

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

С.Б. Колоколов

ИНЖЕНЕРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ ГОРОДОВ

Учебное пособие

Рекомендовано ученым советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательной программе высшего образования по направлению подготовки 08.03.01 Строительство

Оренбург
2019

УДК 624.014:004 (07)
ББК 38.54я7
К61

Рецензент –доктор технических наук, доцент В.А. Гурьева

Колоколов, С.Б.
К61 Инженерные сооружения городов : учебное пособие / С.Б. Колоколов ; Оренбургский гос. ун-т – Оренбург: ОГУ, 2019. - 155 с.

ISBN

В учебном пособии рассмотрены конструктивные особенности инженерных сооружений, обеспечивающих функционирование инфраструктуры городов, дана классификация инженерных сооружений, приведены упрощенные расчетные схемы и методики упрощенного расчета отдельных сооружений.

Учебное пособие предназначено для использования студентами, обучающимися по образовательной программе высшего образования по направлению подготовки 08.03.01 Строительство.

УДК 624.014:004 (07)
ББК 38.54я7

ISBN

© Колоколов С.Б., 2019
© ОГУ, 2019

Содержание

Введение.....	5
1 Классификация инженерных сооружений городов	7
1.1 Классификация инженерных сооружений городов по расположению относительно поверхности земли	7
1.2 Классификация инженерных сооружений городов по назначению	8
1.3 Классификация инженерных сооружений городов по конструктивным признакам	16
2 Упрощенные расчетные схемы инженерных сооружений	25
2.1 Расчетные схемы башен	25
2.2 Расчетные схемы мачт	27
2.3 Расчетные схемы мостовых сооружений.....	28
2.4 Расчетные схемы емкостных сооружений.....	32
2.5 Расчетные схемы подземных сооружений	35
3 Высотные сооружения	38
3.1 Башни.....	38
3.1.1 Водонапорные башни.....	38
3.1.2 Башни опорного назначения	44
3.1.3 Упрощенный расчет ствола башни.....	47
3.1.4 Градирни.....	49
3.2 Конструкции мачт	53
4 Мостовые сооружения	61
4.1 Надземные пешеходные переходы.....	61
4.1.1 Конструкции пешеходных переходов	63
4.1.2 Расчет конструкций пешеходного перехода	74
4.2 Крановые эстакады.....	76
5 Многоярусные открытые автостоянки.....	78
6 Емкостные сооружения	81
6.1 Бункера	81
6.2 Силосы.....	89
6.3 Резервуары системы водоснабжения и канализации.....	94
7 Подпорные стены	101
7.1 Конструкции подпорных стен.....	101

7.2 Расчет подпорных стен	106
8 Подземные сооружения	112
8.1 Подземные автопарковки	112
8.2 Подземные пешеходные переходы.....	119
8.3 Коммунальные тоннели	124
8.4 Смотровые колодцы.....	131
8.5 Вентиляционные шахты	134
9 Спортивные сооружения	136
9.1 Козырьки трибун стадионов	136
9.2 Вышки для прыжков в воду	141
9.3 Лыжные трамплины	144
Список использованных источников	149
Вопросы и задания для самоконтроля знаний	153

Введение

Города – это населенные пункты, жители которых заняты преимущественно в промышленности, в сферах управления, обслуживания, торговли, образования, науки, культуры. Особенностью городов является компактность проживания населения. Это обстоятельство определяет необходимость осуществления ряда видов деятельности, обеспечивающих комфортные условия для проживания в городах людей. К ним относятся: организация городского транспорта, водоснабжение и водоотведение, электроснабжение, теплоснабжение, газоснабжение, хранение и переработка пищевых продуктов, торговля, культурное обслуживание, образование, организация отдыха населения и спортивных мероприятий т.д. Осуществление этих видов деятельности в свою очередь связано с необходимостью строительства зданий и сооружений, которые можно классифицировать по следующим типам:

жилые дома (здания), предназначенные для проживания в них городских жителей;

здания образовательных учреждений – школы, колледжи, институты, университеты, консерватории и т.п. - предназначенные для обучения городских жителей;

административные здания – предназначенные для функционирования в них работников сферы управления городом;

здания учреждений здравоохранения – больницы, поликлиники, профилактории и т.п. - предназначенные для лечения и оздоровления городских жителей;

торговые здания и сооружения, предназначенные для размещения в них магазинов и складов;

здания предприятий общественного питания – столовые, рестораны, фабрики-кухни, кафе и т.п.;

зрелищные здания и сооружения – театры, кинотеатры, цирки, филармонии, концертные залы, стадионы, бассейны, спортивные комплексы и т.п. – предназначенные для культурного отдыха, спортивных соревнований, физкультурных занятий городских жителей;

транспортные сооружения, предназначенные для эффективного и рационального функционирования городского и междугороднего транспорта – вокзалы, аэропорты, мосты, пространственные развязки автомобильных дорог, тоннели, метрополитены, депо и т.п;

промышленные здания, предназначенные для размещения в них производств, продукция которых обеспечивает нужды городских жителей – хлебозаводы, заводы по изготовлению строительных материалов, мебельные фабрики, ремонтные мастерские, швейные предприятия, кондитерские фабрики и т.п.

Кроме перечисленных зданий и сооружений в городах имеются сооружения, имеющие специфические конструктивные особенности и предназначенные для обеспечения функционирования всей городской инфраструктуры, безопасности и удобства городских жителей. Все такие сооружения можно выделить в одну группу: инженерные сооружения городов.

В курсе «Инженерные сооружения городов» рассматриваются именно такие, специфические, сооружения. Не рассматриваются инженерные сооружения промышленных предприятий, не предназначенных непосредственно для обслуживания нужд городов, а также инженерные сооружения, проектирование которых рассматриваются в специальных курсах учебных программ направления «Строительство».

Логическая схема рассмотрения инженерных сооружений городов в настоящем пособии такова. Вначале описываются основные типы инженерных сооружений городов и дается их классификация по назначению. Далее рассматриваются основные конструктивные типы инженерных сооружений городов и дается их классификация. Описываются расчетные

схемы, используемые при проектировании разных типов сооружений, а также упрощенные схемы, позволяющие без использования специализированных расчетных комплексов дать оценку работоспособности конструкций. Рассматриваются конкретные инженерные сооружения и их особенности с точки зрения назначения и условий эксплуатации, особенности действующих нагрузок и расчета, конструктивные решения и применяемые материалы. Там, где необходимо, приводятся сведения о методике определения нагрузок, действующих на сооружение.

Настоящее учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по программам направления «Строительство».

1 Классификация инженерных сооружений городов

1.1 Классификация инженерных сооружений городов по расположению относительно поверхности земли

Инженерные сооружения городов можно разделить на следующие конструктивные группы по расположению относительно земной поверхности: наземные, надземные и подземные. Основной объем, то есть та часть сооружения, в которой выполняются функции, определяющие назначение сооружения, **наземных** сооружений располагается непосредственно на земной поверхности. Основной объем **надземных** сооружений располагается на некоторой высоте от земной поверхности и соединяется с ней с помощью специальных опорных конструкций. Основной объем **подземных** сооружений располагается ниже отметки земной поверхности. Эта классификация в современных условиях больших городов в значительной степени условная, так как наземные сооружения могут иметь значительный объем подземной части, а подземные – соизмеримую по объему наземную часть. Надземные сооружения могут являться частью

наземного сооружения. Это обстоятельство при описании конкретных сооружений дополнительно оговаривается.

1.2 Классификация инженерных сооружений городов по назначению

По **назначению** инженерные сооружения городов можно разделить на следующие группы: транспортные, защитные, гидротехнические, погрузочно-разгрузочные, хранилища, сооружения связи, спортивные.

Транспортные инженерные сооружения предназначены для движения по ним пешеходов или материалов (транспортные сооружения, предназначенные для обеспечения движения транспортных средств, здесь не рассматриваются). Транспортные инженерные сооружения городов чаще всего протяженные: длина их заметно превосходит ширину и высоту. Необходимость в таких сооружениях возникает при невозможности движения непосредственно по поверхности земли, в целях обеспечения безопасности движения или для удобства коммуникации. Сооружения этой группы могут быть надземными и подземными.

К **надземным** транспортным сооружениям городов относятся:

- **пешеходные мосты**, с помощью которых осуществляется беспрепятственное пересечение дорог с интенсивным движением транспорта или пересечение железнодорожных путей на такой высоте над поверхностью земли, которая достаточна для проезда под мостами всех средств городского транспорта;

- пешеходные **галереи**, по которым можно перейти из одного здания в другое на уровне второго или более этажа;

- **транспортные галереи**, по которым с помощью размещенных в них конвейеров или транспортеров перемещается какой-либо сыпучий материал или предметы. Транспортные галереи часто имеют наклон кверху по направлению движения грузов;

- **пешеходные эстакады**, по которым можно непосредственно подняться пешком или въехать на транспортном средстве с уровня земли на второй этаж здания;

- **крановые эстакады**, служащие для перемещения ходовых тележек мостовых кранов контейнерных площадок железнодорожных станций.

К **подземным** транспортным инженерным сооружениям относятся:

- **подземные пешеходные переходы**, с помощью которых, так же как и пешеходных мостов, осуществляется беспрепятственное пересечение дорог с интенсивным движением транспорта или пересечение железнодорожных путей;

- **коммунальные каналы и тоннели**, в которых проложены трубы водоснабжения, канализации, теплоснабжения, газоснабжения и (или) кабели электроснабжения и связи. К этим сооружениям можно применить название транспортных сооружений, поскольку в них также осуществляется движение жидкости, газа и электрического тока;

- **канализационные коллекторы** – тоннели, по которым отводятся из города сточные воды, поступающие в них из канализационных труб;

- подземные сооружения **метрополитенов и трамваев**: станции, перегонные тоннели, эскалаторные тоннели, вентиляционные шахты и колодцы, пешеходные переходы между станциями. Эти сооружения проектируются и строятся специализированными строительными и проектными организациями и поэтому в настоящем пособии не рассматриваются.

К **защитным сооружениям** городов относятся **подпорные стены (стенки)**, предназначенные для предотвращения сползания (обрушения) грунта при вертикальных и круто наклонных откосах (склонах). Такая необходимость возникает при строительстве в городах, расположенных в пересеченной или горной местности, а также на берегах рек. К защитным сооружениям относятся подпорные стены, возведенные на дорогах, проложенных на склонах, и удерживающие в равновесии грунт,

расположенный по возвышенной стороне дороги. На рисунке 1 схематично показана подпорная стена, справа от которой находится грунт, удерживаемый от сползания стенами.

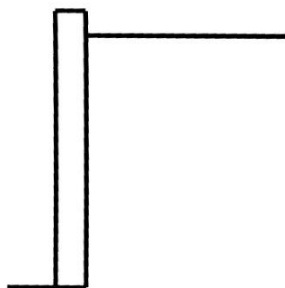


Рисунок 1 – Схема подпорной стены

К защитным сооружениям относятся также **набережные и береговые укрепления**, возводимые на берегах рек, пересекающих город, озер, морских берегах. Защитные сооружения находятся в непосредственном контакте с грунтовым массивом (в том числе и в силовом контактном взаимодействии) и поэтому могут быть также причислены и к подземным сооружениям.

Гидротехнические сооружения городов предназначены для обеспечения городов чистой водой. К гидротехническим сооружениям относятся:

- **водозаборные** тоннели и колодцы, по которым вода из водоемов поступает в очистные сооружения;
- **резервуары очистных сооружений**, в которых вода проходит отстаивание, очистку, обеззараживание и другие процедуры перед поступлением в городскую водопроводную сеть;
- **резервуары** для хранения воды;
- **водонапорные башни** – сооружения, с помощью которых обеспечивается стабильный напор в городской водопроводной сети.

К гидротехническим сооружениям городов могут также быть отнесены и коллекторные канализационные тоннели, которые выше были названы транспортными.

Гидротехнические сооружения преимущественно являются подземными или заглубленными. На рисунке 2 схематически показан заглубленный резервуар, основная часть которого находится под землей.

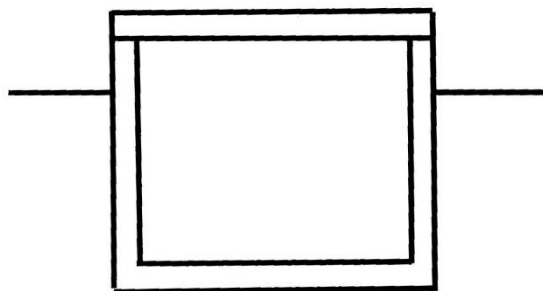


Рисунок 2 – Схема заглубленного гидротехнического резервуара

Исключение составляют водонапорные башни, относящиеся к сооружениям наземным.

К гидротехническим сооружениям весьма условно можно отнести также **градирни**, предназначенные для охлаждения воды, используемой в гидроэнергетических установках городов, снабжающих город электроэнергией. Градирни представляют собой круглые или прямоугольные в плане наземные полые сооружения значительных размеров. Внешний вид градирни схематично показан на рисунке 3.

Погрузочно-разгрузочные инженерные сооружения городов предназначены для кратковременного хранения, погрузки и разгрузки различного рода сыпучих материалов, необходимых для жизнеобеспечения городов (песок, щебень, гравий, цемент, уголь, зерно и т.п.).

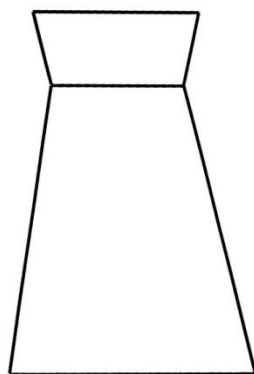


Рисунок 3 – Схематическое изображение градирни

Прежде всего, к этой группе сооружений относятся **бункера** (равнозначно - бункеры), которые представляют собой емкость, загружаемую сверху и разгружающуюся путем истечения сыпучего материала под действием собственного веса (саморазгружающуюся) через расположенную в донной части воронку (рисунок 4).

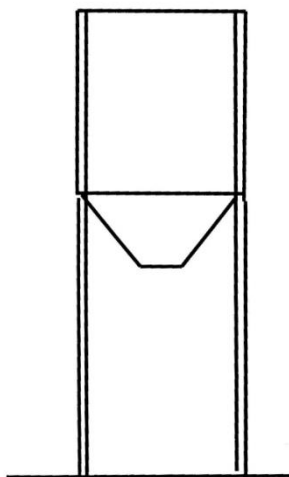


Рисунок 4 – Схема погрузочного бункера

Для того, чтобы бункер мог разгружаться непосредственно в средство транспорта, емкость находится на соответствующей высоте над

поверхностью земли, то есть сооружение чаще всего надземное. Бункера могут быть и подземными, служащими для упрощения самотечной разгрузки материала, находящегося на уровне земли. Примером могут служить разгрузочные железнодорожные бункера, в которые разгружается (высыпается) сыпучий материал из вагонов. Находящийся в таком бункере материал, в свою очередь, разгружается самотеком в находящуюся еще ниже под землей **транспортную наклонную галерею**, по которой с помощью конвейера (транспортера) перемещается в надземный погрузочный бункер. Таким образом, транспортная галерея тоже может быть отнесена к погрузочно-разгрузочным инженерным сооружениям городов (выше она была отнесена к транспортным сооружениям).

Хранилища – инженерные сооружения, предназначенные для хранения различных материалов, продуктов, машин, оборудования и т.п. К ним относятся **резервуары** для хранения воды, нефтепродуктов, газа, а также **силосы** для хранения сыпучих материалов. Резервуары для хранения жидкостей и газа могут быть наземными и подземными, цилиндрическими, призматическими и сферическими. Силосы представляют собой чаще всего цилиндрические высокие вертикальные сооружения, которые, как и бункера, имеют в донной части разгрузочную воронку. Рассмотренные выше бункера являются в какой-то степени и хранилищами, поскольку располагаемый в них материал может храниться до разгрузки достаточно много времени. К хранилищам можно отнести **автостоянки**, которые могут быть наземными и подземными. Наземные автостоянки представляют собой многоэтажное сооружение, состоящее из площадок, расположенных на разной высоте, на которых размещаются автомобили. Подземные автостоянки и гаражи аналогичны наземным и также могут быть многоярусными.

Сооружения связи предназначены для размещения на них оборудования для приема и отправки радиосигналов (антенных устройств). Эта группа сооружений представлена в основном различными типами **антенных башен** и **мачт**, на которых на значительной высоте над землей

укреплено антенное оборудование. Эти инженерные сооружения относятся к наземным, несмотря на то, что оборудование размещается на них на большой высоте, поскольку по существу являются только опорой для этого оборудования. Условно к этой группе сооружений могут быть отнесены также **опоры линий электропередач (ЛЭП)**, назначением которых является удержание электрических проводов на большой высоте над поверхностью земли.

Спортивные сооружения – это сооружения, обеспечивающие возможность для занятий спортом: стадионы, универсальные спортзалы, легкоатлетические манежи, бассейны, лыжные трамплины, теннисные и хоккейные корты и т.п. Основная масса спортивных сооружений – большепролетные здания, которые не могут быть отнесены к специфическим инженерным сооружениям. К инженерным сооружениям, обладающим присущим только им особенностью относятся **лыжные трамплины** (трамплины для прыжков на лыжах). Примерная схема лыжного трамплина изображена на рисунке 5.

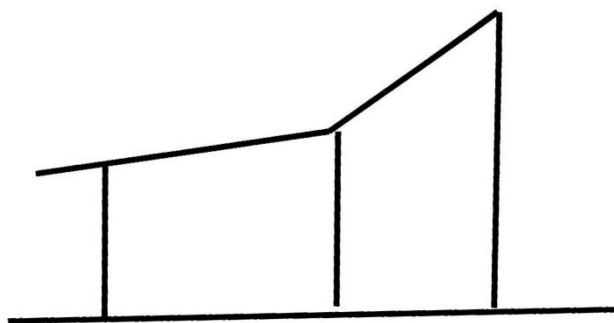


Рисунок 5 – Примерная схема лыжного трамплина

Прыгун на лыжах из верхней точки трамплина скользит по желобу вниз с возрастающей скоростью и, достигнув конца желоба, совершает полет на дальность. Разгонный желоб находится на значительной высоте над

поверхностью земли и опирается на специальные опоры. Следовательно, трамплин для прыжков на лыжах – надземное сооружение.

Большинство открытых спортивных сооружений оборудовано трибунами для зрителей, которые оснащены **козырьками (навесами)** (рисунок 6), защищающими зрителей от прямых солнечных лучей и осадков. Трибуны для зрителей, оснащенные козырьками представляют собой достаточно сложные инженерные сооружения.

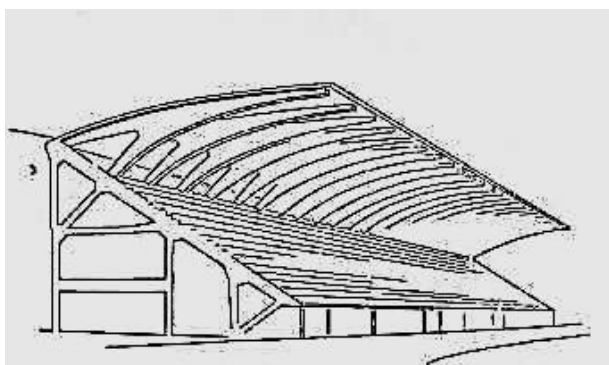


Рисунок 6 – Трибуна стадиона с козырьком

К инженерным сооружениям можно отнести еще и **вышки для прыжков в воду** (рисунок 7).

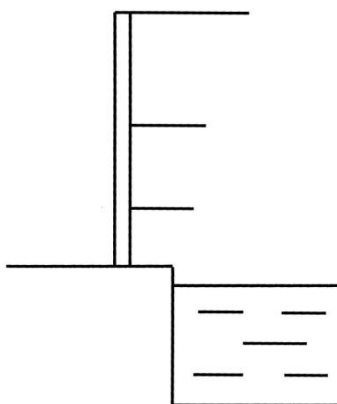


Рисунок 7 – Схема вышки для прыжков в воду

Таковыми вышками оснащены многие спортивные бассейны. Сооружение представляет собой вышку с площадками, с которых спортсмены выполняют прыжки в воду. Площадки находятся на разной высоте от поверхности воды – от 1 м до 10 м.

Как видно, рассмотренная классификация по назначению достаточно условная и ряд сооружений одновременно можно отнести к разным группам по назначению.

1.3 Классификация инженерных сооружений городов по конструктивным признакам

По **конструктивным** признакам инженерные сооружения можно разделить на несколько групп, имеющих общие конструктивные признаки: высотные сооружения; мостовые сооружения; этажерки; емкостные сооружения; подземные сооружения.

Конструктивной особенностью **высотных инженерных сооружений** является большая высота и весьма малые в сравнении с высотой размеры в плане. Высота отдельных высотных сооружений может достигать нескольких сотен метров. В то же время к высотным сооружениям относятся и относительно невысокие сооружения, если соблюдены указанные выше соотношения высоты и размеров в плане. Основной конструктивной проблемой высотных сооружений является обеспечение устойчивости положения. Причиной этого является то, что горизонтальные нагрузки, основной из которых является ветровая нагрузка, создают опрокидывающий момент, превышающий удерживающий момент, создаваемый силой тяжести. Эту разницу для обеспечения устойчивости положения должны компенсировать опорные связи сооружения с землей. При малых размерах сооружения в плане это весьма непростая задача. Поэтому более сложное конструктивное решение опорной части отличает сооружения этой группы от других инженерных сооружений. По способу соединения с землей высотные

сооружения можно подразделить на две подгруппы: башни и мачты. Примерами высотных инженерных сооружений являются радио и телевизионные вышки, отдельно стоящие дымовые и вытяжные трубы, опоры ЛЭП, прожекторные (осветительные) вышки, водонапорные башни, вышки для прыжков в воду.

Башни – высотные наземные сооружения, устойчивость положения которых полностью обеспечивается фундаментом. Пример башни показан на рисунке 8.

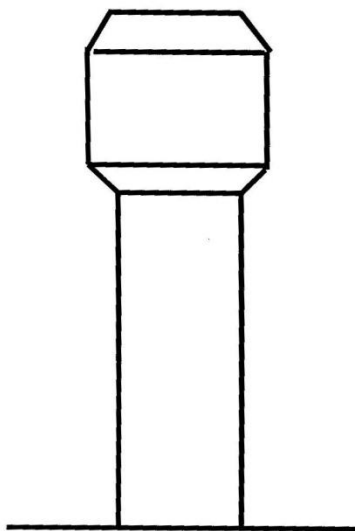


Рисунок 8 – Башня

Высота башен может достигать 100 и более метров, размеры в плане могут быть более 10 м. В плане башни имеют круглую, треугольную или прямоугольную форму, реже - многоугольную. Размеры поперечного сечения могут уменьшаться кверху. Конструкция ствола башни может быть сплошностенчатой (монолитной) или сквозной (решетчатой). Сплошностенчатые башни сооружаются из монолитного или сборного бетона и железобетона, из каменных материалов. В сквозных конструкциях башен используется железобетон и металл. Сквозные башни могут обшиваться каким-либо материалом. Внутренняя часть сплошностенчатых и

обшитых сквозных башен обычно используется для каких-либо вспомогательных целей. Для подъема на верхнюю часть башни, где располагается то или иное оборудование, делается лестничное отделение или лифт. При малых поперечных размерах башни, когда поместить лестничное отделение внутри башни невозможно, предусматривается наружная лестница.

Мачты – это высотные сооружения, устойчивость вертикального положения которых обеспечивается с помощью гибких связей, прикрепляемых к земле. Пример мачты показан на рисунке 9. Ствол мачты передает на фундамент только вертикальную нагрузку, а удерживается в вертикальном положении тремя или четырьмя гибкими связями - оттяжками (на рисунке 9 третьей оттяжки не видно). Геометрическую неизменяемость мачты в пространстве обеспечивают как минимум три оттяжки.

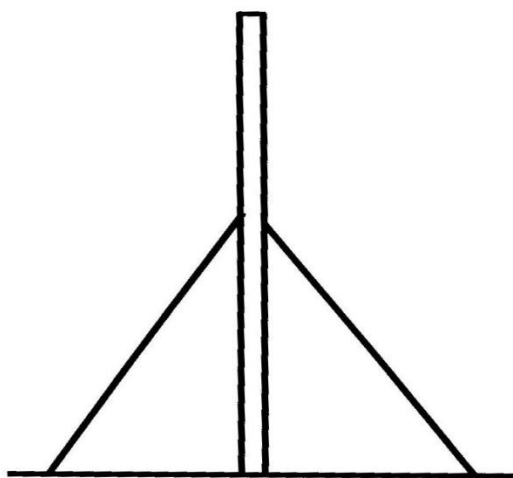


Рисунок 9 – Мачта

Оттяжки работают исключительно на растяжение, величина которого зависит от направления равнодействующей горизонтальных нагрузок.

Поэтому оттяжки должны быть надежно закреплены в фундаментах. При этом закрепление должно быть шарнирным.

Конструкция ствола мачты – сплошностенчатая (трубчатая) или сквозная (решетчатая). Форма ствола мачты в плане круглая, треугольная, квадратная, реже – шести- или восьмигранная. Материал ствола мачты – металл, сборный железобетон или их комбинация. Материал фундамента – монолитный или сборный железобетон.

Мостовые инженерные сооружения отличаются тем, что эксплуатируемая часть их, называемая **пролетным строением**, находится на некоторой высоте от поверхности земли и прикрепляется к земле с помощью специальных опорных элементов. Таким образом, эти сооружения являются надземными. Схема мостового сооружения показана на рисунке 10. Пролетное строение в данном случае опирается на две опоры, которые удерживают его в равновесии, как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскости. Пролетное строение может иметь консольные части (как на рисунке 10).

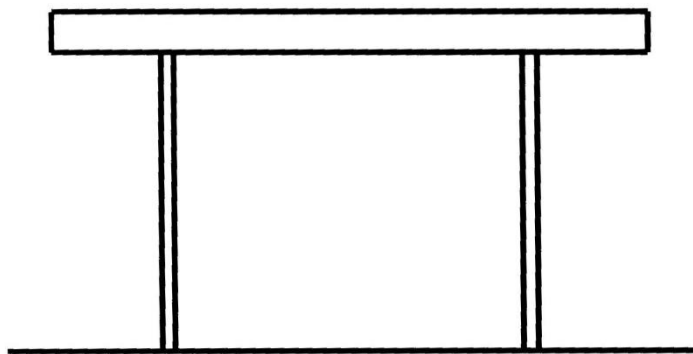


Рисунок 10 – Схема мостового сооружения

Соединение опор с пролетным строением и с землей может быть как жестким, так и шарнирным, но, во всяком случае, должно обеспечивать всей конструкции геометрическую неизменяемость. Количество опор зависит от протяженности сооружения. Опорами могут служить и два здания или

сооружения, между которыми находится пролетное строение. Мостовое сооружение в плане чаще прямолинейное, но может быть ломаным или криволинейным. Пролетное строение может иметь уклон. Пролетные строения могут быть открытыми (плоскими) и закрытыми (замкнутыми). Закрытые пролетные строения могут иметь прямоугольную или криволинейную (арочную или круглую) форму в поперечном сечении. Конструкция пролетного строения закрытого поперечного сечения решетчатая или в виде оболочки. Опоры представляют собой колонны, плоские фермы, колонны с подкосами, плоские рамы, пространственные фермы, массивные элементы. Соединение опор с пролетным строением – жесткое или шарнирное. Материал для изготовления мостовых сооружений: металл, сборный железобетон.

Чаще всего мостовые инженерные сооружения городов - это надземные транспортные сооружения: пешеходные переходы, транспортные галереи, эстакады. К мостовым инженерным сооружениям можно также отнести опорные эстакады мостовых грузоподъемных кранов железнодорожных станций, лыжные трамплины, козырьки (навесы) трибун стадионов.

Этажерки – инженерные сооружения, представляющие собой наземную открытую конструкцию, состоящую из нескольких расположенных друг над другом плоскостей, опирающихся на колонны. Этажерки имеют распространение на промышленных предприятиях, где они используются для размещения различного оборудования. В качестве инженерного сооружения городов примером может быть многоярусная открытая автостоянка. На рисунке 11 показана схема четырехэтажной автостоянки, представляющей собой пространственную раму. Материалом для этажерок чаще всего выступает железобетон, сборный или монолитный, реже металл.

Конструктивной проблемой этажерки является обеспечение жесткости конструкции, которая решается с помощью рамной, связевой или рамно-связевой систем. Другой конструктивной проблемой является устройство

заездов на этажи автостоянки, которая решается с помощью системы линейных пандусов или с помощью спирального заезда.

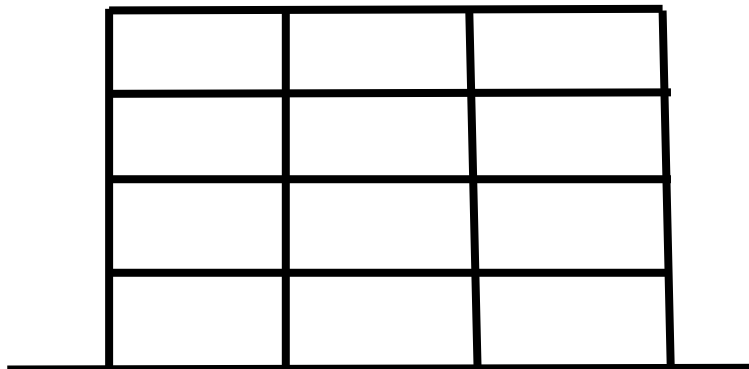


Рисунок 11 – Этажерка

Емкостные сооружения конструктивно представляют собой некоторый объем воздушного пространства (емкость, вместилище), ограниченный стенками и дном, препятствующими самопроизвольному истечению заполняющего его сыпучего или жидкого материала. Емкостное сооружение может иметь надземное, наземное и подземное расположение. При расположении над поверхностью емкость поддерживается специальными опорными конструкциями, при подземном расположении случае емкость представляет собой полость в грунтовом массиве. Емкостное сооружение является объемной полой конструкцией, предназначенной для размещения в ней какого-либо материала, и испытывает от этого материала внутреннее давление. Конструкция емкости в плане – прямоугольная или круглая. При прямоугольной форме стенки плоские. При расположении над поверхностью земли емкость опирается на колонны или стены, при наземном и подземном расположении емкость опирается на вмещающий ее грунт.

Материал емкостных сооружений – сборный и монолитный железобетон, монолитный бетон, металл.

Подземные сооружения представляют собой искусственно созданные выработки (пустоты, полости, выемки) в грунтовом массиве, защищенные от воздействия окружающего грунта инженерной конструкцией – **обделкой (крепью)**. Таким образом, от наземных сооружений подземные отличаются тем, что они окружены не атмосферным воздухом, а грунтом. Подземные сооружения конструктивно подразделяются на тоннели, колодцы и камеры.

Тоннели (равнозначно - туннели) – протяженные подземные сооружения. Профиль тоннеля горизонтальный (в действительности слабонаклонный для обеспечения стока возможной воды), реже наклонный. Поперечные сечения тоннелей могут быть прямоугольными, круглыми, сводчатыми и с более сложным очертанием. На рисунке 12 приведена схема профиля простейшего подземного сооружения - пешеходного перехода.

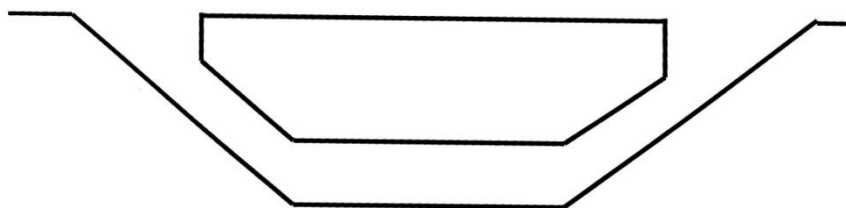


Рисунок 12 – Схема профиля подземного пешеходного перехода

Приведенный на рисунке переход состоит из горизонтальной части – тоннеля - и наклонных частей - выходов на поверхность, которые в данном случае являются наклонными тоннелями, переходящими в открытые сверху части - ramпы. На рисунке 13 изображена схема перехода в плане. Штриховой линией показана подземная часть - тоннель, сплошной – ramпы. Расположение тоннелей в плане (трасса) преимущественно прямолинейное, реже криволинейное. Тоннели мелкого заложения имеют преимущественно плоское перекрытие, тоннели глубокого заложения – сводчатое.



Рисунок 13 - Схема перехода в плане

Обделка тоннеля может быть замкнутой и незамкнутой конструкции. При незамкнутой конструкции несущим элементами являются стены и перекрытие. В замкнутой обделке в работу включается и подошва. Обделка тоннелей выполняется в основном из сборного и монолитного железобетона, стены и днище могут быть из монолитного и сборного бетона.

