекла открыли новые возможности для применения в зодчестве законов живой природы. Мы стали свидетелями **практического использования природных форм** (например, морских раковин, лепестков цветов, панцирей черепах и т.п.). Это плоды нового направления теории и практики строительства – архитектурной бионики.

Развитие связей между поселениями привело к строительству дорог, ежегодные разливы рек – к развитию мелиоративных систем. Началом гидротехнического строительства можно назвать сооружения на сваях, удобные с точки зрения промысла рыбы и защиты от врагов. Всякое строительство: городское, гидротехническое, дорожное связано с развитием промышленности. На смену традиционным строительным материалам (дерево, камень) пришли новые, например, появление в начале 19 в. стального проката вытеснило дерево и камень из большепролетных конструкций мостов, больших общественных зданий.

В 1824 г. каменщик Джозеф Эскидин из Лидса впервые получил цемент, и с этого началось применение бетона в строительстве. В конце 19 в. для инженерных сооружений был использован железобетон.

На сегодняшний день бетонные конструкции очень различаются в зависимости от их социально-экономического положения в миро-

вом пространстве. Там, где ручной труд экономически оправдан, бетонные конструкции могут образовывать сложные геометрические формы, что практически невозможно с экономической точки зрения в странах с высокооплачиваемым трудом работников и доступными усовершенствованиями технологий производства. Скорость, с которой должны возводиться здания, зависит от главной идеи самой конструкции и выбранных методов строительства. В странах с высокой стоимостью труда предпочитается возводить конструкции без использования наружных лесов, для малоэтажного строительства применяют сборный железобетон

Криволинейные фермы привели к совершенно новым понятиям в архитектуре, что в предыдущем десятилетии могло быть расценено как непрактичное. Использование предварительно-напряженного железобетона может рассматриваться как способ создания водоотталкивающих, плоских покрытий без применения обыкновенного водоотталкивающего битума.

Сравнительно новый материал – пенобетон в два раза легче кирпича и обладает высокими теплоизоляционными свойствами. Ячеистые бетоны хорошо удерживают тепло, прекрасно защищают от шума. Материал хорошо обрабатывается простейшим инструментом (пилится, режется, сверлится). Кроме того, он пожаробезопасен и экологически чист. Пенобетон влагостоек благодаря замкнутым порам диаметром до 3 мм. Изделия плавают в воде без насыщения. Пенобетонная смесь, залитая в формообразующие элементы, обеспечивает высокую точность размеров, гладкую поверхность, легкость при распалубке. Твердение готового изделия без применения тепловой обработки составляет 24 ч.

Наружные стены из пенобетона могут быть в 1,5 – 2 раза тоньше, а производительность труда при кладке существенно выше. В итоге квадратный метр стены в 2 – 3 раза дешевле. Конечная строительная продукция – дома, квартиры – становится конкурентоспособной и соответствующей принятым для развитых стран нормам.

Новые материалы, индустриальные методы строительства, применение механизации и технические новинки резко увеличили темпы

строительства. Число городов – миллионеров (с числом жителей более 1 млн.) в мире составляло в 1900 – 15, в 1950 – 71, в 1975 – 149, ныне – более 300.

Итак, строительство - это один из самых распространенных видов деятельности, которая базируется на современных знаниях и методах. При этом продукт этой деятельности – инженерные сооружения – устремлен в будущее. Суэцкий канал, построенный в 1869 г., используется для судоходства и в наши дни. Условия работы всякого инженерного сооружения – его устойчивость, долговечность, надежность – зависят от особенностей геологического строения.

Инженерно-геологические и гидрогеологические условия строительной площадки определяют глубину заложения фундамента, его конструкцию, технологию возведения, применяемые материалы и т.п. Проект любого инженерного сооружения базируется на инженерно-геологических изысканиях.

В процессе изысканий геолог не только оценивает условия строительства и дает исходные данные для проектирования, но и определяет возможную динамику всех процессов и, как следствие, изменение условий эксплуатации будущего сооружения.

Роль инженера-геолога и гидрогеолога просматривается на всех стадиях: проектирования, строительства, эксплуатации зданий. При ликвидации сооружения инженер-геолог и гидрогеологи дают исходные данные для оценки направлений рекультивации освободившейся площади и дальнейшего использования объекта.

Деятельность инженера-геолога и гидрогеолога тесно связана с проектированием и строительством объектов в контакте с проектировщиком и строителем. Необходимо полное взаимопонимание этих специалистов, а оно достигается в случае, когда выпускники геологического факультета понимают своих коллег-строителей, говорят с ними на одном языке, освоив терминологию и основы строительного дела, азы проектирования и конструкции инженерных сооружений.

Инженерные изыскания, проектирование и строительство основаны на нормативной базе – строительных нормах, правилах и государственных стандартах по выполнению полевых работ, обработке, однозначной интерпретации и правильного геологического истолкования конечных результатов [1 – 12].

# ГЛАВА 1

## ПРОМЫШЛЕННЫЕ И ГРАЖДАНСКИЕ ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

### *1.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ*

Зданиями называют строения, имеющие замкнутый объем и предназначенные для длительного пребывания в них людей. Другие строения, где люди не живут и не постоянно работают, называют сооружениями.

По своему назначению все здания можно разделить на промышленные и гражданские [1 – 12].

К промышленным зданиям относятся производственные, подсобно-производственные, ремонтные и экспериментальные цехи, а также здания электростанций, газогенераторных, компрессорных, насосных станций, склады для хранения изделий и материалов, очистные сооружения водопроводов и канализации и т.п.

К числу промышленных сооружений относятся такие, как элеваторы для хранения зернопродуктов и цемента, доменные печи, градирни горячих цехов и электростанций и многие др.

В общем комплексе промышленных предприятий кроме собственно промышленных зданий и сооружений имеются здания вспомогательного назначения – это заводоуправления, цеховые конторы, конструкторские бюро, лечебные пункты, столовые и т.п. Их нельзя назвать собственно промышленными зданиями, хотя они и располагаются на одной территории с промышленным предприятием.

К гражданским зданиям относятся жилые дома, общественные (школы, больницы, административные, культурно-просветительные, спортивные и т.п.) и коммунальные (бани, прачечные и др.) здания, а также декоративные сооружения (памятники, монументы).

В зависимости от материала наружных стен различают каменные, деревянные, здания из других материалов и конструкций. По продолжительности службы здания делят на временные и постоянные. По этажности здания подразделяют на одноэтажные, малоэтажные (обычно не выше трех этажей) и многоэтажные и высотные – свыше 25 этажей.

Этажи, имеющие пол на уровне тротуара (или отмостки) и выше,

называются надземными, заглубленные не более чем на половину высоты помещения, – полуподвальными, или цокольными, а еще более заглубленные – подвальными.

По характеру строительства различают дома, возводимые из кирпича, из блоков, панелей, каркасов и др.

Выбор той или иной конструкции здания зависит от его назначения и должен удовлетворять целому ряду требований, среди которых основными являются санитарно-гигиенические, эстетические и противопожарные. Для промышленных зданий необходимо удовлетворение технологических требований и условий промышленной безопасности ведения производственного процесса.

Отдельно должна быть рассмотрена прочность конструкции здания на восприятие нагрузок от самого здания и размещенного в нем оборудования и внутреннего транспорта, а также от ветровых нагрузок и веса снега на кровле. В сейсмически опасных районах учитывается устойчивость зданий в отношении действия сейсмических сил.

## ***1.2. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЗДАНИЙ***

Основными элементами здания являются фундаменты, стены, отдельные опоры – стойки (колонны), перекрытия и крыша (рис. 1.1). К второстепенным относят перегородки, лестницы, оконные и дверные проемы.

Элементы здания в зависимости от их назначения, размера и типа изготавливают из различных материалов, главным образом из бетона и железобетона, кирпича и камня, дерева и металла, пластмассы и т.п.

Фундаментами называют подземную часть здания, на которую опираются несущие элементы здания (стены, колонны) и которая в свою очередь опирается на основание (толщу грунтов, воспринимающих нагрузку от сооружения).

Стены ограждают помещение от атмосферных осадков, ветра, шума улицы и выполняют важную теплоограждающую функцию.

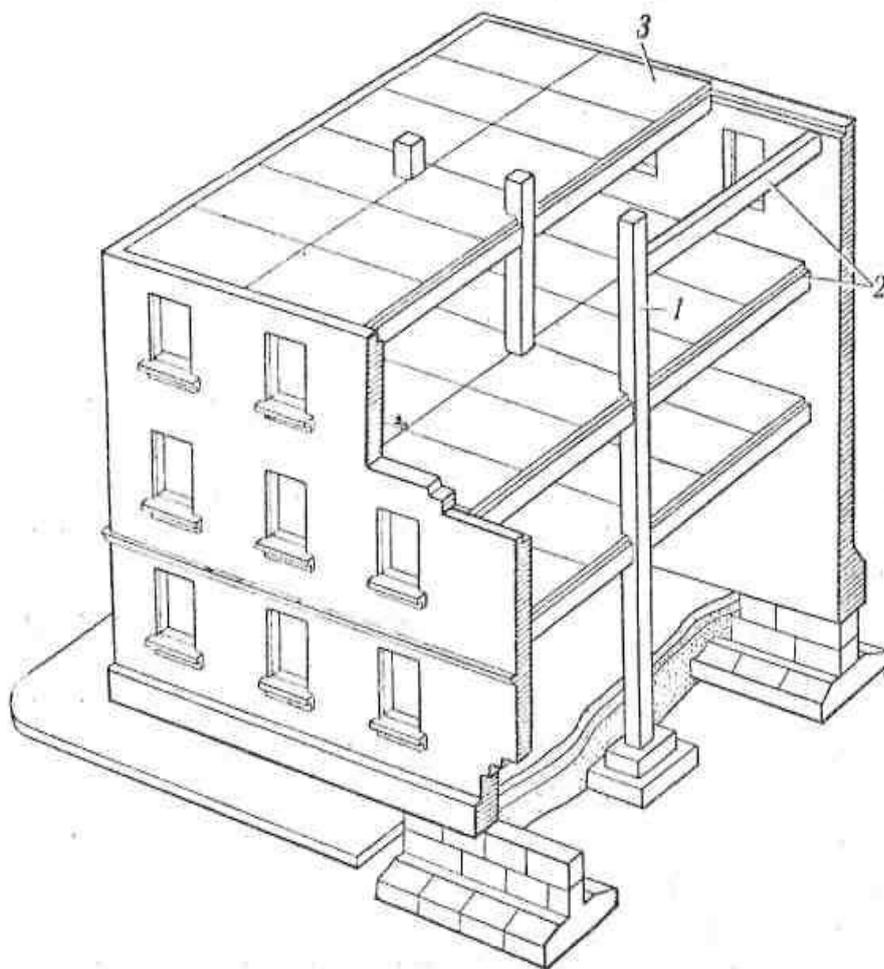


Рис. 1.1. Здание с самонесущими стенами и каркасом:

1 — колонны; 2 — ригеля; 3 — плиты перекрытия

Конструктивное решение здания выбирают на основе технико-экономического сравнения вариантов с учетом производственно-сырьевой базы и транспортной сети в районах строительства, местных природно-климатических и инженерно-геологических условий, архитектурных и градостроительных требований.

Жилые здания проектируют с несущими конструкциями из бетона и железобетона (бетонные здания) или каменных материалов в сочетании с железобетонными конструкциями (каменные здания). Жилые здания высотой один-два этажа могут также проектироваться с конструкциями из древесины (деревянные здания).

Бетонные здания подразделяются на сборные, монолитные и сборно-монолитные.

В условиях массового строительства применяют сборные здания,

позволяющие механизировать процесс возведения конструкций, сократить сроки строительства и затраты труда на строительной площадке. Монолитные и сборно-монолитные здания применяют в районах с теплым, жарким и умеренным климатом, в районах, где отсутствует индустриальная база полносборного домостроения или недостаточна их мощность, а также, при необходимости, в любых районах строительства зданий повышенной этажности. При технико-экономическом обосновании выполняют отдельные конструктивные элементы из монолитного бетона и железобетона в сборных зданиях.

Сборные жилые здания проектируют обычно из крупноразмерных сборных конструкций – панелей, блоков, плит и объемных блоков (рис. 1.2).

*Панелью* называется плоскостной сборный элемент, применяемый для возведения стен и перегородок. Панель, высотой на этаж и длиной в плане не менее размера помещения, которое она ограждает или разделяет, называется крупной панелью, панели других размеров называются мелкими панелями.

*Сборной плитой* называется плоскостной элемент заводского изготовления, применяемый при возведении перекрытий, крыш и фундаментов.

*Блоком* называется самоустойчивый при монтаже сборный элемент преимущественно призматической формы, применяемый для возведения наружных и внутренних стен, фундаментов, устройства вентиляции и мусоропроводов, размещения электротехнического или санитарно-технического оборудования. Мелкие блоки устанавливают, как правило, вручную; крупные блоки – с помощью монтажных механизмов. Блоки могут быть сплошными и пустотелыми.

Крупные блоки бетонных зданий выполняются из тяжелого, легкого или ячеистого бетона. Для зданий высотой один-два этажа при предполагаемом сроке службы не более 25 лет могут применяться блоки из гипсобетона.

*Объемным блоком* называется предварительно изготовленная часть объема здания, огражденная со всех или некоторых сторон.

Объемные блоки могут проектироваться несущими, самонесущими и ненесущими.

Несущим называется объемный блок, на который опираются расположенные над ним объемные блоки, плиты перекрытия или другие несущие конструкции здания.

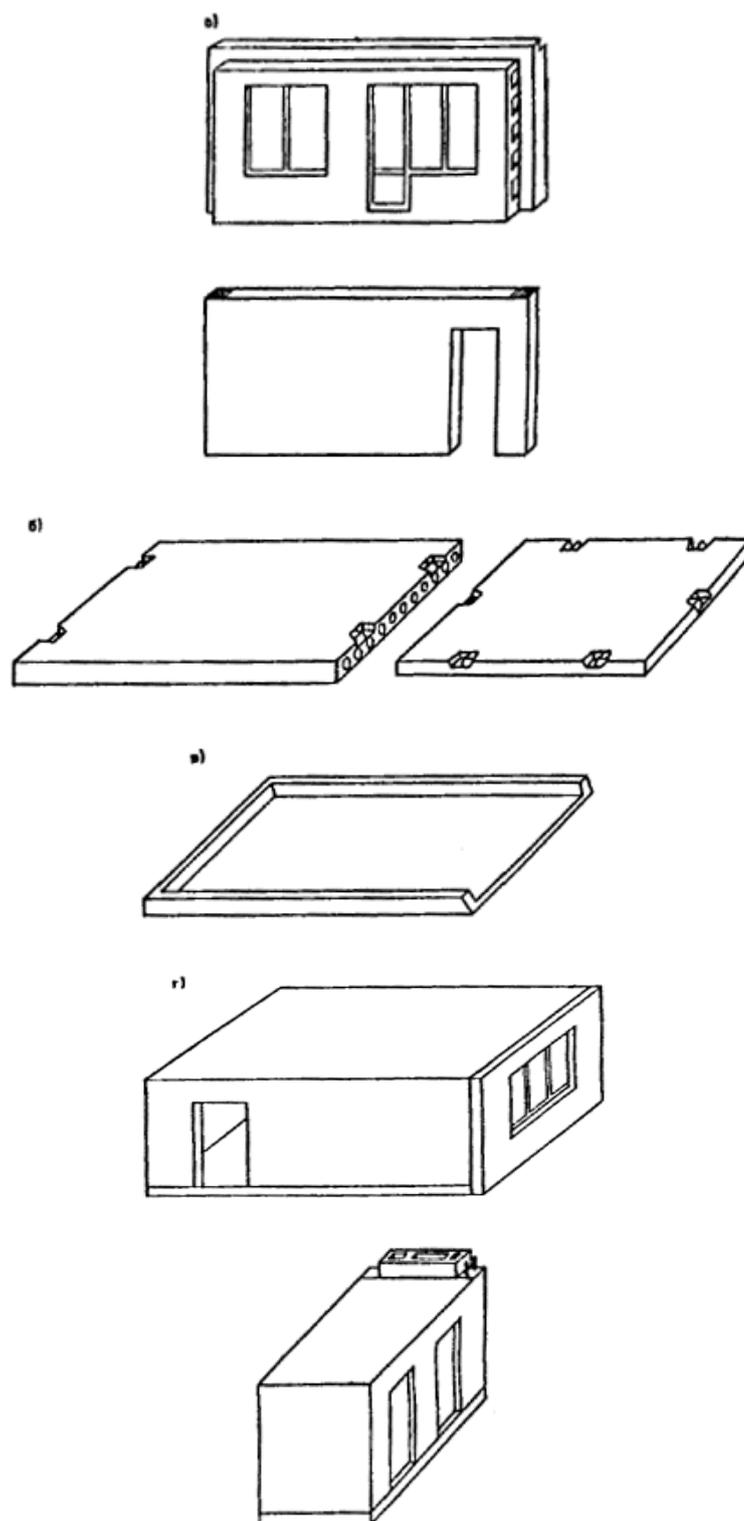


Рис. 1.2. Крупноразмерные сборные элементы жилых зданий:  
*а* – стеновые панели; *б* – плиты перекрытий;  
*в* – кровельные плиты; *г* – объемные блоки

Самонесущим называется объемный блок, у которого плита перекрытия поэтажно опирается на несущие стены или другие вертикальные несущие конструкции здания (каркас, лестнично-лифтовой ствол) и участвует вместе с ними в обеспечении прочности, жесткости и устойчивости здания.

Ненесущим называется объемный блок, который устанавливается на перекрытие, передает на него нагрузки и не участвует в обеспечении прочности, жесткости и устойчивости здания (например, санитарно-техническая кабина, устанавливаемая на перекрытие).

Сборные здания со стенами из крупных панелей и перекрытиями из сборных плит называются *крупнопанельными*. Наряду с плоскостными сборными элементами в крупнопанельном здании могут применяться ненесущие и самонесущие объемные блоки.

**Каменные здания** могут иметь стены из каменной кладки или из сборных элементов (блоков или панелей).

Каменная кладка выполняется из кирпича, пустотелых керамических и бетонных камней (из натуральных или искусственных материалов), а также облегченной кирпичной кладки с плитным утеплителем, засыпкой из пористых заполнителей или вспениваемых в полости кладки полимерных композиций.

Деревянные здания подразделяются на панельные, каркасные и брусчатые.

Деревянные панельные здания выполняются из панелей, изготовленных с применением цельной и (или) клееной древесины, фанеры и (или) профильных изделий из нее, древесно-стружечных, древесноволокнистых плит и других листовых материалов на основе древесины.

Деревянные каркасные здания выполняют из деревянного каркаса, который собирают на месте постройки и обшивают листовым материалом, между которым устраивают тепло- и звукоизоляцию из плит или засыпок.

В бревенчатых зданиях стены выполняют из цельной древесины в виде брусьев или бревен. Бревенчатые здания применяют в сельском усадебном строительстве в районах лесоразработки.

В протяженных в плане зданиях, а также зданиях, состоящих из объемов разной высоты, рекомендуется устраивать вертикальные деформационные швы: *температурные* – для уменьшения усилий в конструкциях и ограничения раскрытия в них трещин; *осадочные* –

для предотвращения образования и раскрытия трещин в конструкциях вследствие неравномерных осадок фундаментов, вызываемых неоднородностью геологического строения основания по протяженности здания, неодинаковыми нагрузками на фундаменты и трещин, возникающих в местах изменения высоты здания.

Вертикальные деформационные швы выполняют в виде спаренных поперечных стен, располагаемых на границе планировочных секций. Поперечные стены вертикальных швов должны быть утепленными и выполняться аналогично конструкциям торцевых стен, но без наружного отделочного слоя.

Вертикальные швы во избежание попадания и накапливания в них снега, влаги и мусора закрывают по всему периметру, включая крышу, нащельниками (например, из гофрированных оцинкованных листов железа). Нащельники и утепление вертикальных швов не должны препятствовать деформации отсеков, разделенных швом.

Температурные швы допускается доводить до фундаментов. Осадочные швы должны разделять здание, включая фундаменты, на изолированные отсеки.

Осадочные швы устраивают в случаях, когда неравномерные осадки основания в обычных грунтовых условиях превышают предельно допустимые величины, регламентируемые СНиПами, а также при перепаде высоты здания более чем на 25 %. В последнем случае допускается осадочный шов не устраивать, если по расчету обеспечена прочность конструкций здания, а деформации стыков сборных элементов и раскрытие трещин в конструкциях не превышают предельно допустимые значения.

### ***1.3. КОНСТРУКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ***

*Конструктивной системой здания* называется совокупность взаимосвязанных конструкций здания, обеспечивающих его прочность, жесткость и устойчивость.

В зависимости от схемы расположения несущих стен в плане здания и характера опирания на них перекрытий различают следующие конструктивные системы: *перекрестно-стеновая* с поперечными и продольными несущими стенами; *поперечно-стеновая* — с попе-

речными несущими стенами; *продольно-стеновая* – с продольными несущими стенами.

### **Крупнопанельные здания**

Крупнопанельные здания проектируют на основе стеновых конструктивных систем с малопроелетными (до 4,5 м) и среднепроелетными (до 7,2 м) перекрытиями.

При малопроелетных перекрытиях применяют перекрестно-стеновую конструктивную систему.

При среднепроелетных перекрытиях применяются перекрестно-стеновая, поперечно-стеновая или продольно-стеновая конструктивные системы.

При перекрестно-стеновой конструктивной системе наружные стены проектируют несущими, а размеры конструктивных ячеек назначать так, чтобы каждая из них перекрывалась одной или двумя плитами перекрытий.

При поперечно-стеновой конструктивной системе наружные продольные стены проектируются не несущими. В зданиях такой системы несущие поперечные стены проектируют сквозными на всю ширину здания, а внутренние продольные стены располагают так, чтобы они хотя бы попарно объединяли поперечные стены.

При продольно-стеновой конструктивной системе все наружные стены проектируются несущими. Шаг поперечных стен, являющихся поперечными диафрагмами жесткости, необходимо обосновывать расчетом и принимать не более 24 м.

Горизонтальные стыки, в которых сжимающие нагрузки передаются через участки двух или более типов, называются комбинированными.

### **Монолитные и сборно-монолитные здания**

Монолитные и сборно-монолитные жилые здания проектируют на основе стеновых конструктивных систем. При технико-экономическом обосновании допускается применение ствольных и каркасно-ствольных конструктивных систем.

Для монолитных и сборно-монолитных зданий с монолитными или сборно-монолитными наружными стенами применяют пере-

крестно-стеновую конструктивную систему с несущими поперечными и продольными стенами, в том числе наружными.

Одноэтажные здания с несущими стенами применяют при сравнительно небольших пролетах (обычно до 12 м), небольших высотах (до 9 м) и при мостовых кранах небольшой грузоподъемностью (до 5 т). Стены таких зданий являются одновременно и несущей конструкцией и ограждающим элементом. Толщина стен рассчитывается по прочности и должна обеспечивать опирание и устойчивость несущей конструкции покрытия и иметь соответствующую нормам теплоизоляцию. При большой высоте и наличии внутри здания мостовых кранов стены усиливаются пилястрами, на которые опираются подкрановые пути и несущие элементы покрытия. Пилястры представляют собой утолщенные участки стен, располагаемые в промежутках между окнами.

Одноэтажные каркасные здания отличаются от зданий с несущими стенами тем, что нагрузка от несущих конструкций покрытия, а также мостовых кранов воспринимается каркасом, состоящим из несущих колонн. В состав каркаса кроме основных колонн входят связующие конструкции: несущие конструкции, покрытия, подкрановые, обвязочные и фундаментные балки, а в ряде случаев (при пролетах между колоннами более 12 м) и вспомогательные колонны. Каркас здания должен надежно и устойчиво работать под действием крановых, ветровых и других нагрузок. В ряде случаев в его состав вводят специальные распорные элементы, увеличивающие его жесткость.

Колонны каркасных одноэтажных зданий выпускаются различных конструкций: для размещения в углах здания (крайние опоры) и в середине стены, а также с возможностью расположения на них подкрановых балок. Для этого в верхней части колонны устраивают специальные уширения тела колонны и уступ для опирания крана. Нижняя часть колонны часто делается уширенной — этим элементом колонна опирается на фундамент.

В одноэтажных зданиях, в которых покрытие не несет больших нагрузок, расстояния между несущими стенами или опорными колоннами могут быть достаточно большими (до 24 — 30, а в отдельных случаях до 100 м и более). В многоэтажных зданиях перекрытия несут гораздо большую нагрузку от оборудования, людей, материалов и поэтому расстояния между опорами ограничивают 6 — 12 м.

## **1.4. КОНСТРУКЦИИ НЕКОТОРЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЗДАНИЙ**

По своей работе **стены** могут быть несущими (воспринимающими всю нагрузку от собственного веса, веса вышерасположенной конструкции, эксплуатационного оборудования, крыши со снегом и т. п.) или самонесущими (воспринимающими только нагрузку от собственного веса). Самонесущие стены применяют при каркасных зданиях (рис. 1.1), в которых несущим основную нагрузку от всего сооружения является каркас, представляющий собой систему колонн и горизонтальных балок. Каркас передает нагрузку на фундамент.

**Перекрытия** – это элементы, перекрывающие этаж здания или разделяющие многоэтажные здания на отдельные этажи. Свой собственный вес, а также временные (эксплуатационные) нагрузки перекрытия передают несущим стенам или каркасу. Перекрытия должны удовлетворять не только условиям прочности конструкции, но и специальным теплотехническим, акустическим и противопожарным требованиям. В особых случаях к ним предъявляются требования водо-, паро- и газонепроницаемости.

**Крыша** ограничивает здание сверху и должна надежно охранять здание от дождя (снега) и ветра и быть пожароустойчивой. Крыша может быть расположена непосредственно над верхним этажом (при бесчердачной конструкции) или над чердаком (помещением, расположенным над верхним этажом).

**Перегородками** называют внутренние стены (обычно тонкие), которые разделяют здание на ряд помещений. Перегородки, как правило, не являются несущими.

**Лестницы** служат для сообщения между этажами и располагают их в лестничных клетках.

Окна, двери и ворота представляют собой проемы в стенах и перегородках. В них устанавливают коробки (рамы) с навешенными оконными переплетами и дверными полотнами. При заводском изготовлении окна и двери выпускаются в виде готовых блоков (коробка, заполненная оконным переплетом или дверным полотном).

Стены состоят из следующих элементов: цоколя – нижней, обычно несколько утолщенной части стены, опирающейся на фундамент; простенков – отделяющих друг от друга отверстия (проемы) для окон и дверей; перемычек – балок, поддерживающих часть сте-

ны над проемом; карниза – выступа в верхней части стены, предохраняющей его от попадания на стену воды, стекающей с крыш; гидроизоляции, располагающейся в нижней части стены и препятствующей капиллярному подсосу влаги из грунта в тело стены (выполняется в виде слоя жирного цементного раствора или гидроизоляционного материала).

Малоэтажные здания и сооружения возводят из дерева: бревно, калиброванное бревно, брус, клееный брус, армированные деревянные конструкции. Кирпичные стены, как и стены из других естественных или искусственных камней, все еще широко используются в практике промышленного и гражданского строительства. Для придания надлежащей прочности и устойчивости кладку ведут с перевязкой, т.е. с расположением камней так, чтобы швы в нижнем ряду перекрывались камнями вышерасположенного ряда. Раствор, на котором ведется кладка, обволакивает каждый камень и связывает всю кладку в единый массив. Кирпичные стены возводят из глиняного (обожженного «красного»), силикатного («белого») и шлакового кирпича, толщиной кратной «полукирпичу» (0,5; 1; 1,5 и т. д.).

Вдоль стены снаружи здания сооружают отмостку (рис. 1.3),

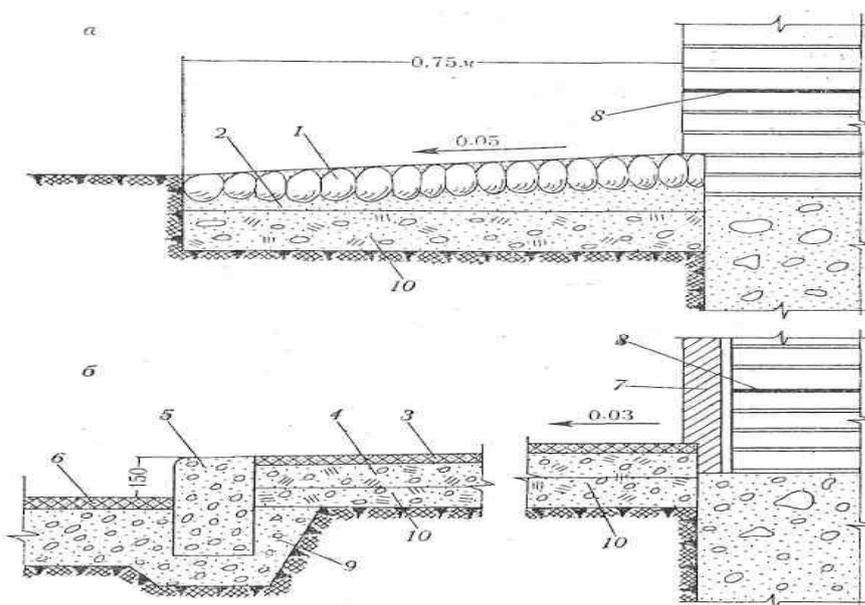


Рис. 1.3. Отмостки: а – из булыжника; б – тротуар; 1 – мощение булыжником; 2 – песок; 3 – асфальт; 4 – щебеночная подготовка; 5 – бордюрный камень; 6 – мостовая; 7 – стена здания; 8 – гидроизоляция; 9 – бетон; 10 – глина со щебнем

имеющую уклон от здания и предназначенную для защиты от попадания в прифундаментную часть влаги, стекающей с кровли здания или стены. Ширина отсостки на 20 – 30 см превышает вынос карниза.

**Покрытия** ограждают здание и сооружения сверху и несут нагрузку от снега и дождя. В них различают две основные части: несущую и ограждающую. Несущая часть может состоять из отдельных плоских элементов (балок, ферм, плит и т. п.; рис. 1.4) или из пространственных конструкций (рис. 1.5). Последние представляют собой купол или оболочку и являются не только несущим, но и ограждающим элементом здания.

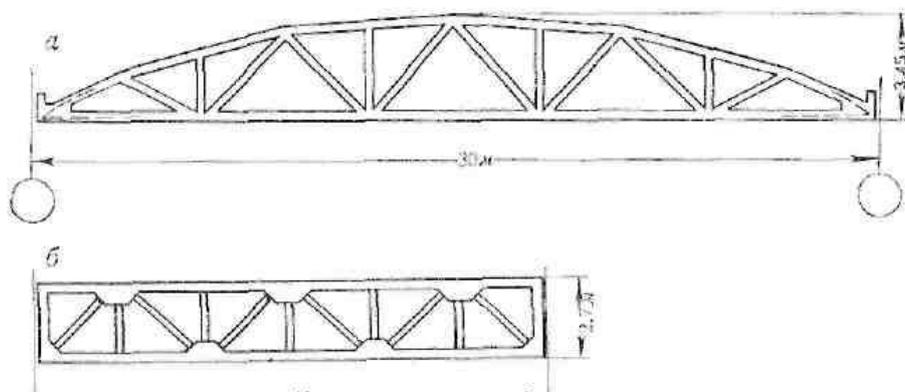


Рис.1.4. Железобетонные фермы:  
а – сегментные, б – с параллельными поясами

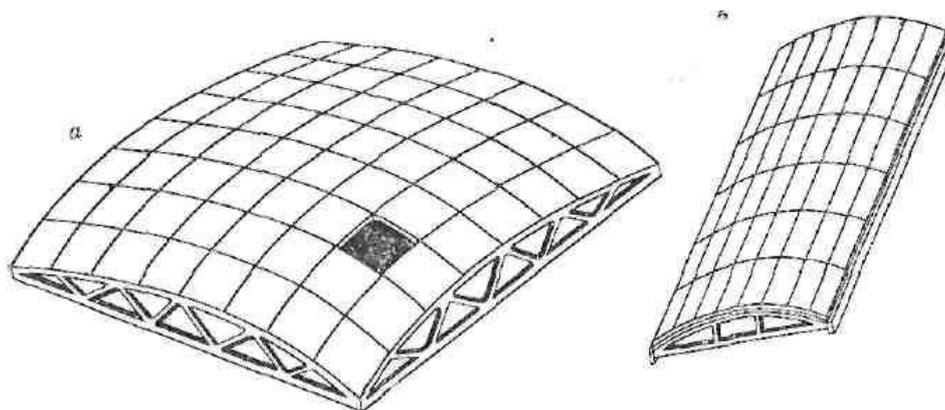


Рис. 1.5. Железобетонные пространственные покрытия:  
а – двоякой кривизны; б – цилиндрическая

**Междуэтажные перекрытия** – важнейший элемент всякого многоэтажного здания. Балки перекрытия опираются на колонны или стены и вместе с ними создают рамы, являющиеся основой всего несущего каркаса здания. Для придания надлежащей жесткости многоэтажному зданию в состав его каркаса вводятся специальные элементы – стальные связи.

Междуэтажные перекрытия жилых зданий состоят из несущей части и пола. Перекрытия над шумными нежилыми помещениями, расположенными в жилом здании (магазинами, столовыми, предприятиями бытового обслуживания и т. п.), проектируют с двойным перекрытием (самонесущая железобетонная плита потолка, не связанная непосредственно с плитой несущей части перекрытия).

Перекрытия над техническим подпольем и проездами следует проектировать утепленными. Требуемое сопротивление теплопередаче над подпольем определяют из условия обеспечения 50 % (за 1 ч.) воздухообмена в подполье, с использованием уровня воздушно-теплового баланса.

**Полы** жилых зданий классифицируются по видам покрытий (паркетные, линолеумные, дощатые, плитные) и по типам конструкций (однослойные, слоистые, отдельные беспустотные и отдельные с пустотами – по лагам).

Однослойный пол укладывается непосредственно на плиты перекрытий или на выравнивающий слой, устроенный по плитам перекрытий.

Для покрытия однослойного пола во всех помещениях квартиры, кроме санитарно-технических узлов, применяют линолеум на теплозвукоизоляционной подоснове или ему подобные материалы.

Материалы для покрытия полов должны иметь биостойкую, негнивающую подоснову.

В помещениях санитарно-технических узлов, а также в вестибюлях, внеквартирных коридорах, лестничных клетках, лифтовых холлах и т.д. устраивают полы из керамических (метлахских) плиток. В санитарно-технических узлах допускается полы выполнять из линолеума на резиновой основе.

Однослойный пол применяют в междуэтажных перекрытиях, несущая часть которых обеспечивает индекс изоляции воздушного шума не менее 51 дБ. При расчете звукоизоляции перекрытия с одно-

слоистым полом учитывают снижение звукоизоляции вследствие резонансных колебаний пола и косвенной передачи шума смежными конструкциями.

Слоистый пол состоит из твердого покрытия пола и звукоизоляционного слоя.

Лаги рекомендуется выполнять из прямоугольных деревянных брусков сечением  $40 \times 80$  мм или клиновидных высотой 40 мм, шириной поверху – 70 и понизу – 26 мм. Расстояние между осями лаг назначается в зависимости от конструкции пола: при толщине основания  $19 \div 22$  мм расстояние между осями лаг не должно превышать 400 мм, а в других случаях – 500 мм.

В качестве звукоизоляционных прокладок под лаги рекомендуется применять плитные материалы, используемые для устройства звукоизоляционного слоя отдельных беспустотных полов.

Слоистый пол с покрытием из паркета, деревянный пол по лагам и бетонное основание отдельного пола рекомендуется отделять по контуру от стен и других конструкций зазором шириной 10 – 30 мм, заполняемым звукоизоляционным материалом и перекрываемым плинтусом.

Раздельный пол рекомендуется применять при выполнении несущей части перекрытия из сплошных и многопустотных панелей, для которых индекс изоляции от воздушного звука - менее 50 дБ.

Полы подвалов и технических подполий рекомендуется располагать выше уровня грунтовых вод. Если такое решение невыполнимо, в проекте рекомендуется предусматривать меры по водопонижению за счет дренажей и др.

### **Классификация зданий и их эксплуатационные качества**

Все здания и сооружения в зависимости от степени долговечности и огнестойкости основных конструкций, их эксплуатационных качеств и с учетом экономичности и народнохозяйственного значения, а также архитектурно-художественной выразительности делят на четыре уровня ответственности.

К I уровню относят крупные общественные здания (театры, музеи и т. п.). К таким зданиям предъявляют повышенные требования; ко II уровню – детские учреждения, школы, больницы, предприятия об-

ществленного питания и торговли; к III уровню – жилые дома не ниже пяти этажей; к IV уровню – 1 – 2-этажные жилые дома и другие здания, к которым предъявляются минимальные требования. Деление зданий на уровни ответственности имеет целью выявить для них экономически целесообразные решения.

Долговечность здания и сооружения определяется их способностью сохранять во времени заданные качества в определенных условиях при установленном режиме эксплуатации без разрушения и деформаций. Она обеспечивается применением таких материалов, которые обладают расчетной прочностью и имеют требуемую морозо-, влаго-, био- и коррозионную стойкость.

По долговечности (сроку службы) зданий и сооружений установлены три степени: I – не менее 100 лет; II – не менее 50 лет; III – не менее 20 лет. Здания со сроком предполагаемой эксплуатации до 20 лет относят к разряду временных сооружений.

По степени огнестойкости здания делят на пять степеней. Здания с каменными наружными и внутренними стенами, огнестойкими опорами и перекрытиями имеют I и II степени, здания такой же конструкции, но с трудногораемыми перекрытиями и перегородками – III степень, деревянные оштукатуренные здания – IV степень, а неоштукатуренные – V степень.

Эксплуатационные качества здания зависят от качества конструкций и характеризуются составом помещений, нормами их площадей и объемов, качеством наружной и внутренней отделки и уровнем инженерного оборудования.

## ГЛАВА 2

### ФУНДАМЕНТЫ

В связи с интенсивным развитием строительства важное значение приобретают вопросы устройства оснований и фундаментов. Сооружение последних связано с разнообразными строительными работами. Стоимость их входит весомой составляющей в общую стоимость строительства, а время выполнения этих работ существенно влияет на сроки его завершения.

Фундамент- конструктивный элемент, воспринимающий нагрузки от всего сооружения и передающий их на основание. Под основанием понимают часть грунтового массива, воспринимающую нагрузку от фундамента [1 – 12].

#### **2.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ФУНДАМЕНТОВ**

Фундаменты на естественном основании различаются:

- по конструкции: отдельные, ленточные, сплошные, массивные;
- по материалу: бетонные, железобетонные, кирпичные и бутовые;

- по назначению:

- под здания (жилые, промышленные и т.п.);
- под сооружения;
- под оборудование;

- по характеру статической работы. Под действием нагрузки фундаменты различают: жесткие, работающие только на сжатие, и гибкие, работающие преимущественно на изгиб. К первому виду относят все фундаменты, кроме железобетонных. Гибкие железобетонные фундаменты способны воспринимать растягивающие усилия [1];

- по заглублению в грунт:

- фундаменты мелкого заложения (менее 5 м);
- фундаменты глубокого заложения (более 5 м).

Минимальную глубину заложения фундаментов для отапливаемых зданий принимают под наружные стены не менее глубины промерзания плюс 100 – 200 мм и не менее 0,7 м; под внутренние стены - не менее 0,5 м;

• по форме: оптимальной формой поперечного сечения жестких фундаментов является трапеция, где обычно угол распределения давления принимают: для бутового и бутобетонного – 27 - 33°, бетона – 45°. Практически эти фундаменты с учетом потребностей расчетной ширины подошвы могут быть прямоугольными и ступенчатыми. Блоки-подушки выполняют прямоугольной и трапециевидной формы;

• по способу возведения:

- сборные;

- монолитные.

Классификация фундаментов на естественном основании по применяемым материалам приведена в таблице.

| Тип фунда-<br>мента                         | Материал            |           |         |        |                   |
|---|---------------------|-----------|---------|--------|-------------------|
|   | бетон и железобетон |           | бутовые | кирпич | пиленый<br>камень |
|   | сборный             | монолитн. |         |        |                   |
| 1. Отдельные:<br>бесстаканные,<br>стаканные | +                   | +         | +       | +      | +                 |
| 2. Ленточный                                | +                   | +         | +       | +      | +                 |
| 3. Сплошной                                 | -                   | +         | -       | -      | -                 |
| 4. Массивный                                | -                   | +         | +       | +      | +                 |

Примечание. Знаком + отмечены материалы, применяемые для перечисленных фундаментов.

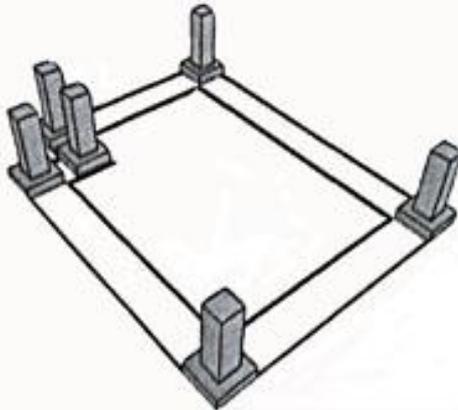
## 2.2. ВИДЫ ФУНДАМЕНТОВ

*Ленточные фундаменты.* Ленточные фундаменты обычно возводят при строительстве зданий с тяжелыми стенами и перекрытиями, а также в случаях, когда под домом устраивают подвал или теплое подполье. Целесообразно устройство ленточных фундаментов при мелком заложении (до 0,5-0,7 м) в сухих грунтах, даже если здание строят без подвала и подполья.

Поскольку у них одинаковая толщина по всему периметру дома, то это позволяет сравнительно легко образовать теплое подполье.

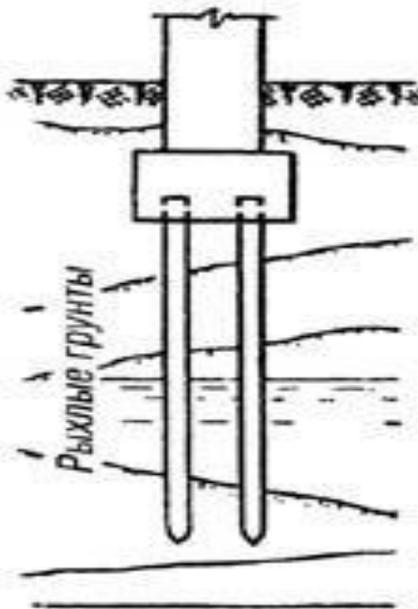
*Столбчатые фундаменты* подводят под деревянные дома с легкими стенами и без подвалов – рубленые, каркасные, щитовые. Стол-

бы ставятся по углам дома, в местах пересечения стен, под несущими стенами и тяжелыми перегородками. Такие фундаменты не подходят для глинистой почвы, где ряды воды. Вместе с ментов есть и ряде случаев их зонтально-статочна их ванию, а пото-верхняя обвяз-боковому сдви-нение на слабонесущих грунтах при строительстве домов со стенами из тяжелых конструкций. Кроме того, возникают сложности и при устройстве цоколя. Если в ленточных фундаментах образовать цоколь, являющийся их продолжением, довольно просто, то при столбчатых опорах заполнение пространства между ними, стеной и землей (забирка) довольно трудоемко.



почвы, болотистых мест и дом проходят грунтовые тем у столбчатых фунда-особенности, мешающие в применению. Так, в гори-подвижных грунтах недо-устойчивость к опрокиды-му необходима жесткая ка, которая препятствует гу. Ограничено их приме-

*Плитные фундаменты* сооружают на тяжелых пучинистых и просадочных грунтах. Они имеют жесткую конструкцию – одну плиту, выполненную под всей плоскостью здания. Такие фунда-менты хорошо выравнивают все верти-кальные и горизонтальные перемещения грунта. Возведение плитных фундаментов практикуется в основном в малоэтажном строительстве при небольшой и простой форме плана здания. Плитные фундаменты достаточно дороги из-за большого объема бетона и расхода металла на арматуру [1].



### 2.3. СВАЙНЫЙ ФУНДАМЕНТ

Сваи – это столбы с заостренным нижним концом. Их забивают, вдавливают или вворачивают в землю. По понятным причинам винтовые сваи более устойчивы. Они подобны гигантским шурупам, но вкручиваются с помощью малогабаритного оборудования. Подобная технология способствует сохранению первоначального ландшафта и

оказывает минимальное техногенное воздействие на строительной площадке и вокруг нее.

Свайные фундаменты используют там, где верхний слой грунта не может выдержать большую тяжесть, а снимать его до более плотных слоев и ставить фундамент на них оказывается слишком дорогой затеей – по той причине, что они начинаются чересчур глубоко. Проходя сквозь слабые слои грунта, сваи упираются в более твердые и передают им нагрузку от здания. Несущая способность одной сваи 20-1000 кН, в зависимости от длины, поперечного сечения и грунтовых условий. Но иногда сваи не забивают и не вворачивают, а изготавливают непосредственно в грунте. В этом случае бурят скважину, вставляют арматурный каркас или полые трубы, после чего скважину заливают бетоном. Затем бетон обязательно уплотняется утрамбовкой или вибрацией и сваю называют набивной или буронабивной [1].

Для жилых зданий применяют следующие типы фундаментов: ленточные (сборные и монолитные), плитные и свайные. Для зданий каркасной конструктивной системы, а также малоэтажных зданий стеновой конструктивной системы также применяют столбчатые фундаменты.

Сборные ленточные фундаменты проектируют с использованием типовых фундаментных плит или блоков. Можно применять сплошную и прерывистую схемы расстановки элементов ленточных фундаментов.

Монолитные ленточные фундаменты выполняют в виде отдельных или перекрестных лент, имеющих прямоугольное или ступенчатое сечение. Для возведения монолитных ленточных фундаментов применяют мелкощитовую опалубку. При сухих связных грунтах ленточные фундаменты возводят методом «стена в грунте» или в вытрамбованных котлованах (без опалубки).

Плитные фундаменты выполняют в виде монолитных железобетонных плоских или ребристых плит. В зданиях стеновой конструктивной системы плитный фундамент устраивают под всем зданием; в зданиях ствольной-стеновой и каркасно-ствольной конструктивных систем допускается устраивать плитный фундамент только под стволами (ядрами жесткости).

Столбчатые фундаменты выполняют преимущественно монолитными, в том числе в вытрамбованных котлованах.

Свайные фундаменты в зависимости от инженерно-геологических и производственных условий и конструктивных осо-

бенностей здания могут проектироваться забивными или набивными.

Свайные фундаменты с однорядным расположением свай выполняются безростверковыми. При этом следует проверять расчетом необходимость усиления стен первого этажа и цокольного перекрытия. Допускается применять сборные ростверки, которые опираются на сваи и грунт (низкий ростверк) или только на сваи (высокий ростверк).

Свайные фундаменты с многорядным расположением свай проектируются с низким ростверком из монолитного бетона. При двухрядном расположении свай можно применять сборный ростверк.

Железобетонные сваи могут проектироваться цельными или составными. Рекомендуется применять следующие виды свай.

**Сваи цельные** с предварительно напряженной продольной арматурой (стержневой или из проволочных прядей) и с поперечной арматурой сечением от 20×20 до 40×40 см, длиной от 3 до 20 м (ГОСТ 19804.2 – 79\*) рекомендуются при любых основаниях, для которых возможно применение забивных железобетонных свай.

Сваи цельные с предварительно напряженной продольной арматурой без поперечного армирования сплошного сечения 25×25 и 30×30 см, длиной от 5 до 12 м рекомендуются для оснований, сложенных песками средней плотности и рыхлыми, супесями пластичной и текучей консистенции. Не рекомендуется применять такие сваи при пучинистых грунтах, если силы пучения превышают значение вертикальной нагрузки на сваю, при наличии сил выдергивания, а также при погружении свай в грунт с помощью вибрации. При высоком свайном ростверке верх сваи может выступать над поверхностью грунта не более, чем на 2 м.

Пирамидальные сваи с малыми углами наклона боковых граней (1 – 4°) рекомендуется применять как висячие в однородных по глубине грунтах, а также в случаях, когда свая прорезает слой плотного грунта, а ее нижний конец заглубляется в более слабый грунт. Такие сваи не рекомендуется применять при насыпных, мерзлых, просадочных, набухающих и пучинистых грунтах, если силы пучения превышают вертикальную нагрузку на сваю.

**Сваи составные** сплошного сечения применяют в следующих случаях: при необходимости заглубления свай в несущий слой; при отсутствии копрового оборудования, необходимого для погружения

свай длиной более 12 – 14 м; при затруднениях в транспортировании длиномерных свай; при возможности уменьшения сечения сваи.

**Набивные бетонные сваи** применяют при необходимости устройства свайных фундаментов, когда нельзя применить забивные сваи по грунтовым условиям или из-за расположенных вблизи существующих построек, а также на площадках со сложными инженерно-геологическими условиями.

Рекомендуется применять следующие виды набивных свай.

Буронабивные сваи диаметром ствола 40 см и более с уширением в нижней части или без уширения. Буронабивные сваи не применяют при наличии агрессивных или производственных вод.

Набивные сваи устраивают в скважинах, которые пробивают, забивая инвентарные трубы, извлекаемые по мере бетонирования. Такие сваи применяют в водонасыщенных грунтах и при резких изменениях глубины залегания плотных грунтов несущего слоя.

Монолитные свайные фундаменты, устраиваемые в вытрамбованных котлованах с предварительным доуплотнением грунта под острием сваи каменной отсыпкой, рекомендуются при просадочных грунтах I типа в качестве столбчатых фундаментов.

Для призматических забивных свай, а также пирамидальных с малым уклоном применяют сборные оголовки. При однорядном расположении свай применяют оголовки цилиндрической формы с внутренней полостью в форме ступенчатого усеченного конуса. Армирование оголовка выполняют арматурным каркасом цилиндрической формы. При двухрядном расположении свай применяют прямоугольные оголовки.

Тип фундамента выбирают на основе технико-экономических сопоставлений вариантов с учетом конкретных инженерно-геологических условий площадки строительства, материально-производственной базы и обеспечения предельно допустимых деформаций основания.

В типовом проекте жилого здания разрабатывают не менее двух вариантов разных типов фундаментов.

## 2.4. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕКОНСТРУКЦИИ ФУНДАМЕНТА

• Для проектирования фундаментов специалистам нужно знать нормативные эксплуатационные требования к ним, указанные в технических регламентах, и возможные конструктивные их решения, а также характеристику фундаментов здания согласно его проекту.

В итоге необходимо построить структурную схему фундамента в общем виде (см. рис. 2. 1) с обозначением на ней всех воздействующих факторов и сочетанием конструктивных элементов.

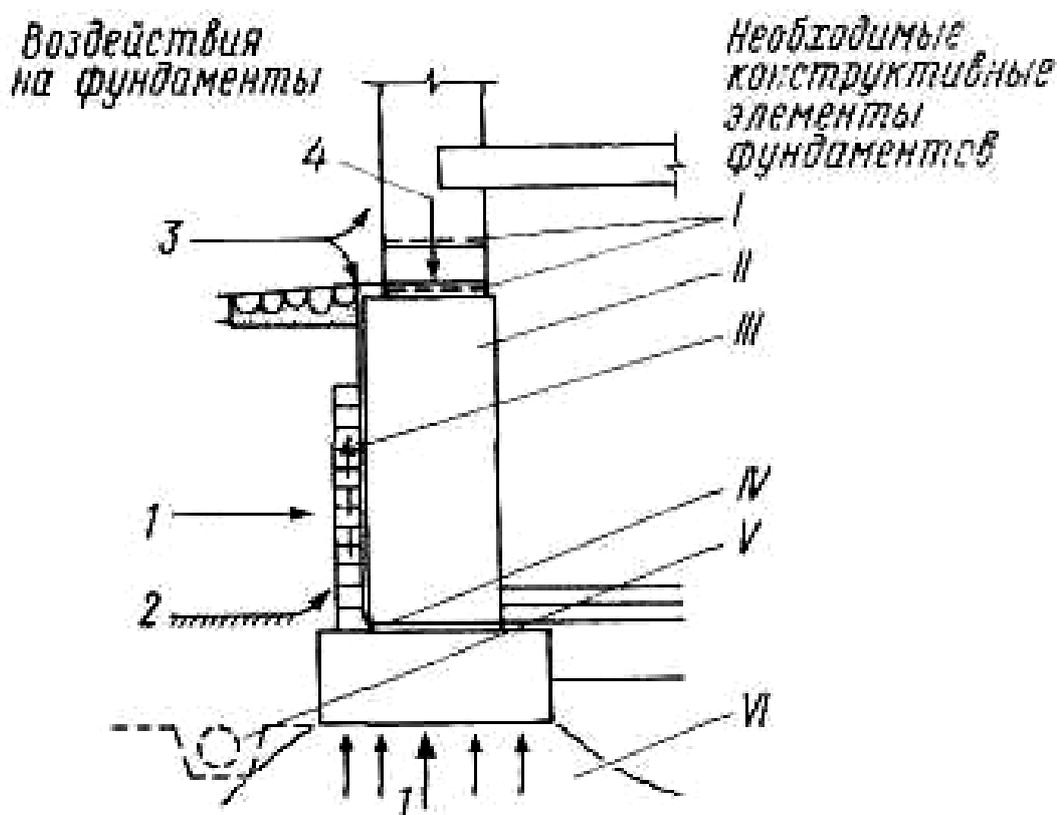


Рис. 2. 1. Структурная схема фундамента

*Воздействия на фундаменты: 1 – грунта и грунтовых вод;*

*2 – промерзания и пучения; 3 – атмосферных осадков; 4 – нагрузок.*

Конструктивные элементы фундаментов: I – горизонтальная гидроизоляция; II – несущие элементы; III – вертикальная гидроизоляция и ее защита; IV – горизонтальная гидроизоляция в полу и фундаменте;

V – дренаж; VI – основание (естественное или искусственное)

Нередко причиной деформаций фундаментов и вышележащих частей здания являются силы морозного пучения, которые могут возникнуть при определенных условиях, как в период строительства, так и через много лет после сдачи зданий в эксплуатацию. Эти условия можно и нужно исключить: срезку грунта вокруг зданий, замену его легкопромерзающим, например каменным материалом, бетоном, увлажнение грунтов вокруг зданий и под фундаментами.

Следовательно, под морозным пучением грунтов понимается их свойство (при определенном сочетании гидрогеологических условий в пределах слоя сезонного промерзания) увеличиваться в объеме под действием сил кристаллизации льда при фазовых превращениях содержащейся в грунте и дополнительно подсасываемой воды к кристаллам льда. Проявляется это свойство в неравномерном поднятии грунта и фундаментов из-за образования ледовых включений. Выпучивание фундаментов зданий в период их эксплуатации объясняется следующими факторами: содержанием в грунте, в зоне сезонного промерзания, более 30% (по массе) пылеватых; основания фундаментов; наличием влаги в грунте; превышением сил пучения над давлением вышележащих частей здания; неправильной конструкцией фундамента – невыполнением в ходе строительства противопучинных мероприятий (безанкерная конструкция фундамента, отсутствие обмазки, исключаяющей смерзание грунта со стенками фундамента, и др.).

В левой части рис. 2.2 представлен фундамент, на который не действуют силы морозного пучения, деформации фундамента отсутствуют. В средней части рисунка на фундамент действуют нормальная и касательные силы морозного пучения, при этом А меньше суммы В и Г. Фундамент испытывает морозное пучение, величина деформации «а». В правой части рисунка глубина заложения фундамента больше глубины промерзания, на фундамент действуют касательные силы морозного пучения, которые меньше нагрузки на фундамент, вертикальные деформации равны нулю. При соответствующих расчетах в данной схеме следует учитывать силы трения фундамента о грунт по боковой поверхности. Таким образом, наиболее действенным способом борьбы с морозным пучением следует считать заложение фундамента на глубину, большую глубины промерзания.

Важным противопучинным мероприятием является защита

оснований и окружающего фундамент грунта от избыточного увлажнения и промерзания: нельзя допускать повышения влажности грунта в зоне 5 м вокруг здания, а также создавать условия (например, срезать грунт вокруг здания), способствующие промерзанию основания. Работникам эксплуатационной службы необходимо, особенно в осенний и зимний периоды, следить за исправностью водоотводящих устройств, не допускать застоя воды вблизи фундаментов и течей ее из инженерных систем, особенно перед замерзанием грунтов и т.п. Ведущиеся вблизи зданий ремонтные работы не должны препятствовать стоку атмосферных и талых вод и оказывать влияние на глубину промерзания грунтов. Должны быть всегда исправны отмостки, теплоизоляционные шлаковые подушки, защищающие грунт вокруг здания от промерзания.

