

МИНОБРНАУКИ РФ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профес-
сионального образования

«Московский архитектурный институт (государственная академия)»

(МАРХИ)

Кафедра «Конструкции зданий и сооружений»

А.Л. Шубин, Л.И. Ярин

«Конструкции фундаментов малоэтажных зданий»

(Конспект лекции)

для студентов ФПК

направления подготовки: _____, _____

МОСКВА 2019

УДК _____

ББК _____

А.Л. Шубин, Л.И. Ярин

«Конструкции фундаментов малоэтажных зданий» (Конспект лекции)

/ А.Л. Шубин, Л.И.Ярин. – М.: МАРХИ, 2019. – ____с.

Рецензент – академик РААСН, проф., д.т.н. Н.И. Карпенко

Рецензент – доцент В.Г. Кривицкий

Дисциплина «Конструкции фундаментов малоэтажных зданий» входит в состав курса «Конструкции малоэтажных зданий» и посвящена конструированию и проверке прочности фундаментов малоэтажных зданий различного назначения. Рассматриваются вопросы, связанные с классификацией фундаментов, их местом в составе всего сооружения и взаимодействием с основанием. Приводятся примеры конструирования и расчета отдельных фундаментов. Дается также краткое описание подпорных стен.

Конспект лекции утвержден заседанием кафедры «Конструкции зданий и сооружений», протокол № 2/2016-2017 уч. г. от «29» сентября 2016 г.

© Шубин А.Л., Ярин Л.И., 2019

© МАРХИ, 2019

Если исходить из положения в пространстве, фундаменты являются самым нижним конструктивным элементом зданий и сооружений, а если исходить из их назначения, то они передают все усилия и воздействия от вышележащих конструкций на грунтовое основание. От прочности и устойчивости фундаментов зависят прочность, устойчивость и долговечность несущих конструкций здания в целом. В процессе эксплуатации фундаменты испытывают воздействие как силовых факторов - вес вышележащих конструкций и действующих на них нагрузок, так и иных воздействий - температурных, влажностных, техногенных, сил морозного пучения и др. Все эти воздействия должны учитываться при проектировании фундаментов, а кроме того, необходимо учитывать взаимодействие фундаментов с основанием и верхним строением зданий и сооружений.

Классификация фундаментов.

Фундаменты можно классифицировать по различным признакам: по заглублению в грунт, по конструкции, по материалу, по технологии устройства и по другим признакам.

По заглублению в грунт фундаменты бывают глубокого и мелкого заложения. Фундаменты глубокого заложения имеют подошву, расположенную ниже уровня расчетного промерзания грунта, а фундаменты мелкого заложения, подошву выше этого уровня.

По конструктивному решению различают фундаменты - ленточные, столбчатые, плитные, свайные и фундаменты комбинированного типа.

По материалу различают деревянные, каменные (в том числе кирпичные), железобетонные и металлические фундаменты.

По способу устройства: железобетонные фундаменты разделяются на монолитные, сборные и сборно-монолитные; свайные фундаменты бывают забивные, буровые, буронабивные, завинчивающиеся и т.д.

В данном курсе будут рассматриваться фундаменты для малоэтажных зданий исходя из конструктивного принципа.

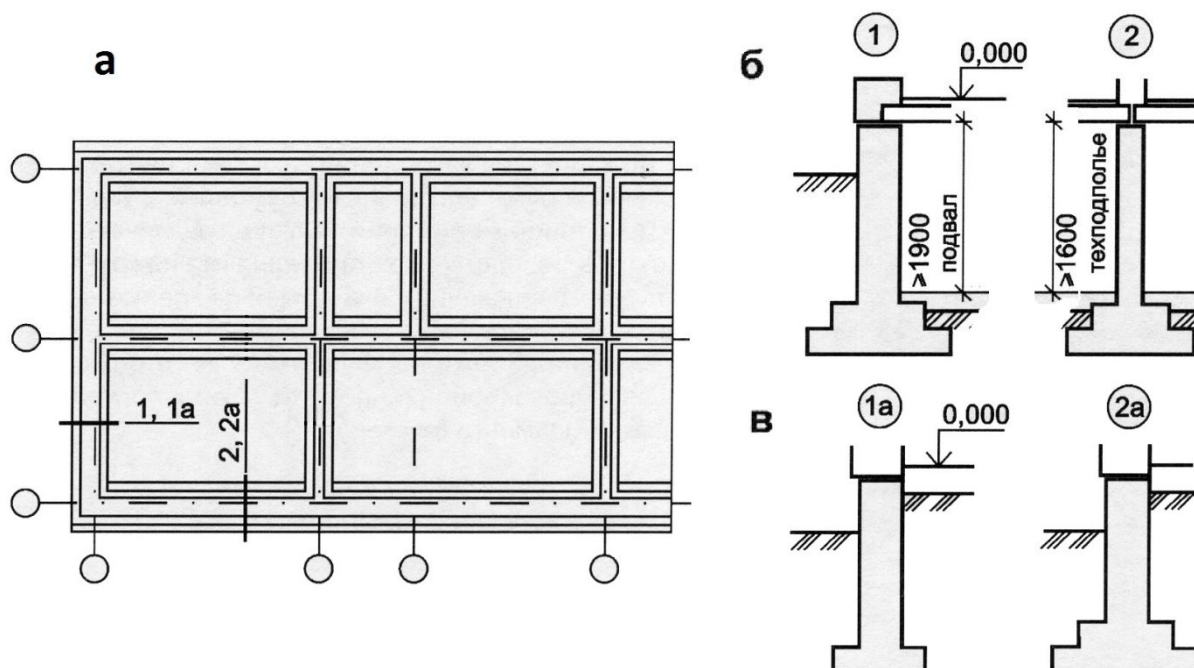


Рис. 1. Монолитные ленточные фундаменты:

а - фрагмент плана; б - разрезы для здания с подвалом; в - разрезы для бесподвального здания

Ленточные фундаменты устраивают под зданиями стенового типа или каркасного типа, когда необходимо устройство перекрестных фундаментных лент (например, в случае каркасного основания). Ленточные фундаменты целесообразно устраивать в тех случаях, когда их ширина оставляет возможность отрывки отдельных траншей для параллельных стен. При близком расстоянии между параллельными стенами и большей глубине откосы соседних траншей начинают смыкаться друг с другом и тогда проще отрыть весь котлован до обреза фундаментов с применением экскаваторов. В противном случае требуется устройство креплений вертикальных стен траншей, что естественно увеличивает стоимость работ. Монолитные железобетонные ленточные фундаменты применяются при любых грунтовых условиях. Опорная часть такого фундамента выполняется в виде железобетонной плоской или ступенчатой ленты, а вертикальная часть в виде неармированной или слабо армированной стенки, рис.1. Монолитная фундаментная ленточная плита при восприятии нагрузок работает как консоль в поперечном направлении, однако ее необходимо армировать не только поперечной, но и продольной арматурой. Наличие продольной арматуры позволяет ленточному фундаменту перераспределять усилия вдоль фундамента, что увеличивает его надежность при наличии неоднородных свойств основания, вызванных как природным сложением грунтов, так и техногенными причинами. Типичную картину возведения ленточного фундамента из монолитного железобетона можно проследить по рис. 2, 3. На этих рисунках представлено устройство ленточного фундамента глубокого заложения для здания с подвалом. Пример выполненного ленточного фундамента глубокого заложения для здания без подвала представлен на рис. 4.



Рис. 2. Устройство опалубки и арматурных каркасов ленточного фундамента



Рис. 3. Ленточный фундамент и стены подвала в процессе возведения



Рис. 4. Ленточный фундамент бесподвального здания

При возведении малоэтажных жилых зданий большое распространение получил вариант сборно-монолитного ленточного фундамента, рис. 5, когда по монолитной железобетон-

ной ленте устраивается стенка из сборных бетонных блоков, рис.5. Пример выполнения такой конструкции приведен на рис. 6.

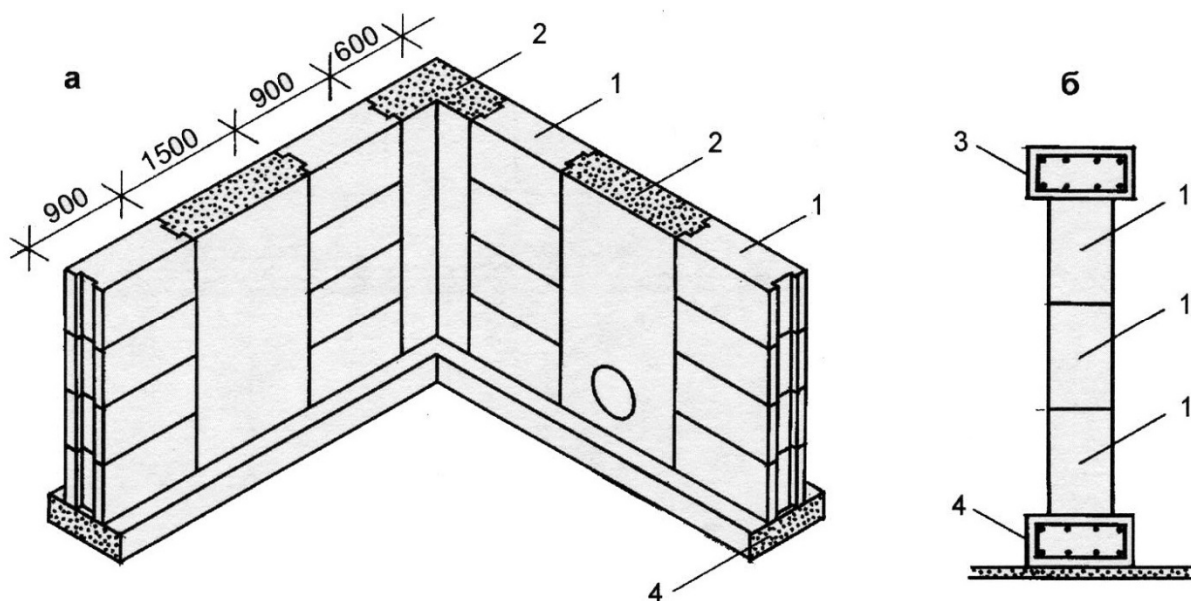


Рис. 5. Сборно-монолитные ленточные фундаменты:

