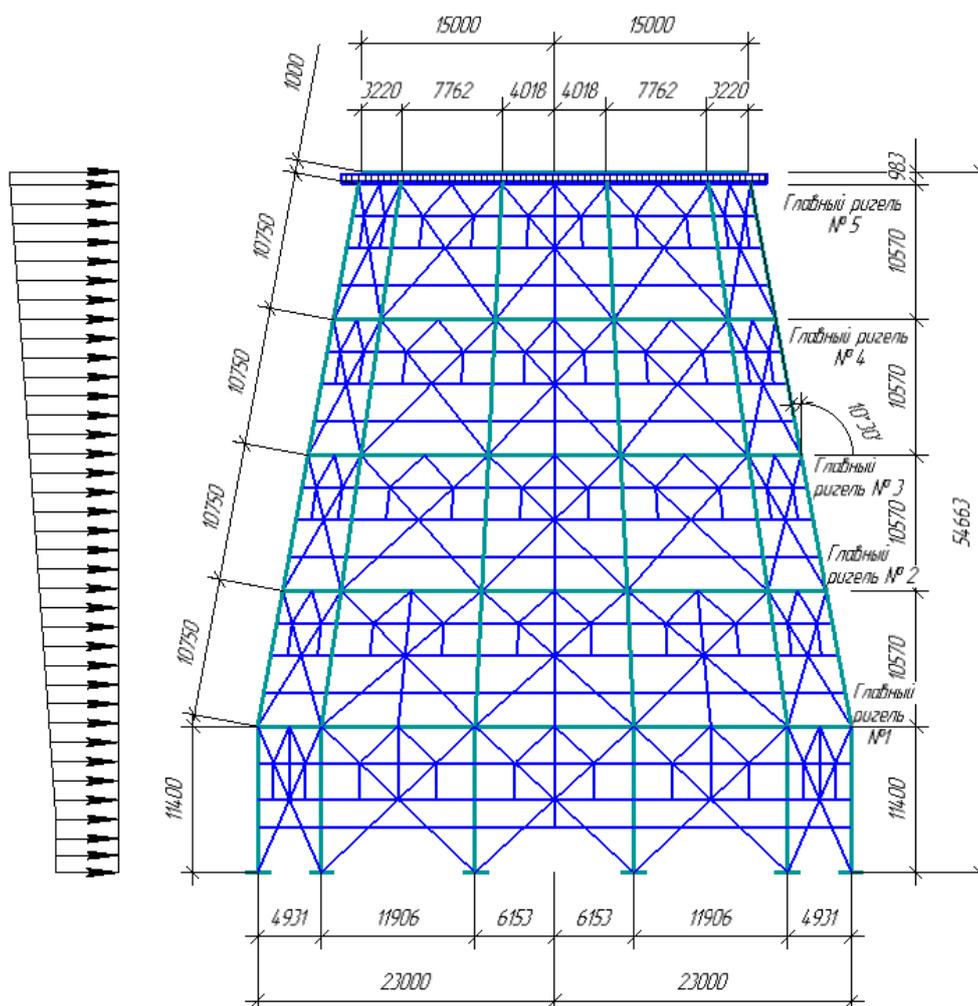


МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ ВЫСОТНЫХ И БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Часть 4. Высотные сооружения с применением
стальных конструкций

Учебное пособие



Нижний Новгород
2023

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

А. И. Колесов, О.Б. Иванова, Е.В. Иванова

МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ ВЫСОТНЫХ И БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Часть 4. Высотные сооружения с применением
стальных конструкций

Утверждено редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия

Нижний Новгород
ННГАСУ
2023

ББК 38.54
К 60
УДК 624.014

Печатается в авторской редакции

Рецензенты:

В.В. Ходыкин – канд. техн. наук, технический директор ООО МСК «Мост К»

Д.В. Жегалов – ст. науч. сотр., канд. техн. наук НИИМ ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный ун-т им. Н. И. Лобачевского»

Колесов А. И. Металлические конструкции высотных и большепролетных зданий и сооружений. Часть 4. Высотные сооружения с применением стальных конструкций [Текст]: учеб. пособие / А. И. Колесов, О.Б. Иванова, Е.В. Иванова; Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Н.Новгород: ННГАСУ, 2023. – 121 с. ISBN 978-5-528-00523-2

Изложены особенности конструктивных схем, узлов и расчета высотных сооружений; их общие характеристики; нагрузки и воздействия. Дано описание различных типов башен и мачт, радиорелейных линий антенн. Представлены общие сведения о конструктивных схемах вытяжных башен, дымовых труб и опор высоковольтных линий электропередачи. Приведены конструктивные схемы вышек разного назначения, водонапорных башен, градирен, лыжных трамплинов.

Пособие предназначено для студентов специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений» в 10-м семестре 5 курса из расчета 16 аудиторных часов лекций.

ISBN 978-5-528-00523-2

© А. И. Колесов, О.Б. Иванова,
Е.В. Иванова, 2023
© ННГАСУ, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

1.	Общие особенности проектирования высотных сооружений.....	5
1.1.	Общие характеристики.....	5
1.2.	Нагрузки и воздействия.....	5
1.3.	Конструктивные схемы башен.....	9
1.4.	Основы расчета башенных конструкций.....	19
1.5.	Конструктивные схемы мачт.....	20
1.6.	Основы расчета мачтовых конструкций.....	25
2.	Антенны.....	26
2.1.	Общая характеристика.....	26
2.2.	Проволочные антенны и их опоры.....	30
2.3.	Радиорелейные линии.....	35
2.4.	Телевизионные опоры.....	38
2.5.	Антенны космической связи и радиотелескопы.....	41
3.	Промышленные трубы.....	46
3.1.	Общая характеристика.....	46
3.2.	Технические решения вытяжных башен.....	46
3.3.	Варианты опирания газоотводящего ствола на несущую башню.....	55
3.4.	Основы расчета несущей башни и газоотводящего ствола.....	60
3.5.	Дымовые трубы.....	60
3.5.1.	Конструктивные особенности.....	60
3.5.2.	Основы расчета дымовых труб.....	63
4.	Стальные опоры высоковольтных линий электропередачи (ВЛЭ).....	64
4.1.	Общие сведения.....	64
4.2.	Общие сведения об изоляторах и арматуре.....	65
4.3.	Классификация и характеристика стальных опор.....	67
4.4.	Конструирование и расчет опор.....	71

4.5. Особенности расчета стальных опор ВЛ.....	80
4.6. Тенденции развития конструкций опор.....	80
5. Вышки.....	82
5.1. Общая характеристика осветительных вышек.....	82
5.2. Буровые вышки.....	87
5.3. Вышки для прыжков в воду.....	87
5.4. Другие типы вышек.....	91
6. Водонапорные башни.....	94
6.1. Общая характеристика водонапорных башен.....	94
6.2. Конструкции элементов водонапорной башни.....	96
6.3. Основы расчетов.....	97
7. Градирни.....	99
7.1. Общая характеристика.....	99
7.2. Конструкции башенных градирен.....	104
7.3. Материалы для градирен.....	106
7.4. Антикоррозионная защита стальных конструкций.....	108
7.5. Основы расчета башенных градирен.....	108
8. Лыжные трамплины.....	111
8.1. Общая характеристика.....	111
8.2. Компонировочные и конструктивные решения.....	114
Список литературы.....	119

1. ОБЩИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЫСОТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

1.1. Общие характеристики

Высотными называют сооружения, высота которых **намного** превышает их размеры в плане.

По характеру статической работы они могут быть разделены **на башни**, работающие как консоли, заделанные в основание, и **на мачты**, ствол которых поддерживается оттяжками и работает как балка на упруго-податливых опорах.

Высотные сооружения могут быть **отдельно стоящими**: телевизионные опоры, вышки, водонапорные башни, промышленные трубы, градирни; **или входить в систему совместно работающих опор**, связанных между собой пролетными строениями: опоры воздушных линий электропередач, опоры канатных дорог, опоры проволочных антенн, опоры трамплинов.

По конструктивному решению высотные сооружения могут быть решетчатыми (сквозными) или тонкостенными (сплошными).

Сквозные сооружения выполняют из обтекаемого круглого профиля (реже применяют уголки и швеллеры).

Тонкостенные сооружения проектируют в виде круговой цилиндрической или конусообразной оболочки, подкрепленной изнутри каркасом с диафрагмами.

1.2. Нагрузки и воздействия

а) Собственный вес конструкций

Определяют по данным существующих проектов. Обычно собственный вес влияет на НДС сооружения в пределах до 20%.

Средний вес 1 пог.м конструкции (g) сооружения на высоте H_i (при общей высоте H) допускается определять по формулам:

$$- \text{ для башен } g_i = 0,5g \left[1 + 3 \left(1 - \frac{H_i}{H} \right)^2 \right];$$

$$- \text{ для мачт } g_i = 0,4g \left(4 - 3 \frac{H_i}{H} \right).$$

Здесь: g_i – в кг/м – значение собственного веса на высоте « H_i »;

g – в кг/м – средний вес 1 пог.м конструкции.

б) Ветровая нагрузка

Направление ветра по отношению к высотному сооружению в плане может меняться. Поэтому для конкретной геометрической схемы высотного сооружения этот вопрос следует решать индивидуально. Например, для четырехгранной башни:

– при направлении ветра на грань (рис. 1.1) в работе будут участвовать только две параллельные ветру грани;

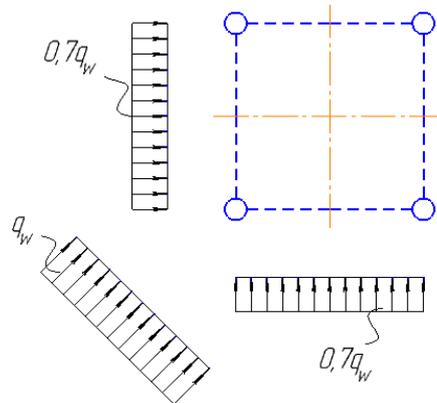


Рис. 1.1. Распределение ветровой нагрузки

– при направлении ветра на диагональ будут работать все грани, но с меньшими нагрузками. При этом усилия в поясах будут суммироваться, так как пояса принадлежат одновременно двум смежным граням.

Таким образом, опасное (расчетное) направление ветра будет для поясов на диагональ (q_{ω}), а для решетки – на грань ($0,7q_{\omega}$).

Для удобства выполнения расчетов высотное сооружение разбивают на несколько участков в зависимости от высоты (для башен – 7...15 участков, для мачт – по числу ярусов оттяжек), принимая в пределах каждого участка нагрузку постоянной интенсивности (q_{ω}).

Высотные сооружения рассчитывают с учетом динамической составляющей ветровой нагрузки, которая зависит от периода собственных колебаний:

– для собственных колебаний **башен** (по первой форме):

$$T = 2\pi \sqrt{\sum_{j=1}^r M_j y_j^2 / y_r},$$

где y_j – ординаты упругой линии консольного стержня от действия единичной поперечной силы, приложенной на свободном конце.

– для мачты приближенно период собственных колебаний на основе метода приведения масс:

$$T = 2\pi \sqrt{M/K}; \quad M = q \int_0^l \frac{x_j^2 dx}{x_r^2} = \frac{ml \cdot l^2}{3x_r^2}; \quad K = \sum v_i \frac{x_i^2}{x_r^2},$$

где M – приведенная к верхней опоре масса ствола (в кг);

K – приведенная к верхней опоре жесткость (кН/м);

m – линейная масса ствола;

l – высота мачты;

v_i – жесткость i -ой опоры (узел оттяжки);

x_i, x_r – расстояние до i -ой опоры и верхней опоры.

Пример: Мачта высотой 120,6 м с двумя ярусами оттяжек с линейной плотностью 211 кг/м (масса всей мачты = $ml=25,45$ т). Расстояние между узлами оттяжек $l_1 = 50,4$ м, $l_2 = 54,0$ м; длина консоли $l_3 = 16,2$ м. Жесткости участков между узлами оттяжек: $v_1 = 475,8$ кН/м; $v_2 = 222,7$ кН/м.

$$M = 25,45 \cdot 10^3 \times 120,6^2 / (3 \cdot 104,4^2) = 11,32 \cdot 10^3 \text{ кг}$$

$$K = \sum v_i \frac{x_i^2}{x_r^2} = 475,8 \times \frac{50,4^2}{104,4^2} + 222,7 \times \frac{54^2}{54^2} = 333,6 \text{ кН/м.}$$

$$\text{Период колебаний } T = 2\pi \sqrt{M/K} = 6,28 \sqrt{11,32 \cdot 10^3 / 333,6 \cdot 10^3} = 1,16 \text{ с.}$$

Точное значение $T = 1,21 \text{ с}$ – по первому тону колебаний.

Распределение ветрового потока по высоте носит случайный характер. Обычно рассматривают случай, когда ветровая нагрузка по всей высоте сооружения имеет максимальное значение (рис. 1.2, *в*). Но для раскосов и распорок решетки более опасным может быть зональное действие ветра (рис. 1.2, *д*, *е*).

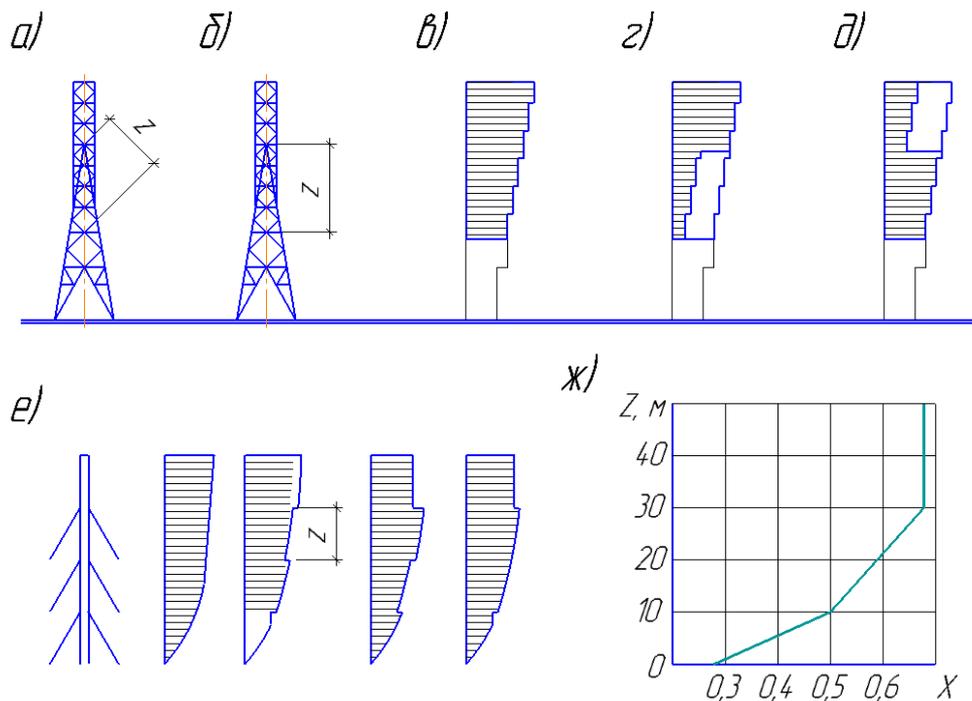


Рис. 1.2. Зональное действие ветра:

- а*, *б* – расчетные схемы для определения усилий в раскосах и распорках; *в* – схема максимальной ветровой нагрузки; *г*, *д* – схемы спада ветровой нагрузки для башен; *е* – то же для мачт; *ж* – график определения спада ветровой нагрузки

в) Снеговые нагрузки учитывают на площадках при их размерах $> 15 \text{ м}^2$; если площадки частично защищены оборудованием, то во внимание

принимается скопление снега вокруг оборудования. При этом коэффициенты « μ » в зависимости от диаметра оборудования принимаются: $\mu = 1,6$ при $1,5 < D \leq 5$ м; $\mu = 2$ при $5 < D \leq 10$ м; $\mu = 2,5$ при $10 < D \leq 15$ м. При этом зона вокруг оборудования определяется радиусом $\leq 2,5D$.

г) **Пылевые нагрузки** учитывают, если нет мероприятий по их удалению. Величину пылевой нагрузки определяют по технологическому заданию, а схему приложения – аналогично снеговой нагрузке.

д) **Гололедные нагрузки** определяют по СП20-2017 отдельно на ствол и на оттяжки.

1.3. Конструктивные схемы башен

Башни различают: **по числу граней**: трех-, четырех- и многогранные; **по конфигурации**: без переломов граней по высоте сооружения и с переломами граней; **по схеме решетки**: с треугольной, ромбической, крестовой.

Наибольшее распространение получили четырехгранные башни.

Многогранные башни уступают четырехгранным по конструктивным и технологическим показателям. Их применяют в уникальных конструкциях большой высоты, исходя из архитектурных соображений.

Основные конструктивные элементы четырехгранной башни с ромбической решеткой приведены на рис. 1.3.

Аналогичную конструкцию решетки имеют грани трех- и многогранных башен.

Неизменяемость контура поперечного сечения башен обеспечивается диафрагмами, размещаемыми по высоте башен через $(1,5 \dots 2,5)v$, (где v – ширина грани). Такие диафрагмы одновременно используют для обслуживающих площадок с применением лестниц или лифтов.

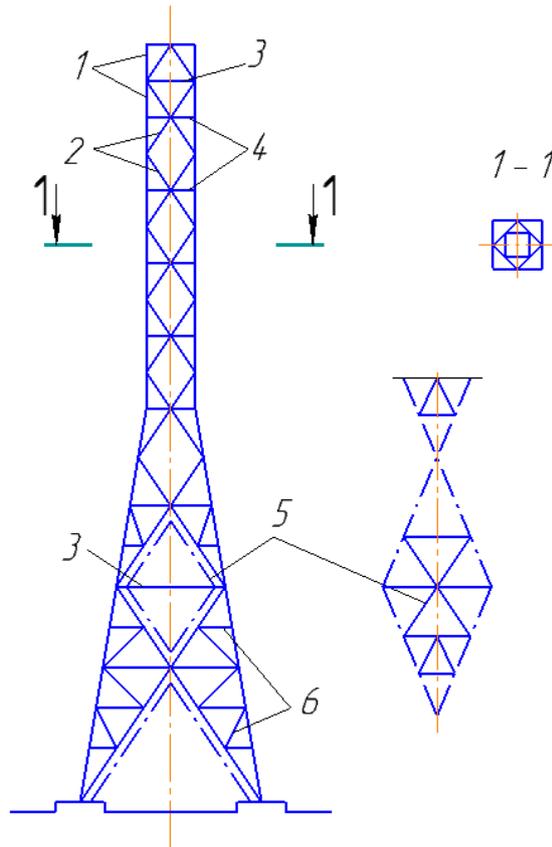


Рис. 1.3. Конструктивные схемы башни:

1 – пояса; *2* – раскосы; *3* – дополнительная распорка;
4 – распорки; *5* – связи; *6* - шпренгель

Основные типы силуэтов башен приведены на рис. 1.4: призматические (рис. 1.4, *a*); пирамидальные (рис. 1.4, *б*); с переломами граней по высоте (рис. 1.4, *в*, *г*).

Соединительная решетка обеспечивает совместную работу поясов, воспринимая сдвиг от поперечной силы. Кроме усилий от поперечной силы, решетка получает усилия от обжатия ветвей поясов продольными усилиями. Происходит в распорках и раскосах появление дополнительных напряжений, так называемых вторичных, которые и их величина зависят от схемы соединительной решетки. В расчетной схеме элементы решетки с поясом крепятся примыкающими шарнирами. Схемы решеток приведены на рис. 1.5.

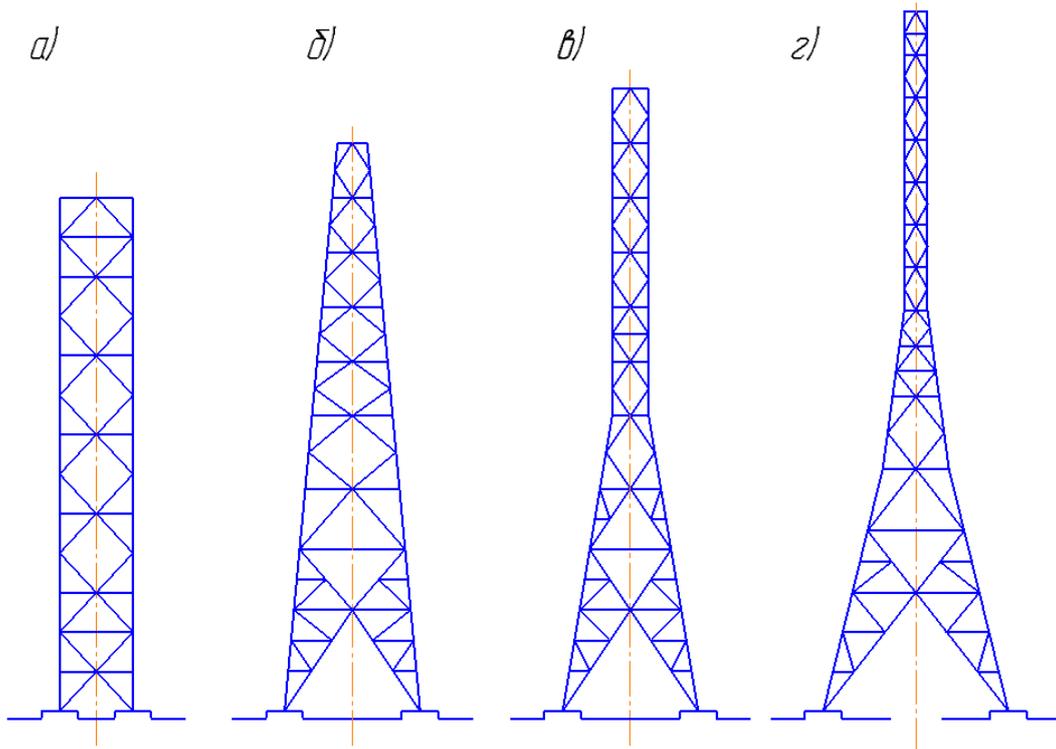


Рис. 1.4. Силуэты башен

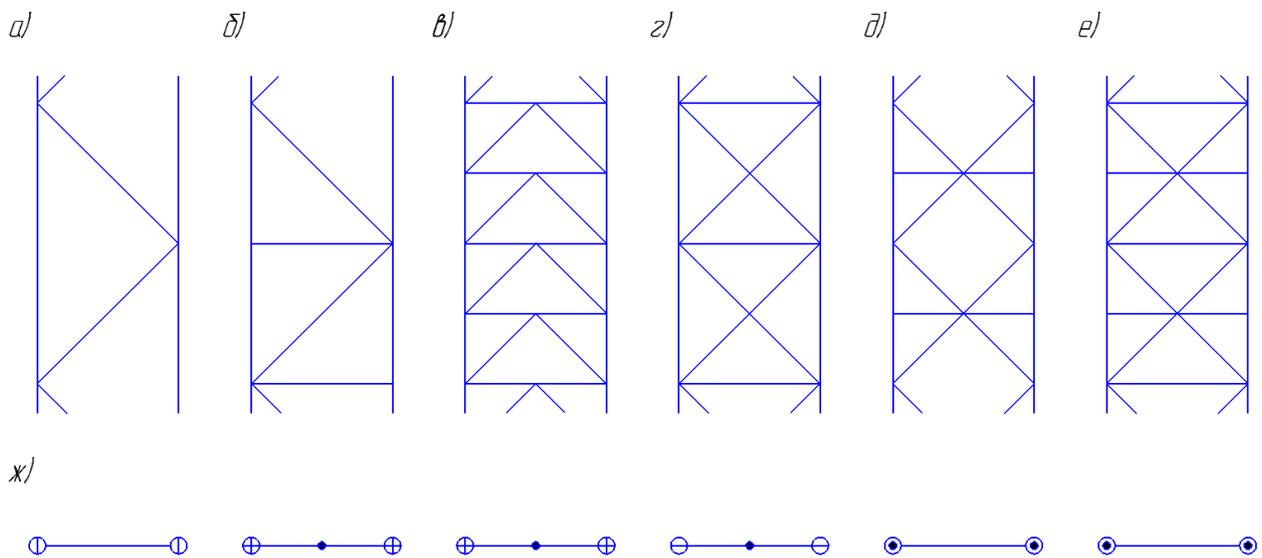


Рис. 1.5. Схемы решеток:

a – треугольная; *б* – треугольная с распорками; *в* – полураскосная;
г – крестовая; *д* – ромбическая; *е* – крестово-ромбическая;
ж – к определению вторичных напряжений

Простая треугольная решетка (рис. 1.5, *a*) работает только на поперечную силу, а от обжатия поясов в ней дополнительные напряжения не возникают.