Чаще всего тоннели используются в качестве транспортных сооружений, но могут быть использованы и в качестве хранилищ, например, подземных гаражей и автостоянок.

Колодцы – прямолинейные вытянутые по вертикали подземные сооружения, имеющие непосредственный выход на поверхность земли (вход с поверхности). Колодцы имеют прямоугольное или круглое поперечное сечение. Схематическое изображение колодца показано на рисунке 14.

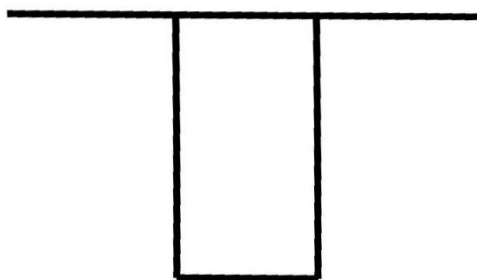


Рисунок 14 - Колодец

Горизонтальная линия на рисунке – поверхность земли. Глубина и поперечные размеры колодцев могут достигать нескольких десятков метров.

Обделки колодцев выполняются преимущественно из сборного или монолитного железобетона, реже – из бетона, кирпича, бутового камня.

Чаще всего такого типа подземные сооружения используются в качестве резервуаров гидротехнического назначения, хранилищ, смотровых сооружений коллекторов, вентиляционных шахт других подземных сооружений.

Камеры – подземные сооружения, все три измерения которых соизмеримы. Камеры в плане обычно прямоугольные, в поперечном сечении могут быть прямоугольными и сводчатыми. При больших пролетах и плоском перекрытии применяются колонны или пилоны. Сводчатые перекрытия применяются при значительной глубине расположения. Обделки камер обычно незамкнутые: днище не входит в силовую схему обделки. Фундаменты под стены и колонны аналогичны фундаментам наземных зданий соответствующего назначения. Обделки камер выполняются из монолитного и сборного железобетона. Стены и своды могут быть из монолитного бетона или каменных материалов.

Камеры широко применяются в качестве хранилищ, например, подземных парковок. Подземные вокзалы и станции метрополитенов также представляют собой камеры.

Подпорные стены, как было отмечено выше, также могут быть отнесены к подземным сооружениям. Конструктивно они представляют собой вертикальную, либо наклонную в сторону грунта стену. Устойчивость положения стены под опрокидывающим воздействием грунта обеспечивается собственным весом стены (массивные или гравитационные подпорные стены), заглублением стены в грунт, а также с помощью анкеров или специальной конфигурацией в поперечном сечении (гибкие подпорные стены). В плане подпорные стены обычно прямолинейные. Толщина массивных подпорных стен может изменяться по высоте, увеличиваясь книзу.

Материалом подпорных стен служит монолитный и сборный бетон и железобетон, кирпич, бутовый камень.

2 Упрощенные расчетные схемы инженерных сооружений

Расчет инженерных сооружений при проектировании в настоящее время осуществляется с помощью конечно-элементных пространственных компьютерных моделей различными специализированными вычислительными комплексами. Для предварительной оценки и задания исходных геометрических параметров инженерные сооружения желательно рассчитать с помощью упрощенных, доступных для «ручного» расчета расчетных схем. Многие инженерные сооружения поддаются упрощенному расчету с помощью плоских стержневых схем, теория расчета которых наиболее хорошо разработана. Расчетные схемы должны достаточно адекватно отражать работу сооружения и поддаваться реализации простыми вычислительными средствами. Ниже рассматриваются упрощенные расчетные схемы, применение которых возможно для оценочных расчетов различных конструктивных типов инженерных сооружений. Методика определения нагрузок на конкретное сооружение зависит не только от конструктивного типа, но в значительной степени от условий эксплуатации и поэтому в разной степени подробности рассматривается в разделах, посвященных конкретным инженерным сооружениям.

2.1 Расчетные схемы башен

Башни – высотные отдельно стоящие вертикальные сооружения, устойчивость положения которых обеспечивается жестким соединением с землей. Следовательно, моделировать ствол башни можно консольным стержнем, жестко защемленным в основании. В силу статической

определимости такой расчетной схемы внутренние усилия, возникающие при действии вертикальных и горизонтальных нагрузок (изгибающие моменты, поперечные и продольные силы), можно определить из уравнений равновесия независимо от конструкции башни. Для определения напряженного состояния в поперечном сечении стержня необходимо предварительно вычислить геометрические характеристики сечения (полого стержня): площадь, момент инерции, момент сопротивления. Подбор или проверку стержня (ствола башни) можно осуществить как для внецентренно-сжатой сплошностенчатой или сквозной колонны. Следует при этом иметь в виду, что башни часто имеют уменьшающееся с высотой сечение и расчетное сечение может оказаться не в заделке.

Важным вопросом является оценка динамической составляющей ветровой нагрузки. В большинстве случаев назначение башенных сооружений – расположение каких-либо объектов эксплуатации на заданной высоте над поверхностью земли. Так, например, таким объектом в водонапорной башне является емкость с водой. На телевизионной или радиобашне укрепляется антенное передающее и улавливающее оборудование. Осветительные приборы на стадионах также располагают на башнях. Следовательно, собственно башня – это опора для объекта эксплуатации. Таким образом, при учете динамической составляющей упрощенная расчетная схема башни может быть представлена вертикальным стержнем, в верхней части которого расположена одна или несколько сосредоточенных масс (емкость с водой, прожектор, антенны). Для определения пульсационной составляющей ветровой нагрузки нужно знать частоту собственных колебаний башни. Решая эту задачу в первом приближении можно рассматривать башню как защемленный стержень с одной степенью свободы, размещая всю массу башни в верхней точке стержня.

Упрощенную расчетную схему башен можно применить и для оценки прочности и устойчивости силоса. Силос – это высотное сооружение для

хранения сыпучих материалов, в частности зерна, песка, щебня, цемента. Особенностью является то, что в силосах масса не сосредоточена вверху сооружения, а распределена по высоте равномерно. Есть особенность и в эксплуатационных нагрузках. Сыпучая масса, хранящаяся в силосе, оказывает внутреннее горизонтальное давление на стенки сооружения. Поэтому определение напряжений, вызванных этим давлением, осуществляется как в оболочках. Однако упрощенно напряжения, действующие в горизонтальной плоскости, можно определить, рассматривая расчетное сечение ствола как замкнутый стержневой контур.

2.2 Расчетные схемы мачт

Мачты имеют такое же назначение, как и башни, но, в отличие от башен, опираются на фундамент чаще шарнирно и только вертикально, а в горизонтальном направлении удерживаются в равновесии с помощью гибких оттяжек, которые крепятся к земле с помощью анкеров. Расчетная схема мачты более адекватно, чем расчетная схема башни представляется в виде стержневой, поскольку ствол мачты имеет малое по сравнению с башней поперечное сечение. Оттяжки в этой расчетной схеме играют роль стержневых опор, работающих только на растяжение. Ствол мачты представляется стержнем, работающим на изгиб со сжатием. Стержень имеет вертикальную опору в основании ствола мачты и односторонние стержневые наклонные опоры в местах крепления оттяжек к стволу.

Геометрическая неизменяемость мачты в пространстве обеспечивается при наличии не менее трех оттяжек. При большем количестве система становится статически неопределимой. Однако в действительности «лишние» оттяжки фактически перестают работать в силу своей гибкости. Поэтому при статическом расчете можно их не учитывать. При статическом расчете мачты определяются усилия в оттяжках, обеспечивающие равновесие

при всех возможных сочетаниях нагрузок. кроме того, определяются изгибающие моменты, поперечные и продольные силы в стволе мачты. При определении перемещений необходимо учитывать упругое удлинение оттяжек.

Определение частоты собственных колебаний ствола мачты можно приближенно осуществить аналогично стволу башни.

С точки зрения расчета к башням и мачтам можно отнести и такие высотные инженерные сооружения городов как дымовые и вытяжные трубы. В зависимости от конструктивной схемы – наличия или отсутствия оттяжек – расчет осуществляется по той или другой из только что рассмотренных расчетных схем. Особенностью является здесь то, что масса в дымовых и вытяжных трубах распределена по всей высоте сооружения (равномерно, при неизменном поперечном сечении по высоте, или неравномерно – при переменном сечении).

2.3 Расчетные схемы мостовых сооружений

Расчетной схемой мостового сооружения может служить стержневая система в виде расположенной в вертикальной плоскости плоской рамы, в которой горизонтальным элементом является пролетное строение, а вертикальными – опоры. В продольном направлении опоры могут быть приняты абсолютно жесткими (продольными деформациями в опорах можно пренебречь). На рисунке 15 приведен вариант расчетной схемы, на которой пролетное строение – балка с двумя консолями, опоры соединены с пролетным строением шарнирно (изгибающие моменты с пролетного строения не передаются на опоры), с землей – жестко (поворот опорного сечения невозможен).

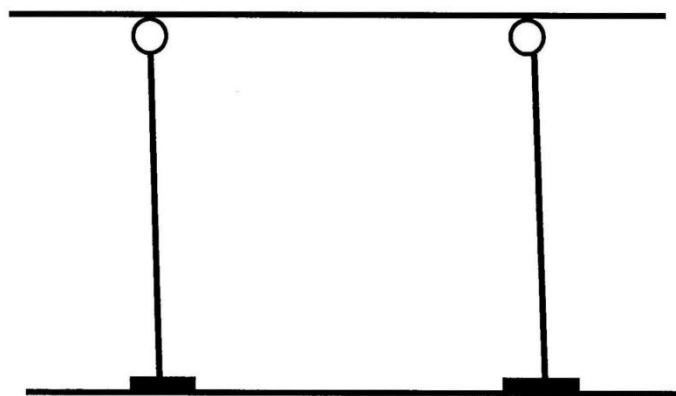


Рисунок 15 – Схема с жесткими опорами

Если пролетное строение представляет собой ферму, то полученные в результате расчета балочные изгибающие моменты, поперечные и продольные силы могут быть использованы для определения усилий в стержнях пролетного строения методом сечений. Аналогичная операция может быть проведена для опор, если они имеют решетчатую конструкцию.

На рисунке 16 приведена более сложная расчетная схема, в которой пролетное строение – разрезная балка с двумя консолями, крайние опоры соединены с пролетным строением жестко (изгибающие моменты с пролетного строения передаются на опоры), средняя – шарнирно. Опоры соединяются с землей шарнирно (поворот опорного сечения возможен).

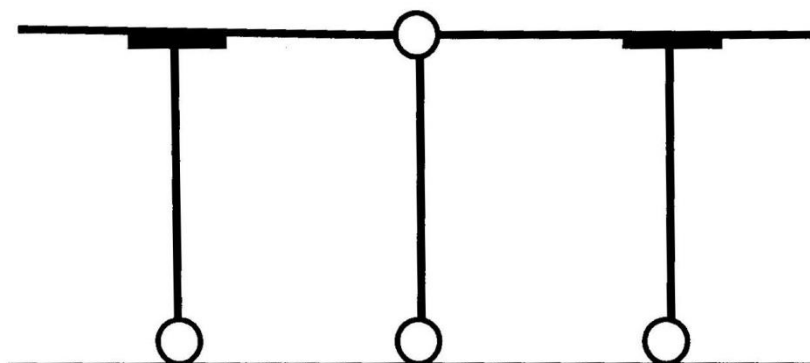


Рисунок 16 – Схема с разрезной конструкцией пролетного строения

В зависимости от количества элементов расчетной схемы и способов их соединения между собой и с землей расчетные схемы могут быть статически определимыми и неопределимыми, но вполне доступными для «ручного» расчета. При формировании расчетной схемы необходимо обеспечить ее геометрическую неизменяемость и соответствие типа соединений элементов принятым конструктивным решениям.

Рассмотренные и другие варианты плоских расчетных схем используются для определения внутренних усилий от нагрузок, действующих в вертикальной плоскости, совпадающей с плоскостью расчетной схемы (собственный вес, снеговая, ветровая, действующая вдоль пролетного строения). Но на конструкцию оказывает влияние и ветровая нагрузка, действующая в поперечном по отношению к пролетному строению направлении. При закрытом типе пролетного строения такая ветровая нагрузка может быть весьма значительной. Для определения усилий, вызванных в мостовой конструкции этой нагрузкой, строятся расчетные схемы в горизонтальной плоскости. Пролетное строение также может быть моделировано балкой (рисунок 17). Особенностью здесь является то, что опоры в горизонтальном направлении являются податливыми. Учет этого обстоятельства в статически неопределимых схемах вносит дополнительные вычислительные сложности, но технически вполне доступен при «ручном» расчете.



Рисунок 17 – Расчетная схема пролетного строения в горизонтальной плоскости

Реакции опор, определенные в результате расчета балки, являются горизонтальной нагрузкой при расчете опор. Расчетная схема при расчете

опор может представлять собой сплошностенчатый или сквозной стержень, плоскую раму (рисунок 18) или ферму (рисунок 19).

Балочное представление пролетного строения дает возможность определять внутренние усилия (изгибающие моменты, продольные и поперечные силы), которые возникают при работе конструкции в вертикальной и горизонтальной плоскости. Если пролетное строение – закрытого типа, то оно представляет собой пространственную конструкцию, чаще всего – пространственную ферму. В свою очередь, эта ферма может быть представлена двумя парами вертикальных и горизонтальных ферм, соединенных между собой шарнирно. Нагрузка на каждую из двух ферм, составляющих пару, принимается одинаковой.

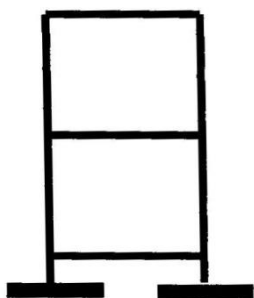


Рисунок 18 – Рамная опора

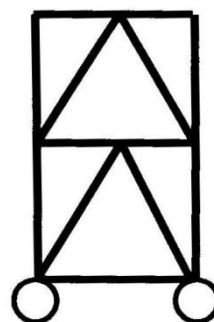


Рисунок 19 – Ферменная опора

Усилия в элементах ферм могут быть определены из балочной схемы: усилия в поясах – через балочные изгибающие моменты и продольные силы, усилия в решетке – через балочные поперечные силы. Элементы пролетного строения, непосредственно воспринимающие нагрузку от перемещаемого груза или людского потока, могут рассматриваться как простые балки, опирающиеся на соответствующие узлы вертикальных ферм.

Если пролетное строение выполнено оболочкой или из пластин, образующих жесткий замкнутый контур, то напряженное состояние в

конструкции может быть определено так же как в стержне с полым поперечным сечением соответствующей формы.

Мостовые сооружения кроме статической нагрузки от собственного веса конструкции, перемещаемого груза или людского потока, снега и ветра испытывают горизонтальную пульсационную нагрузку от ветра и динамическую вертикальную нагрузку от движения людей. Для правильного учета динамической составляющей важно знать собственную частоту свободных колебаний конструкции. Расчетную схему мостового перехода и в этом случае также можно представить в виде стержневой шарнирной системы. Массу пролетного строения можно упрощенно представить в виде двух сосредоточенных масс, симметрично расположенных в каждом пролете. Следует сказать, что и такие, весьма упрощенные схемы, при определении частоты собственных колебаний требуют значительного объема вычислений и лучше для этого использовать тот или иной вычислительный комплекс.

2.4 Расчетные схемы емкостных сооружений

Емкостные сооружения являются объемными сооружениями, но оценочный расчет их можно осуществить по упрощенным плоским стержневым схемам. Особенность емкостных сооружений в том, что вертикальные стенки емкости кроме вертикальной воспринимают также горизонтальную нагрузку, создаваемую находящимся внутри емкости материалом – сыпучим или жидким. Определение внутренних усилий в элементах емкости может быть проведено по следующим стержневым расчетным схемам.

Схема с обозначениями размеров элементов емкости, используемых при записи условий применимости той или иной расчетной схемы, приведена на рисунке 20.

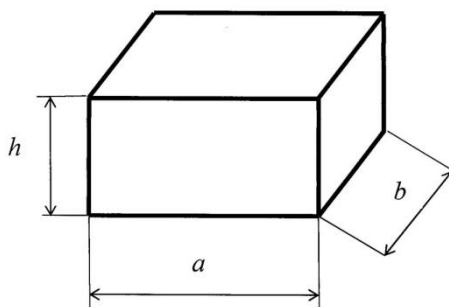


Рисунок 20 – Схема емкости

При соотношении размеров емкости, определяемых неравенствами:
 $1,2 \leq \frac{a}{b} \leq 3$ и $\frac{h}{a} \leq 2$, расчетная схема стенки представляет собой стержень, защемленный нижним концом и шарнирно неподвижный на верхнем (рисунок 21).



Рисунок 21 – Расчетная схема стенки с неподвижным верхним концом

Ограничение горизонтального перемещения верхнего конца вызвано влиянием жесткости узлов сопряжения стенок ввиду их близкого расположения.

При вытянутой в плане форме емкости и малой высоте (соотношение размеров емкости $\frac{a}{b} > 3$ и $\frac{a}{h} > 2$) расчетная схема стенки представляет

собой стержень, защемленный нижним концом при свободным верхним (рисунок 22).



Рисунок 22 – Расчетная схема стенки со свободным верхним концом

В этом случае сопряжения стенок находятся на большом расстоянии и влияние их жесткости мало. Поэтому верхний конец можно считать свободным.

При большой высоте емкости и примерно равных размерах в плане (соотношение размеров $\frac{a}{b} \leq 1,2$ и $\frac{h}{a} > 2$) стенки рассчитывают по рамной схеме: в горизонтальной плоскости на высоте более $0,5a$ от днища как замкнутую раму (рисунок 23).

В донной части до высоты $0,5a$ расчетная схема - вертикальная незамкнутая рама (рисунок 24), состоящая из нижней части стенок и днища, жестко соединенного со стенками.



Рисунок 23 – Замкнутая горизонтальная рама



Рисунок 24 – Незамкнутая вертикальная рама у днища

2.5 Расчетные схемы подземных сооружений

Подземные инженерные сооружения городов – массивные пространственные конструкции, находящиеся в сложном взаимодействии с грунтовым массивом, поэтому точный расчет их выполняется по пространственным схемам, который может быть реализован только с помощью совершенных компьютерных комплексов методом конечных элементов. Однако и подземные сооружения приближенно могут быть рассчитаны с помощью стержневых расчетных схем с точностью, достаточной для вполне корректной оценки их работоспособности. Главной задачей при таком расчете является определение расчетных нагрузок, адекватно описывающих взаимодействие обделки подземного сооружения с грунтовым массивом.

Так, если достаточно точно найдены нагрузки, моделирующие взаимодействие грунта с подпорной стеной, то расчетная схема этого простейшего подземного сооружения – консольный стержень, жестко заделанный в землю.

В простейших расчетных схемах обделки подземных сооружений представляются плоскими стержневыми системами, замкнутыми или не замкнутыми. Наиболее распространенными являются замкнутые стержневые бесшарнирные схемы круглого и прямоугольного очертания (рисунок 25).



Рисунок 25 – Простейшие бесшарнирные замкнутые расчетные схемы подземных сооружений

В зависимости от типа сооружения, конструктивной схемы и материала обделки замкнутая стержневая система может быть шарнирной как на рисунке 26. Более сложные замкнутые схемы представлены на рисунке 27.

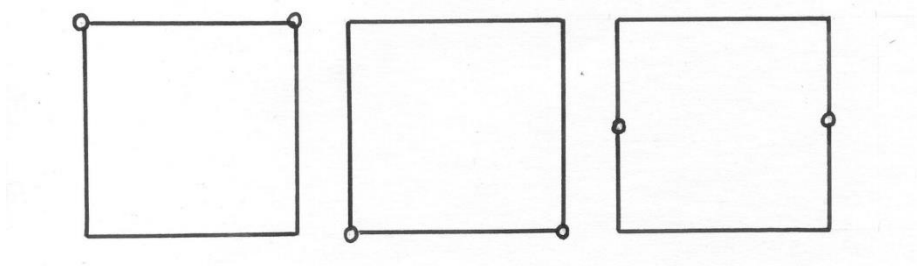


Рисунок 26 – Шарнирные замкнутые расчетные схемы

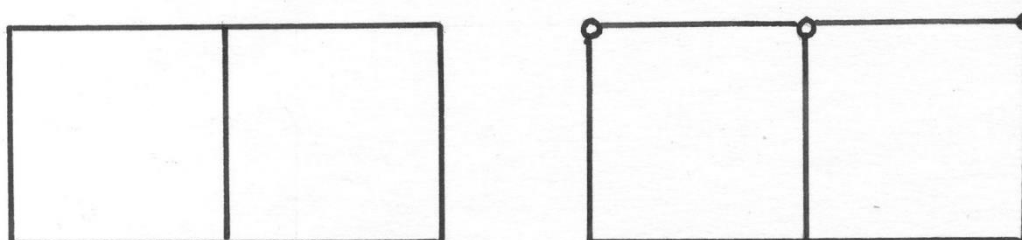


Рисунок 27 – Двухсекционные схемы подземных сооружений

Замкнутые схемы рассматриваются в состоянии равновесия под действием нагрузок. Следует заметить, что при формировании замкнутой расчетной схемы система действующих на конструкцию нагрузок должна быть самоуравновешенной: равнодействующая всех внешних сил и главный момент должны быть равны нулю.

Равновесие сооружений, моделируемых незамкнутыми стержневыми системами, обеспечивается жесткими точечными опорами, упругими точечными или распределенными податливыми (упругими) опорами. Незамкнутые расчетные схемы (рисунок 28) возникают при моделировании незамкнутых обделок подземных сооружений, когда обделка в подошве (почве) выработки лишь ограждает сооружение от грунта и носит косметический характер, не взаимодействуя с несущей конструкцией обделки.

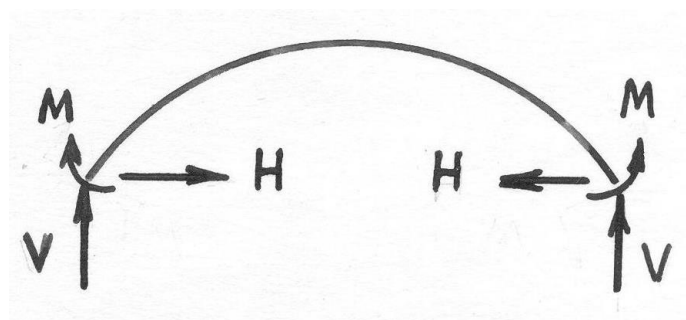


Рисунок 28 – Незамкнутая расчетная схема подземного сооружения

В этом случае обделка подземного сооружения работает как наземное сооружение, равновесие которого обеспечивается соответствующими величинами опорных реакций.

При рассмотрении конкретных инженерных сооружений городов будут описаны некоторые другие расчетные схемы, формирование которых связано со спецификой сооружения и внешних воздействий.

3 Высотные сооружения

3.1 Башни

Инженерные сооружения городов, относящиеся к категории «башни», как было отмечено выше, предназначаются для размещения на некоторой высоте, как правило, большей в сравнении с размерами в плане, над поверхностью земли какого-либо инженерного оборудования. Конструктивная общность башен – жесткое опирание на землю, обеспечивающее устойчивость вертикального положения без дополнительных связей. Основная эксплуатационная нагрузка на башню – вертикальная и связана с весом располагаемого в ней оборудования. Из атмосферных воздействий основное – ветровое давление. Снеговая нагрузка невелика в сравнении с собственным весом конструкции из-за небольшой площади башни в плане. Собственный вес башни, в свою очередь, зависит от типа конструкции ствола башни: сплошностенчатой или сквозной. В сплошностенчатой башне основные несущие элементы конструкции – стены, в сквозной – колонны (стойки). Стены башен могут быть выполнены из монолитного или сборного бетона или железобетона, кирпича или других каменных материалов, значительно реже – из стали. Колонны или стойки могут быть выполнены из железобетона или стали. Поперечное сечение башни – круглое, треугольное, прямоугольное, реже многоугольное. Башни могут быть с постоянным по высоте сечением или с переменным, уменьшающимся кверху.

3.1.1 Водонапорные башни

Классическим примером инженерных башен являются водонапорные башни (рисунок 29). Водонапорная башня предназначена для обеспечения и поддержания необходимого напора в городском водопроводе. Этот напор

организуется с помощью емкости для воды (бака), располагаемой на достаточной высоте над поверхностью земли. Бак может быть металлическим (стальным) или железобетонным. Высота башен до низа бака обычно от 6 до 36 м. Водонапорные башни строятся на участке города с наибольшей вертикальной отметкой.

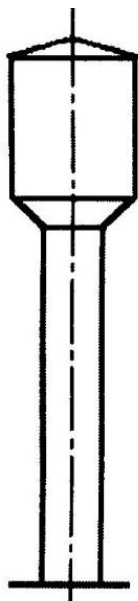
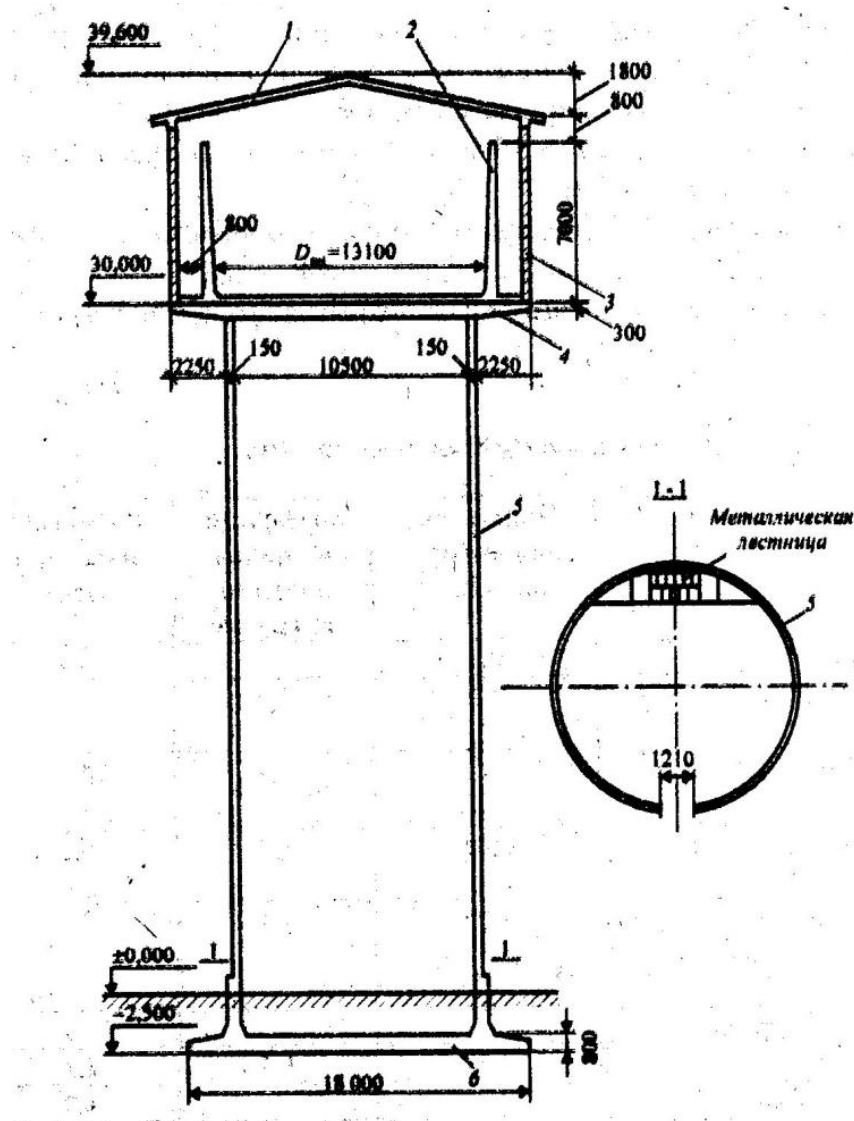


Рисунок 29 – Схема водонапорной башни

Верхняя часть башни, в которой находится бак с водой, называется шатром, нижняя, опорная часть – стволом. На рисунке 30 приведен разрез водонапорной башни наиболее распространенной конструкции. Основное оборудование, размещаемое в башне – цилиндрический резервуар для воды (2). В данном случае он выполнен из железобетона. Резервуар расположен в утепленном шатре (3) из кирпичной кладки с железобетонным куполом (1). Резервуар опирается на монолитное железобетонное перекрытие (4). Шатер опирается на цилиндрический ствол из монолитного железобетона (5).

Жесткое опирание ствола башни на землю обеспечивается железобетонной фундаментной плитой (6).



1 – купол; 2 – резервуар; 3 – шатер; 4 – перекрытие; 5 – ствол; 6 – фундамент.

Рисунок 30 – Водонапорная башня в разрезе

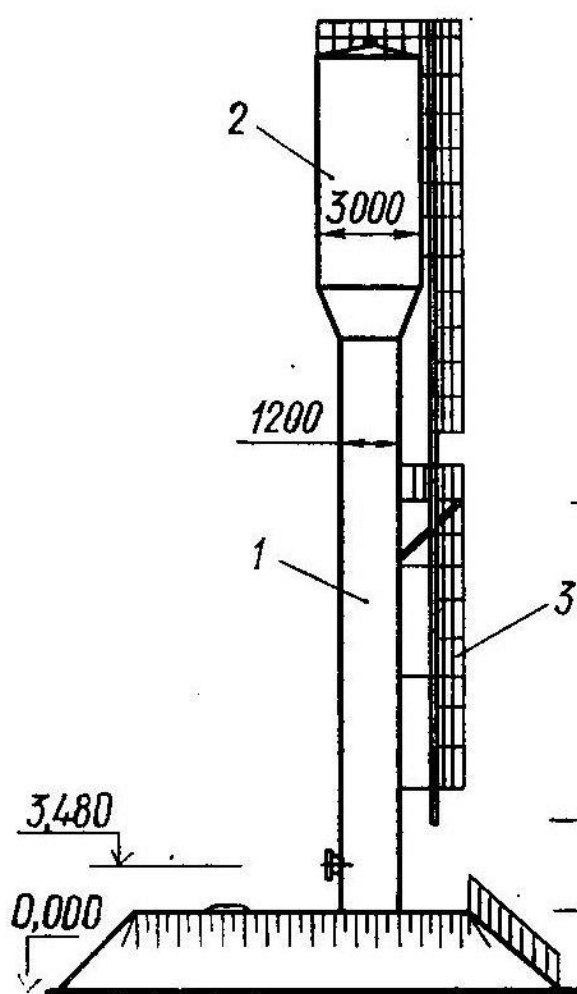
Башни со сплошными стволами - массивные и сооружаются в основном из монолитного бетона, железобетона (монолитного и сборного) и каменных материалов. При постоянном обмене воды в баке необходимость в утепленном шатре отпадает, так как образующийся в зимнее время лед находится на поверхности воды и не препятствует обмену.

На рисунке 31 показана бесшатровая водонапорная башня со стволом из сборных железобетонных колец и неутепленным стальным баком. В плане такие башни чаще всего круглые, реже прямоугольные и многоугольные. Фундамент башен – монолитный, бетонный или железобетонный, в виде плиты или кольцевой.



Рисунок 31 – Железобетонная водонапорная башня

Эксплуатационной нагрузкой водонапорных башен является собственный вес находящейся в резервуаре (баке) воды. Емкость баков достигает 1000 м^3 . Водонапорные башни с небольшим по объему баком (до 50 м^3) могут сооружаться со сплошным цилиндрическим стальным стволом диаметром до 3 м из листовой стали. В этом варианте обслуживание башни может осуществляться только снаружи. Поэтому в башне предусматривается устройство наружной лестницы (рисунок 32).



1- ствол; 2 – бак; 3 – лестница.

Рисунок 32– Стальная водонапорная башня

Сквозные стволы водонапорных башен представляют собой конструкцию колонного, рамного или ферменного типа. Ствол колонного типа состоит из трех или более колонн, на которые опирается шатер с резервуаром. Водонапорная башня рамного типа показана на рисунке 33. Ствол данной башни представляет собой пространственную железобетонную шестиугольную в плане раму. Колонны жестко соединены между собой ригелями, образуя в целом жесткую рамную систему.



Рисунок 33 - Водонапорная башня со стволом рамного типа

Ферменная конструкция ствола башни ясна из схемы, показанной на рисунке 34. В этом варианте стальные колонны соединены между собой системой диагональных и горизонтальных связей, образуя пространственную ферму.