а - со сборными блоками и монолитными участками между ними; б - с монолитной обвязкой и плитой - подушкой; 1 - бетонный блок ФБС; 2 - монолитная вставка; 3 - обвязочная балка; 4 - монолитная подушка



Рис. 6. Фундамент малоэтажного здания сборно-монолитного типа

Сборные ленточные фундаменты выполняют из плит-подушек и бетонных стеновых блоков, рис. 7. Сборные плиты-подушки выпускаются размерами: толщиной 300, 400 и 500 мм, шириной от 600 до 3200 мм, длиной 1200, 2400 и 3000 мм. Стеновые фундаментные блоки бывают сплошные (типа ФБС), пустотные и дырчатые и все имеют стандартную длину 2400 мм и высоту 600 мм. Толщина этих блоков изменяется от 300 до 600 мм с шагом 100 мм.

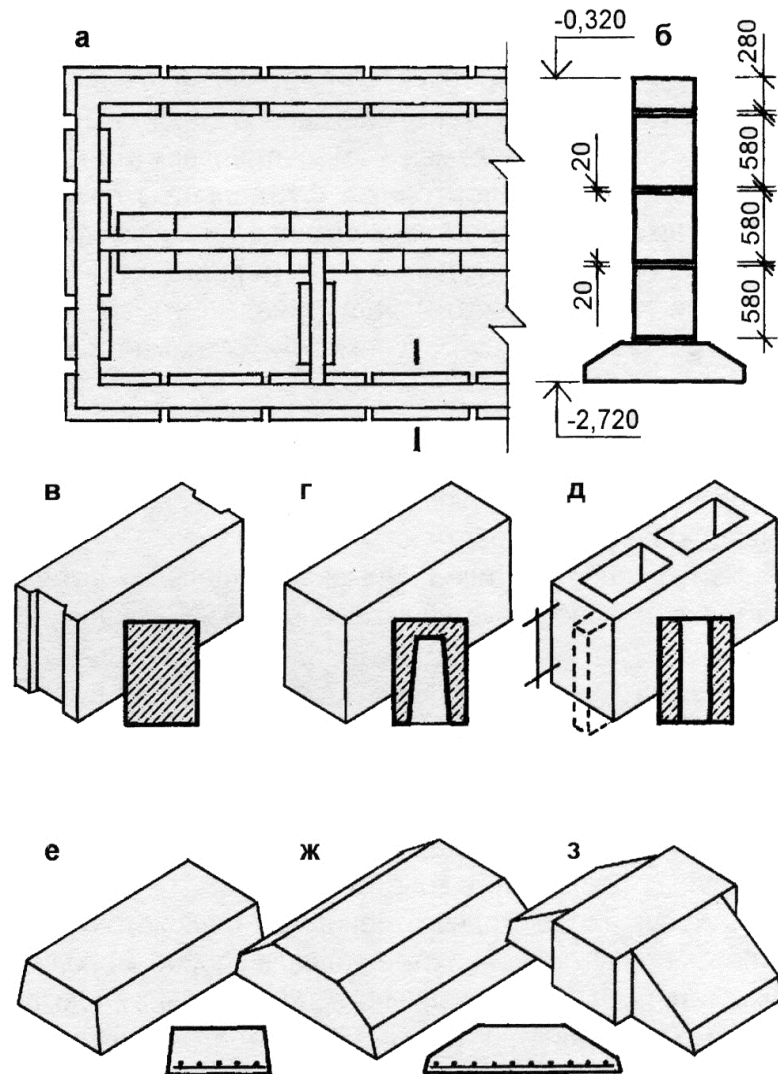


Рис. 7. Элементы сборных ленточных фундаментов:
а - фрагмент плана; б - сечение; в÷д - фундаментные стеновые блоки;
е÷з - фундаментные плиты

Ленточные фундаменты мелкого заложения характеризуются тем, что их подошва находится выше уровня промерзания грунтов основания. С одной стороны такое проектное решение может дать значительный экономический эффект, а с другой, может привести к нежелательным перемещениям фундамента и всего сооружения, вследствие сил морозного пучения. Применение фундаментов мелкого заложения в строительстве может быть оправдано при соблюдении двух условий. Во-первых, если эти перемещения не влияют на прочность всего сооружения и его отдельных элементов, во-вторых не снижают его экс-

плутационных качеств. Воздействия, вызванные морозным пучением можно исключить конструктивными мерами. Примером такого фундамента может служить ленточный фундамент мелкого заложения для здания стенового типа, рис. 8. Во всех представленных вариантах просматриваются два мероприятия. Во-первых, пучинистый грунт убирается ниже подошвы фундамента на безопасную глубину и траншея или котлован засыпаются непучинистым грунтом – песком средней крупности или песчано-гравийной смесью. Во-вторых, боковые грани фундамента отделяются от пучинистого грунта непучинистой засыпкой.

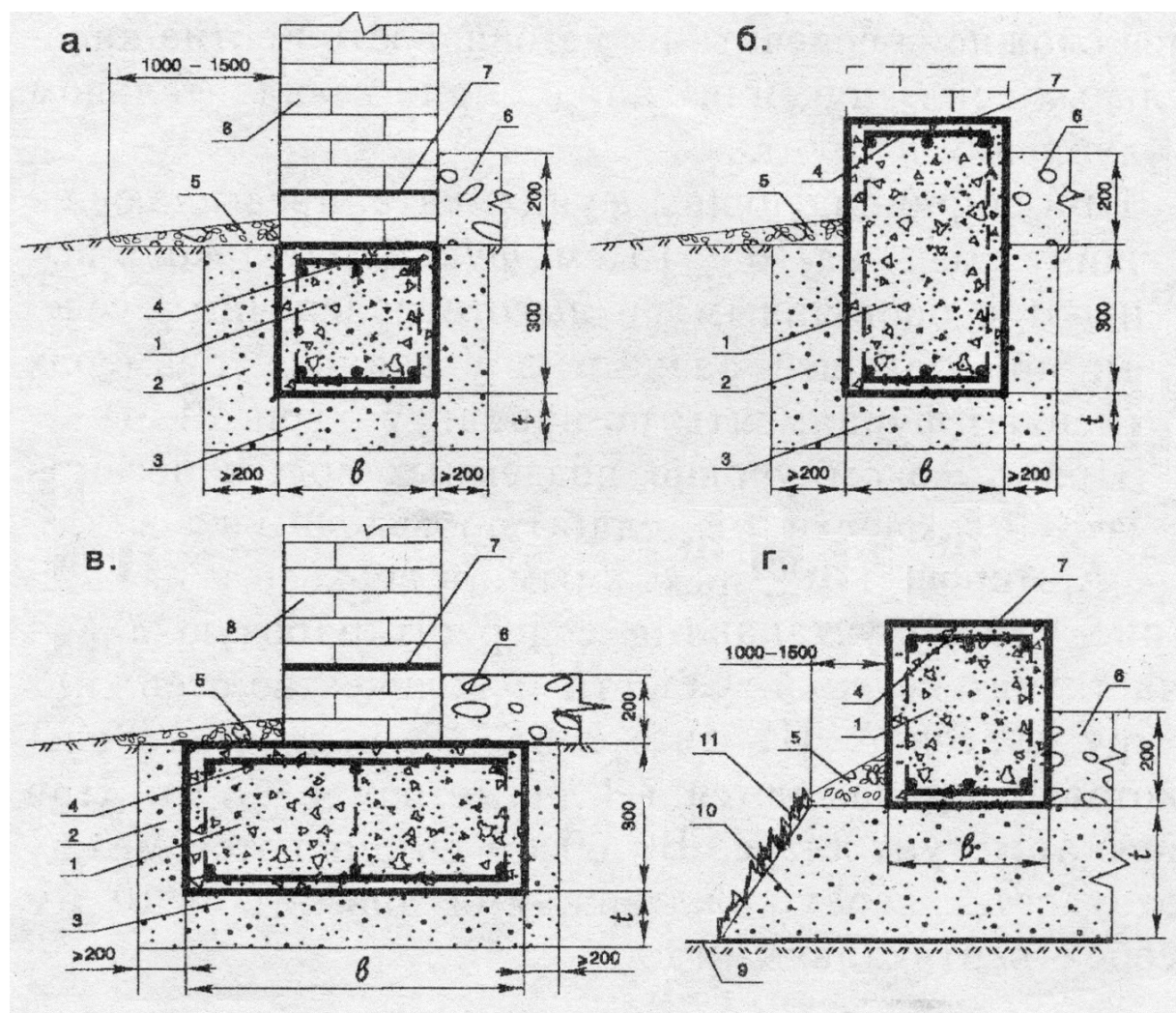


Рис. 8. Варианты фундаментов мелкого заложения на пучинистых грунтах:
1 – фундамент; 2 – засыпка пазух песком или гравийно-песчаной смесью; 3 – песчаная (песчано-гравийная) подушка; 4 – арматурная сетка; 5 – бетонная отмостка; 6 – керамзитовый гравий; 7 – гидроизоляция; 8 – цоколь; 9 – поверхность грунта; 10 – песчаная подсыпка; 11 – дерн

Столбчатые фундаменты устраивают под отдельные столбы, колонны каркаса или под стены бесподвальных легких зданий. Для малоэтажных зданий применяют монолитные железобетонные столбчатые фундаменты, рис. 9. Столбчатый фундамент состоит из подколонника и плоской или ступенчатой плиты. Высота фундаментов принимается от 1,5 м до 4,2 м. Высота фундамента, а также, размеры уступов в плане и по высоте принимаются с шагом 0,3 или 0,4 м. Количество ступеней принимается: при высоте фундамента $H \leq 400$ мм - одну ступень, при $400 \leq H \leq 700$ мм две ступени, при $H > 900$ мм - три.