В треугольной решетке с дополнительными стойками-распорками и в ромбической решетке (в распорках) в последних может проявиться изгиб от сдерживания раздвижки ветвей (рис. 1.5, *б*, *д*).

В крестовой решетке (рис. 1.5, *з*) раздвижку ветвей сдерживают распорки, связанные с раскосами. Поэтому эффект появления дополнительных напряжений здесь проявляется наиболее сильно, но изгиб ветвей не возникает, дополнительные напряжения разгружают пояса, сжимают раскосы и растягивают распорки.

В крестово-ромбической решетке пояса разгружаются, распорки растягиваются, раскосы сжимаются. Появляется небольшой изгиб поясов.

В полураскосной решетке (рис.1.5, *в*) имеет место незначительный изгиб ветвей и распорок.

Подробная характеристика различных схем решеток приведена в [1, стр. 93-95].

Диафрагмы обеспечивают поперечную жесткость башни в горизонтальной плоскости (рис. 1.6, *a*, *б*) и используются как площадки для обслуживания и размещения оборудования.

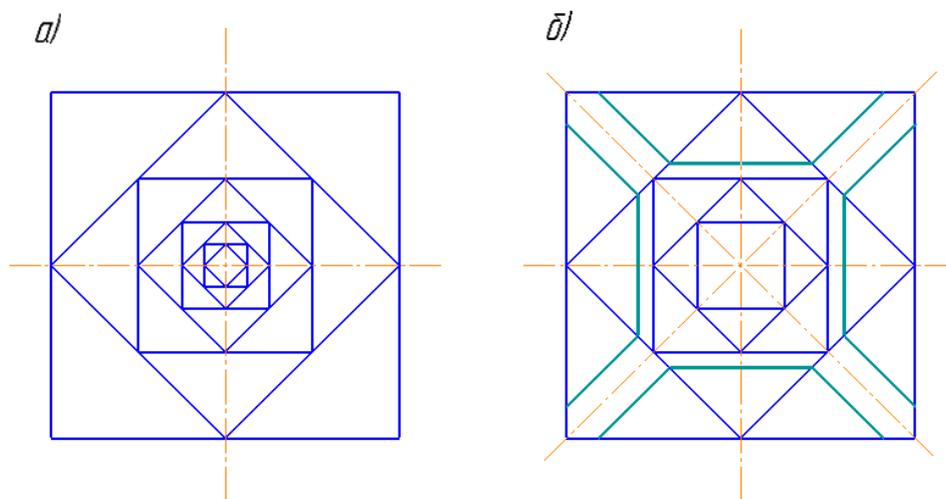


Рис. 1.6. Схемы диафрагм

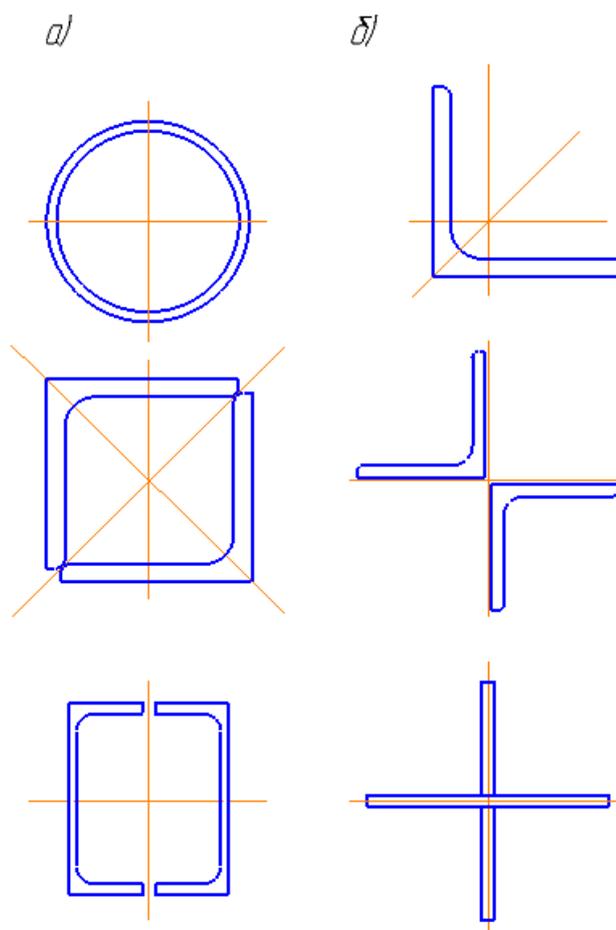


Рис. 1.7. Типы поперечных сечений элементов башни

Типы поперечных сечений элементов башни (рис. 1.7). Опыт проектирования башен показывает, что наиболее высокие аэродинамические свойства имеет трубчатое круглое сечение, которое позволяет в 2 и более раза снизить влияние ветрового давления по сравнению с сечением из прокатных или гнутых профилей. Однако, из-за простоты изготовления и относительно низкой стоимости прокатные уголки весьма широко применяются в башенных конструкциях.

Соединения поясов. Заводские соединения поясов выполняют только на сварке встык на подкладном кольце или с помощью парных кольцевых накладок, через коническую вставку (рис. 1.8, *а*), через врезной крест (рис. 1.8, *б*).

Монтажные соединения поясов могут быть фланцевыми (рис. 1.9), встык через врезной крест (рис. 1.8, б); с помощью уголковых накладок (рис. 1.8, в).

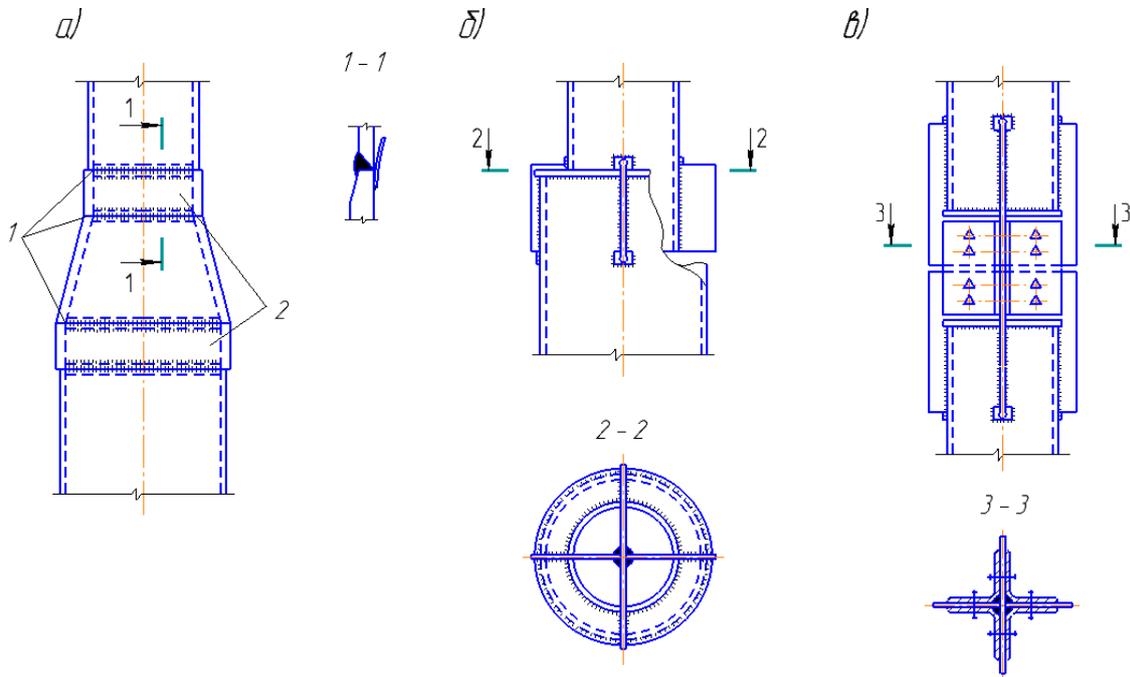


Рис. 1.8. Соединения элементов из труб:
а - встык через коническую вставку; *б* – через врезной сварной крест;
в – то же с уголковыми накладками

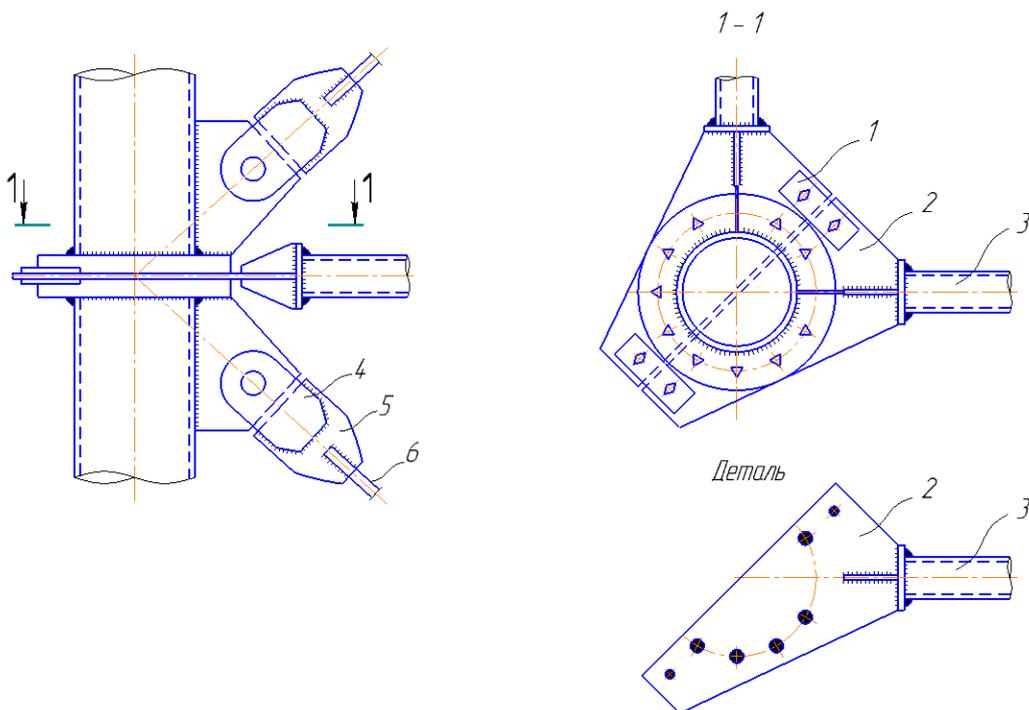


Рис. 1.9. Фланцевое соединение

На рис. 1.9 показан узел типовой телевизионной башни для ее верхней части, где раскосы выполнены из круглой стали. Концевые фасонки 2 распорок 3 соединяют на болтах планками 1 и зажимают между фланцами. Раскосы 6 из круглой стали с фасонками 5 и парными проушинами 4 образуют «вилку».

Монтажные соединения элементов решетки с поясами могут быть на фланцах (распорки – рис. 1.10, *а*), на болтах (раскосы – рис. 1.10, *а*), на болтах и сварке (рис. 1.10, *в* – раскосы), в которых дополнительно используют торцевые фасонки. В последнем варианте в трубчатых раскосах делают прорезы для фасонки. В бесфасоночных узлах раскосы крепят на монтаже к заводским выпускам из обрезков труб с помощью полубандажей (рис. 1.10, *в*). В местах перелома пояса для обеспечения крепления элементов решетки в цилиндрическую вставку, выполняемую с переломом, врезают фасонку с выпуском под крепление элементов решетки (рис. 1.11).

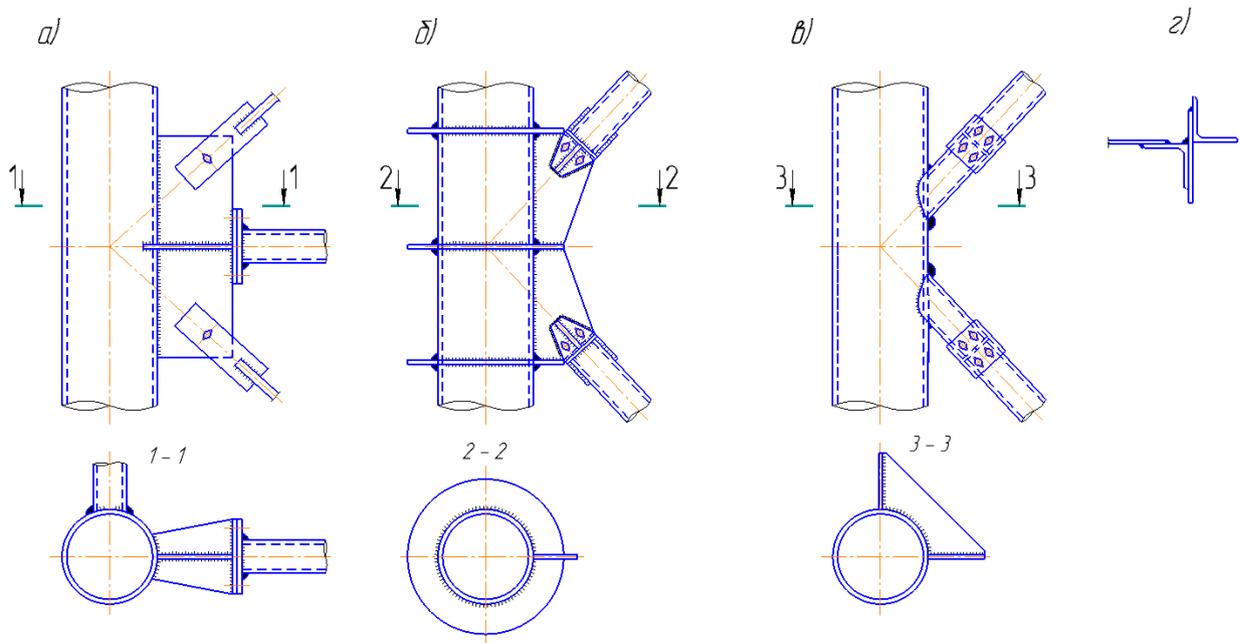


Рис. 1.10. Узлы сопряжения решетки с поясами

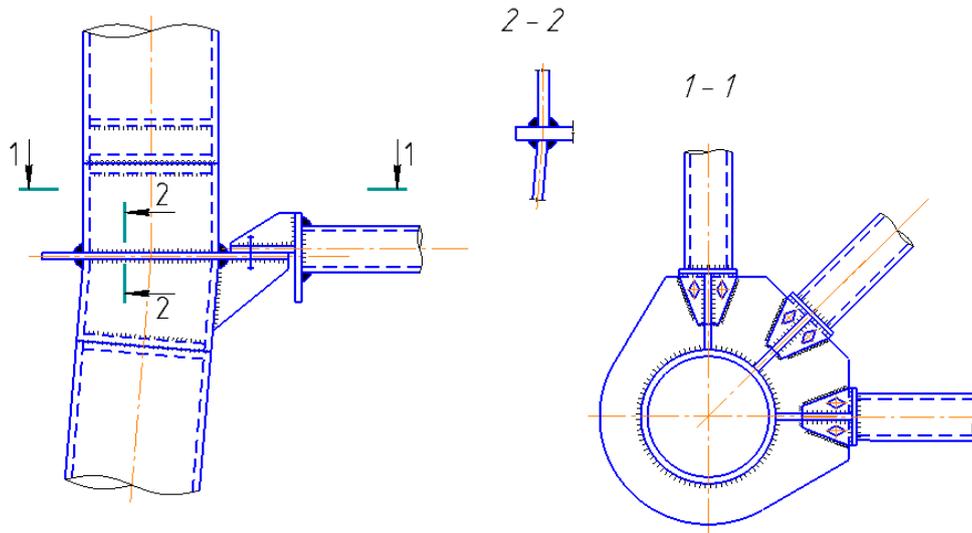


Рис. 1.11. Узел перелома пояса из труб

Узлы пересечения элементов решетки отличаются многообразием конструктивных решений, так как в них могут сходиться раскосы, распорки, элементы диафрагм и площадок. При этом распорка может быть прервана в узле (рис. 1.12) и выполнена по неразрезной схеме к фасонке с примыкающими элементами раскосов.

Опорные узлы башни воспринимают нормальную и поперечную силу. В зависимости от направления ветра **сжимающая** сила (усилие) передается через опорную плиту, а растягивающая – через анкерные болты. Для передачи поперечной силы предусматриваются упоры (рис. 1.13) из швеллеров, соединенных пластинами с опорной плитой. При небольших усилиях и диаметрах болтов их число принимают 4. При больших усилиях и соответствующих диаметрах болтов их число принимают 8 и крепят через опорные столики к траверсам в виде врезного креста (рис. 1.14).