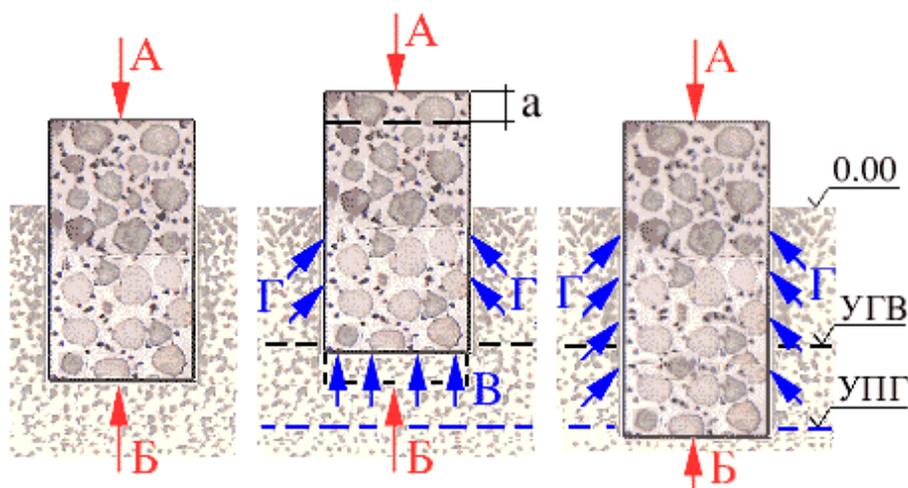


Рис. 2.2. Схема действия сил морозного пучения на фундамент:  
 А – нагрузка на фундамент, Б – сила сопротивления грунта основания,  
 В – нормальные силы морозного пучения,  
 Г – касательные силы морозного пучения,  
 УПГ – уровень промерзшей глубины

Кроме морозного пучения, повреждение фундаментов может быть вызвано рядом причин:

- деформацией основания и неравномерными осадками фундамента;
- перегрузкой фундамента;

- ошибками в конструировании фундамента и при выборе для него материалов;
- воздействием агрессивной среды на материал фундамента.

Реконструкция фундаментов может быть осуществлена путем укрепления их кладки, увеличением размеров – ширины и глубины заложения, а также передачей нагрузки на нижележащие слои грунта (рис. 2.3). Примеры повреждений и восстановления цоколей, отмо- сток и входных площадок приведены на рис. 2.4.

Упомянутые способы усиления фундаментов неравноценны и каждый из них может быть применен в определенных условиях. Следует иметь в виду, что работы по усилению фундаментов не только сложны и трудоемки, но и весьма ответственны. Их должны выполнять специализированные бригады очень осторожно, захватками (обычно не более 2 м), чтобы не повредить смежные участки и вышележащие части здания. Для выполнения таких работ составляются проекты, разрабатываются технологические карты.

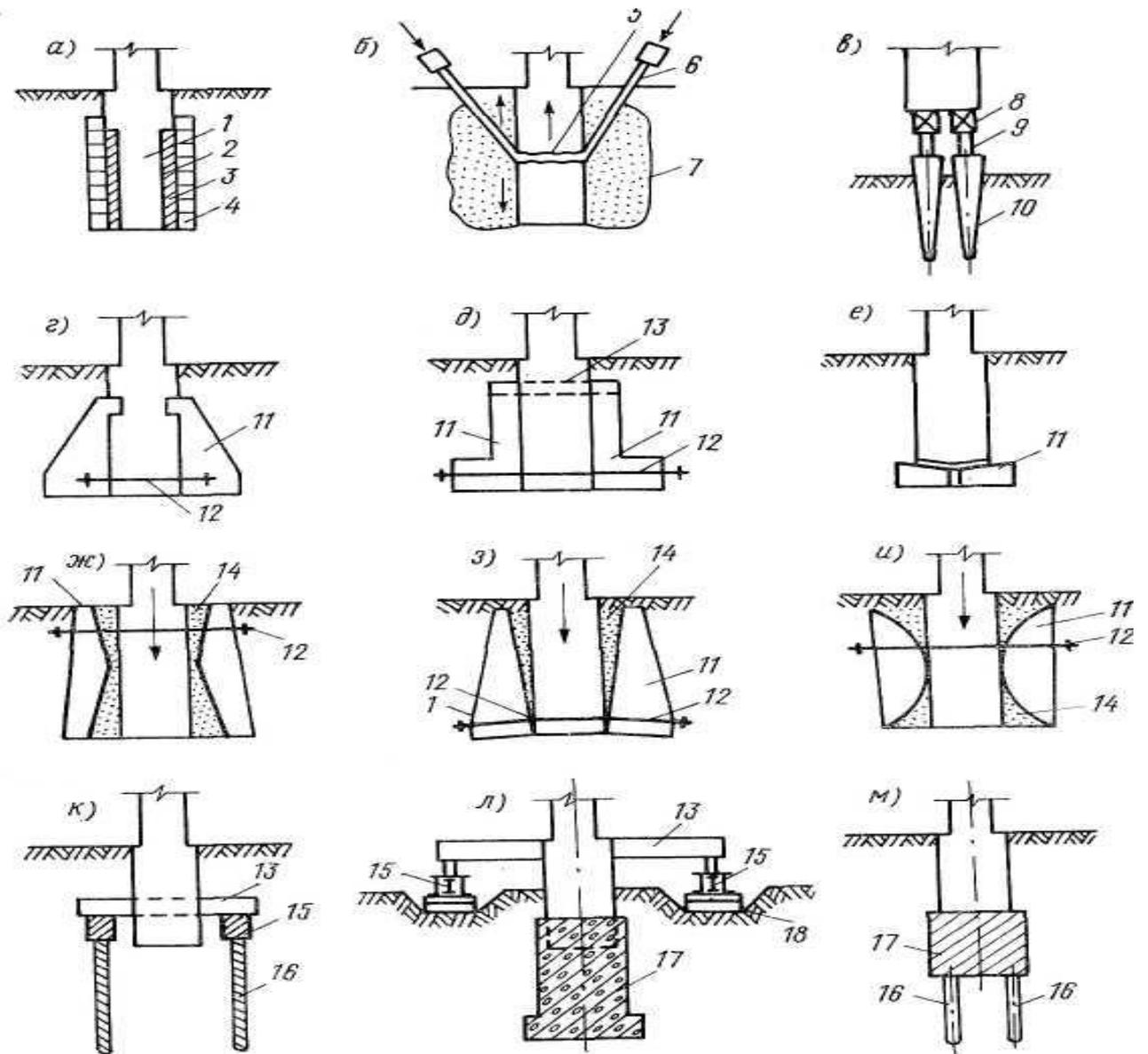


Рис. 2.3. Передача нагрузки на нижележащие слои грунта раствора в разрыв при морозном пучении; в – путем подведения свай; г, д, е, ж, з, и – уширение подошвы с помощью железобетонных приливов и стальных тяжей; к, л, м – под основания балки: 1 – торкрет-бетон; 2 – изоляция; 3 и 4 – защитная стенка; 5 – разрыв фундамента 6 – иньектор; 7 – уплотненный грунт; 8 и 9 – балки; 10 – сваи; 11 – железобетонные приливы; 12 – стальной тяж, 13 – поперечная балка; 14 и 15 – продольные балки; 16 – сваи; 17 – дополнительный фундамент; 18 – основание под балки

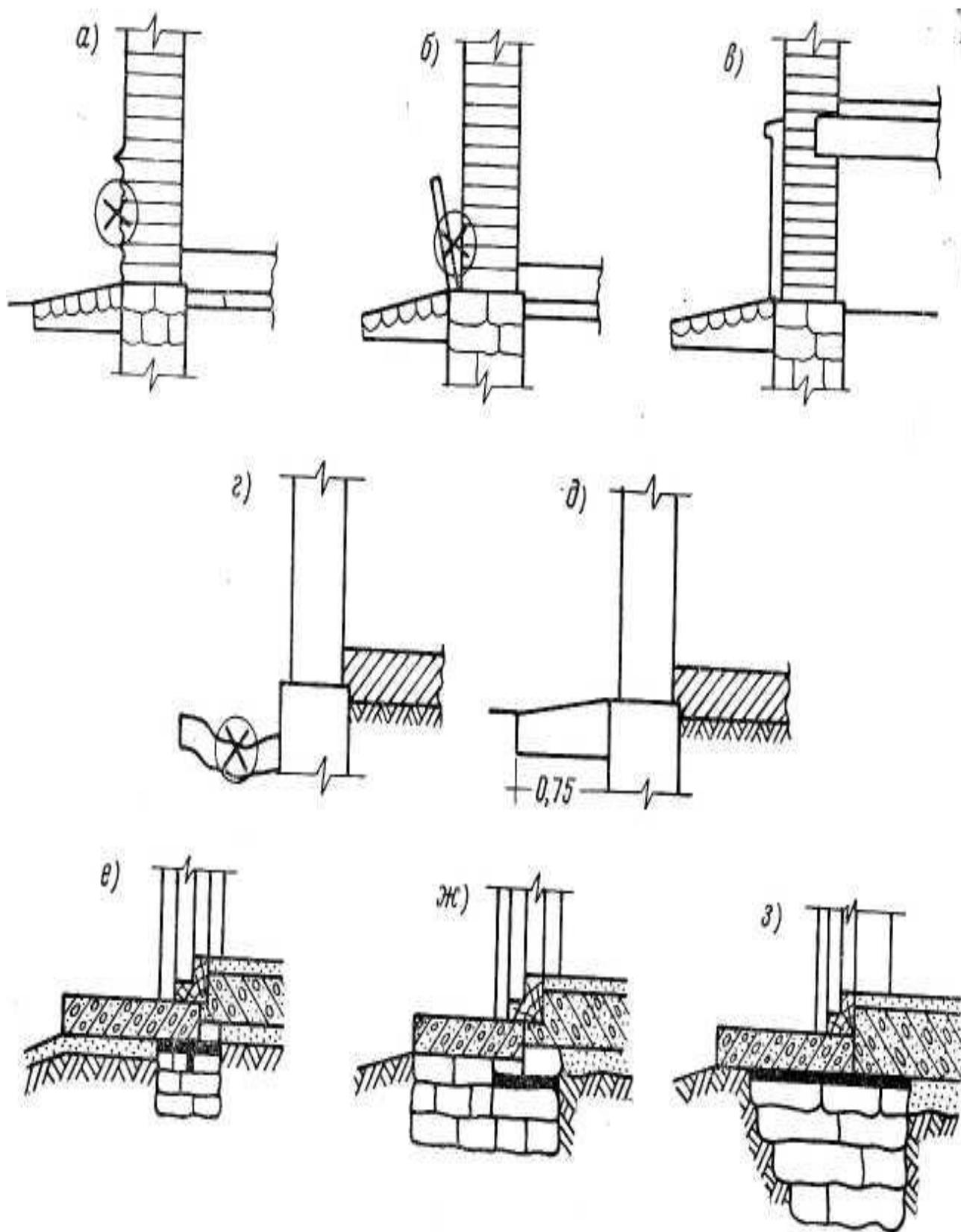


Рис.2. 4. Примеры повреждения и восстановления цоколя (а, б, в), отмос-  
тки (г, д) и входной площадки (е, ж, з)

## **2.5. СОСТАВ ИЗЫСКАНИЙ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ**

### ***2.5.1. Общие требования к изысканиям и проектированию оснований и фундаментов***

Результаты инженерно-геологических изысканий должны содержать данные, необходимые для обоснованного выбора типов и размеров фундаментов и габаритов несущих конструкций подземных частей здания с учетом прогноза изменений инженерно-геологических условий и возможного развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов (в период строительства и эксплуатации объекта), а также необходимые инженерно-геологические данные для оценки влияния строительства на окружающую застройку и геологическую среду.

В техническом задании на инженерно – геологические изыскания необходимо указать конструктивные характеристики объекта, его геотехническую категорию, а также привести, с одной стороны, характеристику ожидаемых воздействий объекта строительства на природную среду с указанием пределов этих воздействий в пространстве и во времени, а с другой стороны, – воздействий геологической среды на объект.

В программе инженерно-геологических изысканий на территории строительства следует предусматривать проходку следующих скважин: разведочных с расстоянием между ними не более 50 м и не менее двух по противоположным углам выбранной площадки; инженерно-геологических: по углам и в центре габаритов здания в плане при расстоянии между ними не более 20 м.

Число разведочных и инженерно-геологических скважин назначают в зависимости от изученности и сложности геологических условий площадки с учетом размеров и назначения здания.

Размещение скважин в плане здания должно обеспечить оценку неоднородности напластований грунтов, а также учитывать конструктивные особенности здания и характер распределения нагрузок.

В составе изысканий следует предусматривать выполнение статического зондирования для уточнения инженерно-геологического строения основания между скважинами, выявления неоднородности грунтов, их прочностных и деформационных характеристик, а также

оценки несущей способности свай.

В состав работ при изысканиях следует включать геофизические исследования для уточнения геологического строения массива грунтов между скважинами, в частности оценки глубины залегания карстующихся пород, их трещиноватости и закарстованности, наличия и толщины прослоев слабых грунтов и водоупоров, направления и скорости движения подземных вод.

Для определения деформационных параметров грунтов необходимо предусматривать полевые испытания штампами.

Лабораторные исследования грунтов должны моделировать работу грунта в основании здания в условиях изменяющегося напряженно-деформированного состояния. В частности, испытания грунта в компрессионных приборах и приборах трехосного сжатия проводят с учетом естественного напряженно-деформированного состояния грунтового массива и структурной прочности грунта в диапазоне действующих в основании здания напряжений.

Программа лабораторных испытаний должна включать определение модуля общей деформации грунта, характеристик упругой деформации (модуль упругости и коэффициент Пуассона), а также структурной прочности грунта на сжатие, определяемой по начальному перелому кривой сжатия.

Глубину бурения разведочных и инженерно-геологических скважин, а также глубину зондирования и геофизических исследований следует определять с учетом предполагаемых габаритов здания и нагрузки на основание, а также предварительно выбранного типа фундаментов здания. Минимальную глубину выработок следует назначать с учетом глубины котлована, расчетной глубины сжимаемой толщи основания и параметров свайных элементов фундамента.

При применении плитного фундамента глубина разведочных и инженерно-геологических скважин должна определяться с учетом глубины котлована  $h_k$  и сжимаемой толщи  $h_c$  и должна составлять не менее  $1,5 h_c + h_k$ . При нагрузках  $P$  на плиту от 400 до 600 кПа глубина бурения должна быть ниже глубины заложения ее подошвы.

Для свайного фундамента и комбинированного свайно-плитного фундамента глубина инженерно-геологических выработок должна быть не менее, чем на 5 м ниже проектируемой глубины заложения нижних концов свай при рядовом их расположении и нагрузках на куст свай до 3 МН и на 10 м ниже – при нагрузках на куст более 3

МН и свайных полях размером до 10×10 м. При свайных полях размером более 10×10 м и применении комбинированных свайно-плитных фундаментов глубина выработок должна превышать предполагаемое заглубление свай на величину не менее 15 м.

При наличии слоев специфических грунтов (техногенных грунтов, рыхлых песков, слабых глинистых, органоминеральных и органических грунтов) глубина выработок определяется с учетом необходимости их проходки и установления глубины залегания подстилающих грунтов и определения их характеристик.

В зонах возможного проявления карстово-суффозионных процессов необходимо пробурить не менее двух скважин и вскрыть толщу терригенно-карбонатных грунтов до глубин залегания незакарстованных и неветрелых разностей карбонатных пород и слоев глин.

При расположении площадки строительства на наклонном элементе рельефа или вблизи его бровки горные выработки (точки зондирования) необходимо размещать как на самом склоне, так и в зонах, прилегающих к его бровке и подошве. Глубина выработок должно быть ниже зоны возможного активного развития оползня в не смещаемые породы не менее чем на 3 – 5 м. Буровые работы, полевые и лабораторные исследования грунтов, гидрогеологические и геофизические исследования должны выявить и изучить все факторы, имеющие определяющее значение в оползневом процессе (динамика подземных вод, наличие слабых глинистых и суффозионно-неустойчивых песчаных грунтов и др.). Должны быть определены прочностные и реологические характеристики грунтов, проведены прогнозные расчеты устойчивости склона, а в необходимых случаях организованы стационарные наблюдения.

При строительстве здания вблизи существующей застройки необходимо выполнять инженерно-геологические изыскания и обследования состояния конструкций, оснований и фундаментов зданий и сооружений, попадающих в зону влияния строительства, а также осуществлять прогноз изменений напряженно-деформированного состояния грунтового массива и гидрогеологического режима подземных вод.

### ***2.5.2. Особенности высотных зданий, которые необходимо учитывать при проектировании и устройстве оснований, фундаментов и подземных частей, а также при выполнении инженерных изысканий***

Основная особенность взаимодействия высотных зданий с основаниями по сравнению с обычными сооружениями заключается в том, что к основанию прикладываются большие по величине и более неравномерные по площади нагрузки. Это обстоятельство вызвано большими суммарными нагрузками на основание. Высотные здания чаще всего проектируются по архитектурно-планировочным соображениям как сооружения башенного типа, в том числе переменной этажности в пределах пятна застройки. Удельное давление на основание под фундаментной конструкцией ряда возведенных и эксплуатируемых высотных зданий может достигать величин 500 – 600 кПа.

Вторая геотехническая особенность высотных зданий, связанная с первой и наиболее сильно влияющая на назначение состава и объема инженерных изысканий, состоит в том, что вследствие повышенных нагрузок на основание такие здания вовлекают в работу большие массивы грунтов, обладающие неоднородностью в плане и по глубине. При относительно глубоком залегании коренных пород значительные нагрузки часто приходится передавать на грунты четвертичных отложений, обладающие недостаточно высокими прочностными характеристиками и повышенной сжимаемостью. В таких условиях неравномерность передачи нагрузок, неоднородность напластования грунтов и повышенная их деформируемость при принятии недостаточно эффективных проектных решений могут привести к развитию чрезмерных осадок, прогибов, перегибов и кренов фундаментных частей зданий и к недопустимому отклонению верха здания от вертикальной оси. Следует иметь в виду, что последнее обстоятельство приводит к смещению центра тяжести здания и дополнительному нелинейному увеличению моментных нагрузок на основание, что вызывает еще большее усиление неравномерности деформаций основания.

Третья геотехническая особенность высотных зданий состоит в больших размерах зоны развития осадок вне пятна здания. Эта особенность вместе с увеличенными значениями напряжений в массиве грунта может приводить к тому, что осадки высотных зданий стабилизируются относительно медленнее и достигают конечных значений за более длительные интервалы времени, чем для обычных зданий.

Увеличение размеров зоны влияния следует также обязательно учитывать при проектировании сооружений, примыкающих к высотному зданию, и при разработке мероприятий по защите окружающей застройки.

Проектирование оснований, фундаментов и подземных частей высотных зданий основывается на фундаментальных инженерных представлениях о предельных состояниях грунтов основания и материала фундаментных конструкций по прочности, несущей способности и деформациям.

Степень ответственности выбора проектных решений нулевого цикла при строительстве высотных зданий выше, чем для обычных сооружений, еще и потому, что исправление допущенных при проектировании геотехнических ошибок в процессе строительства для таких зданий значительно сложнее и дороже, чем в случае обычных зданий и сооружений.

## ГЛАВА 3

### ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ (по С.Н.Максимову)

#### ***3.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ, КРАТКАЯ ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА***

Начало эксплуатации человеком водных ресурсов относится к глубокой древности. Общеизвестны примеры водных путей и в Древней Руси (путь «из варяг в греки» и др.). Однако при этом использовались естественные водные пути без строительства специальных инженерных сооружений, улучшающих условия судоходства, и без организации серьезного портового хозяйства. Использование энергии падающей воды было известно еще в древнем Египте, где сооружались ирригационные системы и плотины, удерживающие воду после паводков [1 – 12].

**Гидротехнические сооружения** – сооружения, подвергающиеся воздействию водной среды, предназначенные для использования и охраны водных ресурсов, предотвращения вредного воздействия вод, в том числе загрязненных жидкими отходами.

Гидротехнические сооружения изучаются гидротехникой – отраслью науки и техники, которая решает задачи использования, охраны водных ресурсов и борьбы с вредным воздействием вод при помощи инженерных сооружений и мероприятий.

Гидротехническое строительство создает глубокое инженерное воздействие на природные условия. На участке водохранилища меняется положение базиса эрозии окружающей территории, вызывая изменение условий питания и движения подземных вод, активизируя склоновые процессы (оползни) и меняя микроклимат района. Создание водохранилищ с большим запасом вод может вызвать при аварии сооружения катастрофические затопления долины реки ниже сооружения. Все это требует особенно тщательного изучения природных условий территории размещения гидротехнических сооружений.

В гидротехнике определились следующие основные отрасли ее применения:

- 1) использование водной энергии, когда энергия движущейся (падающей) воды преобразуется в механическую, а затем в электрическую;

2) мелиорация (улучшение) земель путем орошения (ирригации) засушливых районов и осушения заболоченных, а также путем защиты от вредного действия вод (затопления, подтопления, эрозии;

3) водный транспорт – улучшение судоходных условий рек и озер, строительство портов, шлюзов, каналов и т.п.;

4) водоснабжение и канализация населенных мест и промышленных предприятий.

Все перечисленные отрасли гидротехники не являются обособленными, а тесно связаны между собой и переплетаются при комплексном решении проблем водного хозяйства.

По своему назначению гидротехнические сооружения подразделяются на:

1. *Общие* используются во всех отраслях гидротехнического строительства. К ним относятся:

- водоподпорные сооружения, создающие напор и поддерживающие его, – плотины, дамбы и пр. **водозаборные сооружения** – гидротехнические сооружения, предназначенные для отбора воды из водоема, водотока или подземного источника для хозяйственных целей;

- водопропускные, служащие для пропуска воды в заданном направлении или сброса излишних вод;

- водопроводящие – каналы, лотки, трубопроводы и тоннели, предназначенные для подвода и отвода воды в заданном направлении;

- регуляционные – для регулирования русел, защиты берегов от подмыва и т.п., сопрягающие, служащие для сопряжения бьефов и различных гидротехнических сооружений (перепады, быстротоки, устои, отдельные быки и т.д.), участков водного потока или водоподпорных сооружений разного типа: льдо- и шугосбросные.

2. *Специальные* (применяются только в определенных условиях), к ним относятся:

- гидроэнергетические (машинные здания ГЭС, деривационные сооружения и др.);

- воднотранспортные (шлюзы, каналы, портовые сооружения),

- гидромелиоративные (водозаборы, оросительные и осушительные каналы и др.);

- водопроводные и канализационные (водозаборы, водоводы, очистные сооружения и т.п.).

Гидротехнические сооружения возводят обычно в виде комплекса сооружений, включающих водоподъемные, водопропускные, водосборные, транспортные, энергетические и др. Такой комплекс сооружений называют гидроузлом.

### 3.2. ГИДРОУЗЛЫ

Схема использования ресурсов водного потока заключается в разбивке продольного профиля реки на ряд участков, представляющих собой отрезки долины реки, в которых будут созданы водохранилища. Эти участки располагают так, чтобы подпор, созданный плотиной нижнего водохранилища, выклинивался перед плотиной более высоко расположенного. Система таких водохранилищ позволяет существенно изменить водный режим водотока, накапливать воду в многоводный период года и увеличивать расход в маловодные периоды. При этом создаются возможности для энергетического использования реки, улучшения условий судоходства, облегчения забора воды для целей орошения и водоснабжения.

В водохранилище различают следующие характерные уровни и объемы (рис. 4. 1): *нормальный подпорный горизонт* (НПУ) – наивысший нормальный уровень воды в водохранилище; *форсированный горизонт* (ФГ) – уровень, до которого допускается временное заполнение водохранилища во время пропуска многоводного паводка; *горизонт мертвого объема* (ГМО) – наинизший уровень допускаемой сработки (опорожнения) водохранилища; *полный объем водохранилища* – объем, заключенный между дном водохранилища и горизонтом НПУ; *полезный объем*, заключенный между НПУ и ГМО и используемый для регулирования стока (в том числе для выработки гидроэнергии, целей ирригации и водоснабжения); *резервная емкость* ( $U_p$ ) – заключенная между НПУ и ФГ и используемая для срезки пика паводка; *мертвый объем водохранилища* ( $U_m$ ) – объем, расположенный ниже водоспускных отверстий и служащий для поддержания минимальных уровней воды в водохранилище.

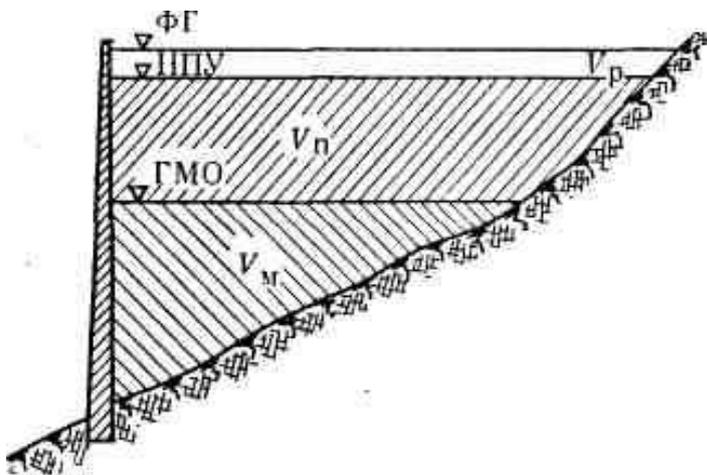


Рис. 3.1. Характерные уровни и объемы

Выбор типа сооружений гидроузла и их взаимное расположение (компоновка), так же как и способов их возведения, являются взаимосвязанными и определяются назначением гидроузла и природными условиями. Среди них инженерно-геологические во многих случаях являются определяющими.

Большое разнообразие природных условий, а также различие в масштабах и назначении отдельных сооружений приводят к большому многообразию взаиморасположения сооружений. Однако существуют следующие основные схемы расположения гидроузлов.

1. Речные низконапорные гидроузлы, состоящие обычно из плотины, машинного здания, шлюзов и водозаборных сооружений (рис. 3.2), входящих в напорный фронт сооружений. Строят такие гидроузлы на равнинных реках с плотинами высотой обычно не выше 25 м.

2. Приплотинные ГЭС, в состав гидроузла которых входят те же сооружения, что и по схеме № 1, но машинное здание вынесено в нижний бьеф за пределы напорного фронта, и вода к турбинам подводится с помощью турбинного трубопровода (рис. 3.3). Такие гидроузлы тоже строятся на равнинных реках или в предгорных районах, с глубоким врезом долины и возможностью возведения плотин среднего и высокого напора (более 25 м). По этой схеме построено много крупных гидроэлектростанций, среди которых Братская, Красноярская, Мингечаурская и многие др.

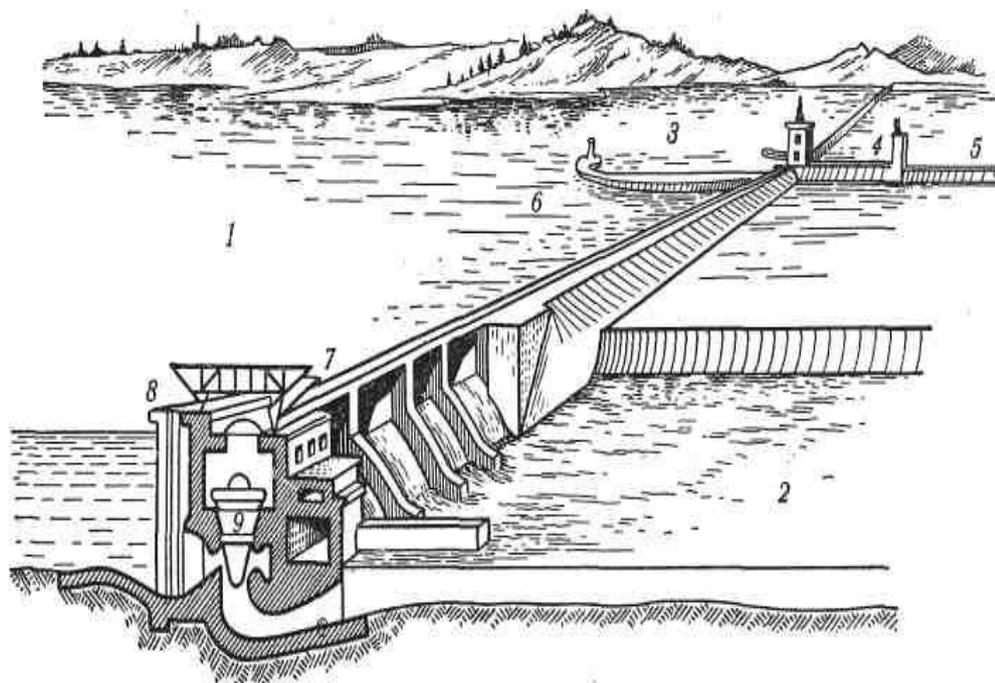


Рис. 3. 2. Речной низконапорный гидроузел: 1 – верхний бьеф; 2 – нижний бьеф; 3 – аванпорт; 4 – судоходный шлюз; 5 – нижний подходной канал; 6 – земляная плотина; 7 – бетонная водосливная плотина; 8 – машинное здание (ГЭС); 9 – турбина и генератор

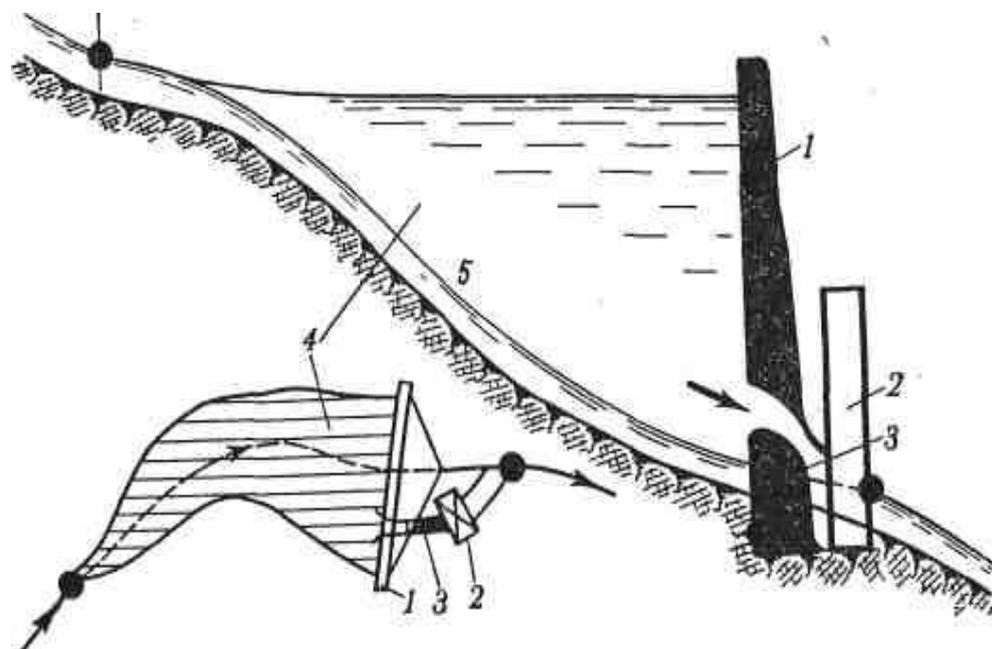


Рис. 3.3. Схема расположения сооружений приплотинной ГЭС: 1 – плотина; 2 – машинное здание; 3 – турбинные трубопроводы; 4 – водохранилище; 5 – естественное русло реки

3. Деривационные гидроузлы, которые строят главным образом в горных областях, отличаются от первых двух схем тем, что в них напор создаётся путем направления воды в деривационные сооружения (каналы, тоннели и т.п.) с уклонами меньшими, чем естественное русло, и подведением ее напорными турбинными трубопроводами к турбинам. При этой схеме гидроузла (рис. 3. 4) в состав его входят: головные сооружения (плотина и водозабор), деривация (канал, подводящий воду к напорному бассейну), турбинный трубопровод и машинное здание. Для таких узлов характерно отнесение машинного здания на значительное расстояние от головных сооружений и возможность получения больших напоров без строительства высоких плотин.

Среди деривационных различают гидроузлы с безнапорной деривацией, когда вода ведется по склону в открытом лотке, канале (рис. 3.4) или с напорной деривацией, когда после водозабора вода попадает в напорный тоннель, трубопровод и т.п. и далее передается в турбинный трубопровод.



Рис. 3. 4. Схема гидроузла с безнапорной деривацией:

- 1 – водохранилище; 2 – плотина; 3 – деривационный канал;  
 4 – напорный бассейн; 5 – турбинные трубопровод; 6 – машинное здание;  
 7 – отводящий канал; 8 – естественное русло реки

По схеме деривационных установок построено много гидроэлектростанций. Ряд гидроэлектростанций в Швейцарии, Северной Италии и Австрии построен с переброской стока одних рек в долины других, более низко расположенных.

Обычно, особенно на ранних стадиях проектирования, составляют несколько вариантов возможного решения и выбирают наиболее рациональное и экономически целесообразное.

### ***3.3. ПЛОТИНЫ***

Плотина – гидротехническое сооружение, перегораживающее речное русло или речную долину и создающее подпор воды. Часть водотока перед плотиной, с более высоким уровнем воды, называется верхним бьефом, а по другую сторону плотины, с низким уровнем воды, – нижним бьефом. Разность уровней воды верхнего и нижнего бьефов называется напором. Плотина обычно входит в состав узла гидротехнических сооружений (гидроузла) и является наиболее ответственным и распространенным гидротехническим сооружением.

### ***3.4. КЛАССИФИКАЦИЯ ПЛОТИН***

По водохозяйственному назначению:

- водоподъемные (служат для относительно небольшого поднятия уровня воды в реке, для улучшения условий водозабора, судоходства и т.п.);

- водохранилищные возводят для создания водохранилищ и накопления воды для последующего расходования ее по мере необходимости. Это обычно достаточно высокие плотины, образующие крупные водохранилища, искусственно регулирующие и перераспределяющие расход реки по сезонам года (сезонное регулирование) или даже в течение ряда лет (многолетнее регулирование).

По высоте: низконапорные (до 10 м), средненапорные (от 10 до 40 – 50 м), высоконапорные (более 40 – 50 м).

По гидравлическому признаку (т.е. по условиям пропуска воды):

- водосливные (позволяющие перелив воды через гребень или имеющие специальные водосливные отверстия),

- глухие (через которые невозможен пропуск воды).

По условиям работы или конструктивным признакам (рис. 3.5):

- гравитационные плотины (земляные, каменные, деревянные, бетонные) характеризуются тем, что их устойчивость против сдвига

обеспечивается в основном силами трения между подошвой плотины и грунтом основания, пропорциональными весу сооружения;

- арочные плотины (преимущественно бетонные) представляют собой в плане криволинейную стенку, работающую как свод, который через свои пяты передает горизонтальное давление воды почти полностью скальным берегам;

- контрфорсные плотины (преимущественно железобетонные и бетонные) состоят из плоских, арочных или массивных перекрытий, непосредственно воспринимающих давление воды, и стенок-контрфорсов, служащих опорами для перекрытий;

- анкерные плотины сопротивляются сдвигу в большой мере благодаря заделке конструкции в основание с помощью устройства свайного, шпунтового фундамента, глубокого зуба, стальных тросов.

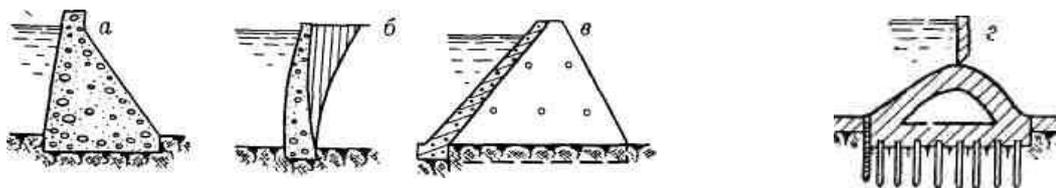


Рис. 3.5. Схемы плотин: а – гравитационная; б – арочная; в – контрфорсная; г – анкерная

По материалу, из которого возводят сооружение: *земляная плотина* представляет собой насыпь трапецеидального поперечного сечения из однородных или разнородных грунтов.

Земляные плотины – исключительно широко распространенные гидротехнические сооружения, применяемые при подпорных сооружениях всех назначений. Широкому распространению их способствуют простота возведения, надежность и долговечность в эксплуатации, возможность возведения из очень большого разнообразия местных материалов (грунтов) и практически на любых даже самых слабых основаниях, а также относительная дешевизна.

Для земляных плотин характерно:

- устойчивость достигается её большим весом;
- тело земляной плотины можно возводить из песков, супесей, суглинков и глин, при содержании в них не более 1% органических и 3% воднорастворимых веществ; ведется тщательный контроль за ка-

чеством грунта (плотностью, водопроницаемостью и другими свойствами);

- водопроницаемость материала тела плотины создает условия для развития фильтрационного потока; при фильтрации происходит уплотнение грунта, что увеличивает устойчивость откоса; при быстром опорожнении водохранилища – разуплотнение грунта и снижение устойчивости;

- земляные плотины всегда являются глухими и во избежание размыва и разрушения через них не должно происходить перелива воды. Поэтому их строят всегда с гребнем, расположенным выше максимально допустимого уровня воды;

- в составе гидроузла, у которого значительная часть напорного фронта создается земляными плотинами, должны быть предусмотрены специальные водосбросные сооружения. Сопряжение земляной плотины с водосливными сооружениями, а также судоходными и другими устройствами гидроузла осуществляется с помощью сопрягающих устоев, представляющих собой подпорные стенки;

- во избежание возникновения суффозии на контакте между телом земляной плотины и сопрягающим устоем в этом месте предусматриваются шпоры, ребра и другие конструкции, удлиняющие путь фильтрации и обеспечивающие более плотное и водонепроницаемое сопряжение;

- при проектировании земляных плотин одним из основных расчетов являются фильтрационные расчеты. При их проведении принимается во внимание водопроницаемость не только тела сооружения, но и толщи пород основания сооружения;

- для уменьшения потерь воды на фильтрацию в основании устраивают противофильтрационные элементы: зубья, сопрягающие ядро с непроницаемыми слоями основания, закладывают завесы, шпунтовые стенки и т.п.

*Каменнабросные* возводят как на скальном, так и нескальном основании, преимущественно в горных областях, где можно организовать добычу большого количества камня вблизи строительной площадки. Укладка камня в тело таких плотин производится без применения вяжущих материалов.

Плотины этого типа обычно строят глухими, и пропуск паводковых вод обеспечивается специальными водосбросными сооружениями, входящими в состав гидроузла.

Основную, несущую часть тела плотин этого типа составляет каменная наброска, представляющая собой сильноводопроницаемую среду.

Для удержания таким сооружением напора воды в водохранилище необходимо устройство специальных противофильтрационных элементов: экранов, диафрагм, ядер и т.п.

В качестве материала для каменной наброски используют изверженные или осадочные породы любого петрографического состава, но достаточно морозостойкие, слабовыветривающиеся и водно-нерастворимые.

*Каменные плотины* возводятся из каменной кладки на растворе. Они имеют в поперечном сечении форму трапеции, но с более крутыми откосами (чем земляные). Бетонные и железобетонные каменные плотины являются наиболее распространенными среди крупных и средних плотин. По конструктивному признаку они могут быть разделены на гравитационные, арочные, контрфорсные. Форма плотины в плане может быть прямолинейной или криволинейной.

Массивные плотины сооружаются из бетона, обладающего водонепроницаемостью (плотностью), достаточной прочностью, долговечностью и морозостойкостью.

Высота современных бетонных плотин достигает более 300 м.

*Деревянные плотины* в основном сооружают из сосны. Нагрузки от воды воспринимаются в основном деревянной конструкцией, устойчивость же против сдвига обеспечивается заделкой ее в основание при помощи свай, а в ряжевых конструкциях – загрузкой грунтом. Эти плотины поддерживают обычно небольшие напоры (от 2 до 6 – 8 м), в редких случаях – до 16 – 20 м (ряжевые плотины).

Деревянные плотины дешевы, но не долговечны. В настоящее время они практически не возводятся.

Плотина, как всякое гидротехническое сооружение, находится под постоянным воздействием воды. Она в свою очередь существенно изменяет естественный режим того потока, который она перегораживает. В верхнем бьефе скорость движения потока уменьшается, что вызывает выпадение влекомых потоком наносов, – происходит заиливание водохранилища.

Для регулирования уровней воды в верхнем бьефе и пропускаемых расходов воды служат затворы, позволяющие закрывать или открывать водосбросные отверстия полностью или частично. Водо-

сливные отверстия отделяются друг от друга быками, крайние из них называются устоями и сопрягают плотину с берегами или соседними сооружениями. По верху быков и устоев располагают служебный мост.

### **Саяно-Шушенская ГЭС**

**Строительство:** с 1968 (начата отсыпка перемычек котлована) по 1990 г. (водохранилище заполнено до проектной отметки 540 м.). Официально принята в эксплуатацию только в 2000 году (приказ РАО «ЕЭС России» от 13.12.2000 г. № 690), хотя вырабатывала электроэнергию с конца 1980 г.

**Гидроагрегаты:** 10 гидрогенераторов номинальной мощности 640 МВт каждый, с номинальным напряжением 15 750 В и частотой вращения 142,8 об/мин. Масса гидрогенератора – 1860 т., внешний диаметр статора – 14 800 мм. Номинальный расчетный напор – 194 м. водяного столба.

**Водоохранилище:** объем – 31,34 км<sup>3</sup>, площадь 621 км<sup>2</sup>. Максимальный ожидаемый приток воды в водохранилище в период паводка с вероятностью (уровнем обеспеченности) 0,01% – 24 700 м<sup>3</sup>/с, с вероятностью 1% – 13 800 м<sup>3</sup>/с.

Плотина: бетонная арочно-гравитационная высотой 245, длиной 1066, шириной в основании 110, по гребню – 25 м. Включает левобережную глухую часть длиной 246,1, станционную часть длиной 331,8, водосбросную часть длиной 189,6 и правобережную глухую часть длиной 298,5 метра. Для ее сооружения потребовалось 9 075 000 м<sup>3</sup> бетона. **Энергетические параметры:** Мощность – 6400 МВт (вместе с Майнским гидроузлом – 6721 МВт), среднегодовая выработка 24,5 млрд кВт-ч.

**Расход воды через плотину:** максимальный проектный расход воды через водобойный колодец – 13 640 м<sup>3</sup>/с, реальный (при неполном открытии затворов водосбросов) – 6000 – 7000 м<sup>3</sup>/с. Расход через гидроагрегаты при номинальной вырабатываемой мощности станции – около 3500 м<sup>3</sup>, при мощности 3950 МВт – 2100 м<sup>3</sup>/с. Береговой водосброс обеспечивает дополнительно 4000 м<sup>3</sup>/с на каждый из двух планируемых тоннелей.

17 августа 2009 г. в 00:20 (здесь и далее время местное) на пульте Братской ГЭС случился пожар, который вывел из строя систему связи. В 00:31 диспетчер оперативно-диспетчерского управления (ОДУ) Сибири вместо Братской назначил Саяно-Шушенскую стан-

цию главной в системе регулирования мощности Сибирской энергосистемы и перевел ее на автоматическое управление (хотя Братская ГЭС работала исправно, из-за отсутствия связи оператор этого не знал).

До утра СШГЭС работала, непрерывно меняя мощность за счет преимущественно второго агрегата. Поясним, гидроагрегаты станции могут функционировать в разных режимах, причем стабильными являются только два: I – при малой отдаваемой мощности и III – около номинальной. Промежуточный II режим считается нештатным, поскольку сопряжен с мощными пульсациями струи воды, поступающей на лопатки турбины. Особенно опасно, когда частота этих пульсаций совпадает с частотой биения главного вала агрегата (а такие биения всегда присутствуют из-за люфтов в местах его крепления) и возникает резонанс. Зону II инструкция предписывает «проходить быстро», но о том, как долго агрегат может в ней находиться, не сказано ни слова.

Второй агрегат, на котором и без того отмечалась повышенная вибрация главного вала, ночью 17 августа опасную зону II проходил шесть раз. В результате непосредственно перед аварией амплитуда вибрации в контрольной точке возросла за 13 мин с 0,6 до 0,84 мм при предельно допустимом уровне 0,16 миллиметра (т.е. превышение было в пять с лишним раз). И при очередном снижении мощности и вхождении в зону II (в 8:13) от такой вибрации разрушились узлы крепления гидроагрегата – под давлением 212-метрового столба воды эту 1800-тонную махину подбросило более чем на 10 м.

Конечно, персонал обязан был, зафиксировав столь сильную вибрацию, остановить 2-й агрегат. Однако, возможно, что он просто о ней ничего не знал: система непрерывного виброконтроля, установленная лишь в 2009 г., не была полностью введена в эксплуатацию – показания датчиков лишь сохранялись для истории, как в «черном ящике» самолета.

Другой порок системы управления станции – не было предусмотрено автоматическое аварийное закрытие затворов на гребне плотины, через которые вода поступает в турбинные водоводы. Вручную же полностью закрыть затворы удалось лишь к 9:30. То есть почти полтора часа в разрушенный машинный зал продолжала хлестать вода, заливая нижние его этажи, где в момент аварии находилась почти вся утренняя смена станции.

В результате погибли 75 человек, разрушен машинный зал, из 10

агрегатов только два не требуют капремонта или полной замены, масляное пятно растянулось по Енисею на 130 км, из-за чего, кроме всего прочего, возникли проблемы со снабжением водой многих населенных пунктов.

Плотина в настоящее время «держится» за дно максимум третью своего основания. Фактически она уже не арочно-гравитационная, а чисто арочная.

### ***3.4.1. Водосбросы***

Водосбросы могут быть открытого (берегового) или закрытого типа.

*Открытые береговые водосбросы* можно строить непосредственно около плотины и тогда излишняя вода сбрасывается в тот же водоток, на котором построена плотина. В других случаях открытый водоток устраивают в удалении от плотины, тогда сброс воды производится в какие-либо другие долины, местные понижения рельефа и т.п. Основными элементами открытого водосброса являются подводящий канал, водослив, гасители энергии потока и отводящий канал.

Водослив водосброса обычно представляет собой бетонное сооружение широкого профиля с затворами, регулирующими горизонт сработки, или без них. Вода, переливающаяся через водослив, отводится в нижний бьеф, для чего сооружается канал с усиленным креплением.

*Закрытые водосбросы* строят трех основных типов: шахтные, тоннельные и сифонные.

Шахтные водосбросы устраивают обычно при сооружении водохранилища в узкой долине с крутыми бортами, сложенными скальными породами. Водосброс этого типа состоит из водосливной воронки (с затворами для регулирования уровня воды в водохранилище или без них), шахты и отводящего тоннеля.

Тоннельные водосбросы обычно строят с фронтальным забором воды в расширенный портал тоннеля, оборудованный затворами. Наклонная часть тоннеля часто является безнапорной, а горизонтальная – напорной.

Сифонные водосбросы чаще всего строят в теле глухих бетонных плотин и лишь изредка в теле земляных плотин.

Выбор типа водосброса производится после сравнения вариантов, и предпочтение, если возможно, отдается водосбросам открытого типа.

### ***3.4.2. Водоспуски***

Водоспуски по их конструкции можно разделить на следующие типы: трубчатые, тоннельные, в виде глубинных отверстий или открытого водовыпуска. Первые три типа водоспусков всегда работают как напорные сооружения, т.е. полным сечением.

Трубчатые водоспуски сооружают при возведении земляных и каменнонабросных плотин путем закладки донных труб с водозаборами башенного типа или без них.

Тоннельные водоспуски по условиям своей работы во многом сходны с трубчатыми, но располагают их вне тела плотины в массиве берега.

Выбор типа водовыпуска зависит от величины расчетного расхода, типа плотины, геологических условий и общей схемы организации строительных работ.

## ***3.5. СООРУЖЕНИЯ ВОДНЫХ ПУТЕЙ И ПОРТОВ***

Среди водных путей различают внешние и внутренние. Первые из них связывают нашу страну с другими странами, и этот вид связи обеспечивается преимущественно морскими водными путями, тогда как внутренними водными путями являются преимущественно реки, водохранилища, озера и частично моря.

Моря, озера и реки, используемые для судоходства без возведения на них гидротехнических сооружений, существенно изменяющих их режим, называют естественными водными путями. Каналы, водохранилища и реки, режим которых изменен возведением гидротехнических сооружений, представляют собой искусственные водные пути.

Для принятия судном груза и для разгрузки его служит порт – сложный комплекс сооружений и устройств, обеспечивающий спокойную стоянку судов и позволяющий выполнять перегрузочные операции (с судна на берег и обратно). Обычно в порту располагаются устройства для ремонта судов и для укрытия их во время шторма и в период между навигациями.

Для обеспечения движения по рекам часто требуется проведение работ по поддержанию глубин, необходимых для судоходства. Для глубоководных рек с небольшими в течение года изменениями режима (Нева, Свирь, Ангара в ее верхнем течении, т. е. рек, текущих из больших озер). Это обычно минимальные работы по установке знаков судоходной «обстановки».

Период для обеспечения нормального прохождения судов требуется не только четкое обозначение судоходного фарватера, но и определенный объем работ по регулированию потока. Это могут быть выправительные сооружения, землечерпательные работы, а во многих случаях и создание систем водоподъемных сооружений с водохранилищами и шлюзами.

Даже на крупных реках встречаются препятствия для судоходства: подводные предметы на фарватерах, пороги, мели, перекаты. Первым шагом в освоении реки для судоходства является составление лоцманских и судоходных карт, на которых отмечаются плесы и перекаты, а также другие элементы русла (рис. 3.6).

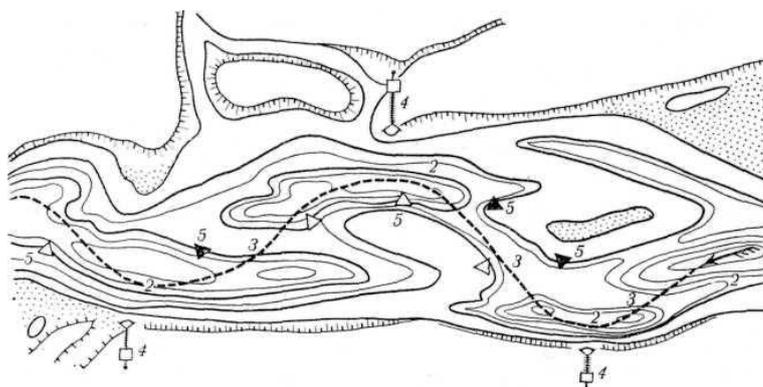


Рис. 3.6. Схематическая судоходная карта:

- 1 – фарватер; 2 – плесы; 3 – перекаты; 4 – знаки береговой обстановки; 5 – знаки плавучей обстановки

Выправление рек ведется человеком уже более двух с половиной веков и разработано несколько систем мероприятий, в основу которых положено использование транспортирующей способности водного потока, обладающего повышенными скоростями. Поэтому главным являются два принципа: 1) стеснение русла и 2) струенаправление. Система, основанная на стеснении русла, возникла в самом начале работ по выправлению и предусматривала создание продольных и поперечных дамб, сужающих русло.

По конструктивным признакам выправительные системы делятся

па сооружения утяжеленного и облегченного типов. Первые возводят из грунта, тюфячной кладки, а наиболее тяжелые в виде каменной наброски. В настоящее время, кроме того, применяют свайные, сборные бетонные конструкции (главным образом плиты, блоки), а также грунтоасфальт и грунтобетон и геотекстиль.

Среди тяжелых (утяжеленных) выправительных сооружений наибольшее распространение получили дамбы и береговые укрепления. Дамбы располагают в виде как продольных и струенаправляющих конструкций, так и поперечных полузапруд, шпор и т.п. (рис. 3.7). При строительстве таких сооружений часто применяют тюфяки из полимерных сеток, которые нагружают каменной или песчаной наброской. Тело сооружения часто прошивают сваями. Тюфяки, так же как и фашины, хорошо сохраняются под водой, поэтому их укладывают в нижнюю часть дамбы. Береговые укрепления также могут быть разной капитальности (рис. 3.8).

При этом наиболее мощное крепление располагают в пределах горизонтов прохождения ледоходов, так как в это время речной поток в наибольшей степени может разрушать берега.

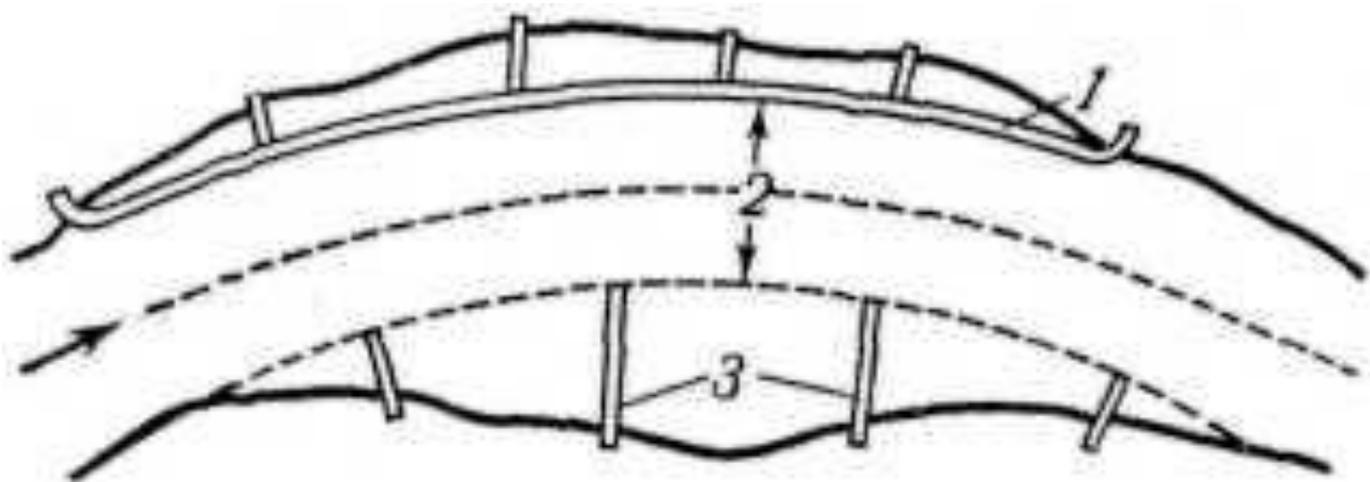


Рис. 3.7. Выправление русла поперечными и продольными сооружениями: 1 – продольная дамба; 2 – трасса судового хода; 3 – полузапруды

В пределах городской или промышленной территории функцию выправительных берегоукреплений выполняют набережные.

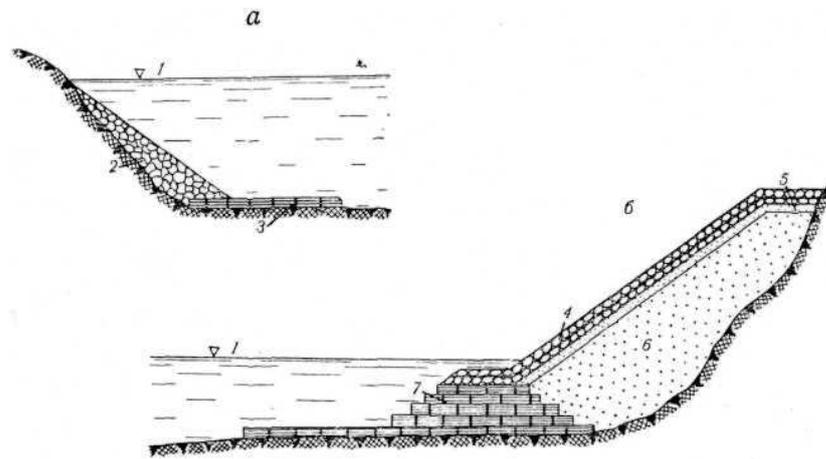


Рис. 3.8. Берегоукрепление:

*a* – каменной наброской; *б* – фашинными тюфяками и мощением камнем; 1 – меженный горизонт; 2 – наброска камня; 3 – фашинный тюфяк; 4 – двойная мостовая; 5 – подготовка; 6 – рефулированный грунт; 7 – тюфячная кладка в виде каменной наброски или фашинной тюфячной кладки с мощением в верхней части

### 3.6. КАНАЛЫ

Каналом называют искусственное открытое русло правильной формы, построенное в выемке или в насыпи грунта.

По назначению различают каналы судоходные, ирригационные (обводнительные), осушительные, энергетические (подводящие воду к гидроэлектростанции), водопроводные и комбинированные. Назначение канала определяет его размеры. В настоящем параграфе рассматриваются только судоходные каналы (рис. 3.9).

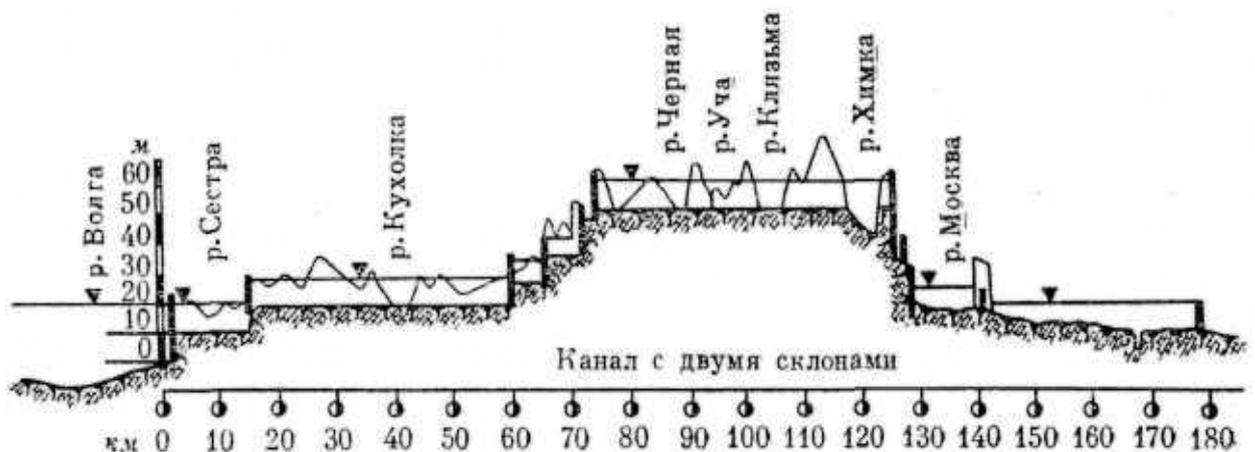


Рис. 3.9 Продольное сечение канала им. Москвы

Судоходные каналы по форме и размерам поперечного сечения

должны обеспечивать беспрепятственное прохождение по ним судов, передвижение плотов и т.п. Они подразделяются на каналы морские и внутреннего плавания, причем первые отличаются от вторых большими размерами поперечного сечения и значительными глубинами.