Под подошвы фундаментов устраивают подготовку: при плотных и сухих грунтах песчаную или щебеночную толщиной 100 - 150 мм, при слабых или влажных грунтах бетонную такой же толщины. Фундаменты выполняют из тяжелого бетона классов В15 и выше. Подошвы фундаментов армируют сварными сетками из арматуры класса А240 или класса А400 диаметром не менее 10 мм. Защитный слой бетона принимают: при бетонной подготовке 35 мм, а при песчаной или щебеночной подготовке 70 мм. Армирование стакана выполняют в виде арматурной обоймы. При высоком столбчатом фундаменте его армирование выполняют аналогично армированию колонны.

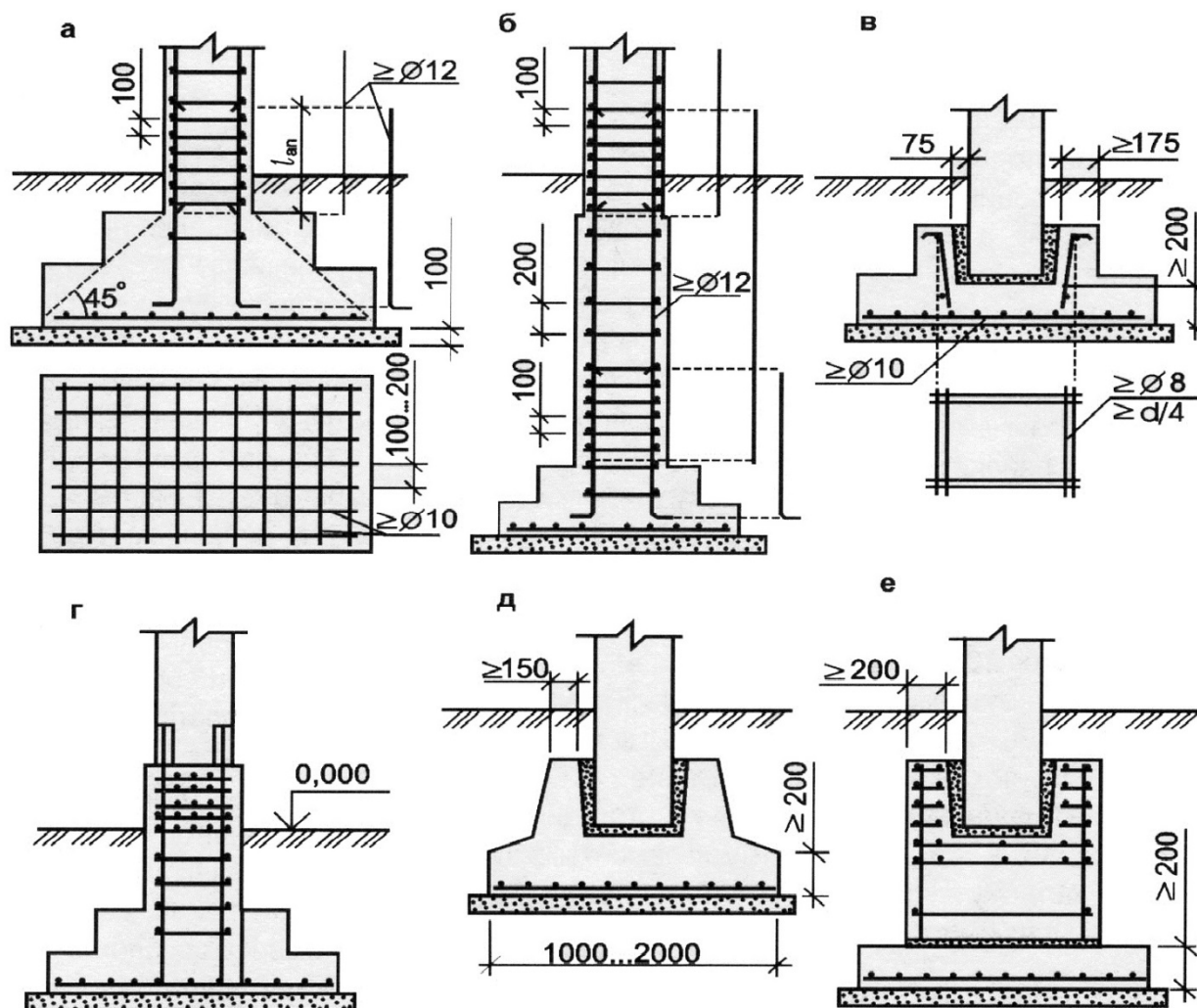


Рис. 9. Армирование столбчатых фундаментов:
а,б - монолитные с монолитными колоннами; в,г - монолитные
под сборные колонны; д,е - сборные под сборные колонны

Плитные фундаменты применяются при слабых грунтах в основании сооружений, при ограниченной допустимой величине осадок здания, при различной высоте отдельных частей здания, при необходимости изоляции сооружения от грунтовых вод, при устройстве фундаментов мелкого заложения и в других случаях. Такие фундаменты всегда выполняются в монолитном железобетоне. Плита фундамента выполняется плоской, но может быть ребристой или коробчатой, в зависимости от нагрузок и конструктивных требований к сооружению. Плоские фундаментные плиты армируют сварными сетками. Стержни ра-

бочей арматуры соединяют внахлестку без сварки, а в нерабочем направлении стержни распределительной арматуры располагают встык, в разбежку, рис 10. Перед бетонированием фундаментной плиты необходимо предусмотреть вводы для всех инженерных коммуникаций. Толщина плиты, в зависимости от нагрузки выбирается в пределах от 300 до 500 мм. По готовой плите, рис 11, устраиваются стены различной конструкции. Плитные фундаменты могут быть как глубокого, так и мелкого заложения. При плитах мелкого заложения толщина плиты выбирается такой, чтобы ее перемещения и крены под действием сил морозного пучения не нарушали целостности верхнего строения. Представим себе здание, в основании которого устроен фундамент мелкого заложения. Даже если, в результате морозного пучения, в зимний период, это здание получило вертикальные перемещения порядка 5 см и крен в любую сторону на малый угол, то такие перемещения никак не отразятся на эксплуатационных качествах этого сооружения, если в конструкции всех подводящих коммуникаций была заложена возможность компенсации этих перемещений. При смене климатического сезона, весной, фундамент, а вслед за ним и здание примут свое первоначальное положение. Широкое распространение в жилищном строительстве плитные фундаменты получили в США сразу после второй мировой войны. Их внедрила в практику строительная фирма «Левитт и сыновья». Эта фирма поставила строительство одноэтажных коттеджей на индустриальную основу и за короткое время возвела несколько тысяч домов.



Рис. 10. Устройство арматуры фундаментной плиты мелкого заложения



Рис. 11. Готовый плитный фундамент малоэтажного дома



Рис. 12. Подвальный этаж коттеджа из монолитного железобетона на плитном фундаменте

На рис. 12 показаны стены цокольного этажа жилого дома из монолитного железобетона. Конструкция покоится на монолитной железобетонной плите. При устройстве цокольного этажа любого здания должны быть решены, как минимум, три проблемы, а именно: гидроизоляция сооружения и ее защита, проблема «холодных швов», при применении монолитного железобетона и проблема сохранения целостности конструкций при строительстве в зимний период на грунтах подверженных морозному пучению. Характер гидроизоляции стен подвалов зависит от уровня грунтовых вод. При отсутствии грунтовых вод или при их низком уровне рекомендуется устройство дренажа для отвода поверхностной воды, проникающей в грунт. Такая конструкция представлена на рис. 13. На этом рисунке показано устройство дренажа фундамента и ливневой канализации для отвода дождевой воды. При высоком уровне грунтовых вод, выше уровня подошвы фундамента, цокольный этаж проектируется всегда в монолитном железобетоне, с применением бетона марки по водопроницаемости не ниже W8. Также должна быть обеспечена полная гидроизоляция всей подземной части здания, подобно устройству судна, рис. 14. В последнем случае при строительстве возникает проблема так называемых «холодных швов».