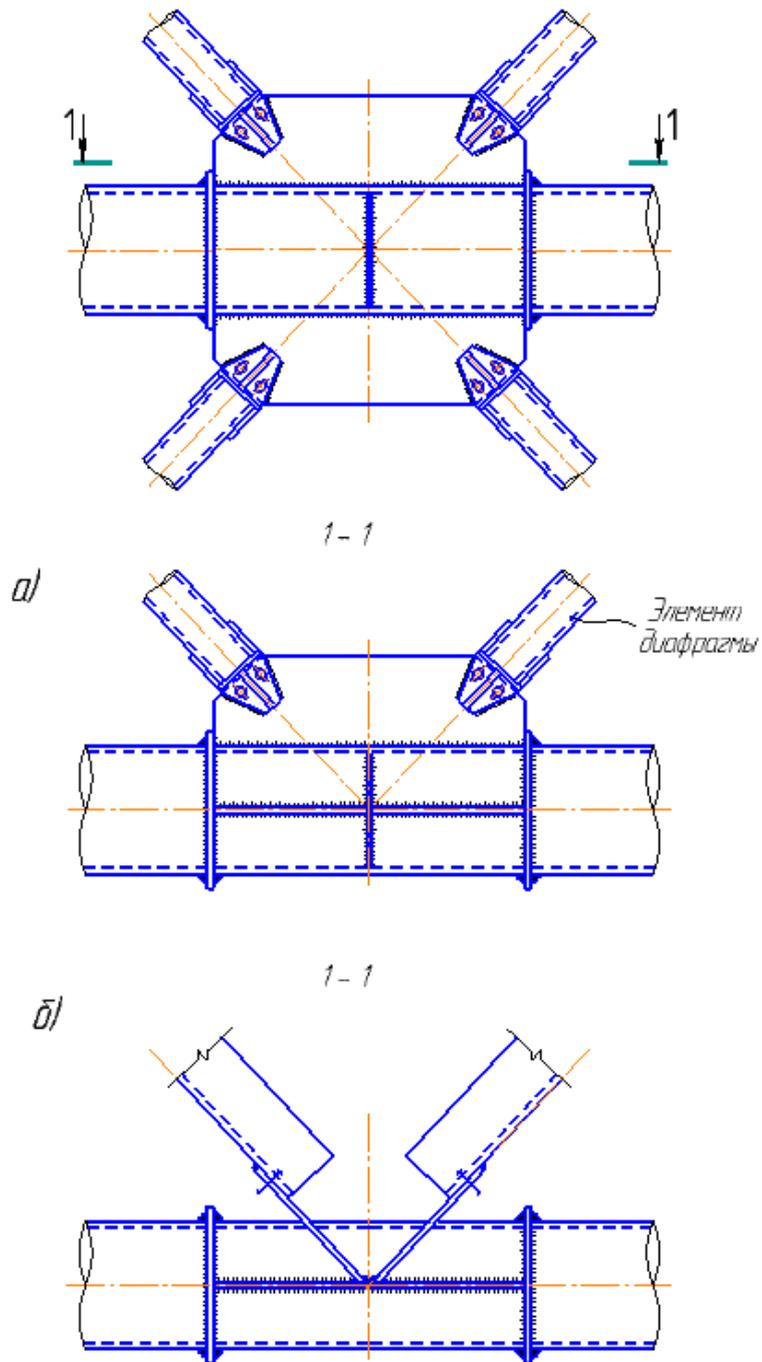


Рис. 1.12. Узлы пересечений элементов решетки

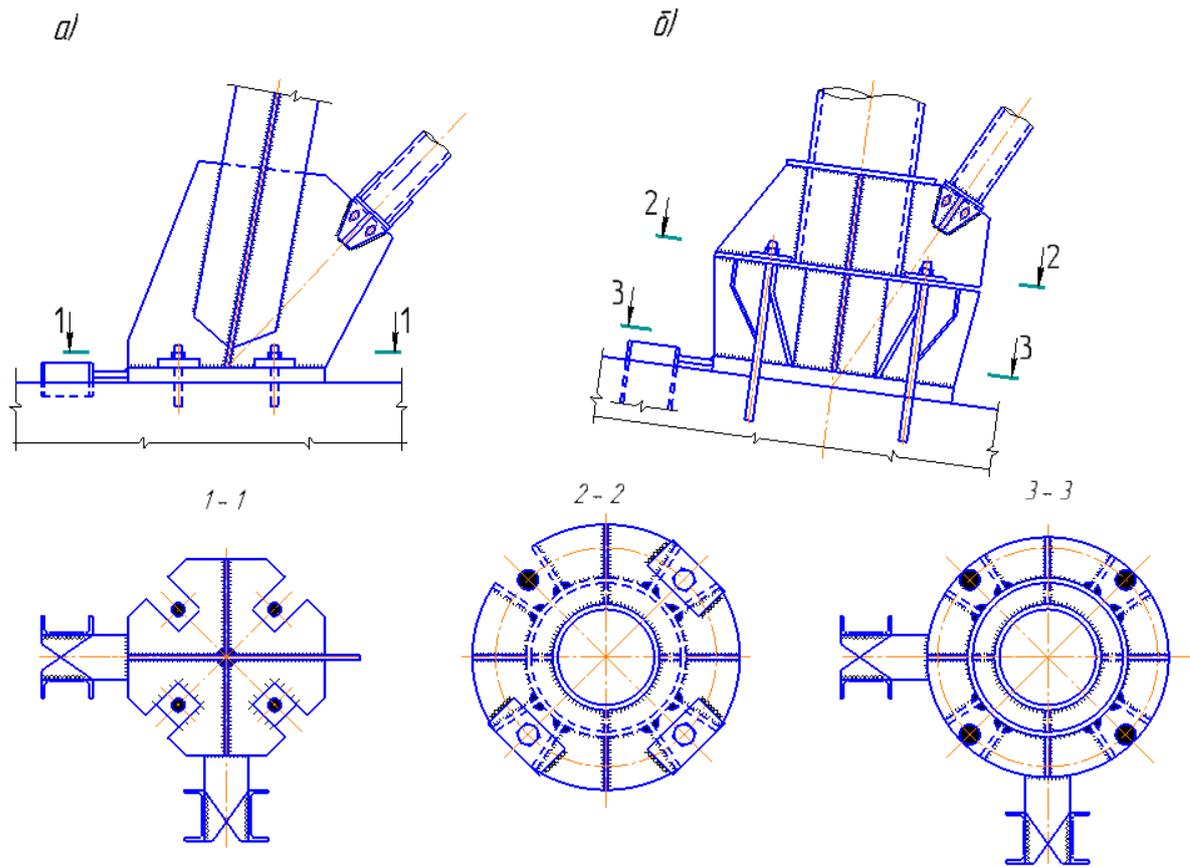


Рис. 1.13. Опорные узлы башен

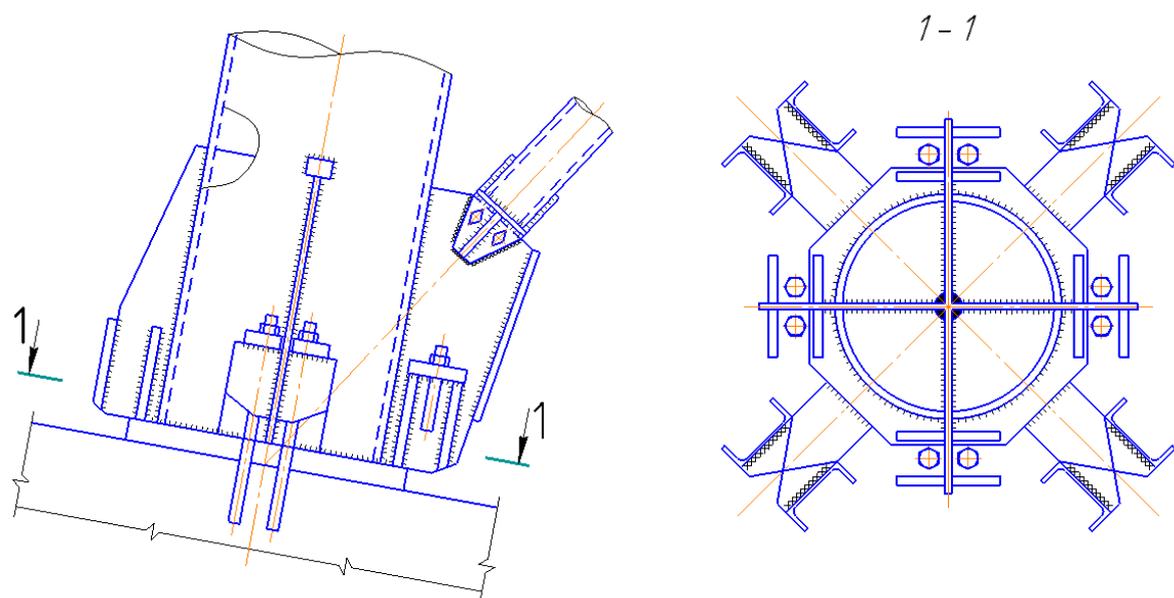


Рис. 1.14. Опорный узел башни с восьмью анкерными болтами

1.4. Основы расчета башенных конструкций

Башню по высоте при аналитическом расчете разбивают на отдельные участки, в пределах которых конструкции элементов и их сечения принимают одинаковыми:

- при высоте башни до 50 м рекомендуется назначать 4...5 участков;
- при высоте башни до 100 м рекомендуется назначать 6...8 участков;
- при высоте башни до 200 м рекомендуется назначать 8...12 участков;
- при высоте башни до 400 м рекомендуется назначать 10...16 участков.

Разбивку по высоте башни в численных расчетах можно согласовывать с длиной ствола из одной марки заводского изготовления.

При этом для определения усилий в поясах рассматривают комбинацию ветровой нагрузки по диагонали, а для определения усилий в решетке – на грань башни. Дополнительно для решетки учитывают зональное действие ветра (рис. 1.2). Для дальнейшего расчета принимают наибольшее давление ветра. В комбинации нагрузок без гололеда ветровую нагрузку принимают максимальной интенсивности, а при учете гололеда давление ветра принимают в размере 25% от нормативного значения. После **первой итерации** статического расчета уточняют сечения элементов по I ПС, корректируют сечения, выполняют **вторую итерацию** статического расчета и опять проверяют новые сечения. Итерации заканчивают, когда новые поперечные сечения (с учетом сортамента) близки к предыдущим.

Деформативность башни в целом оценивают **по амплитуде ее колебаний**, а распорок решетки по стреле прогиба.

Амплитуда колебаний башни определяется максимальным горизонтальным перемещением верхней точки от полной нормативной ветро-

вой нагрузки, действующей на грань. Предельно допустимое перемещение для башен высотой « H » обычно назначают равным $H/100$.

Прогиб распорок, работающих на изгиб, ограничивают величиной

$$\frac{f}{l} = \frac{1}{400}.$$

1.5. Конструктивные схемы мачт

Мачта состоит из ствола, опирающегося на центральный фундамент, и оттяжек, закрепленных в анкерных фундаментах, с помощью которых ствол удерживается в вертикальном положении.

Если оттяжки по ярусам располагать под углами в 45° (рис. 1.15, б), то они будут занимать большую территорию, что неэкономично. Если оттяжки закрепить более круто (угол в 60°) (рис. 1.15, а), то это позволяет разместить мачту на стесненном участке. В этом случае требуются специальные рейи, повышающие жесткость ствола и вибростойкость оттяжек. Поэтому обычно мачты устанавливают на свободной территории.

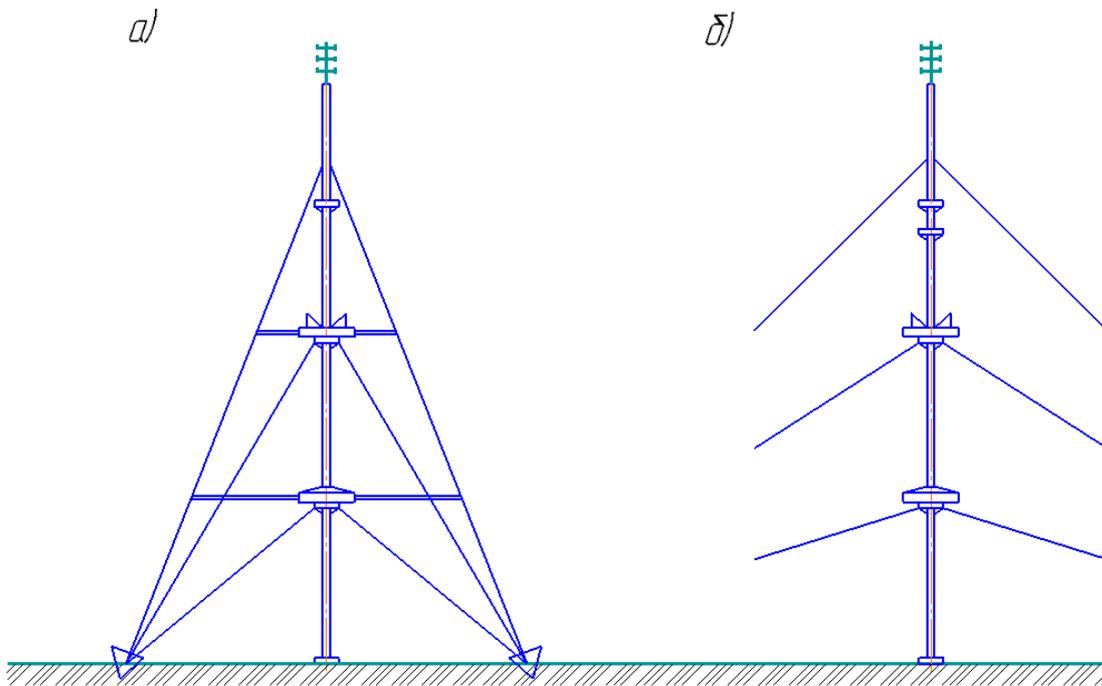


Рис. 1.15. Мачты с рейями и без них

Стволы решетчатых мачт проектируют чаще трехгранными, реже четырехгранными. Изготавливают из секций – отправочных марок, которые на месте объединяют в монтажные единицы.

Для высот мачт 150...400 м с базой 2200 мм применяют инвентарные схемы (разборные) (рис. 1.16). В них пояса и распорки выполняют из труб, а раскосы (чаще – крестовые) из круглой стали с фаркопфами для натяжения. Для мачт высотой 100...250 м применяют уменьшенные базы – 1350 мм (рис. 1.17). В таких мачтах более выгодна решетка из труб, треугольная со стойками.

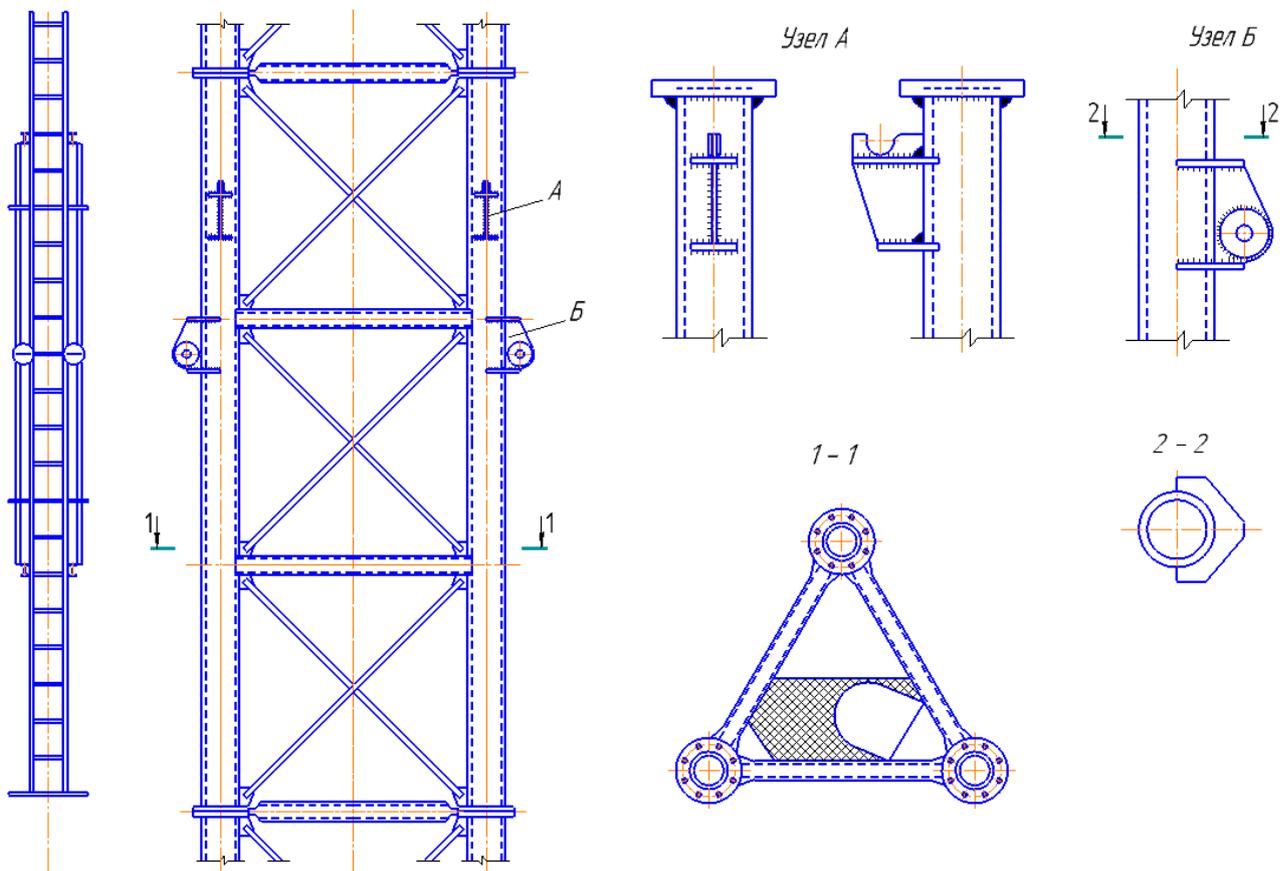


Рис. 1.16. Секция и узлы инвентарной мачты

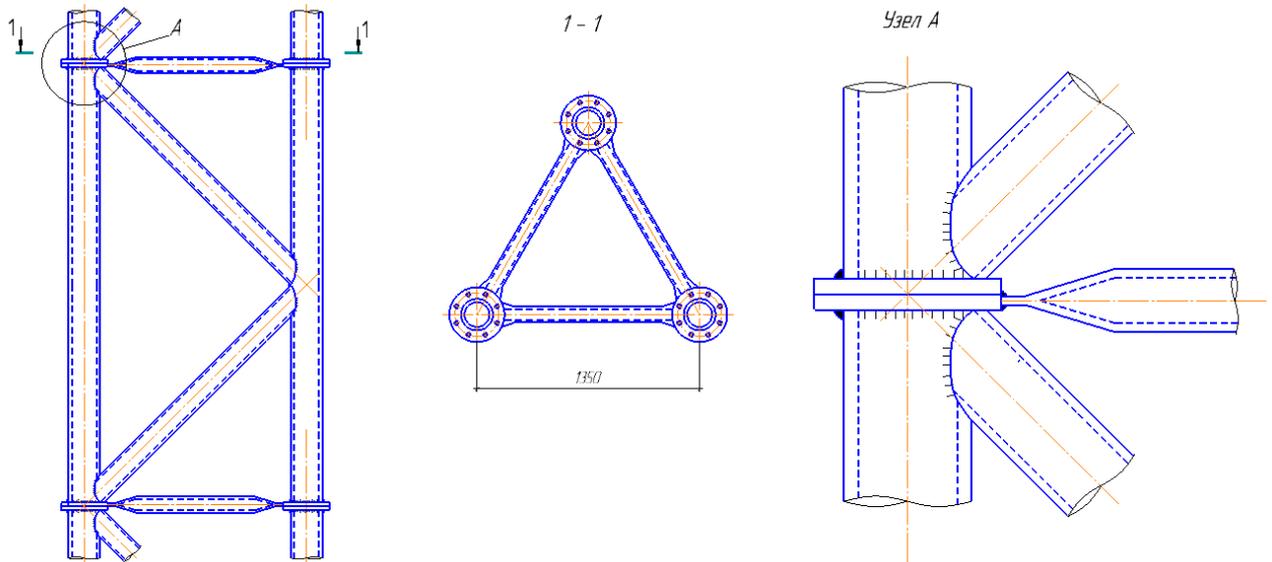


Рис. 1.17. Секция мачты с уменьшенной базой

Пояса и решетка мачт высотой 50...150 м могут быть выполнены из квадратной или круглой стали (рис. 1.18).

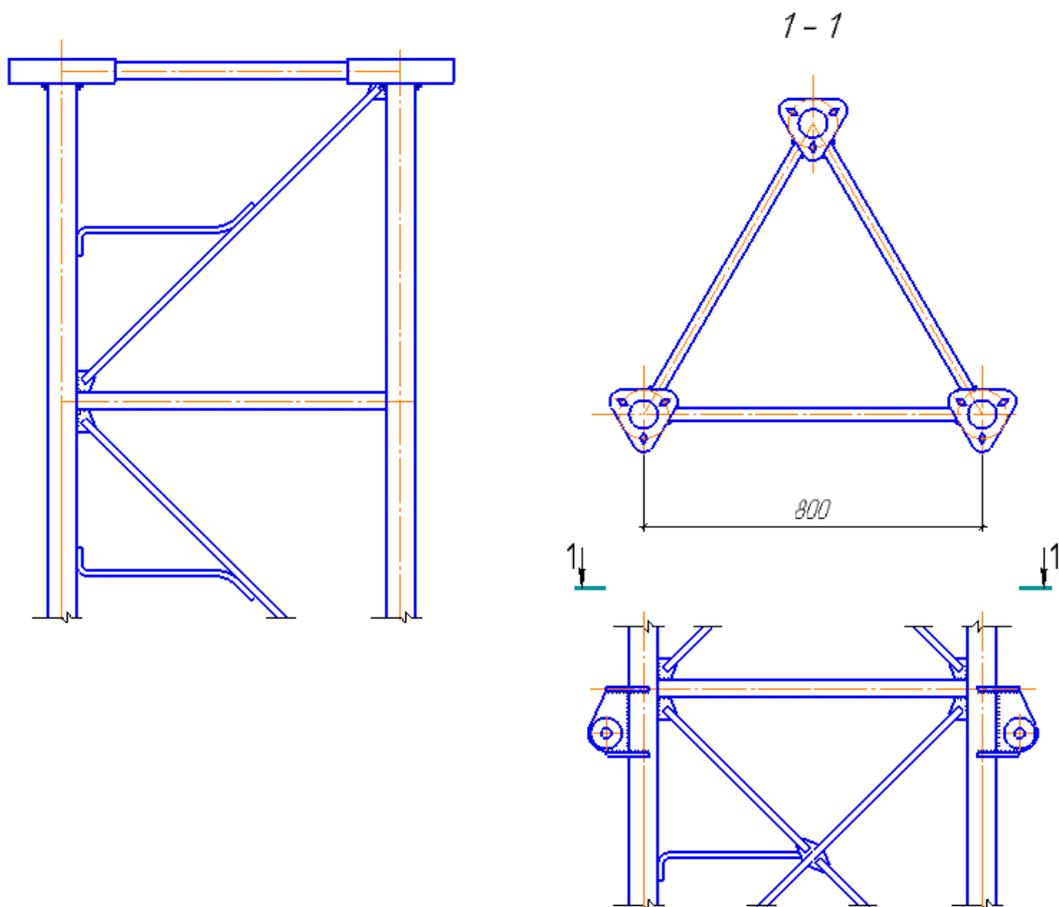


Рис. 1.18. Секция мачты с малой базой

Опираие ствола на фундамент может быть шарнирным или жестким. При этом применяют опорные изоляторы (рис. 1.19, *а*) при шарнирном решении, или при жестком соединении ствола с фундаментом в тело бетона заделывают анкерные болты (рис. 1.19, *б*).

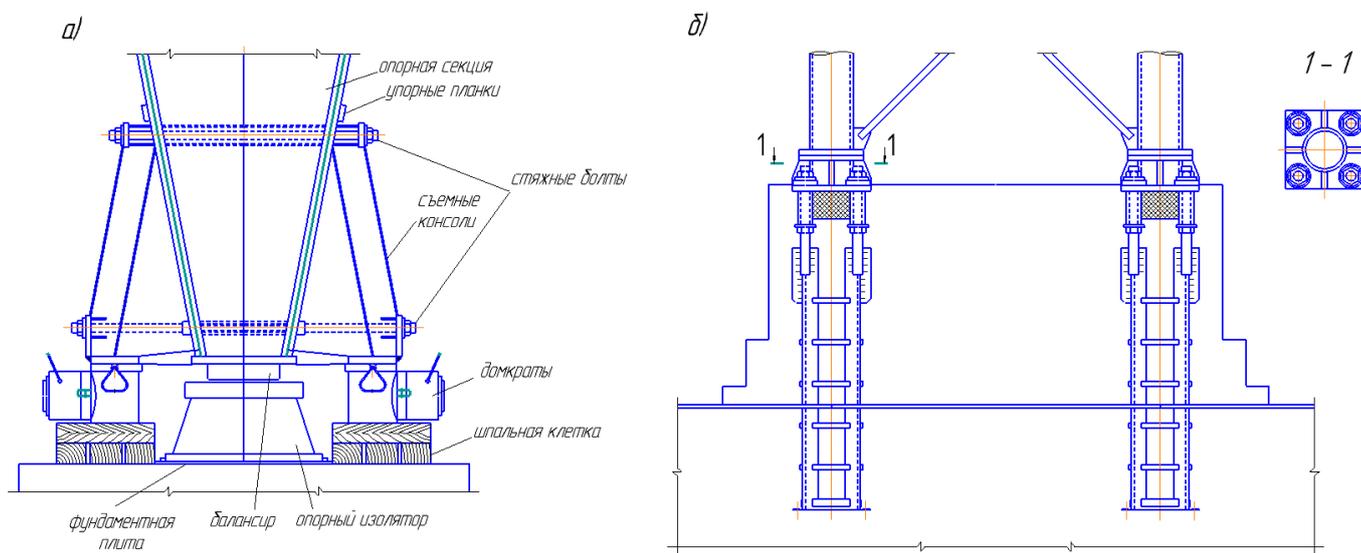


Рис. 1.19. Опираия ствола мачты на фундамент:
а – шарнирное через опорный изолятор; *б* – жесткое

Иногда применяют стволы в виде одной трубы большого диаметра. При этом при высоте мачт 200...350 м стволы диаметром 2400...2600 мм выполняют цельносварными, в которых отдельные секции длиной по 6 м изготавливают на заводе (рис. 1.20) и транспортируют на место монтажа в готовом виде, а затем сваривают в рабочем положении, накладывая горизонтальный кольцевой шов после подъема очередной секции ствола. Можно выполнять соединения секций между собой на высокопрочных болтах через кольцевые фланцы.

Узел опираия ствола на фундамент при шарнирном сопряжении приведен на рис. 1.21, *а*. При выполнении узла с фундаментом в виде листового шарнира (рис. 1.21, *б*) на него передают нормальные силы с эксцентриситетом. Для этой цели в нижней части оболочки увеличивают ее толщину. При жестком соединении ствола с фундаментом опорное кольцо

всей поверхностью опирается на закладные детали, заанкерованные надежно в теле бетона напрямую или анкерными болтами через опорные столики.