Все судоходные каналы делятся на соединительные, подходные и обходные.

Соединительные каналы строят для морей или смежных бассейнов рек. Они обычно включают в себя такие сооружения, как плотины, шлюзы, насосные станции и другие, которые создают искусственные водохранилища и бьефы, обеспечивающие возможность прохождения и маневрирования судов. Питание этих бьефов обеспечивается подкачкой воды насосными станциями. Примерами таких каналов в нашей стране служат канал им. Москвы (соединяющий Волгу с Москвой-рекой), Волго-Донской (соединяющий реки Волгу и Дон) и Беломорско-Балтийский каналы, Волго-Балтийский водный путь и др. Подобные соединительные каналы имеются во Франции, США и других странах. Крупнейшими морскими соединительными каналами являются Суэцкий, Кильский (рис. 3.10, *а*), Панамский (рис. 3.10, *б*).

Подходные каналы устраивают для подхода судов к портам, для входа в устья рек, для подхода к шлюзам. Среди подходных каналов много морских, например каналы для подхода к Санкт-Петербуржскому и Калининградскому портам, для входа в устье рек Волги и Урала и др.

Обходные каналы сооружают для обхода какого-либо препятствия при движении судов и могут быть как со шлюзами, так и без них. Типичными примерами обходных каналов являются Приладожский, Онежский и Белозерский, позволяющие речным судам обходить крупные озера, в которых часто бывает неблагоприятный ветроволновой режим, мешающий нормальному судоходству.

По отношению к естественной поверхности местности, по которой проходит канал, ложе его может располагаться ниже этой поверхности в глубокой или мелкой выемке (рис. 3.11, *а*, *б*), а также в полувыемке-полунасыпи (рис. 3.11, *в*). При пересечении оврагов и долин рек иногда канал приходится поднимать выше естественной поверхности, располагая его в насыпи (рис. 3.11, *г*).

Такое решение, так же как и расположение канала в глубокой выемке, является тяжелым и требует проведения больших объемов земляных работ.

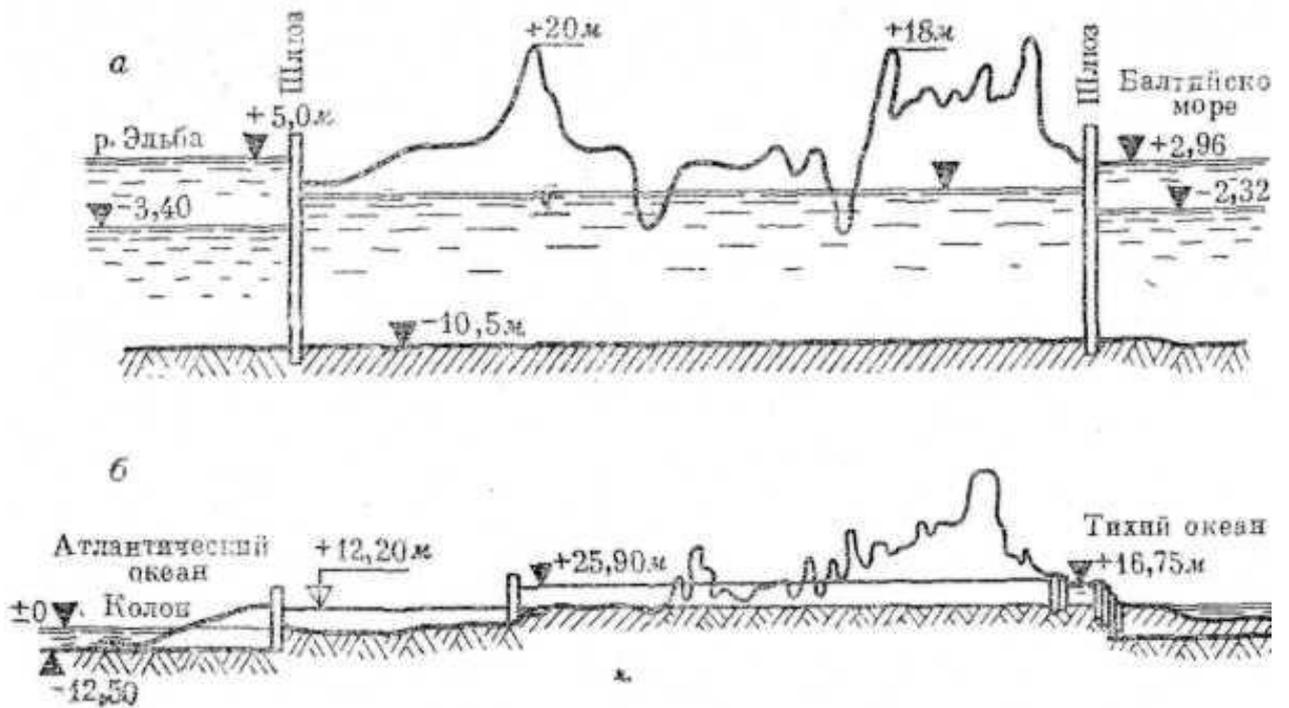


Рис. 3.10. Морские соединительные каналы: *а* – Кильский;  
*б* – Панамский

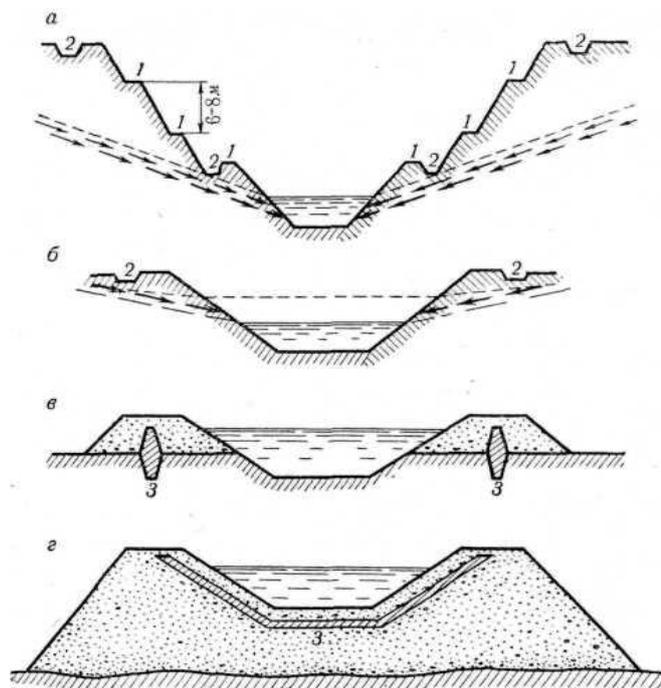


Рис. 3.11. Поперечные профили каналов:  
*а* – в глубокой выемке; *б* – в мелкой выемке; *в* – в полувыемке - полунасыпи;  
*г* – в насыпи; 1 – бермы; 2 – кюветы;  
3 – противофильтрационные краны

Устойчивость откосов канала, зависящая прежде всего от геологического строения массива пород, слагающих откос, и их механических свойств, представляет собой сложный вопрос. В пределах части откоса, затопленной каналом, одним из важных факторов, определяющих устойчивость, является размывающая деятельность потока,двигающегося по каналу. Более высоко расположенная часть откоса проектируется как откос выемки, но с учетом гидродинамических сил грунтовых вод, дренируемых выемкой (если такие воды имеются). Трасса канала в плане должна быть по возможности прямолинейной. Однако на практике она всегда имеет повороты и изгибы. Для того чтобы судно могло преодолеть эти закругления, их радиус должен быть не менее трех длин судна.

### ***3.7. ШЛЮЗЫ И СУДОПОДЪЕМНИКИ***

Шлюзование рек – одно из основных мероприятий, коренным образом улучшающих судоходные условия. Оно состоит в постройке плотин, поднимающих уровень воды на определенном участке реки, и камерных шлюзов, обеспечивающих переход судна с одного уровня на другой (рис. 3.12).

Для обеспечения необходимых судоходных глубин в меженное время на шлюзованном участке реки возводится ряд плотин со шлюзами при них (рис. 3.12). Местоположение и высоту этих сооружений выбирают так, чтобы подпор, создаваемый нижераспологаемой плотиной, распространялся до вышераспологаемой. Инженерно-геологические условия являются одним из основных и часто решающих факторов в выборе места расположения гидроузла, а следовательно, и определяющими в установлении высоты плотины.

Плотины со шлюзами делят реку на ряд соприкасающихся между собой участков – бьефов. По отношению к плотине различают: верхний бьеф – участок реки, расположенный выше по течению, и нижний бьеф – расположенный ниже плотины.

Судоходный камерный шлюз представляет собой напорное гидротехническое сооружение, предназначенное для пропуска водного транспорта из одного бьефа в другой (рис. 3. 13).

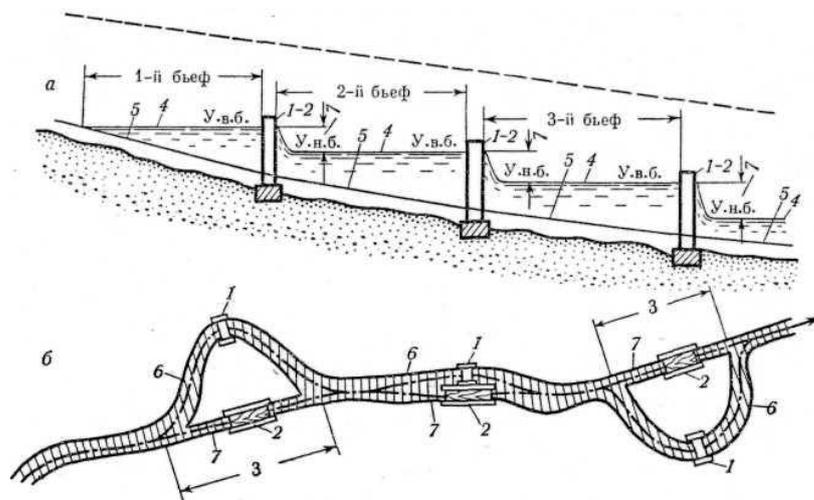


Рис. 3.12. Схема шлюзования реки:

*a* – продольный профиль; *б* – план; 1 – плотина; 2 – шлюз; 3 – канал; 4 – меженный уровень после шлюзования; 5 – меженный уровень до шлюзования; 6 – фарватер до шлюзования; 7 – фарватер после шлюзования

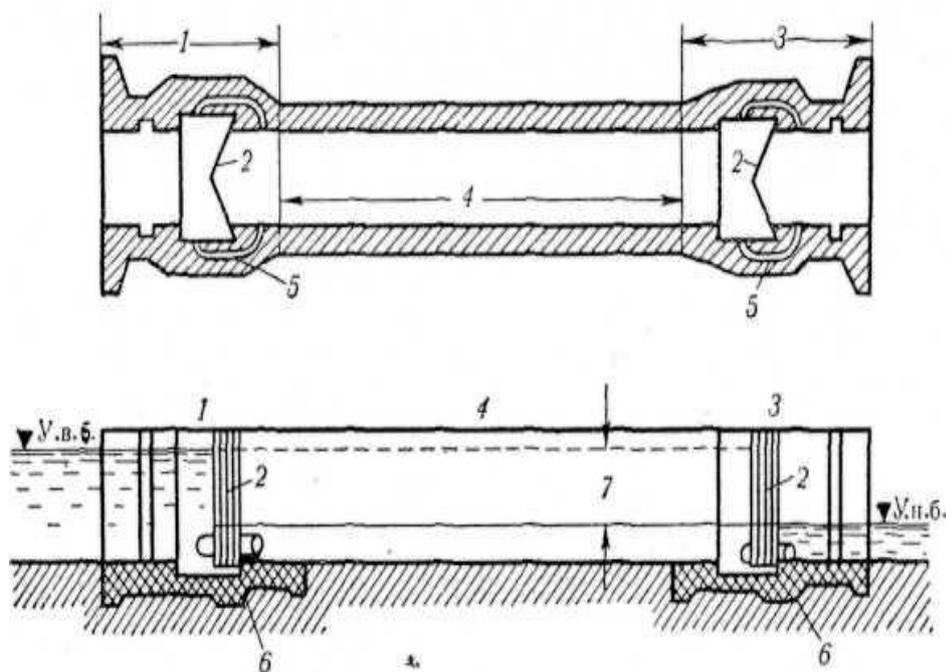


Рис. 3.13. Судходный камерный шлюз:

1 – верхняя голова; 2 – ворота; 3 – нижняя голова; 4 – камера; 5 – водопроводная галерея; 6 – порог (король); 7 – напор шлюза

Шлюз состоит из камеры, в которой располагаются суда во время шлюзования, и верхней и нижней голов, соединяющих камеру с

верхним и нижним бьефом. В головах шлюза располагаются ворота или особые затворы, обеспечивающие поддержание в камере нужного уровня воды и открывающиеся для пропуска судов. Для наполнения и опорожнения камеры устраивают водопроводящие галереи, оборудованные соответствующими затворными устройствами.

Располагают шлюзы либо в русле реки у одного из берегов, в верхнем или нижнем бьефе, либо в обводном канале (рис. 3.14). Судоходные шлюзы в зависимости от напора и пропускной способности сооружают различных типов.

Современные шлюзы строят из различных материалов, в основном из бетона и железобетона, а такие конструкции, как ворота, затворы и т.п., — из металла.

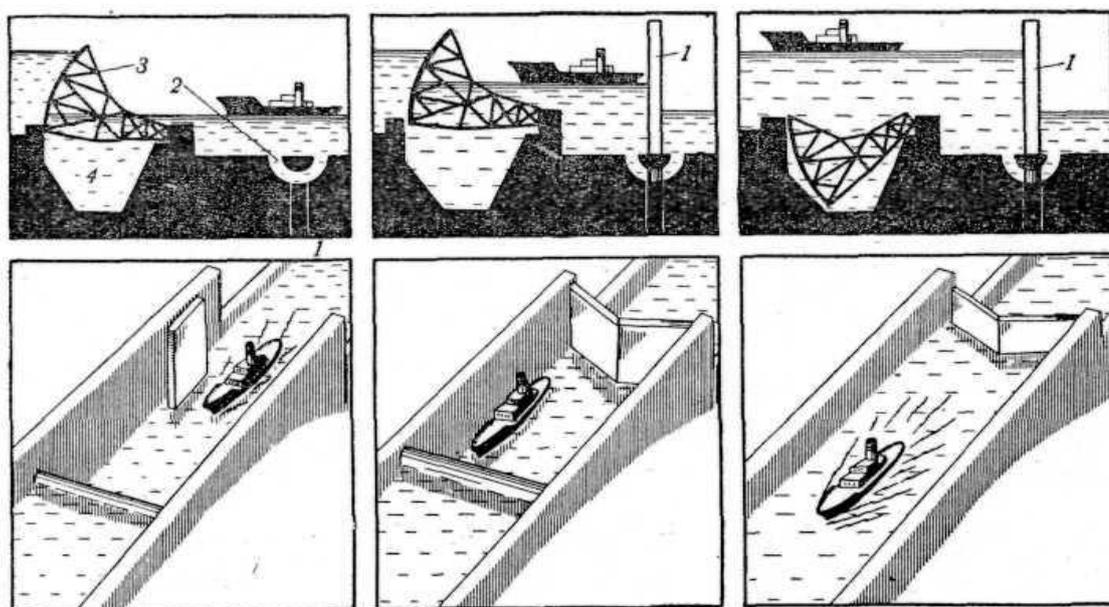


Рис. 3.14. Схема работы шлюзовых ворот и затворов при шлюзовании: 1 — щитовые ворота; 2 — водопроводная галерея; 3 — сегментный затвор; 4 — подводная

Наиболее ответственной частью шлюза являются шлюзовые ворота или другие специальные затворы, обеспечивающие пропуск судов в шлюзовую камеру и обратно. По конструкции среди них различают двухстворчатые или одностворчатые, плоские подъемные или опускные, сегментные и секторные (рис. 3.14). Часть из них вращается вокруг вертикальной оси (двухстворчатые), а большинство — вокруг горизонтальной.

Порядок шлюзования в зависимости от характера движения (одностороннего и двухстороннего) бывает различным. Однако перед шлюзованием камера должна быть подготовлена и уровень воды в ней должен быть выровнен с уровнем того бьефа, откуда начнется движение судов. Для этого открытием водопроводных галерей производится наполнение (через верхнюю голову шлюза) или опоражнивание (через нижнюю голову) камеры шлюза и после этого открывают соответствующие ворота.

После захода судна в камеру ворота закрываются и проводится основная операция шлюзования: при проходе из нижнего бьефа в верхний камера заполняется, а при проходе в обратном направлении – опоражнивается. После выравнивания уровня в камере с бьефом, куда идет судно, открывают вторые ворота, и судно покидает шлюзовую камеру.

В ряде случаев для перевода судов из нижнего бьефа в верхний и обратно, а также из канала, расположенного на одном уровне, в канал, текущий на другой высоте, применяют особые устройства, называемые судоподъемниками (рис. 3.15).

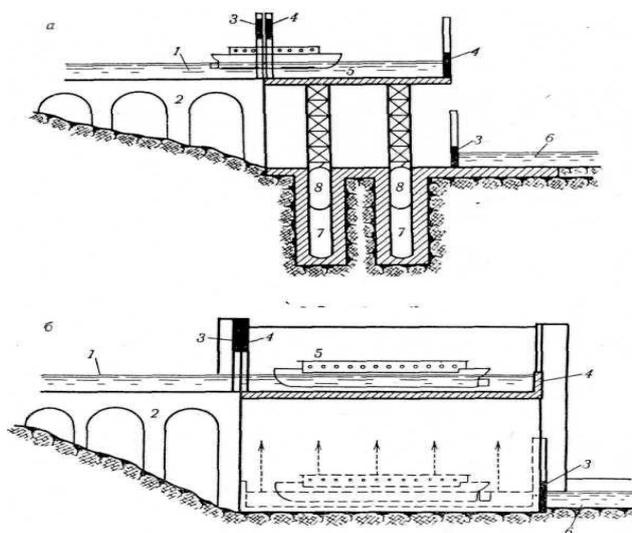


Рис. 3.15. Схемы судоподъемников:

- а* – гидравлического; *б* – механического: 1 – подходной канал верхнего бьефа; 2 – акведук; 3 – ворота *а* торцовых частях канала; 4 – ворота камеры; 5 – камера; 6 – канал нижнего бьефа; 7 – шахты гидравлического подъемника; 8 – поплавок с фермами

Их строят в тех случаях, когда для шлюзования в подобных условиях в многокамерном шлюзе потребовалось бы слишком много времени. В настоящее время в России еще действующий судоподъемник имеется на Красноярской ГЭС и Братской ГЭС. В обоих случаях судоподъемники преодолевают разность в уровнях между нижним и верхним бьефами, равную примерно 100 м, и заменяют многокамерные шлюзы, с примерно, 6 – 8 камерами.

### **3.8. ПОРТЫ**

Порт – это прибрежный пункт на берегу моря, озера или реки, имеющий пристань и обладающий удобными подходами для судов. Со стороны берега порт должен быть связан с сетями железных и автомобильных дорог. Портовое хозяйство, кроме причалов, должно иметь все необходимые устройства для погрузки и разгрузки судов и перегрузки с сухопутных транспортных средств на суда и обратно. Кроме того, в порту должны быть устройства для обслуживания пассажиров, склады для хранения грузов, сооружения по навигационному обслуживанию судов, а также службы снабжения топливом, водой и материалами. В целом порт представляет собой сложный транспортный узел, обладающий в современных условиях высокой степенью механизации погрузочно-разгрузочных работ, сложными коммуникациями, а также средствами связи и сигнализации.

Для выполнения своих функций порт должен иметь удобную акваторию – водное пространство в пределах границ порта, состоящую из водных площадей, судовых ходов и подходов к причалам, имеющих достаточные глубины и ширину для беспрепятственного прохода и маневрирования. Кроме того, порт должен иметь рейд – часть акватории за пределами судового хода, где суда могут отстаиваться и где можно производить различные операции на плаву. На берегу порт должен иметь территорию, примыкающую к акватории, где размещаются портовые сооружения, производственные, административные и коммунальные здания, а также подъездные пути к причалам, складам и другим службам порта.

Причальный фронт порта состоит из отдельных причалов, оборудованных устройствами для швартовки судна и механизмами для погрузочно-разгрузочных работ (в том числе и для посадки и высадки

пассажиров).

Все порты можно разделить на две основные группы: порты внутренних водных путей и морские порты.

По расположению относительно русла реки порты делятся на русловые, внерусловые и смешанные. В русловом порту причалы располагаются вдоль одного или обоих берегов (рис. 3.16), тогда как во внерусловом они помещены в заливе, затоне или в искусственно вырытом ковше вне русла реки и соединяются с ним специальным судовым ходом. В порту со смешанным расположением причалы оборудуются как в основном русле реки, так и в затоне, заливе или искусственном бассейне.

Морские порты, так же как и порты внутренних водных путей, могут располагаться в различных условиях: в естественных защищенных или частично защищенных от волнения бухтах (рис. 3.17, а); на открытом морском побережье (рис. 3.17, б); в устьях судоходных рек; внутри территории, расположенной на искусственных каналах.

Порты, располагаемые в хорошо защищенных от волнения естественных бухтах (Владивосток, Мурманск и др.), не требуют возведения оградительных сооружений, тогда как располагаемые на открытом побережье (Сочи и др.) должны защищаться специально возведенными дамбами, молами, волноломами.

Многие порты располагают и в частично защищенных естественных бухтах (Новороссийск, Одесса и др.) или лагунах, отдаленных от моря песчаной косой (Ильичевск около Одессы, Балтийск и др.). В этом случае объем защитных мероприятий оказывается значительно меньшим, чем для портов на открытом побережье.

Часто порты располагаются в устьях рек или на небольшом расстоянии вверх по реке (Санкт-Петербург, Архангельск, Лондон, Гамбург и др.), в отдельных случаях на значительном расстоянии (Дундинка и Игарка на Енисее, Монреаль на р. Св. Лаврентия – последний на расстоянии свыше 1300 км от устья).

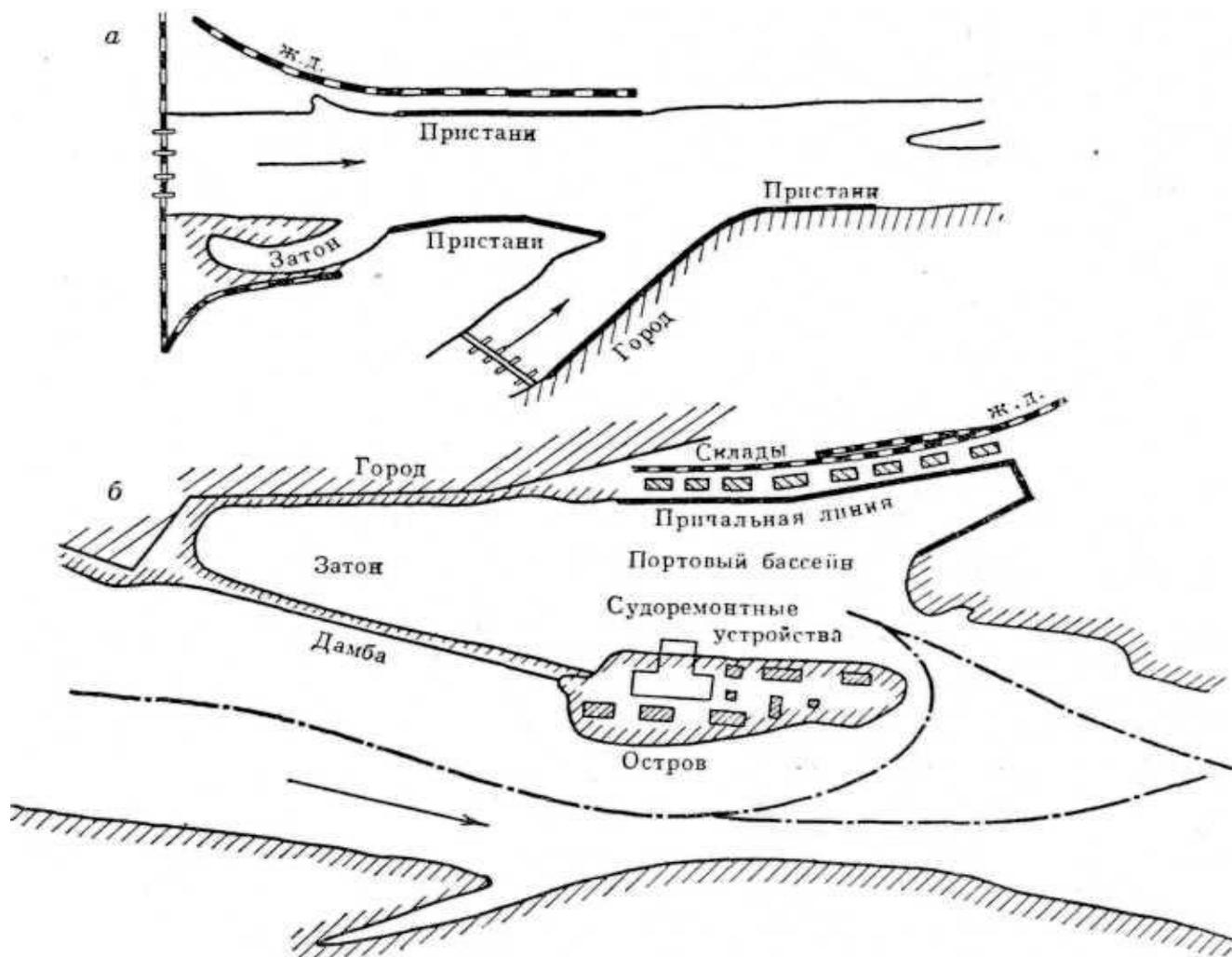


Рис. 3.16. Речные порты: *а* – русловой; *б* – внерусловой

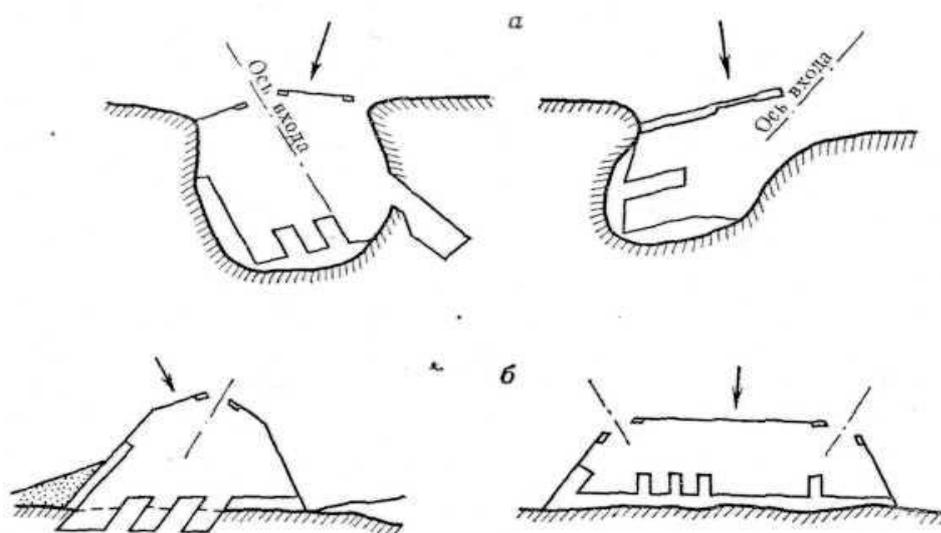


Рис. 3.17. Морские порты:

*а* – в полузатищеных бухтах; *б* – на открытом побережье

### ***3.9. ПОРТОВЫЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ И НАБЕРЕЖНЫЕ***

Среди разнообразных сооружений современного порта основными являются гидротехнические сооружения. По своему назначению они разделяются на: внешние оградительные (молы, волноломы, ледозащитные и т.п.), служащие для защиты портовых акваторий и подходов к ним; причальные, возводимые непосредственно у берега (набережные) и вблизи него (эстакады, пирсы); берегоукрепительные, защищающие участки берега от разрушения волнами или течением; судоремонтные (эллинги, слипы, доки), служащие для подъема судов из воды на время ремонта.

По условиям опирания на основания портовые гидротехнические сооружения могут быть гравитационного типа, свайными или сооружениями на сложном основании. Гравитационные – это тяжелые сооружения, устойчивость которых обуславливается их большим весом; они могут быть сплошными или в виде отдельных массивных опор, связанных верхним строением. Свайные портовые сооружения – это либо тонкие (шпунтовые) стенки, либо свайные ростверки с эстакадами и т.п. При сложных основаниях применяют сваи оболочки большого диаметра, опускные колодцы или кессоны, заглубляемые ниже дна водоема.



Защитные оградительные сооружения, стоящие изолированно от берега, называют волноломами, а примыкающие к берегу – молами.

По форме сечения оградительные сооружения могут быть откосного профиля (рис. 3.18, *а*), вертикального (рис. 3. 18, *б*) или смешанного (рис. 3.18, *в*); у последних нижняя часть представляет собой откосное сооружение, а верхняя – вертикальную стенку. В ряде случаев сооружения вертикального профиля возводят в виде свайной конструкции с применением обычных железобетонных свай, шпунтовых цилиндров, а также колонн-оболочек.

Оградительные сооружения откосного профиля чаще всего возводят из каменной наброски, для чего используют рваный камень и обломки скальных пород (от изверженных до прочных осадочных) весом от 10 – 15 кг до нескольких тонн. При небольших глубинах и слабом волнении камень может быть несортированным, и его укладывают с откосами 1: 3 – 1:5 (волнение иногда уполаживает их до 1: 8 – 1: 12 и приходится производить досыпку сооружения). Крутизна наружного откоса, воспринимающего удары волн, должна быть меньше, чем тылового, поэтому сооружения этого типа имеют несимметричный профиль. В нижней части откоса, на глубине, равной примерно двойной высоте волны, делается перелом профиля, и уклон ко дну увеличивается. В зоне обрушения волн откос имеет наименьший уклон. Гребень сооружения обычно располагают несколько выше наката волны.

В районах сильного волнения при высоте волн более 5 м для обеспечения устойчивости откос нужно покрывать глыбами камня весом более 15 т.

Получение таких естественных блоков – монолитов часто не представляется возможным, и тогда откосные сооружения возводят из наброски сортированного камня с покрытием откосов бетонными массивами весом до 50 – 60 т (рис. 3.19).

Если в районе строительства нет камня, пригодного для каменной наброски, то сооружения этого типа возводят целиком из наброски искусственных массивов, имеющих форму параллелепипедов, тетраподов и т.п. Для таких сооружений, возводимых на слабом основании (на мягких и неустойчивых грунтах), обязательно устройство каменно-набросной, а в ряде случаев и песчано-гравийной постели.

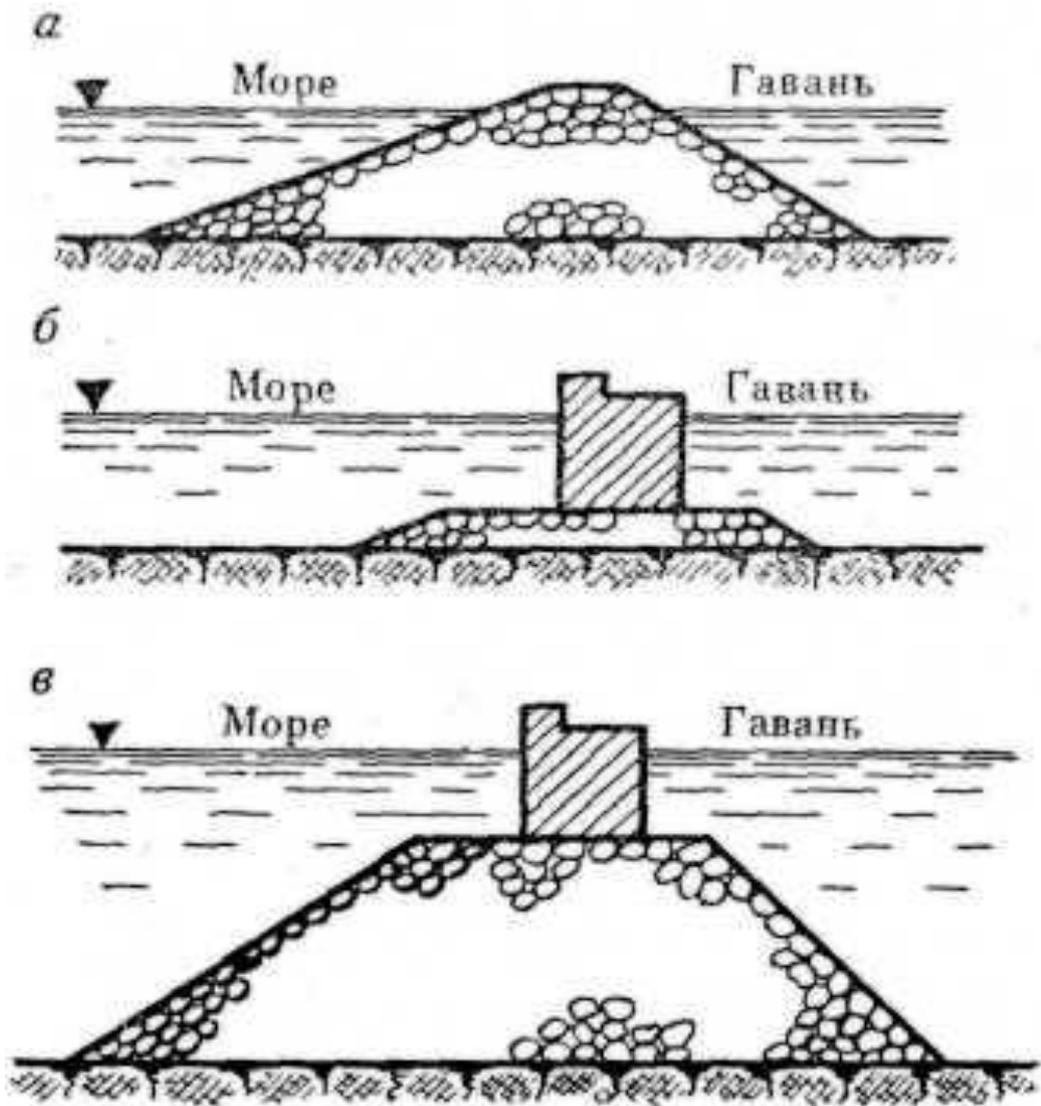


Рис. 3.18. Типы оградительных сооружений:  
 а – откосные; б – вертикальные; в – смешанные

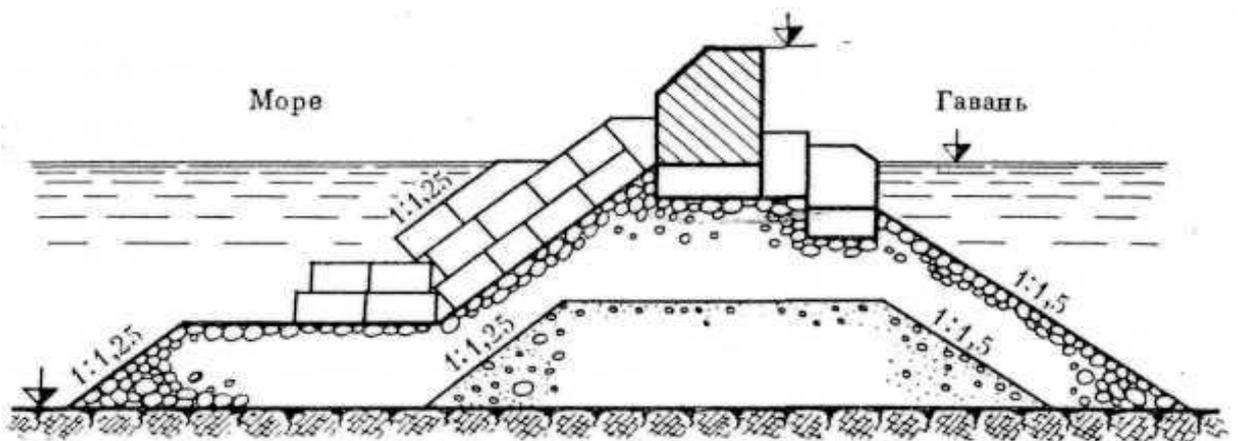


Рис. 3.19. Каменнотнабросное сооружение с покрытием откоса  
 кладкой из массивов

В последние годы наряду с массивами-гигантами широко стали использоваться сваи-оболочки. Это стало возможно благодаря применению вибрационного метода погружения. Применение данного типа сооружения часто оказывается более экономичным, чем применение гравитационных, так как позволяет сократить объем бетона подводной части сооружения и заменить часть его более дешевым грунтом (в случае ячеистых шпунтовых цилиндров или тонкостенных бетонных оболочек, заполняемых грунтом) (рис. 3.20).

Причальные сооружения предназначены для стоянки судов при портовых погрузочно-разгрузочных операциях. В морских портах это преимущественно вертикальные сооружения (рис. 3.20), тогда как в речных портах, расположенных на реках со значительным колебанием горизонта вод, — также и откосные. Сооружения, представляющие собой отделку берега реки, портового бассейна или другого водоема, называют набережной. Рейдовые причальные сооружения могут выполняться в виде пирсов.



По конструктивным особенностям набережные и пирсы могут быть гравитационными, свайными и смешанного типа. Строят их из бетона, железобетона, камня и дерева, часто с применением металло-

конструкций, однако в современных сооружениях преобладает бетон и железобетон (по возможности с применением сборных элементов). Среди этих сооружений широко распространены свайные конструкции, что является во многих случаях следствием особенностей геологического строения береговых территорий, в пределах которых в верхних горизонтах часто развиты грунты с низкой несущей способностью. Поэтому для надежного опирания сооружений сваи погружают до более глубоколежащих пород. В речных и водохранилищных условиях при малых колебаниях горизонта вод в водоеме, а также при малой высоте набережной над уровнем воды применяют шпунтовые заанкеренные стенки (рис. 3.20, г).

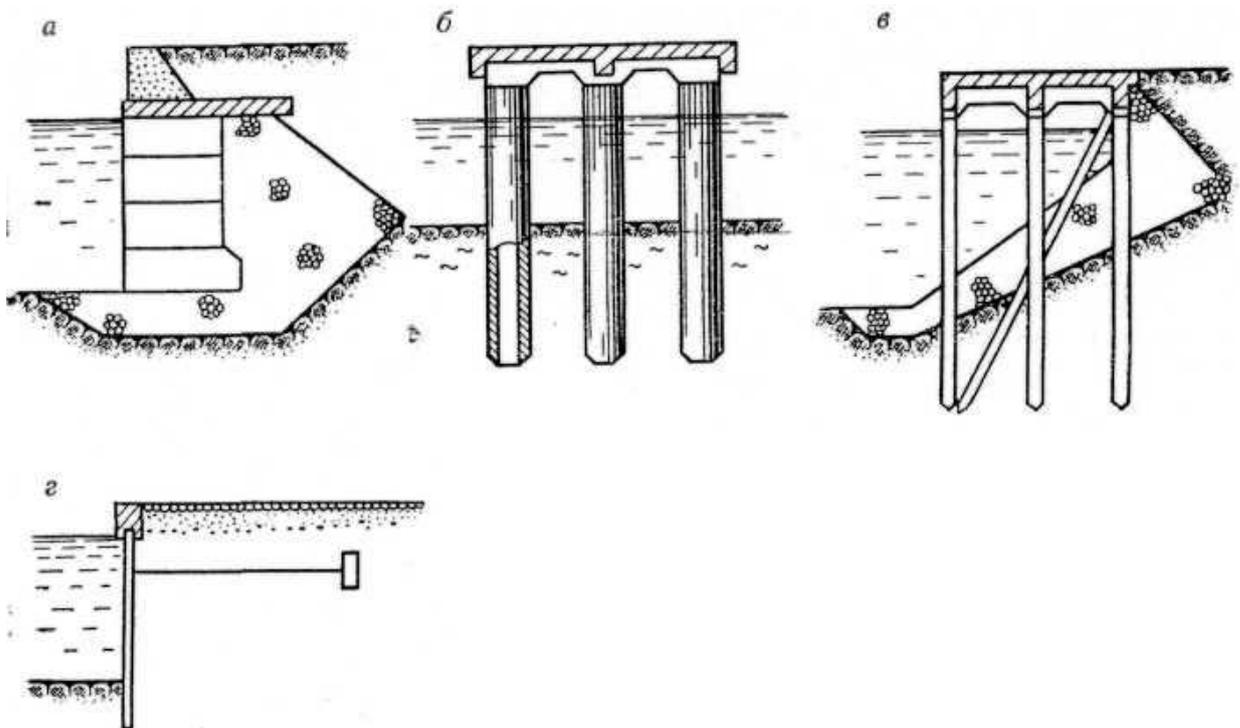


Рис. 3.20. Типы вертикальных причальных сооружений:

*а* – гравитационная причальная стенка; *б* – пирс на колоннах-оболочках; *в* – свайная набережная; *г* – шпунтовая набережная

В крупных морских портах, где к причалу должны подходить суда с глубокой осадкой, причальные сооружения выполняются в виде высоких и мощных конструкций (гравитационных подпорных стен – набережных, высоких свайных пирсов и т.п.). При их расчете учитываются не только нагрузки, создаваемые распором грунта за стеной сооружения и навалом судна, но и нагрузки от погрузочно-разгрузочных механизмов, сухопутных транспортных средств и т. п.

Во многих случаях в целях экономии материалов их делают «сквозной» (рис. 3.20, б, в) конструкции.



Берегоукрепительные сооружения служат для защиты берега и примыкающих территорий от разрушительного действия волн и течений. В ряде случаев их применяют также и для расширения городских и портовых территорий.

Для морских берегов наиболее мощным разрушающим фактором являются волны, поэтому берегоукрепительные сооружения направлены преимущественно против действия этих сил. Здесь существуют два способа защиты: пассивная, когда возводят волнозащитные сооружения, воспринимающие на себя энергию волн и гасящие ее; и активная, когда возводят сооружения, задерживающие наносы, в результате чего образуется защитная полоса пляжа, на которой разрушается волна, подходящая к берегу. При первом способе берег одевают мощными подпорными обычно гравитационными стенами с круто-криволинейными морскими гранями. Такие сооружения можно возводить главным образом на прочном устойчивом основании. При втором способе создается система поперечных сооружений – бун и продольных волноломов (затопленных или незатопленных; (рис. 3.21), удерживающих и накапливающих наносы, образующие пляжную зону. Возведение таких сооружений возможно при любых геологических условиях берега, хотя конструкция сооружений будет выбираться исходя из конкретных особенностей геологической обстановки. Второй способ, если удастся сразу создать достаточную ширину пляжной зоны, оказывается весьма эффективным.

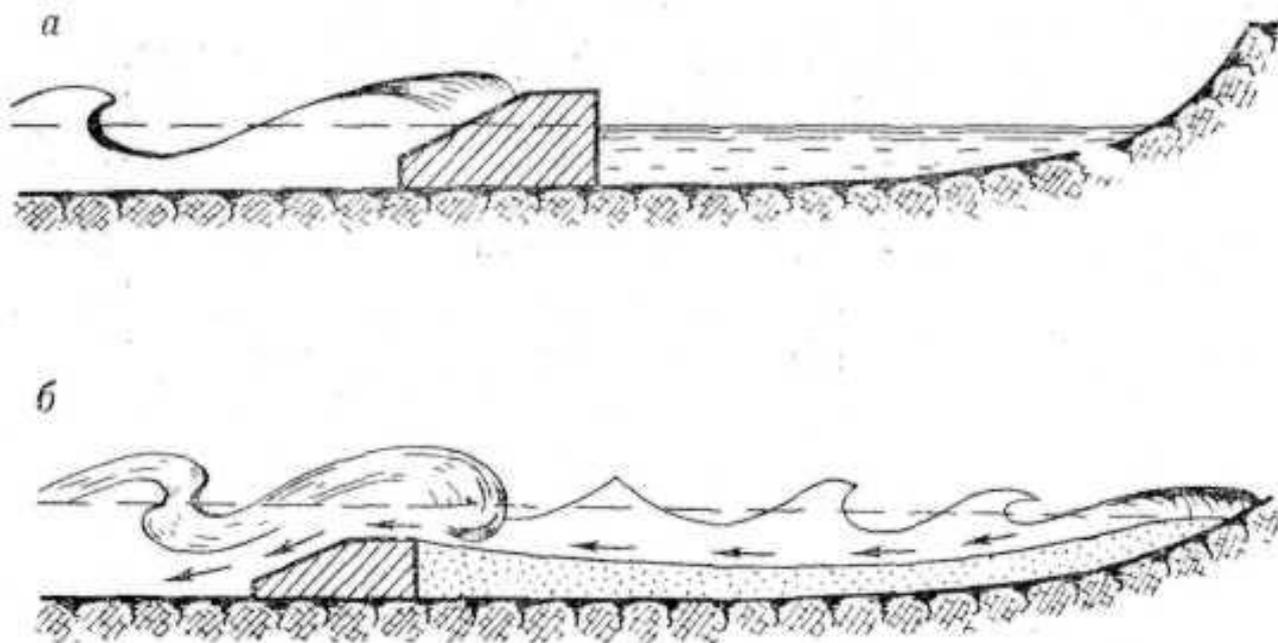


Рис. 3.21. Продольные волноломы:  
*a* – незатопленный; *б* – затопленный

Укрепление речных берегов в пределах городских и портовых территорий, так же как и берегов внутри морских портов, производится с помощью подпорных стен различной конструкции. Во многих случаях это массивные подпорные (рис. 3.22) или более легкие

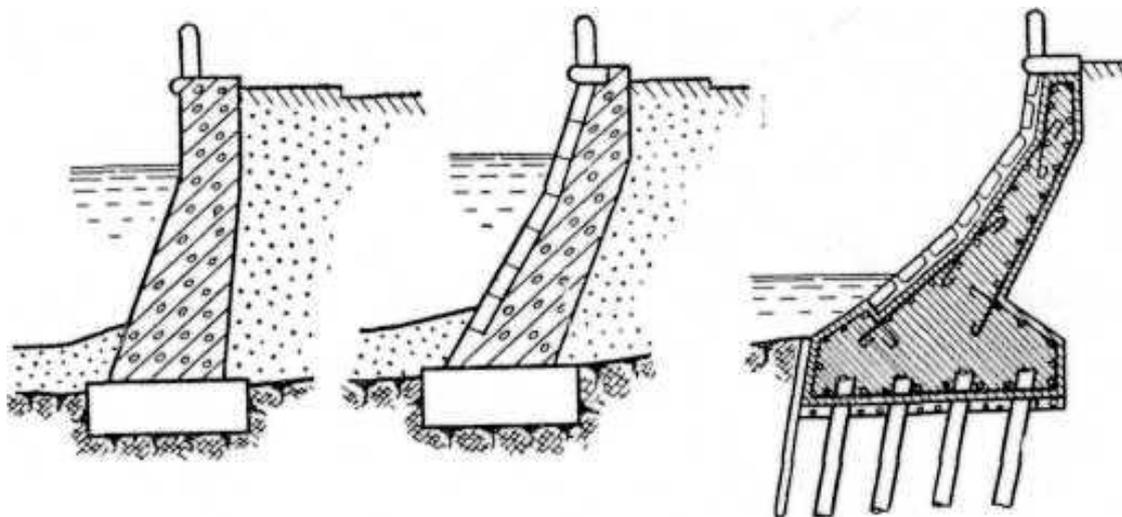


Рис. 3. 22. Массивные подпорные стенки набережных

«одевающие» стенки, основным назначением которых является защита берега от размыва течением и небольшим волнением. Кроме того, эти сооружения создают благоустроенную прибрежную территорию – набережную, используемую для транспортных и других це-

лей. Во многих населенных пунктах и городах набережные входят в комплексы парковых зон и зон отдыха. Таковы набережные в городах-курортах Сочи, Ялте и других, а также в Москве, Санкт-Петербурге, Волгограде и других городах. В настоящее время берегоукрепительные сооружения набережных возводят преимущественно из бетона и железобетона, применяя в отдельных случаях декоративные камни (гранит и др.) в качестве отделочных материалов.

### **3.10. СООРУЖЕНИЯ НА ИРРИГАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

Очень крупным разделом гидротехники является строительство сооружений, входящих в ирригационные системы, служащие для орошения сельскохозяйственных угодий в зонах недостаточного увлажнения и повышения тем самым урожайности полей.

Ирригационные системы могут быть постоянно действующими или периодическими, причем первые из них бывают самотечными или с механической подачей воды насосами.

В состав ирригационной системы входят следующие звенья:

- 1) источник орошения, питающий систему, – обычно это река с незарегулированным или зарегулированным стоком;
- 2) головное сооружение или водозабор, забирающий воду из источника орошения;
- 3) магистральный канал;
- 4) оросительная сеть, состоящая из распределителей, оросителей, выводных каналов и борозд.

*Источник орошения* должен давать воду нужного качества, в количестве, достаточном для покрытия нужд орошения данной площади, и в режиме, удовлетворяющем режиму системы орошения.

*Головные сооружения*, располагаемые в голове системы оросительных каналов (и поэтому так называемых), состоят из собственно водозабора и комплекса других гидротехнических сооружений, входящих в состав гидроузла; плотины, сооружений по регулированию речного потока, гидростанции, судоходных и других устройств.

Основным элементом головных сооружений всякого ирригационного гидроузла является *водозабор*. Различают два основных типа водозаборов:

- бесплотинные, применяют в случае, когда забор воды можно обеспечить без регулирования естественного уровня и расхода воды в реке;

- плотинные, сооружают, когда для поступления воды в ирригационную систему нужно поднять уровень воды выше низкого меженивого уровня или когда нужно обеспечить регулирование расхода воды путем накопления ее в водохранилище.

Наиболее простым бесплотинным водозабором является открытый канал без каких-либо сооружений в его голове.

### **3.11. СООРУЖЕНИЯ НА ОСУШИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ**

Искусственное осушение территорий применяется преимущественно в областях умеренного климата, где количество осадков превышает испарение и сток и где в результате этого происходит заболачивание территорий, сопровождающееся высоким стоянием уровня грунтовых вод. Проводят осушение как для сельскохозяйственного использования территории, так и для благоустройства площадок промышленных предприятий или населенных пунктов. В ряде случаев осушение проводят на уже освоенных участках речных долин, где в результате создания водохранилищ происходит подъем уровня грунтовых вод.

В инженерной практике существуют две основные схемы работы осушительных систем: горизонтальная и вертикальная. Иногда применяют комбинированную, или смешанную, систему.

В практике сельскохозяйственного осушения наибольшее распространение получила горизонтальная система, тогда как при осушении промышленных площадок и территорий населенных пунктов – вертикальная или комбинированная.

*Горизонтальная система* осушения с самотечным отводом вод применяется тогда, когда заболачивание обусловлено замедленным поверхностным стоком, но уклон местности достаточен для нормальной работы водоотводящих устройств.

Горизонтальная система осушения состоит из следующих элементов:

- 1 - нагорной канавы, защищающей территорию от притока поверхностных вод;

2 - осушительной сети канав или дрен, непосредственно осушающих верхнюю часть грунтовой толщи и снижающих уровень грунтовых вод;

3 - водоотводящих каналов (собирателей, коллекторов и магистрального канала), отводящих собранную воду в водоприемник.

Различают следующие типы горизонтального осушения: открытый, закрытый, промежуточный (смешанный или комбинированный).

При открытой системе все каналы, от осушителей до магистрального канала, выполняются в виде открытых траншей, тогда как при закрытой системе все они сверху закрыты. Открытая система является наиболее дешевой при строительстве и эксплуатации, но существенно сокращает осушаемую территорию и ухудшает возможности механизированной обработки почвы, транспортного и строительного использования территории и т.п. Поэтому в настоящее время ее применяют только в сельскохозяйственных целях и далеко не повсеместно.

Закрытая система обходится значительно дороже при строительстве и более сложна в эксплуатации (особенно при необходимости ремонта), однако она позволяет вести любые работы на поверхности, создает более безопасные условия для транспорта, передвижения людей и сельскохозяйственных животных. Кроме того, она более долговечна.

*Вертикальная система* позволяет добиться осушения местности, которая не имеет уклонов, нужных для свободного водоотвода, поэтому ее чаще всего применяют с принудительной откачкой воды.

Смешанная система, при которой в качестве осушителей могут работать горизонтальные дрены, а собранная вода из водосборных колодцев откачивается насосами, применяется примерно в тех же условиях, что и вертикальная.

Все элементы современных осушительных систем должны быть постоянно действующими, поэтому они выполняются как инженерные сооружения, т.е. после проведения достаточного комплекса инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий и проектирования.

### **3.12. СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И КАНАЛИЗАЦИИ**

Для обеспечения жизни и хозяйственной деятельности человека в современных условиях требуется большое количество воды, которое расходуется на хозяйственно-питьевые нужды, на обеспечение производства и на тушение пожаров. Величина удельного водопотребления на хозяйственно-питьевые цели на одного человека колеблется в больших пределах и в зависимости от совершенства организации поселения составляет от 60 – 80 л в сутки. В поселках городского типа, не оборудованных канализацией, вода составляет до 200 – 250 л в сутки и больше в городах при горячем водоснабжении, наличии ванн и душей в квартирах у населения и при канализационном отводе использованных вод. Для крупного современного города с населением около 1 млн. человек только на эти нужды необходимо подавать не менее 200 тыс. м<sup>3</sup> воды в сутки.

Обеспечение водой городов и населенных пунктов, включая промышленные и сельскохозяйственные предприятия, расположенные в них, осуществляется комплексом инженерных сооружений, входящих в систему *водопровода*.

Использованная загрязненная вода сбрасывается и отводится от водопотребителя комплексом сооружений, входящих в систему *канализации*.

#### **3.12.1. Водопроводы**

Существуют две основные системы водоснабжения: прямоточная и обратная. В ряде случаев применяют комбинированные, т.е. с частичным оборотом воды.

Прямоточная система предусматривает забор воды из источника, распределение по потребителям и использование ее, после чего проводится сброс ее в канализационную сеть или другие приемные сооружения сточных вод. При этой системе вода полезно используется только один раз.

Обратная система предусматривает многократное использование воды, взятой из источника, путем возврата ее после участия в том или ином технологическом процессе на повторную очистку и но-

вое распределение.

Водопровод, питающий водой населенный пункт с его жилым фондом и промышленными предприятиями, включает в себя следующие сооружения (рис. 3.23):

- водоприемник с водоприемным колодцем,
- насосную станцию первого подъема,
- очистные устройства (отстойники и фильтры),
- резервуар чистой воды,
- насосную станцию второго подъема,
- напорную башню,
- сеть магистральных и разводящих трубопроводов.

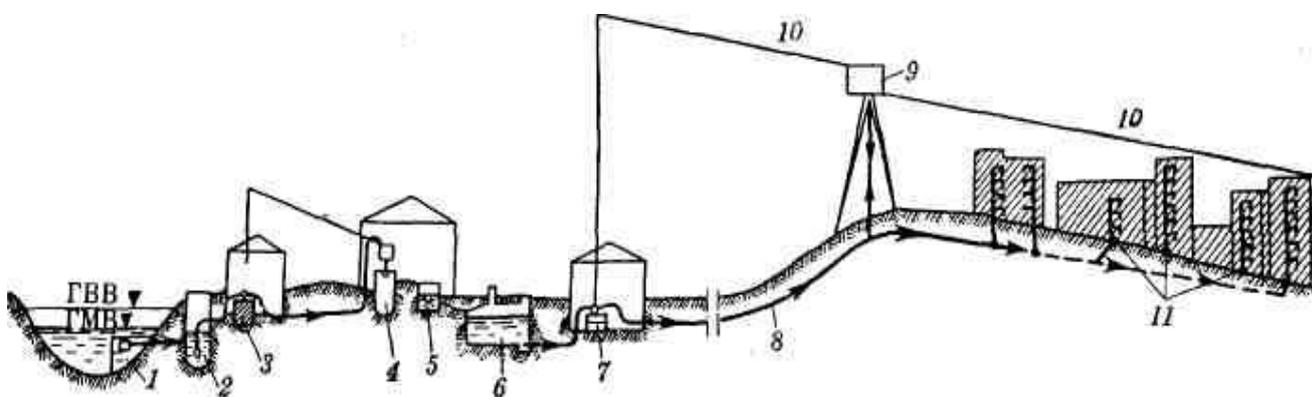


Рис. 3.23. Общая схема водоснабжения:

1 – источник водоснабжения; 2 – водозабор; 3 – насосная станция 1-го подъема; 4 – отстойники; 5 – очистные сооружения; 6 – резервуар чистой воды; 7 – насосная станция 2-го подъема; 8 – магистральный водопровод; 9 – водонапорная башня; 10 – пьезометрические уровни; 11 – распределительная сеть

При базировании водоснабжения на грунтовых или подземных водах это могут быть каптажные или шахтные колодцы, горизонтальные водосборные галереи и т.п. Отсюда насосная станция первого подъема подает воду на очистные сооружения, где она освобождается от всех механических примесей и проходит обезвреживание (обычно хлорирование, а иногда облучение ультрафиолетовыми лучами или озонирование). Очищенная вода собирается в специальные резервуары, откуда насосной станцией второго подъема подается в сеть магистральных и разводящих трубопроводов, в которой постоянный напор поддерживается водонапорными башнями.

Насосные станции водопроводов – это относительно тяжелые сооружения с установленными в них насосно-моторными агрегатами, для нормальной работы которых, учитывая создаваемую ими вибрационную нагрузку, необходимо устройство тяжелых и часто сложных массивных фундаментов.