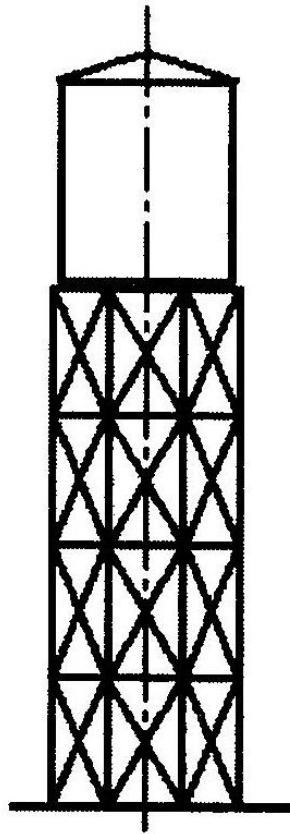


Рисунок 34 – Водонапорная башня с ферменным стволом

3.1.2 Башни опорного назначения

Рассмотренные варианты конструкций водонапорных башен дают общее представление о конструкциях башен и другого назначения. Башни широко используются в качестве опорных конструкций для более легкого, чем емкости для воды, оборудования: антенных устройств, осветительных приборов (фонарей, прожекторов), а также в качестве опор высоковольтных линий электропередач. Такие башни преимущественно являются сквозными стальными конструкциями ферменного типа. Примеры опорных башен ферменного типа приведены на рисунке 35.

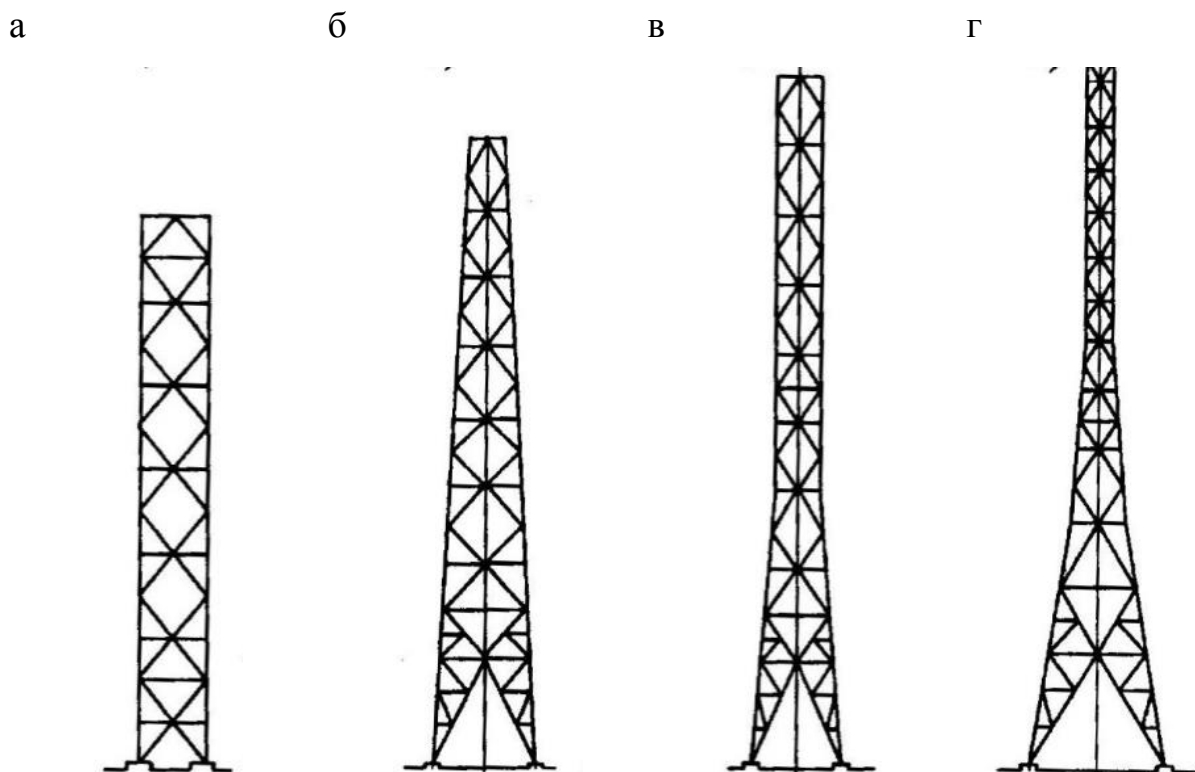


Рисунок 35 - Башни ферменного типа

Как видно из рисунка 35 сквозные башни могут быть постоянного сечения в плане (а); переменного монотонно уменьшающегося кверху (б); переменного до некоторой высоты, а затем постоянного сечения (в); переменного с изменением сечения по криволинейному закону (г). Эксплуатационной нагрузкой таких башен является вес оборудования (антенн, фонарей, прожекторов, изоляторов и проводов и т.п.), прикрепляемого к элементам конструкции в ее верхней части. Вес оборудования обычно намного меньше собственного веса башни, и поэтому выбор наиболее экономичной по расходу материала конструкции является одной из важнейших задач при проектировании. Внешний вид эффективной конструкции антенной башни показан на рисунке 36.



Рисунок 36 – Стальная решетчатая башня

Высота антенных башен составляет десятки и даже сотни метров. Конфигурация башни в плане чаще всего – треугольная или четырехугольная. Сквозные башни опираются на землю с помощью трех или четырех ног, шарнирно или жестко закрепленных в отдельных фундаментах или в фундаментной плите.

Наиболее опасной нагрузкой сквозных опорных башен является ветровая, хотя она значительно меньше, чем в сплошностенчатых башнях. Большая высота таких башен уменьшает собственную частоту свободных колебаний конструкции, что увеличивает динамическую составляющую ветровой нагрузки.

К башенным инженерным сооружениям можно также отнести дымовые и вытяжные трубы, поскольку они тоже являются консольными высотными конструкциями, жестко опирающимися на землю. С помощью дымовых и вытяжных труб выбрасываются продукты горения или загрязненный воздух таким образом, чтобы рассеяние происходило на большой высоте над поверхностью земли. Ствол трубы – сплошностенчатый, постоянного или (чаще) уменьшающегося кверху сечения в плане. Материал труб монолитный железобетон, листовая сталь, реже – кирпичная кладка. Особенностью дымовых труб является контакт с горячими агрессивными газами, поэтому внутренняя поверхность труб покрывается футеровкой, а расчет производится, кроме тех же воздействий, что и другие башни, на воздействие высокой температуры.

3.1.3 Упрощенный расчет ствола башни

Упрощенный расчет ствола башни, как было отмечено выше, производится по схеме вертикального консольного стержня. Изгибающие моменты определяются от ветровой нагрузки, продольные силы от собственного веса конструкции и расположенного на башне оборудования. В высоких башнях учитываются также дополнительные изгибающие моменты, возникающие при отклонении башни от вертикали при ветровой нагрузке. В сквозных башнях возможны нагрузки от гололеда.

Наибольшее нормальное напряжение при проверке или подборе толщины сплошного ствола башни из однородного материала (бетон, сталь) определяется по известной формуле

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W}, \quad (1)$$

где N и M , соответственно, балочные продольная сила и изгибающий момент в расчетном сечении ствола башни,

A и W - соответственно, площадь поперечного сечения и момент сопротивления поперечного сечения ствола башни.

Так, при круглой в плане башне площадь сечения

$$A = \frac{\pi}{4}(d_1^2 - d_2^2), \quad (2)$$

где d_1 и d_2 – соответственно, наружный и внутренний диаметры ствола башни;

момент сопротивления сечения

$$W = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{d_1^4 - d_2^4}{d_1}. \quad (3)$$

Величина напряжения не должна превышать значения расчетного сопротивления материала ствола башни.

При переменном сечении ствола такую проверку надо выполнять для разных сечений с учетом действительной величины изгибающего момента и продольной силы на данной высоте.

При проверке (подборе) элементов сквозной башни величины изгибающих моментов, поперечных и продольных сил, полученные при расчете по схеме вертикальной консольной балки, пересчитываются на усилия в элементах. Так, при расчете сквозной квадратной в плане башни усилия в поясах определяются по формуле

$$S_1 = \frac{N}{4} \pm \frac{M}{b}, \quad (4)$$

где b – ширина башни по осям поясов,

усилия в элементах крестовой решетки - по формуле

$$S_2 = \frac{Q}{4 \sin \alpha}, \quad (5)$$

где Q – балочная поперечная сила,

α - угол между раскосом и вертикалью;

усилия в элементах раскосной решетки - по формуле

$$S_2 = \frac{Q}{2 \sin \alpha}. \quad (6)$$

3.1.4 Градирни

Градирня представляет собой инженерное сооружение, предназначенное для охлаждения воды при оборотной системе водоснабжения. В городских условиях градирни применяются в тепловых и атомных электростанциях, снабжающих город электроэнергией и теплом. В градирнях используются два варианта охлаждения воды: испарительный и радиаторный. Соответственно градирни называют испарительными и радиаторными. Более эффективные испарительные градирни получили большее распространение. Принцип действия испарительных градирен основан на потере тепла водой, находящейся в струйном, капельном или пленочном состоянии, при прохождении сквозь поток воздуха. По организации потока воздуха испарительные градирни бывают открытыми, вентиляторными и башенными. Открытые градирни представляют собой башенное сооружение со стенами типа жалюзи, через щели в которых

проникает ветер, охлаждающий внутри сооружения воду. В вентиляторных градирнях противоточный по направлению движения падающей воды поток воздуха создается вентиляторами. Внутри башенных градирен восходящее движение воздуха создается за счет разницы давлений воздуха в нижней и верхней частях сооружения. Открытые и вентиляторные градирни с точки зрения особенностей конструкции и размеров интереса не представляет. Башенные градирни, наоборот, как правило, имеют большую (до 100 и более метров) высоту и впечатляющие поперечные размеры, достигающие 60 м в верхней части и 120 м в основании (рисунок 37). В дальнейшем изложении речь пойдет о башенных градирнях.

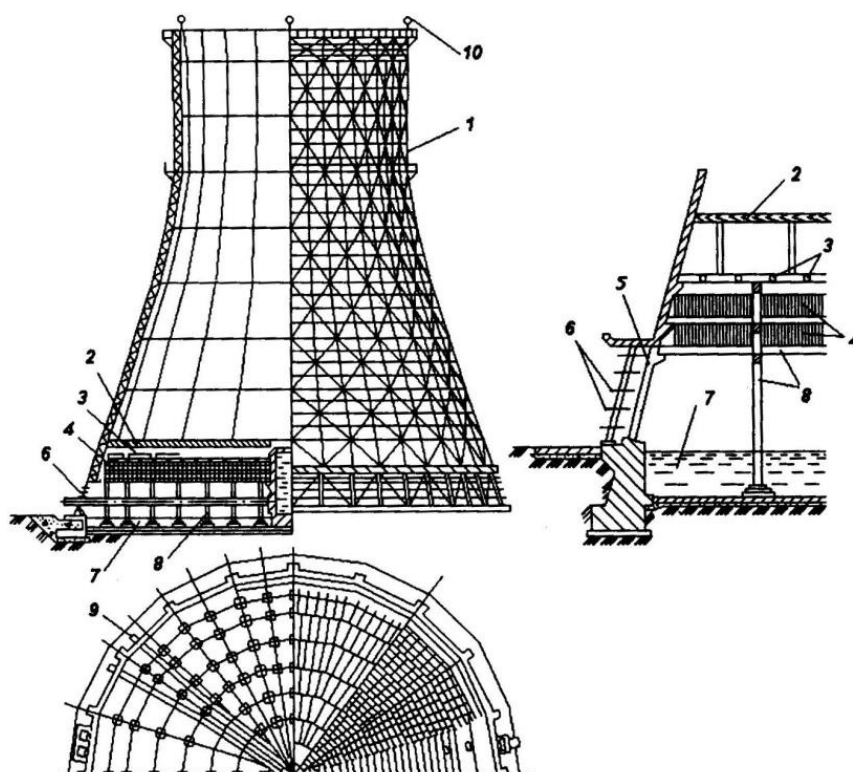


Рисунок 37 - Градирни

Башенные градирни имеют форму пологого, открытого сверху, усеченного конуса или полой усеченной пирамиды с небольшим расширением в верхней (выходной) части. Стены градирни выполняются чаще всего из железобетона, а также в виде стального каркаса с обшивкой изнутри деревянными щитами, асбоцементными, алюминиевыми или полимерными листами.

Общее представление о конструкции градирни можно получить из рассмотрения рисунка 38, на котором показан общий вид и разрез одного из вариантов противоточной стальной градирни башенного типа с пространственным металлическим ферменным каркасом (1). Вода поступает в градирню по подводящему водопроводу (9), расположенному в донной части. С помощью водораспределительной системы (3) вода поступает в оросительное устройство (4). Атмосферный воздух поступает в градирню через воздухоудвные отверстия (6), которые расположены ниже оросительной системы. Движение воздуха вверх происходит естественным путем благодаря большой высоте башни. Регулирование количества воздуха, поступающего в градирню, производится с помощью воздухорегулирующего устройства (5). Проходя сквозь оросительное устройство воздух нагревается и увлажняется. При движении влажного воздуха вверх по башне происходит конденсация пара. Конденсат скапливается в водоуловителе (2) и стекает в водосборный бассейн (7), откуда откачивается в обратную водопроводную систему. Глубина водосборного бассейна достигает 2 м. Располагается бассейн в подземной части градирни, которая выполняется из железобетона. Конструкция оросителя крепится на каркасе (8). Поскольку градирня является высотным сооружением, наверху башни устанавливаются фонари светового ограждения (10).

Внутренняя поверхность градирни подвергается воздействию влажного воздуха (относительная влажность – 100 %). Поэтому она защищается обшивкой.



1 – каркас; 2 – водоуловитель; 3 – водораспределитель; 4 – ороситель;
5 - регулятор воздуха; 6 – воздуходувные отверстия; 7 – бассейн; 8 –
каркас; 9 – подводный водопровод; 10 – фонари.

Рисунок 38 - Стальная градирня башенного типа

Нагрузки, которые учитываются при расчете градирен, следующие. Постоянные нагрузки: собственный вес конструкции и вес обшивки. Кратковременные нагрузки: снеговая с учетом возможной наледи и ветровая с учетом динамической составляющей. В связи со сложностью формы градирни ветровую нагрузку желательно определять с помощью специальных аэродинамических исследований. Расчет градирни должен выполняться по пространственной схеме с помощью компьютерных вычислительных комплексов. Оценочный расчет стен градирни можно осуществить аналогично расчету сплошностенчатого ствола обычной башни.

3.2 Конструкции мачт

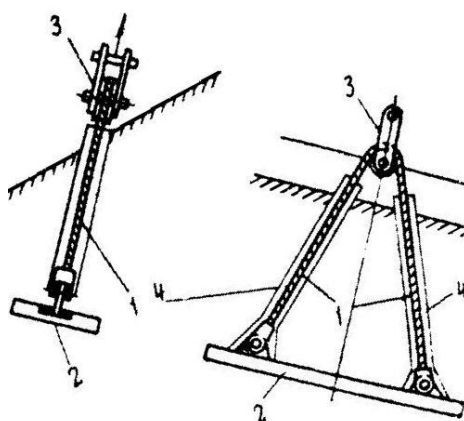
Мачты используются в том случае, когда главной задачей является разместить то или иное оборудование на большой высоте, а масса этого оборудования не столь велика. Тогда поперечное сечение ствола конструкции можно сделать весьма малым, а устойчивость вертикального положения обеспечить с помощью дополнительных гибких опор – оттяжек. Пример мачты показан на рисунке 39.



Рисунок 39 - Мачта

Оттяжки укрепляются в земле с помощью индивидуальных фундаментов анкерного типа и работают только на растяжение. Количество оттяжек должно быть не менее трех, чтобы обеспечить геометрическую неизменяемость в пространстве, но может быть и большим, чем три. Оттяжки могут прикрепляться к стволу мачты на разной высоте, образуя несколько ярусов. В качестве оттяжек используются стальные канаты диаметром от 20 до 70 мм.

Фундамент оттяжки должен быть надежно укреплен в земле, но оттяжка должна свободно поворачиваться относительно фундамента, образуя пространственный шарнир. На рисунке 40 показан пример узла фундамента оттяжки. Канат подвески (1) пропущен через серьгу (3) и таким образом соединяется с канатом оттяжки, также пропущенным через серьгу. Концы каната узла заправляются во втулку, которая с помощью валика соединяется с проушиной, прикрепленной к фундаментной плитке. Благодаря такой конструкции узел крепления является шарнирным и на фундаментную плитку передается только растягивающая сила.



1 – подвеска; 2- фундаментная плитка; 3 – серьга; 4 – втулка.

Рисунок 40 – Заделка оттяжки в фундамент

Оттяжки устанавливаются в проектное положение с предварительным натяжением, составляющим около половины расчетного усилия. Крепление каната осуществляется возле анкерного устройства. Для этого конец каната оттяжки пропускается через серьгу анкерного устройства и заводится в зажимное устройство – коуш, где удерживается за счет силы трения (рисунок 41). В процессе работы натяжение оттяжек периодически контролируется динамометром и, в случае необходимости, корректируется с помощью специального съемного устройства.



Рисунок 41 – Крепление оттяжки к серьге анкерного устройства

Крепление оттяжки к стволу мачты также осуществляется шарнирно. На рисунке 42 показан пример крепления оттяжек к металлическому стволу мачты. Здесь проушина жестко прикреплена к стволу зажимами, а канат свободно пропущен через нее и зажат в коуше болтами.

При наклоне ствола в сторону оттяжки усилие в ней резко падает, и она провисает под действием собственной тяжести. Поэтому при большой длине оттяжки к стволу мачты крепятся горизонтальные элементы – реи. Рея (равнозначно - рей) является дополнительной опорой оттяжки и уменьшает ее провисание. Пример мачты с реями показан на рисунке 43.



Рисунок 42 – Крепление оттяжки к стволу мачты



Рисунок 43 – Вид мачты с реями

Ствол мачты, как и в башнях, может быть сплошным или сквозным. Сплошной ствол, как правило, имеет трубчатую конструкцию с кольцами

жесткости в местах соединения элементов по высоте мачты. Сквозные стволы имеют решетчатую конструкцию, треугольную (чаще) или четырехугольную, иногда – шести- и восьмиугольную в плане. Схемы решетки сквозных стволов: крестовая, ромбическая, раскосная, полураскосная. Для обеспечения жесткости в горизонтальном направлении решетчатый ствол усиливается диафрагмами. Опорная часть ствола решетчатого типа делается трубчатой.

Ствол мачты опирается на отдельный фундамент. Опираение мачты на фундамент может быть шарнирным или жестким. Для шарнирного опирания может быть использована конструкция шарового шарнира, пример которого показан на рисунке 44. В правой части рисунка приведен этот опорный узел в разрезе. Более простой в изготовлении листовой шарнир, приведенный на рисунке 45 (слева общий вид, справа – в разрезе). Здесь возможность поворота обеспечивается гибкостью опорного кольца, приваренного к закладным частям фундамента.

Жесткое соединение ствола мачты с фундаментом осуществляется с помощью анкеров, так же как в стальных колоннах.

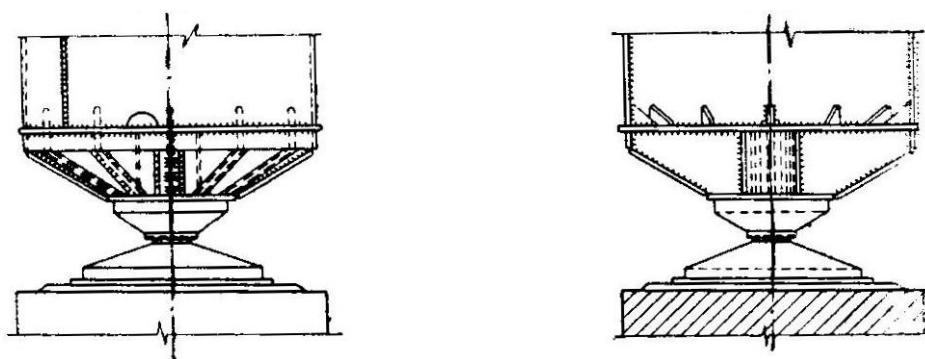
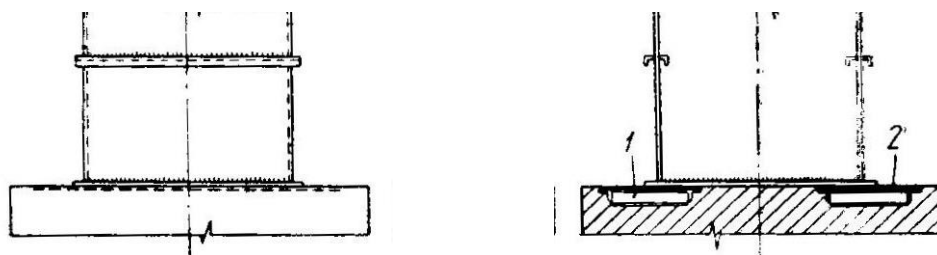


Рисунок 44 – Шаровой шарнир мачты



1 – закладные части фундамента; 2 – гибкое опорное кольцо.

Рисунок 45 – Листовой шарнир мачты

Расчет мачт производится на следующие нагрузки:

- собственный вес конструкции и оборудования;
- ветровая;
- гололедная;
- температурная;
- предварительное натяжение;
- монтажная.

При упрощенном расчете мачт используется стержневая расчетная схема. Система может оказаться статически неопределимой за счет работы оттяжек. Количество неизвестных k в расчетных уравнениях может быть определено по следующим формулам:

при шарнирном соединении ствола мачты с фундаментом и нечетном количестве оттяжек в ярусах:

$$k = \frac{(m + 5) \cdot n - 2}{2}, \quad (7)$$

где m – количество оттяжек в ярусе,

n – количество ярусов,

при шарнирном соединении ствола мачты с фундаментом, четном количестве и симметричном расположении оттяжек в ярусах:

$$k = \frac{(m + 4) \cdot n - 2}{2}, \quad (8)$$

при жестком соединении ствола мачты с фундаментом и нечетном количестве оттяжек в ярусах:

$$k = \frac{(m + 5) \cdot n}{2}, \quad (9)$$

при жестком соединении ствола мачты с фундаментом, четном количестве и симметричном расположении оттяжек в ярусах:

$$k = \frac{(m + 4) \cdot n}{2}. \quad (10)$$

Так, при простейшем варианте – три оттяжки при одном ярусе – и шарнирном соединении ствола мачты с фундаментом количество неизвестных равно трем, т.е. система статически определима и натяжение оттяжек определяется из уравнений равновесия. При жестком соединении ствола мачты с фундаментом и том же количестве оттяжек количество неизвестных больше трех, т.е. система статически неопределима и требуется составить дополнительно к уравнениям равновесия уравнение совместности деформаций. Уравнение совместности деформаций записывается с учетом податливости гибких опор (растяжимости канатов).

Расчет усилий в оттяжках в статически определимой системе может быть выполнен по плоской расчетной схеме. В этом случае рассматриваются две оттяжки, приведенные к одной плоскости (проекции оттяжек на

расчетную плоскость). Полученные в результате расчета усилия пересчитываются на действительные обратным приведением к плоскости их расположения.

При расчете устойчивости ствола мачты также может быть использована стержневая аналогия. Расчетная схема выглядит следующим образом (рисунок 46).

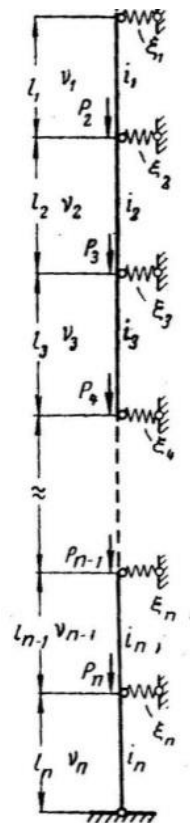


Рисунок 46 – Схема к расчету ствола мачты на устойчивость

Опорами являются оттяжки, приведенные к исследуемой плоскости. Пружины на схеме означают, что опоры упругие. Записываются уравнения метода перемещений без свободных членов. Критические значения усилий находятся из уравнения, выражающего равенство нулю определителя этой системы уравнений. Уравнение имеет степень, равную числу неизвестных

метода перемещений, поэтому решение, как правило, осуществляется численным методом.

4 Мостовые сооружения

4.1 Надземные пешеходные переходы

Надземные пешеходные переходы предназначены для беспрепятственного движения людей в направлении, пересекающем направление движения городского автомобильного или железнодорожного транспорта, или для пересечения пешеходами водных преград и оврагов в черте города. Как было отмечено выше, эти инженерные сооружения относятся к группе мостовых сооружений, эксплуатируемая часть которых (пролетное строение) укрепляется на определенной высоте с помощью опор различной конструкции. К этой группе также могут быть отнесены галереи, соединяющие между собой отдельные здания или сооружения. На рисунке 47 приведен пример закрытого пешеходного перехода над автомагистралью.



Рисунок 47 – Закрытый пешеходный переход

Следующий рисунок (рисунок 48) демонстрирует открытый пешеходный переход над городской магистралью.



Рисунок 48 – Открытый пешеходный переход

Пролетное строение пешеходного перехода выполнено из металлических ферм с верхним поясом криволинейного очертания. Опорами пролетного строения служат стальные трубы. Вход на переход предусмотрен в двух вариантах: широкая лестница и эскалатор.

На следующем рисунке (рисунок 49) показан надземный крытый пешеходный переход большой протяженности, позволяющий пешеходам беспрепятственно пересечь пешком не только магистрали с интенсивным движением, но и значительное городское пространство, занятое производственными цехами. Особенностью перехода, кроме большой протяженности, является изогнутость в плане его трассы.



Рисунок 49 –Пешеходный переход с изогнутой трассой

4.1.1 Конструкции пешеходных переходов

Как всякий мост пешеходный переход состоит из пролетного строения и опор. Крайние опоры называют устоями. Они, кроме поддержания пролетного строения, служат сопряжением с подходами к нему (лестницами, пандусами). Длина перехода равна расстоянию между наружными гранями крайних опор. Ширина определяется расстоянием между боковыми ограждениями в свету. Часть пролетного строения, по которой двигаются пешеходы, называется пешеходным полотном. Расстояние от пешеходного

полотна перехода до нижней части пролетного строения называется строительной высотой пролетного строения.

Пешеходные переходы должны удовлетворять определенным эксплуатационным требованиям. Ширина перехода определяется статистическими данными об интенсивности движения в пиковый период времени суток с учетом перспективы. Во всяком случае, ширина перехода должна быть не менее 2,25 м. Расчетная пропускная способность одного метра ширины перехода 1500 человек в час. Высота закрытого перехода в свету должна быть не менее 2,30 м. Высота, на которой располагается пролетное строение, определяется габаритом приближения конструкций транспортного средства, которое должно свободно проходить под мостом. Для автомобильных дорог, в частности, высота габарита (расстояние от поверхности проезжей части до низа пролетного строения в свету) составляет 5 м. Опоры пешеходного перехода должны располагаться не ближе 1 м от бордюра проезжей части и не менее 1,5 м в том случае, если ограждение проезжей части отсутствует. Для возможности пользования надземными переходами людьми маломобильных групп населения, а также людьми с детскими колясками необходимо оборудовать переходы пандусами либо лифтами.

По конфигурации в плане переходы могут быть линейного типа и развитые в плане: кольцевые, разветвленные, прямоугольные. Пролетные строения могут быть открытого и закрытого типа. Открытые пролетные строения имеют незамкнутое поперечное сечение: пешеходная дорожка имеет по обеим сторонам небольшое ограждение. Закрытые пролетные строения имеют замкнутое сечение. По количеству пролетов в конструкции замкнутого поперечного сечения пролетные строения могут быть: однопролетные (прямоугольного, круглого или эллиптического сечения) и двух- или трех-пролетные (прямоугольного сечения с одним или двумя продольными рядами колонн).

Пролетное строение состоит из следующих основных частей: пешеходная часть, основная несущая конструкция, система связей и опорные части.

Пешеходная часть пролетного строения состоит из пешеходного полотна и несущих элементов. Пешеходное полотно предназначено непосредственно для удобства движения пешеходов и может быть выполнено из деревянных плит, досок, стального листа, асфальта по железобетонным плитам. Несущие элементы пешеходной части обеспечивают прочность пешеходного полотна и представляют собой обычно систему балок или плиты.

Основная несущая конструкция пролетного строения обеспечивает его прочность. Несущие конструкции пролетного строения весьма разнообразны и могут быть изготовлены из разных материалов: железобетона, металла, дерева и камня. В качестве основных несущих конструкций используются балки, фермы, арки, висячие и вантовые конструкции. Несущие конструкции могут представлять собой безраспорную и распорную систему. Материалом несущих конструкций современных пешеходных переходов в основном являются железобетон и сталь. Железобетонные переходы более тяжелые и из-за большей строительной высоты пролетного строения требуют большей высоты подъема пешеходов.

Пролетные строения надземных переходов могут выполняться по разным конструктивным схемам. Больше распространение получили **балочные** несущие конструкции пролетного строения благодаря простоте изготовления и монтажа. Простейшей балочной конструкцией является система из двух или более главных сплошностенчатых стальных или железобетонных балок двутаврового сечения, на которые опирается пешеходная часть. Балки могут быть разрезными или неразрезными. Однопролетные пролетные строения могут быть консольно-балочными.

Более сложными в конструктивном отношении являются балочные несущие конструкции пролетного строения из балок с развитой

конструкцией поперечного сечения. Железобетонные варианты балочных пролетных строений могут быть в поперечном сечении плитными, одноребристыми (рисунок 50 а), двухребристыми (рисунок 50 б), коробчатыми (рисунок 50 в).

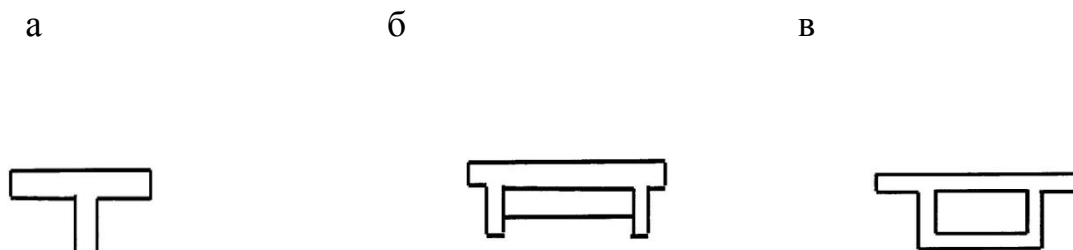
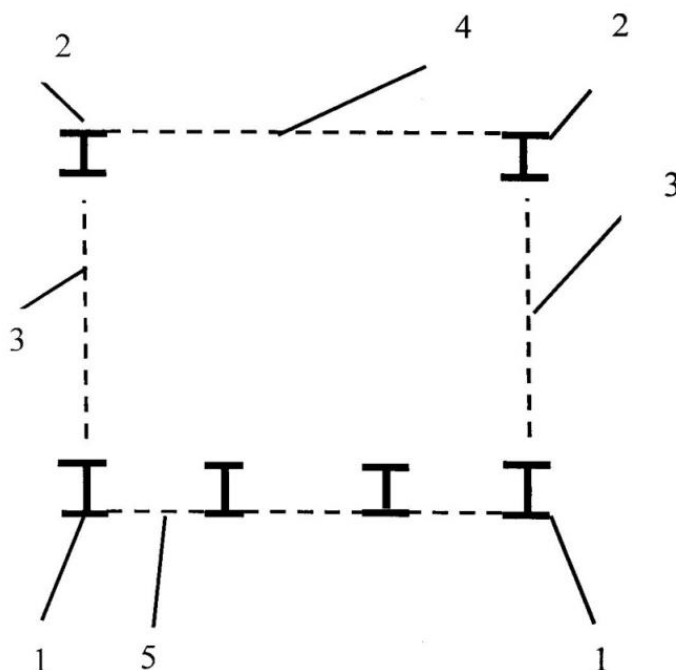


Рисунок 50 – Варианты поперечных сечений железобетонных пролетных строений пешеходных переходов

Аналогичные типы поперечных сечений, выполненные с помощью сварки и с использованием в конструкции поперечного сечения прокатных профилей, применяются в балочных металлических пролетных строениях пешеходных переходов.

Широко распространены балочные конструкции закрытого типа из стальных ферм. Упрощенное изображение поперечного сечения такой конструкции пролетного строения показано на рисунке 51. Каркас ферменного пролетного строения образуют две вертикальные боковые фермы, несущие основную нагрузку и передающие ее на опоры, и две горизонтальные (ветровые), воспринимающие ветровую нагрузку и обеспечивающие совместность работы всей конструкции, являясь системой горизонтальных связей. Вертикальные и горизонтальные фермы соединяются между собой шарнирно, поэтому для обеспечения жесткости в вертикальной плоскости вводятся диафрагмы жесткости в виде прямоугольных жестких рам. Рамы устраиваются в опорных сечениях, а также, при больших пролетах или при изломе трассы перехода, - в пролетах. Пояса фермы работают на

продольные усилия и изгибающий момент как пояса сплошных балок, а решетка ферм воспринимает поперечную силу, тем самым выполняя функцию стенки сплошной балки.