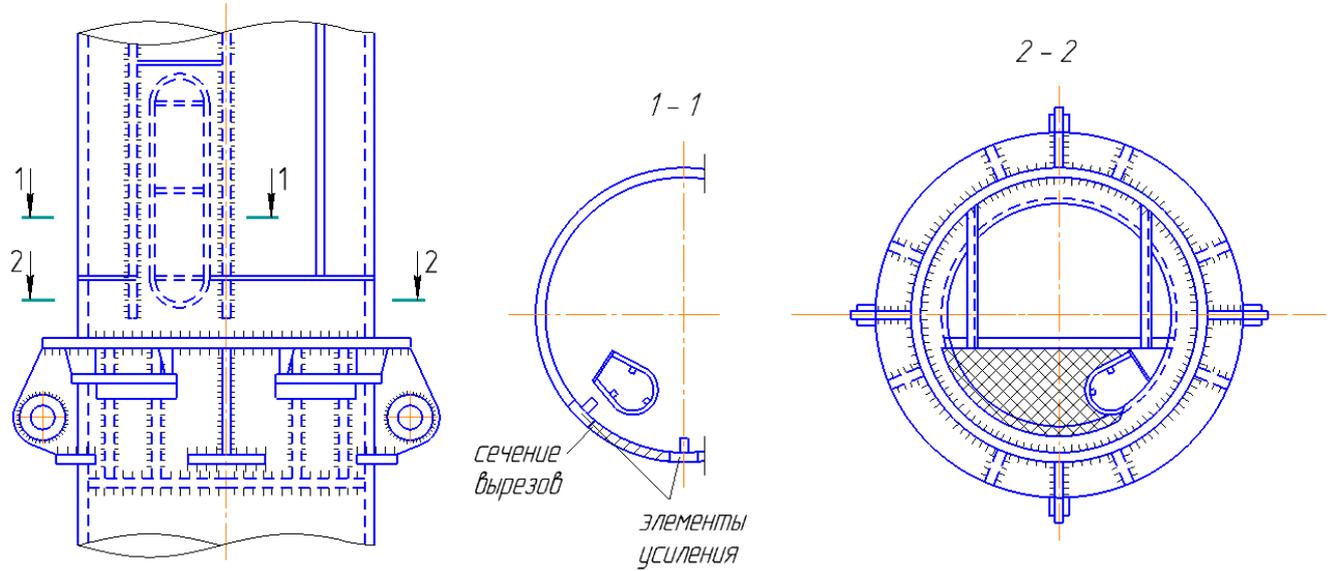


Рис.1.20. Фрагмент ствола однотрубной мачты

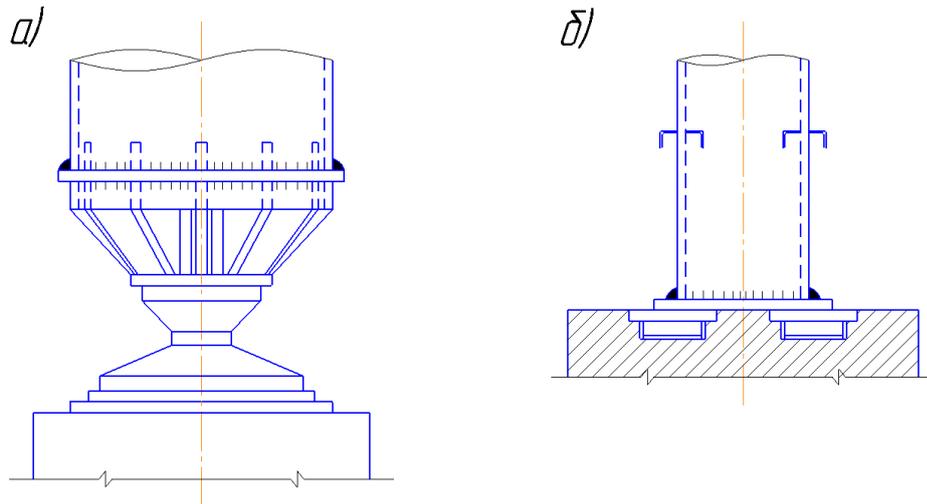


Рис.1.21. Узлы опирания цилиндрического ствола на фундамент

1.6. Основы расчета мачтовых конструкций

При расчете мачты обычно рассматривают как сжатоизогнутый стержень на нелинейно-упругих опорах, роль которых выполняют оттяжки.

Аналитический расчет мачт, излагаемый в учебной литературе [1, стр. 110÷114], имеет определенную сложность. Поэтому есть предложения применить к статическому расчету мачт численные методы КЭ в ППП, например, в SCAD. Проблема будет в принятии упруго-податливых узлов крепления оттяжек к стволу.

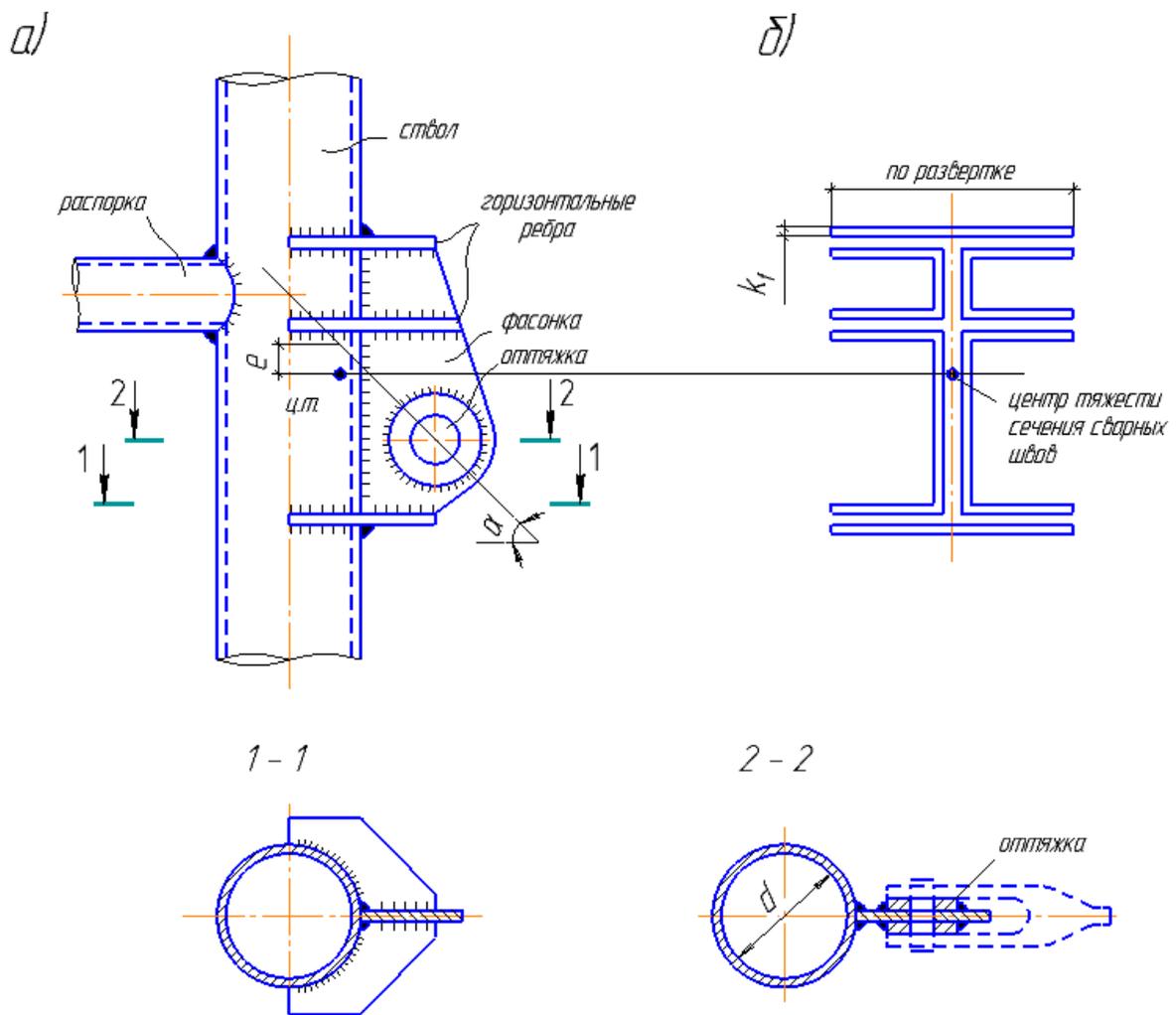


Рис. 1.22. Крепление оттяжки к стволу

Численный расчет мачт выполняют методом последовательных приближений, задаваясь на 1-м этапе начальными сечениями (жесткостями) ствола и оттяжек. Процесс итераций (их несколько) заканчивают, когда новые сечения элементов по их жесткостям близки к жесткостям предыдущей итерации. Таким образом, на каждом этапе итераций уточняется как статический расчет (расчетные усилия в элементах), так и конструктивный расчет от расчетных нагрузок по прочности и устойчивости (ПС-I) и по прогибам и амплитуде колебаний (ПС-II) от нормативных нагрузок. Узел крепления оттяжки к стволу приведен на рис. 1.22.

2. АНТЕННЫ

2.1. Общая характеристика

Антенны используются для передачи и приема электромагнитных колебаний высокой частоты: обмен информацией через радио, телевидение, другие виды связи); обнаружение объектов (радиолокация); управление движением летательных аппаратов, судов (радионавигация); излучение космических объектов (радиоастрономия).

Осуществляется все это с помощью **передающих** антенн. Для обратных преобразований применяют **приемные** антенны. Форма, размеры и конструкция антенн зависит от их назначения и длины радиоволн (рис. 2.1):

- в виде отрезка провода, или комбинации таких отрезков, спиралей;
- в виде линзы;
- параболическая антенна;
- двухзеркальная;
- и т.п. (см. рис. 2.1).

Простейшей антенной является вибратор (рис. 2.1, а). Любая сложная антенна может рассматриваться как совокупность большого числа

элементарных вибраторов. Они бывают симметричными и несимметричными. Для передачи длинных и средних волн применяют вертикальный несимметричный вибратор в виде изолированной от земли антенны-башни или антенны-мачты. При этом оттяжки мачты разделяют изоляторами на отдельные секции. Для повышения эффективности антенн увеличивают их высоту до 300 м и более, добавляют к ним горизонтальные провода (рис. 2.1, *з*) или пучки проводов (рис. 2.1, *в*).

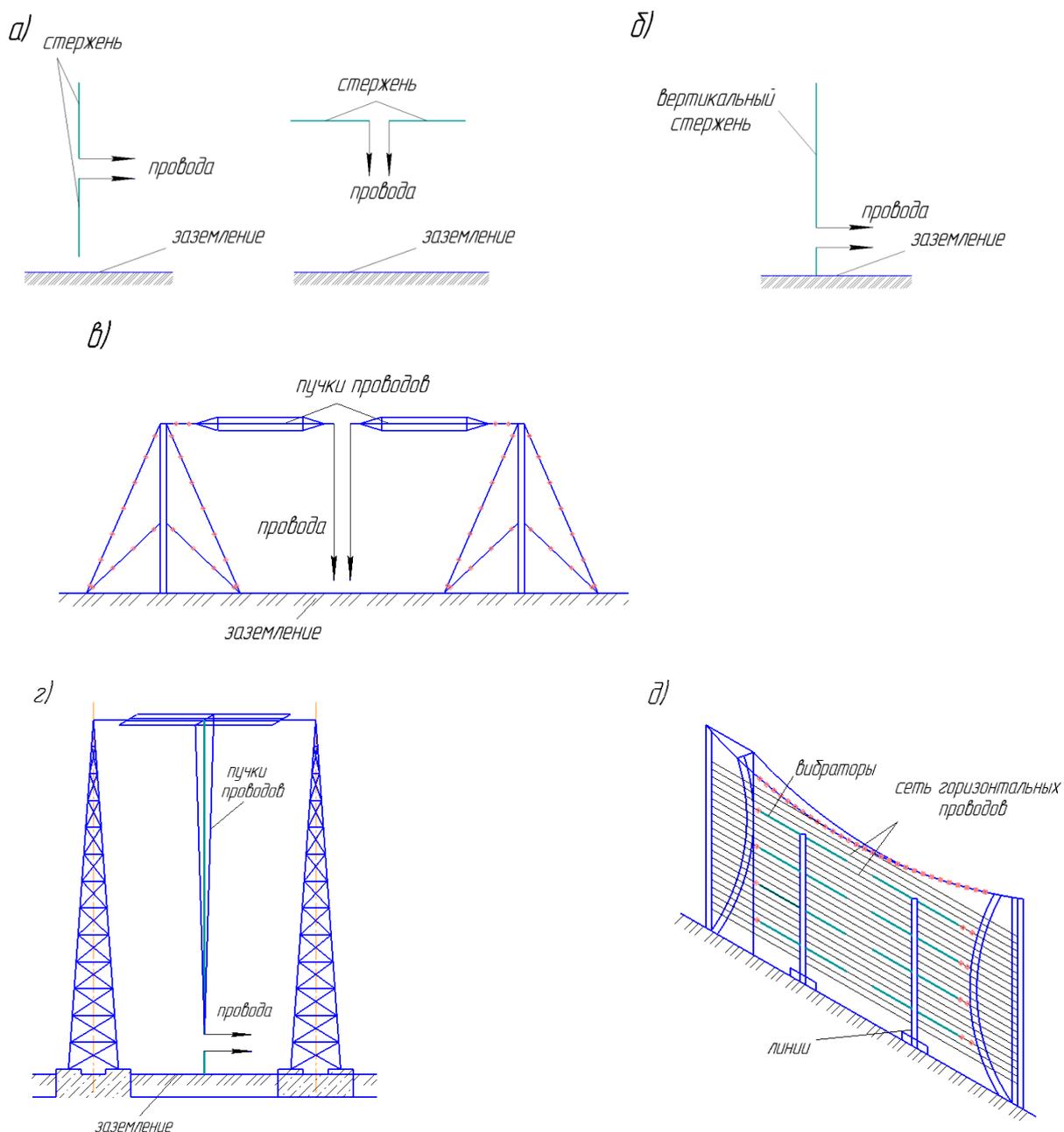


Рис. 2.1. Типы антенн:

а – вибратор Герца; *б* – несимметричный вибратор; *в* – диполь Надененко; *з* – Т-образная; *д* – синфазная

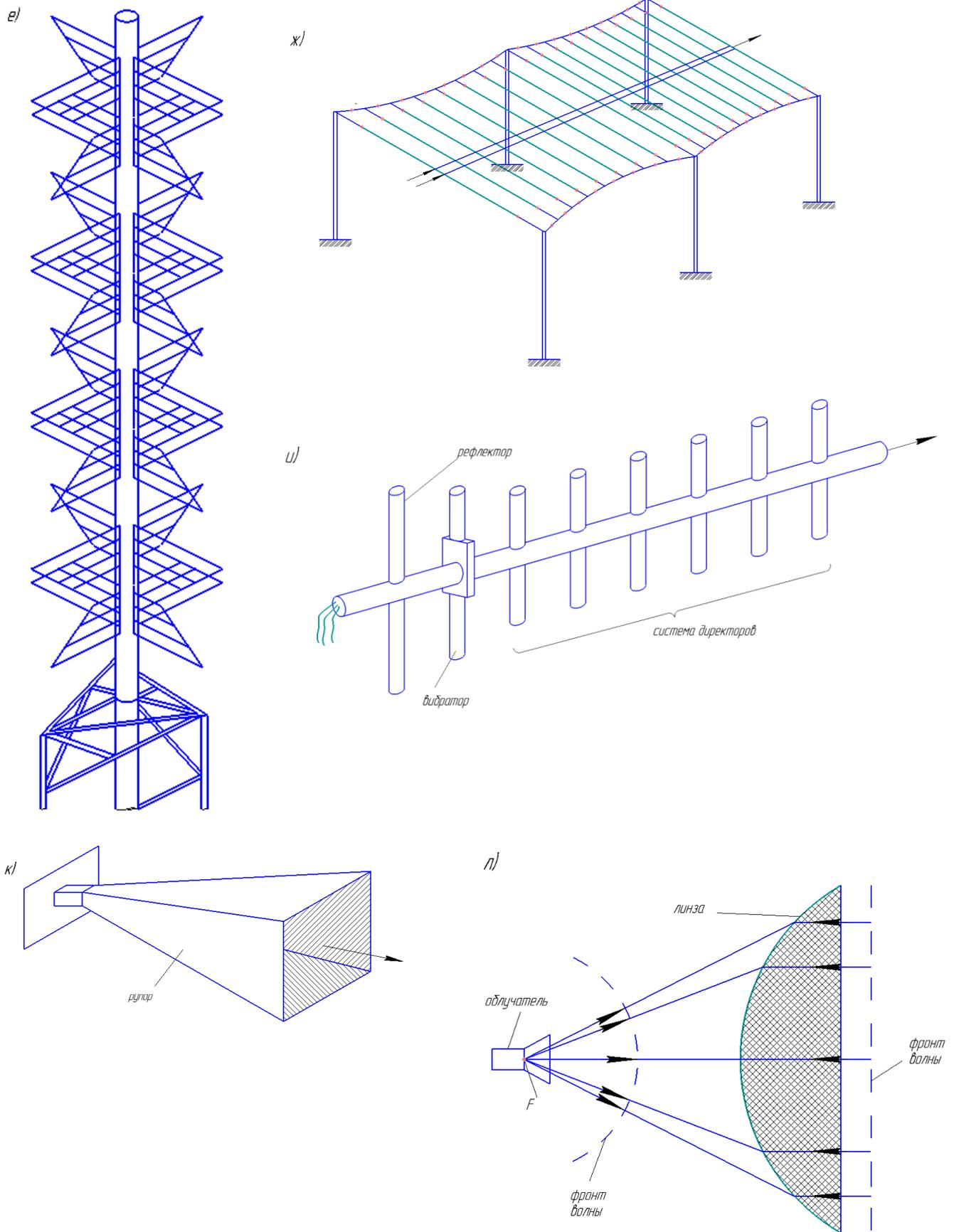
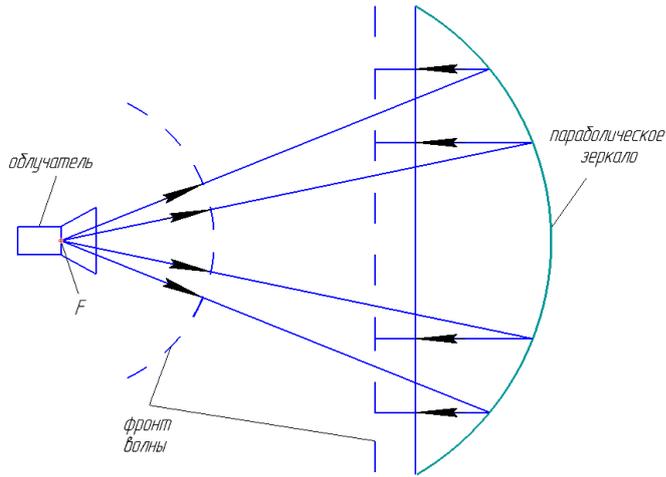


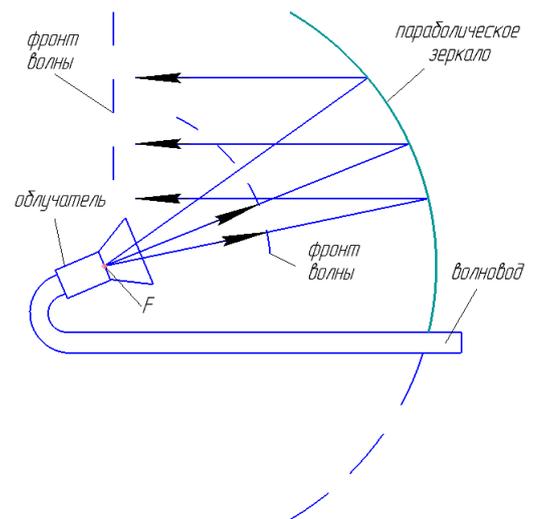
Рис. 2.1. Типы антенн:

e – турникетная; *ж* – бегущей волны; *и* – волновой канал; *к* – рупорная;
л – линзовая

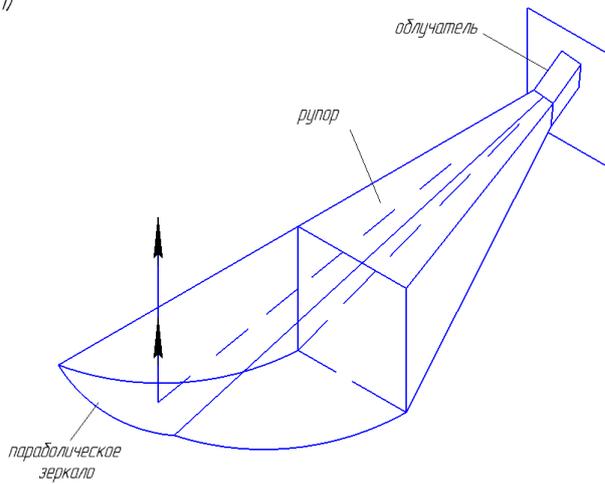
м)



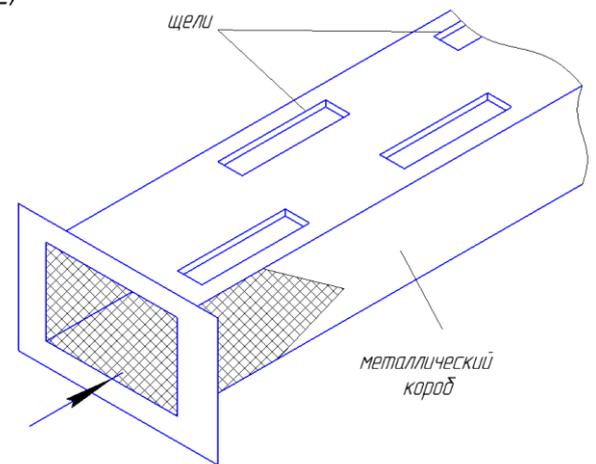
н)



п)



с)



р)

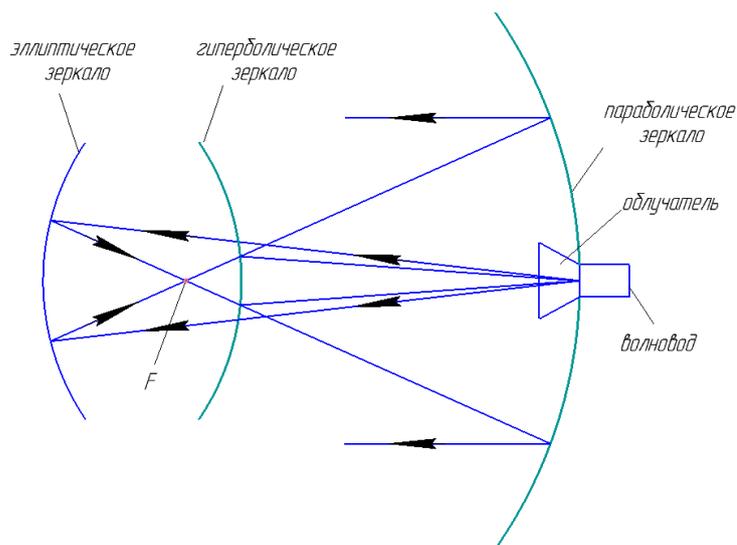


Рис. 2.1. Типы антенн:

м – параболическая; н – то же, с выносным облучателем; п – рупорно-параболическая; р - двухзеркальная; с – волноводная щелевая

На дальних коротковолновых линиях применяют синфазные антенны (рис. 2.1, д), представляющие собой группы симметричных вибраторов, объединенных в единую систему.

На приемных коротковолновых радиопередатчиках применяют антенны бегущей волны (рис. 2.1, ж).

2.2. Проволочные антенны и их опоры

Антенны навигационных и длинноволновых радиостанций могут иметь протяженность в несколько километров. На рис. 2.2 показан узел большой Т-образной антенны пролетом (длиной) около двух километров. Если проволочные антенны имеют сложную конфигурацию, то они могут занимать километровые пространства и устанавливаются на опорах высотой до 350 м (рис. 2.3).