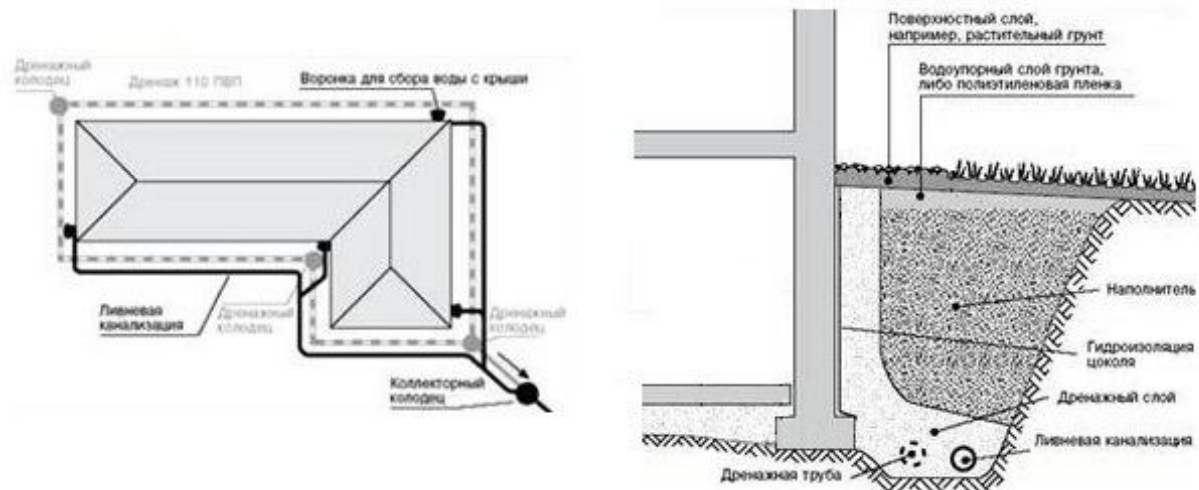


Рис. 13. Схема дренажной системы здания и системы отвода дождевой воды

Дело в том, что при возведении конструкций подвала в монолитном железобетоне технологически невозможно обеспечить одномоментное бетонирование фундаментной плиты и стен подвала. Сначала бетонируется фундаментная плита, затем, когда бетон наберет прочность, собираются арматурные каркасы стен, устанавливается их опалубка и производится заливка бетонной смеси. Однако, в процессе твердения бетона, на поверхности фундаментной плиты образуется цементная корка, которая препятствует сцеплению свежего бетона стены со схватившимся бетоном фундаментной плиты. Этот узел и называется «холодным швом» и этот шов не препятствует проникновению воды на стыке плиты и стены. Для обеспечения водонепроницаемости стыка необходимо применение специальных химических добавок либо устройство гидростопа из изолирующих резиновых шпонок или бентонитового шнура, рис. 14. Заметим попутно, что для обеспечения долговечности вертикальной гидроизоляции необходимо устройство защитной стенки из кирпича или листового материала. Защитная стенка необходима для того, чтобы исключить разрушение гидроизоляции вследствие осадки грунта обратной засыпки котлована. Защитная

стенка и плиты утеплителя фундамента опираются на выступающую часть плитного фундамента, которая называется «запечиком». Его размер принимается не менее 250 мм.

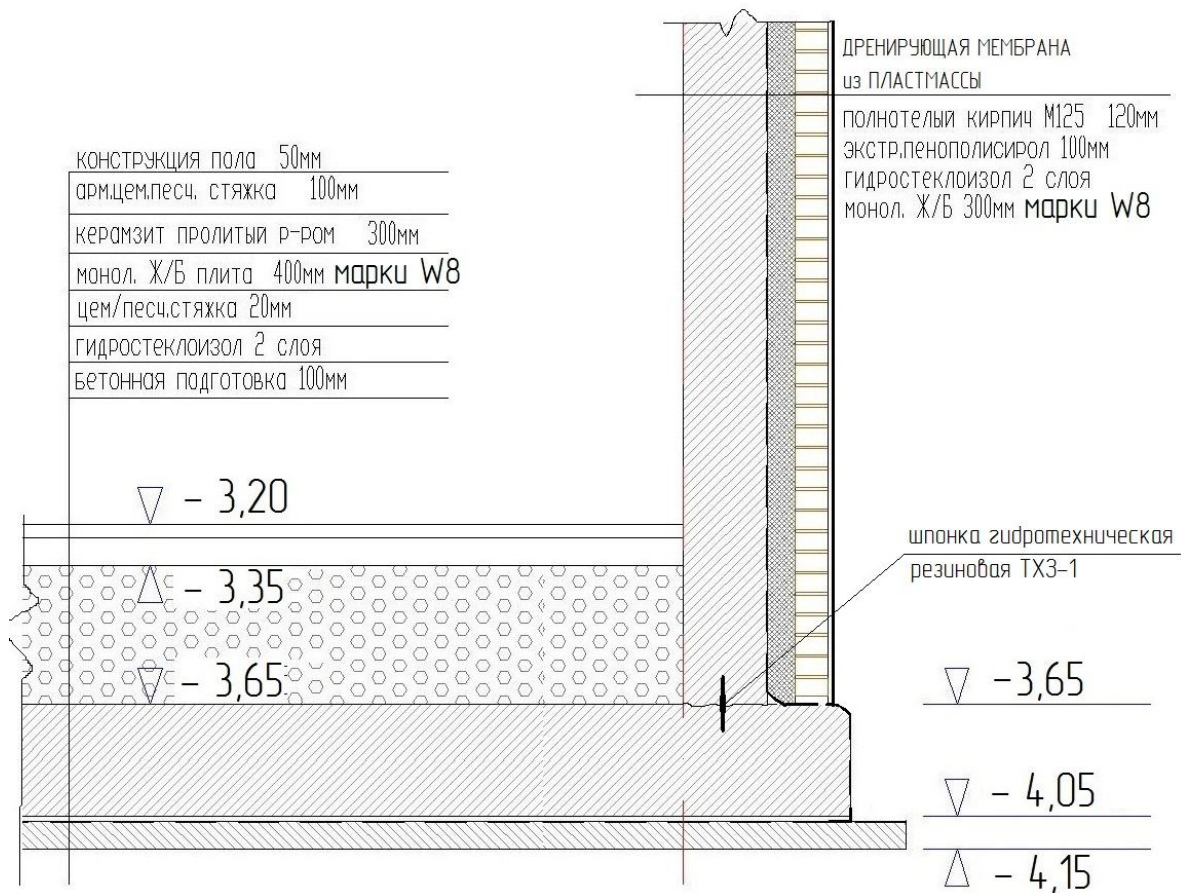


Рис. 14. Гидроизоляция фундамента и стен подвала из монолитного железобетона

Рассмотрим, наконец, проблемы, возникающие при строительстве в зимнее время года или при консервации строительства в этот период. Если строительство происходит на непучинистых грунтах, то никаких проблем не возникает. Если же грунты основания подвержены морозному пучению, то необходимо предусмотреть специальные мероприятия, позволяющие избежать неприятных последствий этого явления. Во-первых, при действии отрицательных температур в грунте основания возникает отрицательное давление на подошвы фундаментов. Это давление стремится поднять фундаменты выше их проектной отметки. Во-вторых, это давление всегда неравномерно распределено по подошве фундаментов, что приводит к их изгибу и может их разрушить, рис. 15. Особенно опасно морозное пучение для зданий, в которых подвальное помещение занимает не всю площадь под первым этажом. Борьба с морозным пучением заключается в утеплении фундаментной плиты или в герметизации всего подвального этажа, для исключения поступления холодного наружного воздуха.

Свайные фундаменты. Свайные фундаменты применяют при основаниях, составленных слабыми грунтами, когда нагрузки от возводимого сооружения на традиционном фундаменте могут вызвать осадки и крены, превышающие предельно допустимые по строительным нормам. По способу взаимодействия с основанием сваи разделяют на сваи-стойки и висячие сваи, рис. 16. Висячая свая, передает нагрузку на окружающий грунт через трение по боковой поверхности и через сопротивление грунта основания по нижнему концу сваи.

Свая-стойка, пересекая слабые грунты, передает нагрузку от веса сооружения на плотный материковый грунт, упираясь в него своим нижним концом.



Рис. 15. Разрушение железобетонного фундамента вследствие морозного пучения

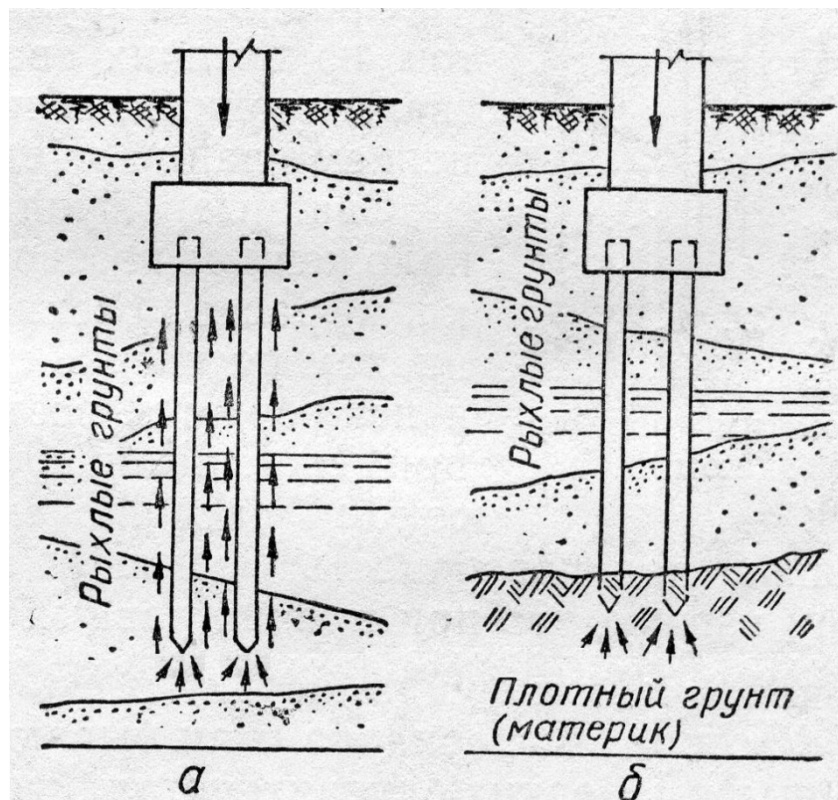


Рис. 16. Свайные основания с низким ростверком;

а – с висячими сваями; б – со сваями-стойками

Свайный фундамент состоит из собственно свай и объединяющего их балочного или плитного ростверка. Ростверк передает и распределяет нагрузку от сооружения на собственно сваи. Если ростверк свайного фундамента расположен в грунте основания, такой ростверк называют низким, рис.16. Если сваи своим оголовком выступают выше верха грунта основания, то соответствующий им ростверк называется высоким, рис. 17.