Магистральные водоводы должны закладываться на глубину, превышающую глубину промерзания грунтов. В условиях современных благоустроенных населенных пунктов их обычно размещают в специальных подземных коммунальных тоннелях – коллекторах, вместе с сетями теплофикации и средств связи.

Магистральные трубопроводы подводят воду к разводящей сети и к потребителям с постоянным напором, поддерживаемым водонапорной башней. Однако этого напора может быть недостаточно для обеспечения подачи воды в верхние этажи многоэтажных зданий. В связи с этим в подобных зданиях устанавливаются дополнительные насосы, поддерживающие во внутреннем водопроводе необходимый напор.

Для водопроводов применяют обычно стальные, асбоцементные и пластмассовые трубы, работающие полным сечением и под напором (рабочее давление 4 – 5 атм).

Очистные сооружения водопроводов входят в каждую систему водоснабжения и должны обеспечивать получение воды надлежащего качества. Для этого должно производиться ее осветление (уменьшение мутности) и обезжелезивание. В ряде случаев, кроме того, производят умягчение, обезжелезивание, опреснение и т.п. Осветление производится путем отстаивания вод в специальных отстойниках и последующего пропускания через фильтры.

### **3.12.2. Канализация**

Удаление всех видов загрязнений в современных благоустроенных населенных пунктах осуществляется путем сплава их через системы канализационных сооружений. Такой метод более экономичен и гигиеничен, чем вывоз нечистот, и находит повсеместное применение. Существуют две основные системы канализации: *общесплавная* и *раздельная*. Первая представляет собой единую систему труб, каналов и очистных сооружений, где все виды сточных

вод отводятся с территории населенных пунктов, очищаются от нечистот и отходов производства и в достаточно очищенном состоянии сбрасываются в водоприемник. При второй системе отвод загрязненных вод и их очистка производятся отдельно: промышленные и бытовые загрязненные воды собираются и отводятся своей системой сооружения, а атмосферные и условно чистые промышленные стоки почти без очистки отводятся системой ливневой канализации (или системой водостоков).

Канализация включает в себя систему сооружений для водоотвода как всех загрязненных вод от жилого фонда и предприятий, так и атмосферных вод (дождевых, от снеготаяния и ливней) и вод, поступающих в водостоки от полива улиц, и т. п.

В ее состав входят: уличная канализационная сеть; насосные станции; очистные устройства; водовыпуски.

Движение сточной жидкости в канализационной сети должно быть безнапорным, поэтому все системы канализационных труб и каналов устраивают с уклонами, обеспечивающими сток этих вод. Обычно загрязненные воды стекают в определенные бассейны, откуда их откачивают насосными станциями перекачки. Вся канализационная сеть должна закладываться ниже глубины сезонного промерзания грунтов.

Канализационные трубы делают чугунными или пластмассовыми (для внутренних сетей), а также керамическими, асбоцементными или железобетонными. Для улучшения условий движения внутреннюю поверхность труб делают, возможно, более гладкой и устойчивой против коррозии. Сечение канализационных труб гораздо большее, чем водопроводных, и для железобетонных коллекторов достигает 2 – 2,5 м<sup>2</sup>. По форме трубы малого сечения (до 150 – 250 мм в диаметре) круглые, а трубы больших сечений – яйцевидные, полукруглые или квадратные. На сети канализационных труб устраивают смотровые колодцы с отстойниками для улавливания тяжелых примесей.

Очистные сооружения канализационных систем работают по трем основным принципам очистки: механической, химико-механической; биологической.

При *механической очистке* улавливаются только крупные нерастворенные примеси, а при *химико-механической* происходит не только выпадение мелких частиц, но и осаждение их из раствора. Последнее осуществляется в специальных отстойниках, где к очищаемой жидкости

прибавляют химические препараты, обеспечивающие реакцию очищения.

Для этих видов очистки строят фильтровые установки и отстойники, по конструкции близкие к очистным сооружениям систем водопровода.

*Биологическая очистка* основана на использовании жизнедеятельности микроорганизмов, ускоряющих окисление органических загрязнений. Производится это в естественных условиях на полях орошения или фильтрационных полях, куда выпускают загрязненные воды.

## **ГЛАВА 4**

### **ДРЕНАЖИ**

#### ***4.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ***

Для защиты заглубленных частей зданий (подвалов, технических подполий, приямков и т.п.), внутриквартальных коллекторов, коммуникационных каналов от подтопления грунтовыми водами должны предусматриваться дренажи. Проектирование дренажей следует выполнять на основании конкретных данных о гидрогеологических условиях места строительства объекта, степени агрессивности подземных вод к строительным конструкциям, объемно-планировочных и конструктивных решений защищаемых зданий и сооружений, а также функциональным назначением этих помещений.

Устройство дренажей обязательно в случаях расположения:

- полов подвалов, технических подполий, внутриквартальных коллекторов, каналов для коммуникаций и т.п. ниже расчетного уровня подземных вод или если превышение полов над расчетным уровнем подземных вод менее 50 см;

- полов эксплуатируемых подвалов, внутриквартальных коллекторов, каналов для коммуникаций в глинистых и суглинистых грунтах независимо от наличия подземных вод;

- полов подвалов, расположенных в зоне капиллярного увлажнения, когда в подвальных помещениях не допускается появления сырости;

- полов технических подполий в глинистых и суглинистых грунтах при их заглублении более 1,3 м от планировочной поверхности земли независимо от наличия подземных вод;

- полов технических подполий в глинистых и суглинистых грунтах при их заглублении менее 1,3 м от планировочной поверхности земли при расположении пола на фундаментной плите, а также в случаях, если с нагорной стороны к зданию подходят песчаные линзы или с нагорной стороны к зданию расположен тальвег.

Для исключения обводнения грунтов территорий и поступления воды к зданиям и сооружениям, кроме устройства дренажей, необходимо предусматривать:

- нормативное уплотнение грунта при засыпке котлованов и траншей;
- как правило, закрытые выпуски водостоков с кровли зданий;
- водоотводящие открытые лотки сечением  $\geq 15 \times 15$  см с продольным уклоном  $\geq 1\%$  при открытых выпусках водостока;
- устройство отмосток у зданий шириной  $\geq 1100$  см с активным поперечным уклоном от зданий  $\geq 2\%$  до дорог или лотков;
- герметичную заделку отверстий в наружных стенах и фундаментах на вводах и выпусках инженерных сетей;
- организованный поверхностный сток с территории проектируемого объекта, не ухудшающий отвод дождевых и талых вод с прилегающей территории.

При общем понижении уровня подземных вод на территории строительства отметки пониженного уровня подземных вод следует назначать на 0,5 м ниже полов подвалов, технических подполий, каналов для коммуникаций и других сооружений. В случае невозможности или нецелесообразности общего понижения уровня подземных вод должны предусматриваться местные дренажи для отдельных зданий и сооружений (или групп зданий).

Местные дренажи, как правило, должны устраиваться в случаях значительного заглубления подземных этажей отдельных зданий при невозможности самотечного удаления дренажных вод [1 – 12].

## ***4.2. ТИПЫ ДРЕНАЖЕЙ***

В зависимости от расположения дренажа по отношению к водоупору дренажи могут быть совершенного или несовершенного типа. Дренаж совершенного типа закладывается на водоупоре. Грунтовые воды поступают в дренаж сверху и с боков. В соответствии с этими условиями дренаж совершенного типа должен иметь дренирующую обсыпку сверху и с боков.

Дренаж несовершенного типа закладывается выше водоупора. Грунтовые воды поступают в дренажи со всех сторон, поэтому дренажирующая обсыпка должна выполняться замкнутой со всех сторон (рис. 4.1).

### ***4.3. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДРЕНАЖЕЙ***

Для составления проекта дренажа необходимы следующие данные и материалы:

- заключение о гидрогеологических условиях строительства;
- план территории в масштабе 1:500 с существующими и проектируемыми зданиями и подземными сооружениями;
- проект организации рельефа;
- планы и отметки полов подвальных помещений и подполий зданий;
- планы, разрезы и развертки фундаментов зданий;
- планы, продольные профили и разрезы подземных каналов.

В техническом заключении о гидрогеологических условиях строительства должны быть даны характеристики подземных вод, геолого-литологического строения участка и физико-механических свойств грунтов.

В разделе характеристики подземных вод должны быть указаны:

- источники питания подземных вод;
- режим подземных вод и отметки уровней подземных вод, а в некоторых случаях высота зоны капиллярного увлажнения грунта;
- данные химического анализа и заключение об агрессивности подземных вод по отношению к бетонам и цементным растворам.

В геолого-литологическом разделе дается общее описание строения участка.

В характеристике физико-механических свойств грунтов должны быть указаны:

- гранулометрический состав песчаных грунтов;
- коэффициенты фильтрации песчаных грунтов, супесей и др.;
- коэффициенты пористости и водоотдачи;
- угол естественного откоса и несущая способность грунтов.

К заключению прикладываются геологические разрезы и "колонки" грунтов по буровым скважинам, необходимые для составления геологических разрезов по трассам дренажей.

При необходимости, в сложных геологических и гидрогеологических условиях для проектов дренирования кварталов и микрорайонов к техническому заключению прикладываются карты гидроизогипс.

#### ***4.4. ОБЩИЕ УСЛОВИЯ ВЫБОРА СИСТЕМЫ ДРЕНАЖА***

Система дренажа выбирается в зависимости от характера защищаемого объекта и гидрогеологических условий.

При проектировании новых кварталов и микрорайонов на территориях с высоким уровнем подземных вод должна быть разработана общая схема дренажей.

В состав схемы дренажей входят системы дренажей, обеспечивающие общее понижение уровня подземных вод на территории квартала (микрорайона), и местные дренажи для защиты от подтопления подземными водами отдельных сооружений.

I. К дренажам, обеспечивающим общее понижение уровня грунтовых вод, относятся дренажи: а – головной или береговой; б – систематический.

II. К местным дренажам относятся дренажи: а) кольцевой; б) пристенный; в) пластовый.

III. К местным дренажам относятся также дренажи, предназначенные для защиты отдельных сооружений: а) дренаж подземных каналов; б) дренаж приямков; в) дорожный дренаж; г) дренаж засыпаемых речек, ручьев, логов и оврагов; д) откосный и застенный дренажи; е) дренаж подземных частей существующих зданий.

##### ***4.4.1. Головной дренаж***

Для осушения территорий, подтопляемых потоком подземных вод с областью питания, расположенной вне этой территории, следует устраивать головной дренаж (рис. 4.1). На территориях со слоистым строением водоносного пласта следует устраивать как общие системы дренажей, так и местные дренажи.

На застроенных территориях, при строительстве отдельных зданий и сооружений, нуждающихся в защите от подтопления грунтовыми водами, должны устраиваться местные дренажи. При проектировании и строительстве этих дренажей необходимо учитывать их влияние на соседние существующие сооружения.

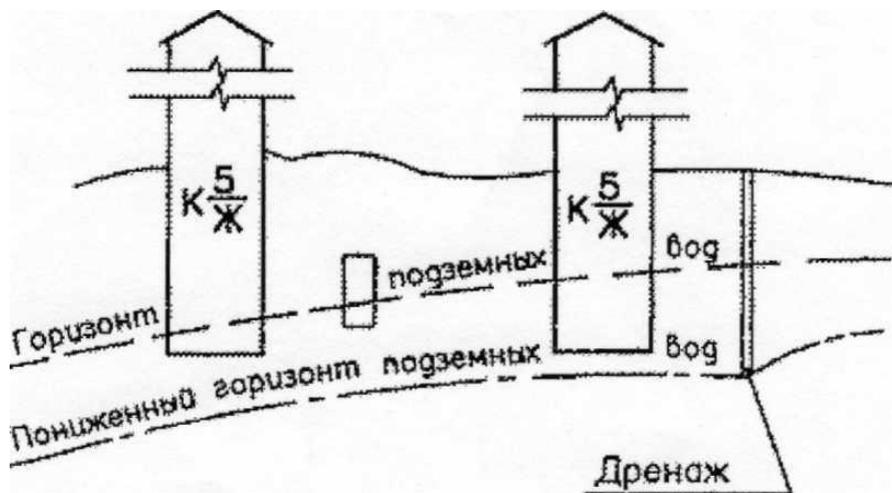


Рис. 4.1. Головной дренаж

Головной дренаж нужно закладывать по верхней, по отношению к подземному потоку, границе дренируемой территории. Трассу дренажа назначают с учетом размещения застройки и проводят, по возможности, в местах с более высокими отметками водоупора.

Головной дренаж должен, как правило, пересекать поток подземных вод по всей его ширине.

При длине головного дренажа, меньшей ширины подземного потока, следует устраивать дополнительные дрены по боковым границам дренируемой территории с целью перехвата подземных вод, поступающих сбоку.

При неглубоком залегании водоупора головной дренаж следует закладывать на поверхности водоупора (с некоторым заглублением в него) с целью полного перехвата подземных вод, как дренаж совершенного типа.

В тех случаях, когда не представляется возможности заложить дренаж на водоупоре, а по условиям дренирования требуется полностью перехватить поток подземных вод, ниже дренажа устраивается экран из водонепроницаемого шпунтового ряда, который должен быть опущен ниже отметок водоупора.

При глубоком залегании водоупора головной дренаж закладывают выше водоупора, как дренаж несовершенного типа. В этом случае необходимо произвести расчет депрессионной кривой. Если устройством одной линии головного дренажа не достигается понижение уровня подземных вод до заданных отметок, следует запроектировать вторую линию дренажа параллельно головному дренажу. Расстояние между дренажами определяется расчетом.

Если часть водоносного пласта, расположенная над дренажом, состоит из песчаных грунтов с коэффициентом фильтрации менее 5 м/сутки, нижняя часть траншеи дренажа должна быть засыпана песком с коэффициентом фильтрации не менее 5 м/сутки (рис. 4.2).

Высота засыпки песком составляет  $0,6 - 0,7 H$ , где  $H$  – высота от низа траншеи дренажа до непониженного уровня подземных вод.

При слоистом строении части водоносного пласта, расположенного над дренажом, с чередованием прослоек песка и суглинков, засыпка траншеи дренажа песком с коэффициентом фильтрации не менее 5 м/сутки должна быть произведена на 30 см выше уровня подземных вод.

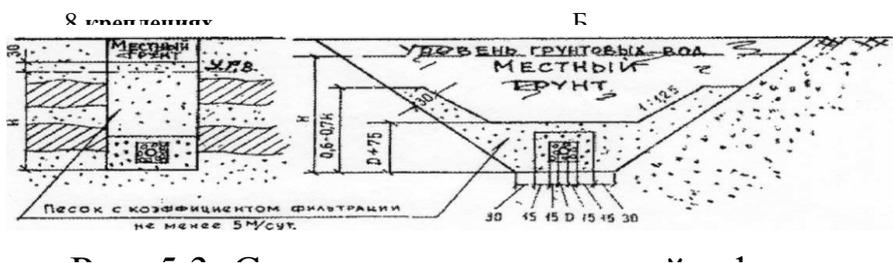


Рис. 4.2. Схемы засыпки траншей с фильтрующей призмой

Засыпка песком может производиться на всю ширину траншеи вертикальной или наклонной призмой, толщиной не менее 30 см. Для головного дренажа совершенного типа, когда водоносный пласт не имеет глинистых, суглинистых и супесчаных прослоев, песчаную призму можно устраивать только с одной стороны траншеи (со стороны притока воды).

Если головной дренаж закладывается в толще сравнительно слабо водопроницаемых грунтов, подстилаемых хорошо водопроницаемыми грунтами, следует устраивать комбинированный дренаж, состоящий из горизонтальной дрены и вертикальных колодцев (рис. 4.3).

#### *4.4.2. Систематический дренаж*

На территориях, где грунтовые воды не имеют ясно выраженного направления потока, а водоносный пласт сложен песчаными грунтами или имеет слоистое строение с незамкнутыми песчаными прослоями, следует устраивать систематический дренаж.

В городских условиях систематический дренаж может устраиваться в сочетании с местными дренажами. В этом случае при проектировании отдельных дрен следует решать возможность их одновременного использования в качестве местного дренажа, защищающего отдельные сооружения, и в качестве элементов систематического дренажа, обеспечивающего общее понижение уровня грунтовых вод на дренируемой территории.

При заложении дрен систематического дренажа в толще грунта со слабой водопроницаемостью, подстилаемого хорошо водопроницаемыми грунтами, следует применять комбинированный дренаж, состоящий из горизонтальных дрен с вертикальными колодцами (рис. 4.3).

При неоднородном строении водоносного пласта, когда горизонтальная дрена проходит в верхнем менее проницаемом слое, а ниже расположен более проницаемый слой, устраивают комбинированный дренаж, состоящий из горизонтальной дрены и вертикальных самоизливающихся колодцев-фильтров (рис. 4.3).

На территориях, подтопляемых потоком грунтовых вод, область питания которых захватывает также и дренируемую территорию, следует применять совместно головной и систематический дренаж.

Для защиты от подтопления грунтовыми водами подвальных помещений и подполья отдельно стоящих зданий или группы зданий, при заложении подвалов в водоносных песчаных грунтах, следует устраивать кольцевые дренажи.

Кольцевые дренажи следует устраивать также для защиты заглубленных подвалов в новых кварталах и микрорайонах при недостаточной глубине понижения уровня грунтовых вод общей системой дренажа территории.

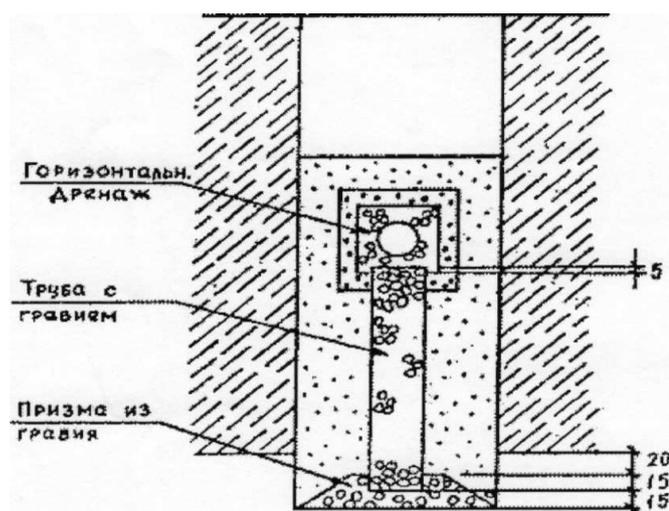


Рис 5.4. Комбинированный дренаж с вертикальным изливом самоизливаю.

Рис. 4.3. Комбинированный дренаж с вертикальным изливом колодца

При большой водопроницаемости песчаных грунтов, а также при заложении дренажа на водоупоре можно устраивать общий кольцевой дренаж для группы соседних зданий.

При притоке грунтовых вод дренаж может быть устроен в виде незамкнутого кольца по типу головного дренажа.

Кольцевой дренаж надо закладывать ниже пола защищаемого сооружения.

Кольцевой дренаж следует прокладывать на расстоянии 5 – 8 м от стены здания. При большом заглублении дренажа необходимо принять меры против выноса, ослабления и осадки грунта под фундаментом здания.

#### 4.4.3. Пристенный дренаж

Для защиты от грунтовых вод подвальных помещений и подполий зданий, закладываемых в глинистых и суглинистых грунтах, следует устраивать пристенные дренажи.

Пристенные "профилактические" дренажи необходимо устраивать также и при отсутствии грунтовых вод в зоне подвалов и подполий, устраиваемых в глинистых и суглинистых грунтах.

При слоистом строении водоносного пласта для защиты подвалов и подполий зданий следует устраивать пристенные или кольцевые дренажи в зависимости от местных условий.

Если отдельные части здания располагаются на участках с различными геологическими и гидрогеологическими условиями, на этих участках можно применять как кольцевой, так и пристенный дренажи.

Пристенный дренаж прокладывают по контуру здания с наружной стороны. Расстояние между дренажом и стеной здания определяется шириной фундаментов здания и размещением смотровых колодцев дренажа.

Пристенный дренаж, как правило, должен прокладываться на отметках ниже подошвы ленточного фундамента или основания фундаментной плиты.

При большой глубине заложения фундаментов от отметки пола подвального помещения пристенный дренаж может быть заложен выше подошвы фундаментов.

Устройство пристенного дренажа с применением современных полимерных фильтрующих материалов (оболочка «Дрениз») уменьшает стоимость строительства за счет экономии песка.

Оболочка "Дрениз" состоит из двухслойной конструкции: листа специального профиля из полимерного материала (полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид) и нетканного геотекстильного фильтрующего материала, скрепляемого между собой с помощью сварки или водостойкого клея. Листы оболочки "Дрениз" соединяются друг с другом внахлест.

#### ***4.4.4. Пластовый дренаж***

Для защиты от подтопления грунтовыми водами подвальных помещений и подполья зданий, устраиваемых в сложных гидрогеологических условиях, как-то: в водоносных пластах большой мощности, при слоистом строении водоносного пласта, при наличии напорных подземных вод и т.п., а также в случае недостаточной эффективности применения кольцевого или пристенного дренажа, следует устраивать пластовые дренажи.

В водоносных пластах большой мощности следует предварительно произвести расчет возможного понижения уровня подземных

вод в центре контура кольцевого дренажа. В случае недостаточного снижения уровня грунтовых вод надо применить пластовый дренаж. Пластовый дренаж устраивается в виде слоя песка, отсыпаемого по дну котлована под здание или в траншее для канала.

Слой песка в поперечном направлении прорезают призмами из гравия или щебня.

При сложном строении водоносного пласта с изменением его состава и водопроницаемости (в плане и разрезе), а также при наличии обводненных зон и линз вод под полом подвального помещения устраиваются пластовые дренажи.

При наличии напорных подземных вод следует применять кольцевой или пластовый дренаж в зависимости от местных гидрогеологических условий с расчетным обоснованием.

Для защиты подвальных помещений и сооружений, в которых по условиям эксплуатации не допускается появление сырости, при заложении этих помещений в зоне капиллярного увлажнения грунтов следует устраивать пластовые дренажи.

Пластовые "профилактические" дренажи для таких помещений и сооружений, устраиваемых в глинистых и суглинистых грунтах, рекомендуется предусматривать и при отсутствии подземных вод.

Пластовые дренажи устраивают в сочетании с трубчатыми дренажами (кольцевыми и пристенными).

Для сопряжения пластового дренажа с наружным трубчатым дренажом прокладывают трубчатый дренаж.

Для подполий зданий с фундаментами на свайных ростверках пластовый дренаж устраивают в сочетании с однолинейным дренажом, прокладываемым под зданием.

## ***4.5. ХАРАКТЕРИСТИКИ ДРЕНАЖА***

### ***4.5.1. Трасса дренажа***

Трассы кольцевых, пристенных и сопутствующих дренажей определяются привязкой к защищаемому сооружению.

Трассы головных и систематических дренажей определяются в соответствии с гидрогеологическими условиями и условиями застройки.

### ***4.5.2. Продольный профиль дренажа***

Глубина заложения дренажей должна быть больше глубины промерзания грунта.

Глубина заложения головных, кольцевых и систематических дренажей определяется заглублением защищаемых зданий и сооружений.

Глубина заложения пристенных и сопутствующих дренажей определяется в соответствии с глубиной защищаемых сооружений.

Продольные уклоны дренажа рекомендуется принимать не менее 0,002 для глинистых грунтов и 0,003 для песчаных грунтов.

Наибольшие уклоны дренажей следует определять исходя из максимально допустимой скорости течения воды в трубах.

### ***4.5.3. Расстановка смотровых колодцев***

Смотровые колодцы следует устанавливать в местах поворотов трассы и изменения уклонов, на перепадах, а также между этими точками при больших расстояниях.

На прямых участках дренажа нормальное расстояние между смотровыми колодцами – 40 м. Наибольшее расстояние между смотровыми колодцами дренажа – 50м.

### ***4.5.4. Устройство выпусков***

Выпуск воды из дренажей производят в водостоки, водоемы и овраги.

При выпуске в водоем дренаж должен быть заложен выше горизонта воды в водоеме (наблюдаемого во время паводка). При кратковременном повышении горизонта водоема дренаж в необходимых случаях может быть заложен ниже паводкового горизонта при условии оборудования выпуска дренажа обратным клапаном.

Устьевой участок дренажного выпуска в водоем должен быть заглублен ниже горизонта воды на толщину ледяного покрова с устройством перепадного колодца.

При невозможности устройства выпуска воды из дренажа самотеком необходимо предусмотреть насосную станцию (установку) перекачки дренажных вод, работающую в автоматическом режиме.

#### ***4.5.5. Совмещение дренажа с водостоком***

При проектировании дренажа следует рассмотреть вариант прокладки его совместно с водостоком.

При достаточной глубине заложения водостока дренаж следует располагать над водостоком в одной вертикальной плоскости с выпуском дренажных вод в каждый смотровой колодец водостока. Расстояние в свету между трубами дренажа и водостока должно быть не менее 5 см.

В случае невозможности из-за глубины заложения расположить дренаж над водостоком следует осуществлять параллельную укладку дренажа в одной траншее с водостоком.

#### ***4.5.6. Трубы и дренирующие фильтры***

Для дренажа следует применять асбестоцементные трубы.

Исключение составляют дренажи, закладываемые в подземных водах, агрессивных к бетонам и растворам на портландцементе. В этом случае для дренажа следует применять пластмассовые трубы.

Водоприемные отверстия в трубах следует устраивать в виде пропилов шириной 3 – 5 мм. Длина пропила должна быть равна половине диаметра трубы. Пропилы устраивают с обеих сторон трубы в шахматном порядке. Расстояние между отверстиями на одной стороне – 50 см. Имеется вариант с просверливанием водоприемных отверстий.

При укладке труб необходимо проследить, чтобы пропилы оказывались сбоку трубы (верх и низ трубы должен быть без пропилов).

Асбестоцементные трубы соединяют муфтами.

При применении поливинилхлоридных труб (ПВХ) водоприемные отверстия выполняются аналогично асбестоцементным трубам. Гофрированная дренажная труба из полиэтилена (ПНД) выпускается с готовыми водоприемными отверстиями.

Дренирующие обсыпки, в соответствии с составом дренируемых грунтов, устраивают однослойными или двухслойными.

При расположении дренажа в песках гравелистых, крупных и средней крупности (при среднем диаметре частиц 0,3 – 0,4 мм и крупнее) устраивают однослойные обсыпки из гравия или щебня.

При расположении дренажа в песках средней крупности со средним диаметром частиц, меньшим 0,3 – 0,4 мм, а также в мелких и пылеватых песках, супесях устраивают двухслойные обсыпки. Внутренний слой обсыпки устраивают из щебня, а внешний слой обсыпки – из песка.

Для внутреннего слоя дренирующих обсыпок применяют гравий, а при отсутствии его – щебень изверженных горных пород (гранит, сиенит, габбро, липарит, базальт, диабаз и др).

Для внешнего слоя обсыпок применяют пески, являющиеся продуктом выветривания изверженных пород.

Материалы для дренирующих обсыпок должны быть чистыми и не содержать более 3 – 5% по весу частиц с диаметром менее 0,1 мм.

Дренажи следует укладывать в осушенные траншеи. В песчаных грунтах применяют водопонижение иглофильтрами. При заложении дренажа на водоупоре применяют водоотлив, замораживание или химическое закрепление грунтов.

Трубы дренажей несовершенного типа укладывают на нижние слои дренирующей обсыпки, которые, в свою очередь, укладываются непосредственно на дно траншеи.

## ГЛАВА 5

### АВТОМОБИЛЬНАЯ ДОРОГА (по С.Н.Максимову)

#### 5.1. ДОРОГА КАК ИНЖЕНЕРНОЕ СООРУЖЕНИЕ



Дороги как инженерные сооружения, приспособленные для движения тех или иных колесных экипажей, известны с глубокой древности (рис.5.1). В зависимости от природных условий, в том числе и геологических, в разных странах строились дороги разного назначения и из различных материалов [1 – 12].

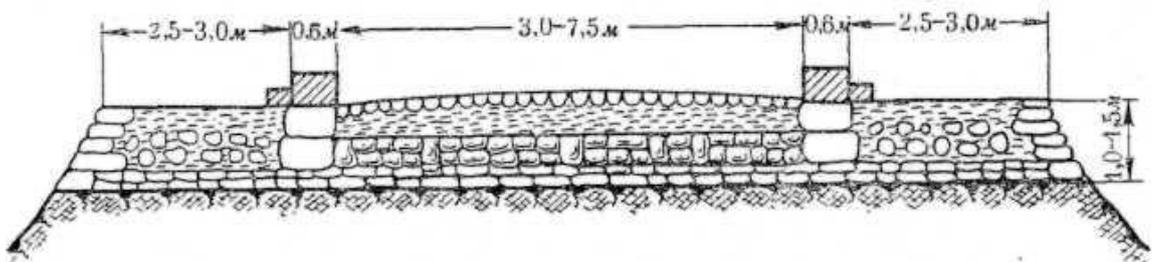


Рис. 5. 1. Римская дорога. Средняя часть предназначена для передвижения пешехоты, боковые части – для конницы и обозов

Комплекс дорожных сооружений включает земляное полотно, дорожную одежду, искусственные сооружения (трубы, мосты, переправы, броды, лотки и др.) и обстановку дороги (дорожные знаки, ограждающие тумбы и пр.). Дорога должна обеспечивать движение транспорта с необходимой расчетной скоростью при наименьших транс-

портных затратах. Безопасность движения на дороге с расчетной скоростью достигается правильной конструкцией земляного полотна (конструкцией поперечного сечения, соответствующим проектированием трассы в плане и в профиле), качеством дорожной одежды и устройством различных вспомогательных сооружений.

Таблица 5.1

| Характеристика дорог  | Классы дорог |      |     |      |      |
|---|--------------|------|-----|------|------|
|   | I            | II   | III | IV   | V    |
| Расчетная скорость движения для легковых автомобилей, км/час..... | 120          | 100  | 80  | 60   | 40   |
| Число полос движения.....   | 4            | 2    | 2   | 2    | 2    |
| Ширина полосы движения, м.....                                    | 3,5          | 3,5  | 3,5 | 3,0  | 2,75 |
| Ширина проезжей части, м.....                                     | 14,0         | 7,0  | 7,0 | 6,0  | 5,50 |
| Ширина земляного полотна не менее, м . .                          | 23,0         | 12,0 | Н.О | 10,0 | 9,5  |
| Наибольший допустимый продольный уклон, %.....                    | 4            | 5    | 6   | 7    | 9    |

Главный элемент автомобильной дороги – проезжая часть, обеспечивающая беспрепятственное движение автомобиля с необходимой скоростью. Для этого она должна занимать определенное положение в пространстве, иметь полосообразное геометрическое очертание и представлять собой достаточно ровную и прочную поверхность. На рис. 5.2 приведен поперечный профиль дороги, на котором видно, что рядом с проезжей частью (6) располагаются обочины (8), составляющие вместе дорожное полотно. По краям дорожного полотна идут боковые канавы – кюветы (9), служащие для отвода поверхностных вод. Дорожное полотно вместе с кюветами составляет конструкцию, называемую земляным полотном.

Ширина проезжей части устанавливается в зависимости от ин-

тенсивности движения и составляет:

- для дорог V класса для одной полосы движения от 2,75м;
- для дорог I, II, III класса до 3,5м (см. табл.5.1).

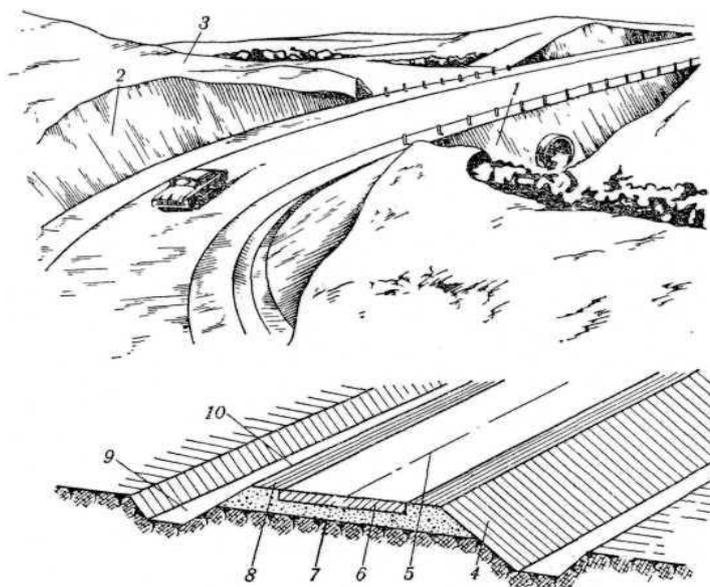


Рис 5.2. Земляное полотно и элементы конструкции автомобильной дороги: 1 – насыпь; 2 – выемка; 3 – поверхность земли; 4 – откос насыпи; 5 – ось дороги; 6 – дорожное покрытие; 7 – поверхность грунта основания полотна дороги; 8 – обочина; 9 – кювет; 10 – бровка насыпи

Соответственно ширина проезжей части в несколько полос движения устанавливается кратной этим величинам. В настоящее время дороги сооружают с двух-, трех- и четырехрядным движением и с шириной проезжей части в 7 – 10 м и более для движения в одном направлении.

Для стока воды с проезжей части дороги придается поперечный уклон, тем меньший, чем ровнее дорожное покрытие:

- для цементобетонных и асфальтовых покрытий 1,5%,
- для черных покрытий 2 – 2,5%,
- для булыжной мостовой – 3% и
- для грунтовых дорог – 3,5%.

Очень ответственным конструктивным элементом дороги является сопряжение проезжей части с обочиной. При незакрепленной обочине такое сочленение может оказаться опасным (при случайном пе-

реезде), поэтому на дорогах высших классов их укрепляют и делают достаточно широкими (1 – 3 м).

В городских условиях проезжая часть примыкает к тротуару (рис. 5.3), отделяемому специальным «бортовым камнем».

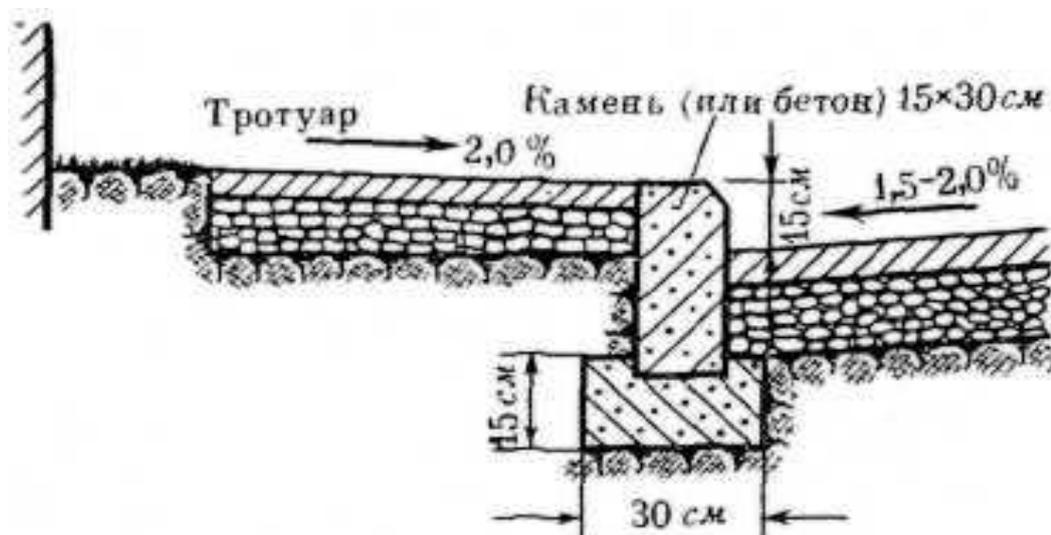


Рис. 5.3. Сопряжение тротуара с проезжей частью улицы

Земляное полотно в условиях ровной местности обычно следует за естественной поверхностью земли и возвышается над ней только для обеспечения стока поверхностных вод. При пересеченном рельефе местности, для сглаживания неровностей естественной поверхности, земляное полотно располагают либо выше поверхности земли, в насыпях, либо ниже этой поверхности в выемках (рис. 5.3).

Высокие насыпи возводятся из грунтов, которые вынимаются со смежных участков дороги, прокладываемой в выемках, или доставляются из специальных «резервов» (т. е. карьеров).

Лишний грунт, извлекаемый при разработке выемки и не используемый на смежном участке для возведения насыпи, укладывается в кавальеры в стороне от дороги.

Крутизна откосов насыпей и выемок зависит от свойств грунтов, из которых возводится насыпь, и грунтов, в которых проходит выемка.

Для большинства насыпей небольшой высоты (до 10 – 15 м), возводимых из песчано-глинистых грунтов, обычно достаточно устойчивым оказывается откос крутизной 1:1,5 (высота =1, заложение =1,5). Однако для более высоких насыпей (свыше 20 м) нижняя часть насыпи должна иметь более пологое заложение. Такое уположение

нижней части откоса одновременно способствует уменьшению скорости стекания дождевых и талых вод, что предохраняет откосы от размыва. Иногда откос высокой насыпи проектируют с сохранением одинаковой крутизны, а уширение нижней части достигают устройством горизонтальных площадок — берм, которые к тому же облегчают осмотр, ремонт и укрепление откосов.

Откосы выемок, заложенных в плотных грунтах ненарушенного сложения, могут оказаться устойчивыми и при более крутом заложении — 1:1,5 и 1:1, а в скальных грунтах и при еще большей крутизне — 1 : 0,5; 1 : 0,2 и даже вертикальные.

При проведении дороги по косогору, при уклонах его меньше 20%, наиболее простым решением является устройство полувыемки-полунасыпи (рис. 5.4). При большей крутизне склона для повышения устойчивости земляного полотна основание насыпи разделяется уступами, а при еще большей крутизне для низового откоса устраиваются упоры — *контрфорсы*.

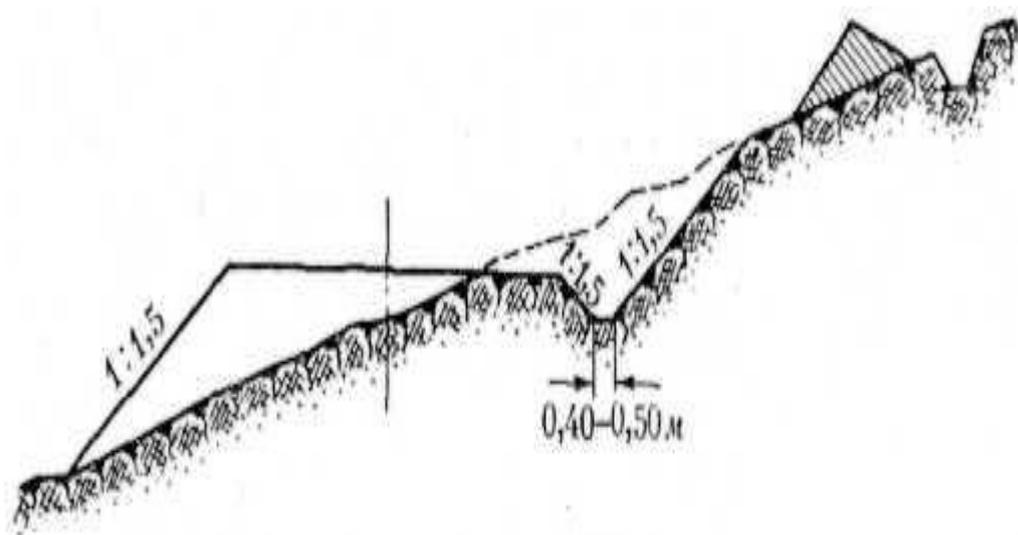


Рис. 5.4 Насыпь в полувыемке-полунасыпи

При устройстве дороги на очень крутом склоне, когда откос насыпи положе естественного склона, приходится сооружать подпорные стенки (рис. 5.5.).

При проведении дороги по косогору для удержания откосов выемки от сползания, а также для уменьшения объема откосы укрепляют подпорной стенкой.

*Подпорные стенки* являются очень ответственными сооруже-

ями на горной дороге и должны надежно противостоять давлению на них грунта. Всякое их смещение или разрушение грозит нарушением движения по дороге. Схемы работы подпорной стенки приводятся на рис. 5.6, где наряду с тяжелыми стенками, работающими как гравитационное сооружение (Л), показаны легкие стенки, пригруженные телом насыпи (Б) или заанкеренные к основному горному массиву (В).

Однако в горах встречаются случаи, когда крутые склоны сложены настолько прочными скальными грунтами, что дорога может быть проложена на полке, вырубленной в скале, а откос сделан вертикальным или даже нависающим. В этих условиях, однако, скальные породы могут оказаться легко выветривающимися и тогда откос следует предохранять от разрушения путем создания легких «одевающих» стенок. Такие стенки не работают как поддерживающие подпорные сооружения, а служат лишь поверхностным прикрытием.

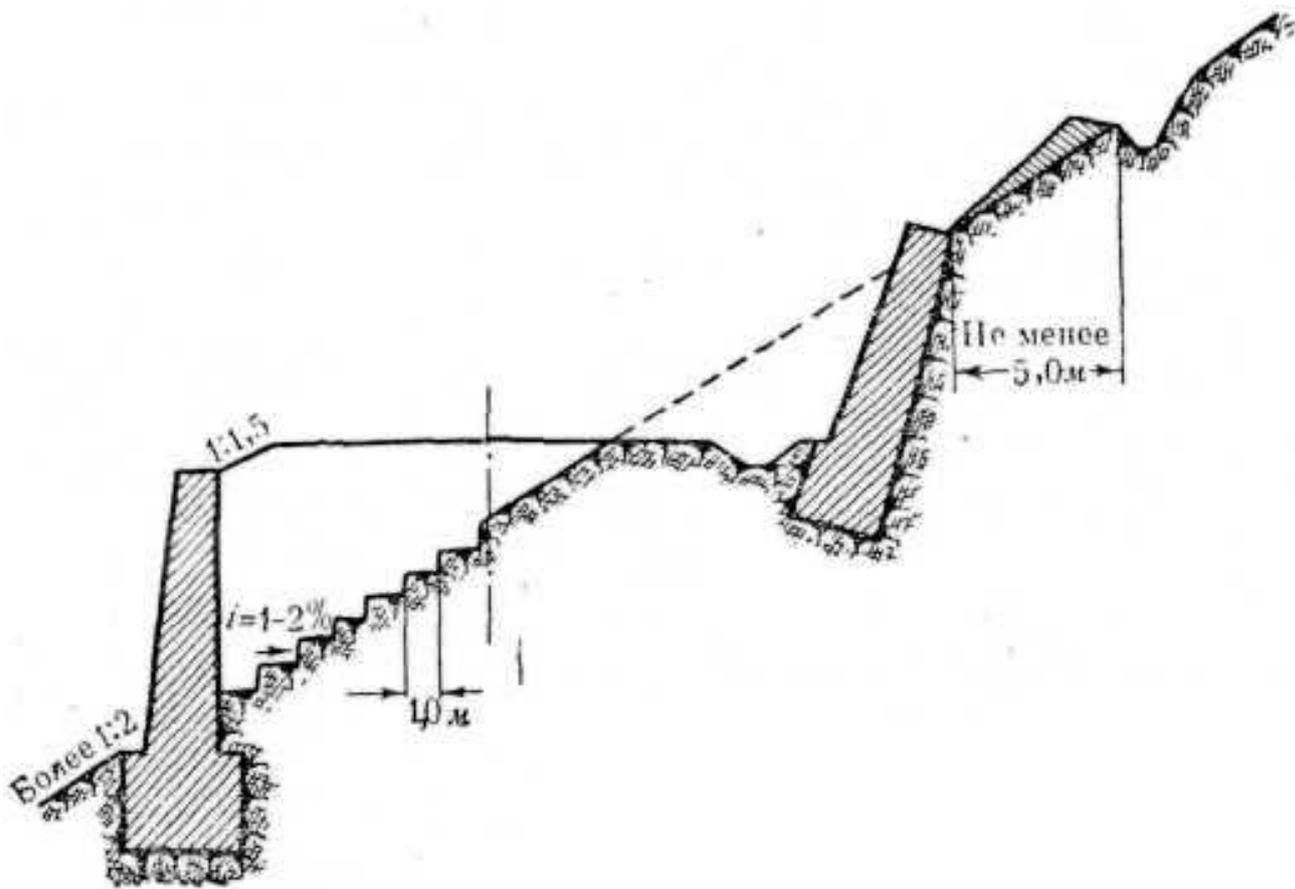


Рис. 5.5. Насыпь на косогоре, поддерживаемая подпорной стенкой

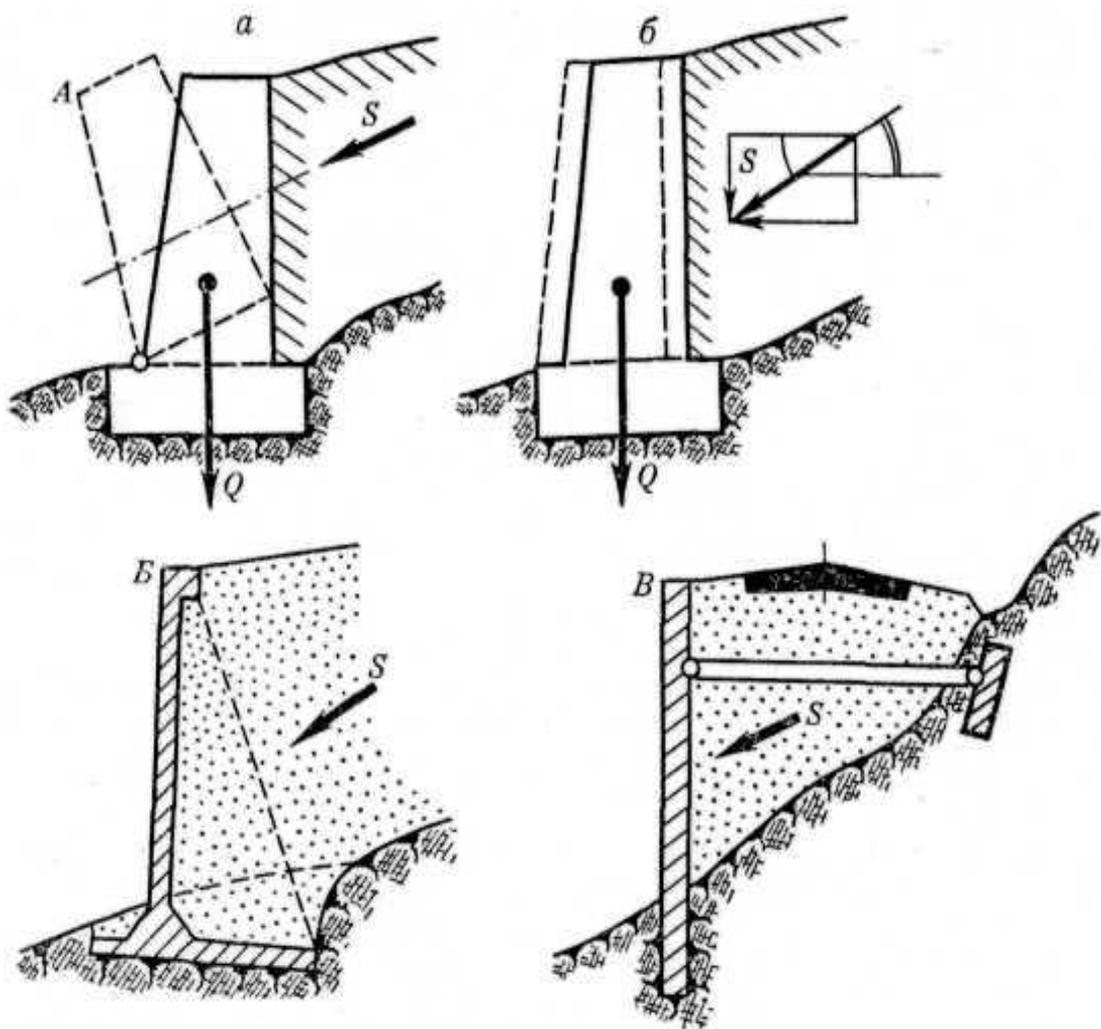


Рис. 5.6. Схемы подпорных стенок:

Л – гравитационные (а – опрокидывание; б – сдвиг); Б – тонкая железобетонная с нагруженной плитой в основании; В – анкерная;

$Q$  – вес стенки;  $S$  – давление грунта на стенку

Иногда при трассировании дороги по полке на крутом обрыве возникает необходимость вынесения части ширины земляного полотна в сторону ущелья. В таком случае устраивают балконы (рис. 5.7), нависающие над обрывом.

В ряде случаев, например, при большой неустойчивости склона, пересечении участков прохождения селей, лавин, камнепадов и т.п., оказывается целесообразным располагать дорогу внутри массива, заключая ее в тоннель или другое защитное сооружение (галерею, полутоннель и т.п.).

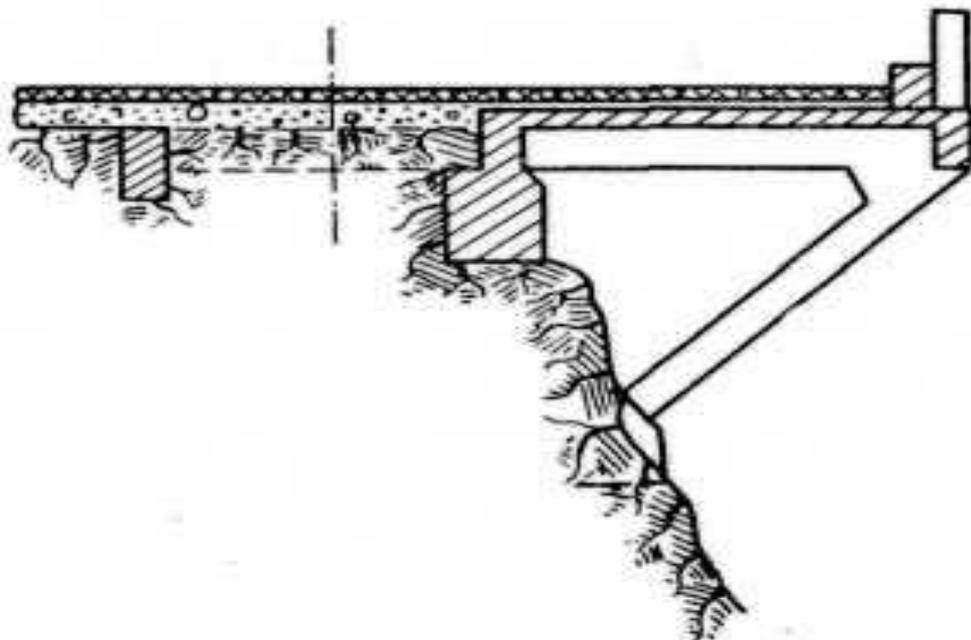


Рис. 5.7. Нависающий балкон

Для отвода поверхностных вод применяют системы нагорных и водоотводных канав, ливнеотстоков, защитных берм и банкетов и других сооружений (рис. 5.8). Для пропуска поверхностных вод под земляным полотном устраивают фильтрующие насыпи, трубы и малые мосты.

Вся система дорожного водоотвода должна работать таким образом, чтобы не допускать скопления поверхностных вод у насыпи и вообще у земляного полотна, чем обеспечивается предохранение его от переувлажнения и как следствие этого потери устойчивости.

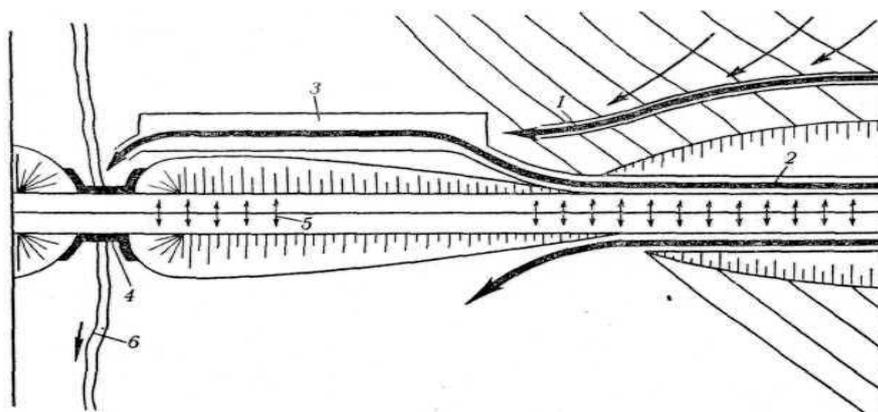


Рис. 5.8. Система дорожного водоотвода:

- 1 – нагорная канава; 2 – боковая канава; 3 – резерв; 4 – мост или труба; 5 – дорожное покрытие; 6 – водоток

При строительстве дорог вне населенных пунктов дорожный во-

доотвод осуществляется обычно в виде сооружений открытого типа и устраивается на поверхности земли в стороне от проезжей части дороги.

В городских условиях поверхностная вода, стекающая с крыш зданий и дворовых территорий, сбрасывается на поверхность улицы. Поэтому проезжая часть городской дороги (улицы) размещается несколько ниже, чем прилегающая к ней территория застройки (квартал). Для отвода этих вод под проезжей частью улиц прокладываются системы водоотвода – *ливнестоки*, которые должны отводить поверхностные воды с территории улицы и прилегающего квартала и обеспечивать нормальную работу проезжей части и тротуаров. Для этого в сеть уличного водоотвода включается система подземных коллекторов большого сечения, обеспечивающая своевременный и быстрый отвод ливневых и талых вод.

*Дорожная одежда* является основным элементом дорожной конструкции, предназначенным для укрепления проезжей части дороги. Для нормального движения автомобилей проезжая часть должна обладать надлежащей прочностью и ровностью. Под воздействием движущегося по дороге транспорта и климатических факторов она не должна деформироваться и неравномерно изнашиваться.

Отдельные слои дорожной одежды работают в неодинаковых условиях, поэтому они должны обладать разной прочностью и создаваться из разных материалов (рис. 5.9).

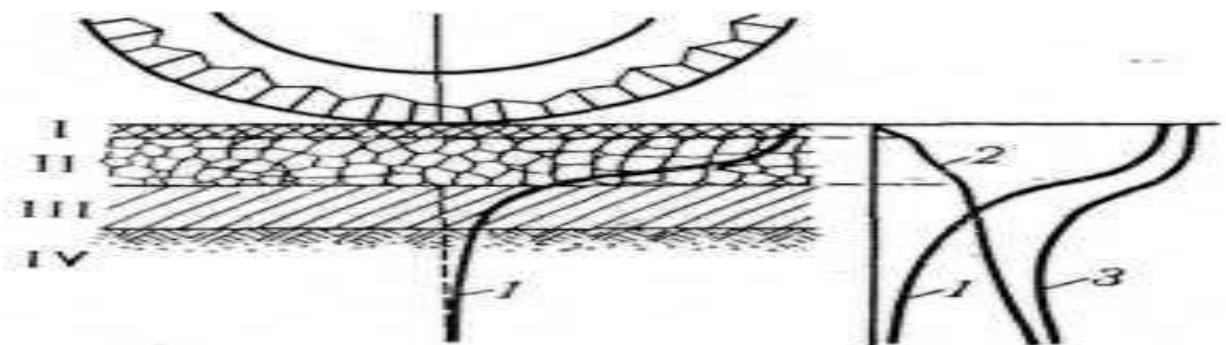


Рис. 5.9. Схема строения дорожной одежды и распределение напряжений в ее основании: I – покрытие; II – III – слои искусственного основания; IV – естественное основание; 1 – эпюра напряжений от давления колеса; 2 – то же от собственного веса конструкции; 3 – эпюра суммарных напряжений по глубине

Верхний слой дорожной одежды (I), на который непосредственно

опираются колеса автомобиля и действуют дождь, снег и солнечные лучи, называется покрытием. Это сравнительно тонкий слой прочного материала, лежащий на более толстых и менее прочных слоях (II и III) основания покрытия. Отдельные слои дорожной одежды работают в различных условиях нагружения, наибольшую нагрузку воспринимает покрытие, по мере перехода к более глубоким слоям дорожной конструкции, давление, создаваемое автомобилем, падает и на глубине 60 – 100 см составляет не более 5 – 10% от собственного веса конструкции. Поэтому верхние конструктивные слои дорожной одежды должны сооружаться из достаточно прочных материалов. По мере углубления прочность материалов дорожной одежды может уменьшаться.

Под воздействием веса проходящего транспорта дорожная одежда будет прогибаться. Важно, чтобы этот прогиб был упругим (обратимым), так как в противном случае необратимые деформации будут вести к образованию трещин и последующему разрушению дороги.

Дорожные одежды бывают:

- жесткими (цементобетонные покрытия);
- нежесткими (все остальные, создаваемые из несвязных или малосвязных материалов, пропитанных органическим вяжущим составом) (рис. 5.10).