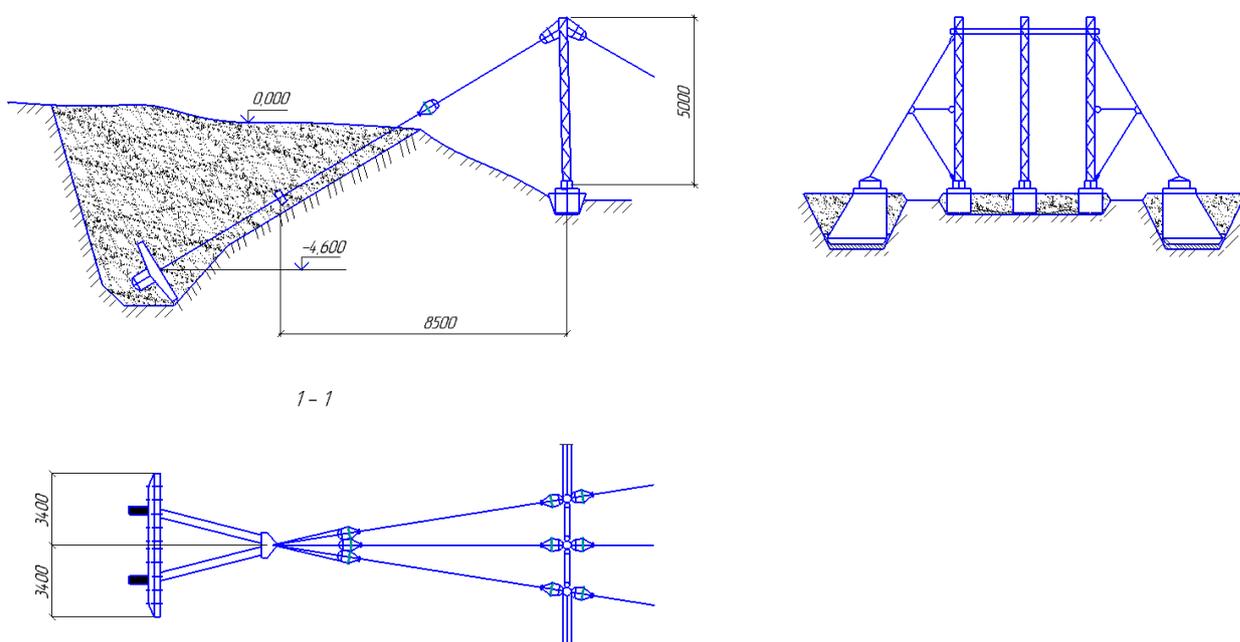


Рис. 2.2. Крепление к основанию большой Т-образной антенны

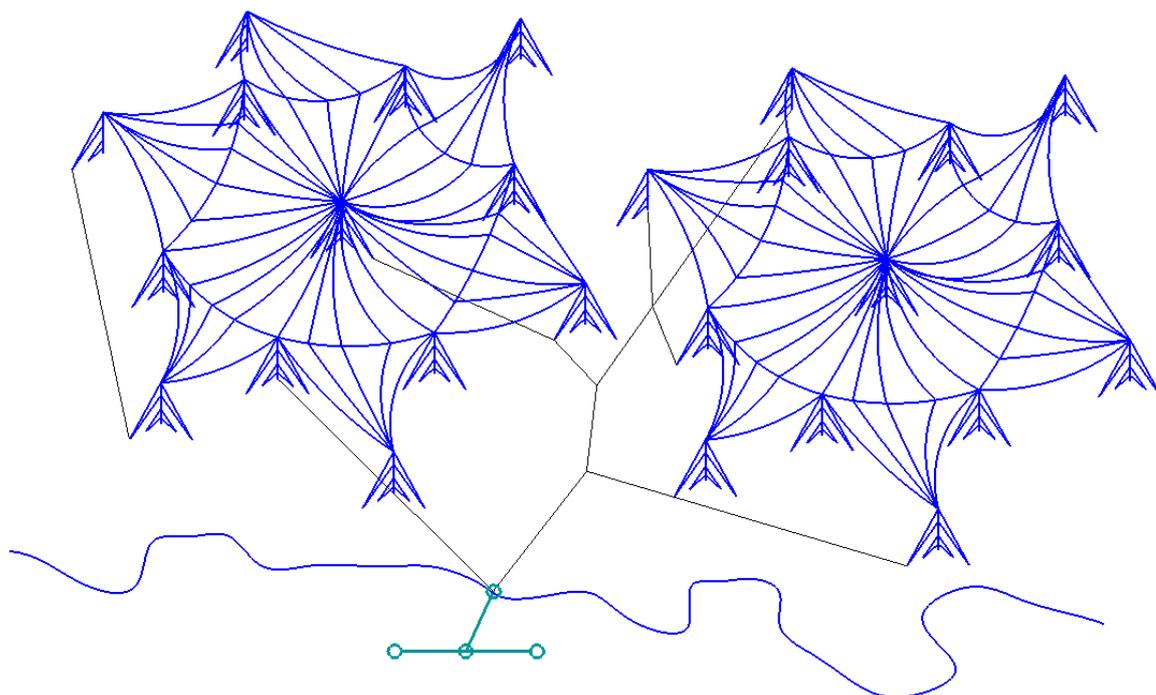


Рис. 2.3. Схема антенны длинноволнового диапазона

Крепление проволочной сети к опорам может быть непосредственным или с помощью **контргрузов**. В первом случае на опоры передаются силы от тяжения проводов. Во втором – эти силы постоянны.

Проволочные антенны могут быть прикреплены к опорам неподвижно или с помощью специальных устройств, позволяющих перемещать антенну в процессе эксплуатации.

Неподвижное крепление показано на рис. 2.4. Подвижное крепление приведено на рис. 2.5.

Для удобства подъема и спуска антенны ее делят на независимые секторы, подъем и спуск которых может быть сделан автономно, не затрагивая остальные секторы.

Оттяжки в мачтах размещают так, чтобы они находились между смежными секторами и не мешали опусканию сектора на землю. На рис. 2.6 приведен узел крепления сектора антенны к мачте с помощью леерных

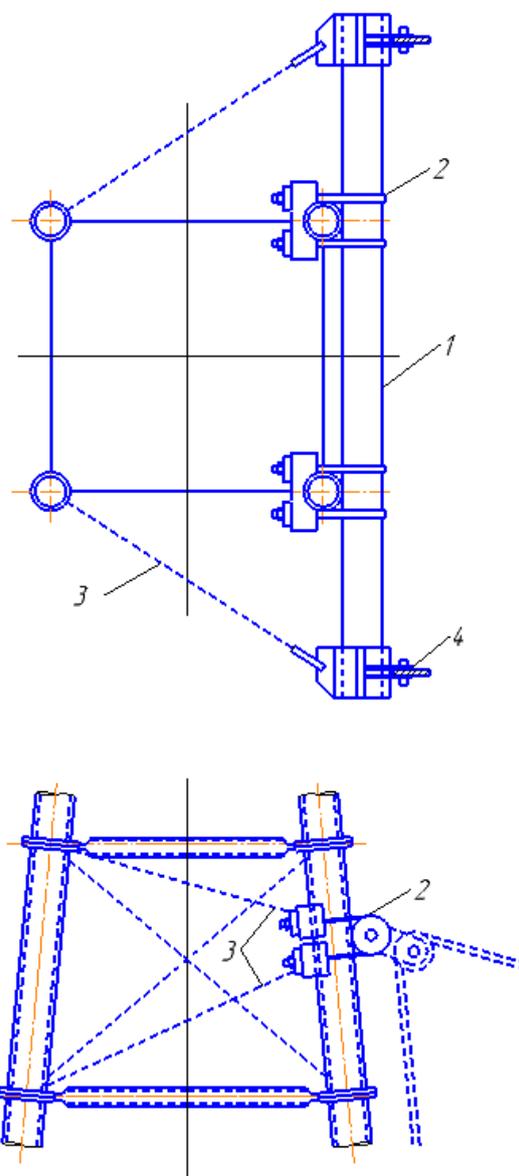


Рис. 2.4. Схема крепления к башне антенн:

1 – рея; *2*– узел крепления реи к поясам; *3* – гибкие элементы;
4 – узел крепления антенны к рее

канатов, соединенных с рамками на верхней части мачты. Для электрической изоляции элементов антенн применяют изоляторы (рис. 2.7). На рис. 2.8 приведен узел соединения неизолированных элементов.

Для уменьшения амплитуды колебаний антенных пластин и оттяжек применяют виброгасители (рис. 2.8).

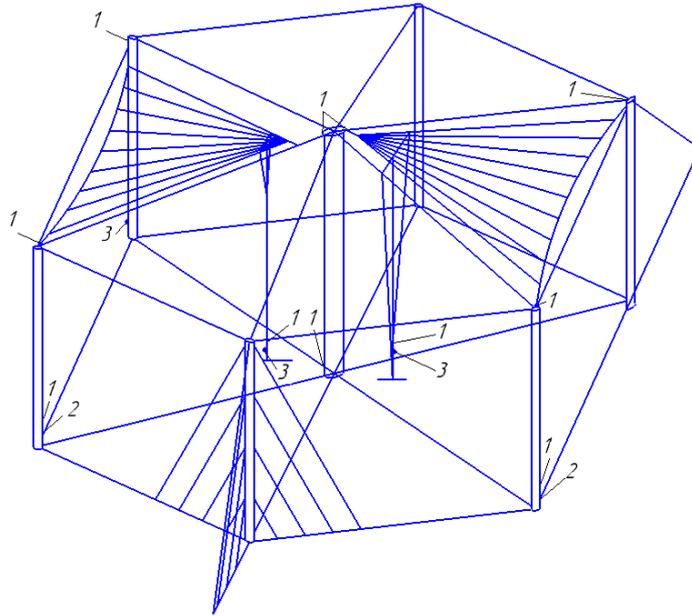


Рис. 2.5. Антенна в форме правильного многоугольника

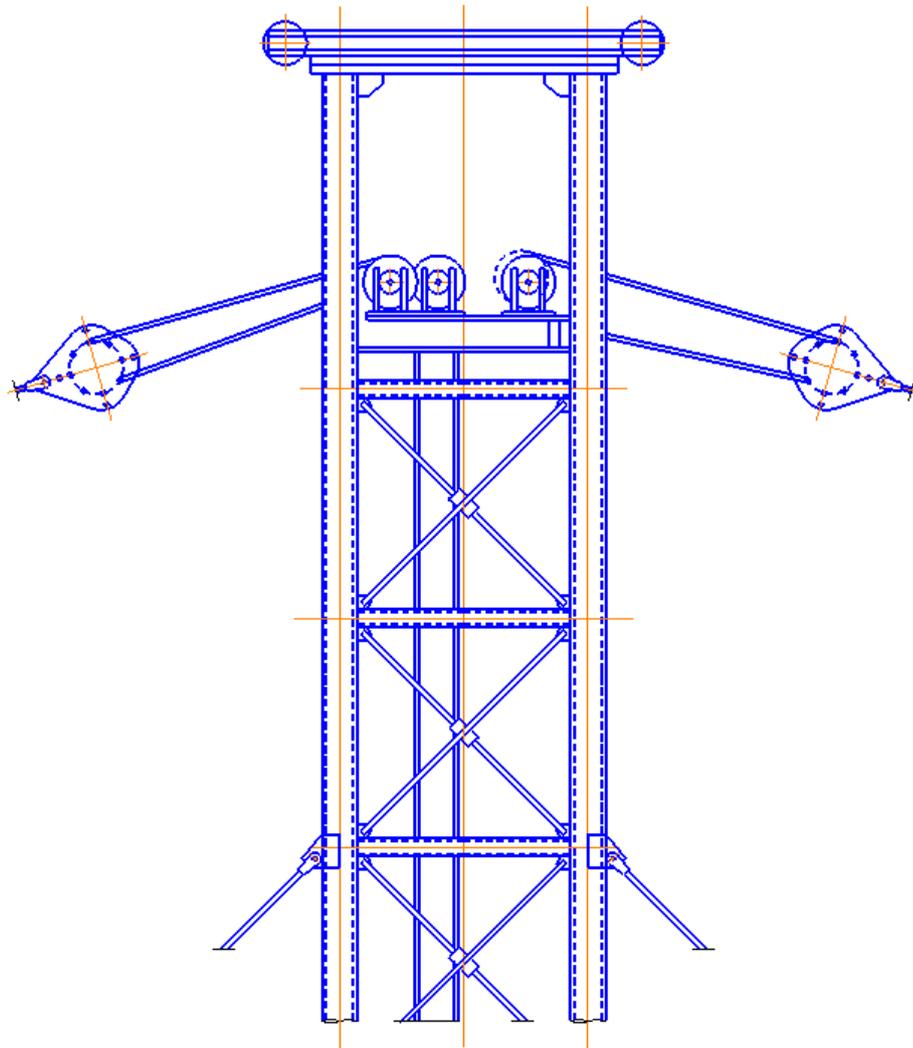


Рис. 2.6. Крепление сектора антенны к мачте

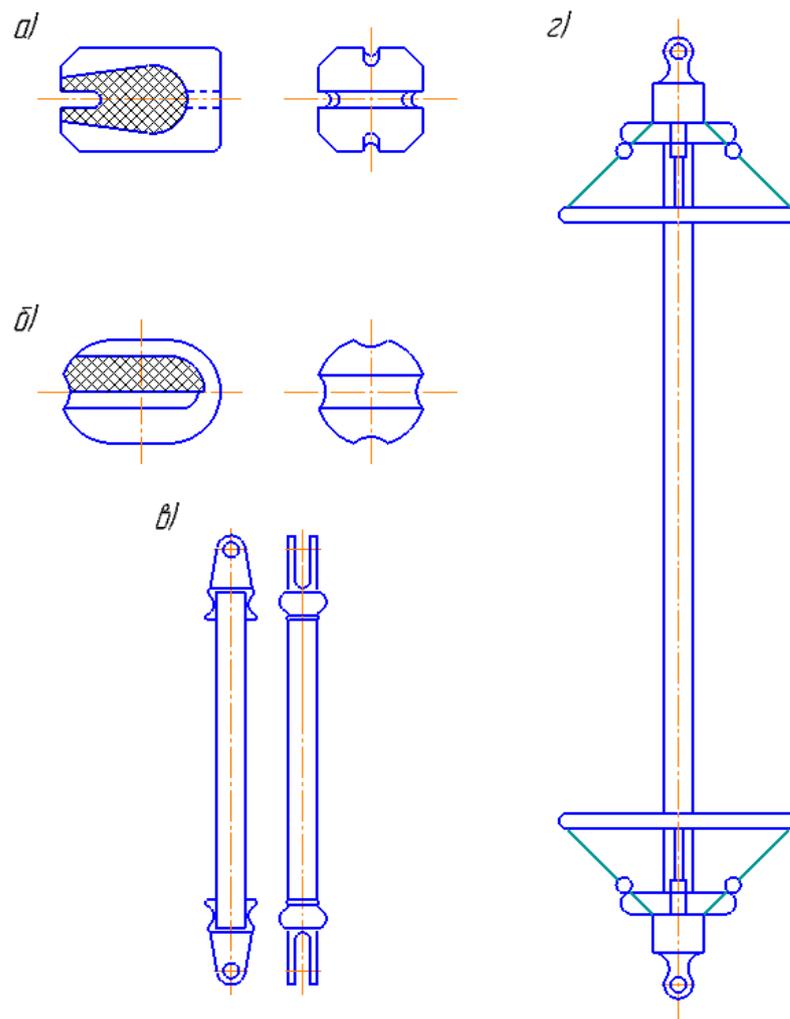


Рис. 2.7. Изоляторы

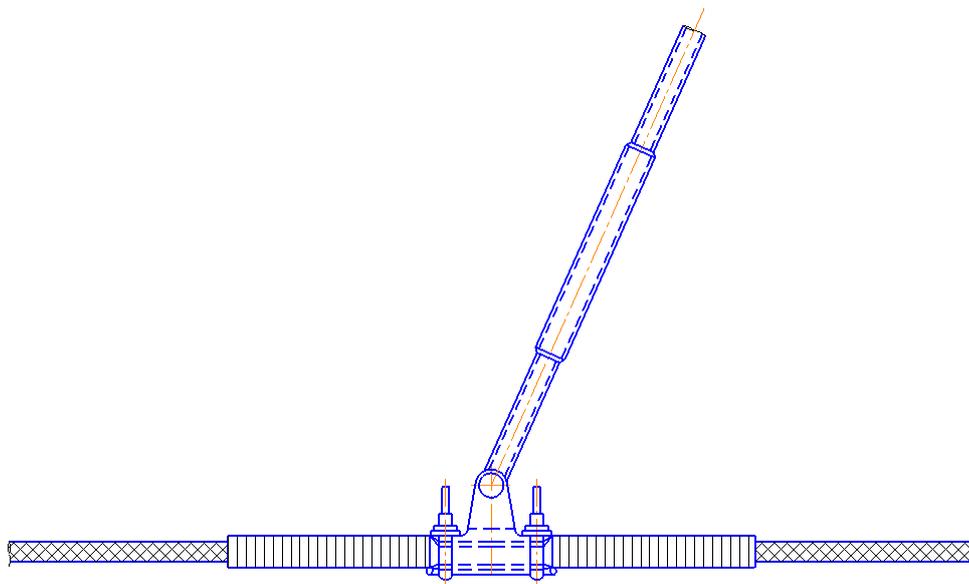


Рис. 2.8. Узел сопряжения элементов антенны

2.3. Радиорелейные линии

Для передачи телефонных, телеграфных и телевизионных сигналов на большие расстояния используют дециметровые и сантиметровые волны. При этом возможно применение остронаправленных антенн. Для ретрансляции сигналов на большие расстояния их устанавливают на башнях или мачтах высотой 70...120 м. Линии радиорелейной связи подразделяют на магистральные (большой емкости) и зонавые (средней емкости). Для борьбы с потерями энергии излучающие устройства стремятся максимально приблизить к антеннам. Для этого применяют радиорелейные антенны в сочетании с рупорно-параболическими антеннами (рис. 2.9, а; 2.10, а, б).

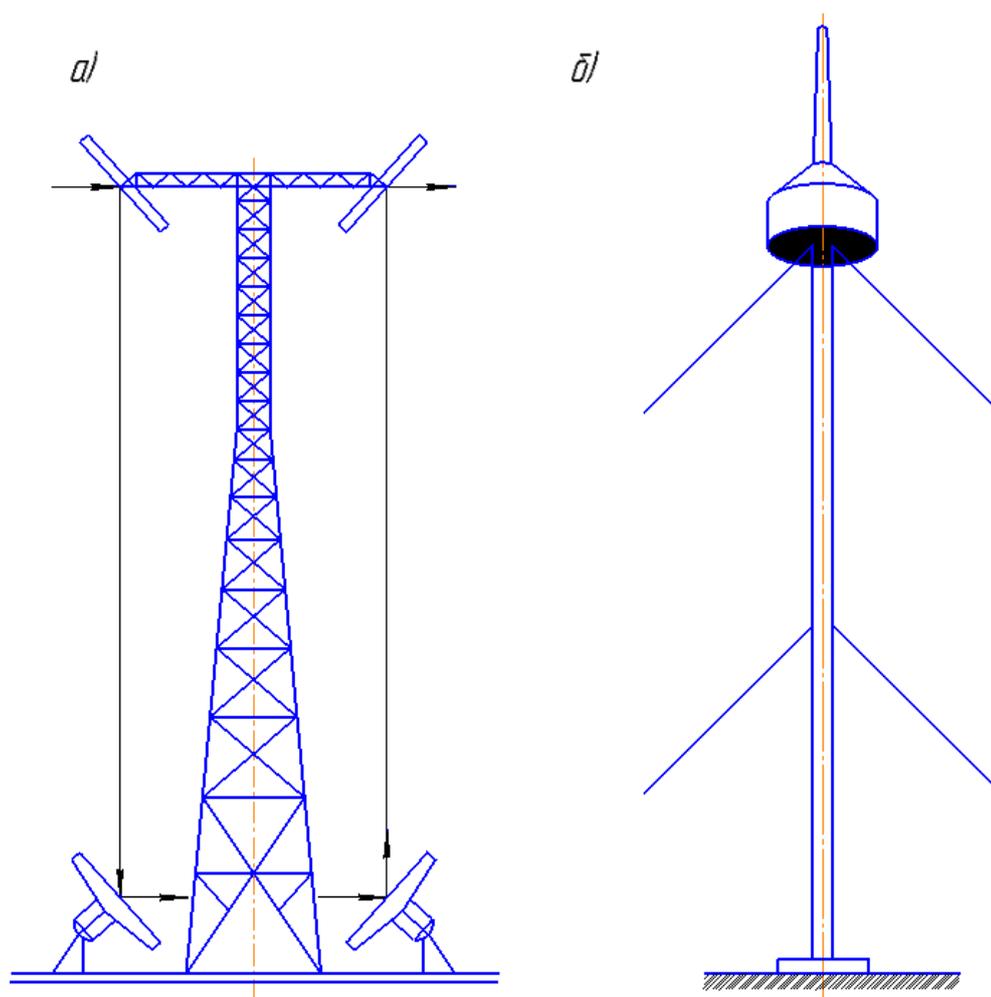


Рис. 2.9. Опоры радиорелейных линий

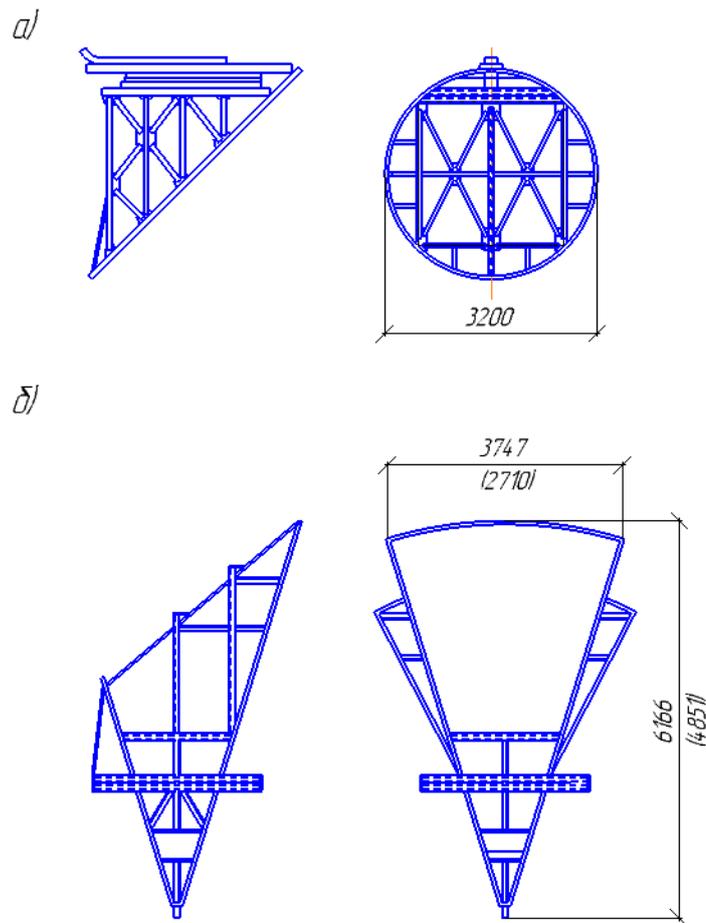


Рис. 2.10. Радиорелейные антенны

При использовании волноводов их размещают в закрытых шахтах, применяя трубчатые мачты (рис. 2.9, б).

Для магистральных радиорелейных линий разработаны типовые решения мачт и башен в зависимости от высоты и ветрового района (рис. 2.11).