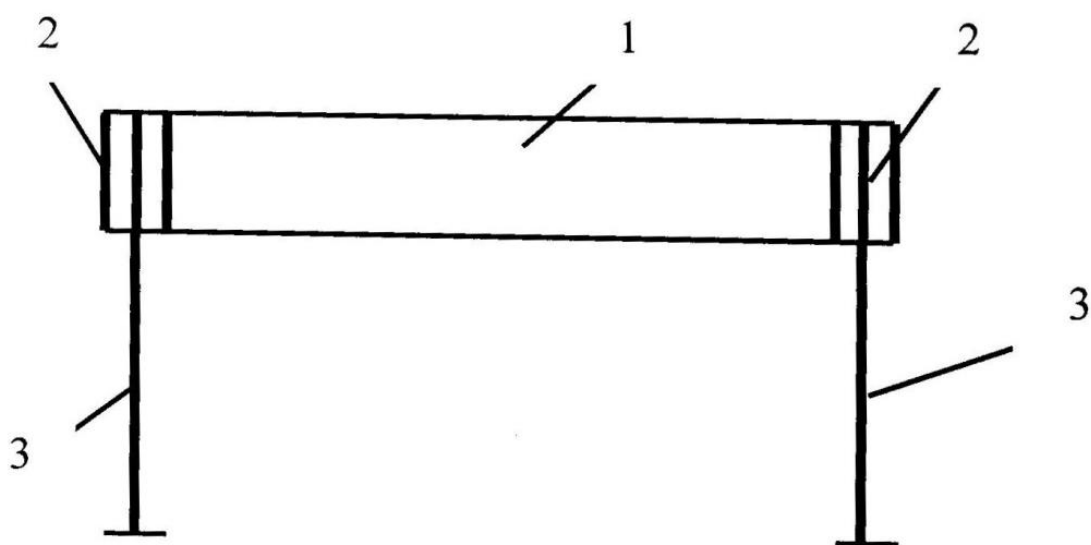
1 – нижний пояс фермы; 2 – верхний пояс фермы; 3- решетка вертикальной фермы; 4 – решетка горизонтальной (ветровой) фермы; 5 – связи между несущими балками пешеходного полотна.

Рисунок 51 – Пролетное строение с несущими элементами в виде вертикальных ферм.

Балочные конструкции пролетных строений закрытого типа также могут быть выполнены в виде оболочки – цилиндрической или эллипсовидной. Каркас оболочки выполняется из стальных или алюминиевых колец, соединенных системой связей. Ограждение обычно делается из светопрозрачного материала.

Опорные части балочных пролетных строений служат для соединения пролетного строения с опорами и представляют собой поперечные балки или

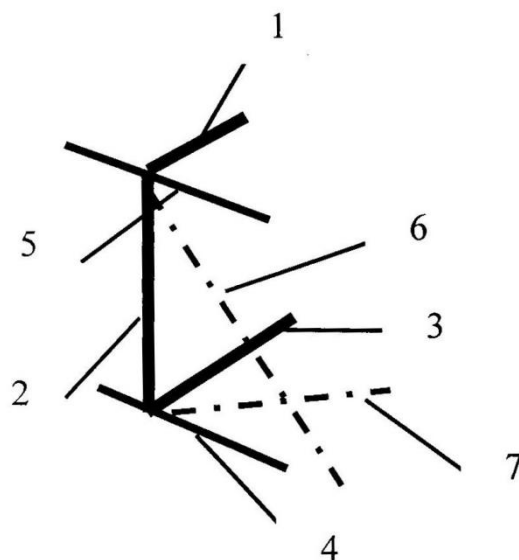
балочные площадки – в зависимости от типа и конструкции опор. Концевые части пролетного строения могут опираться на концевые (крайние) опоры, к которым крепятся конструкции, соединяющие пролетное строение с землей – лестницы, пандусы и лифты. На рисунке 52 показана схема однопролетного пешеходного перехода такого типа. Опорная часть в виде жесткой рамы условно показана тройной вертикальной линией.



1- пролетное строение; 2 – опорная часть; 3 – опоры.

Рисунок 52 – Схема однопролетного балочного пешеходного перехода

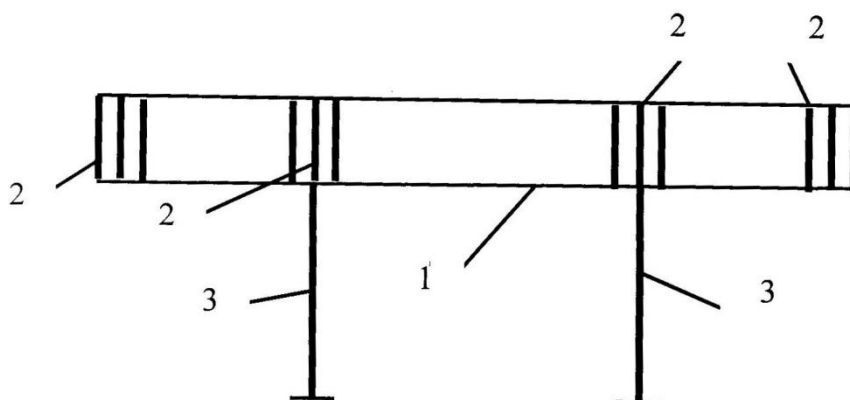
На рисунке 53 показана схема узла опорной части. Поперечная рама состоит из стойки (2), жестко соединенной с поперечными балками – верхней (1) и нижней (3). Через нижнюю поперечную балку передаются вертикальные усилия на опору. Нижний (4) и верхний (5) пояса вертикальной фермы соединены с рамой шарнирно. Штрихпунктирными линиями показаны раскосы решетки вертикальной (6) и ветровой (7) ферм.



1 – верхняя балка; 2 – стойка рамы; 3 – нижняя балка; 4- нижний пояс вертикальной фермы; 5 - верхний пояс вертикальной фермы; 6 - раскосы решетки вертикальной фермы; 7 - раскосы ветровой фермы.

Рисунок 53 - Схема узла опорной части

Если пешеходный переход предназначен для соединения двух зданий, то опирание может осуществляться по консольной схеме (рисунок 54).



1- пролетное строение; 2 – опорная часть; 3 – опоры.

Рисунок 54 – Консольная схема пролетного строения

Здесь концевые сечения пролетного строения также представляют собой жесткие рамы, но передача усилий на опоры в этих сечениях не происходит. Следует сказать, что в переходах между зданиями могут вообще

отсутствовать опоры. В качестве опорной части таких переходов выступают стены зданий, а опорные рамы вделываются в стены.

Опоры балочных пролетных строений могут быть стержневыми, плоскими или пространственными - башенного типа. Соединение опор с пролетным строением может быть шарнирным или жестким. Соединение опор с фундаментом также может быть жестким или шарнирным.

Стержневая опора представляет собой колонну со сплошностенчатым поперечным сечением (рисунок 55). Поперечные сечения стержневых железобетонных опор имеют прямоугольную или круглую форму (предпочтительнее трубчатую). Поперечные сечения стальных опор – трубчатые, двутавровые прокатные или сварные, сварные из прокатных профилей, образующих сплошной замкнутый контур.

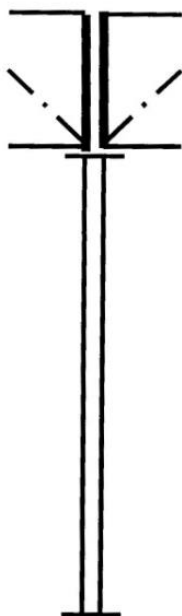


Рисунок 55 – Схема стержневого опирания пролетного строения

Плоские опоры могут быть рамного и ферменного типа. Рамная опора (рисунок 56) представляет собой две вертикальные или наклонные ноги,

жестко соединенные между собой горизонтальными элементами - ригелями, обеспечивающими совместную работу всех элементов и устойчивость опоры в поперечной по отношению к направлению перехода плоскости.

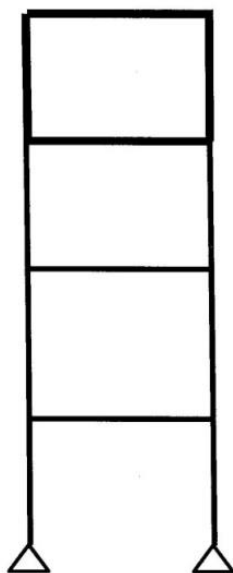


Рисунок 56 – Схема рамной опоры

Сплошным жирным контуром на рисунке 56 обозначена на схеме опорная рама пролетного строения. В плоскости пролетного строения опоры выглядят как стержневые. Ноги опираются на фундамент шарнирно, но в целом за счет разноса ног соединение с фундаментом получается жестким в плоскости опоры. При ветровой нагрузке в одной из опорных ног могут возникать растягивающие усилия, поэтому фундаментные болты являются расчетными.

Ферменные опоры также состоят из двух ног, но соединяются ноги между собой раскосной решеткой. Схемы ферменных опор с решетками различного типа показаны на рисунке 57. Жесткость конструкции опоры обеспечивается наличием раскосов.

Плоские промежуточные опоры могут соединяться с пролетным строением и с фундаментом также и шарнирно. Такие опоры называют качающимися. В них не возникают изгибающие моменты.

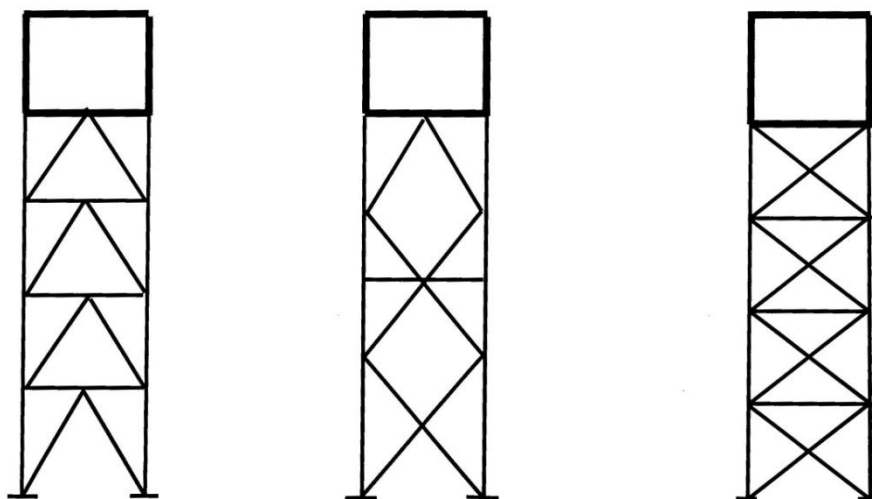
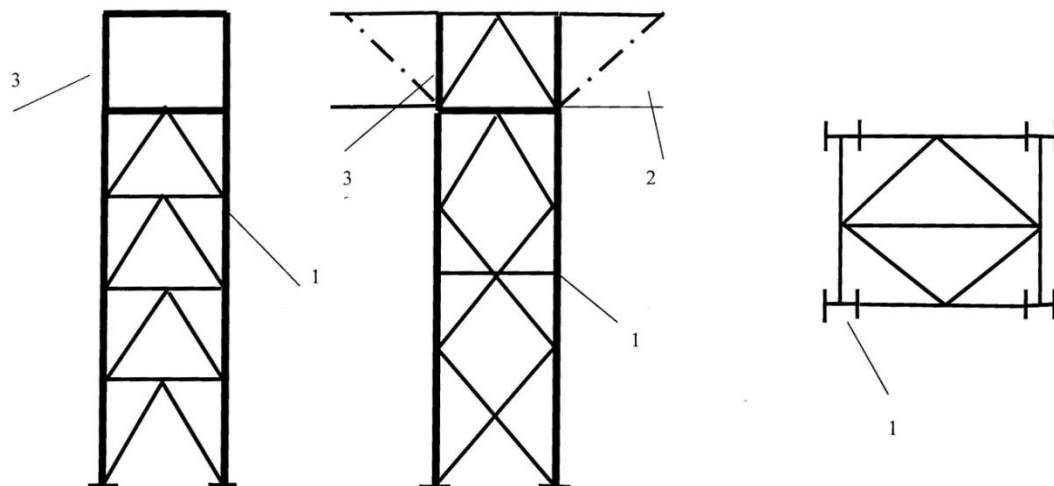


Рисунок 57 – Схемы решеток плоских опор ферменного типа

Пространственные опоры состоят из четырех плоских ферм, объединенных в единую башенную конструкцию призматической или пирамидальной формы. Соединение пространственной опоры с пролетным строением осуществляется через балочную площадку. На рисунке 58 показана схема пространственной опоры ферменного типа. На левой части рисунка изображена опора в поперечной плоскости и прямоугольная опорная рама пролетного строения. В середине рисунка изображена опора в плоскости пролетного строения и примыкание опоры к пролетному строению. Примыкание осуществляется через опорные рамы и балочную площадку. В правой части рисунка показана схема расположения элементов балочной площадки. Четыре двутавра по углам балочной площадки – стойки опорных рам. Жесткость пространственной опоры в горизонтальной плоскости обеспечивается диафрагмами жесткости.



1 – опора; 2 – пролетное строение; 3 – опорная рама.

Рисунок 58 – Пространственная опора ферменного типа

Пролетное строение **арочного** типа отличаются тем, что оно опирается на арочную систему, которая непосредственно опирается на землю (рисунок 59). Преимущество арочного пролетного строения в том, что часто расположенные опоры уменьшают в нем пролетные изгибающие моменты и тем самым облегчают конструкцию.

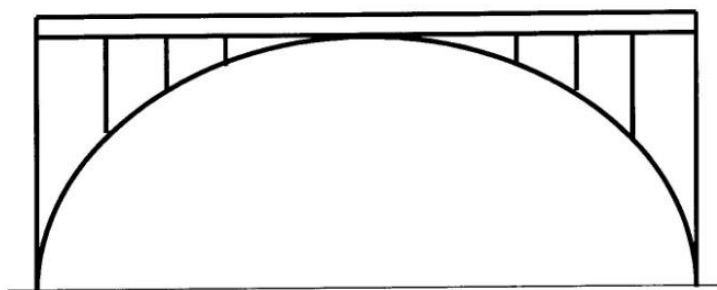


Рисунок 59 – Арочная схема пролетного строения

Арочная конструкция особенно эффективна при больших пролетах, например, в пешеходных переходах через реку, канал или овраг.

Висячая конструкция пролетного строения также предназначена для облегчения пролетного строения. На рисунке 60 показана простейшая схема такого решения. Основная нагрузка от пролетного строения воспринимается гибкими опорами в виде стальных канатов, работающих на растяжение и имеющих значительно меньшую массу, чем промежуточные опоры в балочной системе, работающие на сжатие. Канаты передают нагрузку на концевые вертикальные опоры.

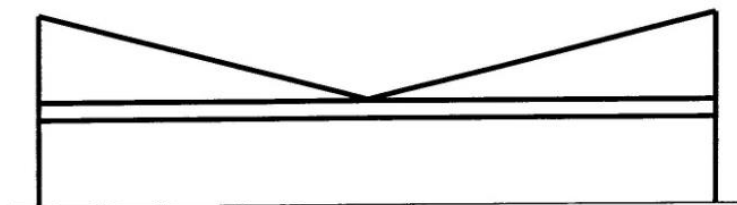


Рисунок 60 – Висячая конструкция пролетного строения

Устойчивость положения концевых опор при действии горизонтальной составляющей нагрузки, передаваемой канатами, обеспечивается либо массой опорных конструкций, либо анкерной системой заделки концевых опор в фундамент.

4.1.2 Расчет конструкций пешеходного перехода

Расчет конструкций пешеходного перехода производится на следующие нагрузки:

- собственный вес конструкции;

- снеговая;
- ветровая;
- перепад температур;
- собственный вес людей и оборудования;
- динамическая нагрузка от движения людей.

Надземный пешеходный переход с точки зрения расчета представляет собой сложную многоэлементную систему, достаточно точный расчет которой можно осуществить только с помощью пространственной конечно-элементной модели. Приближенный инженерный оценочный расчет можно выполнить, разложив систему на отдельные элементы. Так, пролетное строение можно рассматривать как балку – однопролетную или многопролетную, разрезную или неразрезную, а полученные в результате балочные внутренние усилия использовать в качестве нагрузок при расчете элементов пролетного строения. Моделирующую пролетное строение балку необходимо рассчитывать как в вертикальной плоскости – от вертикальных нагрузок, так и в горизонтальной – от горизонтальных нагрузок. При расчете балки опоры принимаются точечными, жесткими (не смещаемыми).

Полученные в результате расчета балки опорные реакции используются в качестве нагрузок при расчете опор, которые, в свою очередь моделируются либо стержнями, либо фермами или рамами. Отдельно рассчитываются и опорные рамы закрытых пролетных строений – как замкнутые безопорные рамы, находящиеся в равновесном состоянии под действием внешних нагрузок. Элементы, входящие в состав сопрягаемых частей, например, общие пояса вертикальной и ветровой фермы, приходится рассчитывать на действие нагрузок в двух плоскостях.

Определение нагрузок осуществляется в соответствии с требованиями нормативных документов. При расчете пролетного строения нагрузка от пешеходов принимается равномерно распределенной с интенсивностью 3,92 кПа и с коэффициентом надежности 1,18. Особенностью этой нагрузки является то, что она динамическая, так как при ходьбе человек совершает

колебательные движения как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскости. Частота этих колебаний составляет по статистическим данным в вертикальной плоскости от 1,67 до 2,22 Гц (т.е. колебаний в секунду), а в горизонтальной – от 0,83 до 1,11 Гц. Частота собственных колебаний разрезного пролетного строения может быть приближенно определена по формуле, полученной для балки с бесконечно большим числом степеней свободы

$$n = \frac{k^2 \pi}{2 \cdot l^2} \sqrt{\frac{E \cdot J}{m}} \text{ 1/с}, \quad (11)$$

где k - целый множитель, принимающий значения $k = 1, 2, 3, \dots$;

E – модуль упругости материала, кН/см²;

J – момент инерции сечения, см⁴;

l - пролет, см;

m – интенсивность равномерно распределенной по длине балки массы, кН·с²/см².

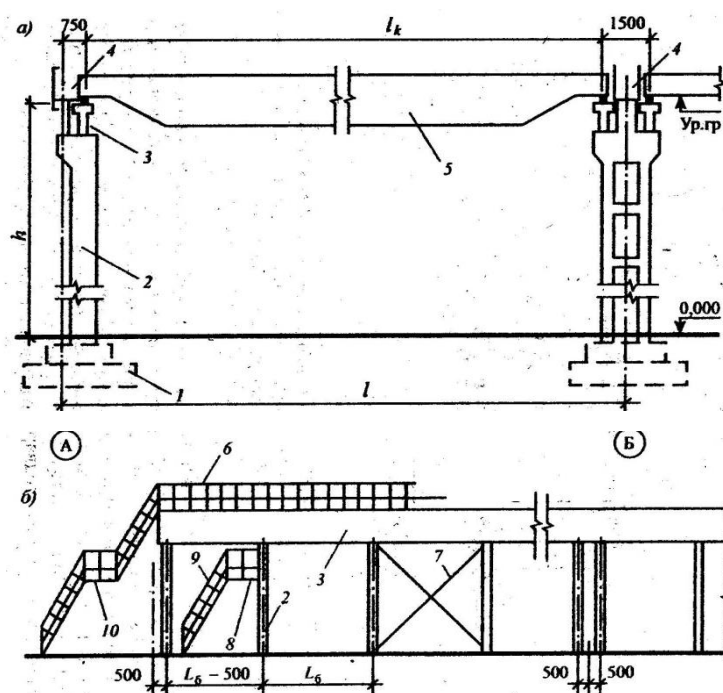
4.2 Крановые эстакады

Крановые эстакады, предназначенные для проведения погрузочно-разгрузочных работ на железнодорожных станциях, на складах строительных материалов и других объектах городского хозяйства, оборудованных мостовыми грузоподъемными кранами, также могут быть отнесены к мостовым инженерным сооружениям. В роли пролетного строения в крановой эстакаде выступает подкрановая балка, по которой перемещается ходовая тележка грузоподъемного мостового крана, в роли опор – колонны. На рисунке 61 показан элемент погрузочно-разгрузочного комплекса, состоящего из двух кранов, расположенных в двух смежных пролетах.

Правая колонна служит опорой двух кранов, поэтому на нее опираются две подкрановые балки.

В продольном направлении жесткость эстакады обеспечивается вертикальными связями по колоннам и подкрановыми балками. Колонны опираются на фундамент жестко, как в продольном, так и в поперечном направлении. Подкрановые балки опираются на колонны шарнирно.

Подкрановые балки крановых эстакад могут быть железобетонными или стальными. Колонны могут быть из железобетона (как на рисунке 61) - прямоугольного сечения или двухветвевые, либо стальными - двухветвевыми.



а – поперечный разрез; б – продольный разрез; 1 - фундамент; 2 – колонны; 3 – подкрановая балка; 4 – проход вдоль путей; 5 – мостовой кран; 6 – ограждение прохода; 7 – вертикальная связь; 8 – посадочная площадка; 9 – лестница на посадочную площадку; 10 – лестница на проход вдоль путей.

Рисунок 61 – Крановая эстакада

Расчет крановой эстакады производится на следующие нагрузки:

- собственный вес конструкции;
- снеговая;
- ветровая;
- крановая.

В силу малой поверхности конструкций крановой эстакады снеговая и ветровая нагрузки незначительны. Основной расчетной нагрузкой кроме собственного веса является крановая: вертикальная – от веса крана, ходовой и грузовой тележек и груза, горизонтальная – продольная и поперечная, возникающая при начале движения и остановке крана (продольная) и грузовой тележки (поперечная). Горизонтальные (тормозные) нагрузки являются динамическими.

При определении крановых нагрузок на пролетное строение и опоры рассматривается наиболее невыгодное расположение ходовых тележек на подкрановой балке и грузовой тележки на мосте крана. При работе двух кранов в одном пролете рассматривается наиболее невыгодное сближение кранов. При работе двух кранов в соседних пролетах рассматривается одновременное их расположение в одной плоскости. В обоих упомянутых случаях в соответствии с нормативными документами учитывается коэффициент сочетания работы кранов.

5 Многоярусные открытые автостоянки

Многоярусные открытые автостоянки по конструктивному признаку относятся к **этажеркам** – сооружениям, состоящим из площадок, расположенных на разных уровнях. В связи с интенсивным развитием легкового автотранспорта в городах многоярусные автостоянки становятся в крупных городах все более востребованными инженерными сооружениями, приходящими на смену индивидуальным гаражам и наземным открытым

автопарковкам. Основным материалом для строительства многоярусных автостоянок является сборный и монолитный железобетон, реже используются стальные конструкции.

В настоящее время существует множество архитектурных решений для многоярусных автостоянок. Подавляющее большинство автостоянок представляет собой прямоугольные сооружения в виде пространственных рам с перекрытиями из монолитных или сборных железобетонных плит. Известны также сооружения круглые в плане. С точки зрения конструктивных решений многоярусные автостоянки мало чем отличаются от гражданских зданий. Особенностью является необходимость обеспечения доставки автомобилей к месту парковки. Эта проблема решается системой пандусов или с помощью лифтового хозяйства. Пандусы могут быть линейными - в виде галерей вдоль стен здания, или спиральными.

На рисунке 62 представлен классический тип автостоянки в виде прямоугольной в плане этажерки. Конструкция стоянки представляет собой пространственный железобетонный рамный каркас.



Рисунок 62 – Железобетонная многоэтажная автостоянка

На рисунке 63 представлено решение автостоянки с каркасом в виде пространственной стальной ферменной конструкции.



Рисунок 63 – Автостоянка со стальным каркасом

На обоих вариантах доставка автомобиле на этажи осуществляется по прямолинейным пандусам галерей. На рисунке 64 приведена модель спирального въезда на этажи многоэтажной автостоянки.

Расчет конструкций многоярусных открытых автостоянок производится на собственный вес конструкций и оборудования, на воздействие снега и ветра, на эксплуатационную нагрузку от автомобилей при наиболее невыгодном варианте загрузки площадей. Расчет осуществляется по пространственной конечно-элементной модели. Упрощенный прикидочный расчет выполняется путем расчленения на

плоские рамные или ферменные схемы и последующего расчета этих элементов.



Рисунок 64– Схема спирального въезда на этажи автостоянки

6 Емкостные сооружения

6.1 Бункера

Бункер – инженерное сооружение, предназначенное для временного хранения сыпучих материалов. Разгрузка бункера производится самотеком через выпускное отверстие. Конструктивно бункер представляет собой емкость (пустоту), ограниченную сплошными стенками и дном. Пример такой емкости показан на рисунке 65. Бункер заполняется сыпучим материалом сверху, а разгружается через воронку в донной части. Таким образом, бункер является приемным сооружением, в которое разгружается

транспортное средство, перемещающее сыпучий материал, и, одновременно, разгрузочным, осуществляющим разгрузку в транспортное средство.



Рисунок 65 - Емкостная часть бункерной конструкции

В плане основная часть бункера бывает прямоугольной или круглой. Поскольку бункер разгружается за счет сил тяжести самого сыпучего материала (отсюда его определение – саморазгружающееся сооружение), то для удобства разгрузки в транспортное средство он должен находиться на такой высоте, чтобы транспортное средство могло свободно поместиться под воронкой. Поэтому бункер подвешивается либо на отдельно стоящих колоннах, либо к стенам здания, в которое встраивается бункер.

Бункера могут разгружаться и на конвейер (транспортер) – транспортное средство непрерывного действия, которое осуществляет

перемещение сыпучего материала в горизонтальном или слабонаклонном направлении. Такого рода бункера используются, например, в качестве приемной емкости, в которую разгружаются железнодорожные вагоны. При этом бункер располагается ниже отметки рельсов, как правило, под землей. Разгружается такой бункер на конвейер, который монтируется в подземной наклонной транспортной галерее. Конструктивно емкостная часть подземных бункеров не отличается от бункеров, подвешиваемых на опорах.

На рисунке 66 представлен комплекс стальных погрузочных бункеров.



Рисунок 66 – Стальной бункерный комплекс

Прямоугольные в плане бункера изготовлены из листовой стали. Стенки усилены ребрами жесткости. Опорами бункеров являются стальные колонны.

Рисунок 67 демонстрирует железобетонный бункерный комплекс. Сборные железобетонные бункера сооружаются из ребристых или плоских плит размерами 6х6, 6х9 и 6х12 м. Используется при сооружении бункеров и

монолитный железобетон. Воронки железобетонных бункеров часто делают стальными, поскольку в этом случае их проще изготовить.

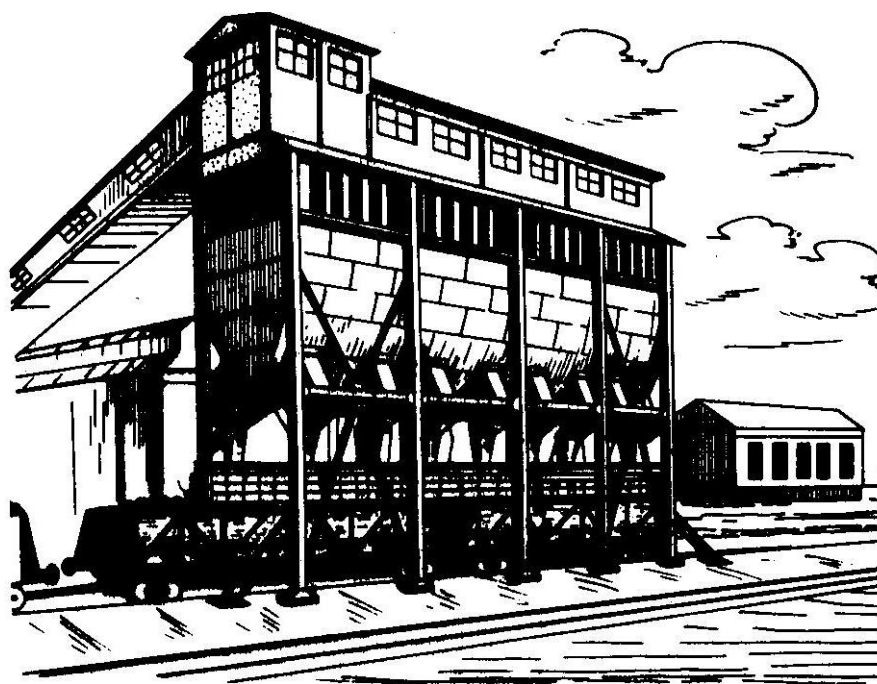


Рисунок 67– Железобетонный бункерный комплекс

Сыпучий материал в бункере часто находится в движении – при загрузке и при разгрузке, а поскольку он обладает в той или иной степени абразивностью, то внутренняя поверхность бункера должна быть защищена футеровкой – материалом, который хорошо сопротивляется истиранию.

Наиболее распространенной конструкцией бункера является **пирамидально-призматическая** (рисунок 68). Воронка пирамидально-призматического бункера имеет форму усеченной пирамиды, а емкость – форму призмы. В плане такой бункер имеет прямоугольную форму. Под углом φ на рисунке имеется в виду угол внутреннего трения сыпучего материала в бункере, а угол α - угол наклона стенок воронки к горизонтальной плоскости: он должен быть непременно больше угла внутреннего трения для

самопроизвольного истечения сыпучего материала из воронки при открытом затворе.

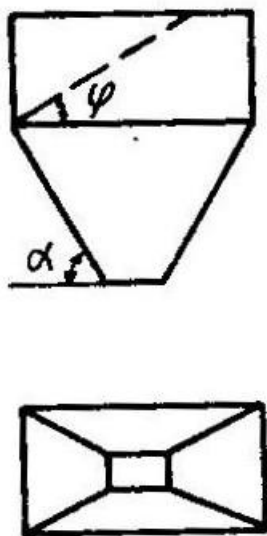
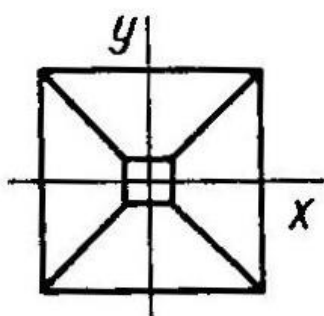


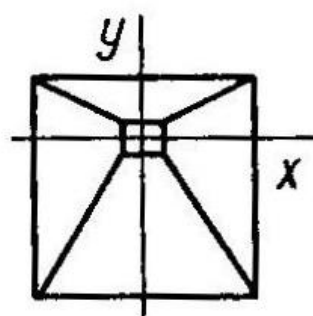
Рисунок 68 – Пирамидально-призматический бункер

Выпускное отверстие может располагаться в середине воронки, как показано на рисунке 68 и рисунке 69 а, но может быть смещено (рисунки 69 б и 69 в). В этих случаях воронка имеет форму неправильной пирамиды.

А



б



в

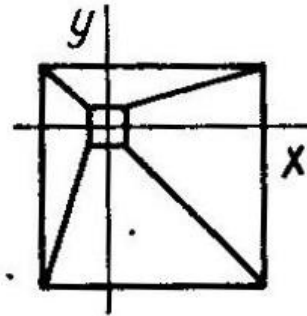


Рисунок 69 – Варианты расположения выпускного отверстия бункеров

Пирамидально-призматические бункера изготавливаются из монолитного или сборного железобетона и металла. Применяются и комбинированные по материалу бункера – с железобетонной призматической частью и металлической воронкой. Металлические бункера с плоскими стенками делаются из листовой стали малой толщины, поэтому жесткость стенок обеспечивается каркасом из стального профиля и ребрами жесткости. Призматическая часть бункера опирается на опорные балки, которые передают нагрузку на опоры. Опорами бункера чаще всего являются колонны, реже стены. Опорные балки располагаются на уровне верха воронки. Таким образом, стенки призматической части бункера под действием собственного веса сжаты, а стенки воронки, которая как бы подвешивается к опорным балкам, – растянуты. Призматические бункера могут быть объединены в комплекс – многоячейковый бункер.

Лотковая конструкция бункера отличается тем, что призматическая часть в плане имеет вытянутую форму, а воронка заменена лотком с двумя или более выпускными отверстиями (рисунок 70).