По материалу изготовления сваи бывают бетонные, железобетонные, деревянные, металлические и грунтовые.

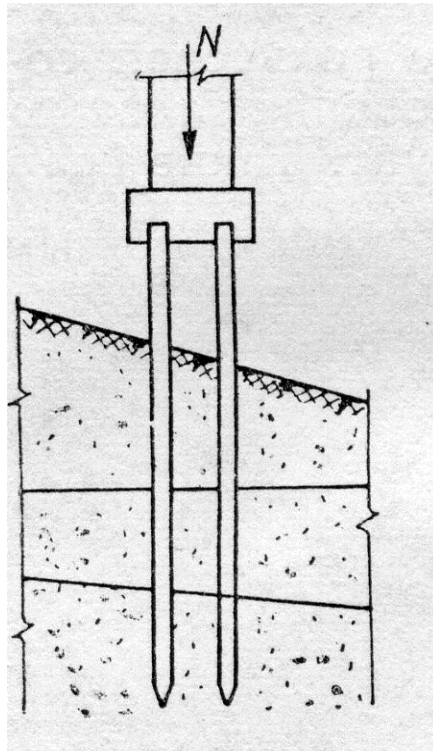


Рис. 17. Свайный фундамент с высоким ростверком

По технологии устройства различают сваи забивные, буровые, буронабивные, винтовые и др. Забивные сваи погружаются в грунт с помощью молотов различного типа, вибропогружателей, а также методом вдавливания. Буровые сваи устанавливают с помощью бурения скважин в грунте основания и последующей установки в скважинах жестких свай. Буронабивные сваи устраивают в предварительно пробуренных скважинах с помощью укладки в них бетонной или растворной смеси. Такие сваи могут армироваться арматурными каркасами. В зависимости от характеристик грунта буронабивные сваи устраивают или непосредственно в скважине, или с применением обсадных труб, а при наличии грунтовых вод методом тампонажа, рис. 18.

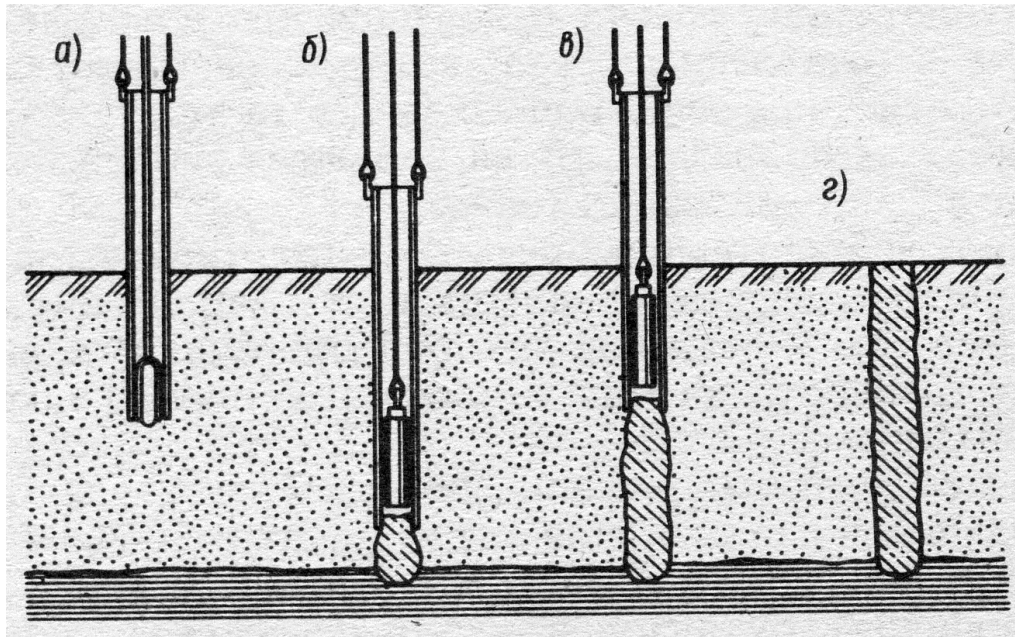


Рис. 18. Последовательность изготовления буронабивной сваи (сваи Страуса);
а – бурение скважины; б,в – бетонирование скважины; г – готовая свая



Рис. 19. Фундамент из буронабивных свай

На рис. 19 представлен фундамент из буронабивных свай, подготовленный для устройства железобетонного ростверка и цоколя. Эта конструкция отличается тем, что верхняя часть буронабивных свай снабжена коротышом из асбоцементной трубы. Этот отрезок трубы не только придает выступающей части свай строгий внешний вид, он необходим, прежде всего, для уменьшения трения между сваями и грунтом основания при возникновении морозного пучения. В некоторых случаях для предотвращения выдергивания свай или их разрыва, от действия сил морозного пучения, верхнюю часть свай выполняют конусной. На рис. 20 представлен железобетонный цоколь такой конструкции, который одновременно выполняет роль ростверка.



Рис. 20. Железобетонный цоколь на буронабивных сваях

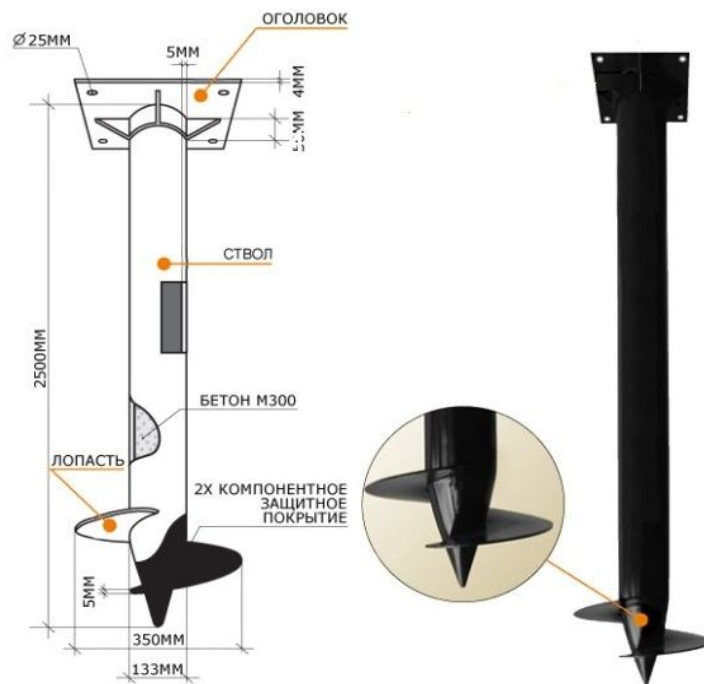


Рис. 21. Винтовая свая.

Винтовые сваи изготавливаются из стальных труб и устанавливаются в проектное положение с помощью закручивания в грунт. Закручивание производится с помощью специальных устройств – кабестанов. Для того, чтобы произвести закручивание, по стволу сваи устраивают спиральную накладку или снабжают концевым винтом, рис. 21. Ростверк из стальных двутавровых балок по металлическим винтовым сваям можно видеть на рис. 22, а на рис. 23 каркас здания из брусьев, собранный на таком фундаменте.



Рис. 22. Фундамент из винтовых свай и ростверк из металлопроката



Рис. 23. Каркас здания из бруса на фундаменте из винтовых свай

ем. В данном случае в качестве утеплителя применен экструдированный пенополистирол и он защищает от промерзания цоколь и всю подземную часть стены подвала. Толщина утеплителя определяется расчетом. Для Подмоскovie эта толщина составляет, в среднем, 100 мм. В данном примере применен дешевый мягкий материал вследствие того, что он защищен мощной прижимной кирпичной стенкой, которая уравнивает толщину железобетонной стены подвала и толщину кирпичной стены цоколя. Так же выполняется утепление бесподвального здания с фундаментами глубокого заложения.

Фундаменты мелкого заложения утепляются как с наружной стороны по вертикальным поверхностям, так и в горизонтальной плоскости, под отмосткой, для расширения области талого грунта, рис. 25. Представленная на этом рисунке конструкция может быть улучшена тем, что вертикальная часть утепления может быть выполнена не из экстрадированного пенополистирола, а из более твердого утеплителя, такого как пеноплекс. Результаты устройства такого утепления можно иллюстрировать картиной температурных полей представленной на рис. 26. Здесь видно, что граница отрицательных температур в грунте основания отодвинута от наружного фундамента. Распределение температурных полей иллюстрирует также и тот факт, что ниже глубины промерзания повсеместно расположен талый грунт с положительной температурой от 2° до 6° С. Описанным образом утепляют и плитные фундаменты мелкого заложения. В некоторых случаях применяется утепление плитного фундамента снизу по всей площади. Пример такого утепления из пеноплекса в процессе возведения виден на рис. 27, а после заливки бетона на рис. 28.