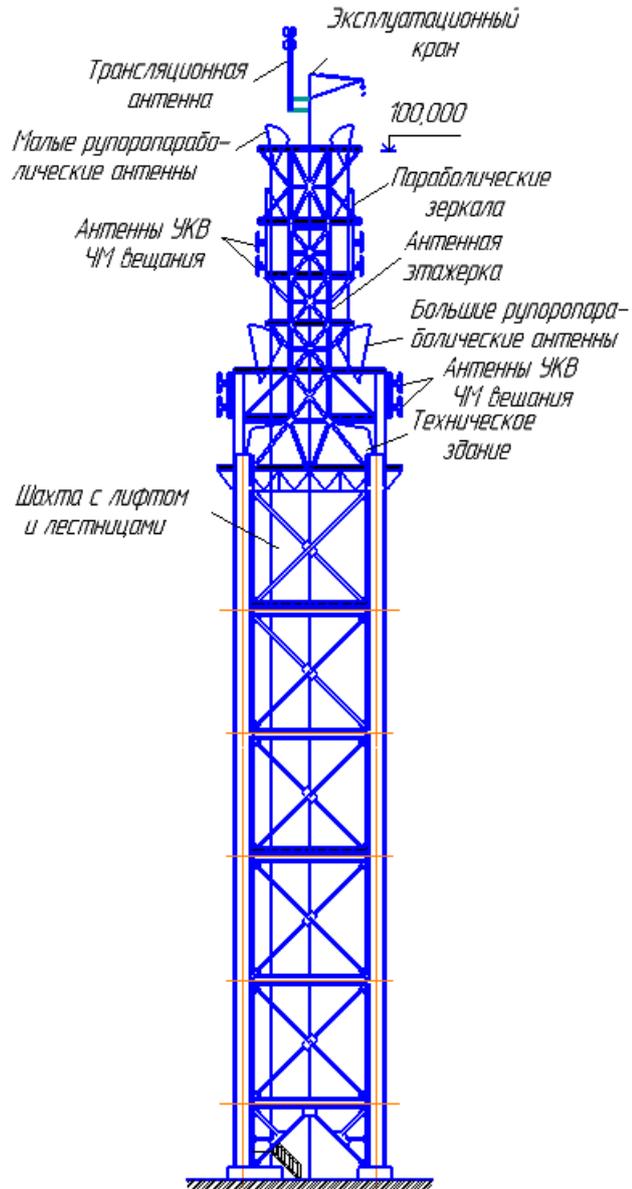


Рис. 2.11. Типовая опора ретранслятора

Расстояние между пунктами передачи и приема радиосигналов можно увеличить, используя тропосферную связь (рис. 2.12).

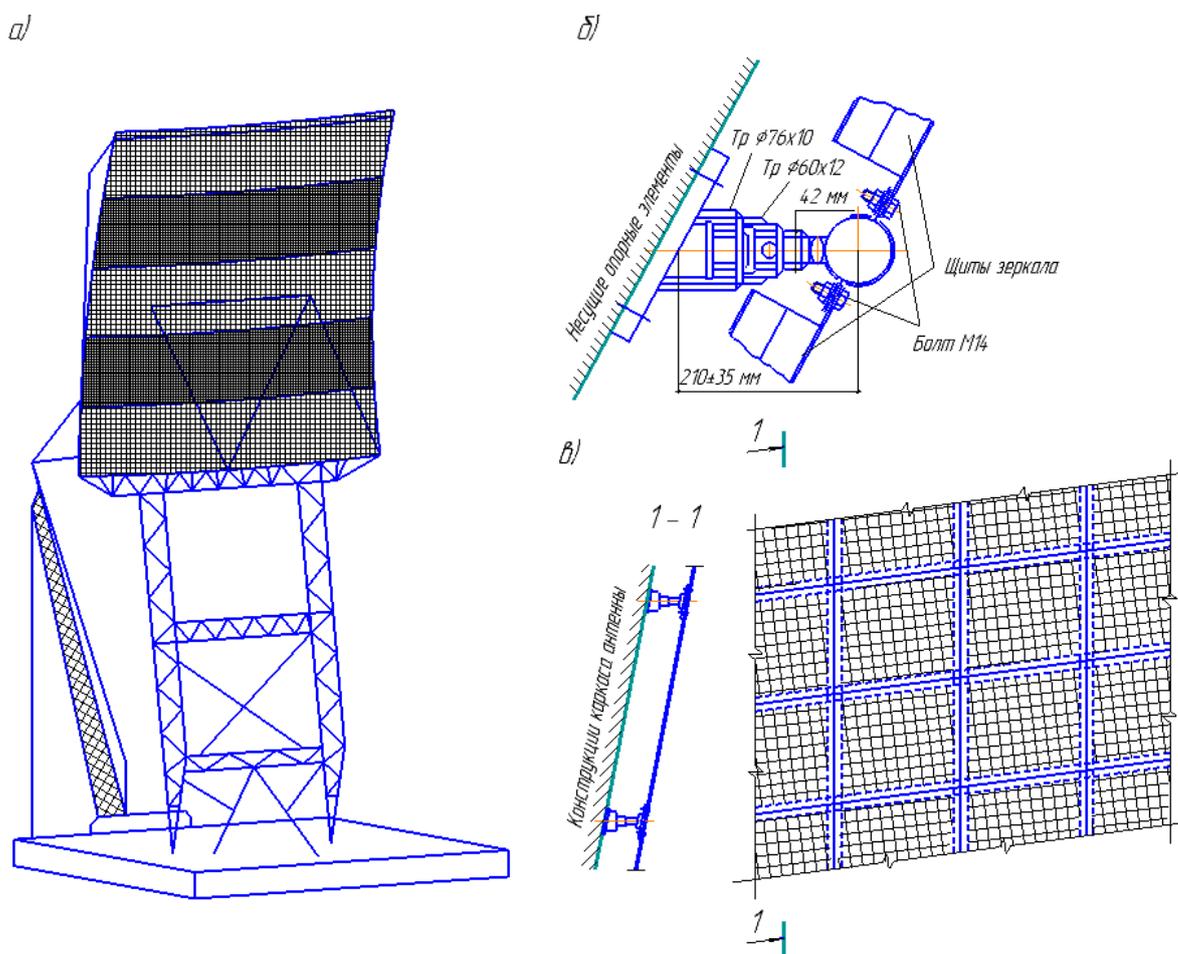


Рис. 2.12. Антенна тропосферной связи:
а – общий вид; *б* – узел крепления щитов зеркала;
в – крепление щитов к каркасу антенны

2.4. Телевизионные опоры

Для передачи телевизионных программ используют метровый и дециметровый диапазоны. Поэтому сами антенны имеют небольшие размеры, но устанавливать их приходится на большой высоте с целью охвата больших территорий. Для этого применяют типовые телевизионные башни (рис. 2.13) – опоры высотой 100; 124; 148; 180 м в разных ветровых районах. Пояса и решетка в таких опорах в нижних секциях выполнялись из труб, верхних секций – раскосы из круглой стали с напряжением фаркоп-фами.

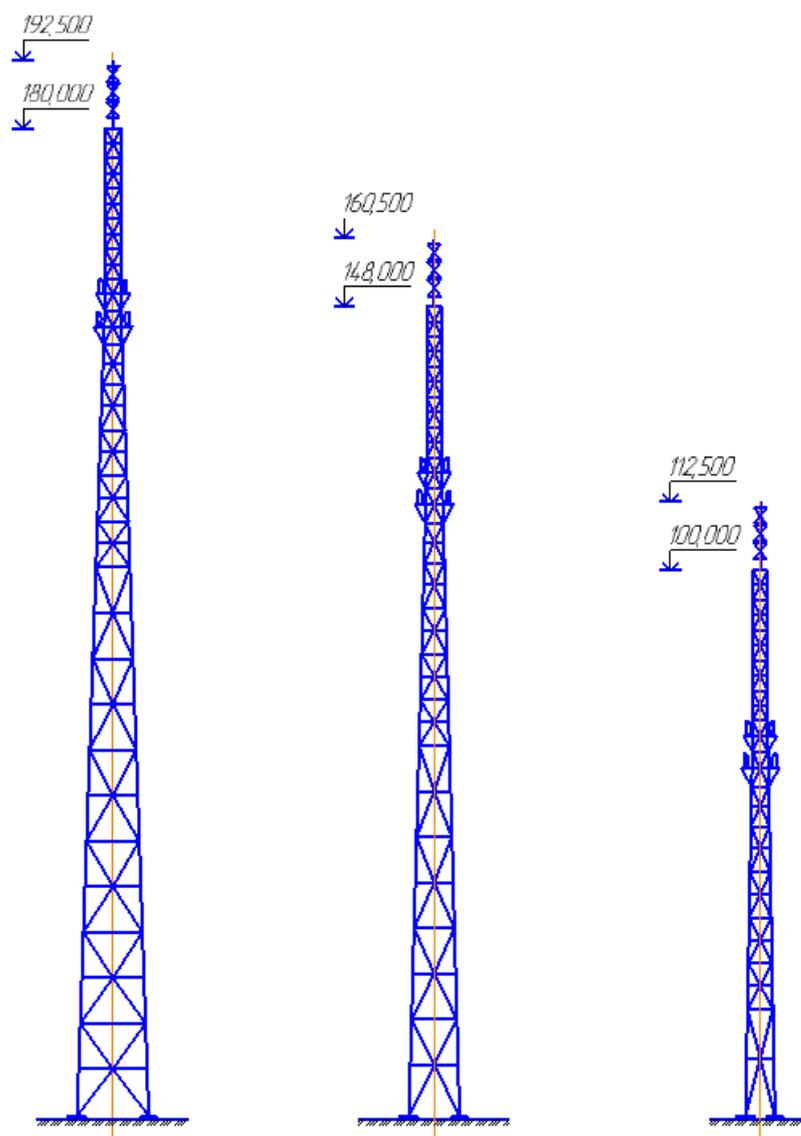


Рис. 2.13. Типовые телевизионные башни

По мере развития телевидения конструкции увеличивались, занимая этажи высотой более 100 м вместе с верхней частью в виде цилиндра переменного или постоянного сечения.

Телевизионные опоры решаются с высокими архитектурными требованиями. Примерами таких башен можно назвать (рис. 2.14):

– Телевизионная башня высотой 392 м в Киеве (1973 г.); ствол ее восьмигранного очертания вписан в окружность диаметром 20 м; все соединения – сварные; масса башни 2600 т.

– Телевизионная башня высотой 275 м в Тбилиси (1975 г.); цельносварной ствол цилиндрической формы диаметром 4 м укреплен двумя подкосами; расход стали – 1273 т.

– Телевизионная башня высотой 312 м в Ереване (1978 г.) выполнена в нижней части в виде трехгранной решетчатой пирамиды, в средней части – в форме шестигранного цилиндра, в верхней части – в виде цилиндра переменного сечения. Внутри башни по всей высоте расположен цилиндрический ствол диаметром 4 м. Расход стали – 1709 т.

– Телевизионная башня высотой 360 м в Алма-Ате (1982 г.) состоит из участков цилиндрической формы диаметрами от 18,5 до 9 м. Конструкция ствола решена в виде решетчатых призм, выполненных из сварных двутавров. Для уменьшения ветровой нагрузки ствол облицован алюминием. Расход стали – 3700 т.

а) б) в) г) д)



Рис. 2.14. Телевизионные опоры:
a – в Киеве; *б* – в Тбилиси; *в* – в Ереване;
г – в Алма-Ате; *д* – в Ташкенте

– Телевизионная башня высотой 350 м в Ташкенте (1983 г.) имеет центральный решетчатый ствол из труб, которые подкреплены тремя сплошностенчатыми подкосами. Расход стали – 2900 т.

2.5. Антенны космической связи и радиотелескопы

Такие антенны полноповоротные делятся на три класса радиотелескопов: параболические, двухзеркальные и с сопряженными отражающими поверхностями. Последний тип антенн получил наибольшее распространение (рис. 2.1, *м, н*); параболическое зеркало (рефлектор) антенны представляет собой сложную пространственную конструкцию большого диаметра. В зависимости от способа вращения зеркала радиотелескопы делятся на **башенные** (рис. 2.15, *а*, рис. 2.16) и **катковые** (рис. 2.15, *б*).

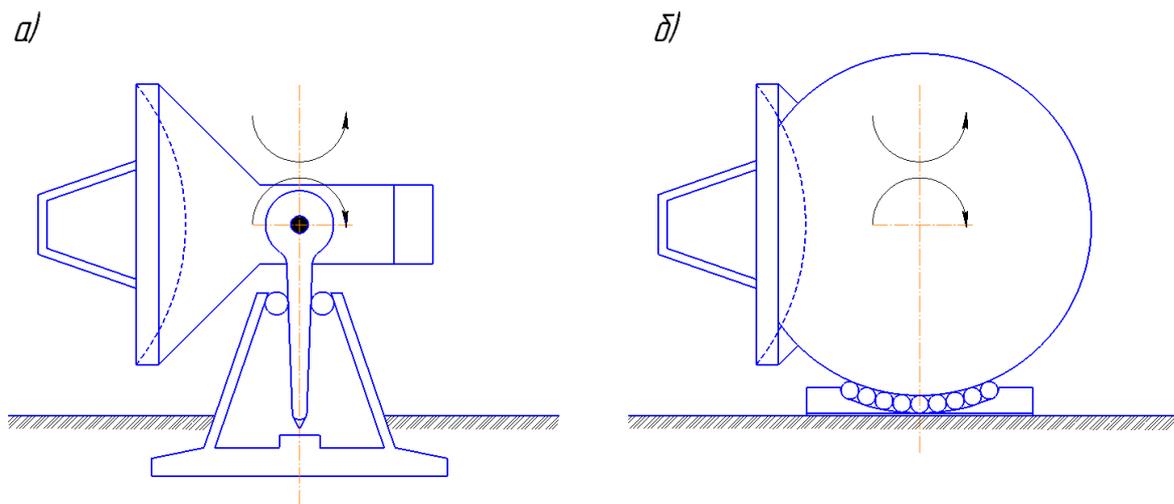


Рис. 2.15. Схемы полноповоротных антенн:

а – башенная; *б* - катковая

Зеркальная система башенного радиотелескопа (рис. 2.16) состоит из зеркальной системы, включающая облучатель и пространственную раму.

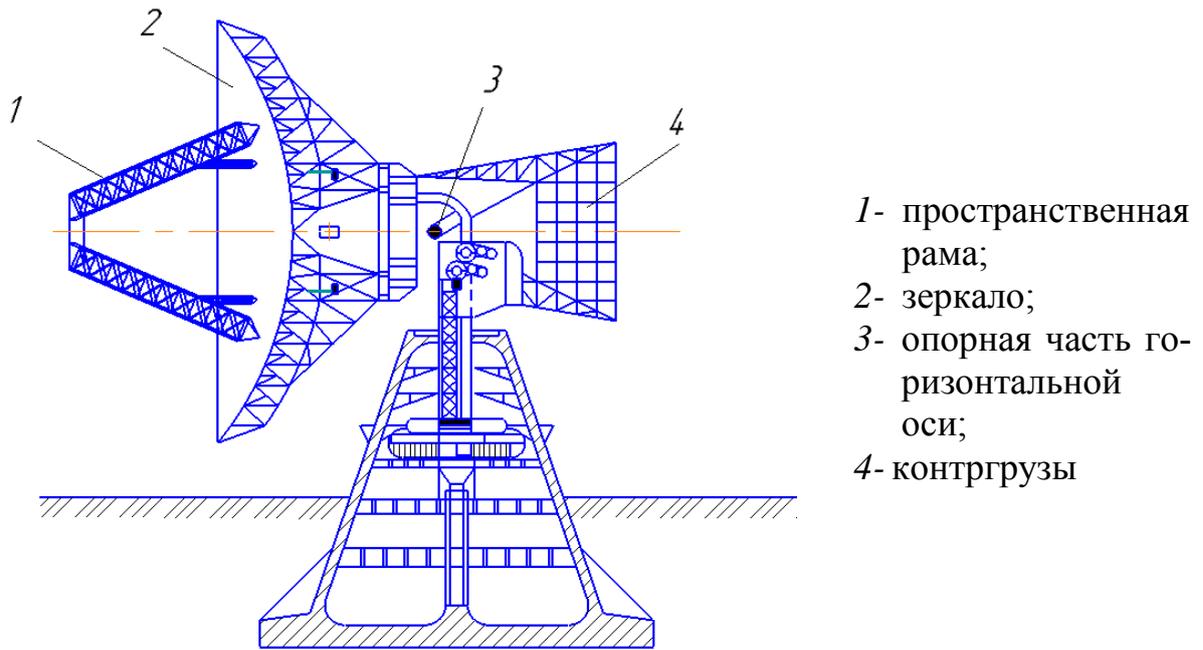


Рис. 2.16. Башенный радиотелескоп

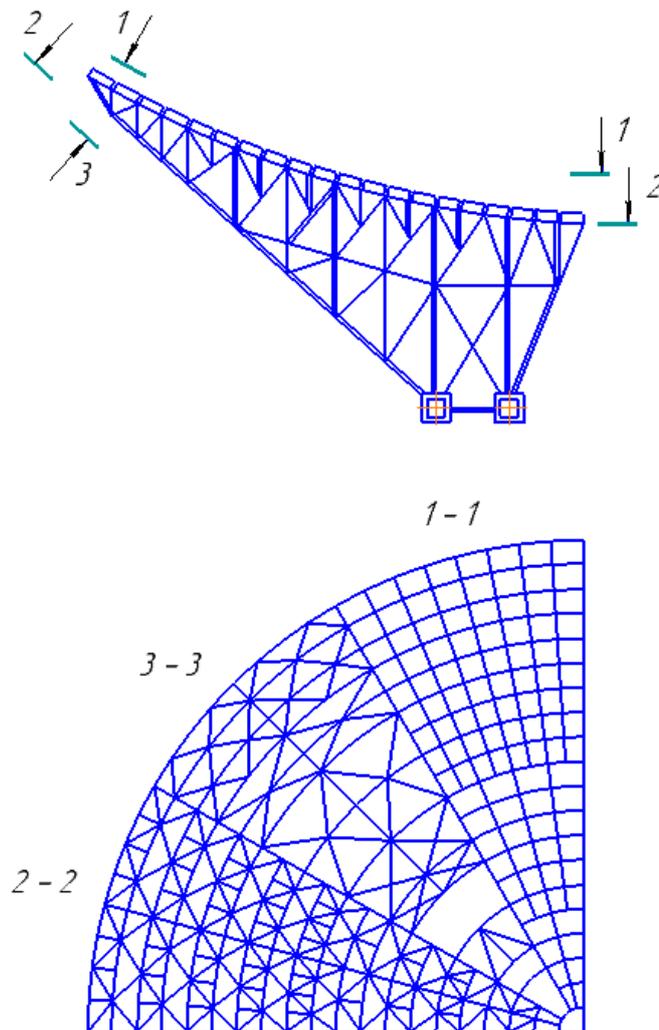


Рис. 2.17. Схема несущих конструкций зеркала

Несущие конструкции рефлектора состоят из радиально расположенных плоских ферм (рис. 2.17), объединенных решеткой на поверхности несущих конструкций. По нижней поверхности между фермами установлены распорки из труб и гибких предварительно напряженных раскосов из круглой стали. У зоны опирания все радиальные фермы объединены решеткой в пространственное кольцо, нижние пояса которого имеют коробчатое сечение. Это кольцо через нижние коробчатые пояса опирается в 16 точках на жесткий ростверк (рис. 2.18). Щиты отражающей поверхности выполняют из алюминиевого сплава, состоят из листов и ребер (рис. 2.19).

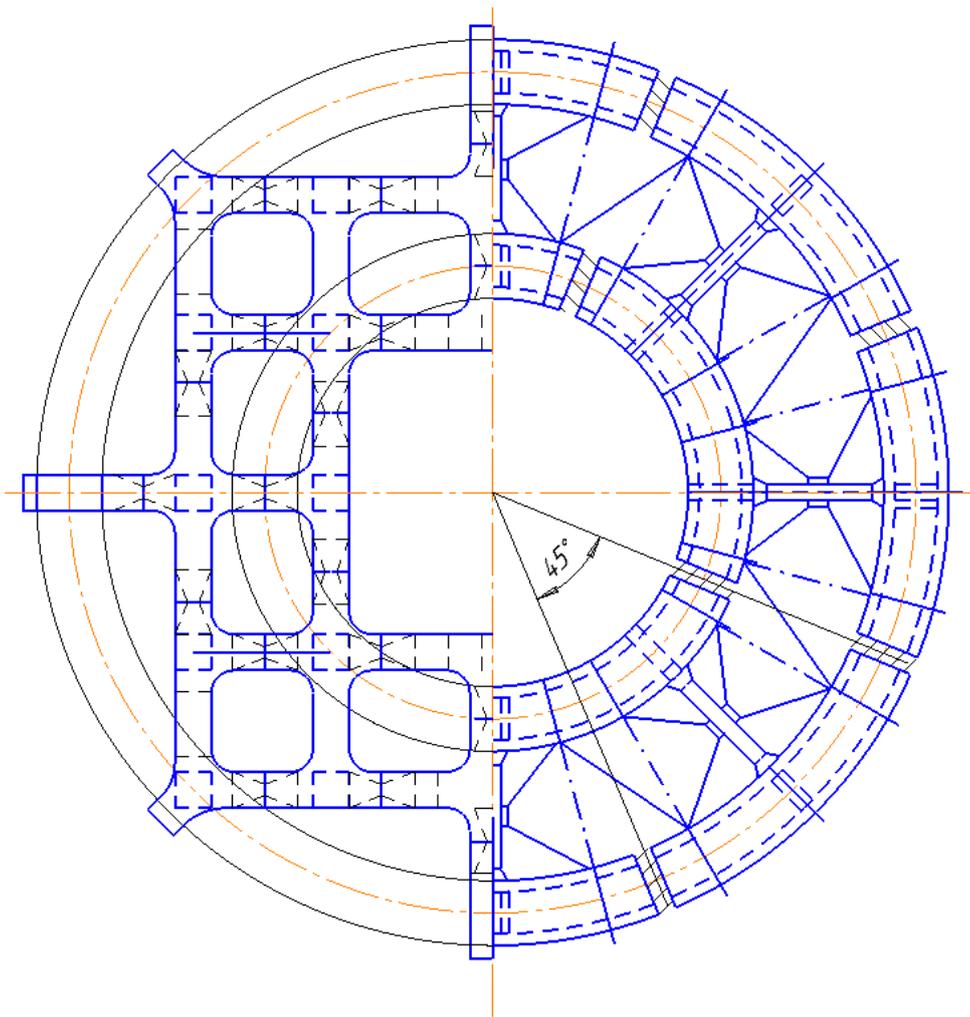


Рис. 2.18. Ростверк для закрепления зеркала

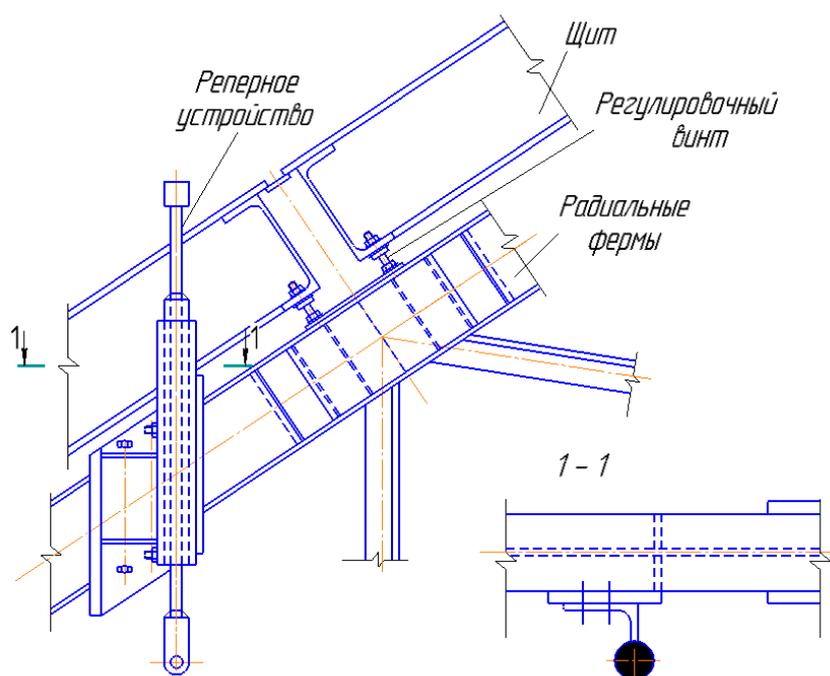


Рис. 2.19. Узел опирания щитов отражающей поверхности

В катковом (неполноповоротном) радиотелескопе (рис. 2.15; 2.20) вращение по углу места осуществляется путем поворота зеркальной системы, опорно-поворотного устройства из одной башни с помощью специальных катков, располагаемых на горизонтальной платформе. Другая конструкция каткового радиотелескопа (рис. 2.20), в которой горизонтальную ось опирают **на две решетчатые башни**, установленные на общей горизонтальной платформе.