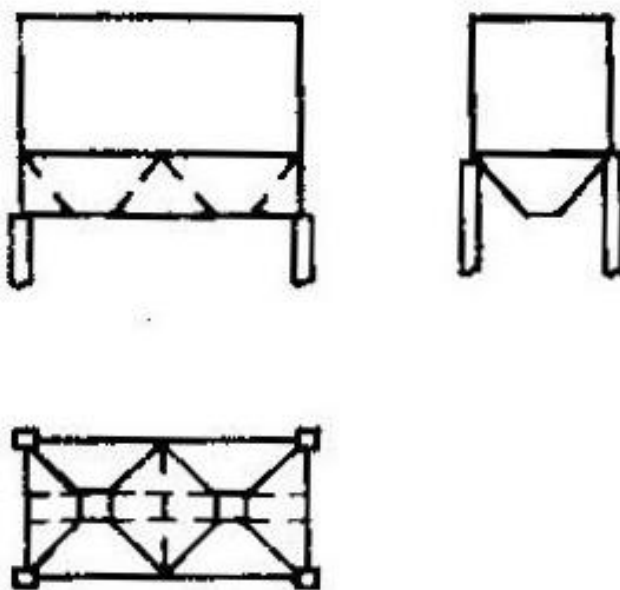


Рисунок 70 – Лотковый бункер

Конусно-цилиндрические бункера (рисунок 71) имеют в плане круглую форму. Воронка таких бункеров коническая.

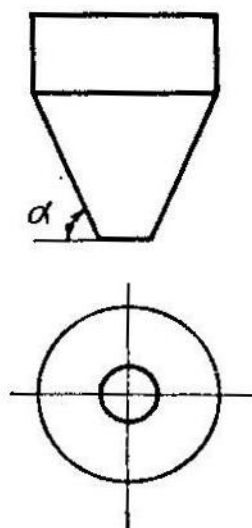


Рисунок 71 – Конусно-цилиндрический бункер

Конусно-цилиндрический бункер опирается на опорное кольцо, смонтированное на уровне верха бункера. В этом случае стенки цилиндрической части испытывают растяжение, что снимает проблему устойчивости стенок и существенно снижает расход материала на изготовление. Изготавливаются цилиндрические бункера из листовой стали.

Гибкие бункера в отличие от цилиндрических представляют собой цилиндрическую оболочку не с вертикальными, а с горизонтальными образующими цилиндра. Оболочка прикрепляется по образующим цилиндра к опорным балкам (рисунок 72). Гибкие бункера делаются из тонколистовой листовой стали. При загрузке бункера под действием веса засыпки стенки за счет упругих деформаций принимают форму цепной линии – параболическую. В результате стенки работают как висячая система – только на растяжение. При разгрузке бункера стенки возвращаются в исходное состояние. Поскольку стенки гибкого бункера не испытывают сжатия, в

гибких бункерах нет проблемы устойчивости стенок и не нужны ребра жесткости. Поэтому гибкие бункера значительно более легкие, чем жесткие.

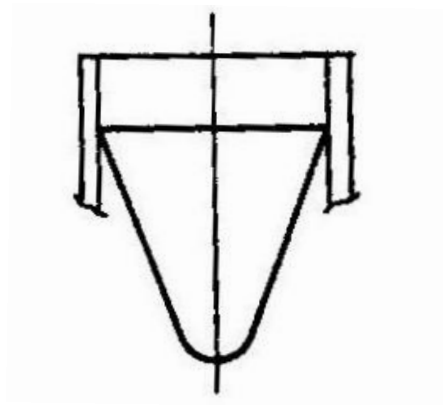


Рисунок 72 – Гибкий бункер

Расчет бункеров производится на собственный вес конструкции и вес содержащегося в бункере сыпучего материала. Особенностью бункеров является взаимодействие с сыпучим материалом, находящимся внутри емкости. Сыпучий материал создает не только вертикальную нагрузку своим весом, но и горизонтальную, вызванную распором сыпучего материала. Определение горизонтальной нагрузки производится на основе теории давления сыпучего материала на подпорные стены. Горизонтальная нагрузка пропорциональна расстоянию по вертикали от верхнего уровня засыпки

$$p_x = \gamma \cdot y \cdot \lambda, \quad (12)$$

где p_x - интенсивность горизонтального давления, кПа;

γ - удельный вес сыпучего материала, кН/м³;

y - расстояние по вертикали от верхнего уровня засыпки, м;

λ - коэффициент горизонтального давления (распора), величина которого определяется по формуле

$$\lambda = \operatorname{tg}^2 \frac{90^\circ - \varphi}{2}, \quad (13)$$

φ – угол внутреннего трения сыпучего материала.

Стенка воронки находится под воздействием как горизонтальной, так и вертикальной нагрузки от веса сыпучего материала. Интенсивность нормальной нагрузки на наклонную грань воронки рассчитывается по формуле

$$p_n = \gamma \cdot y \cdot \xi, \quad (14)$$

где ξ - коэффициент, определяемый по формуле:

$$\xi = \cos^2 \alpha + \lambda \cdot \sin^2 \alpha, \quad (15)$$

α угол наклона грани воронки к горизонту.

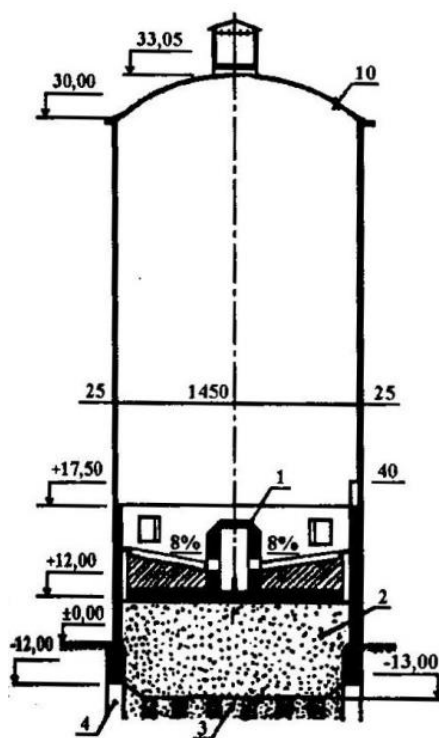
При загрузке бункера сыпучим материалом возникает динамическое воздействие, которое учитывается введением коэффициента динамичности K_d , принимаемого при отношении объема единовременно загружаемого материала к объему бункера 1:2 и более равным $K_d=1,4$, при отношении 1:3 – $K_d=1,3$, при отношении 1:4 – $K_d=1,2$, при отношении 1:5 – $K_d=1,1$, при отношении 1:6 и менее – $K_d=1,0$.

6.2 Силосы

Силосы отличаются от бункеров, прежде всего, своими размерами: силосом называют сооружение при отношении высоты верхней части (выше

воронки) к наименьшему размеру в плане более чем 1,5. При меньшем соотношении сооружение считается бункером. Силосы используются для более долгосрочного хранения такого сыпучего материала, который при длительном хранении не слеживается и не самовозгорается, а также не разрушается при большом давлении.

Силос в разрезе показан на рисунке 73 (размеры на рисунке даны в см). Силос состоит из следующих частей: верхняя – надсилосная (загрузочное устройство); силосная – хранилище (банка); подсилосная – днище с разгрузочным устройством и опоры.

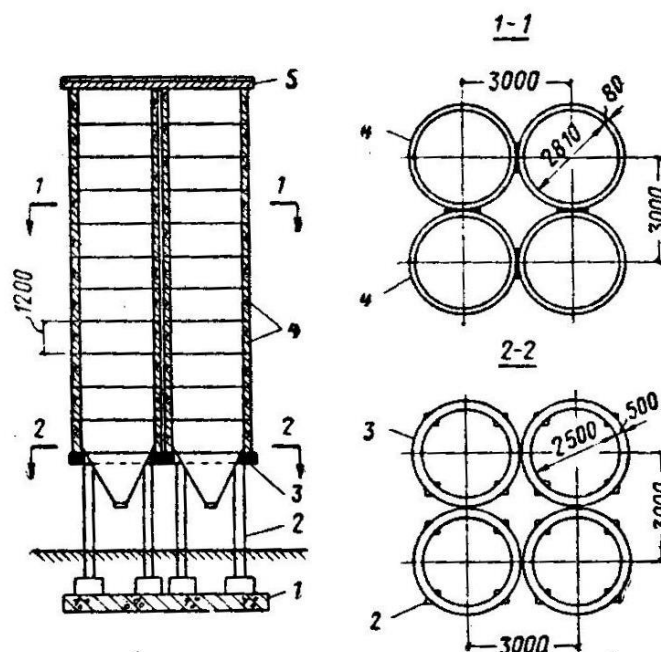


1 – разгрузочный тоннель; 2 – засыпка грунтом под днищем; 3 – грунт основания; 4 – сваи.

Рисунок 73 – Силос в разрезе

Поперечные сечения силосов преимущественно круглые, реже прямоугольные. Материал для стен силосов – монолитный или сборный железобетон. Стальные силосы применяются для хранения таких материалов,

которые не допускаются для хранения в железобетоне. Высота силосов достигает 30 м, поперечный размер – до 18 м. Отдельно стоящими проектируют только силосы с большим поперечным сечением. Обычно силосы блокируют в силосные корпуса. На рисунке 74 представлен корпус из четырех силосов возведенных из сборного железобетона.



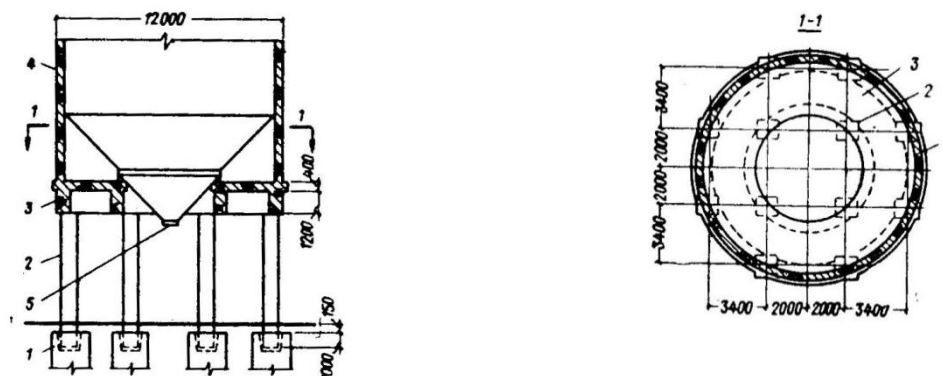
1 - монолитная фундаментная плита; 2 - сборные колонны подсилосного этажа; 3 - сборное опорное кольцо; 4 - сборные кольца стен; 5 - перекрытие из сборных плоских плит.

Рисунок 74 – Корпус из четырех силосов

Стены силосной части изготовлены из железобетонных колец. Силосная часть опирается на опорное железобетонное кольцо, которое, в свою очередь, опирается на сборные колонны. К опорному кольцу подвешены разгрузочные воронки. Фундамент колонн – общая монолитная железобетонная плита.

На рисунке 75 представлен вариант конструкции подсилосной части. Монолитные железобетонные стены силосной части опираются на монолитную железобетонную ребристую плиту днища. Стальная воронка

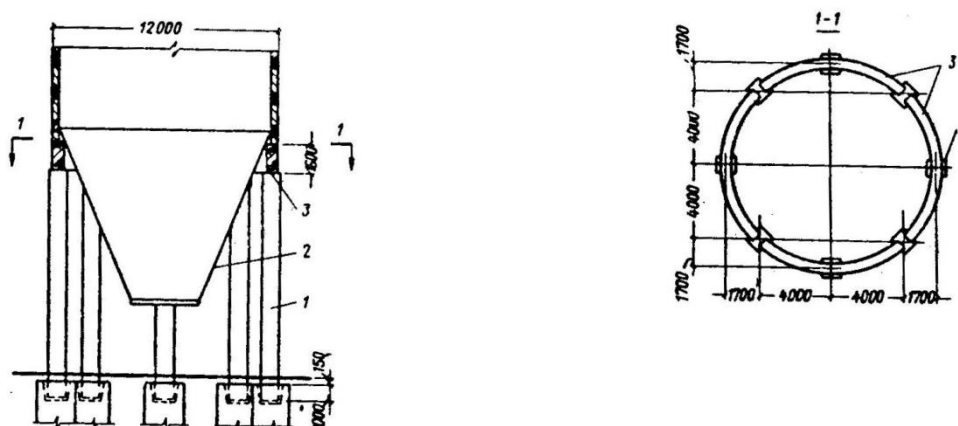
опирается на опорное кольцо. Железобетонные внешние колонны служат опорами железобетонной плиты, внутренние – опорами опорного кольца воронки. Колонны передают давление на стаканы монолитной железобетонной фундаментной плиты.



1 – стаканы фундаментной плиты; 2 – колонны; 3 – плита днища; 4 – стены; 5 – воронка.

Рисунок 75 – Конструкция подсилосной части с ребристой плитой

На рисунке 76 монолитные железобетонные стены силосной части опираются на монолитное железобетонное опорное кольцо.



1 – колонны; 2 – воронка; 3 – опорное кольцо.

Рисунок 76 – Конструкция подсилосной части с опорным кольцом

На это же опорное кольцо также опирается и стальная воронка. Железобетонные колонны поддерживают опорное кольцо и передают давление на стаканы монолитной железобетонной фундаментной плиты.

Расчет силоса выполняется на собственный вес конструкций, на временную длительную нагрузку от веса сыпучего материала, кратковременные нагрузки – от снега и ветра, температурные перепады. Особенностью работы силоса является то, что при большой высоте и относительно малом поперечном сечении банки распор сыпучего материала создает значительные силы трения о стенки силоса, которые необходимо учитывать (в отличие от расчета бункеров).

Горизонтальное давление на стенки силосов зависит от расстояния по вертикали от верхнего уровня засыпки и определяется по формуле

$$p_x = \frac{\gamma \cdot \rho}{f \left(1 - e^{-\lambda \cdot f \cdot \frac{y}{\rho}} \right)}, \quad (16)$$

где γ - удельный вес сыпучего материала;

ρ - гидравлический радиус сечения:

$$\rho = \frac{A}{\Pi}, \quad (17)$$

A – площадь поперечного сечения банки в свету;

Π – периметр поперечного сечения в свету;

f – коэффициент трения сыпучего тела о стенки силоса;

λ – коэффициент распора, определяемый по формуле (13);

y – расстояние по вертикали от верха засыпки.

Под действием горизонтального распора сыпучего материала в стенах силоса возникают горизонтальные окружные растягивающие напряжения. Вертикальные сжимающие напряжения в стенах вызваны собственным весом стен и загрузочного устройства. Кроме того, на стенки силоса действует вертикальное давление, вызванное зависанием сыпучего материала на стенках:

$$p_y = f \cdot p_x. \quad (18)$$

Днище силоса нагружено собственным весом днища и вышележащих конструкций и весом сыпучего материала.

Учет динамического воздействия при заполнении или освобождения силоса, а также при обрушении зависающего на стенках сыпучего материала производится введением коэффициента динамичности $\alpha = 2$.

6.3 Резервуары системы водоснабжения и канализации

Сюда относятся резервуары для хранения воды хозяйственно-питьевого и пожарного водоснабжения и резервуары очистных сооружений. В резервуарах очистных сооружений системы водоснабжения вода проходит подготовку, прежде чем поступает в водопроводную сеть города. Это комплекс резервуаров - фильтры, отстойники, осветлители и др. Очистные сооружения системы очистки сточных вод – биофильтры, аэротенки, метантенки, нефтеотделители, песколовки, отстойники, фильтры и др. – также представляют собой резервуары. Эти резервуары выполняются в наземном, полуподземном (заглубленном) и подземном вариантах. Заглубление резервуаров (до 6 м от поверхности земли) связано со значительным объемом резервуаров и с использованием тепла земли в

зимний период. Материалом для резервуаров служит в основном монолитный и сборный железобетон.

Резервуары системы водоснабжения и канализации выполняются цилиндрическими или прямоугольными. Диаметр цилиндрических резервуаров – от 4 до 50 и более метров. Размеры прямоугольных резервуаров достигают 70 м в длину и в ширину. Резервуары делаются открытыми и закрытыми. Представление о реальных резервуарах и их размерах можно получить из рисунка 77, на котором показан открытый цилиндрический осветлитель.



Рисунок 77 – Цилиндрический открытый резервуар

Закрытые резервуары чаще делаются заглубленными или подземными. На рисунке 78 показана схема закрытого монолитного цилиндрического железобетонного резервуара. Перекрытие резервуара находится на уровне земли. Основной опорой перекрытия служит центральная колонна. Резервуар сообщается с поверхностью через люк, расположенный в засыпке.

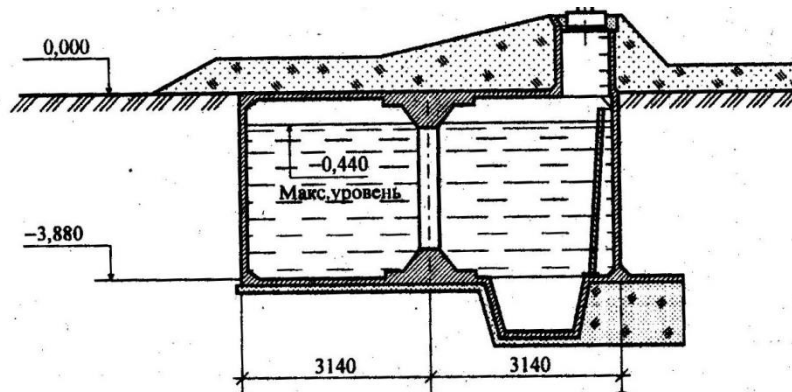


Рисунок 78 – Закрытый цилиндрический монолитный резервуар

Конструктивно цилиндрические резервуары представляют собой цилиндрическую оболочку, опирающуюся на круглое днище. Днища резервуаров, как правило – из монолитного железобетона, стены (оболочка) могут быть монолитными или сборными. Соединение стен с дном – жесткое. Схема простейшего открытого цилиндрического резервуара диаметром до 6 м показана на рисунке 79. Защемление в днище решено с помощью щелевого паза.

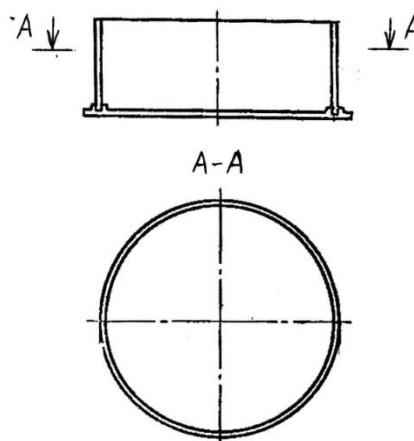


Рисунок 79 – Схема открытого цилиндрического резервуара

Перекрытие закрытых резервуаров может соединяться со стенами жестко, как показано на рисунке 78, или шарнирно, как показано на рисунке 80.

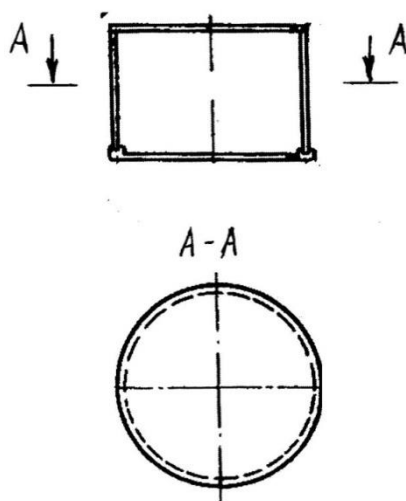


Рисунок 80 – Схема простейшего закрытого цилиндрического резервуара

Конструкции резервуаров диаметром более 6 м решаются с опорой в виде колонны в центре (рисунок 81).

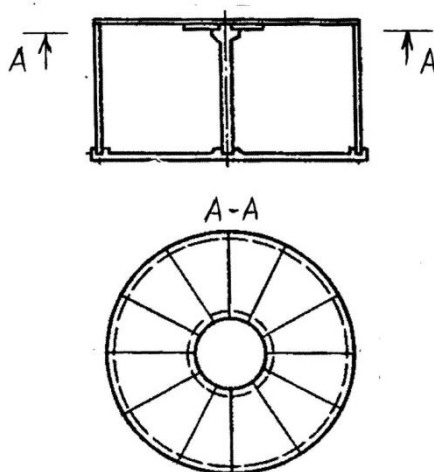


Рисунок 81 – Схема закрытого цилиндрического резервуара с центральной опорой

Центральная колонна резервуара устанавливается в специальный стакан в монолитном днище. Покрытие монолитное или сборное из трапециевидных плит опирается на стены шарнирно. В резервуарах диаметром более 12 м покрытия получают весьма громоздкими, поэтому устраивается внутреннее опорное стеновое кольцо. Диаметры более 24 м имеют только открытые резервуары.

Прямоугольные резервуары проектируются, как правило, многосекционными с пролетами секций от 3 м до 18 м. На рисунке 82 представлены конструктивные схемы прямоугольных резервуаров (слева открытый резервуар, справа – закрытый).

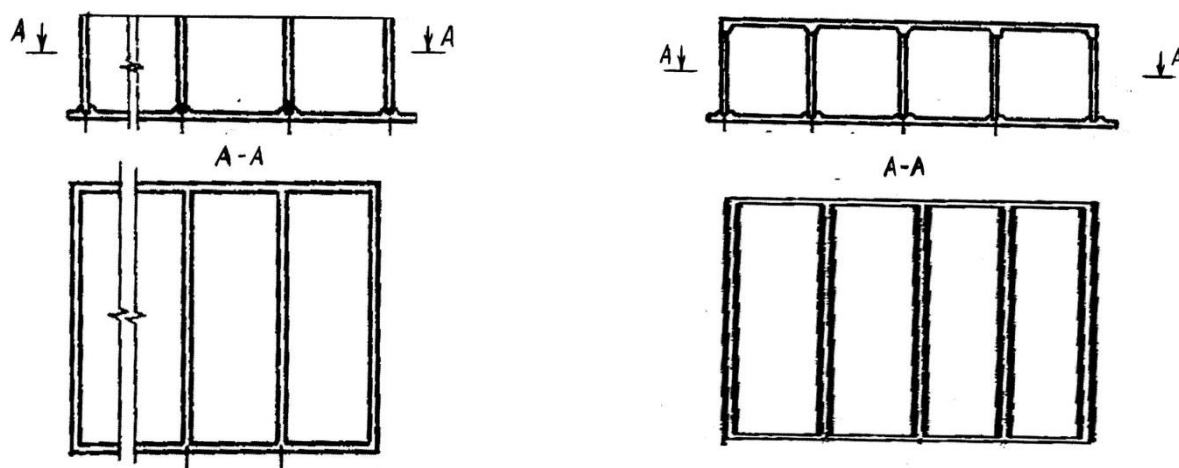


Рисунок 82 – Схемы прямоугольных резервуаров

Днища прямоугольных резервуаров – монолитные железобетонные плиты, стены и покрытие (в закрытых) – монолитные или сборные из типовых плит по номенклатуре изделий для наземных зданий.

Расчет стен заглубленных в грунт резервуаров осуществляется на следующие нагрузки:

- давление воды при отсутствии засыпки (давление на стены только изнутри);

- активное давление грунта при отсутствии воды в резервуаре (давление на стены только снаружи);
- горизонтальное давление грунта от нагрузки на поверхности грунта;
- вес технологического оборудования;
- вертикальная нагрузка от покрытия с учетом веса засыпки.

Расчет днища осуществляется на давление воды при заполненном резервуаре и на подпор подземных вод при отсутствии воды в резервуаре.

В цилиндрических резервуарах нагрузка от давления воды вызывает в стенках в горизонтальной плоскости равномерное по окружности растяжение. Величина растягивающей окружной продольной силы в стенке (при малой толщине стен в сравнении с радиусом резервуара) равна

$$N = \gamma_w \cdot y \cdot \frac{R_1 + R_2}{2}, \quad (19)$$

где γ_w - удельный вес воды,

y - высота столба воды,

R_1 – наружный радиус резервуара,

R_2 – внутренний радиус резервуара.

Давление грунта также принимается равномерным по окружности, но вызывает сжимающие окружные продольные силы

$$N = \lambda \cdot \gamma_g \cdot h \cdot \frac{R_1 + R_2}{2}, \quad (20)$$

где λ – коэффициент горизонтального распора грунта

$$\lambda = \operatorname{tg}^2 \frac{90^\circ - \varphi}{2}, \quad (21)$$

φ – угол внутреннего трения грунта,

γ_g - удельный вес грунта,

h - высота столба грунта, отсчитываемая от поверхности.

При большой толщине стен окружные напряжения в стенке по толщине распределяются неравномерно. При действии давления воды наибольшие нормальные напряжения в стенке могут быть вычислены по формуле

$$\sigma_t = \frac{R_2^2 \cdot \gamma_w \cdot y}{(R_1^2 - R_2^2)} \left(\frac{R_1^2}{r^2} + 1 \right), \quad (22)$$

где r – радиальная координата, отсчитываемая от центра окружности.

Для определения наибольших нормальных напряжений в стенке от давления грунта формула имеет вид

$$\sigma_t = - \frac{R_1^2 \cdot \lambda \cdot \gamma_g \cdot h}{(R_1^2 - R_2^2)} \left(\frac{R_2^2}{r^2} + 1 \right). \quad (23)$$

Влияние нагрузки на поверхности, как правило, не является осесимметричным и вызывает изгиб стенок.

Прямоугольные резервуары, в отличие от цилиндрических, испытывают изгиб, как от влияния грунта, так и от влияния давления воды. Расчет стен прямоугольных резервуаров в вертикальной плоскости может быть осуществлен по балочной схеме. В средней зоне по длине (или по ширине) стенки участок стены шириной 1 м рассматривается как консольная балка, защемленная в днище (открытый резервуар) или балка, защемленная в днище и опертая шарнирно на перекрытие (закрытый резервуар). Нагрузка по

высоте распределяется по линейному закону в соответствии с законом активного давления на подпорную стену. В крайних по длине (ширине) зонах стен расчет осуществляется по схеме плиты, опертой по контуру.

В горизонтальной плоскости при соотношении сторон резервуара в плане не более, чем 1,2, в средней по высоте зоне стенка рассчитывается как замкнутая рама шириной 1 м на упругом основании. В нижней зоне расчет производится по схеме плиты, опертой по контуру.

Расчет днища осуществляется по схеме плиты на упругом основании.

7 Подпорные стены

7.1 Конструкции подпорных стен

Подпорные стены широко применяются при благоустройстве городских территорий. Пример использования подпорных стен при благоустройстве городской территории показан на рисунке 83.



Рисунок 83 –Подпорные стены при благоустройстве территории

Подпорные стены, как было отмечено выше, представляют собой защитные сооружения, удерживающие в равновесии вертикальные (или круто наклонные) откосы сыпучего материала, в частности грунта. В качестве городских инженерных сооружений наиболее частое их использование связано с ограждением дорог, проложенных на склонах. На рисунке 84 представлено строительство дороги на склоне горы. Показана возведенная часть бетонной подпорной стены.



Рисунок 84 – Возведение подпорной стены

Подпорные стены являются неременным элементом при устройстве набережных. Пример набережной показан на рисунке 85, где левая часть набережной представляет собой береговое укрепление, обеспечивающее устойчивость грунта при воздействии воды, а правая часть защищает дорожное полотно от сползания грунта. Таким образом, по одну сторону подпорной стены находится грунт или другая сыпучая среда, противоположная поверхность стены свободна или – в случае набережной – находится в контакте с водой.



Рисунок 85 – Набережная

Выполняя свою защитную функцию, подпорная стена испытывает горизонтальное давление со стороны грунта (сыпучей среды). В результате этого воздействия подпорная стена может быть сдвинута с места, либо опрокинута, либо разрушена. Поэтому конструкция подпорной стены должна быть такой, чтобы ни один из указанных видов потери несущей способности не мог осуществиться.

Для возведения подпорных стен используются разные материалы: бутовый камень, кирпич, монолитный и сборный бетон, монолитный и сборный железобетон, дерево, металл. Также весьма разнообразны и конструкции подпорных стен. Но все конструкции можно разделить на две группы: гравитационные (жесткие) и гибкие.

В гравитационных стенах сопротивление сдвигу и опрокидыванию обеспечивается за счет гравитационных сил (сил тяжести). Гравитационные

подпорные стены в свою очередь подразделяются на массивные и тонкостенные.

Массивные подпорные стены сопротивляются сдвигу и опрокидыванию за счет собственного веса. При этом конструкция стены играет существенную роль. На рисунке 86 показаны различные варианты массивных подпорных стен.

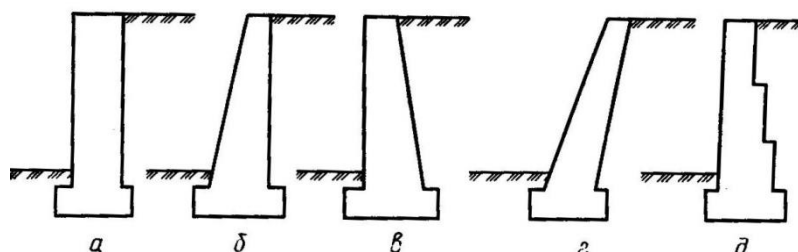


Рисунок 86 – Типы массивных подпорных стен

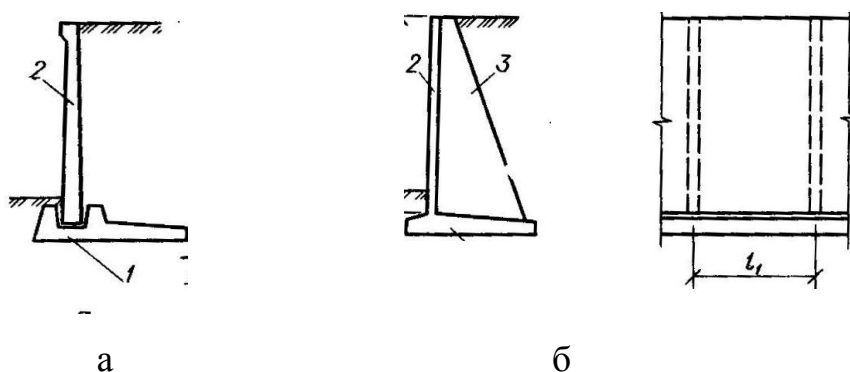
Простейшая вертикальная стена обозначена на рисунке 86 буквой *а*. Грунт, расположенный справа от стены оказывает горизонтальное давление на стену, которое, кроме сдвигающего эффекта создает опрокидывающий момент, действующий против часовой стрелки. Опрокидывание может произойти путем поворота стены относительно левой крайней точки подошвы стены. Равнодействующая собственного веса стены создает относительно той же точки удерживающий момент, направленный по часовой стрелке. Опрокидывающий момент, создаваемый грунтом, не зависит от толщины стены, а удерживающий зависит. Увеличивая толщину стены можно получить удерживающий момент, превышающий по величине опрокидывающий и тем самым обеспечивающий устойчивость положения подпорной стены.

Остальные конструкции используют более сложные геометрические формы для уменьшения расхода материала. Буквой *б* на рисунке 86 обозначена стена переменной толщины. В результате увеличения толщины

книзу центр тяжести стены сдвигается вправо и соответственно увеличивается удерживающий момент. В варианте *в* к весу стены добавляется часть веса грунта, действующая на стенку благодаря ее наклону, что также увеличивает удерживающий момент. В варианте *г* за счет наклона стены уменьшается горизонтальное давление грунта и, следовательно, уменьшается опрокидывающий момент. Тот же эффект, что и в варианте *в* достигается и в ступенчатой стенке (рисунок 86 *д*).

Из рассмотрения рисунков можно заметить, что подпорные стены на схемах заглублены в грунт. Это сделано для того, чтобы включить в работу пассивное давление. Пассивное давление, действующее на участке заглубления в грунт, препятствует опрокидыванию и сдвигу стены. Более подробно о механизме взаимодействия подпорной стены с грунтом будет сказано в разделе 7.2.

В тонкостенных подпорных стенках в работу по обеспечению устойчивости стенки на сдвиг и опрокидывание включается масса удерживаемого грунта. На рисунке 87 *а* показана простейшая уголковая стена, состоящая из лицевой (вертикальной) и фундаментной плит, жестко соединенных между собой.



1- фундаментная плита; 2 – лицевая плита; 3 – контрфорс.

Рисунок 87 – Уголковые подпорные стены

Фундаментная плита развита в сторону грунта для того, чтобы масса части грунта, находящаяся над плитой, создавала удерживающий момент и одновременно увеличивала силу трения подошвы о грунт, также препятствующую сдвигу. Естественно, что лицевая плита испытывает изгиб от давления грунта, работая как консоль. В варианте на рисунке 87 б жесткость стены существенно повышена за счет вертикальных поперечных ребер – контрфорсов, являющихся как бы дополнительными опорами для лицевой плиты.

Аналогичные конструкции имеют подпорные стены набережных, примеры которых представлены на рисунке 88.