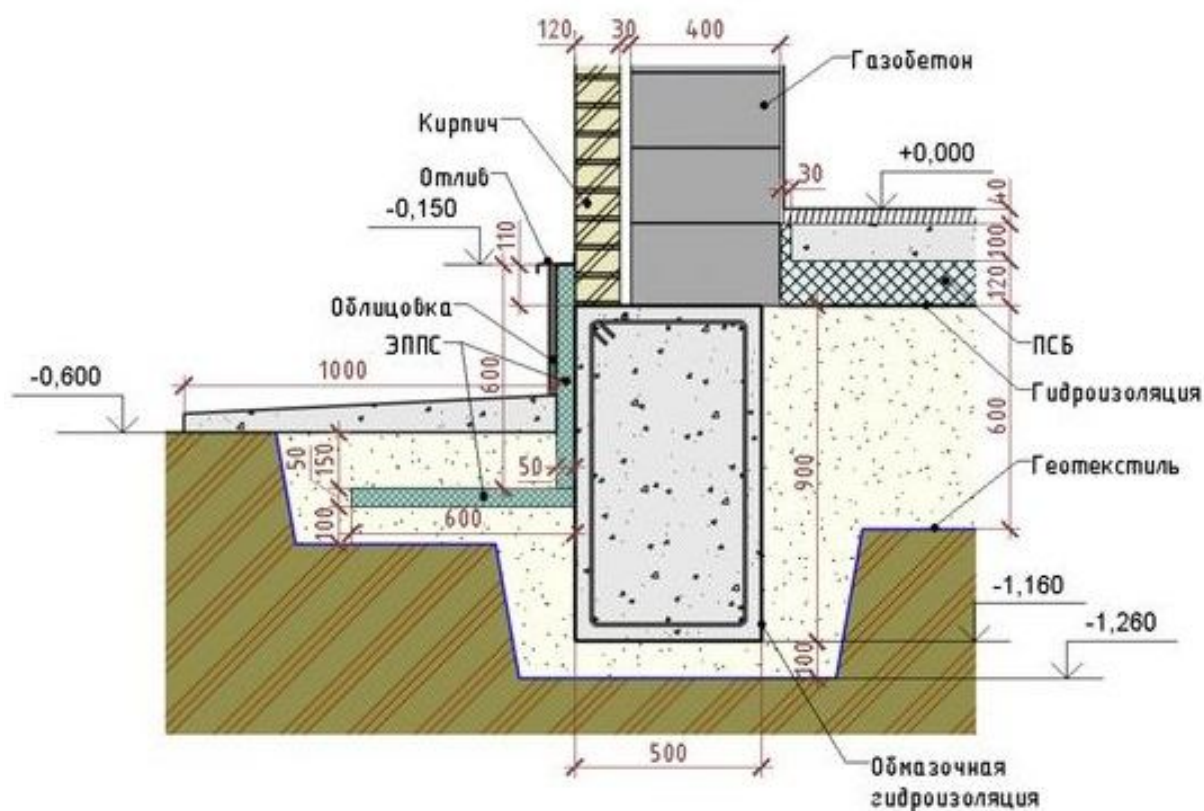


Рис. 25. Утепление ленточного фундамента мелкого заложения

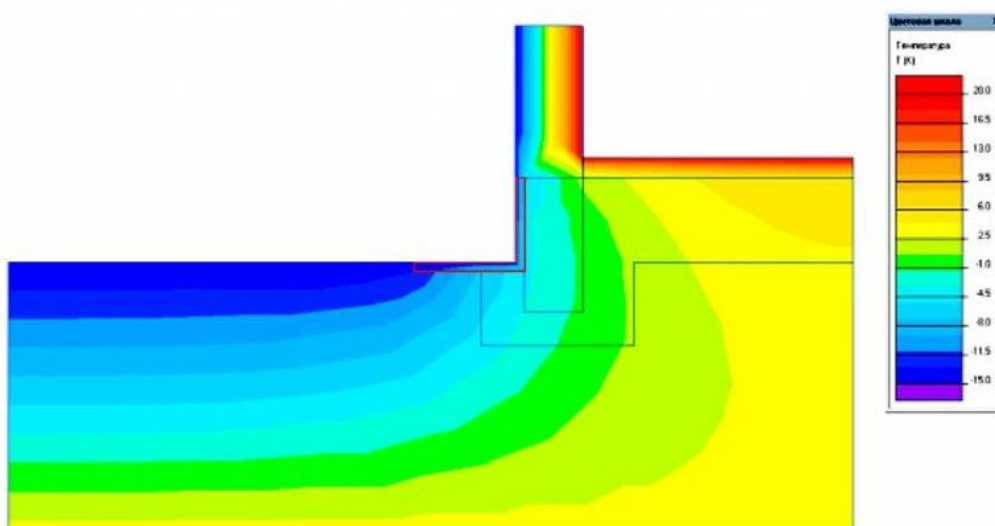


Рис. 26. Распределение температур при утеплении ленточного фундамента

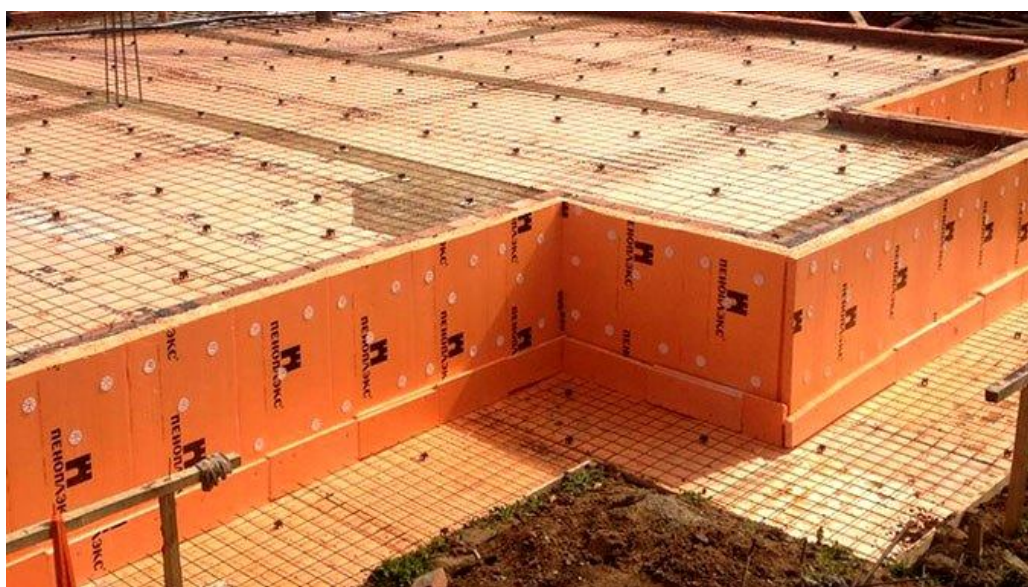


Рис. 27. Тотальное утепление плитного фундамента мелкого заложения

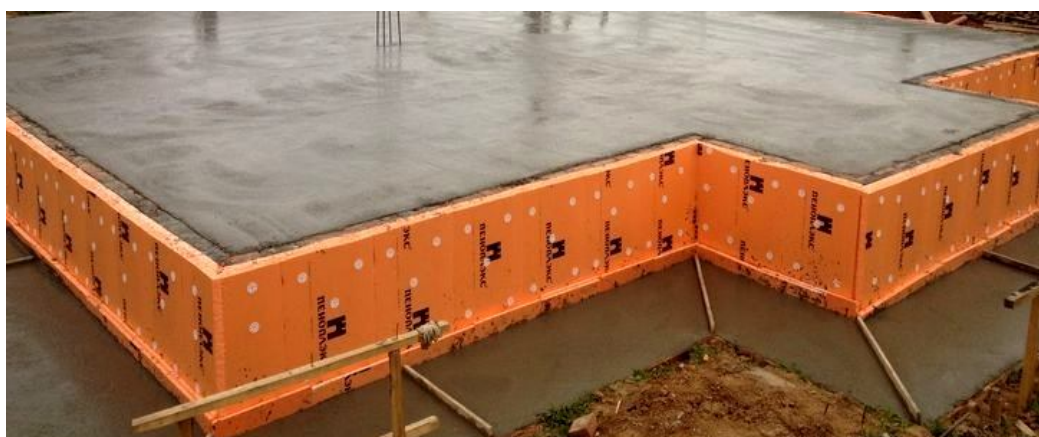


Рис. 28. Тот же фундамент после укладки бетона

О расчете оснований и фундаментов. Фундаменты и основания при расчете должны отвечать требованиям строительных норм по первому и второму предельному состояниям. По первому предельному состоянию проверяются прочность и устойчивость оснований и собственно фундаментов как конструкций, по второму предельному состоянию проверяются осадки фундаментов и крен сооружений. Расчет и конструирование фундаментов и проверку оснований следует производить на основе модели, учитывающей совместное деформирование основания и несущих конструкций здания. Эти расчеты достаточно сложны и требуют применения мощных программных комплексов по статическому расчету конструкций. В некоторых случаях, в том числе и для малоэтажных зданий строительные нормы разрешают не производить расчет осадки сооружений и вместо проверки прочности основания проверять среднее давление под подошвой фундамента. В качестве примера здесь мы рассмотрим расчет ленточного железобетонного фундамента на простейший вид загрузки – вертикальной силой и моментом.

Расчет ленточных фундаментов состоит в определении следующих параметров: ширины подошвы **b** на основе расчетного сопротивления грунтов основания **R** при воздействии нормативных нагрузок; высоты ленточного фундамента **H** и площади поперечного сечения рабочей арматуры **A_s** при воздействии на подошву фундамента реактивного давления грунта **p_{рас}** от действия расчетных нагрузок. Расчет производится для отрезка фундамента единичной длины, например 1 м.