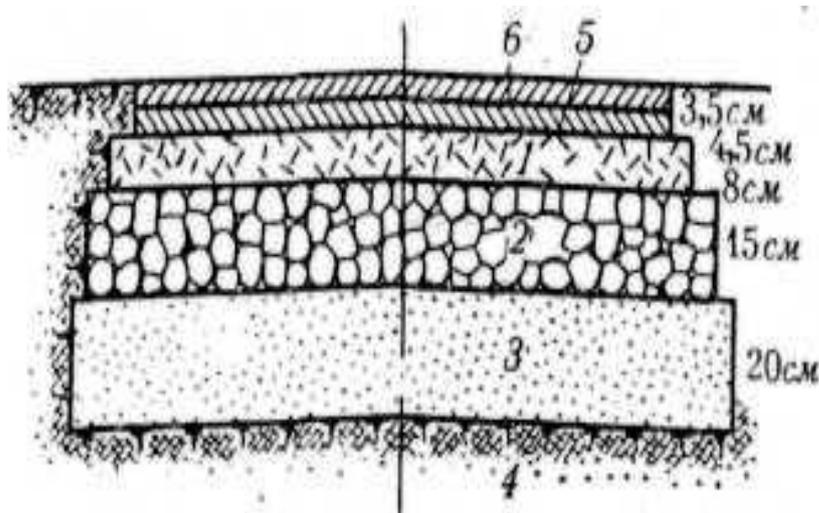


Рис. 5.10. Конструкция нежесткой дорожной одежды капитального типа: 1 – черный щебень; 2 – щебеночный слой; 3 – песок; 4 – грунт естественного основания; 5, 6 – асфальтобетон

В зависимости от интенсивности движения, типа и тяжести

транспортных средств, а также назначения дороги, выбирают типы покрытия и конструкцию основания.

При очень малой интенсивности движения и использовании относительно небольших автомобилей до настоящего времени применяют простейшие дороги, у которых дорожным покрытием служит верхний уплотненный слой земляного полотна. Это так называемые грунтовые дороги, которые строятся путем выравнивания дневной поверхности, придания поперечного уклона, создания кюветов по бокам от проезжей части и укатки самой дороги. Качество таких дорог зависит от грунтов, в которых они проложены, и существенно меняется по сезонам года. В ряде случаев их улучшают, производя укладку в верхнем слое земляного полотна «оптимальной смеси», позволяющей при уплотнении достигать максимальной плотности и прочности. Как дороги местного назначения, они продолжают иметь широкое применение, но по мере роста грузооборота должны заменяться на более совершенные.

Основание дорожной одежды, представляющее собой земляное полотно, может создаваться в виде насыпи из местных грунтов. Для этого могут использоваться любые грунты, но для верхней части земляного полотна, непосредственно подстилающей дорожную одежду, они должны быть мало меняющими свои свойства при увлажнении и при попеременном промерзании и оттаивании (в связи с нахождением этих грунтов в пределах глубины сезонного промерзания). Сезонные изменения состояния грунта в земляном полотне, происходящие под влиянием указанных выше двух факторов, составляют так называемый водно-тепловой режим земляного полотна дороги и происходят по следующей общей схеме (рис. 5.11).

В первую половину зимы происходит медленное промерзание земляного полотна с поверхности, сопровождающееся передвижением воды в порах грунта по направлению к границе мерзлого грунта. Вода, замерзающая, прежде всего в крупных порах и пустотах грунта, превращаясь в лед, увеличивается в объеме, создает давление на соседние массы грунта и отжимает из них еще не замерзшую в мелких порах воду. Эта вода передвигается к центрам замерзания, присоединяется к ранее замерзшей воде и еще больше увеличивает объем образующегося льда. В результате этого в местах начавшегося раннего замерзания образуются горизонтально залегающие ледяные прослойки или линзы. Образование таких прослоек и линз льда происходит в местах медленного промерзания, где есть достаточное время для пе-

редвижения незамерзшей воды к центрам начавшегося льдообразования.

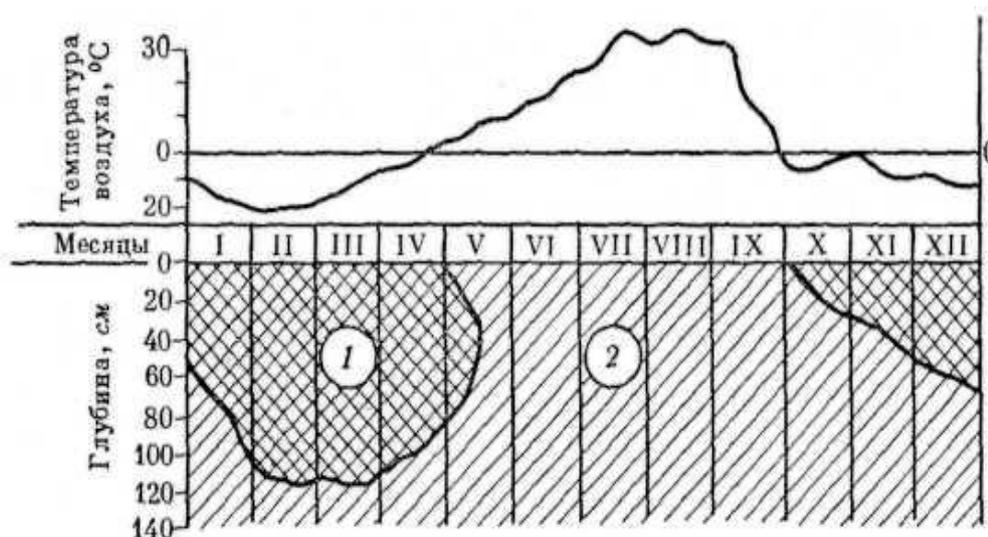


Рис. 5.11. Общая схема водно-теплового режима дороги:

1 – мерзлый грунт; 2 – талый грунт

В результате возникновения зимой в грунтах основания дорожной одежды ледяных прослоек происходит поднятие покрытия, называемое пучением. Если это поднятие незначительно по величине и равномерно по площади, то оно не причиняет большого вреда дорожной одежде. Если же оно идет неравномерно, то на дороге могут образоваться бугры (пучины), нарушающие нормальную эксплуатацию ее и создающие условия для разрушения покрытия.

*Во вторую половину зимы* промерзание идет быстро, и условия для нового льдообразования оказываются малоблагоприятными. Поэтому в этот период новых деформаций дорожного покрытия почти не происходит.

*Весной* наиболее интенсивно сказывается вредное влияние осенне-зимнего накопления воды в верхней части земляного полотна и образования в мерзлой толще грунтов ледяных прослоев. Вначале таяние идет более интенсивно под проезжей частью (из-за большой теплопроводности дорожной одежды и снятия снежного покрова), чем под обочинами.

*В начале лета*, при полном оттаивании грунта, положение нормализуется и обычный водный режим земляного полотна восстанавливается. Однако образовавшиеся серьезные нарушения дорожной одежды требуют проведения ремонтных работ.

## 5.2. ПОПЕРЕЧНЫЙ ПРОФИЛЬ ДОРОГИ

Одним из основных чертежей проекта дороги является ее поперечный профиль, на котором выявляется конструкция земляного полотна и других элементов. **Поперечным профилем дороги** называют изображение на чертеже сечения дороги плоскостью, перпендикулярной ее продольной оси. Дорогу всегда располагают на земляном полотне, которое сооружают для обеспечения устойчивости проезжей части, сглаживания неровностей рельефа и отвода от дороги поверхностных вод. Обычно земляное полотно устраивают в виде невысокой насыпи из уплотненного грунта. Если на трассе дороги встречаются возвышения местности, их срезают, и в этом случае земляное полотно проходит в выемке. Когда земляное полотно находится на уровне земной поверхности, говорят, что дорога проходит в нулевых отметках (нулевых работах).

Центральной частью земляного полотна является проезжая часть, представляющая собой полосу на поверхности дороги, по которой непосредственно движется транспорт. Проезжую часть обычно укрепляют различными каменными и другими материалами, устраивая **дорожную одежду**, верхний слой которой называется покрытием.

С обеих сторон к проезжей части примыкают **обочины** – обычно неукрепленные грунтовые полосы поверхности земляного полотна. Обочины создают боковой упор для дорожной одежды, служат местом временной остановки автомобилей и используются для складывания материалов во время ремонта дорожной одежды. Обочины служат также для объездов, обгонов и разъездов встречных автомобилей при узкой (однополосной) проезжей части.

Однополосными устраивают дороги V категории, имеющие малую интенсивность движения. За счет обочин делают уширение проезжей части дороги на закруглениях с малыми радиусами.

Линии сопряжения обочин с проезжей частью называются **кромками проезжей части**. Следовательно, ширина проезжей части – это расстояние между ее кромками.

Боковые поверхности земляного полотна (насыпей, выемок, кюветов и пр.) выполняют в виде наклонных плоскостей – **откосов**. Различают внутренние и наружные откосы. Крутизна откоса зависит от качества грунта, высоты насыпи или глубины выемки и эксплуата-

ционных требований. Линия сопряжения поверхностей откоса и обочины называется **бровкой земляного полотна**. На продольном профиле дороги она является **проектной**, или **красной линией**.

Если бровка располагается выше поверхности земли по оси дороги, считается, что дорога проходит в насыпи, если ниже – в выемке. Следовательно, **высотой насыпи** или **глубиной выемки** называется расстояние по вертикали от поверхности земли по оси дороги до уровня бровки земляного полотна.

Расстоянием между бровками измеряется **ширина земляного (дорожного) полотна**, которая складывается из ширины проезжей части и двух обочин. Проезжая часть и обочина являются геометрическими элементами земляного полотна дороги, размеры которых определяются интенсивностью и составом движения и регламентируются техническими условиями в зависимости от категории или группы дороги.

Чтобы обеспечить стекание воды с поверхности дороги, проезжую часть и обочины всегда устраивают наклонно, то есть с поперечным уклоном. **Уклон** – это тангенс угла, который образуется отрезком наклонной прямой и горизонтальной проекцией этого отрезка – заложением

Иногда уклон выражают в градусах. Между уклонами, выраженными в градусах, и промилле существует следующее соотношение:

| Градусы      | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6   | 7   |
|--------------|----|----|----|----|----|-----|-----|
| Промилле (‰) | 18 | 35 | 52 | 70 | 88 | 105 | 123 |

Величина поперечного уклона проезжей части дороги зависит от типа покрытия и рекомендуется техническими условиями в пределах 1,5 – 4%. Ровные покрытия – асфальто- и цементобетонные – устраивают с поперечным уклоном 1,5 – 2%, а неровные – мостовые, грунтовые, укрепленные местными материалами, с которых вода стекает медленнее, – с уклоном 3 – 4%. С увеличением поперечных уклонов уменьшаются удобство и безопасность движения, поэтому их величина ограничивается в указанных пределах.

Обочинам придают поперечные уклоны на 1 – 3% больше, чем проезжей части, так как они более шероховаты и больше задерживают и впитывают поду.

Для отвода воды, стекающей во время дождя и снеготаяния с поверхности дороги и прилегающей к ней местности, устраивают боковые канавы – **кюветы**. Их сооружают, если дорога проходит в выемке, в нулевых отметках, а также в невысокой (до 0,5 м) насыпи. Они могут быть треугольного, полукруглого или трапецеидального поперечного сечения.

Если на возведение насыпи не хватает грунта из боковых канав, что может быть при высоте ее более 0,2 – 0,3 м, кюветы уширяют и углубляют. В этом случае их называют **резервами**. Резервы устраивают не глубже 1,5 м, считая от поверхности земли.

Если надобности в резервах нет, то воду со склонов перехватывают и отводят в ближайшие понижения **нагорными канавами**. Их располагают не ближе 5 м от бровки внешнего откоса выемки или кювета. Откосы нагорных канав делают полуторными, а размеры – по гидравлическому расчету в зависимости от расчетного расхода воды в них.

Если дорога проходит по ценным угольям, земляное полотно возводят из привозных грунтов. В этом случае кюветы и резервы в целях экономии земель не устраивают.

При высоте насыпи более 1 м между подошвами откосов насыпи и внутренними бровками резервов устраивают **бермы** – полосы земли шириной не менее 2 м с поперечным уклоном 2% в сторону резерва для обеспечения стока воды. Бермы увеличивают устойчивость насыпей и в период строительства и ремонта дороги могут использоваться для проезда.

Обычно грунт из выемок используют для устройства насыпей (продольное перемещение), засыпки понижений, оврагов, уполаживания откосов. Излишек грунта иногда располагают вдоль выемок в виде **кавальеров** – отвалов со спланированными под откос поверхностями.

Для облегчения выбора рациональных форм поперечного сечения земляного полотна дороги на основе научных исследований, а также опыта строительства и эксплуатации дорог составлены **типовые по-**

**перечные профили** для разных условий. По индивидуальным проектам поперечные профили земляного полотна проектируют только в особых случаях, а именно: насыпи выше 12 м; насыпи на поймах рек, староречий, болот и озер глубже 4 м; выемки глубже 12 м; выемки в неблагоприятных гидрогеологических условиях.

Типовые поперечные профили дорог в насыпи указаны на рис. 5.12.

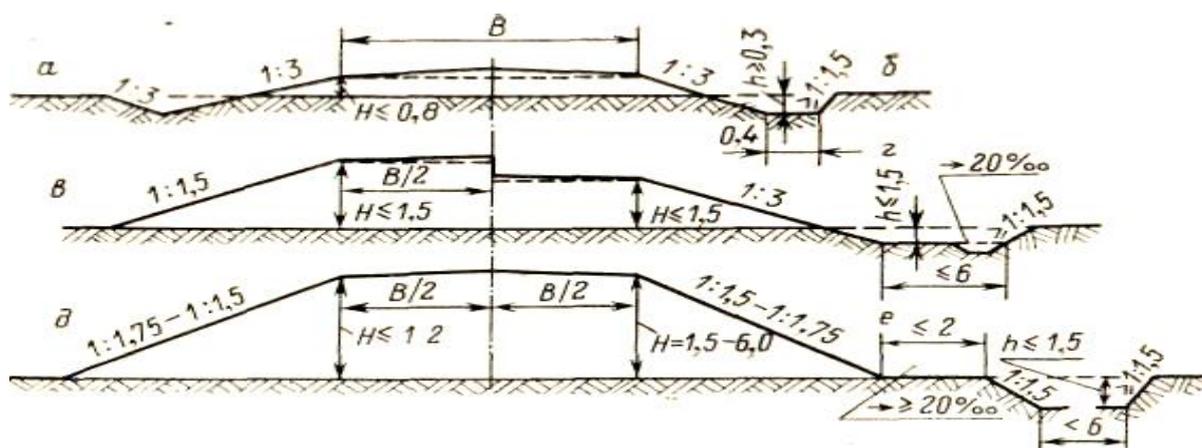


Рис. 5.12. Типовые поперечные профили дороги в насыпи: *а* – с треугольными (лотковыми) кюветами; *б* – с трапецидальными кюветами; *в* – из привозных грунтов; *д* – с откосами разной крутизны; *е* – с бермами

Типовые поперечные профили выемок показаны на рис. 5.13.

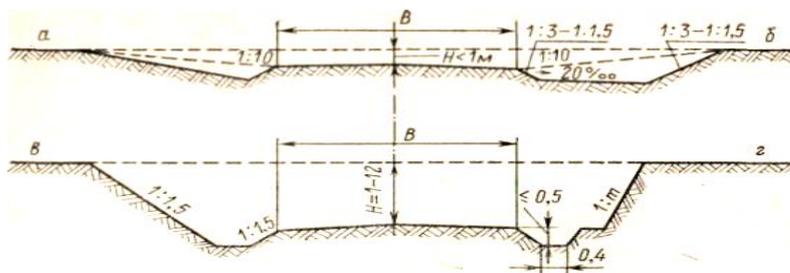


Рис. 5.13. Типовые поперечные профили дороги в выемках: *а* – мелкая раскрытая; *б* – мелкая раскрытая, разделенная под насыпь; *в* – глубиной от 1 до 12 м; *г* – в лесах в условиях засушливого климата

### 5.3. ДОРОГА В ПЛАНЕ

При изысканиях на местности намечают ось дороги, которая называется **трассой**. Трасса дороги в общем случае представляет собой пространственную линию, потому что ее положение по длине непрерывно изменяется как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости. Отклонение трассы дороги от прямой в вертикальной

плоскости вызывается наличием продольных уклонов, а в горизонтальной – обходом препятствий (оврагов, болот, водных преград и пр.).

На топографических картах и планах дорогу изображают в виде **плана трассы** – проекции трассы дороги на горизонтальную плоскость в определенном масштабе. Между заданными опорными пунктами дорогу стремятся трассировать по кратчайшему направлению (по воздушной линии), чтобы ее длина была короче. Однако часто провести дорогу по прямой нельзя из-за различных препятствий, поэтому в общем случае трасса дороги состоит из прямых отрезков, сопряженных кривыми.

Изменение направления дороги характеризуется **углом поворота** между продолжением и последующим направлением трассы. Чтобы обеспечить плавность и требуемую скорость движения, во внутренние углы поворота трассы вписывают **круговые и переходные кривые**.

К **развитию трассы** или вынужденному удлинению дороги прибегают на участках, где уклоны местности по трассе превышают допустимые для проектируемой дороги продольные уклоны. Например, превышение местности на участке длиной 250 м составляет 20 м, то есть уклон равен  $20:250 = 0,080$ . Для сельскохозяйственных же дорог при движении автопоездов продольный уклон допускается не более 0,070. Значит, чтобы обеспечить этот уклон, трассу на рассматриваемом участке следует удлинить до  $20:0,070 = 286$  м. Удлиненно осуществляется за счет отклонения от первоначального направления путем введения дополнительных кривых и прямых.

В горных районах трассу дороги удлиняют проектированием серпантин. **Серпантин** – это участки трассы, где резко изменяется ее направление (до  $180^\circ$ ) с размещением кривой не внутри, а снаружи угла поворота. Размеры элементов серпантин устанавливаются техническими условиями (рис. 5.14).

При переходе автомобиля с прямолинейного участка дороги на кривую условия движения усложняются, так как появляется центробежная сила.

Для уменьшения центробежной силы практически имеется одна возможность – увеличить радиус кривой, так как вес автомобиля и ускорение не изменяются, а скорость движения на закруглении долж-

на быть такой же, как и на прямолинейном участке.

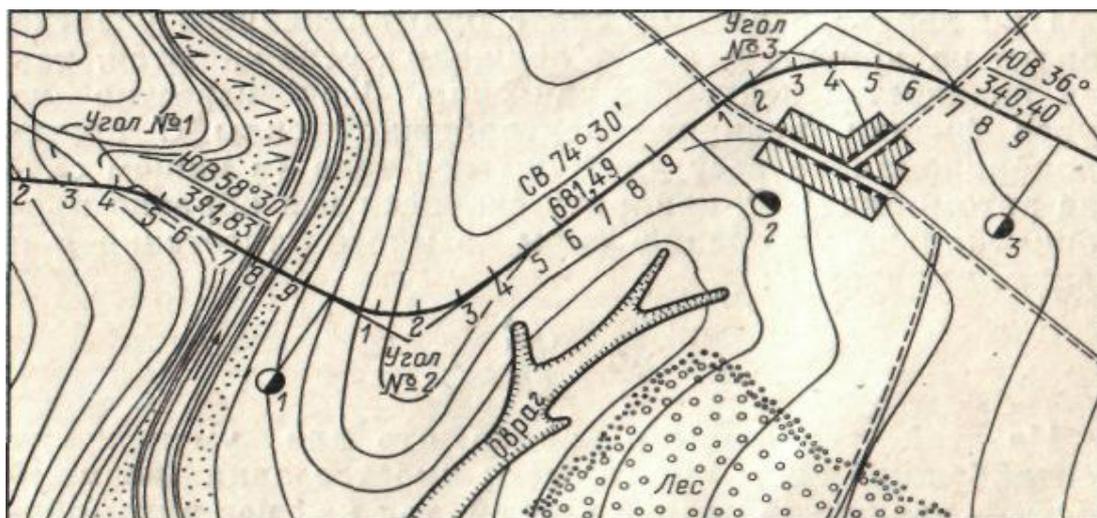


Рис. 5.14. План трассы дороги

Участок закругления дороги с односкатным поперечным профилем и уклоном проезжей части и обочин в сторону центра кривой называется **виражом**. Вираж устраивают на всем протяжении круговой кривой. Переход от двускатного поперечного профиля на прямолинейном участке к односкатному осуществляется на **отгоне виража** — прилегающей к основной кривой переходной кривой — или на прямом участке дороги. Вираж образуют путем плавного вращения внешней плоскости проезжей части вокруг дороги, а затем при необходимости — вокруг внутренней кромки проезжей части.

На сельскохозяйственных дорогах виражи устраивают при радиусах кривых 600 м и менее.

На автодорогах общей сети виражи устраивают при радиусах кривых: на дорогах I категории — менее 3000 м; на дорогах остальных категорий — 2000 м. Кроме того, при радиусах кривых в плане 2000 м и менее предусматривают так называемые **переходные кривые**.

В качестве переходных применяют ряд математических кривых — кубическую параболу, лемнискату Бернулли и некоторые др.

Поскольку на поворотах движение усложняется и автомобиль занимает более широкую полосу, так как его передние колеса движутся по траекториям большего радиуса, чем задние, на кривых малых радиусов делают **уширение проезжей части**. На дорогах общей сети

уширение проезжей части необходимо предусматривать при радиусах кривых в плане 1000 м и менее.

Ширина обочин с учетом устройства уширения должна быть не менее 1 м, а в горной местности не менее 0,5 м, для чего в необходимых случаях предусматривают соответствующее уширение земляного полотна.

#### ***5.4. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЗЕМЛЯНОМУ ПОЛОТНУ ДОРОГИ***

Прочность, долговечность и высокие эксплуатационные качества дорожной одежды, самой дорогой части автомобильной дороги, зависят от несущей способности ее основания, которым является земляное полотно, возводимое обычно из местных грунтов. Если грунты земляного полотна подвержены увлажнению поверхностными или грунтовыми водами, их несущая способность резко падает и дорожная одежда легко разрушается. Поэтому для ускорения стока поверхностных вод земляному полотну и дорожной одежде придается двускатный поперечный профиль (на кривых малого радиуса – односкатный). Чтобы уменьшить воздействие грунтовых вод на земляное полотно, дорогу стремятся по возможности делать в насыпи. Чем выше насыпь, тем меньше возможность ее увлажнения грунтовыми водами.

На конструкцию земляного полотна влияют как местные условия (климатические, почвенно-грунтовые, топографические, гидрологические, геологические, гидрогеологические), так и принятые решения по продольному и поперечному профилям, которые также зависят от местных условий и категории дороги. Климатические условия (осадки, толщина снежного покрова, температура воздуха, глубина промерзания грунтов) влияют на увлажнение земляного полотна, на заносимость дороги снегом.

Почвенно-грунтовые условия оказывают влияние на крутизну откосов насыпей и выемок, порядок расположения разнородных грунтов по высоте насыпи, на степень ее уплотнения, на крепление откосов. Все это сказывается на конструкции и стоимости земляного полотна дороги.

Топографические условия (рельеф и ситуация) влияют на выбор направления трассы дороги в плане, проектирование продольного и

поперечных профилей земляного полотна, в известной степени определяют сток воды, увлажнение местности и сказываются в способах выполнения земляных работ и стоимости строительства. Гидрологические условия (величина стока и расхода воды, скорость течения воды и т.д.) влияют на высоту насыпи, размеры водопропускных сооружений и тип укрепления земляного полотна.

Геологические и гидрогеологические условия (качество грунтов и их увлажнение) воздействуют на устойчивость насыпей и выемок.

В сырых местах с избыточным увлажнением в отдельные периоды года при необеспеченном поверхностном водоотводе, если грунтовые воды не оказывают влияния на увлажнение верхней толщи грунтов (2-й тип местности), минимальное возвышение низа дорожной одежды над поверхностью земли принимают в зависимости от дорожно-климатической зоны и качества грунта по табл. 5.2.

Таблица 5.2

| Грунт   | Зоны |     |     |     |
|---|------|-----|-----|-----|
|   | II   | III | IV  | V   |
| Песок средний и мелкий; супесь легкая<br>крупная  | 0,5  | 0,4 | 0,3 | 0,2 |
| Песок пылеватый; супесь легкая  | 0,6  | 0,5 | 0,4 | 0,3 |
| Супесь пылеватая и тяжелая пылеватая; суглинок легкий, легкий пылеватый и тяжелый пылеватый | 0,8  | 0,6 | 0,5 | 0,4 |
| Суглинок тяжелый, глины   | 0,7  | 0,6 | 0,4 | 0,4 |

В сырых местах с постоянным избыточным увлажнением, если грунтовые воды влияют на увлажнение верхней толщи, грунтов (3-й тип местности), высоту бровки земляного полотна назначают с таким расчетом, чтобы возвышение низа дорожной одежды над уровнем грунтовых или длительно (более 20 суток) стоящих поверхностных вод было не менее указанного в табл. 5.3.

Для возведения насыпей можно использовать любые местные

грунты, обеспечивающие прочность и устойчивость земляного полотна. Запрещается применять илы, торф и сильно засоленные грунты, а также глины и пылеватые суглинки, находящиеся в замерзшем состоянии.

Таблица 5.3

| Грунты  | Возвышение низа дорожной одежды (м) |     |     |     |  |
|---|-------------------------------------|-----|-----|-----|--|
|   | Зона                                |     |     |     |  |
|   | II                                  | III | IV  | V   |  |
| Песок средний и мелкий;   | 0,7                                 | 0,6 | 0,5 | 0,4 |  |
| Песок пылеватый; супесчаная   | 1,2                                 | 0,8 | 0,8 | 0,7 |  |
| Супесь пылеватая и тяжелая; суглинок легкий пылеватый и тяжелый пылеватый | 1,9                                 | 1,7 | 1,4 | 1,3 |  |
| Суглинок тяжелый, глины   | 1,9                                 | 1,4 | 1,1 | 1,0 |  |

Насыпи возводят, как правило, из однородного грунта слоями 0,2 – 0,3 м с уплотнением каждого слоя. Верхнюю часть насыпи рекомендуется отсыпать из не пылеватых песчаных и супесчаных грунтов.

### 5.5. ДОРОГА В ПРОДОЛЬНОМ ПРОФИЛЕ

**Продольным профилем** называют графическое изображение сечения дороги вертикальной плоскостью, проходящей через ее ось. Чертеж продольного профиля является основным техническим документом проекта дороги. На чертеже продольного профиля трассу дороги изображают в виде **проектной** (красной) **линии**, которая для новой дороги соответствует положению линии бровки земляного полотна, а для реконструируемой – линии оси. Линию естественной поверхности земли по оси дороги на чертеже продольного профиля иногда называют **черным профилем**.

Если проектная линия проходит над черным профилем, земляное полотно дороги представляет собой насыпь, если под ним – выемку. Разность между отметками проектной и черной линии на одной вертикали называют **рабочей отметкой**. Если дорога проходит в насыпи,

рабочие отметки подписывают выше проектной линии, если в выемке – ниже ее.

**Основные требования к проектированию дороги в продольном профиле.** Проектирование дороги осуществляют одновременно на плане и в продольном профиле. В процессе проектирования производят взаимную увязку и корректировку всех элементов плана и профиля. При этом соблюдают основные требования, которые сводятся к обеспечению безопасности и плавности движения по дороге с расчетными скоростями, а также наименьшего объема земляных работ, устойчивости и долговечности земляного полотна и дорожной одежды. Безопасность и плавность движения при проектировании продольного профиля обеспечивают правильным назначением величин радиусов вертикальных кривых, соответствующим выбором крутизны спусков и подъемов, их последовательностью, с учетом всех местных условий.

Для проектирования дороги в продольном профиле необходимо иметь следующие исходные данные.

1. *Наибольшие допустимые величины продольных уклонов.* Они зависят от рельефа местности, характера и состава движения по дороге и принимаются исходя из технических условий с учетом требований эксплуатационного задания.

2. *Наименьшие продольные уклоны.* Продольные уклоны на дорогах появляются в связи с желанием вписать дорогу в рельеф местности и могут быть любыми (положительными, нулевыми, отрицательными).

3. *Рекомендуемая рабочая отметка земляного полотна,* то есть высота насыпи, принимается по техническим условиям в зависимости от характера увлажнения местности, дорожно-климатической зоны и качества грунтов земляного полотна.

4. *Наименьшие радиусы вертикальных выпуклых и вогнутых кривых.* Для сельскохозяйственных дорог первой группы наименьшие радиусы выпуклых вертикальных кривых допускаются 2500 (1000 – 600) м, а второй группы – 1000 (600 – 400) м. Для вогнутых кривых наименьшие радиусы могут быть снижены до 100 м .

5. *Расстояние между вершинами разноименных переломов проектной линии* (шаг проектирования) должно быть не менее 100 м в равнинной и пересеченной местности и 50 м – в горной. Для дорог

общей сети, отнесенных к IV категории, это расстояние должно быть равно 150 м и V категории – 100 м.

## **5.6. КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ТИПЫ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД**

Дорожной одеждой принято называть укрепленную поверхность земляного полотна дороги в пределах проезжей части, по которой непосредственно движется транспорт. Дорожную одежду устраивают для создания прочной и ровной поверхности, допускающей движение транспорта с расчетной скоростью.

Экономически целесообразно выполнять дорожную одежду в виде нескольких конструктивных слоев из каменных материалов различной прочности. Различают три основных слоя:

1) **покрытие** – верхний, наиболее прочный слой дорожной одежды, подверженный непосредственному воздействию колес автомобилей. Покрытие может состоять из верхнего периодически возобновляемого в процессе эксплуатации *слоя износа* и *основного слоя*, назначение которого – усилить связь покрытия с основанием;

2) **основание** – основная несущая часть дорожной одежды, обеспечивающая совместно с покрытием рассредоточение и передачу нагрузок на подстилающий слой или на грунт земляного полотна; основание также может состоять из двух слоев разной прочности;

3) **дополнительный слой основания** (подстилающий или выравнивающий слой) – нижняя часть дорожной одежды, предназначенная для передачи нагрузок на земляное полотно, выравнивания его поверхности, защиты от мороза и для дренирования. Подстилающий слой обычно делают из песка – грунта, который почти не меняет своих свойств, при увлажнении.

## **5.7. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ДОРОЖНОСТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛАХ**

Для устройства дорожной одежды используют природные, а также искусственные материалы и изделия. Природные материалы подразделяются на грунтовые, гравий и гравийные смеси, песок, камень булыжный, различные местные материалы (дресва, ракушка, конкреции, мел и т.д.). К искусственным строительным материалам относят щебень, ка-

менные порошки, камень колотый, брусчатку, литые каменные; к изделиям — плиты для покрытия дорог и тротуаров, камни бортовые и детали для дорожных ограждений и знаков.

**Грунты** — основной дорожно-строительный материал. Из них возводят земляное полотно, служащее основанием для дорожной одежды. От свойств грунта зависит прочность земляного полотна и дорожной одежды, а также сооружений на дороге.

Чем больше песчаных частиц содержат грунты и чем крупнее эти частицы, тем меньше изменяются свойства грунтов от воздействия влаги и мороза. *Песчаные грунты* в сухом состоянии пылят, обладают малым сцеплением и являются труднопроезжаемыми. На влажных песчаных грунтах проходимость машин улучшается. Для улучшения к этим грунтам требуется добавление глинистых и суглинистых грунтов.

*Супесчаные грунты* являются лучшими для дорожного строительства. При удовлетворительном содержании в сухое время года они образуют ровную поверхность, дорожное полотно легко накатывается автомобилями. В дождливую погоду липкость почти отсутствует.

*Пылеватые грунты* при увлажнении переходят в плавунное состояние; малосвязанные, способны к пучению; хорошо удерживают влагу и поднимают воду по капиллярам на большую высоту. В сухом состоянии легко истираются и пылят. Могут быть улучшены песком и гравием, желательно с введением вяжущего.

*Суглинистые грунты* — связные, плохо пропускают воду и медленно просыхают. В сухое время года при правильном содержании дороги хорошо проезжаемы, а после дождя их поверхность становится скользкой. При перенасыщении влагой труднопроезжаемые из-за образования глубокой колеи. Добавление песчаных грунтов улучшает проезд транспорта. Из суглинистых грунтов возводят хорошее дорожное полотно при надлежащем водоотводе.

*Глинистые грунты* при оптимальной влажности образуют хороший накат, но в пересохшем состоянии трескаются, пылят, а от переувлажнения набухают, теряют несущую способность, очень липки и медленно просыхают; при замерзании увеличиваются в объеме.

Перечисленные свойства песчаных и глинистых грунтов используют для образования грунтовых одежд из оптимальных смесей, которые создаются из взятых в оптимальных для данных условий соотношениях песчаных и глинистых грунтов.

**Местными строительными материалами** являются: дресва – продукт выветривания горных пород, сохранившийся на месте разрушения; жерства – продукт выветривания пород, иногда перенесенный на некоторое расстояние водой; горелые породы – терриконы шахт; ракушки; опока – минеральные породы, образовавшиеся при насыщении глин растворенным кремнеземом; конкреции – каменные образования округлой формы; тырса – слабая известняковая порода; мел – мягкая белая известковая порода.

Для образования **бетонов** применяют вяжущие материалы органические и неорганические. К *органическим вяжущим* относят природные и искусственные нефтяные битумы и синтетические смолы.

К *неорганическим (минеральным) вяжущим* относят: **цементы** – тонкомолотые порошкообразные смеси минерального происхождения, которые при замешивании с водой образуют затвердевающую массу. Цементы используют для приготовления раствора, бетона и железобетона. Они имеют марки от 150 до 600; **известь** – неорганическое вяжущее, получаемое путем обжига карбонатных пород – известняков, доломитов и т.д. Известь может иметь вид комков (комовая, негашеная); порошка (молотая); пушенки (получается путем гашения водой комовой или молотой извести). При избытке воды в извести получают известковое тесто.

## ГЛАВА 6

### ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ (по С.Н.Максимову)

#### **6.1. КРАТКАЯ ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

. Первая железная дорога общего пользования протяжением 27 км (Петербург – Павловск) была построена в 1836 – 1837 гг. В 1860 гг. в России было построено уже 1600 км железных дорог (включая первую магистральную дорогу Петербург – Москва протяженностью 650 км).

1. Железные дороги по характеру обслуживания нужд народного хозяйства делятся на :

- дороги общего (или магистральные): обслуживают все ведомства и организации;

- не общего пользования: используются в качестве подъездных путей к предприятиям, пристаням, складам и т.п., а также в качестве внутризаводских или внутрикарьерных.

2. Железные дороги по ширине колеи делятся на:

- дороги нормальной (широкой) колеи. В России ширина равна 1524 мм, а в странах Западной Европы - 1435 мм;

- узкой колеи: шириной колеи 750, 900 и 1000 мм [1 – 12].

#### **6.2. СТРОЕНИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ**

Железнодорожный путь, служащий для движения по нему подвижного состава, состоит из нижнего и верхнего строения. Нижнее строение представляет собой земляное полотно, всевозможные водопропускные сооружения (включая и мосты), а также подпорные стенки, тоннели и т.п.

Верхнее строение пути (рис. 6.1) составляют рельсы (1), опирающиеся на шпалы (2), которые, в свою очередь опираются на балластный слой (3), лежащий на земляном полотне (4). Рельсы служат для поддержания и направления колес подвижного состава, непосредственно воспринимают от него давление и передают его шпалам. Балласт служит подушкой, передающей давление шпал на земляное полотно.

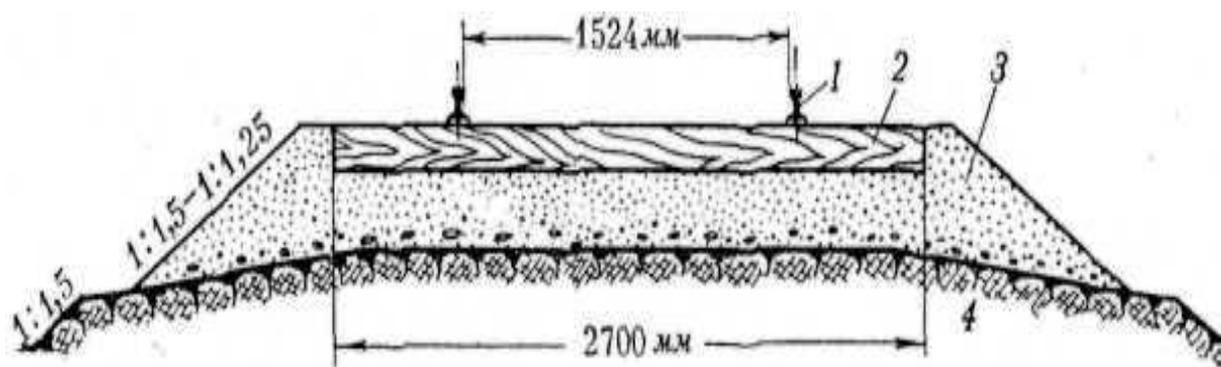


Рис. 6.1. Верхнее строение железнодорожного пути: 1 – рельс;  
2 – шпала; 3 – балласт; 4 – основание

Рельсы, имеющие верхнюю головку, по которой катится колесо, снабжены уширенной опорной подошвой, опирающейся на шпалы. Они изготавливаются из стали и бывают нескольких типов (по величине сечения, а следовательно, и по несущей способности). Шпалы изготавливаются из дерева, бетона и металла.

Балластный слой укладывается из гравия или щебня и должен быть хорошо водопроницаемым. Земляное полотно железнодорожного пути, так же как и автомобильной дороги, служит для выравнивания неровностей дневной поверхности, поэтому оно местами располагается в насыпи или выемке. При наличии поперечных уклонов местности земляное полотно может быть проведено в полувыемке-полунасыпи, по полке.

# ГЛАВА 7

## МОСТЫ (по С.Н. Максимову)

### 7.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Мост представляет собой искусственное сооружение, состоящее из пролетных строений, поддерживающих ездовое полотно, и опор, передающих опорные давления пролетных строений на грунт [1 - 12]. Если у моста только две опоры, то его называют однопролетным, при наличии же промежуточных опор – многопролетным, (рис. 7.1).

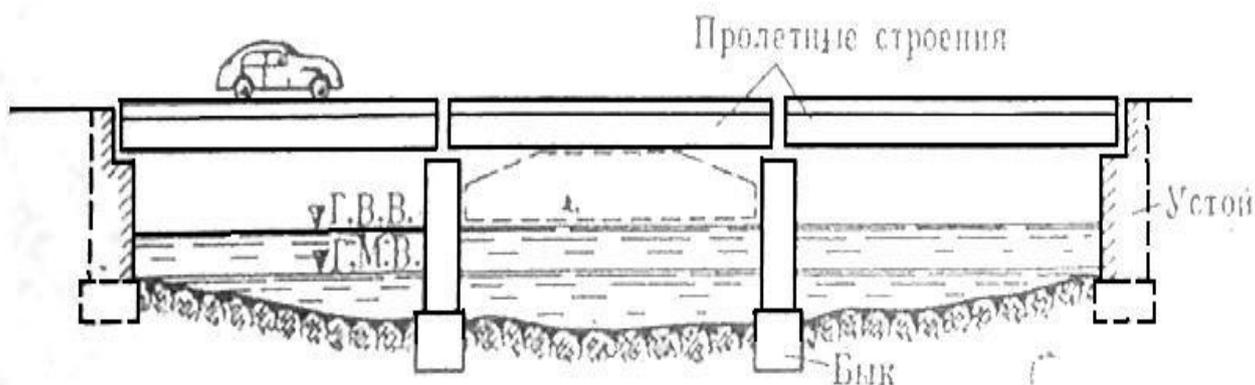


Рис. 7. 1. Схема многопролетного моста

Крайние опоры, расположенные в местах сопряжения моста с берегами, называют устоями, а промежуточные опоры – быками. Расстояние между центрами опорных точек пролетного строения носит название расчетного пролета.

Свободную ширину зеркала воды под мостом по горизонту высоких вод называют отверстием моста. Расстояние от поверхности проезда по мосту до горизонта межени вод называют высотой моста. Расстояние от низа пролетного строения до горизонта высоких вод или наивысшего судоходного горизонта носит название свободной высоты под мостом.

В зависимости от расположения уровня проезда по мосту различают:

1) мосты с ездой поверху, когда проезжая часть расположена по верху пролетных строений (рис. 7.1);

2) мосты с ездой понизу (рис. 7.2, а);

3) мосты с ездой посередине, у которых ездовое полотно расположено в пределах пролетного строения (рис. 7.2, б).

По материалу пролетных строений мосты могут быть деревянные, каменные, бетонные, железобетонные и металлические.

По роду обрабатываемой нагрузки среди мостов различают: автомобильные (для всех видов движения, осуществляемого по автомобильным дорогам), пешеходные, железнодорожные, совмещенные (для одновременного пропуска автомобильного и железнодорожного транспорта), специального назначения (для прокладки трубопроводов, кабелей и др.).

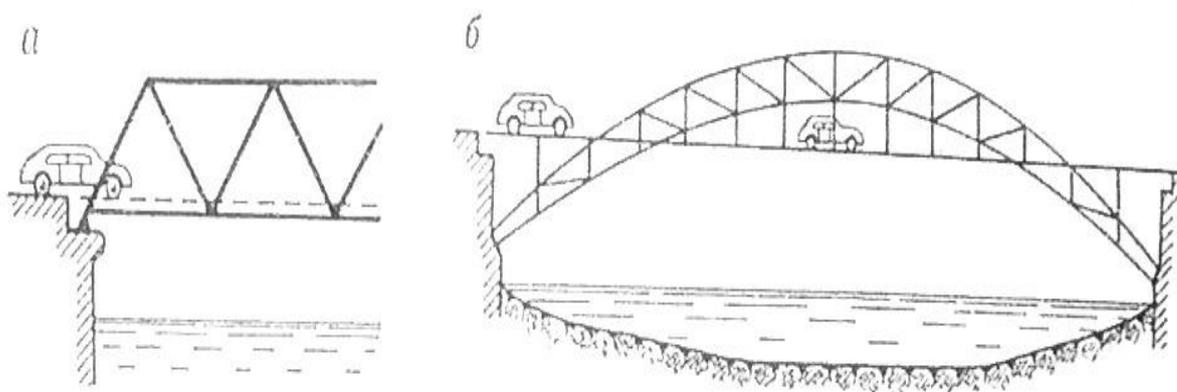


Рис. 7.2. Схемы мостов: а — с ездой понизу; б — с ездой посередине

Для пропуска водных путей строят мосты-каналы, а для целей водоснабжения — акведуки.

В зависимости от своих особенностей и условий службы мосты могут быть разделены на следующие основные виды: мосты обычного типа, разводные мосты, трансбордеры, или мостовые паромы, наплавные мосты.

Кроме этих основных видов мостов применяются и другие виды сооружений, аналогичные мостам и называемые путепроводами, эстакадами и виадуками.

*Мостоми обычного типа*, или мостоми высокого уровня (высоководными), называют мостоми, расположенные на такой высоте над рекой, при которой они не препятствуют пропуску высоких вод, а также судоходству или сплаву. В этих мостомах величина возвышения низа пролетных строений над горизонтом высоких вод или над расчетным судоходным горизонтом не должна быть меньше величины

судоходного габарита для данной реки (рис. 7.1).

В некоторых случаях строят мосты, имеющие лишь небольшое возвышение над горизонтом меженных вод — это низководные мосты. Они не способны пропускать высокие воды и при паводках либо затопляются (затопляемые мосты), либо подвергаются разборке (разборные мосты).

*Разводными* называются мосты на постоянных опорах, имеющие подвижные пролетные строения, которые открываются (разводятся) для пропуска судов (рис. 7.3, а). Недостатком разводных мостов является неизбежность перерывов движения по мосту — при разведенном пролете или по реке — при закрытии разводного пролета.

*Трансбордеры*, или мостовые паромы (рис. 7.3, б), устраивают для пересечения широкого водного пространства при слабом движении между берегами.

*Наплавными* (рис. 7.3, в) называют мосты на плавучих опорах. Они применяются при пересечении широких и многоводных рек в тех случаях, когда устройство моста на постоянных опорах не оправдывается интенсивностью движения по мосту. Более примитивным способом связи между берегами многоводных рек или заливов и проливов является паромная переправа.

Путепроводы — это мостовые сооружения, предназначенные для пропуска одной дороги над другой (пересечение в разных уровнях) (рис. 7.3, г).

Эстакадой называют мостовую конструкцию, служащую для пропуска движения на некоторой высоте над поверхностью земли (рис. 7.3, д), чтобы нижележащее пространство могло быть использовано для проезда или для других целей. В городах эстакады часто устраивают для пропуска скоростного автодвижения, метрополитена или железной дороги.

Виадук устраивают вместо насыпей при пересечении дорогой глубоких лощин, оврагов или суходолов (рис. 7. 3, е).

По условиям работы под нагрузкой могут быть выделены следующие системы пролетного строения: балочная, арочная, рамная и висячая (рис. 7. 4). В последнее время в практику строительства все больше и больше входят комбинированные системы мостов, представляющие собой сочетание двух простейших систем, например, балочной и арочной.

При балочной системе пролетное строение под действием на него вертикальной нагрузки работает на изгиб и передает на опоры вертикальное давление.

По конструктивным особенностям различают: балочные разрезные мосты (рис. 7.4, а), пролетное строение которых перекрывает только один пролет, — эти мосты легко переносят неравномерные осадки; балочные неразрезные мосты (рис. 7. 4, б), пролетное строение которых представляет собой балку на нескольких опорах, перекрывающую ряд пролетов.

Балочные мосты в настоящее время строят преимущественно из железобетона и лишь иногда из дерева.

В арочных мостах под воздействием вертикальных нагрузок возникают наклонные опорные реакции, которые могут быть разложены на вертикальные и горизонтальные (рис. 7.5).

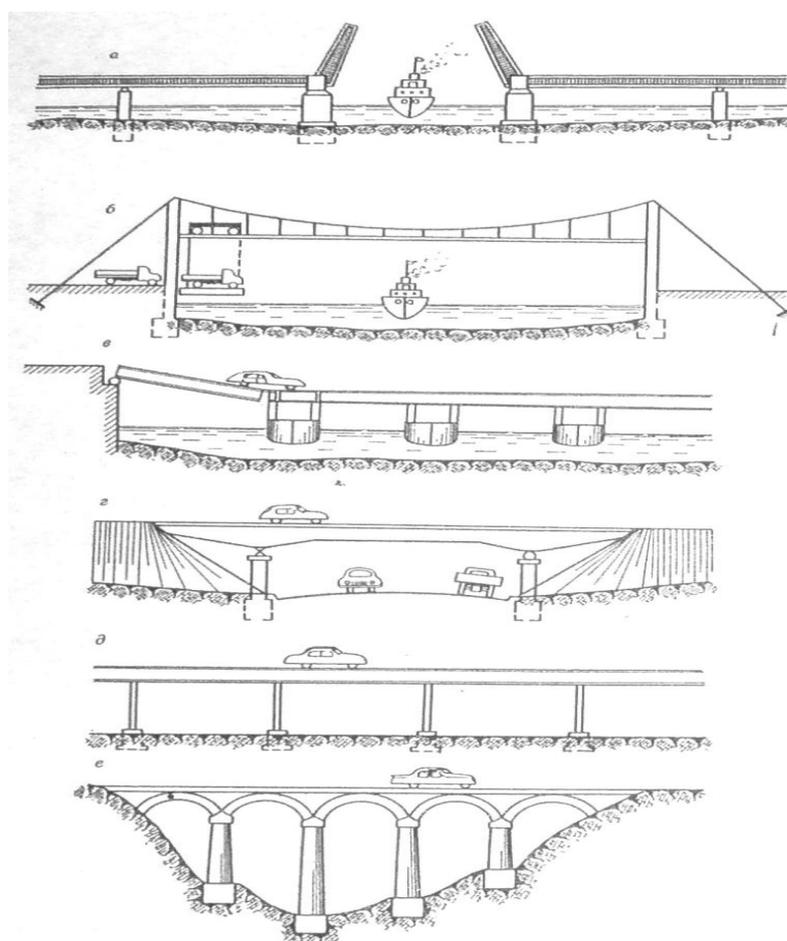


Рис. 7.3. Виды мостовых сооружений: а — разводной мост; б — мостовой паром (трансбордер); в — наплавной; г — путепровод; д — эстакада; е — виадук

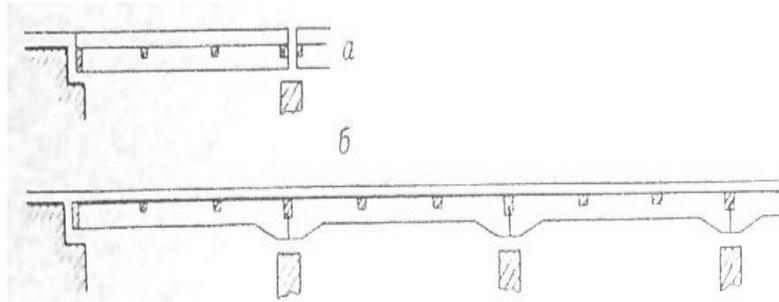


Рис. 7.4. Системы балочных пролетных строений:  
*a* – однопролетная; *б* – многопролетная

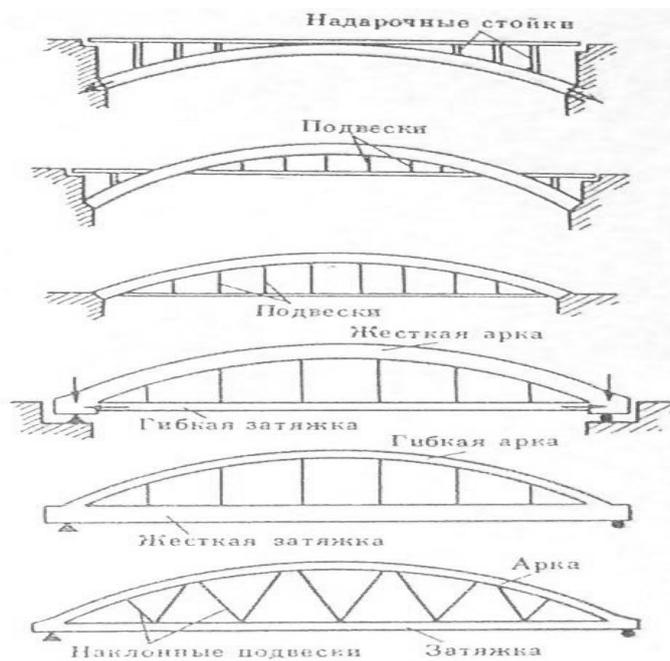


Рис. 7.5. Основные системы железобетонных арочных мостов

В рамных мостах пролётные строения составляют единую конструкцию с опорами (рис. 7.6). При действии вертикальных нагрузок опорам и фундаментам рамных мостов передаются не только сжимающие усилия, но и изгибающие моменты, а иногда и распор. Рамные мосты обычно выполняются из железобетона.

В висячих мостах пространство между опорами перекрывается поясом из тросов (канатов) или цепей, работающих на растяжение и поддерживающих балку жесткости с проезжей частью. Трос или цепи передают своими концами, заделанными в специальные анкерные опоры, наклонные усилия (вертикальная составляющая и горизонтальный распор).

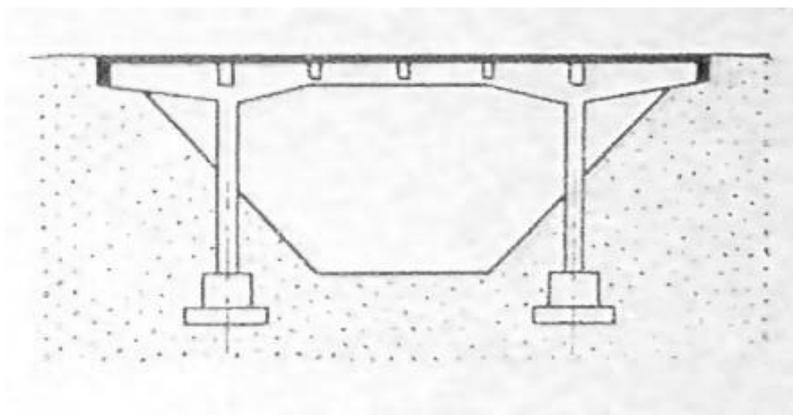


Рис. 7.6. Рамный мост

Балка жесткости служит для восприятия распорного давления и, кроме того, уменьшает прогиб проезжей части. Висячие мосты раньше строили главным образом из металла и реже из дерева, теперь строят из железобетона.

Фундаменты мостовых опор и основания являются весьма ответственными элементами сооружения, от качества и надежности которых в значительной степени зависит долговечность сооружения. Поэтому к основаниям и фундаментам мостовых опор предъявляются такие же высокие требования, как и к самим мостам.

При строительстве мостов на участках развития достаточно прочных и устойчивых грунтов используют естественное основание, а при строительстве на слабых грунтах – искусственное.

Следует отметить, что в зависимости от особенностей геологического строения и инженерно-геологических условий мостового перехода могут быть выбраны разные схемы опирания фундамента и разная конструкция самих фундаментов. Во многих случаях это будут или массивные, или столбчатые, или свайные фундаменты (рис. 7.7).

В последнее время среди фундаментов мостовых опор получили широкое распространение крупнодиаметровые сваи-оболочки.

Новые конструкции железобетонных мостов применяются во всех странах, но особенно интересные мосты построены в последние годы в нашей стране (при переходах через Волгу, Днепр, Енисей и многие другие реки), а также в США, Италии, Франции, Австрии, ФРГ, Канаде, Турции (через Босфор).

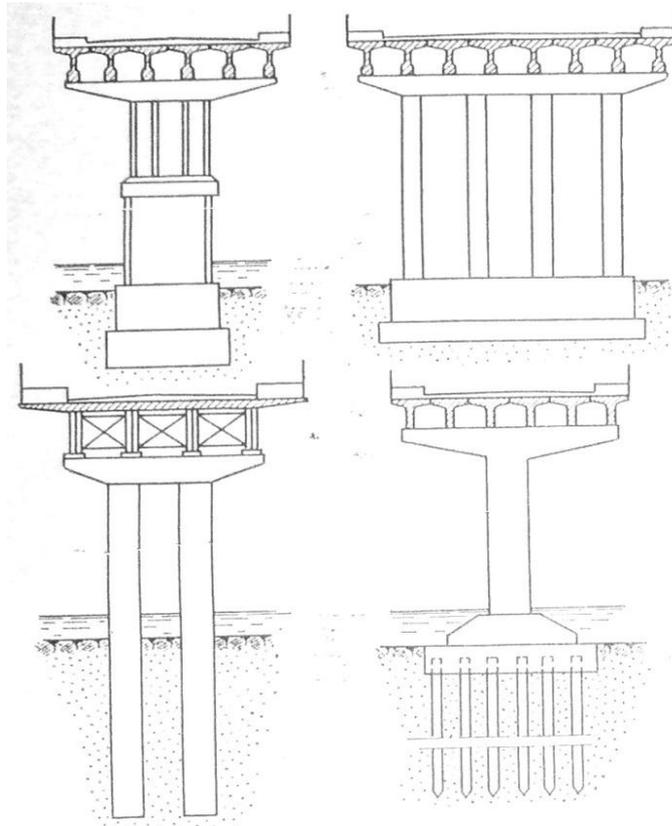


Рис. 7.7. Схемы мостовых опор

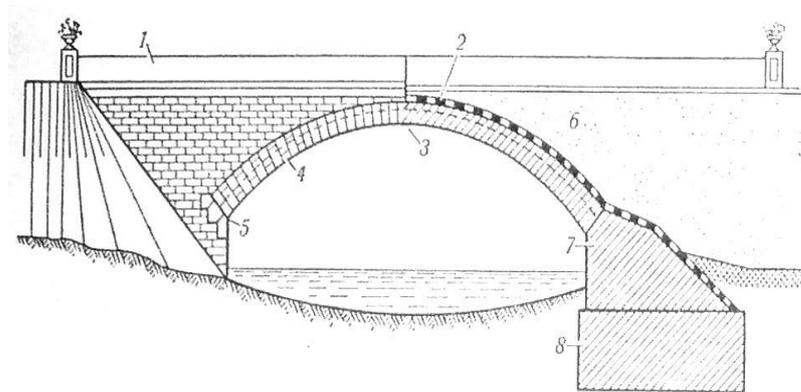


Рис. 7.8. Каменный мост с засыпкой:

1 – парапет; 2 – гидроизоляция; 3 – замок свода; 4 – свод; 5 – пята свода; 6 – засыпка; 7 – устой; 8 – фундамент

## **7.2. МОСТЫ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ**

### **7.2.1. Балочные мосты**

Балочные мосты различных систем имеют очень широкое рас-

пространение в строительной практике, особенно при перекрытии небольших рек и оврагов, при устройстве путепроводов и эстакад, в ряде других случаев городского строительства и при строительстве автомобильных и железных дорог.

На современных дорогах при промышленном и городском строительстве балочные мосты строят преимущественно из железобетона (рис. 7.9).

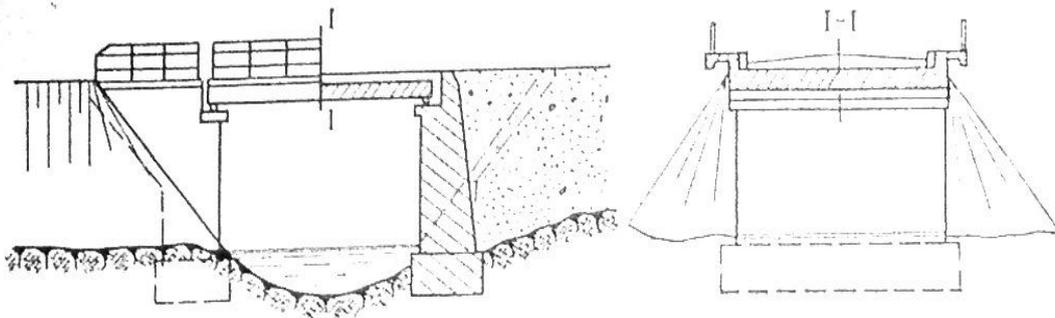


Рис. 7.9. Плитный однопролетный балочный мост

Наиболее простым видом балочного моста, применяемого для перекрытия небольших пролетов, является мост с плитным пролетным строением (рис. 7.9). При больших пролетах применяют разрезные, неразрезные (рис. 7.4) и консольные балки. Выбор той или иной конструкции производится исходя из ожидаемых деформаций основания, являющихся следствием геологических условий участка расположения опор и, в частности, сжимаемости грунтов, слагающих основание.