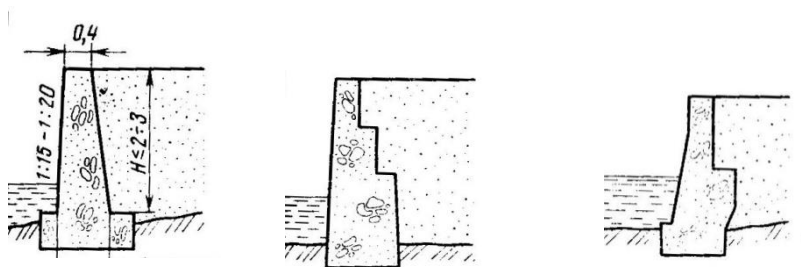


Рисунок 88 – Некоторые типы подпорных стен набережных

Как видно, конфигурация стен преследует цель использовать вес грунта для увеличения удерживающего момента. Следует заметить, что давление воды способствует повышению устойчивости стены, поскольку направлено в сторону, противоположную давлению грунта.

7.2 Расчет подпорных стен

Нагрузками на подпорную стену являются: собственный вес конструкции, вертикальное и горизонтальное давление удерживаемого грунта, а также горизонтальное давление грунта, вызванное вертикальной

нагрузкой, действующей на поверхности грунта (давление зданий, сооружений, оборудования, транспорта и др.). Основной задачей при расчете подпорных стен является определение горизонтальных нагрузок, передаваемых на стену грунтом. Точное решение этой задачи, выполняемое методами механики сыпучих сред, достаточно сложно и доступно только с помощью численных компьютерных моделей. На практике часто пользуются упрощенными методами, построенными на теории Кулона и дающими приемлемые результаты при проектировании подземных сооружений.

Расчетная схема к решению задачи о давлении грунта на подпорную стену при плоской постановке показана на рисунке 89.

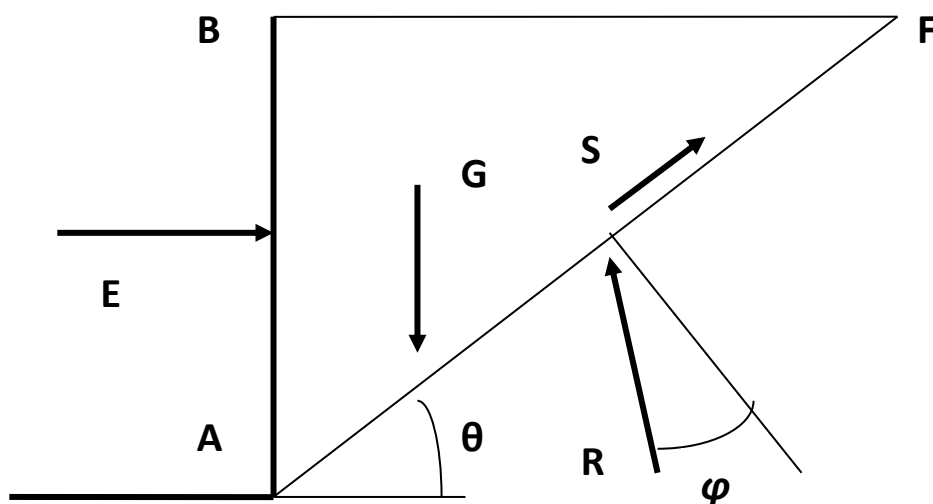


Рисунок 89 – Схема к постановке задачи о давлении грунта на подпорную стену

На схеме AB – подпорная стена, BF – поверхность грунта. Согласно теории Кулона давление грунта на подпорную стену оказывает часть грунта ABF, называемая призмой сползания (обрушения, скольжения), находящаяся в состоянии предельного равновесия. G – равнодействующая веса грунта,

находящегося в пределах призмы ABF. При отсутствии стены призма сползания ABF стремится под действием сил тяготения сползти вниз по поверхности AF. Ее пытаются удержать сила трения R на поверхности сползания, зависящая от реакции неподвижной части грунта и угла внутреннего трения грунта φ , и равнодействующая сил сцепления грунта S, действующих на поверхности AF. Если величина проекции силы G на ось AF будет больше, чем сумма проекций сил R и S на ту же ось, то призма начнет сползать. Естественно, что условие равновесия призмы сползания зависит от угла сползания θ .

Для равновесия призмы сползания необходимо ввести в рассмотрение стену, которая окажет сопротивление сползанию. Равнодействующая сил сопротивления стены обозначена на расчетной схеме буквой E. Изменяя угол сползания и рассматривая при этом равновесие призмы, можно найти такую величину угла сползания, при которой требуемая величина силы E будет наибольшей. Согласно закону Ньютона сила сопротивления стены E равновелика силе давления грунта на стену. Эта величина носит название **активного** давления грунта на подпорную стену.

Если создать давление на грунт большее, чем определенное как активное, то равновесие также будет обеспечено, но за счет сил трения и сцепления, действующих в обратном направлении, удерживая призму ABF от выпирания вверх. Условие равновесия в этом случае также будет зависеть от угла θ . Тот угол, при котором величина давления со стороны стены, вызывающего выпирание грунта, будет наименьшей, называется углом выпирания. А величина сопротивления грунта при этом – **пассивным** давлением.

Сформулируем теперь понятия активного и пассивного давления проще, так, как это происходит в природе. Пусть подпорная стена давит на грунт с определенной силой и грунт при этом находится в равновесии. Будем уменьшать давление на грунт до тех пор, пока равновесие не нарушится.

Состояние грунта, соответствующее моменту потери равновесия называется предельным равновесием. Наименьшая величина давления, обеспечивающая равновесие, называется активным давлением.

Будем теперь, наоборот, увеличивать давление до тех пор, пока не произойдет выпирание. Наибольшая величина давления, при котором еще не происходит выпирание грунта, называется пассивным давлением.

Приведенное ниже решение поставленной задачи о величине активного давления на подпорную стену получено при следующих упрощающих положениях – подпорная стена прямолинейная в плане, длина стены намного превосходит остальные геометрические размеры, стена вертикальная, поверхность грунта плоская и горизонтальная, грунт однородный, трение грунта о стену отсутствует, поверхность сползания призмы плоская.

Угол сползания (обрушения, скольжения), полученный в результате решения задачи о предельном равновесии грунта:

$$\theta = \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}, \quad (24)$$

где φ – угол внутреннего трения грунта, являющийся механической характеристикой прочности грунта.

Равнодействующая активного давления определяется выражением

$$E = \frac{\gamma \cdot H^2}{2} \cdot \operatorname{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) - 2c \cdot H \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\varphi}{2}\right), \quad (25)$$

где γ – удельный вес грунта,

H – высота стены,

c – удельное сцепление грунта, также являющееся механической характеристикой прочности грунта.

Как видно из рассмотрения формулы, величина активного давления является квадратичной функцией от высоты подпорной стены. Следовательно, интенсивность давления по высоте стены распределяется неравномерно. Дифференцируя выражение (25) по высоте, получаем формулу для интенсивности активного давления:

$$p_a = \gamma \cdot y \cdot \operatorname{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) - 2c \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\varphi}{2}\right), \text{ кН/м}, \quad (26)$$

где y – расстояние по вертикали от поверхности грунта до расчетной точки на стене, в которой определяется давление.

Входящая в формулу величина

$$\lambda = \operatorname{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right), \quad (27)$$

встречалась ранее при расчете бункеров, силосов, заглубленных резервуаров, где также рассматривается давление сыпучего материала на стенки. Она носит название: коэффициент бокового (горизонтального) давления или коэффициент бокового распора.

Аналогично активному давлению определяется пассивное давление. Формула для интенсивности пассивного давления при тех же условиях, которые указаны выше:

$$p_n = \gamma \cdot y \cdot \operatorname{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right) + 2c \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{2} + \frac{\varphi}{2}\right). \quad (28)$$

В формуле 28 величина y – расстояние по вертикали от поверхности грунта на свободной стороне стены (противоположной той стороне, которая находится в контакте с удерживаемым грунтом) до расчетной точки на заглубленной части стены, в которой определяется давление. Наибольшая величина интенсивности пассивного давления получается при величине y , равной глубине заделки стены в грунт.

Если на поверхности призмы сползания ABF по линии BF приложена вертикальная равномерно распределенная нагрузка интенсивностью q , то ее влияние на стену учитывается добавкой к активному давлению, действующей по всей высоте стены и определяемой формулой

$$p_q = q \cdot \lambda \dots (29)$$

Если нагрузка, действующая на поверхности призмы сползания, приложена на ограниченном участке поверхности, то ее действие на стену ограничено участком KX (рисунок 90).

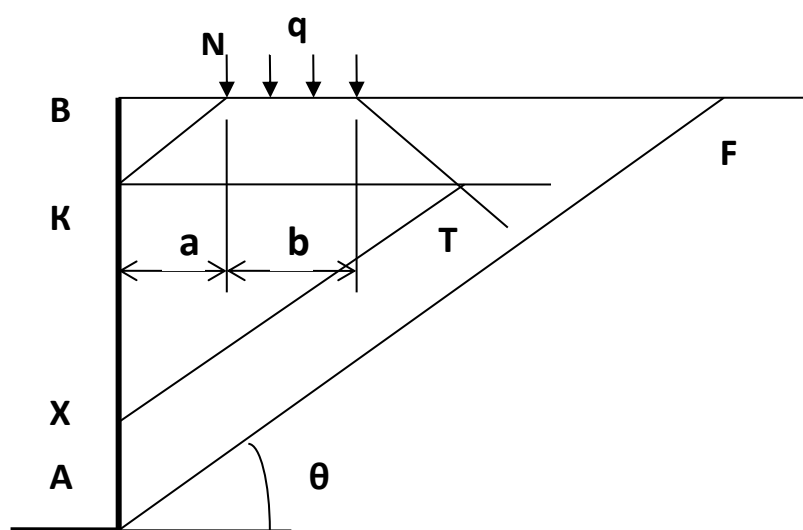


Рисунок 90 – Схема к определению влияния нагрузки на поверхности

Линии KN и XT на рисунке параллельны линии сползания AF. Точка Т получена путем проведения из конца полосы действия нагрузки на поверхности линии под углом сползания θ , симметрично линии KN. Формула для определения интенсивности добавки к активному давлению, действующей на участке стены KX имеет вид

$$p_q = \frac{q \cdot b}{2a + b} \cdot \lambda \quad . \quad (30)$$

Расчетная схема при расчете подпорной стены на прочность – консольный стержень, заделанный нижним концом. При расчете на сдвиг сдвигающая сила – равнодействующая активного давления, удерживающая – сумма силы трения подошвы стены о грунт, создаваемая весом стены и части призмы сползания (в зависимости от конструкции стены), и равнодействующей пассивного давления на участке заделки стены. При расчете на опрокидывание опрокидывающий момент создается активным давлением, удерживающий – весом стены и части грунта, зависающей над подошвой стены (в зависимости от конструкции стены), а также пассивным давлением на заделанную в грунт часть стены.

8 Подземные сооружения

8.1 Подземные автопарковки

Строительство подземных автопарковок и гаражей бурно развивается в настоящее время. Причиной этого является то, что значительная часть городских территорий вынужденно отводится под стоянки – постоянные и временные – личных автомобилей. Строительство многоэтажных наземных автопарковок лишь частично решает эту проблему, поскольку они также требуют выделения для строительства части городской территории.

Подземные парковки практически не требуют на поверхности места, за исключением небольшого участка для въезда в парковку. Строительство жилых, административных, образовательных, зрелищных, торговых и многих других типов зданий с одновременным оснащением подземными парковками может полностью решить вопрос об эффективности использования городской территории.

Основным материалом для подземной парковки является железобетон – монолитный или сборный. На рисунке 91 представлен общий вид типичной подземной парковки. Перекрытие выполнено из железобетонных плит. Плиты опираются на монолитные квадратные колонны. Кроме колонн в качестве поддерживающих элементов перекрытия применяются пилоны. Пилоны

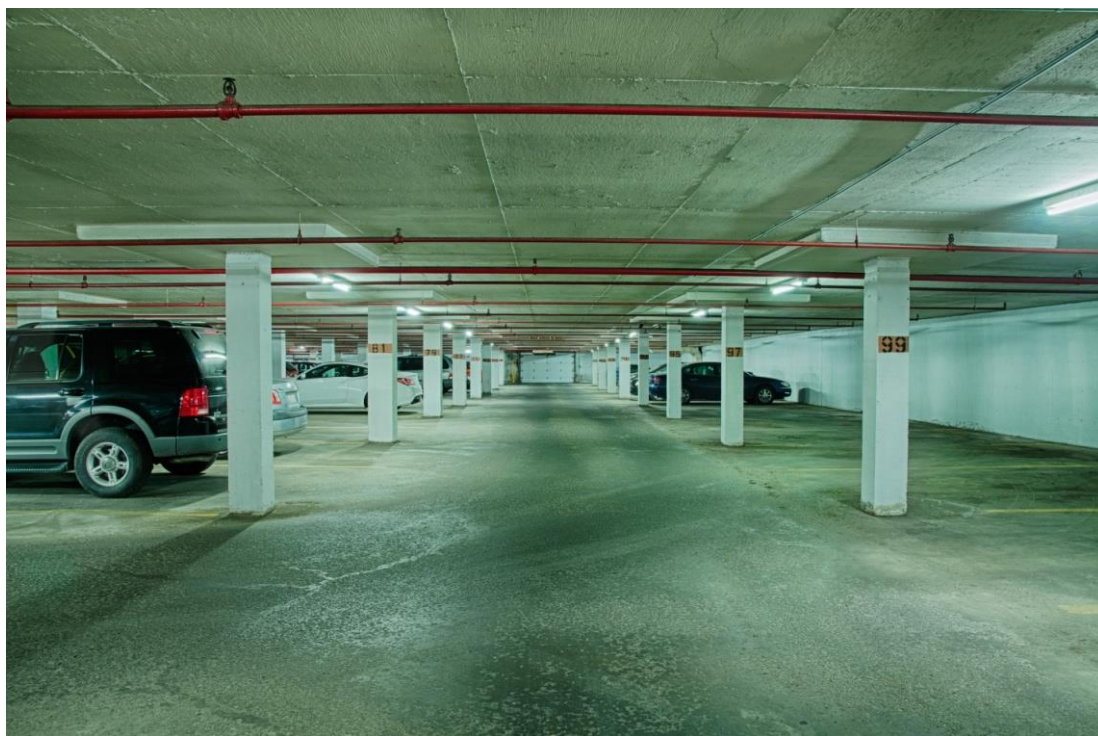


Рисунок 91 – Общий вид подземной парковки

Можно выделить два типа этих инженерных сооружений по расположению относительно поверхности земли: расположенные в подвальной части зданий и расположенные под незастроенной территорией. Подземные автопарковки, расположенные в подвальной части зданий, испытывают нагрузки, передаваемые на них наземной частью здания, и горизонтальные нагрузки от взаимодействия с грунтом. Подземные автопарковки, расположенные под незастроенной территорией, кроме горизонтальных нагрузок от взаимодействия с грунтом, подвержены воздействию вертикальной нагрузки: снеговой и веса слоя грунта, перекрывающего сооружение. Величина этого слоя зависит от условий эксплуатации территории, расположенной над парковкой.

Если на поверхности земли над парковкой расположен газон или мелкий кустарник, то толщина слоя грунта, перекрывающего парковку, минимальна. На рисунке 92 представлена модель многоярусной парковки, над которой на поверхности устроен газон. Спуск в парковку решен в виде пандуса. Парковка многоярусная.



Рисунок 92 – Подземная парковка под газоном

Другое дело, если над парковкой находится проезжая часть дороги с интенсивным движением или лесные насаждения – здесь толщина слоя грунта должна быть значительно больше. Пример парковки под проезжей частью магистрали представлен на рисунке 93.



Рисунок 93 – Подземная парковка типа колодец

Конструкция парковки решена в форме колодца – многоярусного подземного сооружения с небольшой площадью в плане.

Применяются также конструкции подземных парковок в виде тоннелей. Пример такой конструкции показан на рисунке 94. Парковка представляет собой два тоннеля со сводчатым перекрытием, соединенные

между собой короткими туннелями (сбойками). Тоннели имеют значительную высоту, позволяющую разместить несколько ярусов парковки.

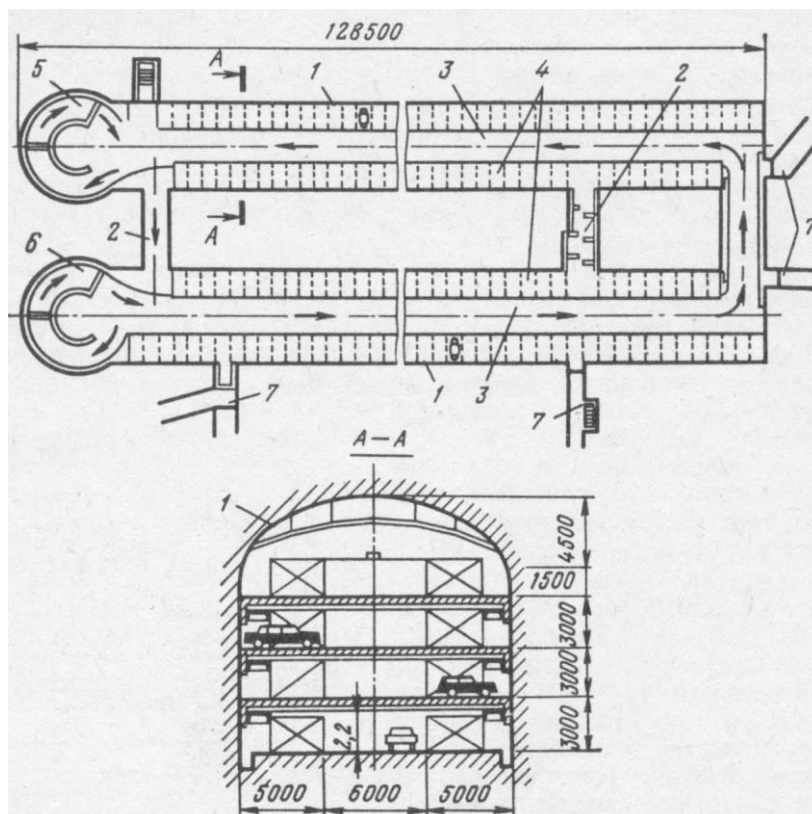


Рисунок 94 – Подземная парковка тоннельного типа

При небольшой площади, занимаемой парковкой, и большим числом ярусов применен эффективный вид въезда в парковку – спиральный спуск. Фрагмент спирального спуска в подземную парковку продемонстрирован на рисунке 95.

Подземные парковки располагаются в грунте и вынуждены вступать с окружающим грунтом во взаимодействие. Стены подземных парковок являются подпорными стенами, и определение горизонтального давления грунта на стены не отличается от этой операции, осуществляемой при расчете подпорных стен.



Рисунок 95– Спиральный спуск в подземную парковку

Покрывтия подземных парковок испытывают вертикальное давление грунта, интенсивность которого принимается равной

$$p_n = \gamma \cdot y, \quad (31)$$

где y – расстояние от поверхности грунта до верхней грани перекрытия.

Что касается воздействия нагрузки, которая возникает от находящихся на поверхности зданий и сооружений, машин, оборудования т.п., то она должна быть приведена к нагрузке, равномерно распределенной по площади, а ее действие учитывается так же, как при расчете подпорной стены по теории Кулона. На рисунке 96 показана схема, поясняющая определение участка перекрытия, на который распространяется действие нагрузки, передаваемой с поверхности.

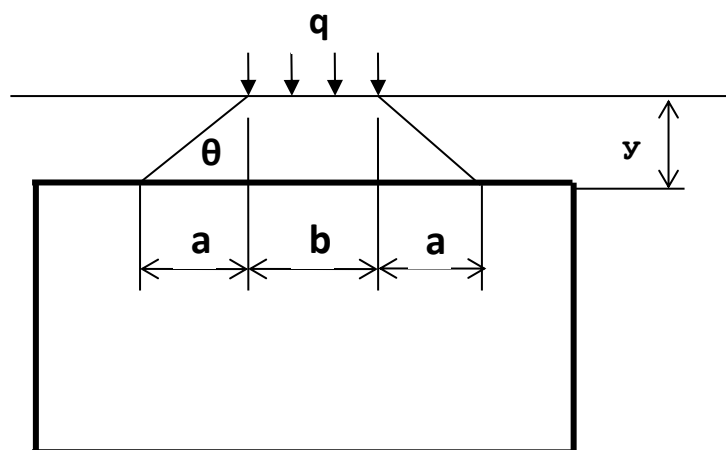


Рисунок 96 – К определению вертикального давления на перекрытие

Зона действия нагрузки в грунте ограничивается двумя наклонными линиями, проведенными на схеме симметрично под углом сползания θ из граничных точек полосы действия нагрузки на поверхности. Ширина полосы, на которую действует эта нагрузка, возрастает с глубиной, а ее интенсивность соответственно уменьшается и вычисляется по формуле

$$p_q = \frac{q \cdot b}{2a + b}. \quad (32)$$

Если при построении левая линия, проведенная под углом θ к горизонту и ограничивающая участок действия поверхностной нагрузки, остается справа от контура подземного сооружения и не пересекает его, то воздействие на сооружение отсутствует. То же следует и в том случае, если правая линия, проведенная под углом θ , остается слева от контура подземного сооружения и не пересекает его.

Совершенно аналогично определяется нагрузка и участок ее воздействия в плоскости, перпендикулярной рассмотренной.

Упрощенные расчетные схемы стены подземной парковки аналогичны расчетным схемам закрытых резервуаров – это вертикальные стержни, жестко или шарнирно опертые по концам. По балочной схеме упрощенно можно рассчитывать и перекрытие. Стены парковок типа колодца рассчитываются как оболочки, аналогично цилиндрическим резервуарам. Конструкции тоннельного типа рассчитываются в поперечном сечении по плоской рамной схеме.

8.2 Подземные пешеходные переходы

Подземные пешеходные переходы сооружаются для безопасного пересечения городских улиц с интенсивным автомобильным движением, железнодорожных путей, а также для соединения транспортных пересадочных узлов (например, в метрополитенах). Подземные переходы, в отличие от надземных пешеходных переходов, более безопасны и в обычных условиях не подвержены влиянию атмосферных воздействий.

Подземные пешеходные переходы по конструктивному типу относятся к тоннелям. Схема подземного перехода представлена на рисунке 97.

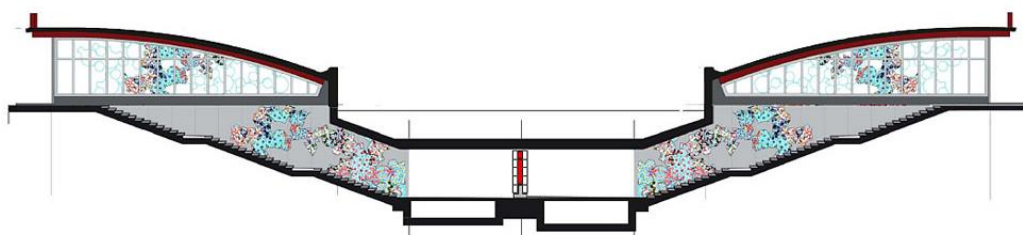


Рисунок 97 – Схема подземного пешеходного перехода

Переход обычно состоит из подземного участка - тоннеля, по которому осуществляется движение пешеходов, и открытых участков – рампы, по

которым происходит спуск в переход и выход на поверхность. Вид тоннеля пешеходного перехода показан на рисунке 98.

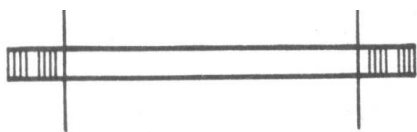


Рисунок 98 – Тоннель подземного пешеходного перехода

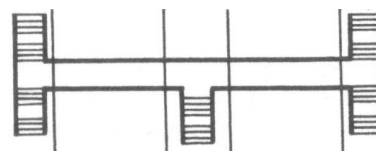
Подземная часть перехода также может представлять собой камеру - сооружение, длина и ширина которого соизмеримы.

Подземные пешеходные переходы в плане различаются в основном расположением выходов на поверхность. На рисунке 99 а - простейший (линейный) переход, в котором направление выходов совпадает с направлением трассы тоннеля. У перехода на рисунке 99 б выходы перпендикулярны трассе тоннеля. Кроме того, имеется выход на поверхность посередине тоннеля. Такой переход устраивается, например, на улице бульварного типа.

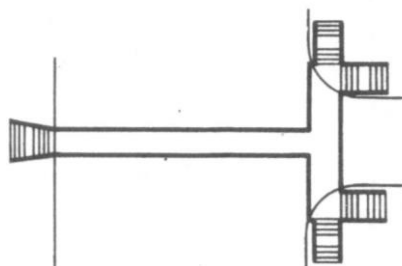
а



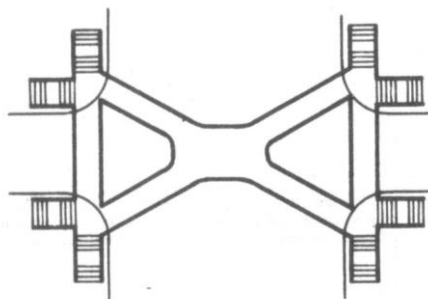
б



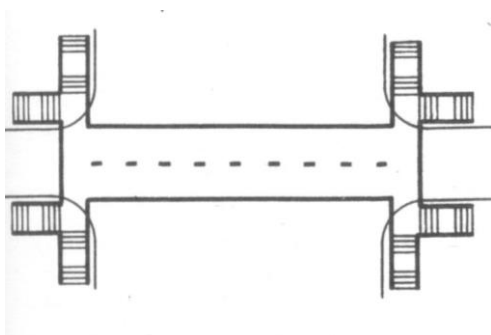
в



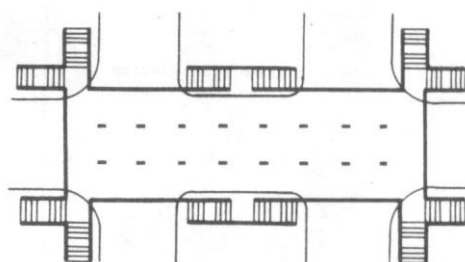
г



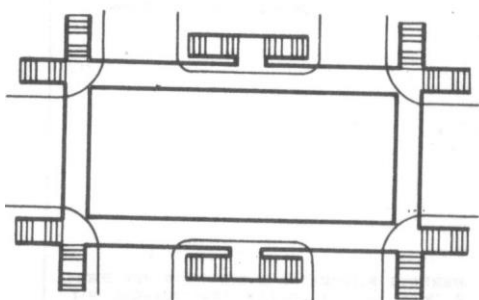
д



е



ж



з

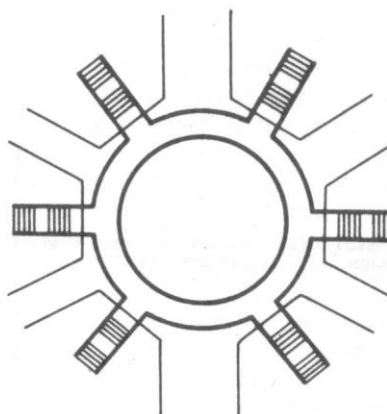


Рисунок 99 – Планировочные решения подземных переходов

Переход, представленный на рисунке 99 в, удобен в том случае, когда на выходе из перехода интенсивные людские потоки идут в разные стороны. На

рисунке 99 г изображен план перехода через площадь, выполненный двумя скрещивающимися тоннелями с камерой посередине перехода. Рисунок 99 д демонстрирует переход с тоннелем большой ширины, в котором перекрытие имеет промежуточные опоры в виде колонн или пилонов. На рисунке 99 е переход, расположенный на пересечении двух магистралей, имеет подземную часть камерного типа с двумя рядами колонн или пилонов. Такой переход может быть использован для расположения в нем торговых, пищевых или хозяйственных объектов. Рисунок 99 ж представляет пешеходный переход, аналогичный переходу, показанному на рисунке 99 е, но выполненный из четырех тоннелей. Наконец, на рисунке 99 з приведен вариант кольцевого подземного перехода через площадь, с шестью выходами на поверхность.

Полоса движения пешеходов в подземных пешеходных переходах располагается на глубине от 4,5 до 5 м от поверхности проезжей части. Ширина одной полосы движения пешеходов - 1 м. Ширина тоннеля перехода поэтому должна быть кратной двум метрам, но не менее 3 м: от 4 м до 12 м. Высота тоннеля перехода в свету (от уровня пола до низа выступающих конструкций) принимается обычно до 2,5 м, но не менее 2,3 м. В многопролетном тоннеле допускается снижать высоту перехода до 2,1 м. Продольный уклон тоннеля не должен превышать 40 ‰, поперечный уклон - не менее 10 ‰.

Ширина лестничных сходов и пандусов принимается исходя из требуемой пропускной способности, но не менее 2,25 м. Максимальная расчетная пропускная способность одного метра лестничного схода 1500 человек в час, пандуса - 1750 человек в час. Уклон пандуса должен составлять не более 60 ‰, Лестничные сходы проектируются исходя из следующих требований: уклон – 1:3,3, ступени высотой 12 см и шириной 40 см, на одном марше – не более 14 ступеней, ширина промежуточных площадок – не менее 1,5 м.

Поперечные сечения пешеходных тоннелей преимущественно прямоугольные. Сводчатые сечения применяются при глубоком (более 15 м от поверхности земли) заложении пешеходных переходов (между станциями метрополитенов). Поперечное сечение обделки тоннеля должно быть замкнутым. Основной материал обделки подземных пешеходных переходов – сборный или монолитный железобетон. На рисунке 100 показан пешеходный переход, обделка которого смонтирована из секций заводского изготовления.



Рисунок 100 – Поперечное сечение подземного пешеходного перехода из секций заводского изготовления

Подземный пешеходный переход подвержен опасности затопления. Поэтому предусматривается отвод воды с поверхностей лестничных сходов, пешеходных пандусов и полосы движения тоннеля с помощью системы уклонов и водоотводных лотков. Верхние площадки сходов устраиваются приподнятыми не менее чем на 8 и не более чем на 12 см. В тоннеле у

лестничных сходов и пешеходных пандусов устраиваются прямки с решетками по всей ширине. Прямки оборудуются водоотводом. Внутренний водоотвод воды из тоннеля и служебных помещений предусматривается самотеком по трубам, заложенным в основании тоннеля. При расположении пола пешеходного тоннеля ниже городского водостока необходимо наличие в переходе специальной водоотливной установки. Обделка тоннеля должна быть защищена от проникновения грунтовых и поверхностных вод путем устройства гидроизоляции.

Определение нагрузок и упрощенный расчет обделок тоннелей подземных пешеходных переходов аналогичен расчету конструкций подземных парковок и других подземных сооружений.

8.3 Коммунальные тоннели

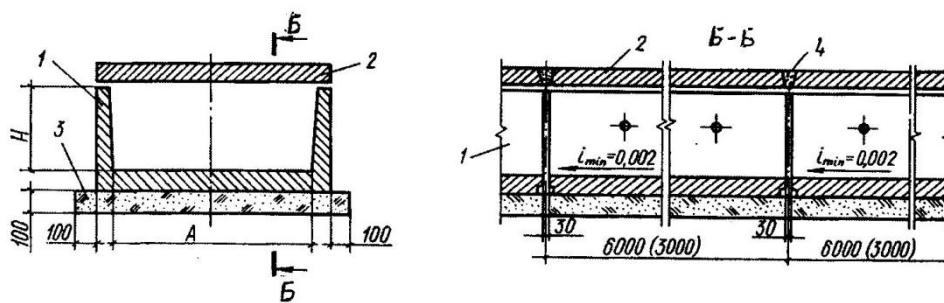
Коммунальные тоннели – протяженные инженерные подземные сооружения городского хозяйства. Сюда относятся коллекторы системы канализации – тоннели, в которые поступают сточные воды из всех городских канализационных труб. Коллекторами также называют тоннели, в которых прокладывают трубы канализации, водоснабжения, теплоснабжения, газоснабжения, водостоки для отвода дождевых и талых вод, а также силовые кабели, кабели связи и т.д. Коммунальные тоннели, служащие для прокладки систем связи еще называют коммуникационными.

Глубина заложения городских коммунальных тоннелей зависит от геологических и климатических условий, рельефа местности и составляет обычно менее 5 м, а в отдельных случаях может достигать 25 м и более. Коммунальные тоннели могут быть непроходными, полупроходными и проходными. Непроходные коллекторы имеют мелкое заложение и недоступны для проникновения в них без вскрытия (в силу малого поперечного сечения). Полупроходные коллекторы имеют высоту в свету от

1,4 м до 1,6 м: человек может пробраться по этому тоннелю, лишь согнувшись. Проходные тоннели доступны для прохода людей: их высота в свету не менее 1,8 м. Таким образом, коммуникации, расположенные в полупроходных и проходных тоннелях, доступны для контроля и проведения оперативного ремонта без нарушения поверхности.