Рис. 2.20. Катковый радиотелескоп

Примером антенны, вращающейся по углу места, может служить Крест Миллса физического института Академии наук, длиной 1000 м, шириной 40 м (рис. 2.21). Неподвижная линия его расположена в направлении Север-Юг, а подвижная представляет собой сетчатый параболоид, вращающийся по оси Запад-Восток. Параболическая поверхность зеркала образована из 430 параллельных проволок, натянутых между 37-ю фермами из тонкостенных труб, внутренние пояса которых очерчены по параболе. Фермы с помощью шарниров опираются на стойки, заземленные в фундаменте, и имеют возможность одновременно поворачиваться **по углу места.**



Рис. 2.21. Крестообразная антенна

3. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТРУБЫ

3.1. Общая характеристика

По технологическому назначению промышленные трубы делят на **вытяжные** и **дымовые**.

Вытяжные башни (трубы) отводят прошедшие очистку газовые и газоздушные смеси малой агрессивности с влажностью $\geq 80\%$ при невысокой температуре.

Дымовые трубы отводят газоздушные смеси, содержащие сажу, золу, пыль и продукты окисления перерабатываемого сырья. Влажность смесей $\leq 60\%$, температура $100...500^{\circ}\text{C}$.

По конструктивному решению промышленные трубы делят на **свободно стоящие трубы, подкрепленные трубы и вытяжные башни**.

Свободно стоящие трубы представляют собой башню в виде стальной футерованной изнутри цилиндрической оболочки, сочетающей в себе несущие (инженерные) и ограждающие (технологические) функции.

Стволы подкрепленных труб раскрепляют оттяжками или жесткими подкосами.

В вытяжных башнях четко разделены инженерные и технологические функции между несущей башней и газоотводящим стволом.

3.2. Технические решения вытяжных башен

Вытяжная башня состоит из несущей, обычно, сквозного сечения конструкции и одного или нескольких газоотводящих стволов. При высоте $\geq 100...150$ м вытяжная башня может быть использована в качестве дымовой трубы.

Наибольшее распространение получили башни с одним газоотводящим стволом (рис. 3.1).

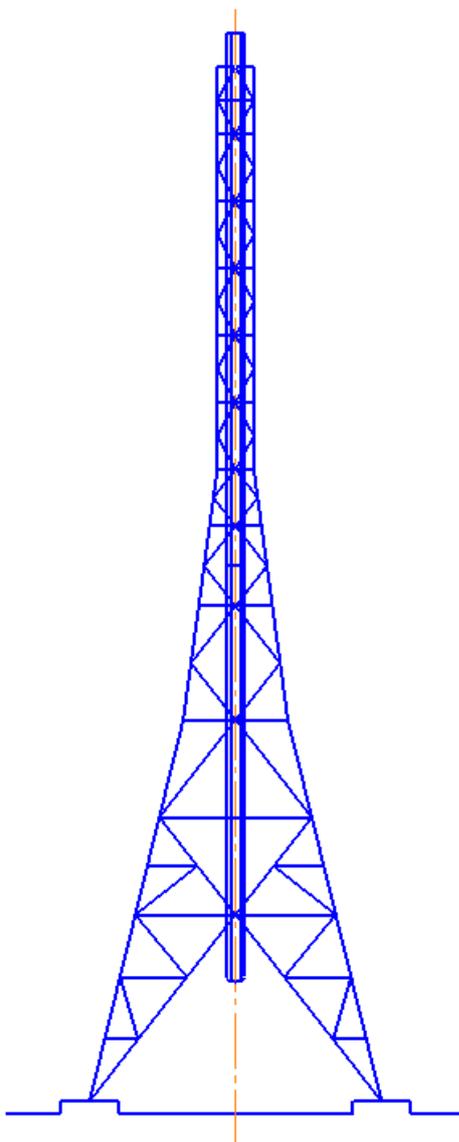


Рис. 3. 1. Вытяжная башня с одним газоотводящим стволом

На рис. 3.2, *а* приведена вытяжная башня ТЭЦ с четырьмя газоотводящими стволами диаметрами 4 и 5 м. В этой башне в центре сечения расположена шахта лифта башни, которая используется и в качестве промежуточной опоры для элементов диафрагм.

Как вариант газоотводящие стволы располагают не внутри башни, а выносят на консоли, расположенные по одной из граней (рис. 3.2, *б* – с тремя стволами), которую в этом случае делают вертикальной.

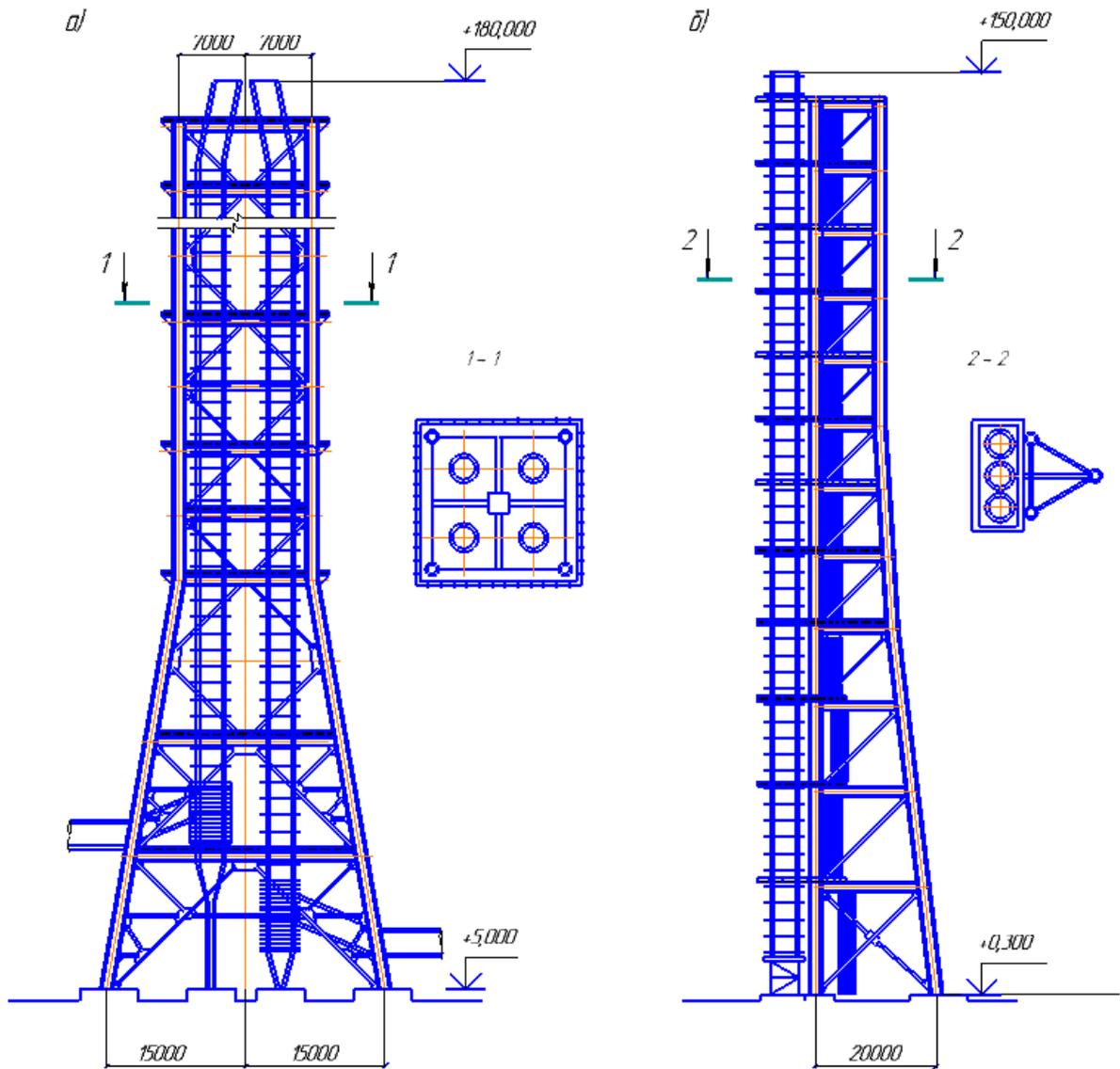


Рис. 3.2. Вытяжные башни с газоотводящими стволами:
а – с четырьмя стволами; *б* – с тремя стволами

При увеличении количества газоотводящих стволов башни делают многогранными. Примером такого сооружения может служить шестигранная башня (рис. 3.3, *а*) высотой 280 м с двумя газоотводящими стволами диаметром по 8 м каждый и шахтой лифта с лестницами диаметром 3,75 м. Диафрагмы на призматическом участке башни выполнены выносными в форме кольцевых площадок, расположенных с внешней стороны башни. Здесь диаметры стволов башни приняты > 1 м при рас-

четных усилиях 3 МН. Общий расход стали на башню и газоотводящие стволы составляет 3400 т.

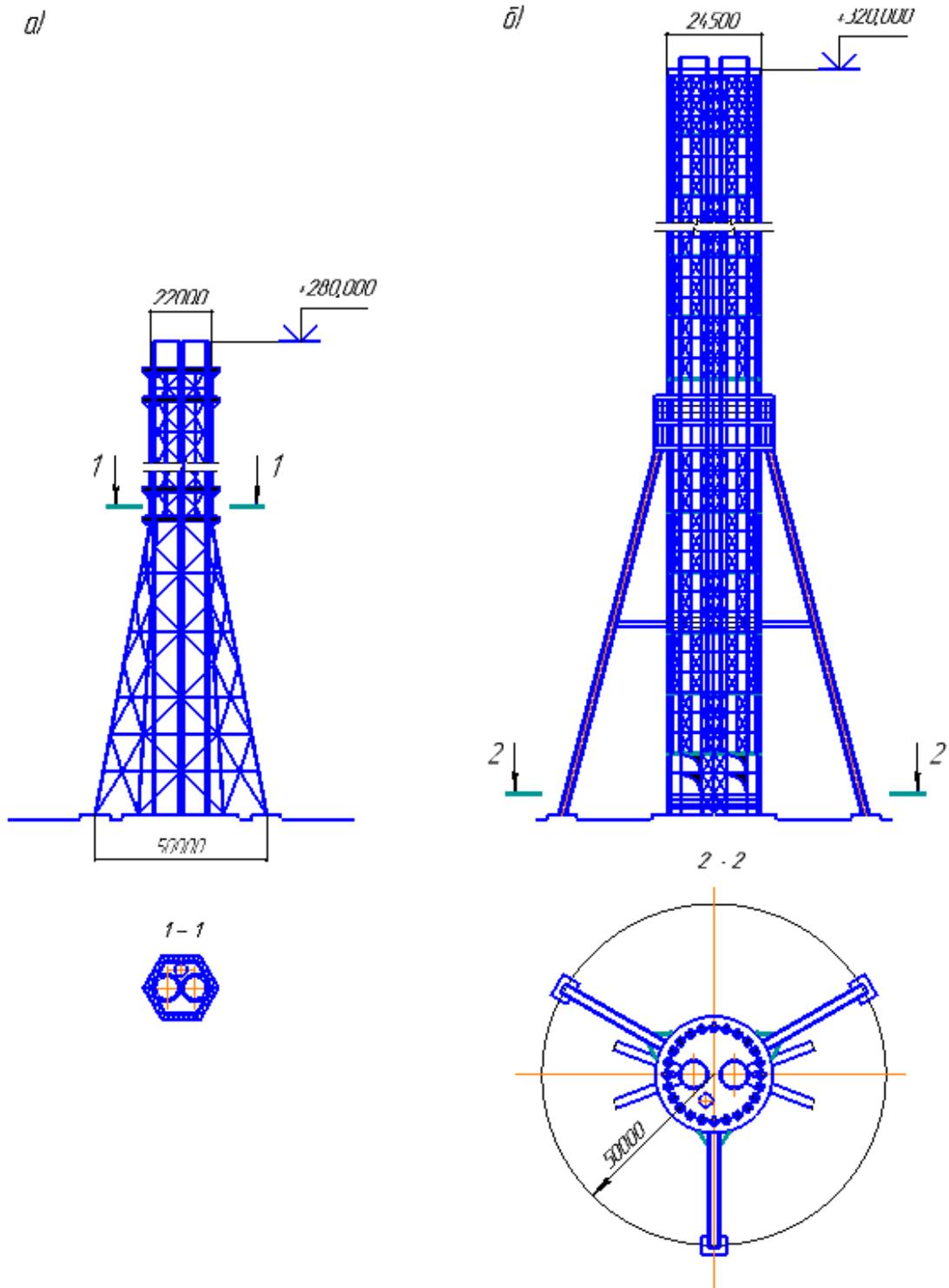


Рис. 3.3. Многогранные башни

На рис. 3.3, б приведена вытяжная башня высотой 320 м с двумя газоотводящими стволами диаметром по 8,4 м. Здесь несущая башня представляет собой решетчатый многогранник призматической формы, подпертый на отм. 108 м тремя подкосами под углом 120° . Многогранник представляет собой систему плоских решетчатых панелей $18 \times 3,2$ м устанавливаемых поярусно в шахматном порядке с образованием безраскосных участков граней. Подкосы башни имеют трубчатое сечение диаметром 3,2 м. Общий расход стали на сооружение составил 5370 т.

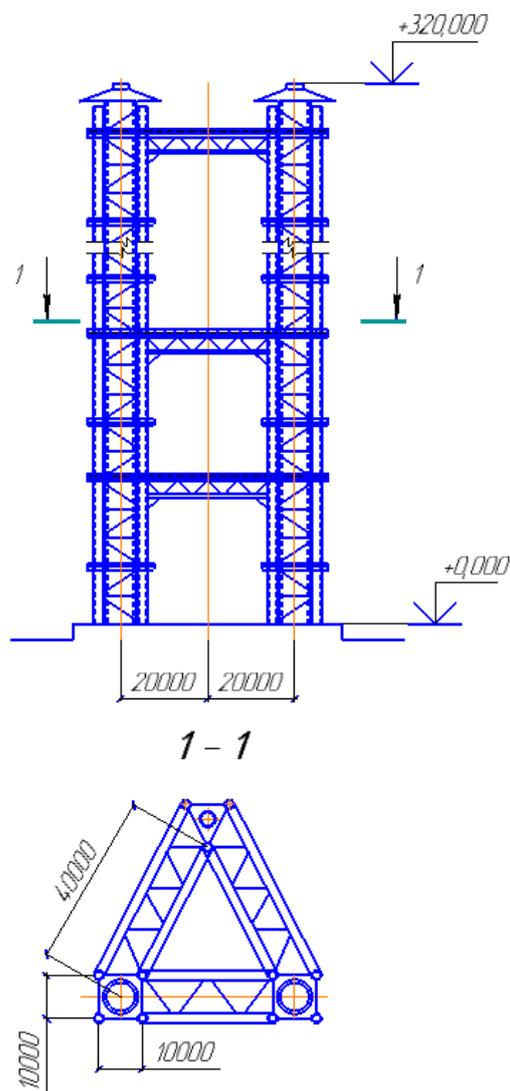


Рис. 3.4. Размещение газоотводящих стволов в поясах несущей башни

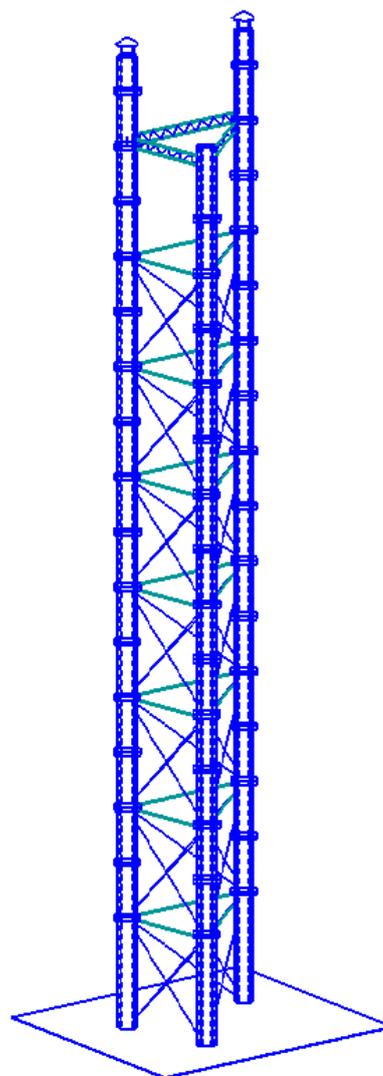


Рис. 3.5. Размещение газоотводящих стволов в трубчатых поясах башни

При больших высотах вытяжных башен рационально размещение газоотводящих стволов в поясах несущей башни. На рис. 3.4 приведена схема вытяжной башни ГРЭС высотой 320 м с двумя газоотводящими стволами диаметром по 8,4 м. Башня является пространственной многоярусной рамой со сквозными стойками сечением 10×10 м, размещенными в плане по вершинам равностороннего треугольника со стороной 40 м. Две из них имеют квадратную форму в плане, одна – треугольную. В стойках квадратной формы размещены газоотводящие стволы, а в стойке треугольной формы – шахта лифта. Кроме основных ригелей (3 шт. по рис. 3.4), каждая стойка имеет консольные наружные диафрагмы.

Дальнейшим развитием газоотводящих башен является размещение газоотводящих стволов в трубчатых поясах башни (рис. 3.5). Высота башни 600 м (пока проект) с двумя газоотводящими стволами диаметром по 8 м. Башня имеет три пояса из цилиндрических оболочек диаметром по 13 м, расположенных в плане по углам равностороннего треугольника со стороной 80 м. Пояса соединены между собой распорками через 86 м и крестовыми предварительно напряженными связями. Внутри двух поясов размещены газоотводящие стволы с системой лестниц и площадок. В третьем поясе размещен лифт и маршевая лестница.

Другим примером является проектное предложение башни высотой 1000 м (рис. 3.6). Газоотводящие стволы (2 шт.) здесь расположены внутри гофрированной трубы-оболочки. В горизонтальном направлении ствол закреплен двумя подкосами со связями между ними и со стволом.

Применяемые схемы опирания газоотводящего ствола на несущую башню предусматривают отдельную передачу вертикальных и горизонтальных усилий. Горизонтальные усилия возникают от ветрового напора и при сейсмических нагрузках и передаются на диафрагмы. Вертикальные усилия возникают от веса ствола, теплоизоляции, коррозионной защиты, от веса конденсата, пыли и др. отложений на его стенках. Эти силы целесообразно передавать на отдельный фундамент, не связанный с фун-

даментами несущей башни. Схемы опирания газоотводящего ствола приведены на рис. 3.7, а, б, в.

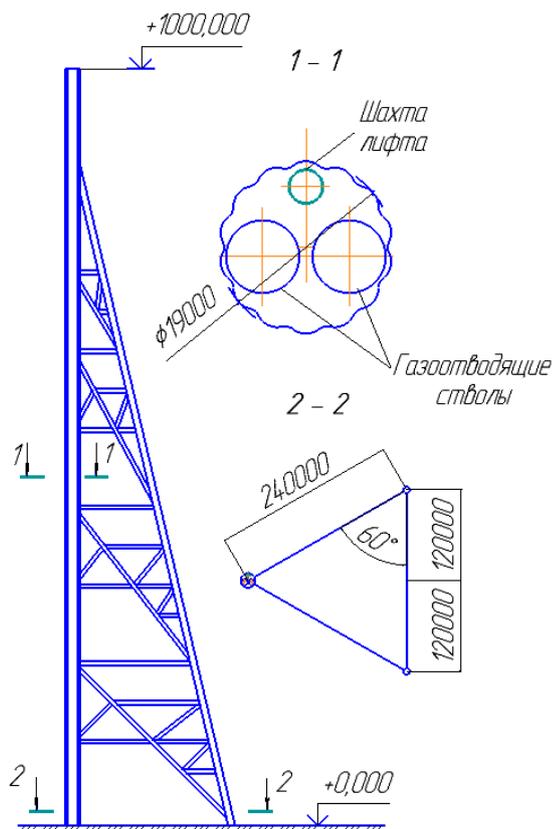


Рис. 3.6. Размещение газоотводящих стволов в трубе-оболочке

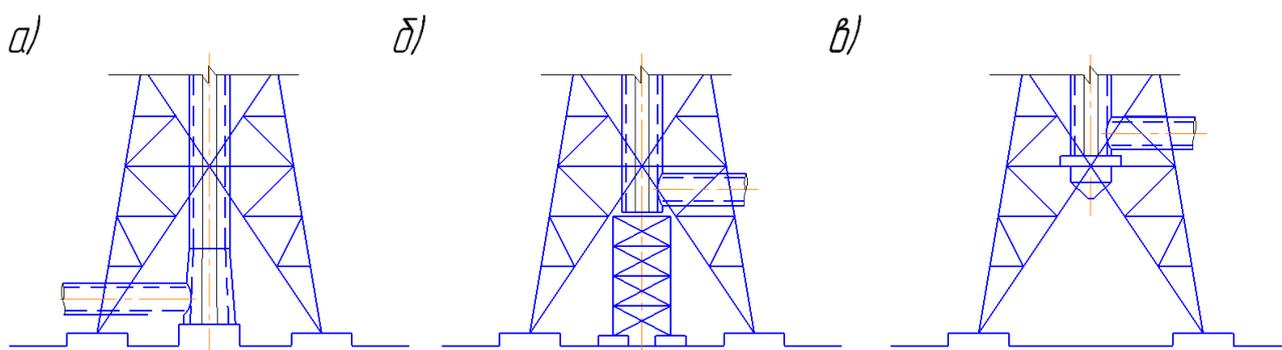


Рис. 3.7. Схемы опирания газоотводящего ствола

Конструктивное оформление несущей башни соответствует общим рекомендациям, изложенным выше в разделе 3, за исключением башен, высота которых превышает 150...200 м.