### **7.2.2. Рамные мосты**

По конструкции к балочным мостам близки мосты рамные (рис. 8.7), в которых пролетное строение и опоры представляют собой единое целое. При этом пролетное строение работает как балка с упруго заделанными концами и опоры испытывают большие изгибающие усилия. Поэтому рамные мосты выполняются из железобетона.

Рамные мосты широко применяются при строительстве путепроводов и эстакад, так как благодаря малым размерам сечения опоры в наименьшей степени загромождают пространство под путепроводом. Опоры рам выполняются обычно в виде ряда стоек, опирающихся на ленточные фундаменты или на свайные ростверки.

### *7.2.3. Арочные мосты*

Арочные мосты, так же как и балочные, могут быть однопролетными и многопролетными и сооружаться из железобетона, металла и дерева. Каменные и бетонные мосты также являются обычно арочными.

В отличие от балок мостовые арки в большинстве случаев перекрывают пролеты от 20 – 30 м, причем в современном мостостроении есть примеры перекрытия пролетов длиной до 250 – 350 м.



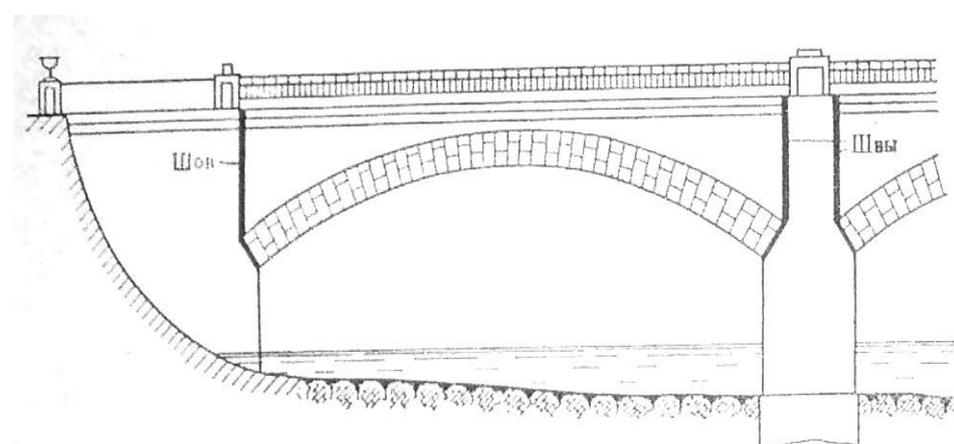


Рис. 7.10. Деформационные швы в каменном мосту

В мостах арочной системы основным несущим элементом являются свод или арка. Свод обычно представляет собой криволинейную плиту, ширина которой много больше ее толщины. Арка — это криволинейный брус, ширина которого обычно меньше его высоты.

Свод или арка работают в основном на сжатие, поэтому для их строительства могут быть использованы разные материалы, главным образом бетон высоких марок, а также каменная кладка, железобетон и металл.

#### 7.2.4. Висячие мосты

Висячими называются такие мосты, у которых главными несущими элементами служат кабели (цепи) или ванты, работающие на растяжение (рис. 7.11). Кабель (цепь) или система вант проходит над вершинами башен – пилонов и удерживается оттяжками, закрепленными в грунт, в кладке устоев (рис. 7.11, *а*, *б*) или на концах балок жесткости (рис. 7.11, *з*). Благодаря высокому расчетному сопротивлению канатов, вес висячих мостов получается минимальным, конструкция приобретает легкость, что обеспечивает возможность перекрытия пролетов очень большой длины. В висячих мостах проезжая часть подвешивается к кабелю или узлам вант с помощью подвесок.

Кабель (цепь) или система вант проходит над вершинами башен – пилонов и удерживается оттяжками, закрепленными в грунт, в кладке устоев (рис. 7.11 *а*, *б*) или на концах балок жесткости (рис. 7.11, *з*). Благодаря высокому расчетному сопротивлению канатов, вес висячих мостов получается минимальным, конструкция приобретает легкость, что обеспечивает возможность перекрытия пролетов очень большой длины. В висячих мостах проезжая часть подвешивается к кабелю или узлам вант с помощью подвесок.

По характеру несущей конструкции висячие мосты можно разделить на мосты с кабелем, или цепью (главный несущий элемент – криволинейный кабель, или цепь, – рис. 7.11, *а*, *з*) и с вантами (система прямолинейных элементов – вант, прикрепленных к пролетному строению – рис. 7.11, *б*, *в*).

В современном мостостроении наиболее часто применяются висячие системы с проволочными кабелями (стальными тросами) малой жесткости. Такая конструкция способна при движении временной нагрузки менять свое геометрическое очертание. Чтобы предотвратить большие прогибы, вызываемые такими деформациями кабеля, в висячих мостах устраивают балки или фермы жесткости (рис. 7.11, *а*, *з*).

В вантовых мостах (рис. 7.11, *б*, *в*) проезжая часть поддерживается геометрически неизменяемой системой из прямых канатов – вант, подобранных так, чтобы при любом положении на мосту вре-

менной нагрузки все ванты работали только на растяжение. В последние годы в ряде мостов была применена система вант, проходящих над пилонами и поддерживающих своими концами балку жесткости (рис. 7.11, в), что обеспечивало большее удобство и простоту сборки моста.

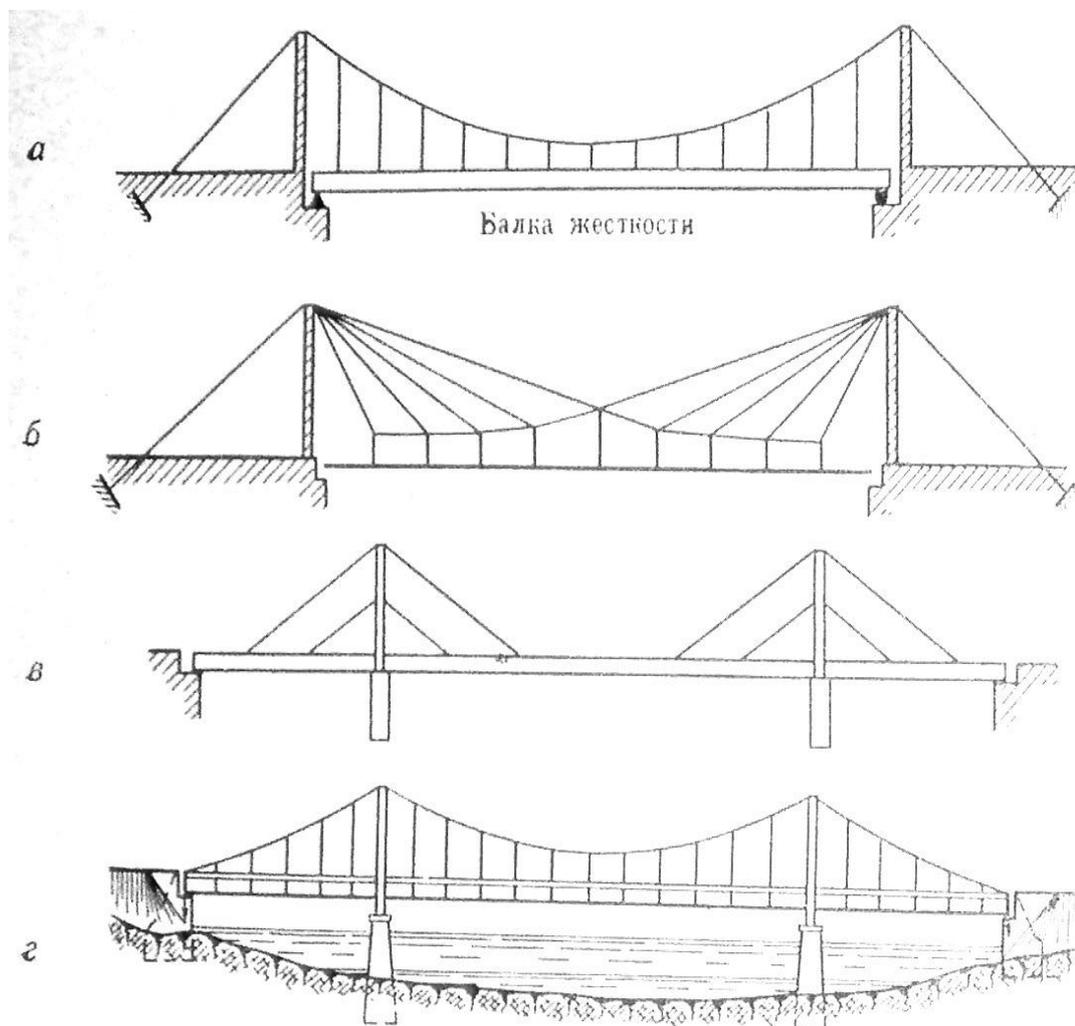


Рис. 7.11. Основные системы висячих мостов

Висячие мосты с балкой жесткости в зависимости от способа передачи распора оттяжкам разделяются на распорные и безраспорные. В первых усилие оттяжки полностью передается на грунт или специальные устои (рис. 7.11, а, б), а во-вторых, называемых также висячими мостами с воспринятым распором (рис. 7.11, а, г), горизонтальная составляющая усилий в оттяжках (распор) передается на балку жесткости, а на устои создаются вертикальные усилия опирания.

Опорные башни — пилоны чаще всего выполняются в виде металлических конструкций или делаются из железобетона (рис. 7.12, в). Применяются пилоны с жестко заземленным или шарнирно опер-

ТЫМ НИЖНИМ КОНЦОМ.

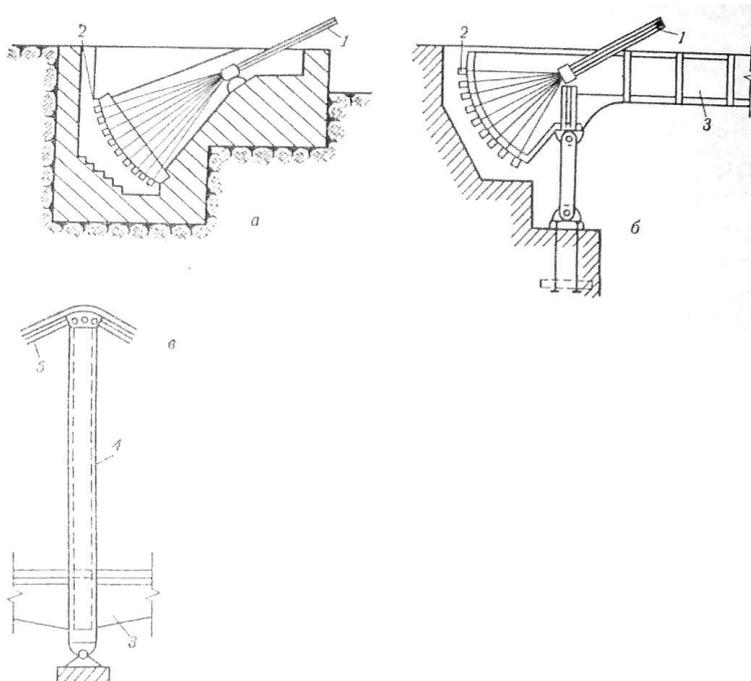


Рис. 7.12. Пилон (в) и детали (а, б) закрепления концов кабелей висячих мостов:  
1 – оттяжка; 2 – анкерные стаканы, 3 – балка жесткости, 4 – пилон;  
5 – кабель

Ответственной частью висячего моста представляет собой закрепление концов несущего кабеля. При скальном грунте концы кабеля крепятся непосредственно в скале путем бетонирования специальных закладных анкерных устройств. При менее прочных грунтах для закрепления оттяжек устраивают массивные устои, имеющие достаточно большой вес, чтобы воспринять горизонтальную и вертикальную составляющие усилия, создаваемого кабелем (рис. 7.12, а). В безраспорных висячих мостах кабель закрепляется на конце балки жесткости (рис. 7.12, б).

### **7.3. СТАЛЬНАЯ РАДУГА МОСТОВ**

В 1997 г. в Японии между островами Авадзи и Хонсю был построен мост Акаши-Кайкио, который дважды вошел в книгу рекордов Гиннеса, как самый длинный подвесной мост, длина только одного его пролета составляет 1991 м, и как самый высокий мост, так как его пилоны поднимаются на 297 м, что выше девятиэтажного дома.

Общая же протяженность этого уникального трехпролетного сооружения составляет 3910 м. Несмотря на огромные размеры моста, его конструкция достаточно прочна, чтобы выдержать порывы ветра до 80 м в секунду и землетрясения до 8 баллов по шкале Рихтера, которые нередки на Дальнем Востоке. И еще один любопытный факт: если вытянуть в длину все стальные тросы моста Акаши-Кайкию, то ими можно было бы опоясать Землю семь раз.

Самым же знаменитым в мире висячим мостом является американский Бруклинский мост через реку Ист Ривер в Нью-Йорке. Строительство этого моста велось целых 16 лет и было закончено в 1883 г. Тогда он был рекордсменом: имел самый длинный пролет – 486 м и огромный вес – 15 тыс. т. Бруклинский мост – двухуровневый, его первый уровень отдан под шестиполосный автомобильный проезд, а верхний уровень – под пешеходную и велосипедную деревянные дорожки. При строительстве Бруклинского моста впервые в качестве несущей конструкции были применены стальные канаты, что было удивительно для современников. И даже через 50 лет восхищенный поэт В. Маяковский после своего посещения Нью-Йорка назвал его «борьбой за конструкции вместо стилей, расчетом суровым гаек и стали».



Бруклинский мост, Нью-Йорк, 1883 г. Несущая конструкция – стальные канаты

Некоторое время Бруклинский мост считался «мостом самоубийц», так как с него бросались в воду желавшие покончить с жизнью, потеряв работу во времена великой депрессии. Однако даже подобная недобрая слава не мешает мосту оставаться удивительным примером изобретательной инженерной мысли и притягивать толпы туристов.

На востоке США, в Калифорнии, находится еще один знаменитый на весь мир висячий мост – «Золотые ворота». Он соединяет два берега одноименного пролива, являющегося входом в самую большую естественную гавань мира – Сан-Франциско. Мост поднят над водой на 250 м, и под ним свободно проходят океанские лайнеры. Это уникальное архитектурное сооружение можно назвать одним из новых чудес света. При проектировании его конструкции не использовалась никакая вычислительная техника, а все расчеты производились под руководством инженера Й. Штрауса при помощи арифмометров и логарифмических линеек. Архитектор моста И. Морроу использовал при разработке его дизайна элементы стиля арт-деко. С самого начала мост был выкрашен оранжево-красной краской, ведь в состав именно этих красителей входит свинцовый компонент, который защищает сталь от ржавчины. Жители Сан-Франциско шутят, что на мосту постоянно ведутся реставрационные работы, потому что, когда маляры доходят до конца моста, его начало уже снова нуждается в покраске.



Хотя висячие мосты на всех континентах близки между собой с точки зрения инженерных решений, каждый из них остается уникальным образцом архитектуры, имеет свой неповторимый художественный облик и является предметом гордости городов, а то и целых стран.



Крымский мост.  
Москва, 1938 г. Ме-  
таллические кон-  
струкции



Мост "Акаши-  
Кайкио". Япония



# ГЛАВА 8

## ТОННЕЛИ (по С.Н. Максимову)

### 8.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Тоннель представляет собой сооружение, располагаемое внутри массива горных пород и грунтов, служащее звеном пути сообщения, водоводом или используемое для прокладок сетей подземного хозяйства городов и промышленных предприятий, для устройства резервуаров, размещения складов, гаражей, ангаров, подземных заводов и электростанций, а также для других целей [1 – 12].

По назначению тоннели подразделяются на транспортные, гидротехнические, тоннели городского хозяйства и горнопромышленные.

К *транспортным тоннелям* относятся железнодорожные, тоннели метрополитенов, автодорожные, пешеходные, судоходные. По местоположению их можно разделить на горные (в горных массивах), подводные (под реками, озерами, морскими проливами и каналами) и городские (под городскими проездами, застроенными кварталами и водотоками).

Среди них наибольшее распространение получили тоннели на железных дорогах и особенно на городских подземных дорогах – метрополитенах. Автодорожные тоннели встречаются несколько реже, хотя в последние годы строительство этих тоннелей расширяется. Пешеходные тоннели строят в больших городах на пересечении магистралей и привокзальных путей больших станций, на оживленных улицах, площадях и т.п. С развитием железнодорожного транспорта роль судоходных тоннелей снизилась, и в настоящее время они сооружаются в редких случаях.

*Гидротехнические тоннели* сооружаются на водоводах и водосбросах гидроэлектростанций, на ирригационных системах и устройствах для водоснабжения городов и промышленных предприятий. Среди них выделяют подводящие и соединительные. Кроме того, тоннели сооружают для пропуска строительных расходов в период возведения плотин; их называют строительными тоннелями.

По режиму работы гидротехнические тоннели подразделяются на напорные, работающие при полном наполнении, и безнапорные, работающие при частичном заполнении водой сечения тоннеля.

*Тоннели городского хозяйства* возводятся для расположения в них подземных коммуникаций (водопровода, канализации, теплофикации, газопровода и др.).

*Горнопромышленные тоннели* сооружаются в горнодобывающей промышленности для транспортных целей и вентиляции, а также отвода дренажных вод.

К категории тоннелей относятся также газо- и бомбоубежища и другие подземные сооружения.

По способам сооружения все тоннели можно разделить на тоннели закрытого (подземного) и открытого производства работ.

В зависимости от назначения, размера сечения и геологических условий форма тоннелей может быть круговой (рис. 8.1, а) или подковообразной (рис. 9.1, б), иногда эллиптической.

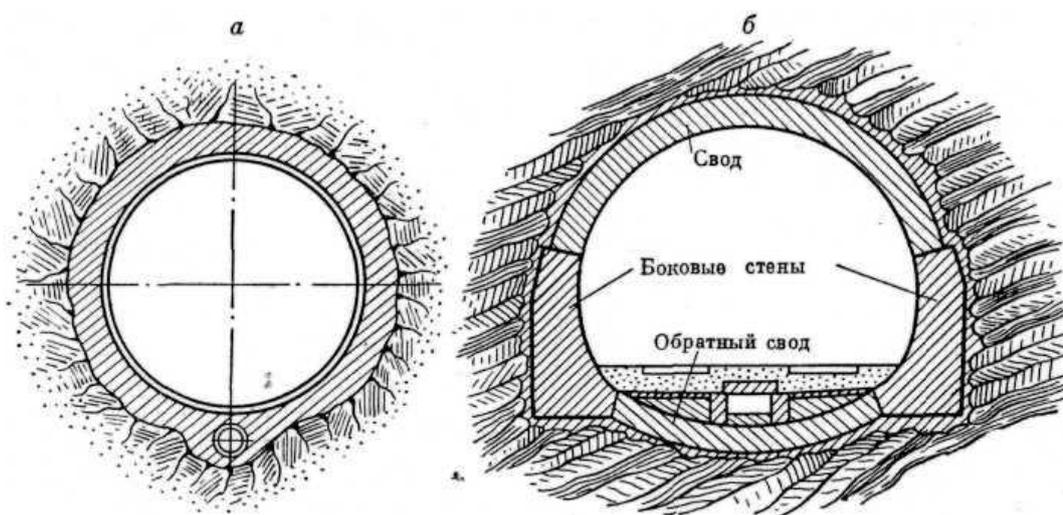


Рис. 8.1. Тоннель кругового очертания (а) и тоннельная обделка (б)

## **8.2. ВИДЫ ТОННЕЛЕЙ**

### **8.2.1. Железнодорожные тоннели**

Железнодорожные тоннели являются элементом железной дороги, который очень трудно реконструировать, поэтому их строят с учетом достаточно отдаленной перспективы развития.

По числу путей железнодорожные тоннели делятся на одно- и двухпутные. Выбор числа путей в тоннеле определяется не только числом путей на железной дороге, но и особенностями инженерно-геологических условий. Так, иногда может оказаться более выгодной и целесообразной прокладка двух однопутных тоннелей вместо одного двухпутного.

Продольный (руководящий) уклон тоннеля не должен превышать 15‰ на линиях I и II категорий и 20‰ на линиях III категории, а минимальный должен быть не менее 3‰. Горизонтальные участки тоннеля по длине не могут превышать 200 – 400 м.

Внутренние размеры тоннельных обделок зависят от действующих «Габаритов приближения строений подвижного состава железных дорог колеи 1524 мм».

### 8.2.2. *Метрополитены*

Существуют два основных типа метрополитена: надземный и подземный.

По своему назначению метрополитены служат для перевозки пассажиров, хотя известны и специальные грузовые линии (Чикаго).

Глубина заложения сооружений метрополитенов колеблется обычно от 5 – 6 до 80 м, причем различают метрополитены мелкого (до 10 м) и глубокого (свыше 30 м) заложения.

Все пути метрополитена, во избежание скопления воды, должны иметь уклоны не менее 3‰ на перегонах и не менее 2‰ на станциях. Максимально уклоны достигают 53‰.

В число сооружений метрополитена входят перегонные одно- и двухпутные тоннели и станционные тоннели. Кроме того, имеются особые эскалаторные (наклонные) тоннели, а также тоннели, служебные, вентиляционные и шахты (рис. 8.2).

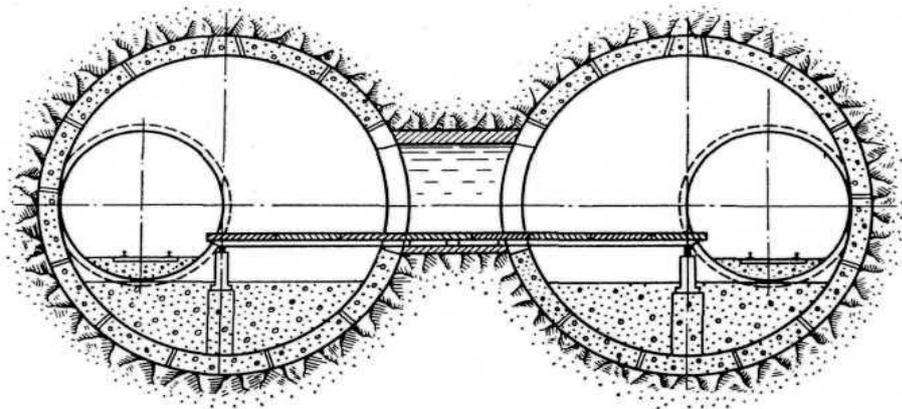


Рис. 8.2. Двухсводчатая станция метрополитена

Станции располагаются на различном расстоянии друг от друга, в

центре города они бывают чаще, ближе к периферии – реже. Среднее расстояние составляет 1000 – 1500 м (максимальное 2500 м). В некоторых старых европейских метрополитенах минимальные расстояния между станциями равняются 200 м.

По своей конструкции и схеме станции могут быть различными. Выбор той или иной конструкции зависит от назначения (конечная, пересадочная или промежуточная), напряженности пассажирского потока и, конечно, геологических и гидрогеологических условий. Способ проходки (закрытый или открытый) также сказывается на выборе конструкции станции. Обычно станции бывают либо островного типа (большинство станций Московского метро), либо с боковыми платформами (ст. Калининская Московского метро и многие станции Парижского метро), либо многоплатформенные.

По конструкции станции глубокого заложения делятся на одно-, двух- (рис. 8. 2) и трехсводчатые.

Первая линия метрополитена была открыта в Лондоне в 1863 г. После этого за десятилетие, с 1896 по 1906 гг., были пущены первые подземные поезда в Будапеште, Глазго, Вене, Париже, Нью-Йорке и Чикаго. К настоящему времени метрополитены протяженностью более 20 км имеются в Стокгольме, Токио, Филадельфии, Бостоне, Мадриде, Барселоне, Гамбурге, Берлине и Буэнос-Айресе и ряде других городов.

Наибольшую длину имеют метрополитены в Нью-Йорке (более 400 км и около 500 станций), Лондоне (360 км и 280 станций) и Париже (186 км и 274 станции). Строительство первого российского метрополитена – Московского – было начато в 1932 г. Первая очередь его была пущена в 1935 г. В настоящее время Московский метрополитен около 300 км длиной насчитывает 12 линий и 180 станций. После этого в 1955 г. был пущен Ленинградский метрополитен, в 1960 г. – Киевский, в 1966 г. – Тбилисский, в 1967 г. – Бакинский и в настоящее время метро построено и развивается в Нижнем Новгороде, Новосибирске, Екатеринбурге, Самаре, Краснояске и Казани. Строятся линии метро в Челябинске, Омске и Уфе.

### 8.2.3. *Автодорожные тоннели*

За последнее десятилетие во многих городах при пересечении магистралей, под железными дорогами, реками и в ряде других случаев построено много автодорожных тоннелей. Так, в Москве уже действует и строится большое количество городских автодорожных тоннелей. На внегородских автомагистралях пока тоннелей построено не так много, однако в последнее время к их сооружению прибегают все чаще и чаще.

Одним из примеров такого сооружения, построенного в 1946 – 1964 гг., является крупнейший в мире автодорожный тоннель между Францией и Италией под горой Монблан (рис. 8.3).

Этот тоннель, сокращающий расстояние между двумя странами на 230 км, располагается на абсолютной высоте около 1300 м. Общая длина тоннеля 11,6 км, с уклонами в 2,5 и 3,0%, с проезжей частью шириной 7 м и боковыми пешеходными дорожками по 0,7 м. Для обеспечения вентиляции в тоннеле предусмотрены специальные мощные насосные установки, откачивающие и нагнетающие воздух. Примерно треть общей протяженности тоннеля располагается в осадочных породах, представленных известняками, метаморфическими гнейсами и сланцами, сильно тектонически нарушенных и мало устойчивых.

Проходка в 1946 г. первых 600 м тоннеля в этих породах с итальянской стороны сопровождалась развитием высокого горного давления, обрушением на участке развития слюдяных сланцев части крепления с образованием завала. Центральная часть горного массива сложена прочными и весьма твердыми гранитами и с точки зрения устойчивости тоннеля трудностей не представляла. Однако на этом участке на глубинах свыше 3000 м от вершины горы была встречена зона с высокой температурой. Тоннель пущен в эксплуатацию в 1964 г. и в настоящее время интенсивно эксплуатируется.



Рис. 8.3. План и продольный профиль тоннеля под горой Монблан: 1 – гнейсы и сланцы; 2 – граниты; 3 – известняки; 4 – зона тектонического дробления

#### 8.2.4. Судходные тоннели

Как отмечалось выше, в настоящее время новые судходные тоннели практически не строятся.

Среди уже построенных крупнейшим тоннелем длиной 7,2 км является Ровский. Он пересекает недалеко от Марсея горный массив Нерт и соединяет внутренние водные пути Франции с крупнейшим морским портом страны. Тоннель прошел по мергелистым известнякам, рассеченным несколькими сбросами, однако при его проходке не было встречено больших трудностей ни от высокого горного давления, ни от обильного притока подземных вод.

Площадь поперечного сечения составляла до 300 – 320 м<sup>2</sup> при высоте 17 м и ширине 24 м (с обделкой толщиной 1,25 м). Среди других судходных тоннелей наиболее крупными являются Кондский (на канале Марна – Сена во Франции), имеющий длину 308 м, а высоту свыше 8 м (рис. 8.4), и два тоннеля на японском канале между оз. Бива и р. Камо.

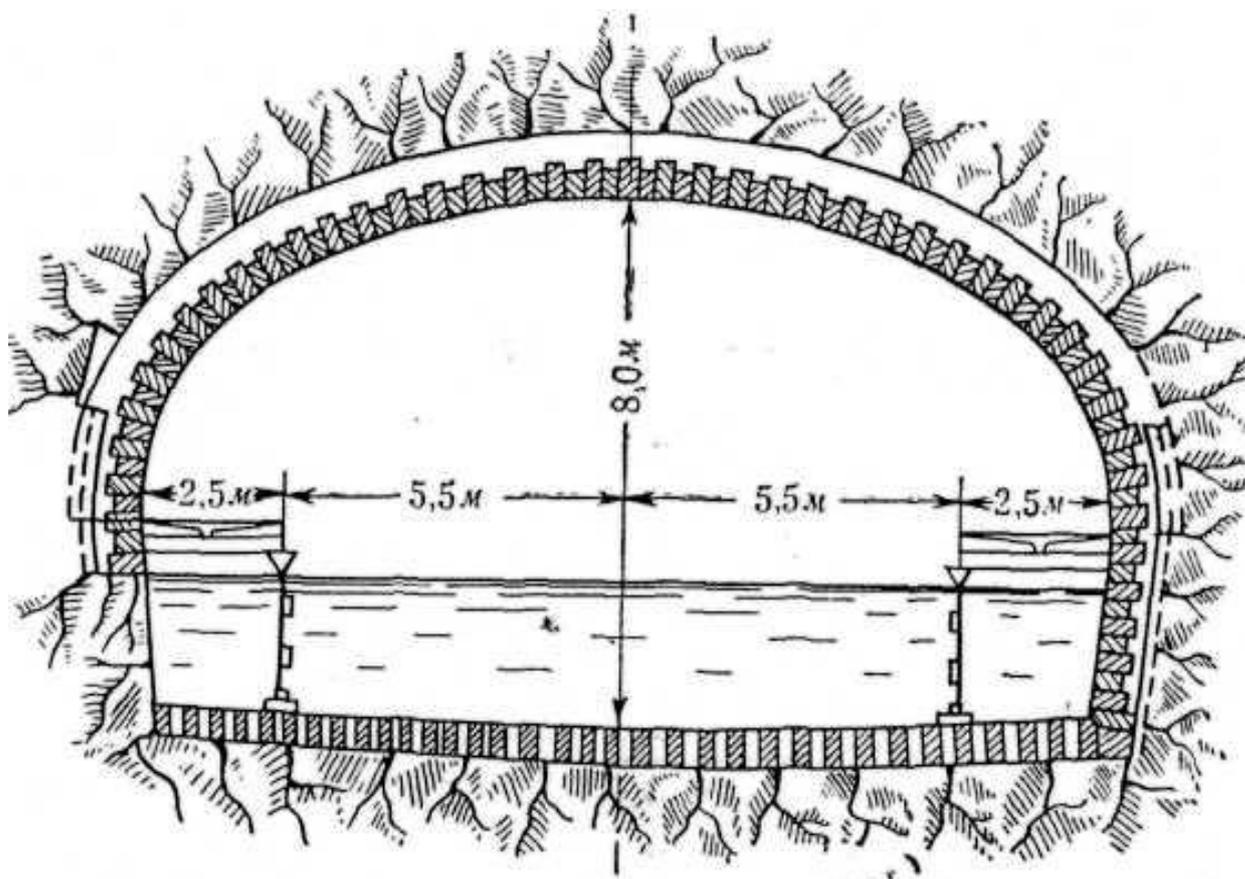


Рис.8.4. Судходный Кондский тоннель

### ***8.2.5. Подводные тоннели***

Подводные тоннели строятся на линиях метрополитенов, а также на трассах автомобильных и железных дорог при пересечении ими водотоков, каналов, заливов, проливов, озер и т.п.

Мировая практика знает много примеров подводных тоннелей, пересекающих крупные водные пространства – реки Гудзон (США), Темза (Англия), Нева (РФ), залив в Сан-Франциско, пролив между островами Хонсю и Кюсю (Япония) и подводный тоннель под Ла-Маншем длиной свыше 40 км в сложных геологических условиях.

Подводные тоннели по своему продольному профилю всегда имеют вогнутое очертание с уклоном в сторону середины длины тоннеля. При таких условиях в тоннелях должна проводиться откачка скапливающейся в них воды, должны приниматься меры к тому, чтобы гидроизоляция обделки по возможности была более действенной и не допускалась большая фильтрация воды в сооружение из толщи пород, вмещающей тоннель.

# ГЛАВА 9

## АЭРОДРОМЫ

### 9.1. ВВЕДЕНИЕ

Воздушные сообщения, возникшие после создания летательных аппаратов тяжелее воздуха (самолетов и вертолетов), вызвали необходимость в новом комплексе инженерных сооружений – аэропортах [1 – 12].

В состав аэропорта входят аэродром, специальные наземные сооружения и здания, световое и радиотехническое оборудование и др.

Собственно *аэродромом* называют земельный участок, подготовленный и оборудованный так, что он обеспечивает взлет, посадку, руление и техническое обслуживание самолетов.

Аэродромное строительство – один из самых молодых видов строительства. На заре авиации, когда применялись легкие самолеты, аэродромом служил ровный участок земли (обычно вспаханное или засеянное травой поле), не укрепленный никаким прочным покрытием, а длина разбега самолета не превышала сотни метров. По мере увеличения полетного веса и скорости самолетов происходило увеличение длины взлетно-посадочных полос: к 1930 г. – до 800 – 1000 м, к 1940 г. – до 1500 м, а в настоящее время и до 3000 м и более. Соответственно менялись и требования к прочности покрытий тех участков взлетно-посадочных полос, которые непосредственно воспринимают нагрузку от взлетающих или садящихся самолетов.

В настоящее время аэродром – это сложное инженерное сооружение, обеспечивающее круглогодичную бесперебойную работу авиационного транспорта, часто в сложных природных условиях.

Начиная с 1992 г. аэродромная сеть России сократилась на 918 аэродромов: сейчас в реестр включено всего 383 аэродрома. Подавляющее число действующих аэропортов убыточно. Около 70% взлетно-посадочных полос с искусственными покрытиями были построены более 20 – 30 лет назад, многие нуждаются в реконструкции.

В последние годы для обозначения военных аэродромов в российских СМИ стал нередко применяться термин авиабаза, заимство-

ванный из английского языка (*air base*), где он активно используется (особенно в США). Однако официально в авиации России и других стран СНГ применяется только термин *аэродром*.

## 9.2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В зависимости от своего назначения все авиалинии делятся на международные и внутренние, а последние – на магистральные и местные. Аэропорты по своему назначению делятся на международные и местные.

Аэродромы в свою очередь (и часто независимо от аэропортов) подразделяются на следующие группы: внеклассные и I – V классов.

### *Международная классификация аэродромов*

В соответствии с руководящими документами ИКАО классификация аэродромов осуществляется по кодовому обозначению. Кодовое обозначение состоит из двух элементов. Элемент 1 является номером, основанным на длине летной полосы, а элемент 2 является буквой, соответствующей размаху крыла самолета и расстоянию между внешними колесами основного шасси в соответствии с табл. 9.1 и 9.2.

Таблица 9.1

#### КОДОВЫЙ ЭЛЕМЕНТ 1

| Кодовый номер | Длина ВПП   |
|---------------|-------------|
| 1             | < 800 м     |
| 2             | 800—1200 м  |
| 3             | 1200—1800 м |
| 4             | > 1800 м    |

Таблица 9.2

#### КОДОВЫЙ ЭЛЕМЕНТ 2

| Кодовая буква | Размах крыла | Колея основного шасси |
|---------------|--------------|-----------------------|
| A             | < 15 м       | < 4,5 м               |
| B             | 15—24 м      | 4,5—6 м               |
| C             | 24—36 м      | 6—9 м                 |
| D             | 36—52 м      | 9—14 м                |
| E             | 52—60 м      | 9—14 м                |

Пример: самолет [Ил-62М](#) с расчетной длиной взлета при стандартных атмосферных условиях 3280 м, размахом крыла 43,2 м и расстоянием между внешними колесами основного шасси 8,0 м соответствует по классификации аэродрому 4D.

### ***Классификация аэродромов в России***

*По длине ВПП и несущей способности покрытия:*

Аэродромы разделяются на 6 классов: А – 3200 х 60, Б – 2600 х 45, В – 1800 х 42, Г – 1300 х 35, Д – 1000 х 28, Е – 500 х 21.

*По взлётной массе принимаемых самолётов:*

- вне класса (без ограничения массы) – Ан-124, Ан-225, А380 и т.п.;
- 1-го класса (75 т и более) – Ту-154, Ил-62, Ил-76 и т.п.;
- 2-го класса (от 30 до 75 т) – Ан-12, Як-42, Ту-134 и т.п.;
- 3-го класса (от 10 до 30 т) – Ан-24, Ан-26, Ан-72, Ан-140, Як-40 и т.п.;
- 4-го класса (до 10 т) – Ан-2, Ан-3Т, Ан-28, Ан-38, Л-410, М-101Т и т.п.

У аэродромов вне класса длина ВПП составляет обычно 3500-4000 м, 1 класса – 3000 – 3200 м, 2 класса – 2000 – 2700 м, 3 класса – 1500 – 1800 м, 4 класса – 600 – 1200 м. Гражданские аэродромы 3 и 4 класса относятся к аэродромам [местных воздушных линий](#) (МВЛ).

Таким образом, 1 класс примерно соответствует классу А, 2 класс – Б, 3 класс – В и Г, 4 класс – Д. К классу Е относятся полевые и [временные аэродромы, посадочные площадки](#).

По своему назначению различают аэродромы транспортные, специального применения (сельскохозяйственной и лесной авиации, медицинской помощи, аэрофотосъемки и т.п.), заводские (для летных испытаний), школьные (учебные) и клубно-спортивные. По длительности использования аэродромы делятся на постоянные и временные, а по видам обслуживания летно-эксплуатационной работы самолетов – на базовые (где базируются летные подразделения и ведется капи-

тальный ремонт самолетов), начальные или конечные (начинаются или заканчиваются полеты по определенному маршруту), промежуточные и запасные.

Исходя из особенностей движения самолета при взлете и посадке аэродром должен удовлетворять следующим условиям: 1) иметь достаточно большой участок земли для оборудования его для безопасного взлета и приземления самолетов с большими скоростями (250 – 300 км/час);

2) иметь на сопредельных участках воздушное пространство, свободное от препятствий, для безопасного набора высоты при взлетах и снижения перед посадкой (рис. 9.1). В связи с этим в аэродромах различают территорию собственно аэродрома и примыкающую к ней территорию. К последней относятся воздушные подходы к аэродрому, зоны ожидания (для ожидания разрешения на посадку) и т.п.

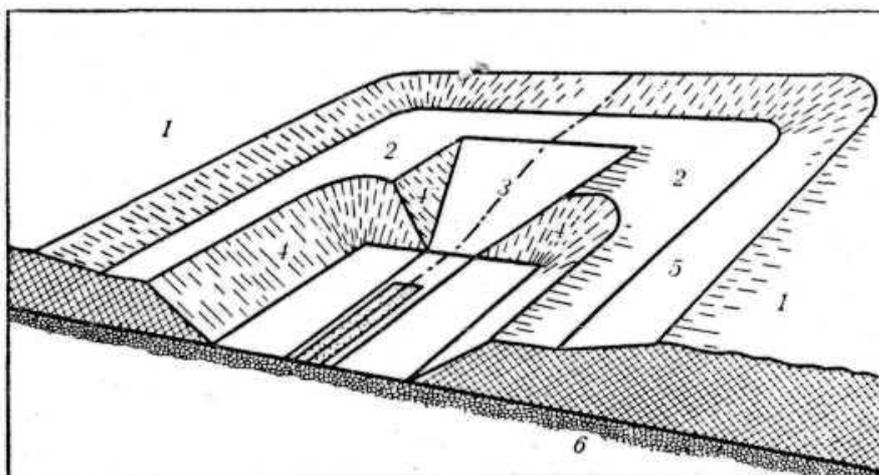


Рис. 9.1. Схема приаэродромной территории:

1 – зона без ограничения высоты препятствий; 2, 4 и 5 – зоны различной допустимой высоты препятствий; 3 – полосы воздушных подходов; 6 – поверхность земли ( по С.Н .Максимову)

В территорию собственно аэродрома входят летная зона и зоны застройки (служебной и жилой). Главной частью аэродрома является летная зона, включающая в себя летное поле, полосы безопасности и полосы воздушных подходов.

Летное поле – это территория, специально подготовленная и оборудованная для взлета и посадки самолетов. Ниже рассмотрены примеры инженерных сооружений (рис. 9.2).

Полосы безопасности представляют собой участки, окаймляю-

щие летное поле и позволяющие самолету использовать их для руления (концевые) или при отклонениях от движения по взлетно-посадочной полосе (боковые). Капитальность и размеры полос безопасности зависят от категории аэродрома и типов самолетов.

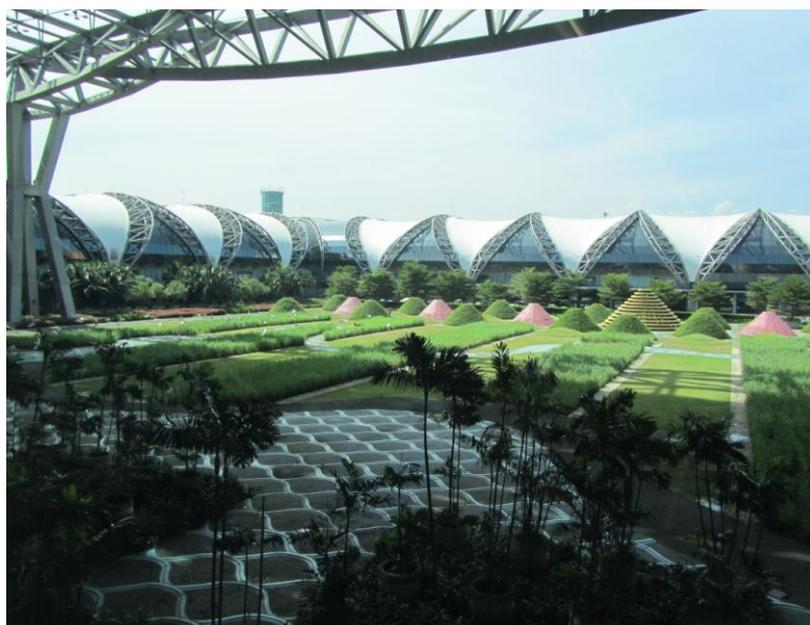
Полосы воздушных подходов – это участки, расположенные по оси летной полосы, но уже за пределами собственно территории аэродрома. В пределах этих полос не должно быть никаких возвышающихся препятствий, которые могли бы создать опасность для самолетов, взлетающих или идущих на посадку. Ширина таких полос, как и длина, зависит от категории аэродрома и для внеклассных достигает десятков километров (длина до 50 км).



Рис. 9.2. Взлетно-посадочная полоса на море

Специальных инженерных сооружений кроме осветительных устройств, в пределах полос воздушных подходов не создают.

Для обеспечения безопасности взлетов и посадок самолетов, а также устранения воздействия шумов реактивных двигателей на население целесообразно не только удалять аэродромы от городов, но и располагать взлетно-посадочные полосы в направлении, минуя пересечение городских территорий. Необходимое минимальное расстояние от аэродрома до городской застройки зависит от класса аэродрома и типа самолета и составляет не менее 30 км для внеклассных, 20 – 10 км для II и III классов и не менее 5 км для аэродромов еще более низкого класса.



### ***9.3. ИНЖЕНЕРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ ЛЕТНОЙ ЗОНЫ***

При современных взлетно-посадочных скоростях движения самолетов и общем их большом весе аэродромы, имеющие задернованную грунтовую поверхность, не могут обеспечить безопасную эксплуатацию аэродрома. Тем более невозможно использование таких аэродромов в осенне-весеннее время и в периоды летних затяжных дождей, когда грунты сильно увлажняются и летное поле размокает. В связи с этим все современные аэродромы, предназначенные для приема тяжелых скоростных самолетов, оборудуются прочными искусственными покрытиями, выдерживающими нагрузку от колеса самолета и гарантирующими круглогодичную эксплуатацию.

**Аэродромные покрытия** – конструкции, воспринимающие нагрузки и воздействия от воздушных судов, эксплуатационных и природных факторов, которые включают:

- верхние слои (слой), именуемые а дальнейшем «покрытие», непосредственно воспринимающие нагрузки от колес воздушных судов, воздействия природных факторов (переменного температурно-влажностного режима, многократного замораживания и оттаивания, влияния солнечной радиации, ветровой эрозии), тепловые и механические воздействия газоздушных струй авиационных двигателей и механизмов, предназначенных для эксплуатации аэродрома, а также воздействие антигололедных химических средств;

- нижние слои (слой), именуемые в дальнейшем «искусственное основание», обеспечивающие совместно с покрытием передачу нагрузок на грунтовое основание, которые помимо несущей функции могут выполнять также дренирующие, противозаиливающие, термоизолирующие, противопучинные, гидроизолирующие.

По своему назначению покрытия аэродромов делят на взлетно-посадочные полосы (ВПП), рулежные дорожки (РД), перроны, места стоянки самолетов (МС).

**Взлетно-посадочная полоса (ВПП)** – часть ЛП, специально подготовленная и оборудованная для взлета и посадки воздушных судов. ВПП может иметь искусственное покрытие (ИВПП) или грунтовое (ГВПП) (рис. 9.3, 9.4, 9.5).

**Рулежная дорожка (РД)** – часть летного поля аэродрома, специально подготовленная для руления и буксировки воздушных судов. РД могут быть магистральные (МРД), соединительные, вспомогательные.



Рис. 9.3. Взлетно-посадочная полоса на суше

**Перрон** – часть летного поля аэродрома, предназначенная для размещения воздушных судов в целях посадки и высадки пассажиров, погрузки и выгрузки багажа, почты и грузов, а также других видов обслуживания.



Рис. 9.4. Аэродромные сооружения



Рис. 9.5. Взлетно-посадочная полоса на аэродроме Орли в Париже

**Место стоянки воздушного судна (МС)** – часть перрона или площадки специального назначения аэродрома, предназначенная для стоянки воздушного судна с целью его обслуживания и хранения.

Аэродромные сооружения включают в себя грунтовые элементы

летного поля, грунтовые основания, аэродромные покрытия, водоотводные и дренажные системы, а также специальные площадки и конструкции.

При использовании вертолетов устраивают особые посадочные площадки (рис. 9.6).

Успешная работа аэродрома в целом и его инженерных сооружений зависит от большого числа природных факторов, среди которых основными являются климатические (направление ветров, осадки, туманы и т.п.), рельеф местности и геологические (включая гидрогеологические) условия. Эти же факторы в значительной мере определяют как выбор направления ВПП и всю компоновку аэродрома, так и конструкцию самого покрытия (рис. 9.7, 9.8).

Так, направление ВПП принимается в зависимости от преобладающего направления ветра, хотя в ряде случаев условия рельефа (особенно в предгорных областях) могут оказаться диктующими.

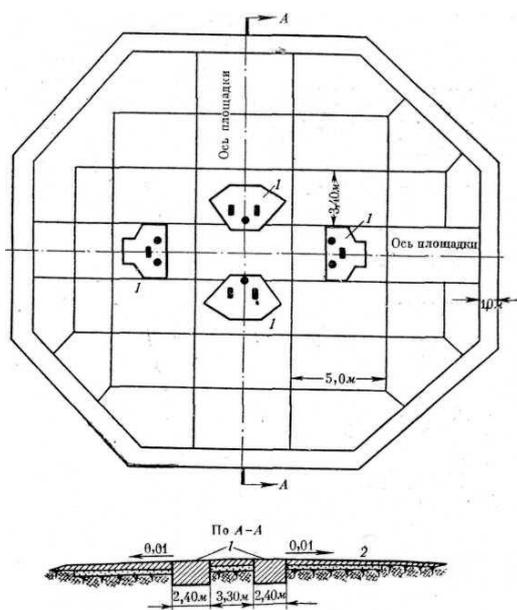


Рис. 9.6. Швартовочная посадочная площадка для вертолетов:

1 — якоря; 2 — покрытие

Геологические условия являются очень важными. Развитие неустойчивых пород (сыпучих песков, болотных отложений, в ряде случаев легко размываемых лессовых пород и т. п.), а также сильно закарстованных создает осложняющие условия для строительства аэродромов.

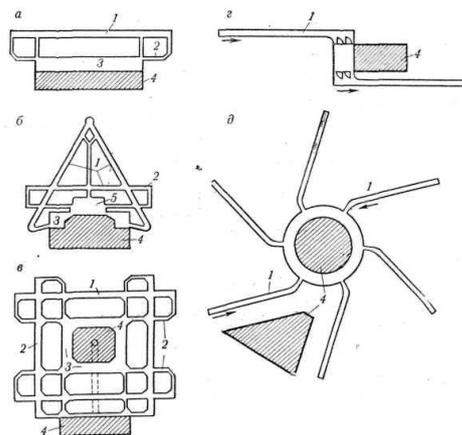


Рис. 9.7. Схемы планировки аэропортов:

*a* – фронтальная; *б* – входящая; *в* – островная; *г* – тангенциальная двухполосная; *д* – тангенциальная многополосная;

1 – взлетно-посадочная полоса; 2 – рулежная дорожка;

3 – места стоянки самолетов; 4 – служебная зона; 5 – перрон

Близкое к поверхности залегание грунтовых вод также усложняет отвод поверхностных вод и может потребовать специальных мер по дренажу и водопонижению. Наличие засоленных грунтов, агрессивно действующих на бетонные и асфальтобетонные покрытия, также может неблагоприятным образом сказаться на работе инженерных сооружений аэродрома.

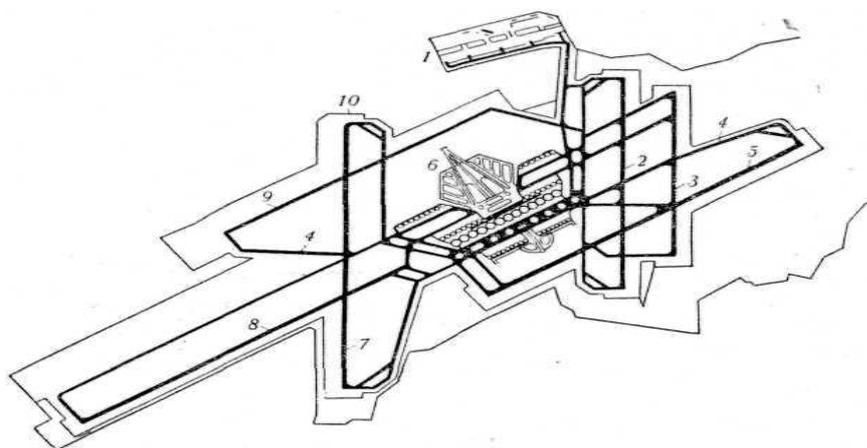


Рис. 9.8. Аэропорт Орли в Париже:

1 – эксплуатационный технический сектор; 2 – ВПП 2200X60 м;

3 – ВПГТ 1865 X60 м; 4 – рулежные дорожки; 5 – ВПП 3000X60 м; 6 –

транспортный сектор; 7 и 8 – ВПП3000 X 60 м;

9 – ВПП 2480X80 м; 10 – граница аэродрома

При проектировании аэродромов основную взлетно-посадочную полосу, если позволяет рельеф местности и геологические условия, располагают по направлению господствующих ветров. Кроме того, создают дополнительные или вспомогательные ВПП, располагаемые под углом к главной (оптимально под углом  $45 - 60^\circ$ ); эти полосы могут иметь несколько меньшие размеры.

Однако при значительной интенсивности и неравномерности движения авиатранспорта может возникнуть необходимость в одновременной работе нескольких ВПП. На рис. 9.7 приведены различные схемы размещения ВПП.

Разнообразие природных и климатических условий, а также загрузки аэропорта не позволяют иметь универсальные и стандартные схемы расположения ВПП и РД по отношению к перрону и зданию аэровокзала. Большинство современных международных аэропортов построено по многополосной системе (например, аэропорт Орли в Париже, рис. 9.5, 9.8), тогда как внутрисоюзные аэродромы успешно работают и при однополосной системе.

#### 9.4. КОНСТРУКЦИИ ПОКРЫТИЙ АЭРОДРОМОВ

Покрытия взлетно-посадочных полос, рулежных дорожек и мест стоянки самолетов являются одними из наиболее ответственных трудоемких и дорогостоящих сооружений современных аэродромов. Они должны обладать достаточной долговечностью и одинаково надежно в течение круглого года обеспечивать сохранение ровной поверхности (рис. 9.9).

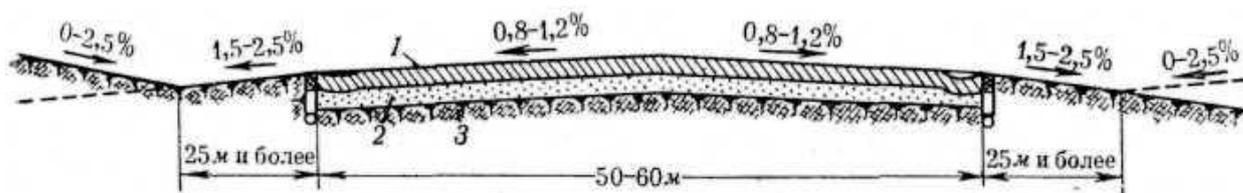


Рис. 9.9. Строение аэродромного покрытия: 1 – собственно покрытие; 2 – искусственное основание; 3 – естественное основание

К аэродромным покрытиям предъявляют следующие технические требования: 1) прочность и долговечность; 2) ровность, износостой-

кость и шероховатость поверхности, обеспечивающие хорошее сцепление колес с покрытием; 3) беспыльность; 4) устойчивость при воздействии климатических факторов и водонепроницаемость; 5) возможность механизации работ по его сооружению, а также усиления без разборки при реконструкции. Кроме того, есть еще ряд специальных требований, как, например, стойкость против воздействия пролитого топлива и масла и т.п.

Конструктивно аэродромное покрытие (рис. 9.9) состоит из двух слоев (собственно покрытия и искусственного основания), лежащих на естественном основании – грунтовой толще.

Собственно покрытие – это верхний, наиболее прочный и относительно тонкий слой, непосредственно воспринимающий ударную нагрузку от колес, обладающий большим сопротивлением истираемости. При износе первоначальной шероховатости периодически производят специальную обработку поверхности, восстанавливающую эту шероховатость.

Искусственное основание — прочный несущий слой, воспринимающий нагрузку от покрытия и состоящий из слоя (или нескольких слоев) щебня, гравия, песка, обработанных органическими или минеральными вяжущими материалами. Основное его назначение – это перераспределение напряжений от колес на большую площадь и передача их на грунтовое (естественное) основание. Важным условием создания искусственного основания является изоляция его от воздействия грунтовых вод, а также организация водоотвода атмосферных осадков.

Естественное основание представляет собой верхние слои грунтовой толщи, спланированные (выровненные) и искусственно уплотненные перед тем, как на них укладывается искусственное основание. Тщательность подготовки естественного основания в значительной степени определяет устойчивость всего покрытия, поэтому особенно важна.

По сопротивлению воздействию нагрузки покрытия делятся на жесткие и нежесткие:

- жесткие (бетонные, армобетонные, железобетонные, а также асфальтобетонные покрытия на цементобетонном основании);
- нежесткие (из асфальтобетона; прочных каменных материалов подобранного состава, обработанных органическими вяжущими; из

щебеночных и гравийных материалов, грунтов и местных материалов, обработанных неорганическими или органическими вяжущими; сборных металлических, пластмассовых или резиновых элементов).

В жестких покрытиях сама конструкция способна воспринимать растягивающие усилия и поэтому она работает как плита, распределяющая нагрузку на большую площадь.

Строительство жестких покрытий следует, как правило, выполнять из тяжелого бетона, отвечающего требованиям ГОСТ 26633.

В нежестких покрытиях не происходит такого распределения, поэтому под ним грунтовое основание воспринимает более концентрированные напряжения и испытывает большие деформации.

По сроку службы и степени совершенства аэродромные покрытия делятся на капитальные, усовершенствованные, упрощенные и временные.

Наиболее совершенными покрытиями, имеющими срок службы, превышающий 25 лет (и даже 50 лет), являются бетонные и железобетонные: они способны воспринимать нагрузку до 25 – 35 т на колесо самолета.

Нежесткие покрытия, применяемые на менее высококлассных аэродромах, чем жесткие, представляют собой многослойные конструкции из каменных материалов и местных грунтов, обработанных вяжущими веществами. Они слабо сопротивляются изгибу и их прочность определяется главным образом сопротивлением сжатию

При прочных грунтах естественного основания, таких как скальные и полускальные и их элювий, гравийно-галечные и крупнопесчаные, обычно принимают один из нежестких типов покрытия. Во всех же остальных случаях, когда естественное основание сложено песчано-глинистыми, пылеватыми и другими дисперсными грунтами, для капитальных аэродромов, предназначенных для приема тяжелых самолетов, выбирают жесткие бетонные и железобетонные покрытия. Для более легких самолетов или для усовершенствованных аэродромов и при подобных грунтах аэродромные покрытия могут строиться в виде нежестких конструкций. Выбор покрытия производится в процессе проектирования по результатам расчетов прочности и устойчивости сооружения и его основания.

## 9.5. РАБОТА ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ АЭРОДРОМОВ

Прочность и деформируемость грунтов, т. е. сопротивляемость их нагрузке, в значительной степени зависят от их влажности. Это относится к грунтам, слагающим как поверхность грунтового аэродрома, так и естественное основание аэродрома с покрытием. Чтобы не допустить переувлажнения грунтов (по сравнению с оптимальными условиями), производят регулирование водного режима территории путем удаления избытков поверхностных и грунтовых вод (рис. 9.10).