Трассу коммунальных тоннелей стараются выбрать прямолинейной и располагать в тротуарной части или в зоне зеленых насаждений параллельно проезжей части улиц или красным линиям. При выборе трассы учитываются существующие другие подземные коммуникации. Продольный профиль коллектора должен иметь уклон не менее 2 ‰ для обеспечения стока воды по водоотводному лотку. Поперечные сечения коммунальных тоннелей чаще всего прямоугольные, что удобно для размещения в них различного оборудования.

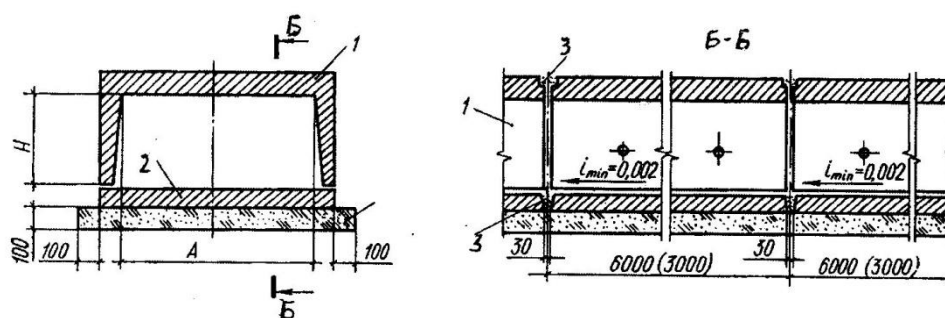
Коммунальные тоннели мелкого заложения чаще всего сооружаются из готовых железобетонных блоков заводского изготовления или из крупноразмерных элементов. Тоннель лоткового типа (вариант 1), схема которого представлена на рисунке 101, состоит из железобетонного лотка, перекрытого плитой. Швы между элементами и между звеньями тоннеля заделываются цементным раствором.



1 – лоток; 2 – плита перекрытия; 3 – песчаная подготовка; 4 – цементный раствор.

Рисунок 101 – Вариант 1 тоннеля лоткового типа

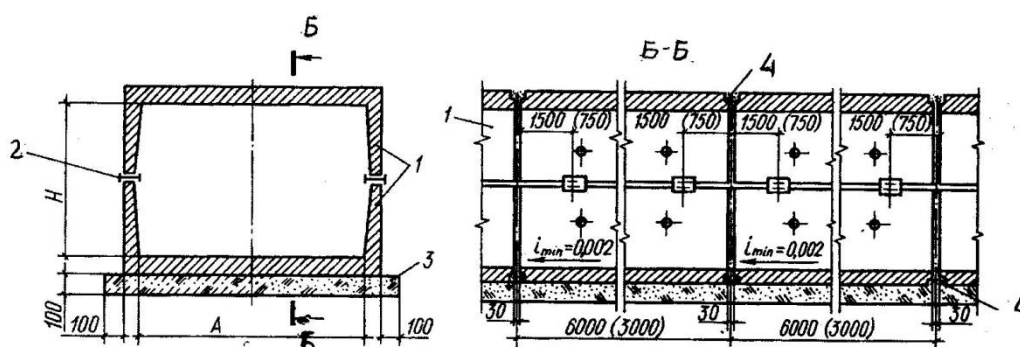
На рисунке 102 показан лотковый тоннель (вариант 2), перекрытием которого служит перевернутый лоток, а донная часть выполнена из железобетонной плиты.



1 – лоток; 2 – плита днища; 3 –цементный раствор.

Рисунок 102 – Вариант 2 тоннеля лоткового типа

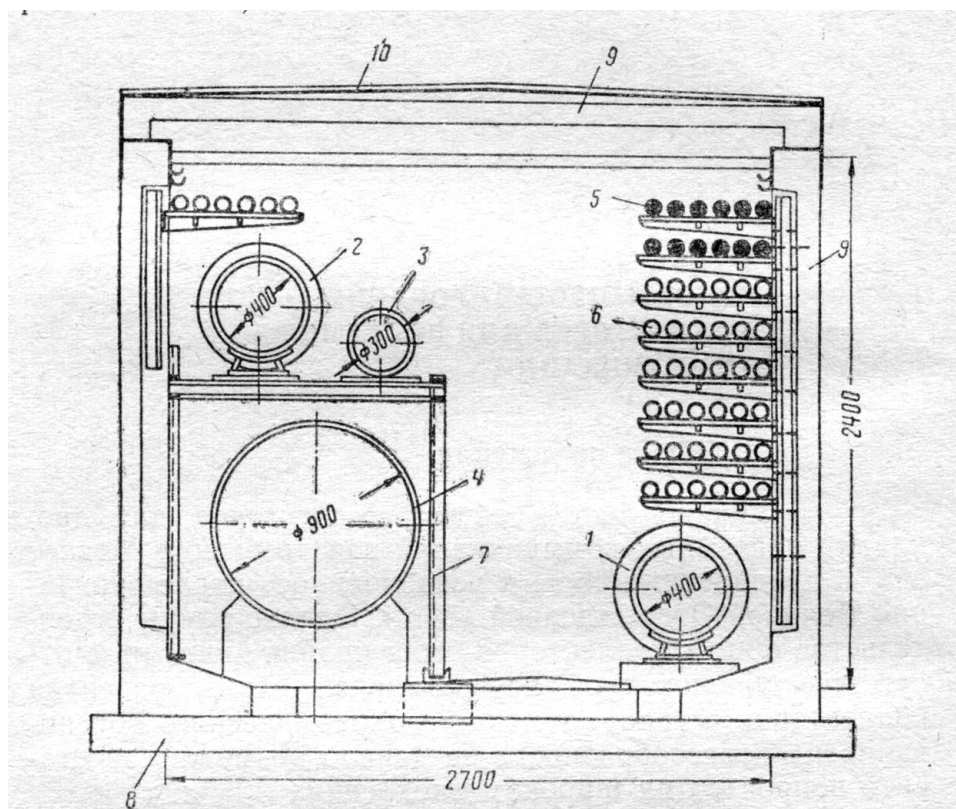
Лотковый тоннель повышенной высоты (вариант 3) можно получить, если лотки установить друг на друга и соединить их между собой с помощью двутавра (рисунок 103).



1 – лоток; 2 –соединительный элемент; 3 - песчаная подготовка; 4 – цементный раствор.

Рисунок 103 – Вариант 3 тоннеля лоткового типа

На рисунке 104 приведена схема поперечного сечения проходного коммунального тоннеля с расположением элементов коммуникационных сетей: трубопроводов и кабелей. Габариты тоннеля позволяют свободный проход для обслуживающего персонала. Прямоугольная форма позволяет выполнять конструкцию (обделку) из сборного железобетона.



1 – подающий теплопровод; 2 – обратный теплопровод; 3, 4 – водопровод; 5 – телефонные кабели; 6 – электрические кабели; 7 – металлическая подвижная опора; 8 – бетонная подготовка; 9 – обделка из железобетонных блоков; 10 – гидроизоляция.

Рисунок 104 – Схема поперечного сечения коммунального тоннеля мелкого заложения

Общее представление о коммунальном тоннеле прямоугольного сечения из железобетонных блоков дает рисунок 105.



Рисунок 105 – Коммунальный тоннель

Прямоугольные поперечные сечения тоннелей глубокого заложения становятся неэффективными из-за значительной вертикальной нагрузки, вызывающей большие изгибающие моменты в плоском перекрытии. Поэтому глубокие тоннели обычно имеют сводчатое поперечное сечение. На рисунке 106 представлен фрагмент сводчатого проходного канализационного коллектора, обделка которого выполнена из кирпича. Назначение такого тоннеля – собирать сточные воды из всей канализационной сети города и отправлять этот поток на переработку или на утилизацию. В стенках тоннеля видны выходы канализационных труб. Видно также, что движение сточных вод осуществляется самотеком по дну тоннеля. Такие тоннели называются безнапорными в отличие от напорных тоннелей, в которых вода полностью покрывает все сечение.

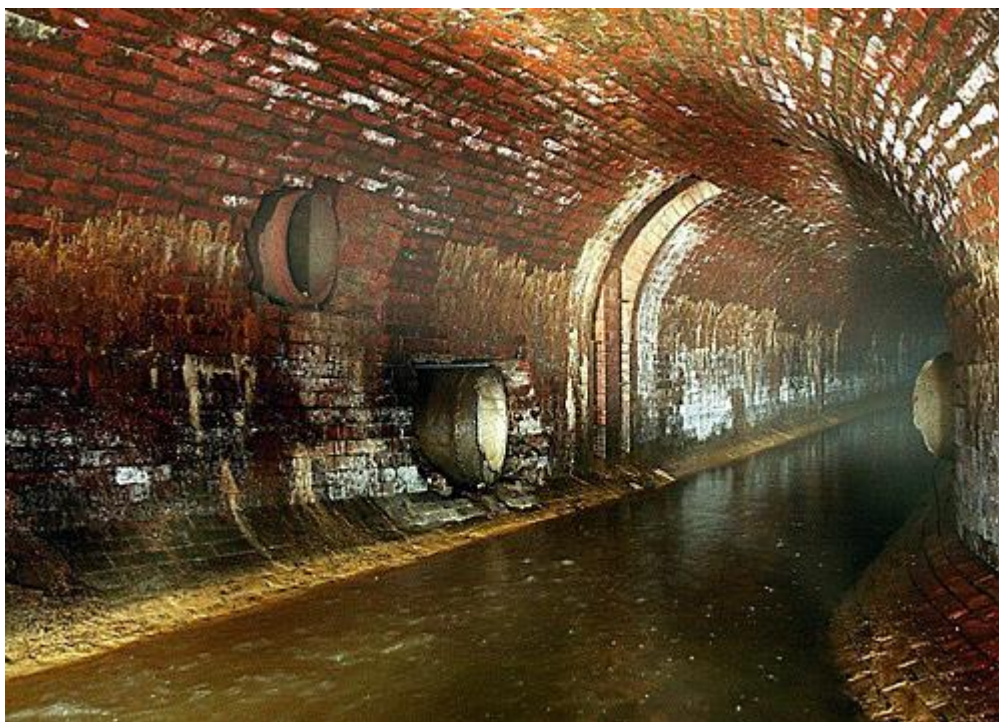


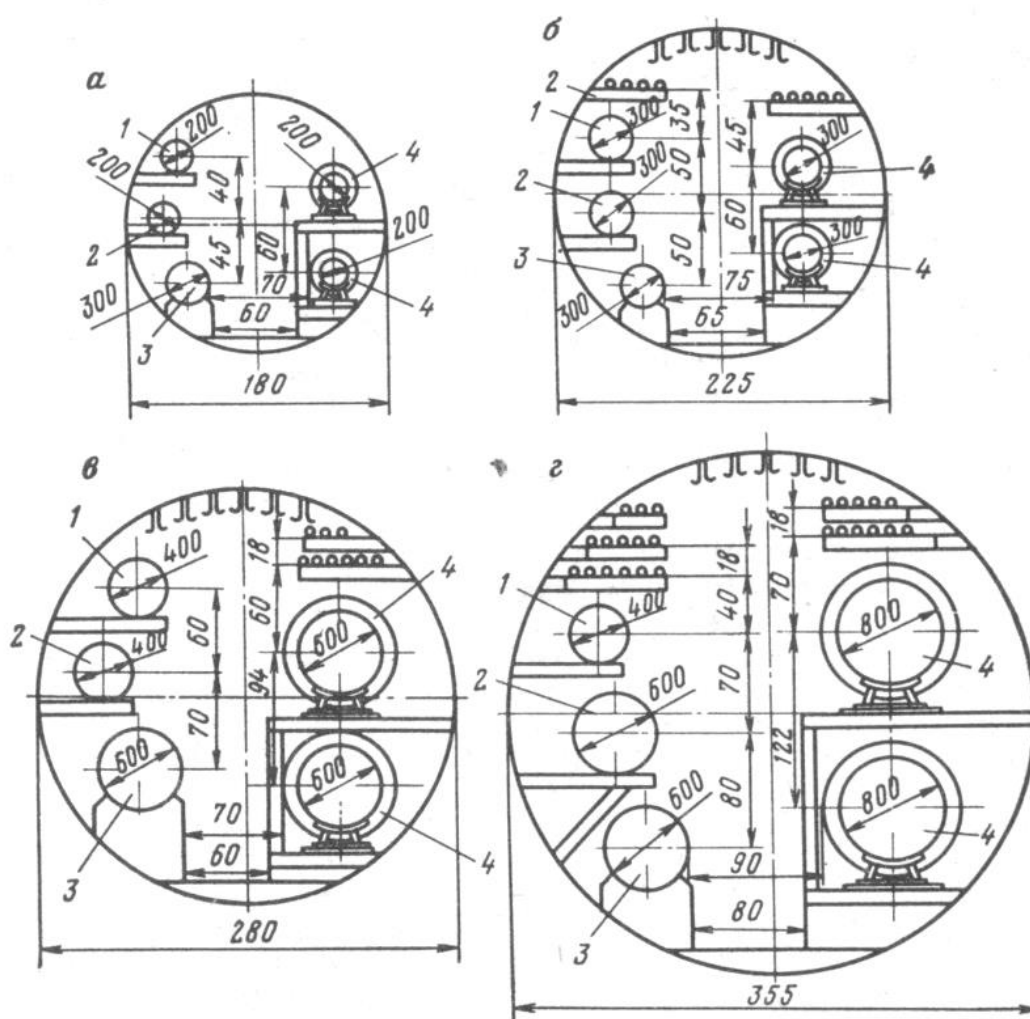
Рисунок 106 – Канализационный коллектор из кирпича

Применяются при сооружении коммунальных тоннелей и круглые поперечные сечения. На рисунке 107 показан коллекторный канализационный бетонный тоннель.



Рисунок 107 – Коллектор круглого сечения

Коммунальные тоннели с криволинейными поперечными сечениями могут сооружаться из монолитного бетона, крупноразмерных железобетонных блоков, кирпича или из тубингов. Схемы круглого поперечного сечения коммунальных тоннелей глубокого заложения разных диаметров показаны на рисунке 108. Как видно, здесь объединены в тоннеле трубопроводы разного назначения и кабели.



1 – газопровод; 2 – водопровод; 3 – канализация; 4 – теплотрасс.

Рисунок 108 – Коммунальные тоннели глубокого заложения

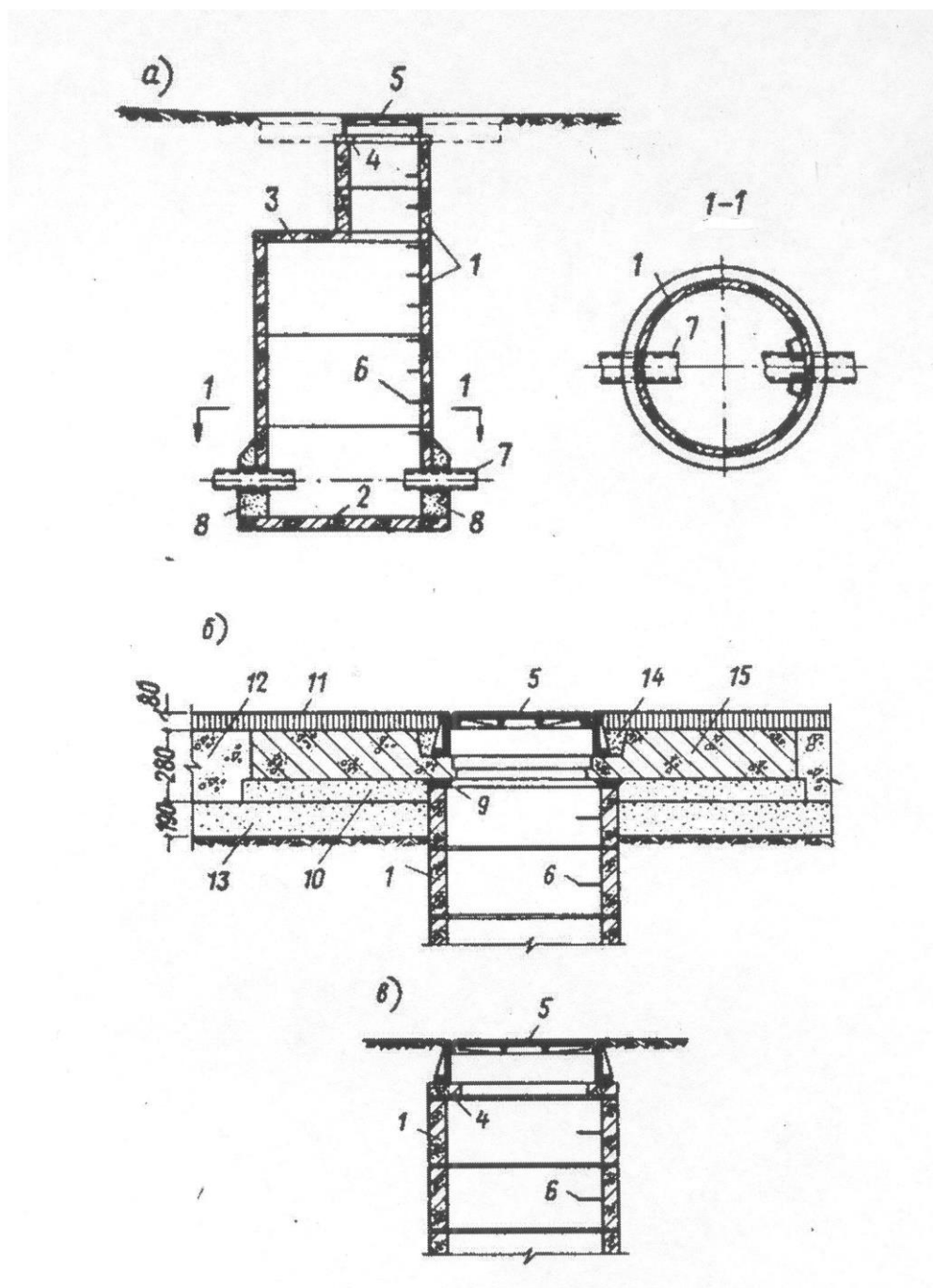
Расчет коммунальных тоннелей аналогичен расчету других подземных сооружений. Наибольшую сложность представляет расчет днища, которое представляет собой плиту на упругом основании.

8.4 Смотровые колодцы

По трассе коллекторов сооружаются вертикальные подземные сооружения: смотровые (монтажные) колодцы (стволы, шахты), которые служат для спуска в коллектор обслуживающего персонала, оборудования и труб. Смотровые колодцы чаще всего имеют круглое поперечное сечение с диаметром, достаточным для спуска в коллектор оборудования и труб. Колодцы обычно располагаются на расстоянии 300 м друг от друга при прямолинейной трассе или в местах поворота или пересечения с другими коллекторами. Применяются и колодцы с прямоугольным сечением. Выбор сечения определяется способом сооружения и материалом обделки.

Для спуска и подъема людей в колодцах устраиваются специальные лестницы или скобы. Колодцы перекрываются железобетонной плитой с люком диаметром 70 см. Железобетонная плита перекрытия предохраняет колодец от возможных разрушительных воздействий на конструкцию колодца с поверхности.

На рисунке 109 представлены конструктивные решения круглого в плане колодца. Продольный и поперечный разрезы показаны на рисунке 109 а. Обделка колодца собрана из железобетонных колец. Колодец защищен от воздействия нагрузок на поверхности слоем грунта и плитой перекрытия. Для сообщения с поверхностью имеется люк меньшего диаметра. На рисунке 109 б показан вариант оголовка люка, защищенного железобетонной плитой. На рисунке 109 в – устройство оголовка в обычных условиях.



1 – стеновые панели кольца; 2 - плита днища; 3 - плита перекрытия; 4 – опорное кольцо; 5 – чугунный люк; 6 – ходовые скобы; 7 – водопроводные трубы; 8 – монолитный бетон для заделки отверстий в кольце, 9 – эластичный герметик; 10 - стабилизирующее основание из песка; 11 – асфальтобетон; 12 – щебеночное основание; 13 – песчаное основание; 14 – цементный раствор; 15- железобетонная плита с отверстием для люка.

Рисунок 109 – Конструкция смотрового колодца

На рисунке 110 показана сборка конструкции колодца из железобетонных колец. Железобетонные кольца обделки заводского изготовления выпускаются диаметром от 700 до 2000 мм. Высота колец от 300 до 1200 мм.



Рисунок 110 – Сборка обделки колодца

Колодцы с прямоугольным поперечным сечением выполняются из монолитного железобетона, а также из кирпича.

Расчет смотровых колодцев осуществляется на вертикальное давление от собственного веса конструкции и оборудования, которое крепится на обделке, горизонтальное давление грунта, грунтовых вод и кратковременного

внутреннего давления воды. Горизонтальное давление грунта упрощенно определяется как активное давление на подпорную стену.

8.5 Вентиляционные шахты

Вентиляционные шахты, предназначенные для проветривания подземных сооружений, также являются по условиям работы колодцами. Вентиляционные шахты, также как и смотровые колодцы, непосредственно выходят на поверхность. Схема вентиляционного комплекса перегонного тоннеля метрополитена показана на рисунке 111.

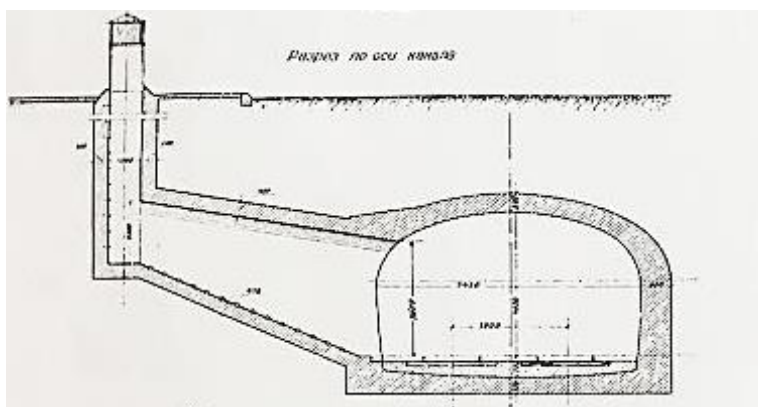


Рисунок 111 – Схема вентиляционного комплекса

Тоннель метрополитена связан наклонным тоннелем с вентиляционной шахтой, через которую проходит вентиляционная струя. Вентиляционная шахта на поверхности имеет надстройку – вентиляционный киоск. Поскольку вентиляционные шахты по роду своей работы должны быть всегда открыты, то они представляют собой опасность случайного падения в них людей. Поэтому вентиляционная шахта на поверхности имеет надстройку – вентиляционный киоск. Вентиляционный киоск должен быть надежно закрыт от проникновения в него посторонних лиц, но доступен для прохода воздуха. Для этого в нем устраиваются жалюзи или защита из прочной сетки. Вентиляционные киоски не должны нарушать эстетического облика города,

и их обычно разнообразно архитектурно оформляют. Примеры оформления вентиляционных киосков показаны на рисунке 112.



Рисунок 112 – Вентиляционные киоски

Конструктивные решения, материалы конструкций и расчет вентиляционных шахт аналогичны смотровым колодцам.

9 Спортивные сооружения

9.1 Козырьки трибун стадионов

Стадионы являются наиболее крупными спортивными сооружениями городов. Одновременно они выполняют функции крупнейших зрелищных сооружений. Следовательно, один из главных элементов стадиона – трибуны для зрителей. Стадионы, как правило, предназначены для проведения спортивных соревнований на открытом воздухе. Поэтому для защиты зрителей от прямых лучей солнца и от дождя трибуны оснащаются козырьками (навесами), которые покрывают полностью все трибуны или лишь частично, но оставляют открытой спортивное поле.

Конструкции стадионных козырьков могут быть консольными, подвесными и на опорах. На рисунке 113 представлено изображение консольного козырька.



Рисунок 113 - Общий вид стадионного козырька консольного типа

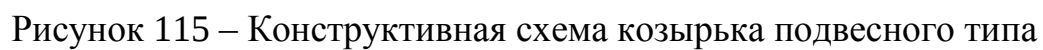
Как видно, козырек представляет собой систему консольных ферм, поддерживаемых П-образными рамами. В рамы встроена трибуна для зрителей. Покрытие выполнено из светопрозрачного пластика, опирающегося на прогоны, уложенные по фермам.

Консольные козырьки могут быть плоскими или в виде оболочки. На рисунке 114 представлен общий вид криволинейного козырька.

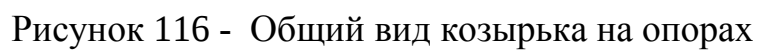


Рисунок 114 – Козырек криволинейной формы

На следующем - рисунке 115 - показана схема козырька подвесного типа. В данном случае козырек представляет собой систему балок, поддерживаемых системой гибких связей. Связи подвешены к центральной стойке, которая является элементом трибуны для зрителей. Трибуна представляет собой жесткую рамную систему.



На рисунке 116 представлен общий вид козырька на опорах.



Этот козырек представляет собой систему плоских ферм, опертых на две продольные фермы, которые, в свою очередь, опираются на систему колонн.

Таким образом, чаще всего козырьки конструктивно совмещаются с трибунами, играющими роль основных или вспомогательных опор. Геометрическая схема трибуны для зрителей строится таким образом, чтобы зритель мог видеть ближайшую к трибуне кромку игрового поля. На рисунке 117 показан пример построения геометрической схемы трибуны.

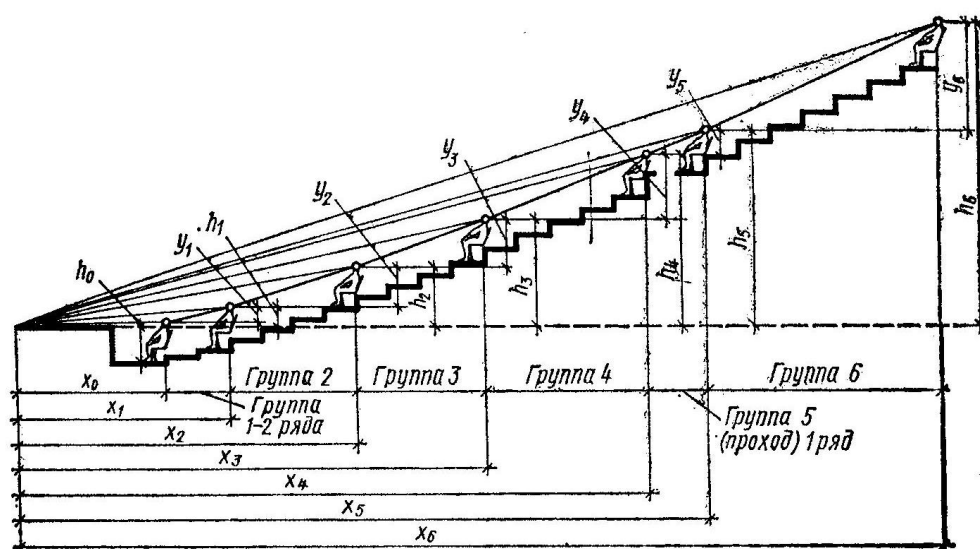


Рисунок 117 - Пример построения геометрической схемы трибуны

Размеры сидений (ширина, высота), ширина проходов для людей регламентируются соответствующими нормами.

Материалом для изготовления несущих элементов трибун и козырьков служит железобетон или металл. Конструкции козырьков отличаются большим разнообразием. На рисунке 118 показаны различные варианты, свидетельствующие о богатой фантазии конструкторов.

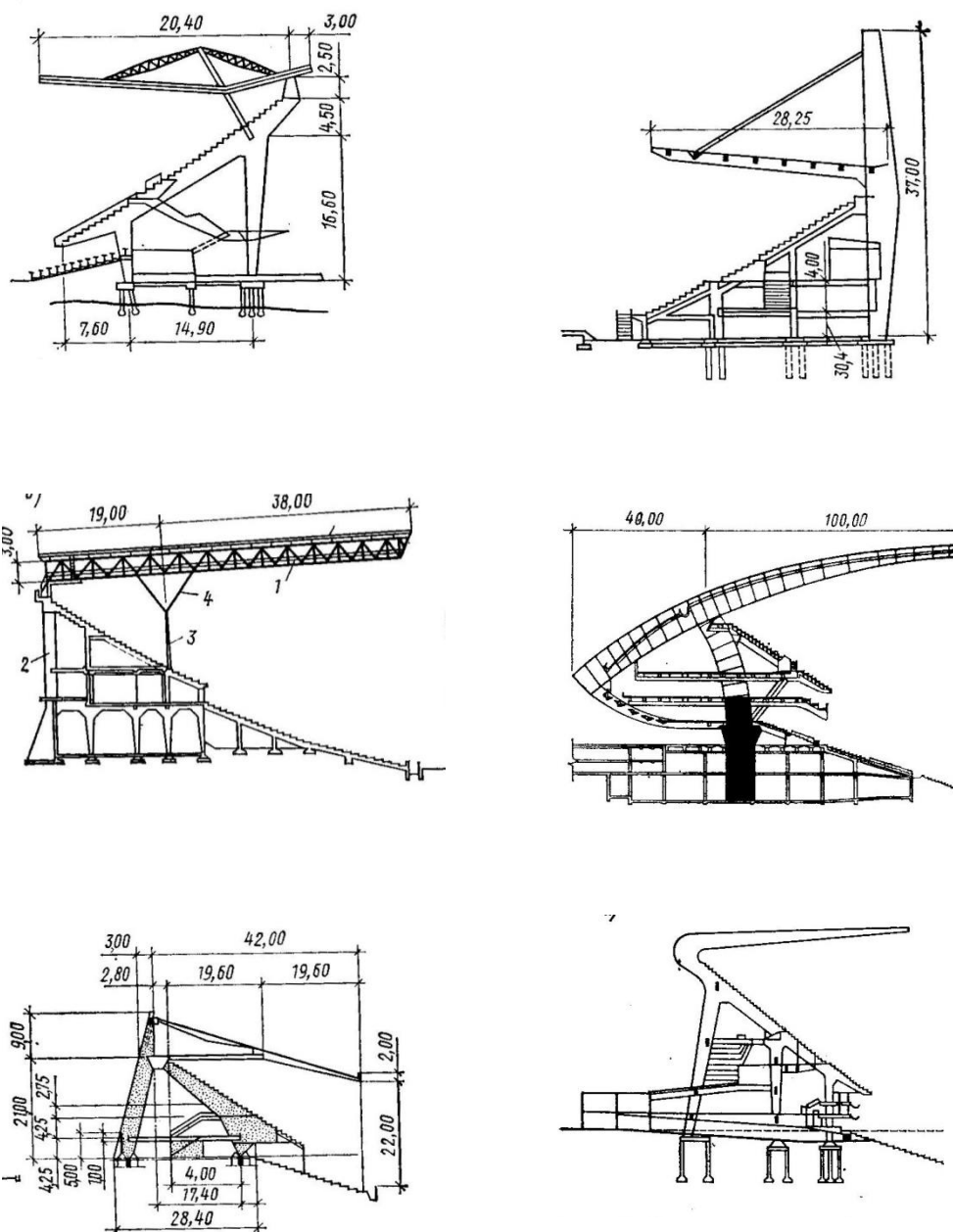


Рисунок 118 – Некоторые конструктивные варианты трибун стадионов

Простейшие варианты козырьков поддаются расчету с помощью плоских стержневых схем. В частности козырек может быть рассчитан по схеме консольной фермы, балки или полуарки на жестких опорах или как подвесная система. Козырек на опорах может быть рассчитан как элемент рамной системы. В общем случае, конечно, расчет осуществляется с

помощью расчетных компьютерных комплексов методом конечных элементов.

9.2 Вышки для прыжков в воду

Вышки для прыжков в воду представляют собой инженерные сооружения в открытых и закрытых спортивных бассейнах. Конструктивно эти сооружения могут быть отнесены к башенным, так как относительно небольшая высота вышек все же намного превышает размеры в плане. Так же как и классические башни, вышки для прыжков в воду, как правило, жестко заземленные в основании вертикальные консольные конструкции. Материалом для вышек чаще всего является металл, реже – сборный железобетон. На вышках крепятся платформы, расположенные на разной высоте, с которых производят прыжки прыгуны в воду. Платформы выступают за пределы поперечного сечения башни и поэтому прыгуны при прыжках создают моментную динамическую нагрузку на вышку. На рисунках представлены некоторые варианты конструкций вышек.

На рисунке 119 приведена схема вышки, представляющей собой сквозную стальную башню из четырех стальных ферм, образующих в плане прямоугольник. Пояса и решетка ферм выполнены из уголкового профиля. Особенностью конструкции является изогнутость поясов пространственной фермы в плоскости прыжков. Благодаря изогнутости поясов уменьшен собственный вес платформ, так как вылет платформ из соображений безопасности должен увеличиваться по мере увеличения высоты, на которой она расположена. Платформы, с которых совершаются прыжки, в этой плоскости дополнительно поддерживаются с помощью подкосов. В поперечной плоскости платформы располагаются по разные стороны от оси фермы для уменьшения влияния консольных моментов, вызванных собственным весом платформ.