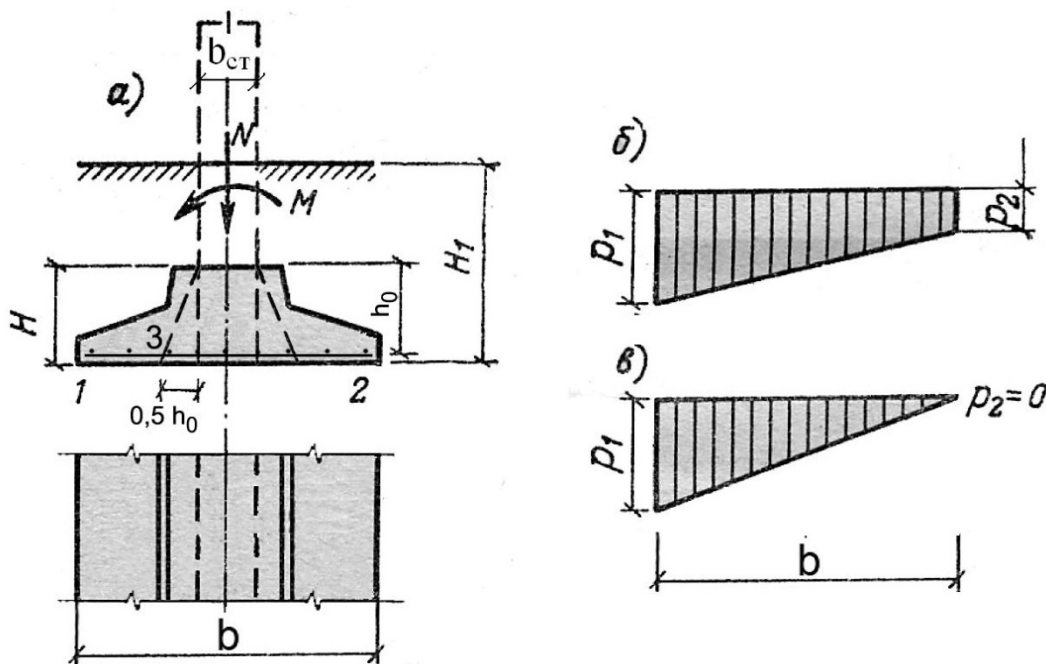


Рис. 29. К расчету ленточного фундамента:
а – схема; б, в – эпюры отпора грунта основания

Стена верхнего строения на уровне обреза ленточного фундамента передает на него воздействия вышележащих конструкций в виде сжимающей силы **N** и изгибающего момента **M**, рис. 29. Необходимая ширина фундамента **b** определяется из соотношения

$$b = N_n / (R - \gamma_{cp} H_1), \quad (1)$$

где: **N_n** – нормативная сжимающая сила, действующая на единицу длины фундамента;

R – расчетное сопротивление грунта основания; γ_{cp} – усредненный объемный вес фундамента и грунта на уступах фундамента (принимается равным 20 кН/м^3); H_1 – глубина заложения фундамента.

После определения ширины фундамента производится проверка краевого давления на основание, рис. 29, б,в. Сначала вычисляется среднее давление фундамента на основание

$$p_{cp} = N_n / b + \gamma_{cp} H_1, \quad (2)$$

затем величины краевых давлений

$$p_{1,2} = p_{cp} \pm 6 M_n / b^2, \quad (3)$$

где: M_n – изгибающий момент от действия нормативных нагрузок; $p_{1,2}$ – значения максимального и минимального краевых давлений.

Необходимо чтобы соблюдались условия

$$p_1 \leq 1,2 p_{cp} \text{ и } p_2 \geq 0. \quad (4)$$

Расчет ленточного фундамента по прочности заключается в проверке прочности выступающей за грани стены части фундаментной ленты как консоли, нагруженной реактивным давлением основания, причем это давление вычисляется от действия расчетных нагрузок. Необходимая рабочая высота фундамента h_0 определяется по сопротивлению подушки фундамента на продавливание стенкой. Возможный срез, с каждой стороны стенки, происходит по плоскости, след которой начинается от грани стенки фундамента и пересекает рабочую арматуру подошвы в точке 3, отстоящей от грани стенки на половину рабочей высоты фундамента, рис. 29, а. Запишем условие прочности

$$Q \leq R_{bt} h_0, \quad (5)$$

где: R_{bt} – расчетное сопротивление бетона растяжению; Q – усилие среза.

$$Q = 0,5 p_{pac} (b - b_{ct} - h_0); \quad (6)$$

p_{pac} – среднее значение расчетного отпора грунта основания на участке от точки 3 до края фундамента; b_{ct} – ширина стены фундамента.

Подставляя Q из (6) в (5) и разрешая относительно h_0 , получим

$$h_0 = p_{pac} (b - b_{ct}) / (2 R_{bt} + p_{pac}) \quad (7)$$

и

$$H = h_0 + a, \quad (8)$$

где a – расстояние от центра тяжести арматуры плиты до подошвы фундамента.

Площадь сечения растянутой арматуры в подошве железобетонного фундамента определяется по сечению вдоль наружной грани стены при действии изгибающего момента

$$M = 0,125 p_{pac} (b - b_{ct})^2. \quad (9)$$

по правилам расчета изгибаемых железобетонных прямоугольных сечений.

Для свайных оснований по первому предельному состоянию должна проверяться несущая способность грунта основания свай, прочность материала свай и свайных ростверков, а также при необходимости несущая способность всего свайного фундамента и его устойчивость. По второму предельному состоянию проверяются вертикальные осадки и горизонтальные перемещения свайного фундамента, а при устройстве железобетонных свай – ширина раскрытия трещин в свае.

Подпорные стенки.

Подпорная стенка – элемент обустройства местности в виде вертикальной или наклонной конструкции удерживающий массив грунта, расположенный с одной стороны этой стенки и находящийся выше планировочной отметки грунта с другой ее стороны. Подпорные стенки классифицируются по разным признакам. По конструкции различают массивные, полумассивные, тонкостенные и свайные подпорные стенки, рис. 30. В массивных стенках их устойчивость обеспечивается только собственным весом стенок. При тонкостенной конструкции её устойчивость, кроме веса, обеспечивается весом грунта, лежащего на фундаменте. В полумассивных стенках их устойчивость обеспечивается двумя способами. Устойчивость свайных стенок обеспечивается их защемлением в грунте.

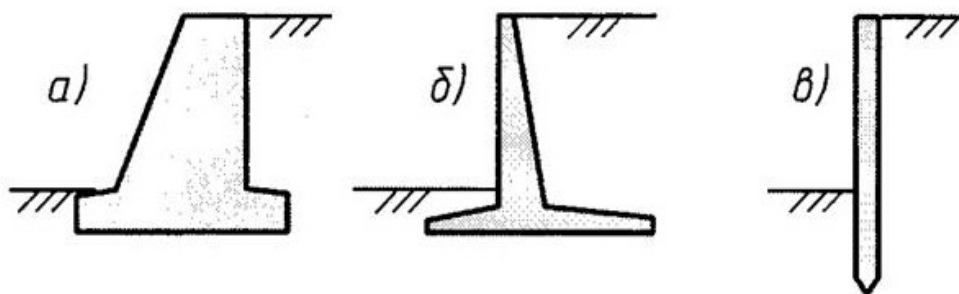


Рис. 30. Виды подпорных стенок по массивности:

а – массивные; б – тонкостенные; в – свайные

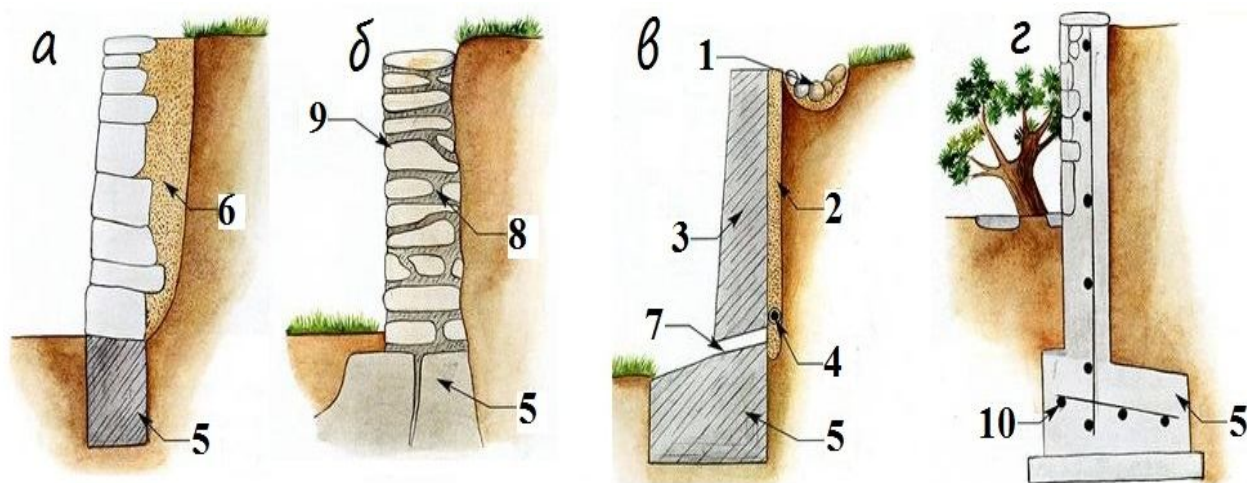


Рис. 31. Конструкции подпорных стен:

а – из камня; б – из бутобетона; в – из бетона; г – из железобетона; 1 – водоотводящий лоток; 2 – дренирующий слой из песка; 3 – тело подпорной стенки; 4 – дренажная труба; 5 – фундамент; 6 – засыпка из гравийно-песчанной смеси; 7 – дренажное отверстие; 8 – бетон; 9 – бутовый камень; 10 – стальная арматура

По материалу подпорные стенки бывают каменные, бутобетонные, бетонные, железобетонные, рис. 31, из металлического шпунта или отдельных металлических или железобетонных свай. На рис. 32. показано возведение массивной подпорной стенки из сборных бетонных блоков, а на рис. 33 железобетонная подпорная стенка с облицовкой из камня. Отдельным видом подпорных стен, являются стены с применением габионов. Габионы это сетчатые изделия различной формы из проволоочной сетки, предназначенные для формирования стенок, путем заполнения их каменной насыпкой, рис. 34.