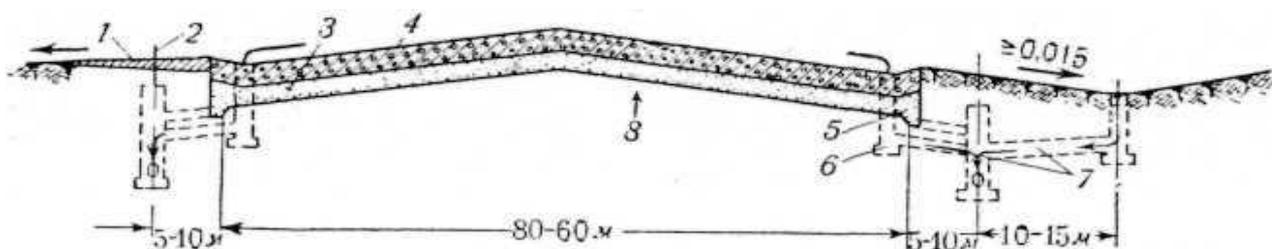


Рис. 9.10. Водоотвод с поверхности взлетно-посадочной полосы:

- 1 — подсыпка; 2 — коллектор; 3 — песчаное основание; 4 — покрытие; 5 — закомочная дрена; 6 — дождеприемники; 7 — перепуски;  
8 — естественное основание

Для улучшения водного режима территории и создания нормальных условий эксплуатации аэродрома осуществляются мероприятия по улучшению условий поверхностного стока и снижению уровня грунтовых вод. В ряде случаев поверхность аэродрома повышают путем подсыпки грунта и создания насыпного основания (рис.9.11).

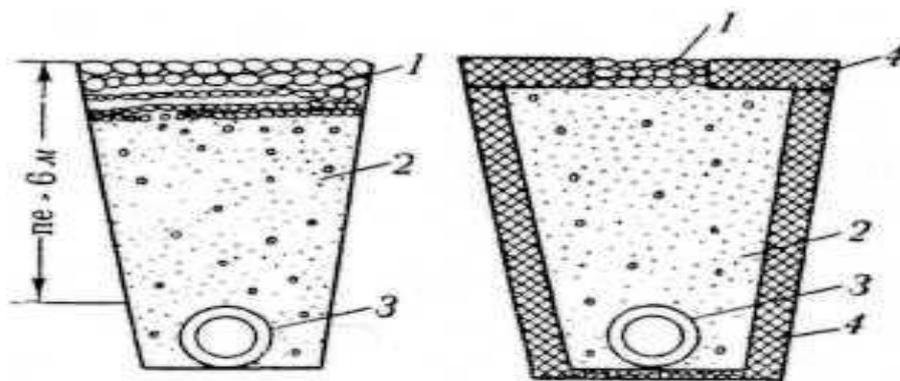


Рис. 9.11. Траншейные осушители:

- 1 — приемная часть; 2 — песчано-гравийная смесь;  
3 — гончарные трубы; 4 — дрена

Сток поверхностных вод улучшают путем планировки территории и создания систем нагорных канав и водосточной сети.

Взлетно-посадочной полосе, рулежным дорожкам- и местам стоянок самолетов придают продольные и поперечные уклоны, обеспечивающие свободный сток воды (рис. 9.10). Водосточная сеть с системой дождеприемников, осушителей (рис. 9.11) и водоотводящих коллекторов собирает ливневые и талые воды с летного поля и окружающей территории и защищает грунты основания и всей территории аэродрома от избыточного увлажнения. Эта сеть выводит собранные воды за пределы аэродрома.

В течение года влажность грунтов летного поля и грунтового основания не остается постоянной. Осенью за счет уменьшения испарения при понижении температуры и выпадения осадков влажность грунтов увеличивается.

С установлением зимнего периода с отрицательными температурами происходит перераспределение влаги. Разность температур поверхностных и более глубоких горизонтов грунтовой толщи вызывает миграцию влаги от более теплых глубоких слоев к более холодным поверхностным. Скапливающаяся в поверхностных слоях влага замерзает, образуя ледяные прослойки и линзы, увеличивает объем грунта и может вызвать деформацию покрытия.

Весной после оттаивания ледяных линз происходит местное переувлажнение грунта (влажность может превосходить предел текучести) и потеря им прочности, а следовательно, и устойчивости. Процесс оттаивания идет не только с поверхности, но и за счет притока тепла из глубинных слоев грунта. Кроме того, оттаивание грунтов под очищенным от снега покрытием идет быстрее, чем под остальной территорией аэродрома, прикрытой снегом. Поэтому под центральной частью взлетно-посадочных и других полос грунт оттаивает раньше. Это тоже создает неравномерность в сопротивлении грунта нагрузкам и может вызвать нежелательные деформации покрытия.

В летнее время водный режим территории аэродрома улучшается за счет возрастания испарения, вызывающего постепенное просыхание грунтов основания покрытия. В это время количество осадков во многих районах страны оказывается меньше, чем осенью, что, в свою очередь, ведет к понижению уровня грунтовых вод.

Такое изменение водно-температурного режима грунтов основания вызывает значительные колебания прочности грунтов в течение года. Как показывают специально проведенные исследования (Могил-

левский и др.), в весенние месяцы снижение прочности для наиболее чувствительных к этому грунтов достигает 30 – 50% от максимальной прочности оптимального состояния.

Изложенная обстановка работы грунтового основания типична для средней полосы нашей страны, где климатические периоды года имеют примерно равную продолжительность.

## **ГЛАВА 10**

### **ЛИНЕЙНЫЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ И КОММУНИКАЦИИ**

С ростом благоустройства городов и сельских населенных пунктов, технического уровня современных промышленных предприятий, добычи полезных ископаемых непрерывно растет насыщенность их территорий различными инженерными коммуникациями. Для строительства, проектирования и эксплуатации городских и промышленных объектов требуются точные данные о размещении в плане и по высоте всего комплекса инженерных коммуникаций с указанием их технических характеристик. Это вызывает необходимость проведения большого объема инженерно-геодезических работ по съемке и составлению планов инженерных коммуникаций [1 – 12].

Инженерные коммуникации — это линейные сооружения с технологическими устройствами на них, предназначенные для транспортирования жидкостей, газов и передачи энергии. Их можно разделить на две группы: подземные и надземные коммуникации. В качестве синонимов их также называют инженерными сетями, а отдельные коммуникации — трассами или прокладками.

Подземные инженерные коммуникации состоят из трубопроводов, кабельных линий и коллекторов.

Характер обустройства местности, где проложены инженерные коммуникации, во многом определяет особенности их размещения и технологических связей.

На незастроенных территориях инженерные коммуникации представлены отдельными магистральными трубопроводами, надземными и подземными линиями электропередач и связи. При этом местоположение и назначение магистральных коммуникаций в большинстве случаев определяется опознавательными столбами.

Различают исполнительную съемку коммуникаций и съемку существующих коммуникаций. Исполнительная съемка инженерных коммуникаций выполняется в процессе и по окончании строительства, но до засыпки траншей подземных инженерных коммуникаций землёй.

Территории современных городов насыщены системой инженерных коммуникаций, проложенных преимущественно ниже поверхности земли. Размещение городских инженерных коммуникаций определяется размером и конфигурацией территории города, плотностью и этажностью застройки, уровнем развития коммунального хозяйства города (поселка).

Наиболее полно использовано подземное пространство города в пределах территорий городских улиц. Здесь размещение подземных инженерных коммуникаций осуществлено при минимальных расстояниях и плане между отдельными прокладками, а также между ними и зданиями, сооружениями, дорогами. Большое распространение получили совмещенные прокладки подземных коммуникаций в коллекторах. Особо плотное размещение коммуникаций характерно для центральных улиц и площадей.

Исполнительная съемка инженерных коммуникаций содержит следующие виды работ:

подготовительные; создание планово-высотной съемочной геодезической сети (обоснования): планово-высотная съемка элементов инженерных коммуникаций с обмерами сооружений на них.

В дополнение к перечисленным видам работ при исполнительной съемке в состав съемки существующих инженерных коммуникаций входят рекогносцировка и обследование сооружений инженерных коммуникаций, а также поиск местоположения скрытых подземных сетей.

По завершении полевых работ выполняется комплекс вычислительных, графических и картосоставительских работ. По завершении полевых и камеральных работ составляется технический отчет (пояснительная записка), где приводятся фактически выполненные состав и объемы работ, технологические особенности съёмки на данной территории, характеристика точности полученных планов или исполнительных чертежей.

## Часть 2

# ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ

### 1. ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

#### 1.1. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ОСНОВАНИИ

В проектировании фундаментов в при решении задач о распределении напряжений в основании используются существующие решения в теории упругости для разных видов нагрузок, приложенных к поверхности полупространства. Все нагрузки, действующие на основание, можно свести к трем видам: *сосредоточенная сила, нагрузка распределенная по ограниченной площади и нагрузка распределенная по полосе* [1 – 12].

Для определения напряжений от действия сосредоточенной силы можно воспользоваться формулой Буссинеска:

$$\sigma_z = \frac{3}{2} \cdot \frac{P}{\pi} \cdot \frac{z^3}{R^5}; \text{ или } \sigma_z = \frac{3}{2} \cdot \frac{P}{\pi z^2} \cdot \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{r}{z}\right)^2\right]^{5/2}}. \quad (1)$$

Для удобства расчета значения коэффициента  $K = f \frac{r}{z}$  сведены в приложении табл. 2.

Используя формулу (1), можно найти  $\sigma_z$  в любой точке основания при любой в плане площадке загрузки. Для этого площадь фундамента разбивают на ряд малых площадок и нагрузку, действующую на каждую из них, принимают за сосредоточенную силу  $P_i$ , приложенную в центре тяжести площадки. Суммарное напряжение в любой точке основания будет:

$$\sigma_z = \frac{P_1}{z^2} k' + \frac{P_2}{z^2} k'' + \frac{P_3}{z^2} k''' + \dots + \frac{P_n}{z^2} k^n.$$

При определении напряжений под центром равномерно загруженной площадки любой формы в плане используется формула

$$\sigma_{zc} = \alpha P, \quad (2)$$

где  $P$  – интенсивность давления на грунт;

$\alpha$  – коэффициент распределения напряжений по глубине в зави-

симости от  $\mathbf{n} = \frac{l}{b}$  и  $\mathbf{m} = \frac{2z}{b}$ , где  $l$  – длина,  $b$  – ширина фундамента;

$z$  – глубина до точки, в которой определяется давление.

Коэффициент сведен в табл. 1 (в приложении).

При определении напряжений в угловой точке прямоугольной или квадратной площадки пользуются формулой

$$\sigma_{zy} = \frac{\alpha_y P}{4}, \quad (3)$$

Используя формулу (3) методом угловых точек, можно найти напряжения в любой точке основания. Для этого данную точку представляют как угловую для четырех реальных и фиктивных прямоугольных площадей загрузки и для каждого прямоугольника, в углу которого расположена данная точка, определяют  $\alpha_y$  и  $\sigma_z$ . Суммарное напряжение в точке определяется как сумма напряжений в угловых точках четырех прямоугольников, если точка внутри загрузки (рис. 1.1, а), если точка находится вне площади загрузки, эту площадь достраивают до прямоугольника, в углу которого находится интересующая нас точка. Затем новую площадку делят на прямоугольники таким образом, чтобы суммарное напряжение от них равнялось напряжению только от загруженной площади (рис. 1.1, б).

а) Точка  $M$  в пределах площади загрузки (рис. 1.1, а),

$$\sigma_{zm} = \sigma_z^{ANFM} + \sigma_z^{NBEM} + \sigma_z^{ECHM} + \sigma_z^{HDFM};$$

б) Точка  $M$  вне пределов загрузки (рис. 1.1, б);

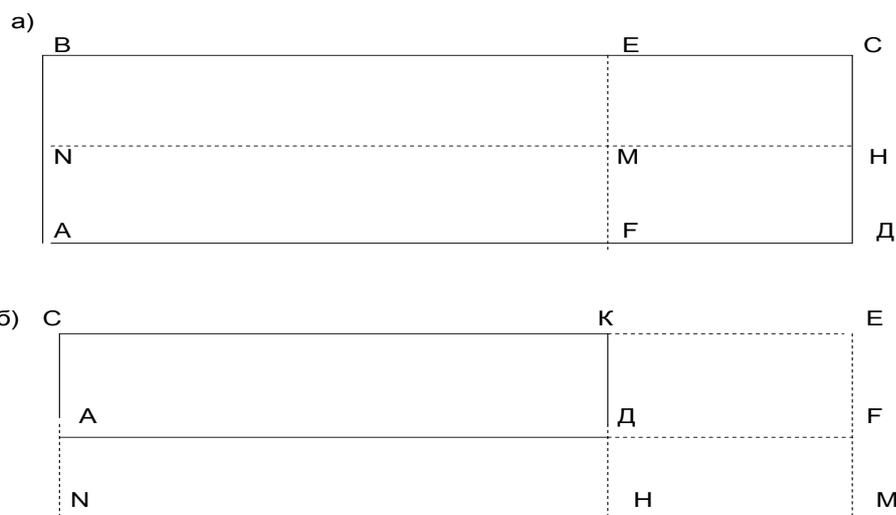


Рис. 1.1, а, б

$$\sigma_{zm} = \sigma_z^{NBKM} + \sigma_z^{NAFM} + \sigma_z^{KCHM} + \sigma_z^{HDFM}. \quad (4)$$

Вертикальные давления на любой глубине по вертикали, проходящей через центр рассчитываемого фундамента, с учетом влияния соседних фундаментах  $P'_{0z}$ , определяется по формуле

$$P'_{0z} = P_{0z} + \sum_1^k P_{0z}^c, \quad (5)$$

где  $P_{0z}$ , – давление от рассчитываемого фундамента;  $\sum_1^k P_{0z}^c$  – сумма давлений в точке  $C$  рассчитываемого фундамента от влияющих фундаментах, определяемая методом угловых точек;  $K$  – число влияющих фундаментах.

### Задание по разделу 1.1

1.1. Определить напряжение  $\sigma_z$  в точке  $M_o$  под центром прямоугольной подошвы фундамента со сторонами  $b = 1$  м  $l = 1,8$  м, нагруженного равномерно. Среднее давление под подошвой фундамента равно  $P = 0,3$  мПа. Точка  $M_o$  лежит на глубине  $z_0 = 2,0$  м от подошвы фундамента.

1.2. Определить напряжение  $\sigma_z$  в точке  $M_o$ , находящейся на прямой, которая проходит через угол прямоугольного фундамента со сторонами  $b = 1$  м и  $l = 1,6$  м, на глубине  $z = 1,2$  м от его подошвы. Давление под подошвой фундамента  $P_{oc} = 0,2$  мПа.

1.3. Определить напряжение  $\sigma_z$  в точке  $M_k$  под центром круглого в плане фундамента  $D = 6$  м и при равномерном давлении.  $P_{oc} = 0,2$  мПа в точке  $M_k$ , находящейся на глубине  $z = 4$  м ниже его подошвы.

1.4. Определить напряжение  $\sigma_z$  в точке  $M_k$  под центром фундамента с подошвой в виде правильного шестиугольника. Точка  $M_k$  находится на глубине  $z_k = 3,6$  м от подошвы фундамента. Сторона шестигранного фундамента  $a = 2$  м, диаметр описанного круга  $D = 4$  м, равномерно распределенное давление по подошве

$$P_{oc} = 0,3 \text{ мПа.}$$

1.5. Определить напряжение  $\sigma_z$  от сосредоточенной силы  $N = 0,2 \text{ МН}$  в точке  $M$ , находящейся на глубине  $z = 2 \text{ м}$  и отстоящей от центральной оси на расстоянии  $r = 2 \text{ м}$ .

1.6. Определить напряжение  $\sigma_z$  в точке  $M$ , расположенной на глубине  $2 \text{ м}$  от поверхности и на  $1 \text{ м}$  в сторону от оси, по которой действует сила  $P = 800 \text{ кН}$ .

1.7. Определить напряжение в точке  $M_o$ , находящейся на глубине  $2 \text{ м}$  от поверхности по оси, проходящей через центр загруженной квадратной площади, с учетом влияния загрузки соседних площадей (см. рис. 1.2.). Интенсивность равномерно распределенной нагрузки  $P_{oe} = 0,2 \text{ мПа}$ .

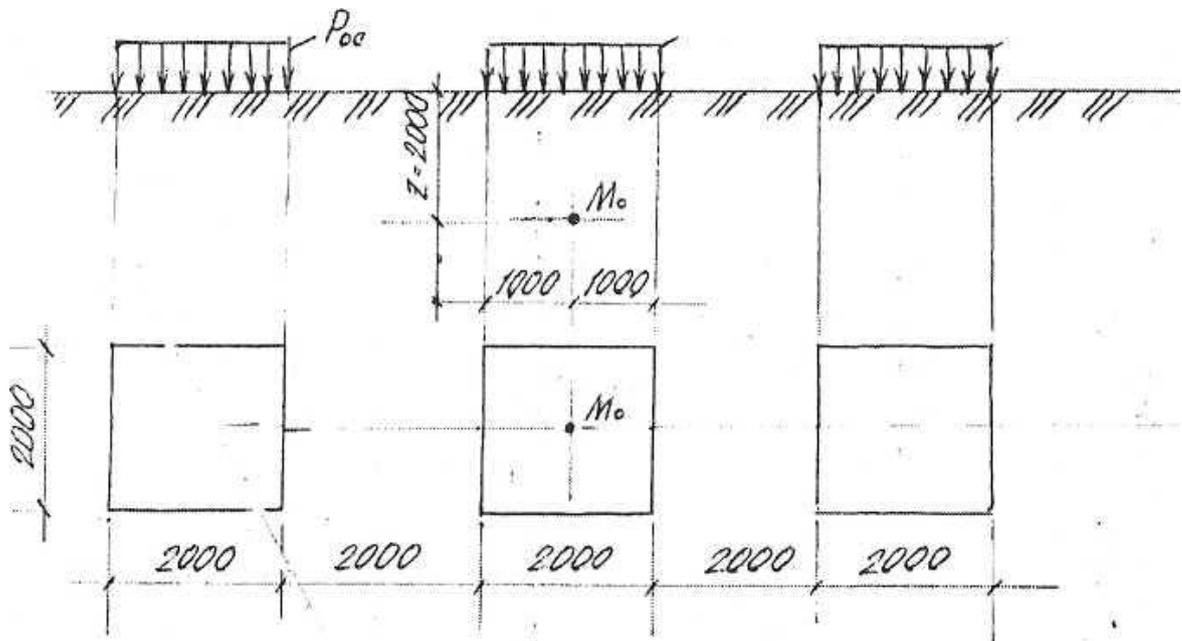


Рис. 1.2.

1.8. Определить напряжение  $\sigma_z$  в точке  $M_o$ , находящейся на глубине  $4 \text{ м}$  от поверхности по оси, проходящей через центр квадратного фундамента с учетом влияния соседнего фундамента (см. рис. 1.3). Интенсивность равномерного давления по подошвам фундаментов равняется  $P_{oc} = 0,25 \text{ мПа}$ .

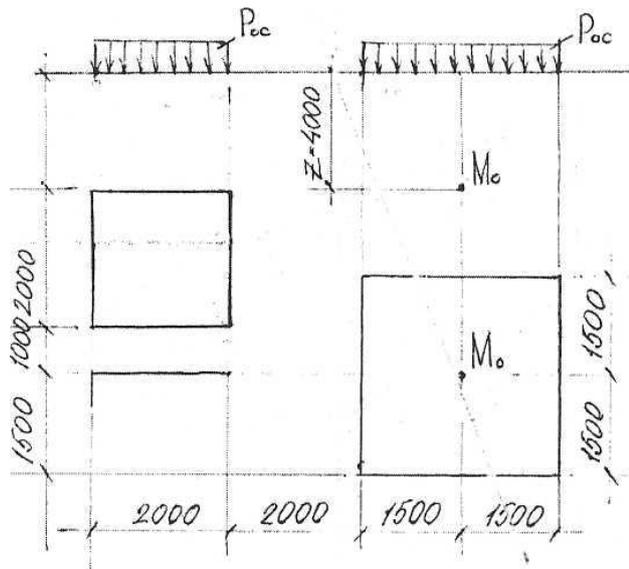


Рис. 1.3.

1.9. Определить напряжение  $\sigma_z$  в точке  $M$ , лежащей вне контура фундамента и имеющей следующие координаты:

$$x = 4\text{ м}, y = 4\text{ м}, z = 4\text{ м}.$$

Фундамент квадратной формы  $l = 2\text{ м}$ ,  $b = 2\text{ м}$ . Равномерное давление по подошве фундамента  $P_{oc} = 0,3\text{ мПа}$ . Начало координат – в центре фундамента.

## 1.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСАДОК ОСНОВАНИЯ

Осадку основания можно рассчитать различными методами, достоверность и степень точности которых определяется соответствием применяемых в них расчетных схем и предпосылок, действительным условием работы грунтов основанию. Рекомендуются следующие методы определения осадки.

а) Для сооружения с широким фундаментом, при залегании скалы ниже подошвы фундамента на глубине, не превышающей половину ширины фундамента, рекомендуется пользоваться формулой

$$S_{расч} = h m \nu P_{oc}, \quad S_{расч} = h \cdot \frac{\beta}{E} P_{oc},$$

где  $h$  – мощность сжимаемого слоя грунта;

$P_{oc}$  – давление, влияющее на осадку  $P_{oc} = P_{cp} - P_0$ ;  $P_{cp}$  – среднее давление под подошвой фундамента;

$P_0$  – природное давление под подошвой фундамента.

б) Метод послойного суммирования (при наличии слоистых оснований с различными характеристиками сжимаемости):

$$S = \beta \cdot \sum_1^n \frac{p_i h_i}{E_i} . \quad (6) \text{ см. СНиП 2.02.01.83}$$

в) метод применения расчетной схемы в виде линейно-деформируемого (упругого) слоя конечной толщины:

$$S = b P M \sum_1^n \frac{K_i - K_{i-1}}{E_i} . \quad (7) \text{ см. СНиП 2.02.01.83}$$

г) метод эквивалентного слоя рекомендуется применять для сравнительно небольших фундаментов при наличии однородного основания и при слоистом основании с не очень большими изменениями сжимаемости отдельных слоев.

В случае однородного грунта:

$$S_{расч} = h_s m_v P_{ос} , \quad (8)$$

где  $h_s$  – эквивалентный слой грунта  $h_s = A \omega b$ ;  $b$  – ширина фундамента;

$A \omega$  – коэффициент эквивалентного слоя, который зависит от жесткости фундамента и формы его подошвы, учитываемых коэффициентом  $\omega$  и коэффициентом бокового расширения

$$A = \frac{1 - \mu^2}{1 - 2\mu} .$$

## Задание по разделу 1.2

2.1. Определить осадку основания сплошной жесткой фундаментной плиты размерами со значениями равными  $b = 15$  м,  $l = 20$  м, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой с учетом собственного веса плиты  $P = 0,3$  мПа. Глубина заложения подошвы плиты  $h = 1,5$  м. Грунты, слагающие основание представлены двумя слоями: слой №1 – суглинок пластичный.  $\gamma_s = 18$  кН/м<sup>3</sup>;  $e = 0,70$ ;  $m_0 = 0,001$  мПа<sup>-1</sup>; мощность  $h_1 = 7$  м; слой № 2 – известняк трещиноватый мощностью  $h_2 = 20$  м,  $R_c = 20$  мПа.

2.2. Определить осадку основания фундамента плиты, имеющей размеры  $b = 10$  м,  $l = 12$  м;  $h = 1$  м. Глубина заложения  $h = 1$  м. Среднее давление по подошве фундамента  $P_{cp} = 0,4$  мПа. Строительная площадка сложена двумя слоями грунта: слой № 1 – песок мелкий

мощностью равной  $h_1 = 5\text{ м}$ ;  $\gamma_n = 19\text{ кН/м}^3$ ;  $e = 0,6$ ;  
 $m_0 = 0,002\text{ мПа}^{-1}$ ; слой № 2 – скальный грунт.

2.3. Определить осадку основания фундаментной плиты, имеющей размеры  $b = 5\text{ м}$ ;  $l = 8\text{ м}$ . Глубина заложения  $h = 1,5\text{ м}$ . Среднее давление по подошве фундамента  $P_{cp} = 0,2\text{ мПа}$ . Строительная площадка сложена двумя слоями грунта: слой № 1 – глина пластичная  $\gamma_n = 19\text{ кН/м}^3$ ;  $E_0 = 12\text{ мПа}$ , мощностью, равной  $h_1 = 8\text{ м}$ ; слой № 2 – известняк  $R_c = 30\text{ мПа}$ .

2.4. Определить осадку основания фундамента размерами  $b = 4\text{ м}$ ;  $l = 6\text{ м}$  и глубиной заложения  $h = 1,0\text{ м}$ . Среднее давление по подошве фундамента  $P_{cp} = 0,25\text{ мПа}$ . Грунт основания – суглинок значительной мощности с  $\gamma_n = 19\text{ кН/м}^3$  и  $E_0 = 10\text{ мПа}$ . Задачу решить методом элементарного суммирования.

2.5. Определить осадку основания ленточного фундамента шириной  $b = 2\text{ м}$  и глубиной заложения  $h = 1,0\text{ м}$ . Среднее давление под подошвой фундамента  $P_{cp} = 0,2\text{ мПа}$ .

Строительная площадка представлена двумя слоями грунта: слой №1 – супесь  $h_1 = 5\text{ м}$ ;  $\gamma_n = 18\text{ кН/м}^3$ ;  $E_0 = 8,0\text{ мПа}$ ; слой №2 – глина  $h_2 = 10\text{ м}$ ;  $\gamma_n = 19\text{ кН/м}^3$ ;  $E_0 = 15,0\text{ мПа}$ .

2.6. Оценить осадку основания фундамента размерами  $b = 2\text{ м}$ ;

$l = 3\text{ м}$ . Нагрузка на фундамент  $N_n = 1000\text{ кН}$ . Вес фундамента  $G_\phi = 280\text{ кН}$ , вес грунта  $G_{cp} = 220\text{ кН}$ .

Грунты: Слой № 1 – песок мелкий;

$h_1 = 4\text{ м}$ ;  $\gamma_n = 18\text{ кН/м}^3$ ;  $e = 0,6$ ;

$E_0 = 20,0\text{ мПа}$ ; Слой № 2 – глина пластичная  $h_2 = 8$ ;  $\gamma_n = 18,5\text{ кН/м}^3$ ;

$E_0 = 10,0\text{ мПа}$ . Грунтовых вод нет.

2.7. Определить осадку основания фундамента размерами  $b = 2$  м;  $l = 2$  м и глубиной заложения  $h = 2,0$  м. Давление под подошвой  $P_{cp} = 0,3$  мПа. Основание сложено песком средней крупности равное  $\gamma_s = 26$  кН/м<sup>3</sup>;  $\gamma_n = 19$  кН/м<sup>3</sup>;  $e = 0,6$ ;  $E_o = 18,0$  мПа. УГВ на глубине 4 м от поверхности земли.

2.8. Определить осадку основания ленточного фундамента шириной

$b = 2$  м и глубиной заложения  $h = 2,0$  м. Давление под подошвой фундамента  $P_{cp} = 0,2$  мПа.

Грунты основания: слой № 1 – суглинок  $h_1 = 4$  м;  $\gamma_n = 19$  кН/м<sup>3</sup>;  $E_o = 12,0$  мПа;  $J_L = 0,5$ ; слой № 2 – супесь  $h_2 = 2$  м;  $\gamma_n = 18$  кН/м<sup>3</sup>;  $E_o = 11,0$  мПа; слой № 3 – глина;  $h_3 = 2$  м;  $\gamma_n = 19$  кН/м<sup>3</sup>;  $E_o = 12,5$  мПа.

2.9. Определить осадку основания квадратного фундамента со значениями  $b = 2$  м;  $h = 1,0$  м и средним давлением под подошвой фундамента  $P_{cp} = 0,2$  мПа с учетом влияния соседнего фундамента размерами равными  $b \times l = 2 \cdot 2$  м и глубиной заложения  $h = 1,0$  м, среднее давление под подошвой которого равно  $P'_{cp} = 0,3$  мПа.

Расстояние между основаниями фундаментов  $L = 3$  м. Грунт основания – песок мелкий, средней плотности с  $\gamma_n = 19$  кН/м<sup>3</sup>;  $e = 0,7$ ;  $E_o = 12,0$  мПа.

### 1.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ФУНДАМЕНТОВ НА ЕСТЕСТВЕННОМ ОСНОВАНИИ

Определение размеров фундаментов на естественном основании производится из расчета по 2-му предельному состоянию – по деформациям – для фундаментов центрально и внецентронагруженных из расчета по 1-му предельному состоянию – по устойчивости – при расчете фундаментов на горизонтальные нагрузки. При этом в первом случае должно выполняться условие:

$P \leq R$  – для центрально нагруженных фундаментов.

#### Задание по разделу 1.3

3.1. Определить размеры центрально нагруженного фундамента под колонну без подвального жесткого здания, предающего на основание нагрузку  $N_{II} = 800$  кН. Основание сложено с поверхности на значительную глубину песками средней крупности со следующими характеристиками:

$\varphi_{II} = 32^\circ$ ;  $C_{II} = 0,002$  МПа;  $\gamma = 18$  кН/м<sup>2</sup>; глубина заложения фундамента

$h = 1,5$  м. Коэффициенты  $m_1 = 1,2$ ;  $m_2 = 1,1$ ;  $K_H = 1,1$ .

3.2. Определить ширину ленточного фундамента под среднюю стену бесподвального здания. На фундамент действует нагрузка

$N_{II} = 300$  кН/м пог. Глубина заложения фундамента  $h = 2$  м. Основание сложено водонасыщенными пылеватыми песками от поверхности на значительную глубину со следующими характеристиками:  $\varphi = 28^\circ$ ;  $C_{II} = 0,003$  мПа;  $\gamma_{II} = 18$  кН/м<sup>2</sup>;

$e = 0,7$ . Уровень грунтовых вод на 1 м выше подошвы фундамента.

3.3. Назначить глубину заложения и определить ширину ленточного центрально нагруженного фундамента под среднюю стену бесподвального здания. Грунты основания следующие: слой № 1 – суглинок тугопластичный  $\gamma_{II} = 18$  кН/м;  $C_{II} = 0,015$  мПа;

$\varphi_{II} = 18^\circ$ ;  $e = 0,7$ ; Мощность слоя  $h_1 = 1,4$  м; слой № 2 – песок средней крупности со значением

$e = 0,6$ ;  $\gamma_{II} = 19$  кН/м<sup>2</sup>;  $C_{II} = 0,002$  мПа;  $\varphi_{II} = 32^\circ$ ; мощность слоя

$h_2 = 12$  м. На фундамент действует нагрузка  $N_{II} = 400$  кН/м пог.

3.4. Назначить глубину заложения и определить размеры фундамента под колонну в бесподвальном промышленном здании. Строительная площадка со спокойным рельефом сложена слоями грунта:

чернозем  $h = 0,4$  м;  $\gamma_{II} = 14$  кН/м;

супесь пластичная  $\varphi_{II} = 19^\circ$ ;

$C_{II} = 0,011$  мПа;  $\gamma_{II} = 18,5$  кН/м<sup>2</sup>;  $R_0 = 0,2$  мПа;

$E_2 = 10$  мПа; мощность  $h_2 = 1,5$  м;

суглинок мягкопластичный  $\varphi_{II} = 21^\circ$ ;

$C_{II} = 0,019$  мПа;  $\gamma_{II} = 19$  кН/м<sup>2</sup>;  $R_0 = 0,15$  мПа;

мощность равна  $h_3 = 4$  м;

глина тугопластичная  $\varphi_{II} = 24^\circ$ ;

$C_{II} = 0,022$  мПа;  $\gamma_{II} = 19$  кН/м<sup>2</sup>;  $R_0 = 0,2$  мПа;

мощность  $h_4 = 6$  м.

Нагрузки, действующие на колонну со значениями:

$N_I = 500$  кН/м пог;  $M_{II} = 150$  кНм;  $Q = 80$  кН.

3.5. Подобрать ширину ленточного каменного фундамента, заложеного на глубине  $h = 2$  м от поверхности земли и нагруженного вертикальной нагрузкой  $N_{II} = 500$  кН/м пог, приложенной с эксцентриситетом  $e = 0,12$  м. Расчетное сопротивление грунта основания  $R = 200$  кПа.

3.6. Подобрать размеры прямоугольной подошвы фундамента железобетонной колонны. Нагрузка, равная  $N_{II} = 1850$  кН приложена с эксцентриситетом  $e_0 = 0,45$ . Глубина заложения фундамента  $h_\phi = 1,5$  м. Отношение сторон подошвы  $n = 0,75$ . Расчетное сопротивление грунтов основания  $R = 250$  кПа. Размеры подобрать из условий

$P_{max} = 1,2 R$ ;  $P_{min} > 0$ .

## 1.4. СВАЙНЫЕ ФУНДАМЕНТЫ

Несущая способность свай по грунту определяется тремя методами: практическим по формулам, статическими и динамическими испытаниями свай. Методика определения несущей способности свай по грунту дана в СНиП 2005 г. При расчете и проектировании свайного фундамента необходимо учитывать следующие основные положения: а) фактическая нагрузка на проектируемую сваю должна быть меньше расчетной несущей способности ее

$$N \leq F_d, \quad (9)$$

где для центрально нагруженного фундамента:

$$N = \frac{N_0 + G_{св} + G_p}{n}, \quad (10)$$

где  $N_0$  – расчетная нагрузка от надземной части здания;  $G_p$  – масса ростверка;  $G_{св}$  – масса свай;  $n$  – количество свай в фундаменте.

При кратковременных нагрузках допускается перегрузка крайних свай на 20%. Разница между максимально и минимально нагруженными сваями не должна превышать соотношения 3:1. Сваи, в которых от действия знакопеременных сил возникают растягивающие усилия, проверяются на выдергивание из грунта. При наличии значительных наклонных сил предпочтительнее устройство фундамента из наклонных и козловых свай.

а) Среднее давление под подошвой условного грунтосвайного массива должно быть меньше расчетного давления на грунт.

При центральной нагрузке:

$$P = \frac{N + G_p + G_{св} + G_{гр}}{F_{усл}} \leq R, \quad (11)$$

где  $G_{гр}$  – масса грунта в объеме грунтосвайного массива;

$F_{усл}$  – площадь условного фундамента;

$R$  – расчетное сопротивление грунта в уровне острия свай.

б) Ростверки выполняются из монолитного или сборного железобетона. При отношении длины к высоте не более 4:1 ростверк относят к жестким. Высота ростверка назначается из расчета на продавливание или по конструктивным соображениям. По конструктивным условиям  $h_p > h_0 + 0.25$  (м), но не менее 0,3 м ( $h_0$  – величина заделки свай в ростверк). Арматура ростверков подбирается из расчета на изгиб. Минимальное армирование для бетона

М 150 ÷ 200 – 1%; М 300 до 1,5%.

После определения высоты ростверка корректируется длина свай. В пучинистых грунтах между подошвой ростверка и поверхностью грунта предусматривается зазор не менее **0,2 м**.

в) Расчет свайных фундаментов по деформациям производится из условия:

$$S \leq [S], \quad (12)$$

где  $S$  – осадка условного грунто-свайного массива.

#### Задание по разделу 1.4

4.1. Определить несущую способность забивной сваи С 10 – 30, заглубленной нижним концом на **0,5 м** в крупнообломочный грунт с глинистым заполнителем твердой консистенции.

4.2. Определить несущую способность набивной сваи диаметром  $\alpha = \mathbf{0,5 м}$ , заделанной в скальный грунт на глубину **0,8 м**.

4.3. Определить несущую способность железобетонной забивной сваи СУ 7-30, забитой с поверхности земли на глубину **7 м**, в следующих инженерно-геологических условиях:

слой № 1 – суглинок с черноземом  $h_1 = \mathbf{0,5 м}$ ;

слой № 2 – суглинок  $J_L = \mathbf{0,7}$ ;  $h_2 = \mathbf{2 м}$ ;

слой № 3 – глина  $J_L = \mathbf{0,4}$ ;  $h_3 = \mathbf{3 м}$ ;

слой № 4 – глина  $J_l = \mathbf{0,2}$ ;  $h_4 = \mathbf{10 м}$ .

4.4. Определить несущую способность забивной сваи С 14 – 35, погруженной забивкой на **14 м**. Грунты, прорезаемые свайей, следующие:

слой № 1 – песок мелкий рыхлый  $h_1 = \mathbf{5 м}$ ;

слой № 2 – суглинок мягкопластичный  $J_l = \mathbf{0,6}$ ;  $h_2 = \mathbf{4 м}$ ;

слой № 3 – суглинок тугопластичный  $J_l = \mathbf{0,3}$ ;  $h_3 = \mathbf{4 м}$ ;

слой № 4 – песок крупный плотный  $h_4 = \mathbf{5 м}$ .

## 2. СТАТИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН

### 2.1. РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ ПЛОТИН ИЗ ГРУНТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Практические методы расчета основываются для бесконечного полупространства при неизменных грунтовых характеристиках.

Прандиль нашел теоретическое решение для плотины, нагрузка которой равномерно распределена на основании относительно оси  $УУ'$ . Он выделил 4 зоны (рис. 2.1):

1 – зона активного состояния Ранкина, где линии скольжения наклонены к вершинам под углом  $\pi/2 - \varphi/2$ ;

2 – зона массивного состояния Ранкина, где линии сдвига наклонены к горизонтали под углом  $\pi/2 - \varphi/2$ ;

3 – зона радикальных сдвигов, состоящая из двух систем линий: радиальных, веером выходящих из точек **C** и **D** и в виде логарифмических спиралей;

4 – зона расположена под тремя перечисленными выше, в ней наблюдается состояние упругого равновесия.

Таким образом, если давление  $P$  вызовет скольжение, то оно будет происходить по линии **DME**.

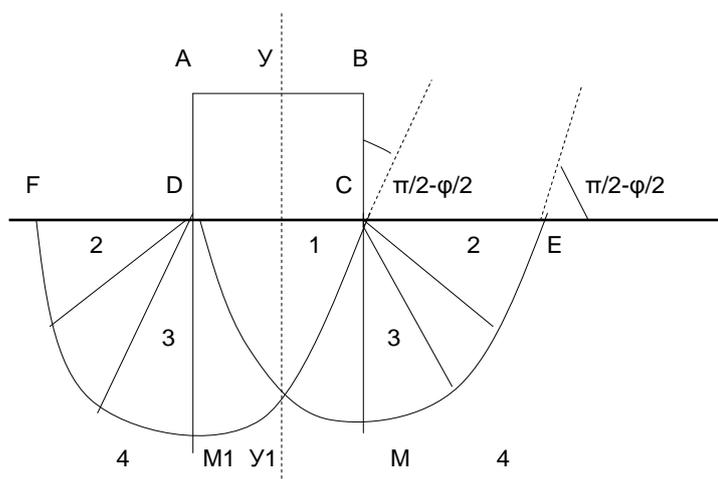


Рис. 2.1

Если рассмотреть реальный откос, то скольжение может происходить либо по поверхности (линия **FM'C**), либо с разрывом в основании (глубинное по линии **AME**) показано на рис. 2.2.

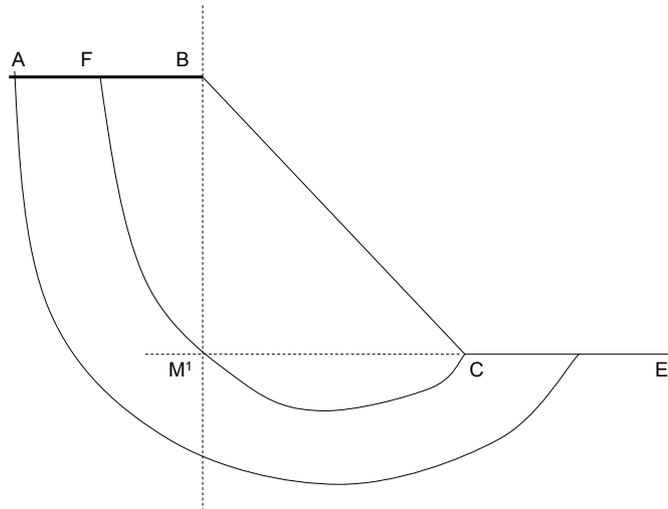


Рис. 2.2

Пусть линия скольжения представляет собой дугу окружности. Задача сводится к отысканию радиуса и центра окружности.

Разобьем объем грунта, ограниченный линией скольжения, на вертикальные слои толщиной  $\lambda$ . Обратим внимание на один из них. Пусть  $g$  – центр тяжести одного слоя,  $V$  – его объем, а  $d$  – его объемная плотность. Значит, вес рассматриваемого слоя  $P = V \cdot d$ .

Эта сила походит через точку  $M$  и может быть разложена на нормальную составляющую  $N$  и касательную  $T$ . Значение  $T$  – сила, которая стремится вызвать скольжение слоя. Обозначим через  $l$  дугу окружности, на которую действует  $T$ .

Скольжение не произойдет, если силы противодействия будут противоположны по направлению к  $T$ , будут большими, чем  $T$ . К ним относятся силы трения –  $N \cdot \operatorname{tg} \varphi$ , где  $\varphi$  – угол внутреннего трения в грунте, и силы, вызванные сцеплением, –  $c \cdot l$ , где  $c$  – сцепление на единицу поверхности.

Таким же образом повторим все эти рассуждения для всех слоев. Допустим, что  $\varphi$  и  $c$  постоянны вдоль линии скольжения. В расчетах будем считать незначительным трение между отдельными слоями.

В этих условиях объем грунта, ограниченный линией скольжения, останется неподвижным, если сумма пассивных сил превышает сумму активных сил.

Пассивные силы для всех слоев можно записать:

$$\sum(N \operatorname{tg} \varphi) + \sum(c \cdot l), \text{ а активные } - \sum(T). \quad (13)$$

Следовательно состояние равновесия выражается неравенством

$$\sum(N \operatorname{tg} \varphi) + \sum(c \cdot l) > \sum(T). \quad (14)$$

Если  $\varphi$  и  $c$  величины постоянны, то первый член можно представить  $\operatorname{tg} \varphi \cdot \sum(N) + c \cdot L$ . Обозначим через  $L$  общую длину дуги АМЕ

$$L = \sum(l). \quad (15)$$

Коэффициент безопасности для этой дуги:

$$\sigma = (\operatorname{tg} \varphi \cdot \sum(N) + c \cdot L) / \sum(T). \quad (16)$$

Будем искать положение центра окружности  $O$  и радиуса  $r$ , при условии минимизации коэффициента  $\sigma$ . Минимальный  $\sigma_k$  называется критическим. Стабильность откоса плотины рассматривается обеспеченной, если коэффициент безопасности для критической дуги будет  $\sigma_k > 1,5$ . В некоторых случаях он может быть понижен до 1,3, а иногда и повышен до 2.

Коэффициент безопасности определяется в процессах строительства, наполнения водохранилища и в рабочем режиме плотины.

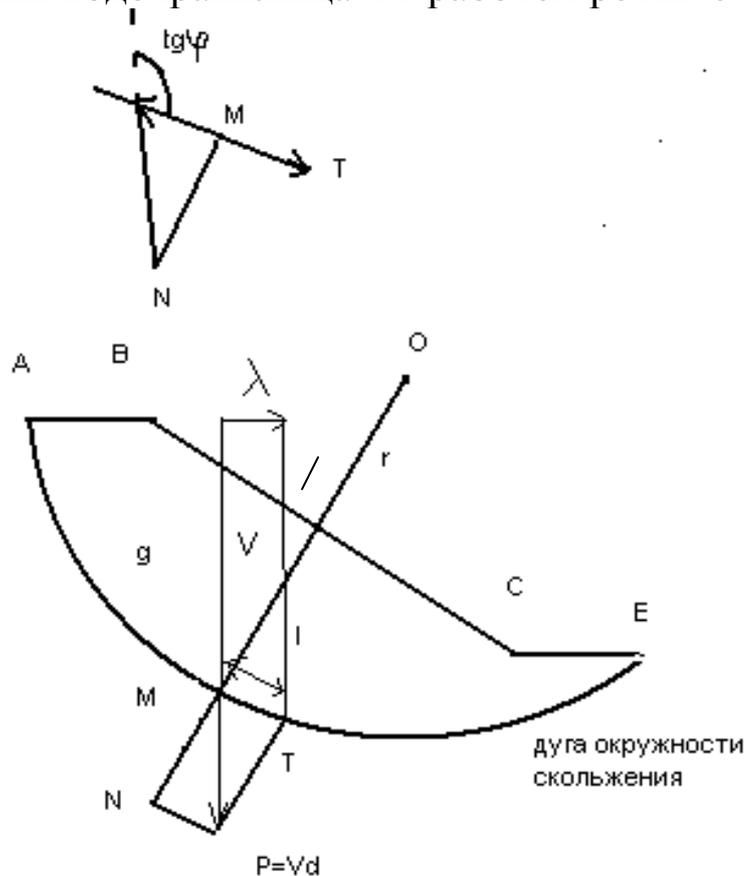


Рис. 2.3

Если грунт плотины водонасыщен, то следует учитывать нейтральное давление  $P$ :

$$\sigma = (\operatorname{tg}\varphi \cdot \sum(N - pl) + c \cdot L) / \sum(T). \quad (17)$$

$P$ , будучи единичным давлением в точке  $M$ , следует умножить на длину дуги  $l$ .

#### Замечание 1

При расчете  $\sum(T)$  следует учитывать, что эта сумма алгебраическая, т. е. справа от вертикального радиуса  $T$  действует в противоположном направлении и суммируется с противоположным знаком.

#### Замечание 2

При расчетах мы считали, что откос имеет одинаковый наклон по всей длине. На практике угол наклона откоса может изменяться.

При вычислениях веса  $P$  отдельного слоя удобно брать высоту  $H$  этого слоя по вертикали, проходящей через центр тяжести  $g$  и заменив вес истинного слоя на вес слоя высотой  $H$  и толщиной  $\lambda$ ,

$$P = d \cdot H \cdot \lambda.$$

В зоне грунта при постоянном значении  $d$  имеем  $\sum(P) = \lambda \cdot d \cdot \sum(H)$

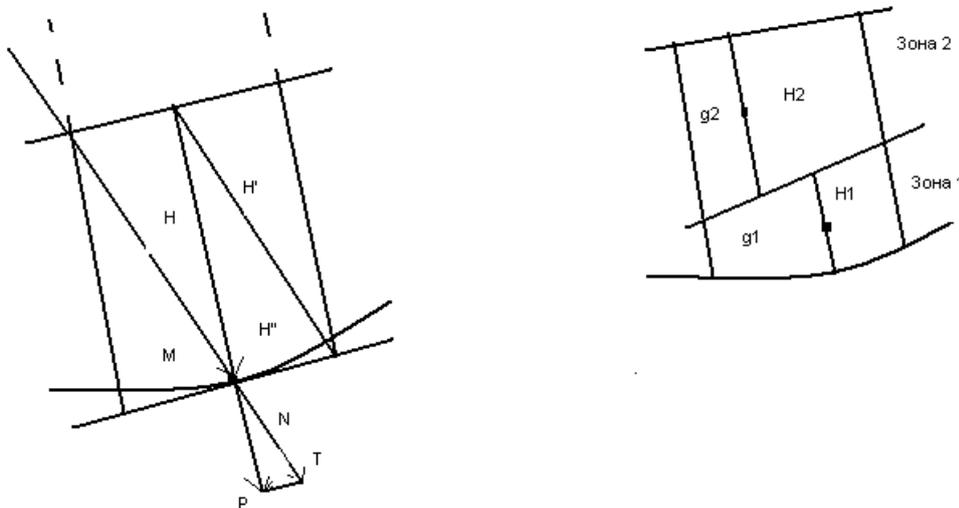


Рис. 2.4

Сравним треугольники со сторонами  $HNH'$  и  $NPT$ . Они подобны, поэтому  $N/H' = T/H'' = P/H = d \cdot \lambda$ . Следовательно,  $\sum(N) = \lambda \cdot d \cdot \sum(H')$ ;  $\sum(T) = \lambda \cdot d \cdot \sum(H'')$ .

При расчетах использовали измерения в принятом масштабе  $H'$  и  $H''$  и суммировали их.

Если дуга сечет различные зоны, то  $H$  состоит из двух отрезков  $H_1$  и  $H_2$ , соответственно для зон 1 и 2, значит, есть свои значения  $H_1'$ ;

$H_1''$  и  $H_2'$ ;  $H_2''$  откуда вытекает: для 1-ой зоны  $\Sigma 1(N) = \lambda \cdot d1 \cdot \Sigma(H1')$ ;  $\Sigma 1(T) = \lambda \cdot d1 \cdot \Sigma(H1'')$ .

Для 2-ой зоны  $\Sigma 2(N) = \lambda \cdot d2 \cdot \Sigma(H2')$ ;  $\Sigma 2(T) = \lambda \cdot d2 \cdot \Sigma(H2'')$ .

### Отыскание центра критической окружности

Ранее мы отметили, что необходимо найти критическую окружность, коэффициент безопасности для которой минимален. Задача решена отдельно для поверхностного и глубинного разрыва.

Окружность проходит через точку  $D$  откоса  $AD$ . Феллини изучил задачу при  $\varphi = 0$  и различных значениях угла откоса  $i$ . Он определил значение угла  $\beta = 25^\circ$ , который определяет направление радиуса  $r$  и угла  $\alpha = 35^\circ$ . Эти значения получены для верхового откоса с уклоном  $m_1 = 3$  и низового –  $m_2 = 2-2,5$ . Изменение уклона откосов от 1 до 5 не изменит  $\alpha$  и  $\beta$  более чем на  $2 - 3^\circ$ . Но эти значения соответствуют идеальному случаю  $\varphi = 0$  (рис. 2.5).

### Поверхностный разрыв

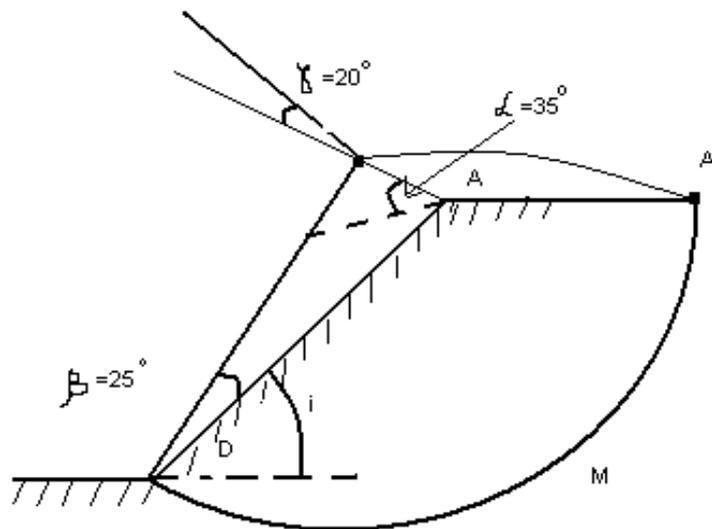


Рис. 2.5

В реальной задаче центр критической окружности лежит внутри угла  $\gamma = 20^\circ$ . Для его построения следует произвести несколько расчетов вдоль биссектрисы этого угла и затем построить график изменения  $\sigma$  вдоль этого луча.

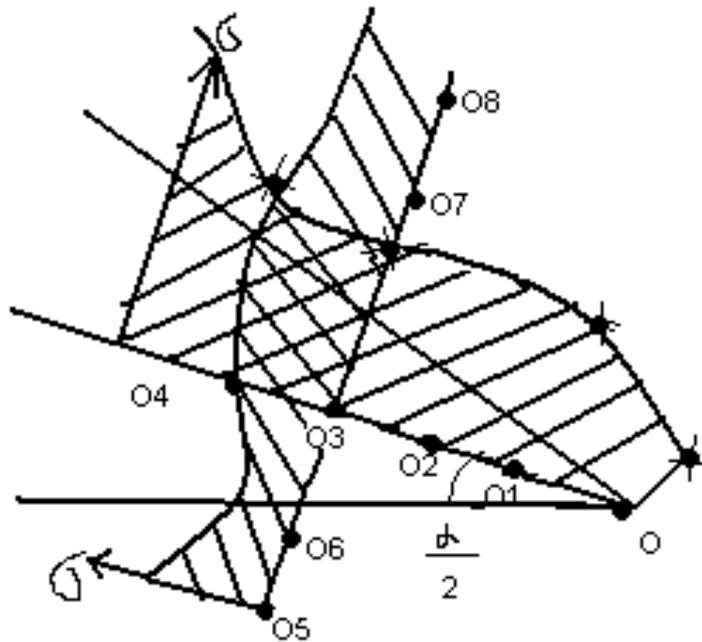


Рис. 2.6

Затем через минимум этой кривой следует провести перпендикуляр к биссектрисе и вновь рассчитать несколько значений  $\sigma$  для различных центров. Истинный центр лежит в точке  $O_6$  (рис. 2.6).

#### *Глубинный разрыв*

Центр окружности в этом случае располагается близ вертикали, проходящей через центр  $m$  откоса  $AD$ . В случае  $\phi = 0$  центр окружности расположен на этой вертикали, которая проходит через середину откоса.

Пусть  $L$  – длина дуги скольжения,  $P$  – вес блока, ограниченного этой дугой,  $a$  – длина рычага веса по отношению к центру  $O$ . Положительный момент, который стремится развернуть блок вокруг точки  $O$ ,  $M = P a$ . Отрицательный момент, удерживающий его на месте, равен  $M = r L c$ , где  $c$  – сцепление грунта

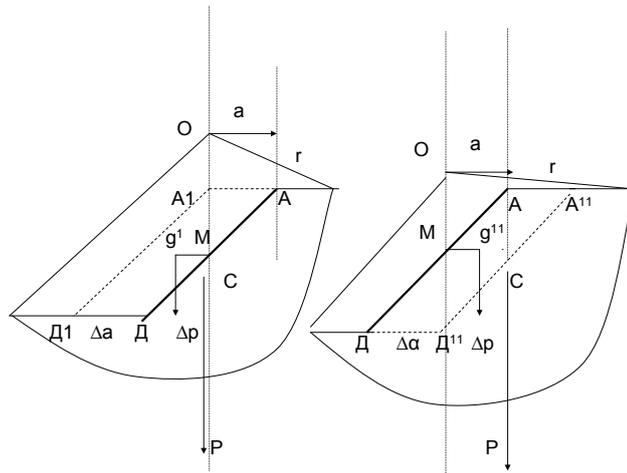


Рис. 2.7

Следовательно, коэффициент безопасности  
 $\sigma = M^I / M = r LC / P a$ .

Переместим сейчас окружность слева направо на расстояние  $\Delta a$  и определим коэффициент безопасности  $\sigma$  для этого нового положения. Такое перемещение можно заменить смещением откоса, параллельно самому себе на  $\Delta a$  справа налево. В этом случае дуга скольжения не изменится и значит  $M^I$  остается постоянным. А момент  $M$  увеличивается за счет веса  $\Delta P$  параллелограмма  $ADA^1D^1$ , но с длиной рычага  $a/2$ , направленного в сторону, противоположенную  $a$ . Следовательно, активный момент  $M$  уменьшается на  $\Delta P a/2$  и коэффициент безопасности  $\sigma^I > \sigma$ .

Противоположное перемещение, приводящее откос  $AD$  в  $A^{11}D^{11}$ , показывает, что  $M^I$  остается постоянным, а вес уменьшается на  $\Delta P$ . Длина рычага этого веса  $a/2$ , и его направление совпадает с  $a$ . Следовательно,  $M$  уменьшается на  $\Delta P a/2$  и новый коэффициент безопасности  $\sigma^{11} > \sigma$ .

Значит, при  $\varphi = 0$ , центр критической окружности находится на вертикали, проходящей через середину откоса.

При  $\varphi \neq 0$  следует определить центр критической окружности, лежащей на этой вертикали, а затем на горизонтали, проходящей через этот центр минимизации  $\sigma$ . Для центров, лежащих на этой горизонтали, определяем положение истинного центра.

Напомним некоторые формулы связи между различными характеристиками:

$$\begin{aligned} \gamma &= \rho g; \gamma_s = \rho_c g; \\ \gamma &= \gamma_s (1-n) (1+w); \\ \gamma_{sb} &= (\gamma_s - \gamma_w) (1-n); \\ \gamma_{\Delta at} &= \gamma_s (1-n) + \gamma_w n, \end{aligned}$$

где  $\gamma$ ,  $\gamma_w$ ,  $\gamma_s$  – удельный вес грунта, воды и удельный вес частиц грунта соответственно  $n$  – пористость,  $w$  – естественная влажность,  $\gamma_{sb}$ ;  $\gamma_{sat}$  – удельный вес во взвешенном состоянии и в насыщенном водой.

При насыщении водой угол внутреннего трения  $\varphi$  уменьшается на  $2^\circ$ , а сцепление  $c$  - на численное значение **0,01 – 0,02** мПа.

Допустимые коэффициенты безопасности (коэффициенты запаса), приведены в табл. 1 в зависимости от уровня ответственности для основных нагрузок

Таблица 1

| Уровень ответственности | 1           | 11          | 111         | 1У          |
|-------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Коэффициент запаса      | 1,30 – 1,25 | 1,20 – 1,15 | 1,15 – 1,10 | 1,10 – 1,05 |

Если нет сведений о физических характеристиках грунтов оснований и плотины, можно за основу взять следующие значения табл. 2

Таблица 2

| Наимен. грунта           | $\rho_s$ , т/м <sup>3</sup> | $\rho$ , т/м <sup>3</sup> | $n$     | $\varphi^0$ | $C$ (МПа)  | $K_\phi$ , м/сут    | $W$  |
|--------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------|-------------|------------|---------------------|------|
| Глина                    | 2,7-2,8                     | 1,95-2,2                  | 0,4-0,6 | 15          | 0,04-0,05  | $(1-5) 10^{-4}$     | 0,20 |
| Суглинок                 | 2,7                         | 2,0                       | 0,4-0,5 | 18          | 0,03-0,04  | $10^{-1} - 10^{-2}$ | 0,15 |
| Супесь                   | 2,6                         | 2,1                       | 0,4     | 20          | 0,005-0,01 | 5 - 10              | 0,10 |
| Песок                    | 2,62                        | 1,7                       | 0,4     | 34          | -          | 10 - 20             | 0,5  |
| Гравелисто-галечн. грунт | 2,65                        | 1,75                      | 0,4     | 33-40       | -          | 10 - 50             | 0,3  |
| Крупнооблом. грунт       | 2,65                        | 1,7                       | 0,4     | 40-45       | -          | >50                 | 0,2  |

## 2.2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛОТИН ИЗ ГРУНТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО ПРОФИЛЯ

Водохранилища на местном стоке создаются при помощи земляных плотин. При правильном строительстве и эксплуатации срок службы земляной плотины практически неограничен. Наиболее широкое применение при строительстве водохранилища на местном стоке имеют однородные земляные слабофильтрующие грунты, средние и легкие суглинки. При возведении плотин из водопроницаемых грунтов для уменьшения фильтрации воды через тело плотины и под ее основанием устраивают различные противофильтрационные элементы – ядро, зуб или замок, понур, экран, дренажные призмы (рис. 2.8).