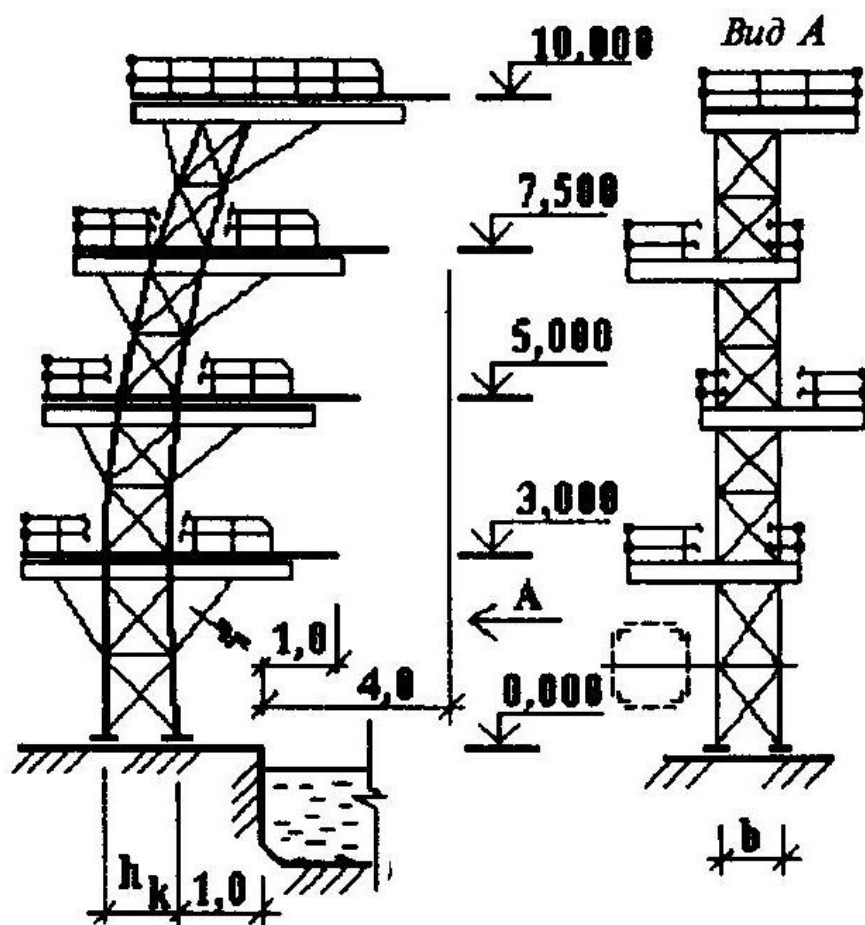
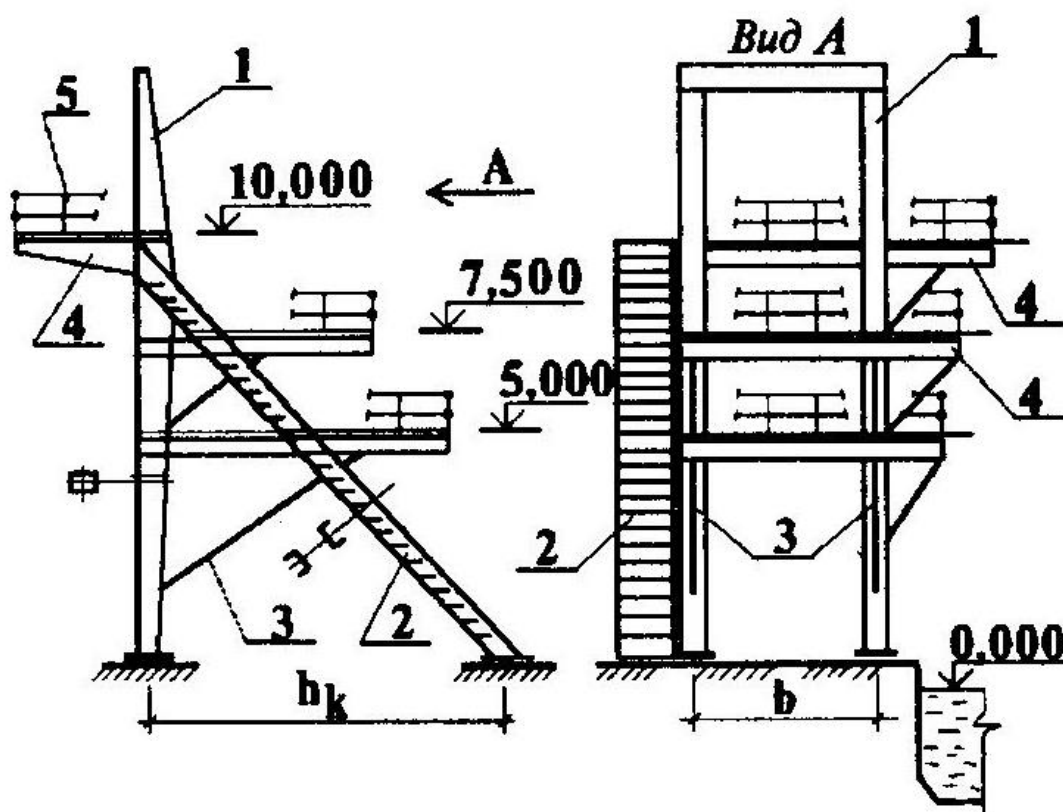


Рисунок 119 - Вышка в виде консольной пространственной фермы

В представленной на рисунке 120 вышке использована рамно-подкосная система. Конструкция вышки в плоскости прыжков (вид А) представляет собой жесткую плоскую раму из сборного железобетона. Устойчивость рамы обеспечивается жесткой связью с фундаментом и подкосом, одновременно выполняющим роль лестницы для подъема на платформы. Верхняя площадка укрепляется на железобетонной консоли с противоположной стороны по отношению к нижним площадкам для компенсации эксцентриситета расположения. Нижние железобетонные площадки дополнительно крепятся к раме на стальных подкосах.



1 – несущая рама; 2 – подкос рамы; 3 – подкосы консольных площадок;
4 – консольные площадки; 5 – ограждение площадок.

Рисунок 120 - Рамно-подкосная конструкция вышки для прыжков в воду

На следующем рисунке (рисунок 121) представлена консольно-рамная конструкция вышки. Конструкция в плоскости прыжков представляет собой две плоские стальные фермы с четырьмя консольными частями, на которых укреплены платформы. Пояса ферм выполнены из двутавров, а решетка из спаренных уголков. Фермы в поперечной плоскости соединены в жесткую рамную систему с помощью ригелей и подкосов. В этом варианте собственный вес платформ уменьшен за счет ферменной конструкции консолей. Устойчивость положения вышки в плоскости прыжков обеспечивается жестким соединением с фундаментом.

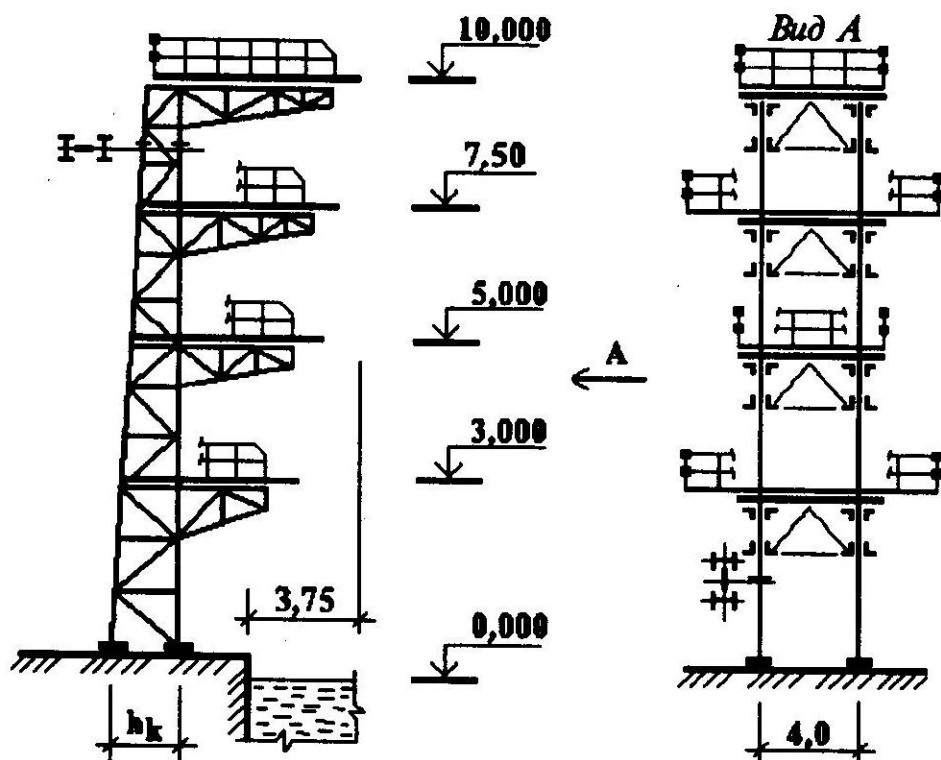


Рисунок 121 - Консольно-рамная конструкция вышки

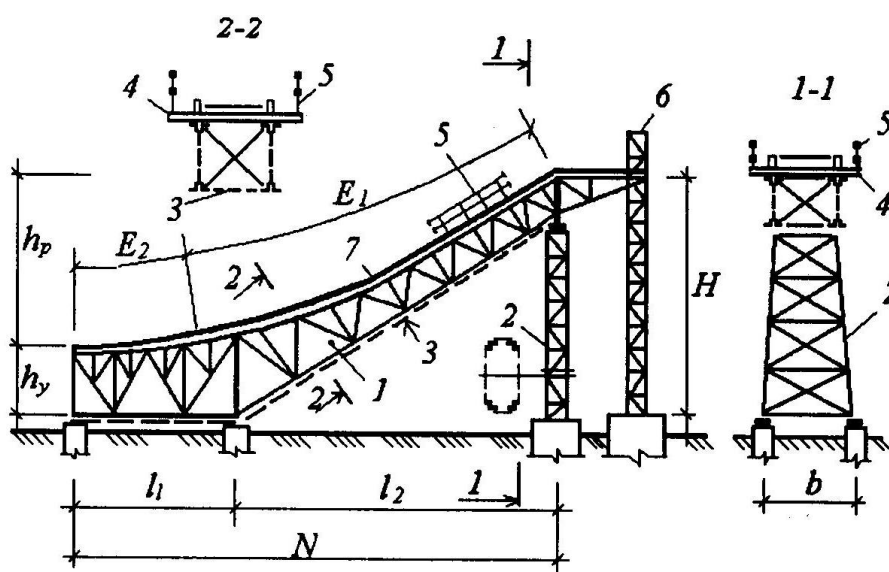
Расчет вышек для прыжков в воду аналогичен расчету сквозных стволов башен. Вышки, расположенные на открытом воздухе, рассчитываются на действие собственного веса конструкций, на снеговую и ветровую нагрузки и на нагрузку от массы толпы, которая может находиться на площадках. Вышки, расположенные в здании, на действие ветра и снега не рассчитываются.

9.3 Лыжные трамплины

Лыжные трамплины, относящиеся к группе спортивных инженерных сооружений, с конструктивной точки зрения близки к мостовым конструкциям. Лыжные трамплины предназначены для разгона прыгунов на лыжах, совершающих прыжки на дальность полета. Очевидно, что чем больше скорость разгона, тем дальше полет прыгуна. Поскольку скорость

разгона зависит от пути разгона и уклона разгонного участка, трамплины должны иметь внушительные размеры. Разгонный участок трамплина является открытым пролетным строением. Пролетное строение укрепляется на опорах, которые в трамплинах имеют разную высоту: большую в начале разгонного участка и меньшую в конце.

Лыжные трамплины сооружаются преимущественно из металла, который обеспечивает легкость конструкции и малое сопротивление ветровому воздействию по сравнению с железобетоном. Наибольшее распространение получили три конструктивных схемы трамплинов: балочная, рамная и консольная. На рисунке 122 представлена схема балочного трамплина.



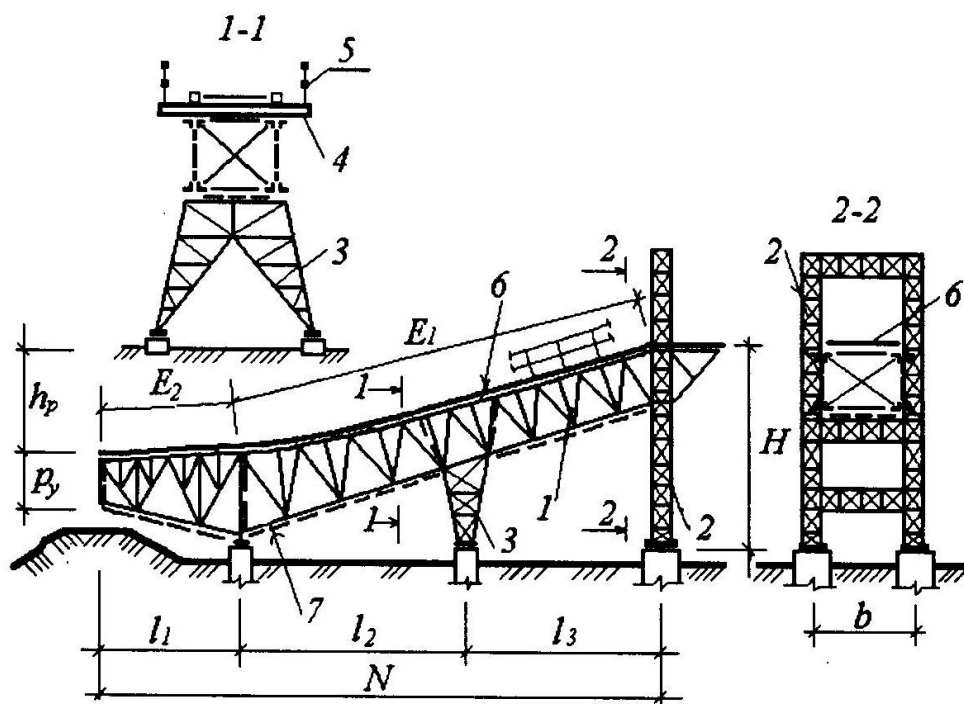
1 – пролетное строение; 2 – опора; 3 – связи; 4 – прогоны; 5 – ограждение; 6 – лифт; 7 – настил.

Рисунок 122 – Балочный трамплин

Несущими конструкциями пролетного строения в этом варианте являются вертикальные фермы с криволинейным очертанием верхнего пояса. Скольжение прыгунов происходит по настилу, уложенному по прогонам,

опирающимся на верхние пояса ферм. Разгонный участок состоит из верхней части (обозначенной на рисунке E_1) с постепенно уменьшающейся крутизной и нижней, обозначенной E_2 , – практически горизонтальной. Длина разгонного участка в плане – N , высота разгонного участка – h_p . Высота уступа, с которого спрыгивает лыжник – h_y . Величины пролетов обозначены l_1 и l_2 . Высота площадки, с которой начинает движение прыгун – H . Первый, горизонтальный, пролет пролетного строения опирается непосредственно на фундамент. Второй, наклонный, пролет в верхней части опирается на опору башенного типа, сквозную, постоянного сечения в плоскости пролетного строения и с разномом ног в поперечной плоскости. Каждый пролет работает как балка на двух шарнирных опорах.

Схема консольно-рамного трамплина представлена на рисунке 123.

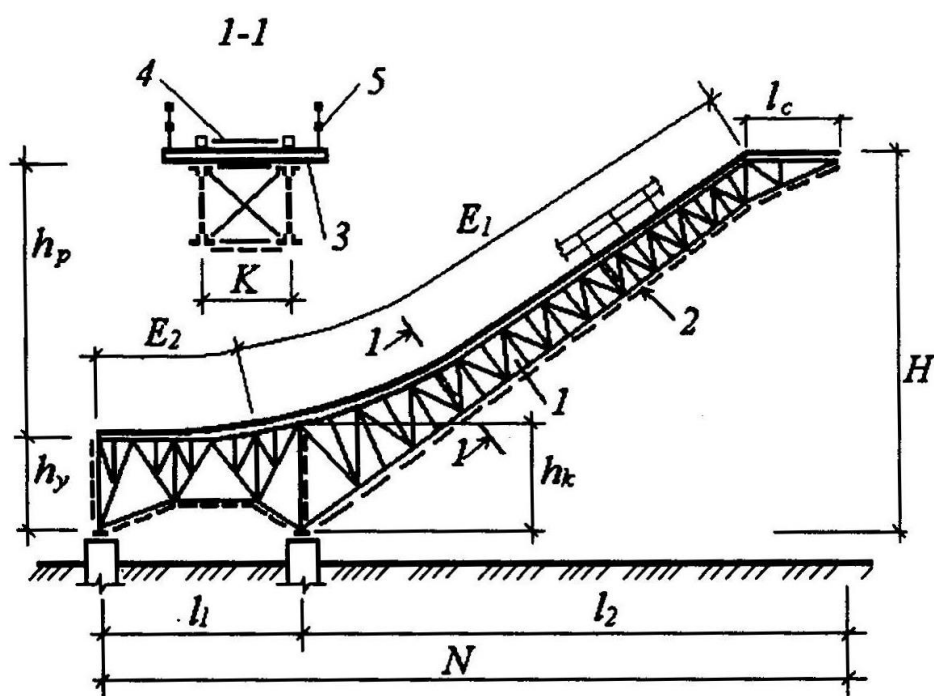


1 – пролетное строение; 2 – концевая опора; 3 – промежуточная опора;
4 – прогоны; 5 – ограждение; 6 – настил; 7 – связи.

Рисунок 123 - Схема консольно-рамного трамплина

Пролетное строение трамплина этого типа опирается в нижней, консольной, части непосредственно на фундамент. Промежуточная опора – пространственная с ногами в виде усеченных пирамид. Соединение опор с пролетным строением в плоскости пролетного строения жесткое. Концевая опора совмещает функцию опоры с лифтом. Опора представляет собой раму с решетчатыми элементами. В плоскости пролетного строения расчетная схема трамплина представляет собой двухпролетную раму с наклонным ригелем, имеющим консольную часть и соединенным со стойками рамы жесткими узлами. В отличие от балочной схемы в данной схеме на фундаменты трамплина передается распор.

Схема консольного трамплина приведена на рисунке 124.



1 – консольная часть; 2 – связи; 3 – прогоны; 4 – настил; 5 – ограждение.

Рисунок 124 – Консольный трамплин

Здесь пролетное строение опирается непосредственно на фундамент. Весь разгонный участок является консольным. Таким образом, пролетное

строение упрощенно представляет собой решетчатую балку на двух опорах, имеющую наклонную консольную часть. Внешний вид консольного трамплина представлен на рисунке 125. Здесь нижняя опора рамного типа, верхняя совмещает функции опоры с лифтовой шахтой.

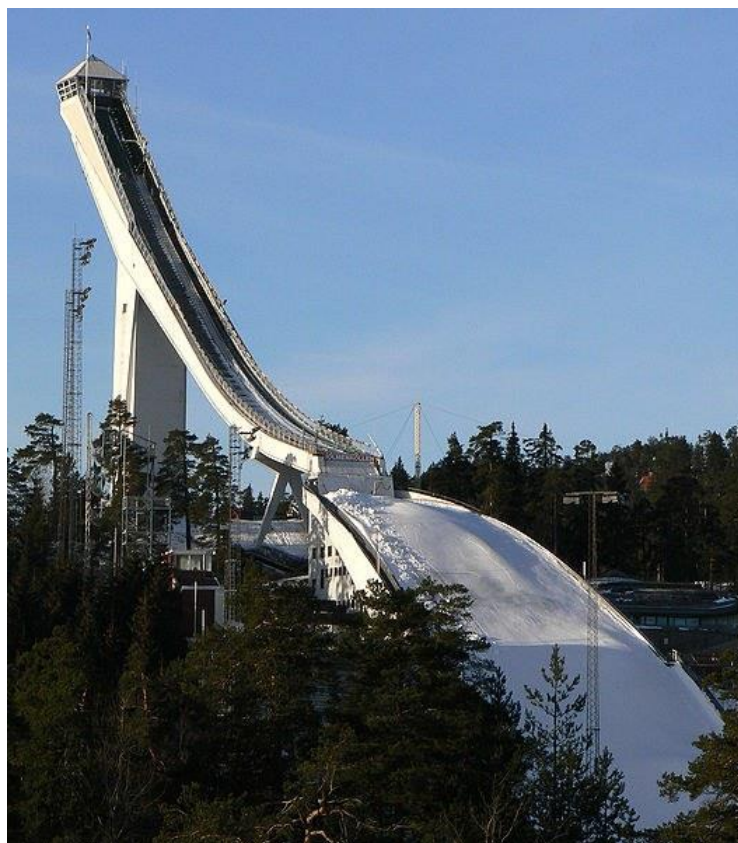


Рисунок 125 – Общий вид трамплина для прыжков на лыжах

Расчет трамплинов для прыжков на лыжах производится на собственный вес конструкций, снеговую и ветровую нагрузки. Специфической нагрузкой является вес людей, скапливающихся на стартовой площадке и лестнице. Производится расчет трамплина на опрокидывание от боковой горизонтальной (ветровой) нагрузки, а трамплинов с рамной схемой – на перепад температур.

Список использованных источников

- 1 Андреев, О.В. Проектирование мостовых переходов: учебное пособие для вузов / О.В. Андреев. - М.: Транспорт, 1980. – 215 с.
- 2 Бедов, А.И. Инженерные сооружения башенного типа, технологические эстакады и опоры линий электропередач: учебное пособие / А.И. Бедов, А.И. Габитов. - М.: Московский ГСУ, 2017. – 328 с. - ISBN 978-5-7264-1617-5.
- 3 Болдаков, Е. В. Проблемы мостовых переходов / Е.В. Болдаков. - М.: Транспорт, 1974. - 216 с.
- 4 Броверман, Г.Б. Строительство мачтовых и башенных сооружений / Г.Б. Броверман. М.: Стройиздат, 1984. – 256 с.
- 5 Гишман, М.Е. Проектирование транспортных сооружений: учебник для вузов / М.Е. Гишман, В.И. Попов. – М.: Транспорт, 1988. – 447 с. - ISBN 5-277-00006-2.
- 6 Гячев, Л.В. Основы теории бункеров / Л.В. Гячев. - Новосибирск: Изд-во Новосиб. ун-та, 1992. – 312 с. - ISBN 5-7615-0086-8.
- 7 Далматов, Б.И. Проектирование фундаментов зданий и подземных сооружений: учебное пособие / Б.И. Далматов [и др.] - М.: АСВ.- СПб., 2001 – 340 с.
- 8 Дергунов, С.А. Инженерные сооружения в транспортном строительстве: учебное пособие / С.А. Дергунов, С.А. Орехов, Л.М. Карташкова, Е.Б. Таурит, В.О. Штерн. – Оренбург: ООО «Университет», 2014. – 184 с. - ISBN 978-5-4417-0428-1.
- 9 Динамический расчет специальных инженерных сооружений и конструкций: справочник проектировщика / под ред. Б.Г. Коренева, А.Ф. Смирнова. - М. : Стройиздат, 1986. - 463 с.
- 10 Добромыслов, А.Н. Примеры расчета конструкций железобетонных инженерных сооружений: справочное пособие / А.Н. Добромыслов. – М.: АСВ, 2010. – 272 с. - ISBN 978-5-93093-713-8.

- 11 Драновский, А.Н. Подземные сооружения в промышленном и гражданском строительстве: учебное пособие / А.Н. Драновский, А.Б. Фадеев. – Казань: Казанский университет, 1993. – 356 с.
- 12 Дривинг, А.Я. Устойчивость мачт на оттяжках / А.Я. Дривинг. - М.: Стройиздат, 1964. – 112 с.
- 13 Емельянов, Л.И. Расчет подпорных сооружений: справочное пособие / Л.И. Емельянов. – М.: Стройиздат, 1987. – 288 с.
- 14 Инженерные сооружения: учебное пособие / сост. А.А. Строкова. - Томск: Изд-во Томского ПТУ, 1999. – 112 с.
- 15 Калачев, В.Я. Инженерные сооружения: учебное пособие: М.: Изд-во МГУ, 1991. – 299 с. - ISBN 5-211-01608-4.
- 16 Калошина, С.В. Возведение подземного пешеходного перехода: учебно-методическое пособие / С.В. Калошина, А.Б. Пономарев, А.В. Чазов. - Пермь: Изд-во Пермского ГТУ, 2007. – 193 с. - ISBN 978-5-88151-853-0.
- 17 Каракова, Т.В. Пешеходный мост в городской среде: учебное пособие / Т.В. Каракова, С.А. Колесников. - Самара: Самарский ГАСУ, 2009. – 82 с. - ISBN: 978-5-9585-0360-5.
- 18 Кафтаева, М.В. Городские инженерные сооружения и системы: учебное пособие / М.В. Кафтаева, О.Н. Шарапов, Т.В. Аниканова. Ч.1. - Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. – 145 с.
- 19 Кафтаева, М.В. Городские инженерные сооружения и системы: учебное пособие / М.В. Кафтаева, О.Н. Шарапов, Т.В. Аниканова. Ч.2. - Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. – 181 с.
- 20 Кистяковский, А.Ю. Проектирование спортивных сооружений / А.Ю. Кистяковский: учеб. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1980. – 328 с.
- 21 Козлов, В.Ш. Справочник проектировщика инженерных сооружений / В.Ш. Козлов, В.Д. Альшиц, А.И. Аптекман [и др.]. - Киев: Будивэльник, 1988. – 352 с.

22 Колоколов, С.Б. Подземные сооружения городов: учебное пособие / С.Б. Колоколов – Оренбург: ООО ИПК «Университет», 2013. – 144 с. - ISBN 978-5-9631-0242-8.

23 Корниенко, В.С. Сооружение резервуаров / В.С. Корниенко, Б.В. Поповский. - М.: Стройиздат, 1971. – 224 с.

24 Коротких, И.В. Основы инженерных сооружений: учебник / И.В. Коротких, А.Ф. Петелько, А.Ф. Фролов. - Л.: Стройиздат, 1987. – 128 с.

25 Косоверов, О.С. Расчет и конструирование инженерных сооружений водопроводно-канализационного хозяйства / О.С. Косоверов. - Киев: Будівельник, 1973. – 148 с.

26 Кришан, А.Л. Железобетонные бункера и силосы: учебное пособие / А.Л. Кришан, Е.А. Трошкина. - Магнитогорск, 2017.

27 Латышев, Б.В. Практические методы расчета железобетонных силосных корпусов / Б.В. Латышев. Л.: Стройиздат, 1985. – 192 с.

28 Леденев, В.В. Проектирование конструкций специальных инженерных сооружений: учебное пособие / В.В. Леденев, В.Г. Однолько, В.П. Ярцев. - Тамбов, 1991. – 99 с. - ISBN 5-230-16370-4.

29 Лычев, А.С. Городские здания и сооружения: учебное пособие / А.С. Лычев, Л.М. Бестужева. – М.: АСВ, 2009. – 96 с.

30 Маилян, Р.Л. Строительные конструкции: учебное пособие / Р.Л. Маилян, Ю.А. Веселов. - Ростов на Дону: Феникс, 2005. – 880 с.

31 Мельников, Н.П. Антенные сооружения: башни, мачты, радиотелескопы / Н.П. Мельников. - М.: Знание, 1969. - 48 с.

32 Металлические конструкции. В 3 т. Т2. Стальные конструкции зданий и сооружений: справочник проектировщика / Под общ. ред. В.В. Кузнецова. - М.: Изд-во АСВ, 1998. – 512 с. - ISBN: 5-87829-081-2.

33 Металлические конструкции. В 3т. Т3. Стальные сооружения, конструкции из алюминиевых сплавов. Реконструкция, обследование, усиление и испытание конструкций зданий и сооружений: справочник

проектировщика / Под общ. ред. В.В.Кузнецова. - М.: Изд-во АСВ, 1999. – 528 с. - ISBN: 5-87829-081-0.

34 Металлические конструкции. В 3т. Т3. Специальные конструкции и сооружения : учебное пособие для строительных вузов / В.Г. Аржаков, В.И. Бабкин, В.В. Горев [и др.] ; под общ. ред. В.В. Горева. - М.: Изд-во АСВ, 1999. – 544 с. - ISBN: 5-06-003698-7.

35 Методы строительства отдельных сложных инженерных сооружений: информационный сборник / составитель С.М.Лисогор. – М.: Госстройиздат, 1963. – 132с.

36 Пособие по проектированию конвейерных галерей (к СНиП 2.09.03-85) / Гос. проект. ин-т Ленпроектстальконструкция Госстроя СССР.- Утв. ГПИ Ленпроектстальконструкция Госстроя СССР 7.05.1987 № 29. - М. : Стройиздат, 1989. - 111 с.

37 Пухонто, Л.М. Долговечность железобетонных конструкций инженерных сооружений: (силосов, бункеров, резервуаров, водонапорных башен, подпорных стен) / Л.М. Пухонто, - М.: АСВ, 2004. – 424 с. - ISBN 5-93093-255-7.

38 Ротенбург, И.С. Мостовые переходы: учебное пособие для вузов / И.С. Ротенбург. - М.: Высш. шк., 1977. - 328 с.

39 Семенов, С.А. Железобетонные силосы и силосные корпуса (основы проектирования): учебное пособие / С.А. Семенов. - Ростов на Дону: Ростовский ИСИ, 1991. – 72 с.

40 СНиП 33.01.2003. Гидротехнические сооружения. - М.: Госкомитет РФ по строительству, 2004. – 24 с.

41 СНиП 3.02.01.87 Земляные сооружения, основания и фундаменты. - М.: ГУП ЦПП, 1998. – 120 с.

42 СНиП 210.05.85. Предприятия, здания и сооружения по хранению и переработке зерна. - М.: Госстрой СССР, 1985. – 24 с.

43 СНиП 31.03.2001. Производственные здания. - М.: Госкомитет РФ по строительству, 2004. – 111 с.

44 Соколов, А.Г. Металлические конструкции антенных устройств / А.Г. Соколов. - М.: Стройиздат, 1971. – 240 с.

45 Стетюха, Г.В. Проектирование железобетонных бункеров: монография / Г.В. Стетюха. Чита: Читинский ГУ, 2010. – 123 с. - ISBN 978-5-9293-0629-7.

46 Сычев, В.И. Унификация железобетонных инженерных сооружений / В.И. Сычев, В.М. Спиридонов, И.С. Приходько. – М.: Стройиздат, 1971. – 216 с.

47 Ухов, С.Б. Механика грунтов, основания и фундаменты: учебное пособие / С.Б. Ухов [и др.] - М.: Высшая школа, 2002. – 566 с.

48 Харитонов, В.А. Подземные здания и сооружения промышленного и гражданского назначения: учебное пособие / В.А. Харитонов. – М.: Изд-во АСВ, 2008. – 256 с. - ISBN: 978-5-93093-549-3.

49 Шукуров, И.С. Городские инженерные сооружения: учебное пособие для вузов / И.С. Шукуров, К.И. Микири. - М.: Московский ГСУ, 2017. – 137 с.

50 Ягофаров, Х. Гибкие бункера / Х. Ягофаров. - М.: Стройиздат, 1980. – 168 с.

51 Ясный, Г.В. Спортивные бассейны / Г.В. Ясный. - М.: Стройиздат, 1988. – 272 с. - ISBN 5-274-00199-8.

Вопросы и задания для самоконтроля знаний

Дать определение следующих инженерных сооружений:

Подпорная стена

Набережная

Коллекторный тоннель

Пешеходный подземный переход

Пешеходный надземный переход

Резервуар

Крановая эстакада
Галерея
Этажерка
Бункер
Силос
Водонапорная башня
Градирня
Дымовая труба
Лыжный трамплин
Козырек стадиона
Опора ЛЭП
Вышка
Башня
Мачта
Вентиляционный киоск
Подземная парковка

Дать определение следующих понятий:

Активное давление
Пассивное давление
Анкер
Гравитационная подпорная стена
Гибкая подпорная стена
Обделка тоннеля
Напорный тоннель
Безнапорный тоннель
Рампа тоннеля
Пролетное строение
Жесткая опора галереи
Шарнирная опора галереи

Ветровая ферма

Опорная рама галереи

Жесткий бункер

Гибкий бункер

Привести расчетную схему и схему нагрузок на следующие сооружения:

Подпорная стена

Набережная

Коллекторный тоннель

Пешеходный подземный переход

Пешеходный надземный переход

Резервуар

Крановая эстакада

Галерея

Этажерка

Бункер

Силос

Водонапорная башня

Градирня

Дымовая труба