Рис. 32. Гравитационная подпорная стенка из сборных блоков



Рис. 33. Подпорная стенка из железобетона с облицовкой из камня

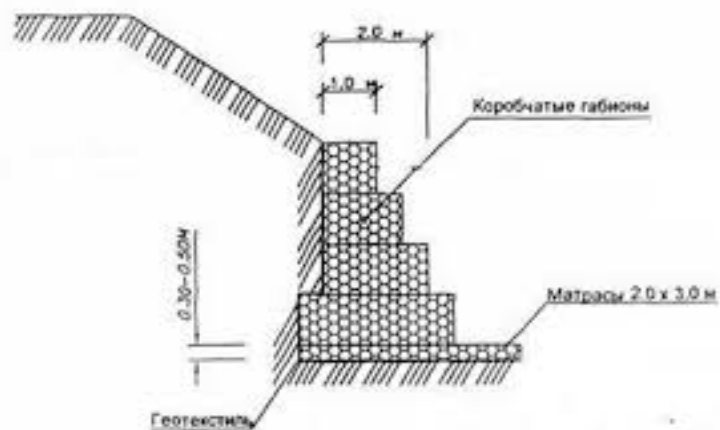


Рис. 34. Схема формирования габионной подпорной стенки



Рис. 35. Подпорная стенка из габионов в форме параллелепипеда

Габионы из стальной проволоки с антикоррозионным покрытием, различной формы и размеров используются для устройства массивных подпорных стенок. Сетчатую форму заполняют крупным щебнем или бутовым камнем, а затем из этих блоков формируют подпорные стены необходимых размеров и формы, рис. 34.

Подпорные стенки рассчитываются на устойчивость от сдвига и опрокидывания, на прочность конструкции и на устойчивость грунта основания, рис. 30. Расчетная схема подпорной стенки, с вертикальной внутренней гранью, при горизонтальной верхней поверхности грунта и отсутствии на ней нагрузки, представлена на рис. 31. Расчет обычно ведётся для 1 погонного метра длины подпорной стенки.

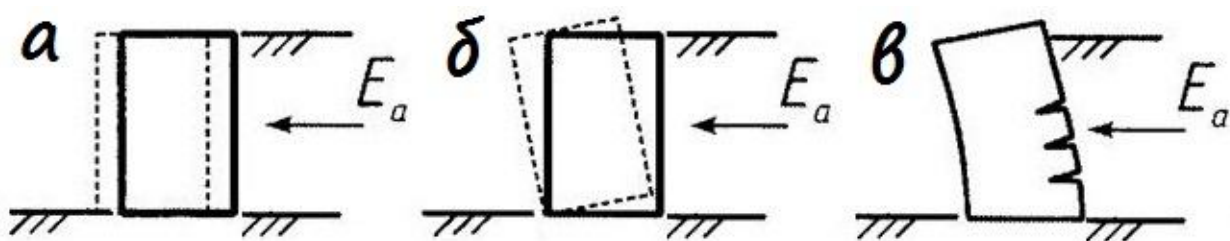


Рис. 36. Проверка устойчивости и прочности подпорной стенки:
а – на сдвиг; б – на опрокидывание; в – на прочность материала

На подпорную стенку воздействует равнодействующая активного давления грунта E_a . Для схемы, приведенной на рис. 37 можно принять

$$p(z) = \gamma_f \cdot \gamma_{гр} \cdot Z \cdot \mu_a, \quad (10)$$

где: $p(z)$ – интенсивность горизонтального давления грунта на глубине Z от поверхности; γ_f – коэффициент надежности для собственного веса грунта, принимаемый $\gamma_f = 1,1$ для грунта природного залегания и $\gamma_f = 1,15$ для грунта на строительной площадке; $\gamma_{гр}$ – объемный вес грунта; μ_a – коэффициент активного бокового давления грунта,

$$\mu_a = \operatorname{tg}^2(45 - \varphi/2), \quad (11)$$

φ – угол внутреннего трения грунта.

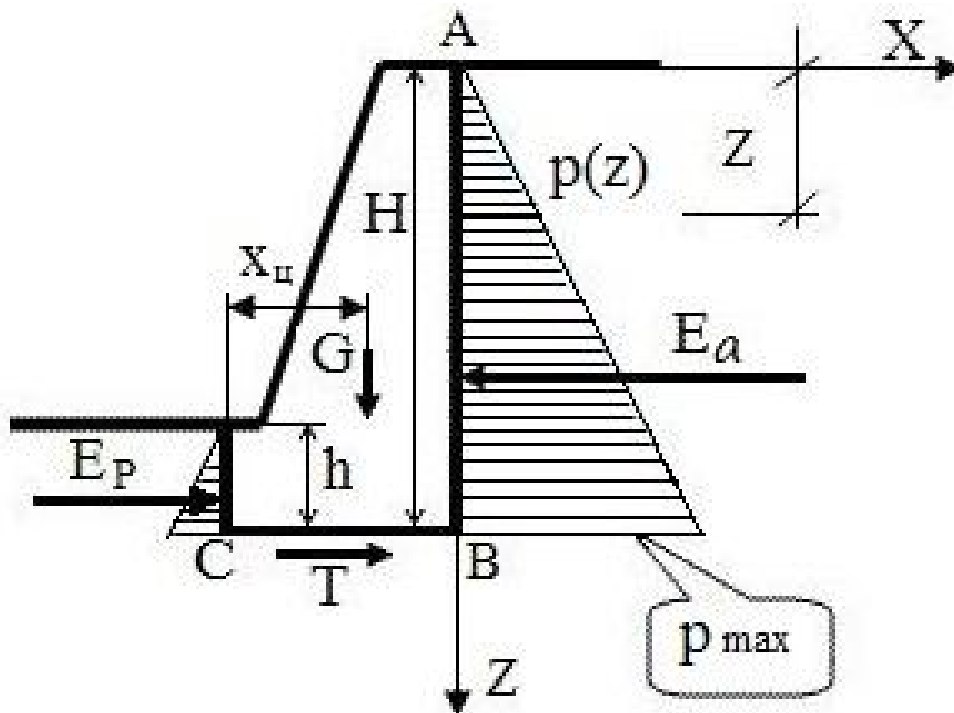


Рис. 37. Расчетная схема подпорной стенки

Равнодействующая активного давления E_a приложена на расстоянии $1/3 H$ от подошвы подпорной стены и равна

$$E_a = (\gamma_f \cdot \gamma_{гр} \cdot H^2 \cdot \mu_a) / 2. \quad (12)$$

Проверка устойчивости подпорной стенки против сдвига производится по соотношению

$$T_{уд} / E_a \geq 1,2, \quad (13)$$

где: $T_{уд}$ – сумма всех удерживающих сил; $1,2$ – коэффициент надежности против сдвига.

Удерживающую силу $T_{уд}$ можно приближенно вычислить по соотношению

$$T_{уд} = \gamma_f (E_p + f \cdot G), \quad (14)$$

где: γ_f – коэффициент надежности по нагрузке, равный $\gamma_f = 0,9$, в силу того, что удерживающая сила ослабляет сопротивление стенки сдвигу; E_p – пассивное сопротивление грунта на высоте подошвы фундамента h ; f – коэффициент трения подошвы фундамента

по основанию $f = 0,3$; G – вес тела фундамента (при гибких фундаментах или фундаментах с заплечиками, необходимо также учитывать вес грунта лежащего на подошве фундамента);

$$E_p = (\gamma_{гр} \cdot h^2 \cdot \mu_p) / 2, \quad (15)$$

μ_p – коэффициент пассивного бокового отпора грунта,

$$\mu_p = \operatorname{tg}^2(45^\circ + \varphi/2). \quad (16)$$

Под воздействием активного давления E_a фундамент может опрокинуться, вращаясь вокруг края фундамента, точки C . Этому опрокидыванию препятствует собственный вес фундамента G , и сила пассивного сопротивления E_p . Проверка устойчивости подпорной стенки против опрокидывания производится по соотношению

$$M_{уд} / M_{оп} \geq 1,4, \quad (17)$$

где: $M_{уд}$ – удерживающий момент относительно точки C , $M_{оп}$ – опрокидывающий момент, относительно той же точки; 1,4 – коэффициент надежности против опрокидывания.

$$M_{оп} = E_a \cdot H / 3. \quad (18)$$

$$M_{уд} = \gamma_f (E_p \cdot h / 3 + G \cdot X_{ц}), \quad (19)$$

где: γ_f – коэффициент надежности по нагрузке, равный $\gamma_f = 0,9$; $X_{ц}$ – расстояние от центра тяжести тела подпорной стенки до точки опрокидывания C .

Кроме проверки на устойчивость самой стенки необходимо еще проверить устойчивость основания под подошвой фундамента и прочность элементов самой стенки по двум предельным состояниям.