В процессе проектирования плотин необходимо выбрать такой её профиль, который удовлетворял бы требованиям расчетов на фильтрацию и устойчивость откосов и требованиям эксплуатации.

Параметры плотины определяем следующим образом:

$$H_{\text{полн}} = H_0 + H_{\text{греб}},$$

где  $H_0$  – глубина воды перед плотиной, равная разнице между отметкой нормального подпорного уровня и отметкой дна оврага у плотины.

При этом  $H_0 = H_{\text{нпу}} - H_{\text{дна}}$ ,  $H_{\text{греб}}$  – высота гребня плотины, часть плотины, возвышающаяся над нормальным подпорным уровнем (НПУ), и равна

$$H_{\text{греб}} = H_{\text{пав}} + C,$$

где  $H_{\text{пав}}$  – превышение паводкового горизонта над НПУ или, иначе, разность отметок форсированного уровня (ФПУ) и нормального подпорного уровня (РПУ);  $C$  – высота волны.

Высоту волны можно определить по эмпирической формуле  $C = 0,75 + 0,1 L$ , где  $L$  – длина водоема, км.

Минимальная ширина гребня плотины  $b = 4,0 - 4,5$  м. Если по плотине намечается провести дорогу, то ширина гребня плотины принимается в зависимости от назначения (класса) дороги. Для внутрихозяйственных, эксплуатационных дорог ширину гребня плотины можно принять равной **6 м**; для межхозяйственных (при двухстороннем движении) ширину гребня принимают от **6 до 12 м**. Проезжую часть дороги устраивают в виде каменной мостовой или делают асфальтобетонное покрытие, но только после полной осадки плотины. Для стока воды гребень плотины делается выпуклым в обе стороны

ОТ ОСИ ПЛОТИНЫ.

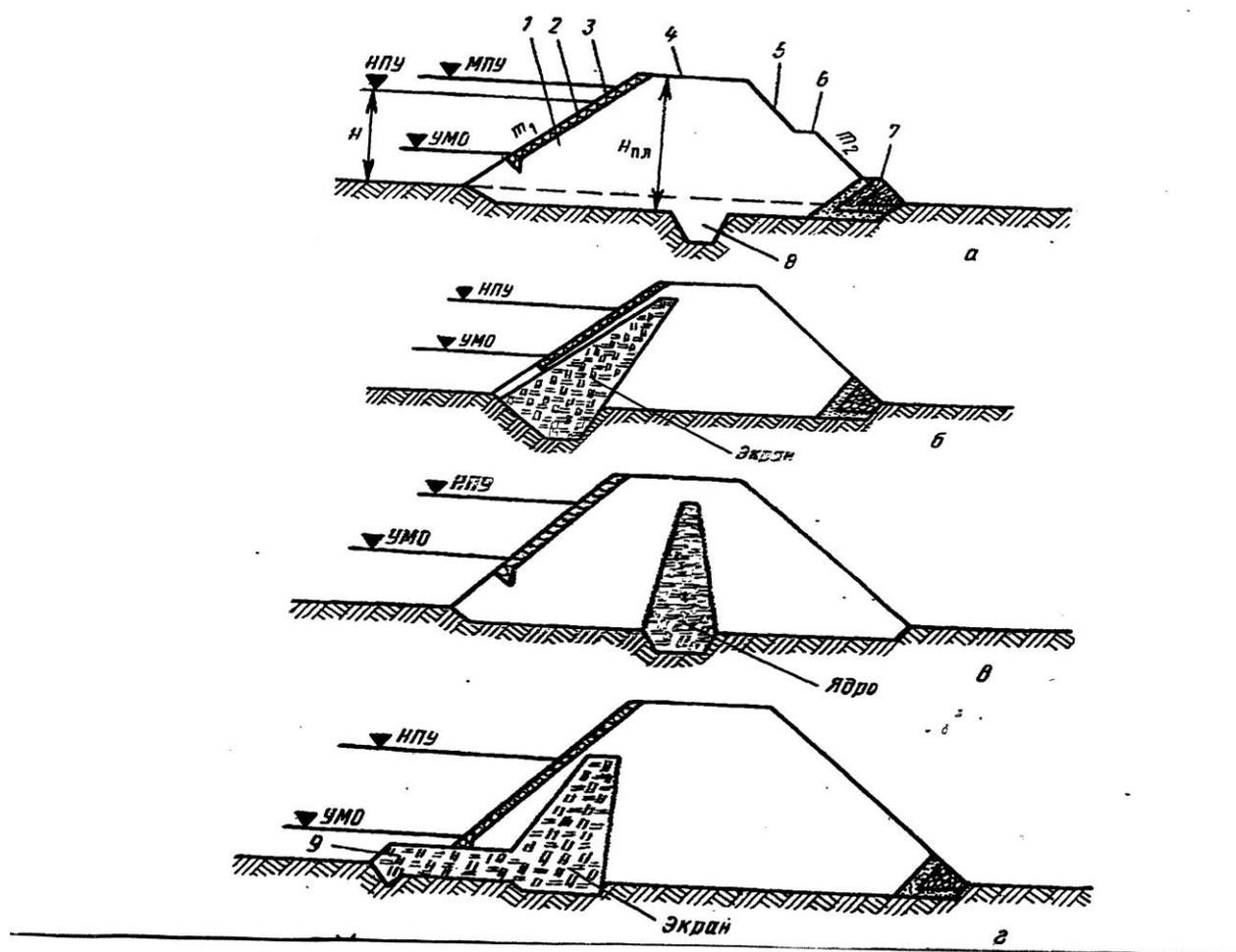


Рис. 2.8. Основные конструкции земляных плотин: а – однородная земляная плотина; б – земляная плотина с экраном; в – земляная плотина с ядром; г – земляная плотина с понуром и экраном; 1 – тело; 2 – мокрый откос; 3 – крепление откоса; 4 – гребень; 5 – сухой откос; 6 – берма; 7 – дренаж; 8 – зуб; 9 – понур

У плотины два откоса: со стороны воды – верховой (мокрый) откос; противоположный откос – низовой (сухой).

Откосы плотины делают разной крутизны. Коэффициенты заложения откосов в зависимости от грунта и высоты, из которого возводится плотина, примерно следующие:

|                  | Мокрый откос   | Сухой откос |
|------------------|----------------|-------------|
| Суглинистый..... | 2,5 – 3,0      | 1,5 – 2,0   |
| Супесчаный ..... | 3,0 – 3,5..... | 2,0 – 2,5   |
| Песчаный.....    | 3,5 – 4,5..... | 2,5 – 3,0   |

Верховой откос плотины подвергается разрушительному воздействию ветровых волн, ледяного покрова, колебаний уровня воды между отметками НПУ и УМО, поэтому этот откос крепят каменной отмосткой, бетонными плитами и т.п.

Сухой откос закрепляется дерном и засеивается травами.

Для хорошего сопряжения тела плотины с основанием и с берегами оврага вдоль оси по всей длине плотины устраивают зуб (или замок) глубиной не менее 1 м. При сильно водопроницаемых грунтах замок в основании плотины должен прорезать весь водопроницаемый слой и врезаться в нижележащий водоупорный горизонт не менее **0,5 м**. В берега оврага замок врезают не менее **1,0 – 1,5 м**.

Для определения водоема проектируют донный водоспуск. Трубу укладывают под плотиной в наиболее глубоком месте.

Кроме водоспуска при плотине необходимо устраивать водосброс, в задачу которого входит безопасный сброс и отвод излишней паводковой воды весной, чтобы она не переливалась через гребень плотины. Водосброс выполняется в виде водоносного канала, который прокладывается от уреза воды нормального подпорного уровня (отметки НПУ) в обход плотины и далее вода спускается на дно оврага. Все элементы водосборного канала крепят бетонными плитами. Водосборный канал рассчитывают на пропуск максимального паводкового расхода после наполнения водоема. Отметка дна водоносного канала должна равняться отметке НПУ, в этом случае при подъеме воды выше этой отметки, она автоматически будет сливаться по водосбору.

## 2.3. РАСЧЕТ ФИЛЬТРАЦИИ ВОДЫ ЧЕРЕЗ ЗЕМЛЯНЫЕ ПЛОТИНЫ ИЗ ГРУНТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Под влиянием напора ( $H$ ), создаваемого плотиной, происходит фильтрация (просачивание) воды из верхнего бьефа в нижний. Часть тела плотины, таким образом, насыщена водой, движущейся в порах между частицами грунта. Верхней границей фильтрации является линия  $AB$  (рис. 2.9, б), которая называется «кривой депрессии», или «депрессионной кривой».

Ниже депрессионной кривой все поры грунта тела плотины заполнены движущейся водой.

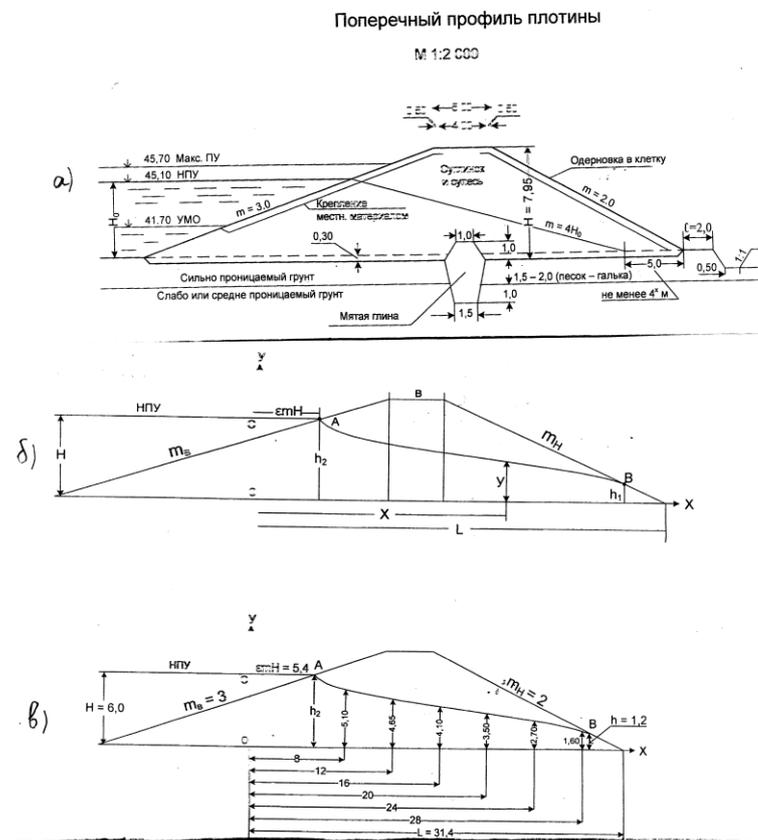


Рис. 2.9. а- поперечный профиль плотины; б- схема для расчета фильтрации через земляную плотину; в-. расчетная схема фильтрации через однородную земляную плотину

Если кривая депрессии АВ выходит(выклинивается) на низовом откосе в точке В, то фильтрационная вода вымывает сначала мельчайшие частицы, а затем – все более крупные. Такое нарушение устойчивости частиц грунта, называемое «суффозией», ведет к усилению фильтрации, затем к оползанию и нарушению низового откоса и, в конечном итоге, к нарушению всей плотины.

Для безопасного отвода фильтрующейся через плотину воды в основании низового откоса устраивается дренаж. Дренажная призма из каменной наброски служит и упором откоса. По контакту грунта плотины и дренажной призмы укладывают обратный фильтр из песка, гравия или щебня (двухслойный) с толщиной слоев **0,25 – 0,40 м**. Высоту дренажной призмы принимают на **0,5 – 1,0 м** выше (точки В) выхода кривой депрессии на низовой откос.

Расчет плотин на фильтрацию заключается в определении положения депрессионной кривой в теле плотины и фильтрационного расхода через тело плотины. При расчетах фильтрации через земляные плотины используется основной закон движения подземных вод (закон Дарси). Скорость фильтрации грунтового потока пропорциональна уклону и равна

$$V = K \cdot I, \quad (18)$$

где **V** – скорость фильтрации воды; **K** – коэффициент фильтрации воды; **I** – пьезометрический уклон (градиент) фильтрационного потока.

Рассматривая движение фильтрационного потока со свободной поверхностью, на которой давление равно атмосферному при горизонтальном непроницаемом подстилающем слое для условий медленно изменяющегося движения, получим формулу Дюпюи, связывающую фильтрационный расход, начальную и конечную глубины фильтрационного потока, а также расстояние между этими глубинами:

$$\frac{g}{K} = \frac{h_2^2 - h_1^2}{2L}, \quad (19)$$

где **g** – фильтрационный расход на **1** пог.м; **h<sub>2</sub>** – начальная глубина фильтрационного потока; **h<sub>1</sub>** – конечная глубина фильтрационного потока; **L** – расстояние между глубинами **h<sub>2</sub>** и **h<sub>1</sub>**; **K** – коэффициент фильтрации.

На основании приведенных выше формул Дарси и Дюпюи расчет фильтрации через однородную плотину на непроницаемом основании ведется по следующим формулам:

$$h_1 - h_0 = \frac{L}{m_n} - \sqrt{\left\{ \frac{L_2}{m_H^2} - (H - h_0)^2 \right\}}, \quad (20)$$

$$\frac{g}{K} = \frac{H^2 - h_2^2}{2(L - m_n h_2)} = \frac{H^2 - y^2}{2x}, \quad (21)$$

$$y^2 = H^2 - \frac{H^2 - h_1^2}{L - m_n h_1} x, \quad (22)$$

где  $h_0$  – глубина воды в нижнем бьефе;  $L$  – расстояние от подошвы низового откоса до так называемого «раздельного сечения»  $OY$  (ось координат), проводимого на расстояние от уровня воды в верхнем бьефе;  $m_n$  – коэффициент заложения низового откоса;  $H$  – глубина воды в верхнем бьефе;  $m_B$  – коэффициент заложения верхнего откоса;  $X, Y$  – переменные абсцисса и ордината, откладываемые от начала координат (точка  $O$ ) по оси абсцисс  $OX$ , принимаемой совпадающей с основанием плотины, и по оси ординат  $OY$ , совпадающей «пределным сечением»

Если воды в нижнем бьефе нет ( $h_0 = 0$ ), то уравнение (20) упрощается и принимает вид:

$$h_1 = \frac{L}{m_n} - \sqrt{\left\{ \frac{L_2}{m_H^2} - (H)^2 \right\}}. \quad (23)$$

Задаваясь различными  $X$ , ординаты кривой депрессии можно вычислить по формуле:

$$y = \sqrt{\left( H^2 - \frac{H^2 - h_1^2}{L - m_n h_1} X \right)}. \quad (24)$$

### Задание

#### *Определение устойчивости откоса методом Кадомского*

Блок грунта, ограниченный дугой окружности, разбиваем на вертикальные полосы, для каждой из полос определяем моменты сил, сдвигающих и удерживающих полосу на месте.

*Последовательность расчета.* Определение радиуса окружности скольжения можно выполнить в зависимости от крутизны откоса откуда  $r = Kr \cdot H$ , где  $H$  – высота плотины.

| $m$  | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $Kr$ | 1,6 | 2,0 | 2,6 | 3,6 | 4,5 | 5,5 |

Один из центров  $O_1$  можно определить засечкой радиуса  $r$  из верхней и нижней точки откоса. Опустим из точки  $O_1$  перпендикуляр  $O_1 C$  на откос и проведем вертикаль через точки  $C$ . Радиусом  $O_1 C$  из точки  $C$  как из центра проведем дугу  $O_1 D$  и радиусом  $O_1 S O_1 C$  - дугу  $FE$ .

1. Центр критической окружности находится в заштрихованном криволинейном четырехугольнике. Наиболее вероятно, что истинный центр находится на линии  $O_1 E$ , поэтому его следует определить по минимуму графика  $\sigma$  (на рис. 2.10,  $O_3$  – истинный центр).

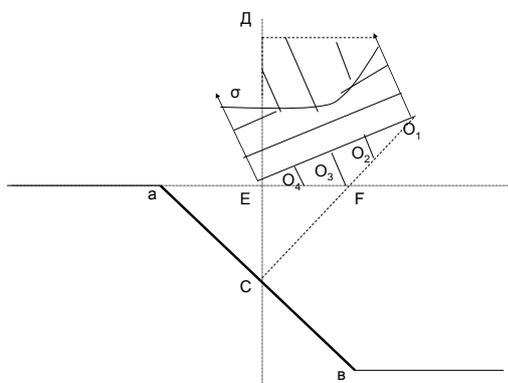


Рис. 2.10

2. Из точки  $O_1$  как из центра радиусом  $r$  проведем окружность через откос (рис. 2.10). Ширину одной полосы определим  $b = r/10$ .

3. Разобьем блок на одинаковые полосы, совмещая ось полосы  $NO$  с вертикальным радиусом, пронумеруем остальные полосы, присваивая влево от  $O$  положительные номера, а вправо отрицательные.

4. Составим расчетную таблицу, используя значения  $H, \gamma, \varphi, c$  для всех типов грунта, которые пересекает дуга. Заметим, что характеристики суглинков тела плотины различные выше и ниже депрессионной кривой и равны

$$R = m b; \text{Sin} a = n b/R = n/m.$$

Ниже в табл.3 вписаны исходные данные согласно рисунку. Дальнейший расчет ясен. Из табл. 3 (см. ниже) следует найти суммы столбцов 12, 15, 17, 18.

Таблица 3

| №<br>Полосы | $h^I,$<br>м | $h^{II},$<br>м | $h^{III},$<br>м | $\gamma^I h^I$ | $\gamma^{II} h^{II}$ | $\gamma^{III} h^{III}$ | $Q_n =$<br>$=b \sum \gamma^i h^i$ | $\text{Cos} \alpha_n =$<br>$=\sqrt{1 - 0,01 n^2}$ | $\varphi^\circ$ | $\text{tg} \varphi$ |
|-------------|-------------|----------------|-----------------|----------------|----------------------|------------------------|-----------------------------------|---|-----------------|---------------------|
| 1           | 2           | 3              | 4               | 5              | 6                    | 7                      | 8                                 | 9   | 10              | 11                  |
| +8          | 26          | 0              | 0               |                |                      |                        |                                   | 0,6   | 17              |                     |
| +7          | 30          | 10             | 0               |                |                      |                        |                                   | 0,71  | 15              |                     |
| +6          | 40          | 14             | 0               |                |                      |                        |                                   | 0,8   | 15              |                     |
| +5          | 45          | 15             | 0               |                |                      |                        |                                   | 0,87  | 15              |                     |
| +4          | 47          | 0              | 9               |                |                      |                        |                                   | 0,93  | 34              |                     |
| +3          | 40          | 0              | 15              |                |                      |                        |                                   | 0,97  | 34              |                     |
| +2          | 34          | 0              | 18              |                |                      |                        |                                   | 0,98  | 34              |                     |
| +1          | 27          | 0              | 19              |                |                      |                        |                                   | 0,99  | 34              |                     |
| 0           | 21          | 0              | 25              |                |                      |                        |                                   | 1   | 34              |                     |
| -1          | 15          | 0              | 22              |                |                      |                        |                                   | 0,99  | 34              |                     |
| -2          | 8           | 0              | 19              |                |                      |                        |                                   | 0,98  | 34              |                     |
| -3          | 3           | 0              | 15              |                |                      |                        |                                   | 0,97  | 34              |                     |
| -4          | 0           | 0              | 9               |                |                      |                        |                                   | 0,93  | 34              |                     |
| -5          | 0           | 0              | 5               |                |                      |                        |                                   | 0,87  | 34              |                     |

| $Q_n \text{Cos}\alpha_n \cdot \text{tg}\varphi_n$ | C, МПа | $\frac{b}{\text{Cos}\alpha_n}$ | $\frac{C b}{\text{Cos}\alpha_n}$ | $\text{Sin}\alpha_n = 0,1n$ | $Q_n \text{Sin}\alpha_n$ | $M_{\text{wyn}} = b \cdot P^{111} \cdot \text{Sin}\alpha_n$ |
|---|--------|--------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|--------------------------|---|
| 12  | 13     | 14                             | 15                               | 16                          | 17                       | 18  |
|   | 0,03   |                                |                                  | 0,8                         |                          |   |
|   | 0,01   |                                |                                  | 0,7                         |                          |   |
|   | 0,01   |                                |                                  | 0,6                         |                          |   |
|   | 0,01   |                                |                                  | 0,5                         |                          |   |
|   | 0      |                                |                                  | 0,4                         |                          |   |
|   | 0      |                                |                                  | 0,3                         |                          |   |
|   | 0      |                                |                                  | 0,2                         |                          |   |
|   | 0      |                                |                                  | 0,1                         |                          |   |
|   | 0      |                                |                                  | 0                           |                          |   |
|   | 0      |                                |                                  | -0,1                        |                          |   |
|   | 0      |                                |                                  | -0,2                        |                          |   |
|   | 0      |                                |                                  | -0,3                        |                          |   |
|   | 0      |                                |                                  | -0,4                        |                          |   |
|   | 0      |                                |                                  | -0,5                        |                          |   |
| $\Sigma$  |        |                                | $\Sigma$                         |                             | $\Sigma$                 | $\Sigma$  |

5. Определить:

$$\sigma = \frac{\sum_{-5}^8 \theta_n \text{Cos}\alpha_n \text{tg}\varphi_n + \sum_{-5}^8 C_n \frac{b}{\text{Cos}\alpha_n}}{\sum_{-5}^8 \theta_n \text{Sin}\alpha_n + \sum_{-5}^8 b h_n^{11} \text{Sin}\alpha_n} \quad (25)$$

6. Повторим расчет для других центров окружности  $O_2$ ,  $O_3$  и т.д. и определим  $\sigma_{\min}$ . Сравним его с допустимым значением  $\sigma_{\min} > \sigma_3$ . Если это условие не выполняется, откос следует считать более пологим.

### 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩА (по Г.Р. Кенигу)

Пруды, водоемы, небольшие водохранилища (условно считают: водоем до 1 млн.м<sup>3</sup> воды – пруд, а более – водохранилище) устраиваются для водоснабжения, орошения, разведения рыбы и водоплавающей птицы.

Водоохранилища, предназначенные для целей водоснабжения, располагаются выше населенных пунктов. Если пруд находится в черте населенного пункта, необходимо предусмотреть мероприятия, исключаящие его загрязнение. Нельзя строить водохранилища ниже скотомогильников и кладбищ.

Водоохранилища, предназначенные для орошения, желательно создавать вблизи орошаемого участка.

Пруды для разведения рыбы (нерестовые и выростные) следует устраивать на расстоянии 3 – 5 км от населенных пунктов, так как они мелководны и могут стать источником размножения малярийного комара.

Для проектирования водохранилища надо провести соответствующие изыскания. Рекогносцировочными изысканиями устанавливаются местоположение пруда, примерная емкость его и варианты компоновки узла гидросооружений.

После предварительных обследований необходимо произвести топографическую съемку местности и гидрогеологические изыскания.

Съемку чаши водохранилища и участка под плотину и водосборный тракт производят по поперечникам, которые разбивают через каждые 200 – 300 м. При съемке места под плотину и водосброс поперечники разбивают через каждые 20 м.

План водохранилища составляют в масштабе 1:5000 с горизонталями через 1 м. План площадок под плотину и водосброс составляют в масштабе 1:1000 с горизонталями через 0,5 м.

Чтобы установить пригодность выбранного места под строительство водохранилища, надо провести инженерно-геологические изыскания. Для определения свойств грунтов, из которых сложены чаша будущего водохранилища, основание плотины и трасса водосборного сооружения, бурят скважины, роют шурфы: по створу плотины, по оси водосброса, по тальвегу оврага или балки, по склонам оврага.

Благоприятным в геологическом отношении считается основание, сложенное суглинками и глинами.

Створ плотины намечают в самом узком месте балки или оврага. Продольный уклон оврага должен быть, по возможности, небольшим.

### Гидрологический и водохозяйственный расчеты водохранилища

В задачу водохозяйственного расчета входит определение потребности народного хозяйства в воде и возможность ее удовлетворения за счет имеющихся водных источников и создания искусственного водохранилища.

В задачу гидрологического расчета входит определение размеров водосборной площади водохранилища для выбранного створа плотины годового притока воды, полного полезного и мертвого объемов воды, отметки нормального подпорного уровня (НПУ), потерь воды на фильтрацию и испарение.

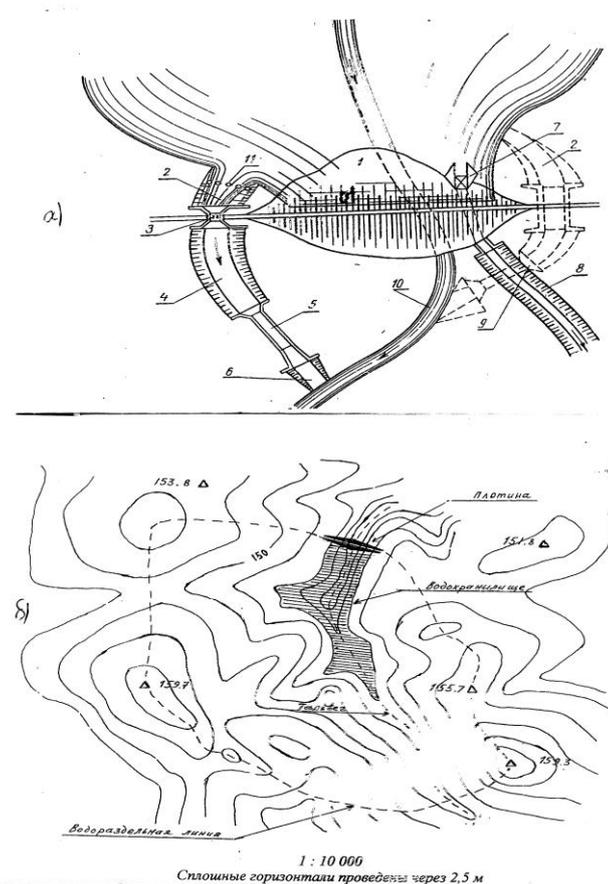


Рис. 3.1. а- водохранилищный узел сооружений:

1 – земляная плотина; 2 – подводящий канал; 3 – шлюз-регулятор; 4 – сбросный канал; 5 – сопрягающее сооружение; 6 – отводящий канал; 7 – водозаборное сооружение; 8 – магистральный канал; 9 – водопроводящее сооружение; 10 – русло водотока; 11 – ледоудерживающее устройство;

б- Схема определения водосборной площади водохранилища

Водосборная площадь ограничена водораздельной линией – линией, от которой сток воды происходит в противоположные стороны. Эту линию наносят на топографическую карту или план следующим образом: намечают ось плотины, затем от обоих концов оси проводят линию перпендикулярную горизонталям. В результате получается замкнутый контур, ограниченный водораздельной линией, с площадью, вычисляемой планиметром или палеткой.

Объем воды, поступающей с водосборной площади, зависит от многочисленных факторов и, прежде всего, от количества выпадающих осадков. Количество осадков, выпадающее в разные годы, сильно колеблется, следовательно, и сток воды с водосборной площади будет изменяться.

В гидрогеологических расчетах применяются некоторые положения теории вероятности, в частности, такое понятие, как «вероятность превышения» (раньше это понятие обозначилось словом «обеспеченность»).

Для определения вероятности превышения такой гидрологической величины, как модуль стока, надо иметь, возможно, более длинный (многолетний) ряд наблюдений за стоком.

При определении объема весеннего стока для водохранилища, в котором основной объем воды расходуется на орошение, за расчетный принимается год 75%-ной и 80% -ной вероятности превышения. Это означает, что в первом случае - один раз в 4 года, а во втором – один раз в 5 лет сток окажется меньше расчетного, и потребность в воде не будет полностью удовлетворена.

Годовой приток воды в водохранилище может быть определен по формуле

$$W_{\text{год}} = 31,356 \cdot 10^6 \cdot F_{\text{вод}} \cdot g_{N\%}, \text{ м}^3/\text{год},$$

где  $31,356 \cdot 10^6$  – количество секунд в году;  $F_{\text{вод}}$  – водосборная площадь,  $\text{км}^2$ ;  $g_{N\%}$  – модуль стока заданной вероятности превышения,  $\text{л/с с } 1 \text{ км}^2$ .

Для определения характерных отметок и объемов воды водохранилища необходимо построить топографическую характеристику водохранилища.

Для этого надо иметь план оврага или балки (чашу - рис. 3.2, б) в масштабе 1:5000 с сечением рельефа горизонталями через 1 м (рис. 3.2, а)

По данным таблицы строится график (рис. 3.2, в) зависимости площадей зеркала и объемов воды в водохранилище от глубины его

заполнения.

По этому графику параметры водохранилища определяются в следующем порядке: назначаются отметки нормального подпорного уровня (НПУ), уровня мертвого объема (УМО), форсированного подпорного уровня (ФПУ) и определяются соответствующие этим отметкам объемы воды и площади зеркала водной поверхности. При назначении НПУ исходят из целесообразности обеспечения возможно большей емкости пруда, учитывая при этом нежелательность затопления или подтопления жилых и производственных помещений, сельскохозяйственных угодий, образования мелководья.

На план наносим ось плотины и вычисляем планиметром площади, ограниченные горизонталями и плотиной. Измеренные площади заносим в табл. 4.

Таблица 4

Площади зеркала и объемы воды в зависимости от глубины заполнения водохранилища

| Отметки горизонталей | Разность отметок $h$ , м | Площади ограниченные горизонталями и плотиной, тыс.м <sup>2</sup> | Полусумма площадей $S_{ср} = (S_1 + S_2) / 2$ | Объем слоя воды $V = S_{ср} * h$ , тыс.м <sup>3</sup> | Объем чаши водохранилища от дна до данной горизонталей, тыс.м <sup>3</sup> |
|----------------------|--------------------------|---|---|---|--|
| 30                   |                          | 0   |   |   | 0  |
|                      | 1,0                      |   | 2,0   | 2,0   |  |
| 31                   |                          | 4   |   |   | 2,0  |
|                      | 1,0                      |   | 42,5  | 42,5  |  |
| 32                   |                          | 81  |   |   | 44,5   |
|                      | 1,0                      |   | 110   | 110   |  |
| 33                   |                          | 139   |   |   | 154,5  |
|                      | 1,0                      |   | 165   | 165   |  |
| 34                   |                          | 191   |   |   | 319,5  |
|                      | 1,0                      |   | 228   | 228   |  |
| 35                   |                          | 265   |   |   | 547,5  |
|                      | 1,0                      |   | 285   | 285   |  |
| 36                   |                          | 305   |   |   | 832,5  |
|                      | 1,0                      |   | 340   | 340   |  |
| 37                   |                          | 375   |   |   | 1172,5   |
|                      | 1,0                      |   | 400   | 400   |  |
| 38                   |                          | 425   |   |   | 1572,5   |

Другой способ определения отметки НПУ состоит в том, что при

строительстве плотин следует учитывать нужды дорожного строительства – по гребню плотины можно и нужно прокладывать дорогу. В этом случае за отметку гребня плотины принимается отметка бровки оврага. Отметка нормального подпорного уровня (НПУ) должна быть на 1,5 – 2,0 м ниже отметки гребня плотины.

Объем воды, соответствующий отметке НПУ, – это полный объем водохранилища  $W_{НПУ}$ .

Мертвый объем воды или неприкосновенный запас необходим для сохранения в зимний период рыбы подо льдом, аккумуляции наносов, приносимых в пруд водой с водосбора, для создания подпора воды в случае самотечной подачи воды на поля. По санитарным требованиям глубина мертвого объема должны быть 2 – 3 м перед плотиной.

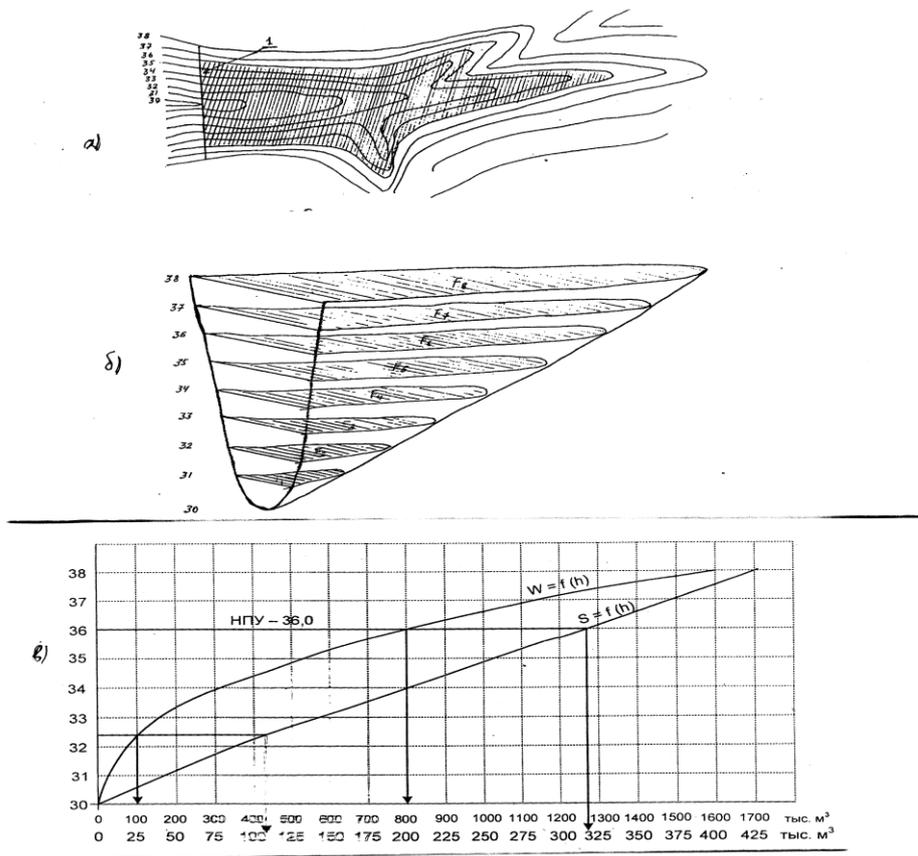


Рис. 3.2, а) план оврага: 1 – ось плотины; б) схема вычисления объема чаши пруда; в) топографическая характеристика водохранилища

Рабочий объем водохранилища равен разности между полным объемом и мертвым объемом:

$$W_{\text{РАБ}} = W_{\text{НПУ}} - W_{\text{УМО}} .$$

Чтобы получить полезный объем водохранилища, надо из рабочего объема вычесть потери воды на испарение и фильтрацию:

$$W_{\text{ПОЛЕЗН}} = W_{\text{РАБ}} - (W_{\text{ИСП}} + W_{\text{ФИЛЬТ}}).$$

Интенсивность испарения с поверхности водохранилища зависит от температуры воздуха, дефицита влажности, от скорости ветра. Размеры потерь на испарение могут быть получены по данным ближайшей метеостанции.

Для приблизительных расчетов величина испарения может быть принята в зависимости от района строительства: для лесной зоны толщина слоя испарения за год составляет 350 – 650 мм.

Потери воды на фильтрацию имеют место при любом геологическом строении чаши водохранилища: через дно, берега водохранилища и в обход плотины. Постепенно за счет заиления водохранилища потери на фильтрацию уменьшаются.

Потери на фильтрацию принимаются в процентах от общего объема водохранилища в зависимости от геолого-гидрогеологического строения ложа водохранилища. При хороших геологических условиях (ложе водохранилища сложено из водонепроницаемых суглинистых грунтов большой мощности) потери на фильтрацию составят 5 – 10 % в год. При средних гидрогеологических условиях (грунты достаточно водопроницаемы) потери могут составить 10 – 20 % в год.

При неблагоприятных условиях, когда потери воды на водопроницаемых грунтах велики, а противофильтрационные мероприятия экономически слишком дороги, следует отказаться от создания водохранилища в данном месте.

## 4. ЗАДАЧИ ИЗ ПРАКТИКИ СТРОИТЕЛЬСТВА

4.1. Какое решение Вы примете, если в простенке нижнего этажа появились тонкие, с шириной раскрытия в долях миллиметра, вертикальные трещины?

Раскройте причину такой аварии во взаимосвязи с работой основания и фундаментов.

4.2. Старое здание цеха гальваники получило значительные дополнительные деформации, приведшие к аварийной ситуации, после многих лет успешной эксплуатации. В основании залегает четырехметровая толща лессовидных суглинков. В цехе мокрый процесс. Часть стоков попадает в грунт в пределах контура здания. Какая причина дополнительных неравномерных деформаций?

4.3. Строительная площадка имеет толщу насыпных грунтов мощностью до 4 м в пределах торцевой части здания. Какое может быть принято решение при проектировании основания и фундамента?

4.4. Песчаная подушка под углом здания выполнялась в зимнее время. Уплотнение производили послойно катками. Через 3 года здание из-за трещин пришло в аварийное состояние. Какова причина этой аварии?

4.5. Работы по устройству фундаментов производились зимой. Грунты – суглинки. До начала возведения кирпичных стен в стеновых блоках ленточных фундаментов обнаружены трещины. Какая на Ваш взгляд, причина этих трещин? Что необходимо предусмотреть в процессе производства работ, чтобы трещин не было?

4.6. Пятиэтажное здание возводилось зимой. При разработке грунта из-за присутствия в грунте заглубленного электрокабеля 5000 В применялись ближе к кабелю отбойные молотки, дальше шар и клин-баба. Грунты – супеси с примесью 5% органических веществ. При оттаивании грунта недостроенное здание дало крен (на 21 см) в сторону, где грунт рыхлился клин-бабой. Почему появился крен?

4.7. Котлован в плотных сухих синих глинах, по возрасту отно-

сящимся к кембрийским, для предохранения от промерзания на зиму затопили водой. Летом быстро (за 2 месяца) построили девятиэтажное здание, которое потом дало значительную осадку и крен. Здание имело ленточные фундаменты. Фасадная часть осела на 1 м, дворовая, где под лестничной клеткой была сделана сплошная плита, осела значительно меньше. Какая, на Ваш взгляд, причина аварии? Каким будет ваше решение?

4.8. Если бы в условии предыдущей задачи были водонасыщенные грунты, произошла бы такая авария?

4.9. Проектировщики, проектируя здание с неполным каркасом (внутри сетка колонн с шагом 6 м, снаружи кирпичные стены на ленточных фундаментах), не зная действительной временной нагрузки на перекрытия, приняли максимальную нагрузку в 4 – 5 раз больше действительной. Каковы возможные последствия такой ошибки?

4.10. Какие конструктивные мероприятия необходимо выполнить при проектировании пристройки к существующему зданию?

4.11. Какие типы фундаментов можно применять при проектировании пристройки к существующему зданию в песчаных и глинистых грунтах?

4.12. Как близко к существующему зданию можно забивать сваи в песчаных и глинистых грунтах?

4.13. Существующее здание на сваях получило крен, приведший к образованию трещин в фасадной стене в районе угла здания после того, как рядом на расстоянии 4 м было построено здание на ленточных фундаментах. Какова причина неравномерной деформации данного здания?

## ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица 1

### Значение коэффициента Пуассона $\mu$

| Вид грунта            | $\mu$         |                      | $\mu$               |                      | $\mu$                 |              |
|-----------------------|---------------|----------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|--------------|
|                       | твердые       | Полутвер-<br>лутвер- | Тугоплас-<br>тичные | Мягкоплас-<br>тичные | Текучепла-<br>стичные | Теку-<br>чие |
| Глины                 | 0,10          | 0,15                 | 0,20                | 0,30                 | 0,40                  | 0,45         |
| Суглинки              | 0,15          | 0,20                 | 0,25                | 0,35                 | 0,40                  | 0,45         |
| Супеси                | Твердые       |                      | Пластичные          |                      | Текучие               |              |
|                       | 0,15          |                      | 0,20-0,30.          |                      | 0,45                  |              |
| Пески                 | Плотные - 0,2 |                      | средней плотности   |                      | рыхлые                |              |
| Трамбован. пе-<br>сок | 0,265         |                      | -                   |                      | -                     |              |

Таблица 2

### Значение коэффициента $K$ для определения напряжений в осно- вании от действия сосредоточенной силы

| $r/z$ | $K$  | $r/z$ | $K$  | $r/z$ | $K$  | $r/z$ | $K$    | $r/z$ | $K$    |
|-------|------|-------|------|-------|------|-------|--------|-------|--------|
| 0     | 0,48 | 0,4   | 0,33 | 0,8   | 0,14 | 1,4   | 0,03   | 3,5   | 0,0007 |
| 0,0   | 0,47 | 0,45  | 0,03 | 0,85  | 0,12 | 1,5   | 0,03   | 4,0   | 0,0004 |
| 0,1   | 0,46 | 0,5   | 0,27 | 0,9   | 0,11 | 1,6   | 0,02   | 4,5   | 0,0002 |
| 0,1   | 0,45 | 0,55  | 0,25 | 0,95  | 0,1  | 1,7   | 0,016  | 5,0   | 0,0001 |
| 0,2   | 0,43 | 0,6   | 0,22 | 1,0   | 0,08 | 1,8   | 0,0129 | И     | 0,0001 |
| 0,2   | 0,41 | 0,65  | 0,2  | 1,1   | 0,07 | 1,9   | 0,0103 |       | -      |
| 0,3   | 0,38 | 0,7   | 0,18 | 1,3   | 0,05 | 2,0,  | 0,0085 |       | -      |
| 0,3   | 0,36 | 0,75  | 0,16 | 1,2   | 0,04 | 2,2   | 0,0058 |       | -      |

Таблица 3

### Значение коэффициента $a_T$ для оценки напряжений в основании лен- точного фундамента с нагрузкой (меняющ. по закону треугольника)

| $z/b$ | $a_T$ при $v:b$ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|       | 1,5             | 1,0  | 0,5  | 0    | 0,25 | 0,5  | 0,75 | 1    | 1,5  | 2,0  | 2,5  |
| 0     | 0               | 0    | 0    | 0    | 0,25 | 0,5  | 0,75 | 1,0  | 0    | 0    | 0    |
| 0,25  | 0               | 0    | 0    | 0,08 | 0,26 | 0,48 | 0,64 | 0,42 | 0,02 | 0    | 0    |
| 0,5   | 0               | 0    | 0,02 | 0,13 | 0,26 | 0,41 | 0,48 | 0,35 | 0,06 | 0,02 | 0    |
| 0,75  | 0,01            | 0,02 | 0,04 | 0,15 | 0,25 | 0,34 | 0,36 | 0,29 | 0,11 | 0,02 | 0,01 |
| 1,0   | 0,01            | 0,03 | 0,06 | 0,16 | 0,22 | 0,28 | 0,28 | 0,24 | 0,13 | 0,04 | 0,01 |
| 1,5   | 0,02            | 0,05 | 0,1  | 0,14 | 0,18 | 0,2  | 0,2  | 0,18 | 0,12 | 0,06 | 0,04 |
| 2     | 0,03            | 0,06 | 0,09 | 0,13 | 0,15 | 0,16 | 0,16 | 0,15 | 0,И  | 0,07 | 0,05 |
| 3     | 0,05            | 0,06 | 0,08 | 0,1  | 0,1  | 0,11 | 0,11 | 0,1  | 0,09 | 0,07 | 0,05 |

|   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 5 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,08 | 0,09 | 0,08 | 0,08 | 0,07 | 0,06 | 0,05 |
| 4 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,07 | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,05 |
| 6 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,04 |

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

### *Основная литература*

1. *Калачев В.Я., Максимов С.Н.* Инженерные сооружения: М.: учеб. пособие, Изд-во Моск. ун-та, 1991. 297 с.
2. *Коротких И.В., Петелько А.Ф., Фролов А.Ф.* Основы инженерных сооружений. Л.: Стройиздат, 1987. 127 с.
3. *Пилягин А.В.* Проектирование оснований и фундаментов зданий и сооружений: учеб. пособие. М: Изд-во Ассоциации строительных ВУЗов, 2006.
4. СП 22. 13330.2011 «Основания зданий и сооружений» /введен в действие с 20 мая 2011 г. Мин. рег. развития РФ (Минрегион России) от 28 декабря 2010 г. № 823. М., 2011.

### *Дополнительная литература*

5. *Кениг Г.Р.* Инженерное обустройство территории. Пермь, 2008.
6. *Березнев В.А., Шувалов В.М.* Инженерные сооружения. (Ч. 2): учеб. пособие. Пермь, 2010. 85 с.

### *Нормативная литература*

7. СП 24. 13330.2011 «Свайные фундаменты» /уст. Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ: //Постановление Правительства РФ от 19 ноября 2008 г. № 858. М., 2008.
8. СП 25 13330.2012 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах» /уст. Федеральным законом от 27 декабря 2002 г № 184-ФЗ://Постановление Правительства от 19 ноября 2008 г. № 858. М., 2008.
9. СНиП 2.06.05-84. Плотины из грунтовых материалов. М.: Госстрой России, 2010.
10. СНиП 2.05.02-85 «Автомобильные дороги»: Постановление Госстроя СССР от 17 декабря 1985 г. № 233.М., 1985.
11. СНиП 32-03-96. Аэродромы: Постановление Минстроя России от 30 апреля 1996 г. № 18-28.М., 1996.
12. СНиП 33-01-2003. Гидротехнические сооружения: утв. Постановлением Госстроя России от 30 июня 2003 г. № 137. М., 2003.

# СОДЕРЖАНИЕ

## Часть 1

|   |    |
|---|----|
| ИНЖЕНЕРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ (с основаниями и фундаментами)  |    |
| Введение.....   | 3  |
| ГЛАВА 1. ПРОМЫШЛЕННЫЕ И ГРАЖДАНСКИЕ ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ.....  | 8  |
| 1.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....   | 8  |
| 1.2. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЗДАНИЙ.....  | 9  |
| 1.3. КОНСТРУКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ.....  | 14 |
| 1.4. КОНСТРУКЦИИ НЕКОТОРЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЗДАНИЙ.....  | 17 |
| ГЛАВА 2. ФУНДАМЕНТЫ.....  | 23 |
| 2.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ФУНДАМЕНТОВ.....   | 23 |
| 2.2. ВИДЫ ФУНДАМЕНТОВ.....  | 24 |
| 2.3. СВАЙНЫЙ ФУНДАМЕНТ.....   | 25 |
| 2.4. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕКОНСТРУКЦИИ ФУНДАМЕНТА.....  | 29 |
| 2.5. СОСТАВ ИЗЫСКАНИЙ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ.....   | 35 |
| 2.5.1. Общие требования к изысканиям и проектированию оснований и фундаментов .....   | 35 |
| 2.5.2. Особенности высотных зданий, которые необходимо учитывать при проектировании и устройстве оснований, фундаментов и подземных частей, а также при выполнении инженерных изысканий |    |
| ГЛАВА 3. ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ (по С.Н. Максимо-<br>мову).....  | 40 |
| 3.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ, КРАТКАЯ ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА.....   | 40 |
| 3.2. ГИДРОУЗЛЫ.....   | 42 |
| 3.3. ПЛОТИНЫ.....   | 46 |
| 3.4. КЛАССИФИКАЦИЯ ПЛОТИН.....  | 46 |
| 3.4.1. Водосбросы.....  | 52 |
| 3.2. Водоспуски.....  | 53 |
| 3.5. СООРУЖЕНИЯ ВОДНЫХ ПУТЕЙ И ПОРТОВ.....  | 53 |
| 3.6. КАНАЛЫ.....  | 56 |
| 3.7. ШЛЮЗЫ И СУДОПОДЪЕМНИКИ.....  | 59 |

|   |     |
|---|-----|
| 3.8. ПОРТЫ.....   | 63  |
| 3.9. ПОРТОВЫЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ И НАБЕРЕЖНЫЕ..... | 66  |
| 3.10. СООРУЖЕНИЯ НА ИРРИГАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ.....             | 73  |
| 3.11. СООРУЖЕНИЯ НА ОСУШИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ.....              | 74  |
| 3.12. СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И КАНАЛИЗАЦИИ.....       | 76  |
| 3.12.1. Водопроводы.....                                    | 76  |
| 3.12.2. Канализация.....                                    | 78  |
| ГЛАВА 4. ДРЕНАЖИ.....                                       | 80  |
| 4.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....                                   | 80  |
| 4.2. ТИПЫ ДРЕНАЖЕЙ.....                                     | 81  |
| 4.3. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДРЕНАЖЕЙ.....       | 82  |
| 4.4. ОБЩИЕ УСЛОВИЯ ВЫБОРА СИСТЕМЫ ДРЕНАЖА.....              | 83  |
| 4.4.1. Головной дренаж.....                                 | 83  |
| 4.4.2. Систематический дренаж.....                          | 86  |
| 4.4.3. Пристенный дренаж.....                               | 87  |
| 4.4.4. Пластовый дренаж.....                                | 88  |
| 4.5. ХАРАКТЕРИСТИКИ ДРЕНАЖА.....                            | 89  |
| 4.5.1. Трасса дренажа.....                                  | 89  |
| 4.5.2. Продольный профиль дренажа.....                      | 90  |
| 4.5.3. Расстановка смотровых колодцев.....                  | 90  |
| 4.5.4. Устройство выпусков.....                             | 90  |
| 4.5.5. Совмещение дренажа с водостоком.....                 | 91  |
| 4.5.6. Трубы и дренирующие фильтры.....                     | 91  |
| ГЛАВА 5. АВТОМОБИЛЬНАЯ ДОРОГА (по С.Н. Максимову).....      | 93  |
| 5.1. ДОРОГА КАК ИНЖЕНЕРНОЕ СООРУЖЕНИЕ.....                  | 93  |
| 5.2. ПОПЕРЕЧНЫЙ ПРОФИЛЬ ДОРОГИ.....                         | 105 |
| 5.3. ДОРОГА В ПЛАНЕ.....                                    | 108 |
| 5.4. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЗЕМЛЯНОМУ ПОЛОТНУ ДОРОГИ..... | 111 |
| 5.5. ДОРОГА В ПРОДОЛЬНОМ ПРОФИЛЕ.....                       | 113 |
| 5.6. КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ТИПЫ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД.....     | 115 |
| 5.7. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ДОРОЖНОСТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛАХ..... | 115 |
| ГЛАВА 6. ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ (по С.Н.Максимову).....            | 118 |
| 6.1. КРАТКАЯ ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА. ОБЩИЕ                    |     |

|  |     |
|--|-----|
| ПОЛОЖЕНИЯ.....   | 118 |
| 6.2. СТРОЕНИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ.....                     | 118 |
| ГЛАВА 7. МОСТЫ ( по С.Н. Максимоу).....                      | 120 |
| 7.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....                                    | 120 |
| 7.2. МОСТЫ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ.....                              | 127 |
| 7.2.1. Балочные мосты.....                                   | 127 |
| 7.2.2. Рамные мосты.....                                     | 127 |
| 7.2.3. Арочные мосты.....                                    | 128 |
| 7.2.4. Висячие мосты.....                                    | 130 |
| 7.3. СТАЛЬНАЯ РАДУГА МОСТОВ.....                             | 132 |
| ГЛАВА 8. ТОННЕЛИ (по С.Н. Максимоу).....                     | 136 |
| 8.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....                                    | 136 |
| 8.2. ВИДЫ ТОННЕЛЕЙ.....                                      | 137 |
| 8.2.1. Железнодорожные тоннели.....                          | 137 |
| 8.2.2. Метрополитены.....                                    | 138 |
| 8.2.3. Автомобильные тоннели.....                            | 140 |
| 8.2.4. Судоходные тоннели.....                               | 142 |
| 8.2.5. Подводные тоннели.....                                | 143 |
| ГЛАВА 9. АЭРОДРОМЫ.....                                      | 144 |
| 9.1. ВВЕДЕНИЕ.....   | 144 |
| 9.2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....                                    | 145 |
| 9.3. ИНЖЕНЕРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ ЛЕТНОЙ ЗОНЫ.....                  | 149 |
| 9.4. КОНСТРУКЦИИ ПОКРЫТИЙ АЭРОДРОМОВ.....                    | 154 |
| 9.5. РАБОТА ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ АЭРОДРОМОВ.....             | 157 |
| ГЛАВА 10. ЛИНЕЙНЫЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ И КОММУНИКАЦИИ..... | 159 |

## Часть 2

|  |     |
|--|-----|
| ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ.....  | 161 |
| 1. ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ  |     |
| 1.1. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ОСНОВАНИИ.....   | 161 |
| 1.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСАДОК ОСНОВАНИЯ.....   | 165 |
| 1.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ФУНДАМЕНТОВ НА ЕСТЕСТВЕННОМ ОСНОВАНИИ.....                     | 169 |
| 1.4. СВАЙНЫЕ ФУНДАМЕНТЫ.....   | 171 |
| 2. СТАТИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН.....   | 173 |
| 2.1. РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ ПЛОТИН ИЗ ГРУНТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ.....                     | 173 |
| 2.2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛОТИН ИЗ ГРУНТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО ПРОФИЛЯ..... | 181 |

|   |     |
|---|-----|
| 2.3. РАСЧЕТ ФИЛЬТРАЦИИ ВОДЫ ЧЕРЕЗ ЗЕМЛЯНЫЕ ПЛОТИНЫ ИЗ ГРУНТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ..... | 184 |
| 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩА (по Г.Р. Кенигу)....                            | 190 |
| 4. ЗАДАЧИ ИЗ ПРАКТИКИ СТРОИТЕЛЬСТВА.....  | 196 |
| ПРИЛОЖЕНИЯ.....   | 198 |
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....   | 199 |
| СОДЕРЖАНИЕ.....   | 200 |

*Учебное издание*

**Березнёв Виктор Акимович  
Шувалов Виктор Михайлович**

**ИНЖЕНЕРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ  
(с основаниями и фундаментами)**

Учебное пособие

Редактор *Н.И. Стрекаловская*  
Корректор *А.В.Цветкова*  
Компьютерная верстка *В. М. Шувалова*

Подписано в печать 09.01.2014. Формат 60x84/16.

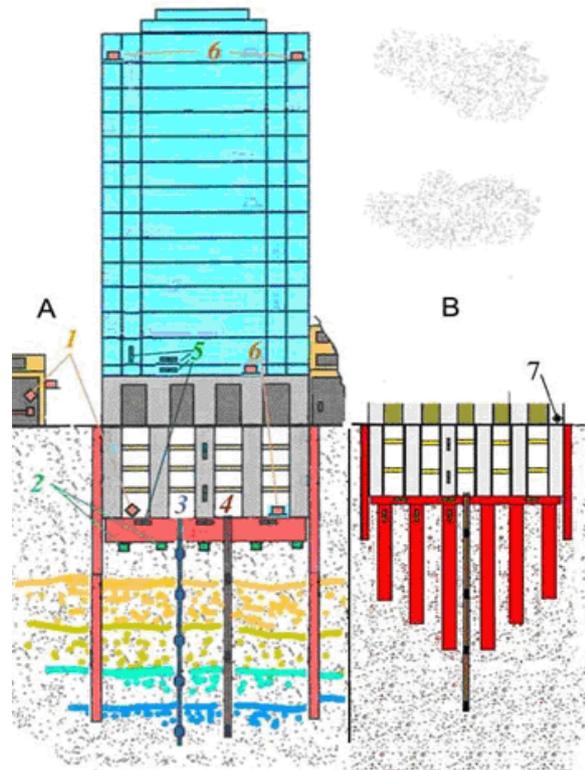
Усл. печ. л. 11,6. Тираж 100 экз. Заказ

Редакционно-издательский отдел  
Пермского государственного национального  
исследовательского университета  
614990, Пермь, ул. Букирева, 15

Типография Пермского государственного национального  
исследовательского университета  
614990, Пермь, ул. Букирева, 15

**В.А. Березнёв, В.М. Шувалов**

**ИНЖЕНЕРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ  
(с основаниями и фундаментами)**



**Пермь**



**Национальный  
исследовательский  
университет**



**БЕРЕЗНЁВ Виктор Акимович**

**Кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры инженерной геологии и охраны недр Пермского государственного национального исследовательского университета. Профессор кафедры строительного производства архитектурно-строительного факультета Пермской государственной сельскохозяйственной академии (ПГСХА). Член Международной ассоциации строительных ВУЗов, Европейской ассоциации геоинженеров и Евроазиатского геофизического общества. Автор около 100 печатных научных работ, учебных пособий, учебно-методических указаний, около 30 научно-производственных отчетов. Соавтор Российской угольной энциклопедии.**



**ШУВАЛОВ Виктор Михайлович**

**Кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры инженерной геологии и охраны недр Пермского государственного национального исследовательского университета. Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации. Член Евроазиатского геофизического общества (ЕАГО). Автор около 257 печатных научных работ: учебника, 4 учебных пособия, около 35 учебно-методических указаний и учебных программ, 20 научно-производственных и хозяйственных отчетов и др.**