В этих случаях при больших усилиях узлы рекомендуется выполнять на парных фасонках (рис. 3.8).

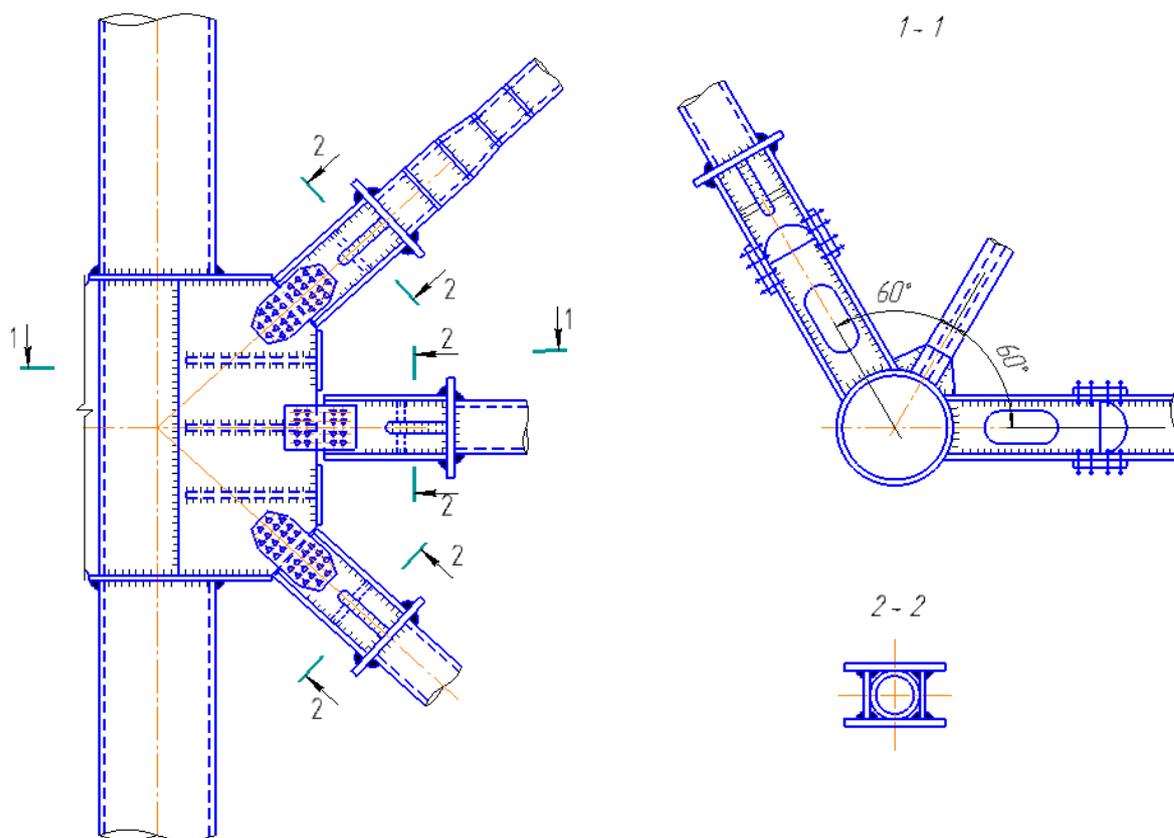


Рис. 3.8. Узел башни при больших усилиях в элементах

Некоторые особенности конструктивного оформления имеют газоотводящие стволы, вынесенные за пределы несущей башни по типу рис. 3.2, б. Здесь газоотводящие стволы имеют скользящие опоры по вертикали, но передают ветровую нагрузку по несущей башне.

Общие принципы проектирования решетчатых башен остаются без изменений. А газоотводящие стволы имеют ряд особенностей в применяемых материалах, которые зависят от режимов эксплуатации газоотводящих стволов, их принято четыре:

- **при низкотемпературном сухом режиме** допускается применять малоуглеродистые стали без защиты или с защитой эпоксидными материалами;

– **при низкотемпературном влажном режиме** допускается также сталь малоуглеродистая, если в отводимых газах нет фтора, фтористого водорода, сероводорода, сероуглерода. Если же указанные компоненты в отводимых газах присутствуют, то требуется защита внутренней поверхности малоуглеродистой стали гуммированием, металлизацией алюминием или цинком. Гуммирование выполняют обкладкой внутренней поверхности ствола сырой резиной с последующей вулканизацией;

– **при высокотемпературном сухом режиме** в отводимых газах должны отсутствовать: фтор, фтористый водород, сероводород, сероуглерод, если применять малоуглеродистую сталь без защиты или применять трехслойное лакокрасочное покрытие на основе кремнийорганических материалов.

– при применении режима с периодически переменной температурой в интервале $30...300^{\circ}\text{C}$ и влажностью, меняющейся в широком диапазоне для защиты внутренней поверхности газоотводящих стволов следует применять все выше указанные способы.

Часто для этих целей увеличивают толщину стенки ствола на 2...4 мм по сравнению с расчетной по прочности и устойчивости.

Высоколегированные стали применяют в виде плакирующего покрытия по малоуглеродистой стали. Применяют такие газоотводящие стволы при высокой температуре отводимых газов, а также для высокой коррозионной стойкости ствола.

Алюминиевые сплавы обладают высокой коррозионной стойкостью в сухом сернистом газе, в атмосфере сероводорода и сухих окислов азота.

Титан и его сплавы обладают высокой коррозионной стойкостью в разных средах при $t \leq 350^{\circ}\text{C}$.

Конструкционные пластмассы (фаолит) обладают высокой химической стойкостью ($t = \leq -30...+130^{\circ}\text{C}$), кроме окислов азота, щелочей и фтора.

Древесина – достаточно стойка при $t \leq 125^{\circ}\text{C}$ к влиянию различных газовых сред, но пропитанная смолой.

3.3. Варианты опирания газоотводящего ствола на несущую башню

– Газоотводящий ствол опирается на каждую диафрагму и передает на башню и вертикальные и горизонтальные нагрузки. При этом температурные перемещения погашаются компенсатором вблизи узла опирания на башню ствола (рис. 3.9, сечение 2-2).

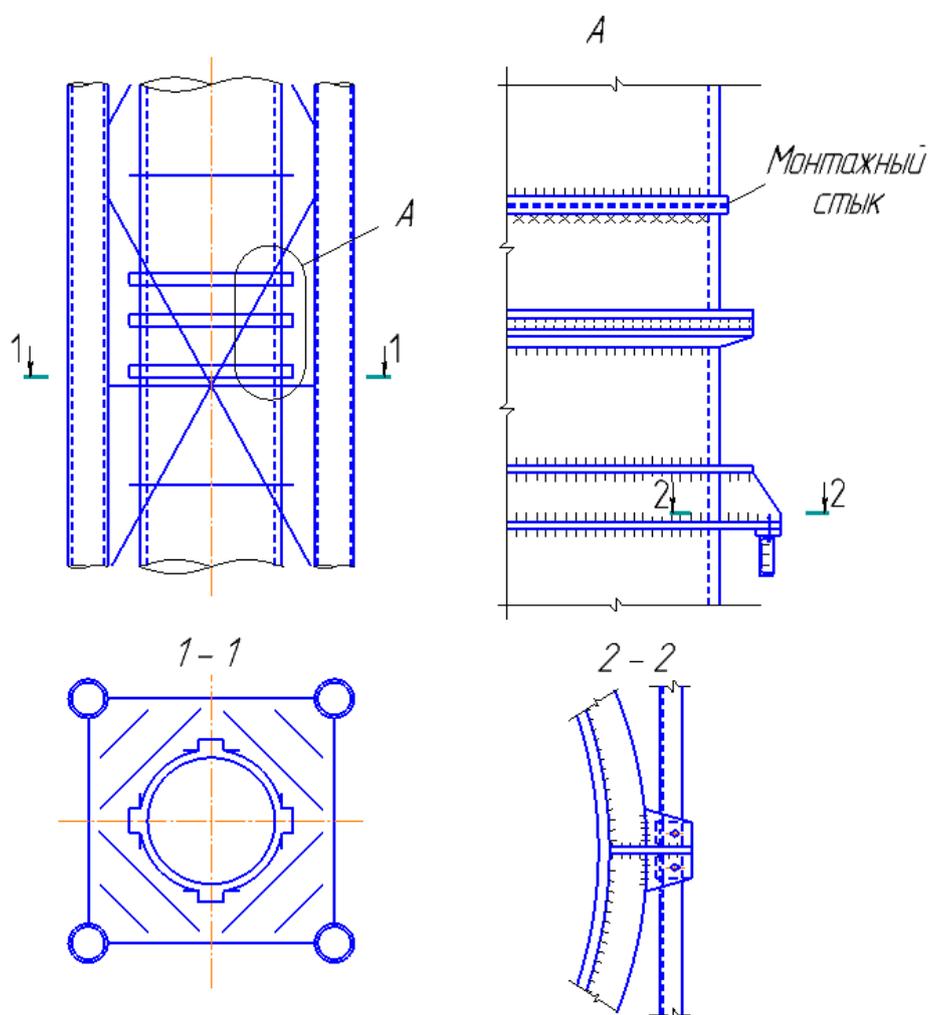


Рис. 3.9. Опирание газоотводящего ствола на диафрагмы

– Газоотводящий ствол целиком опирается на отдельный фундамент и передает на него вертикальные усилия (рис. 3.7, а, б). При этом горизонтальные усилия передаются на башню через диафрагмы и катки (рис. 3.10): недостаток – катки требуют повышенной точности изготовления.

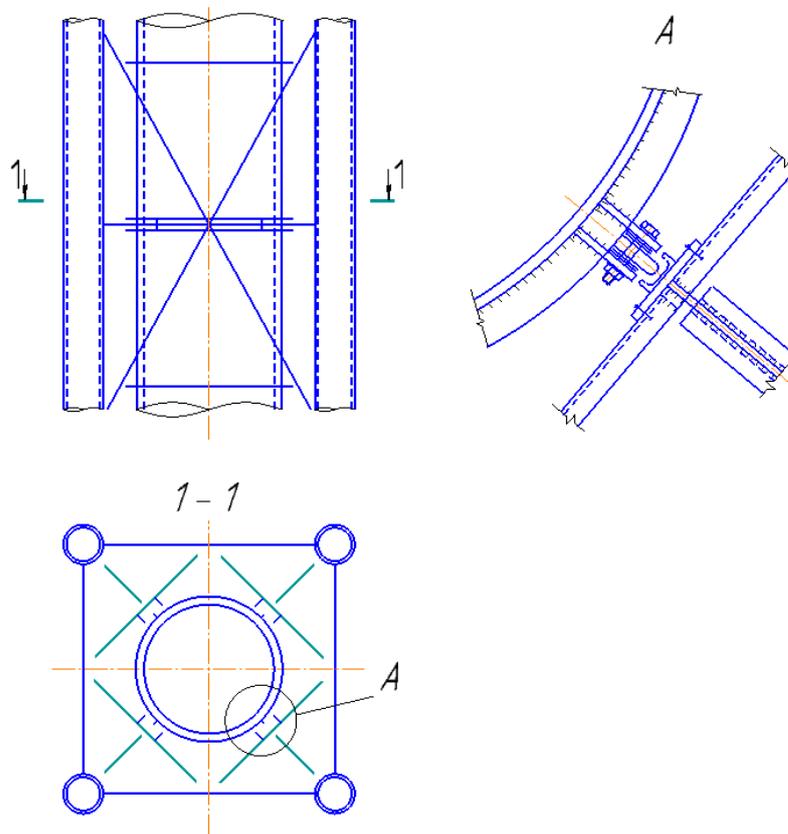


Рис. 3.10. Передача горизонтальной нагрузки при помощи катков

– Газоотводящий ствол опирается на башню с помощью тяжей (рис. 3.11): тяжи приняты наклонные в нижней части и передают на башню вертикальные усилия; тяжи приняты горизонтальные в основных узлах при-мыкания решетки к поясам и передают на башню горизонтальные усилия. Применение тяжей не получило широкого распространения из-за строгого соблюдения допусков на изготовление.

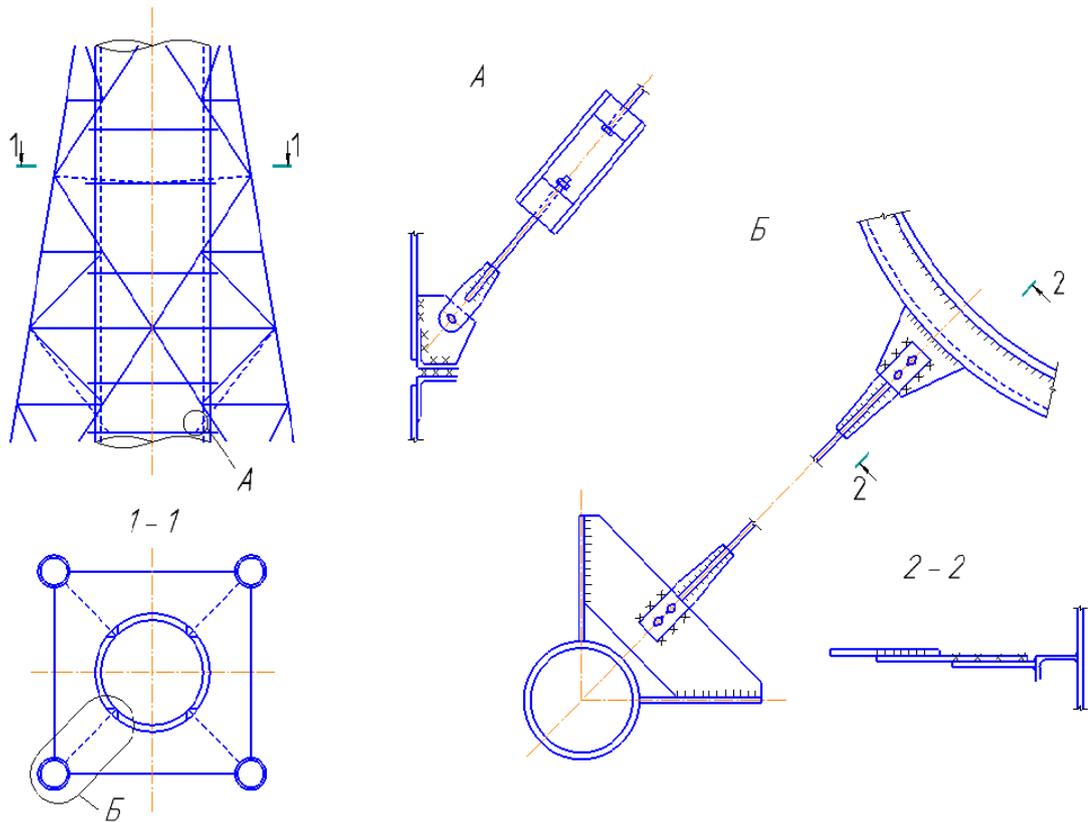


Рис. 3.11. Опираие газоотводящего ствола на тѣжах

– Газоотводящий ствол целиком опирается на диафрагму в нижней части башни и здесь передает на нее вертикальную нагрузку. При этом горизонтальные усилия передаются в плоскостях диафрагм башни через скользящие опоры (рис. 3.12) – наиболее перспективное решение.

– При совмещенной передаче горизонтальных и вертикальных усилий применяются опорные кольца (рис. 3.13, а) для отдельных секций на каждую диафрагму (в трубах диаметром 8...4 мм); в газоотводящих стволах больших диаметров часть стенки в зоне опорного кольца усиливается (рис. 3.13, б); при весьма малых диаметрах стволов опорные кольца заменяются «лапами» (рис. 3.13, в).

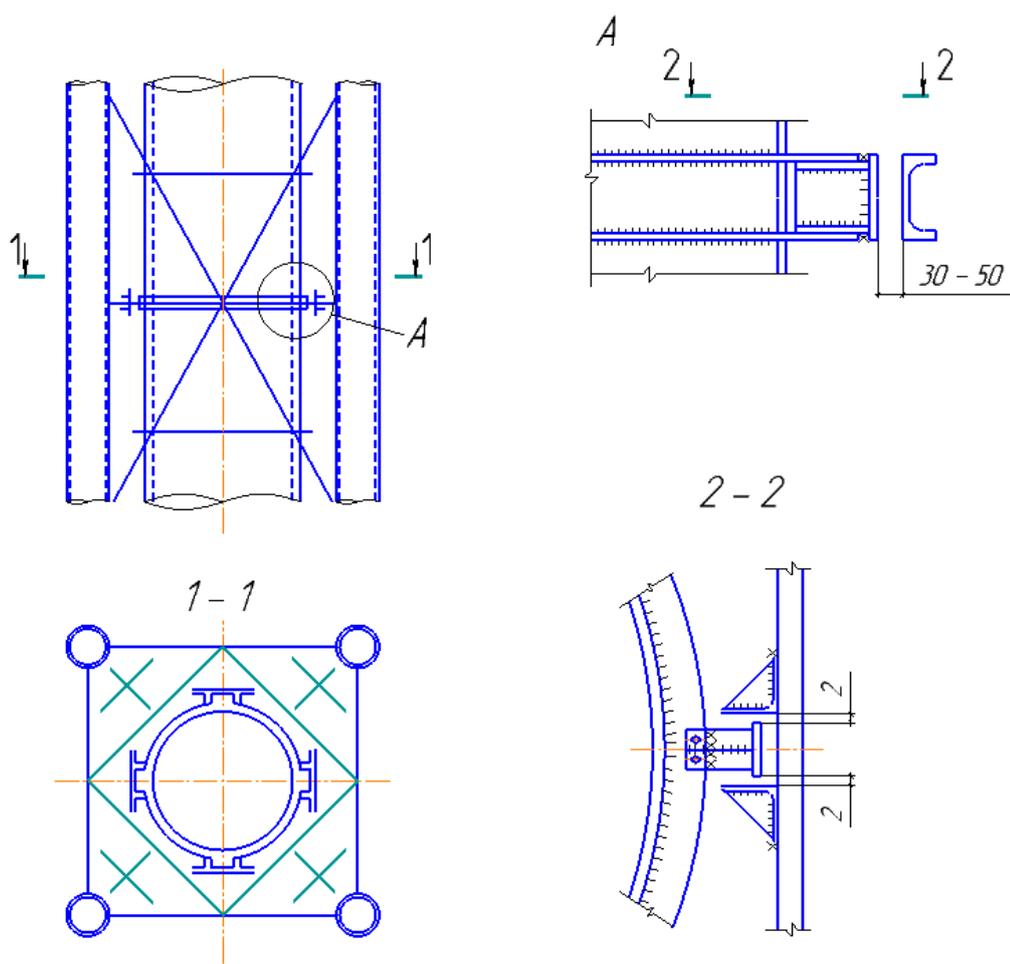


Рис. 3.12. Скользящие опоры

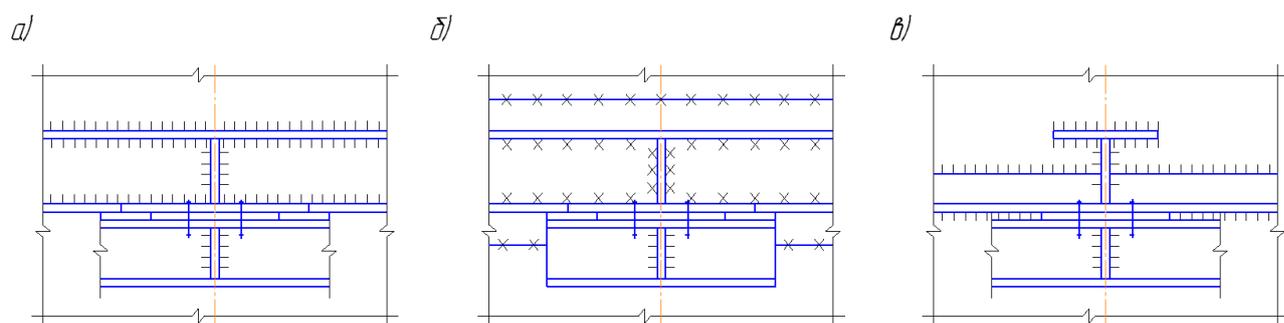


Рис. 3.13. Узлы опирания газоотводящего ствола с совмещенной передачей вертикальных и горизонтальных сил

При опирании ствола на каждую секцию с совмещенной передачей вертикальных и горизонтальных усилий предусматривают компенсаторы в газоотводящем стволе. На рис. 3.14 приведены примеры компенсаторов. Рис. 3.14, а нижнюю стенку компенсатора делают с выпуском внутрь ство-

ла, а оболочку ствола над компенсатором – с выпуском в зону компенсатора. На рис. 3.14, б приведен сальниковый компенсатор, который находит широкое применение при небольших диаметрах газоотводящего ствола. На рис. 3.14, в приведен компенсатор, выполненный из эластичного материала, стойкого к химической агрессии и повышенной температуре.

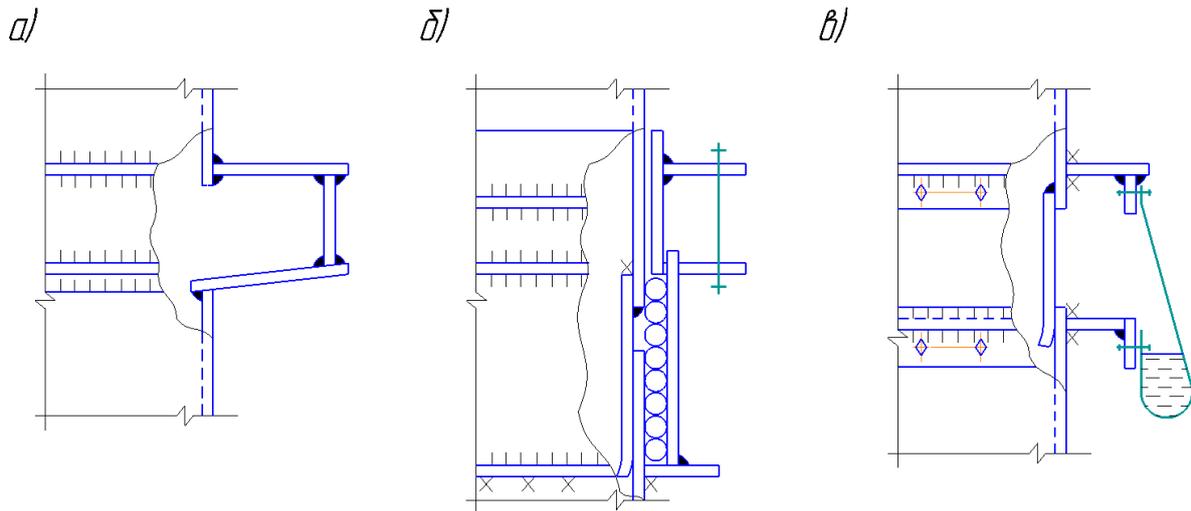


Рис. 3.14. Компенсаторы газоотводящего ствола

Монтажные стыки газоотводящего ствола применяют нескольких типов:

- монтажный стык кольцевой накладкой (рис. 3.15, б, в);
- монтажный стык сварной встык (рис. 3.15, а);
- монтажный стык на болтах с применением кольцевых ребер (рис. 3.15, г).

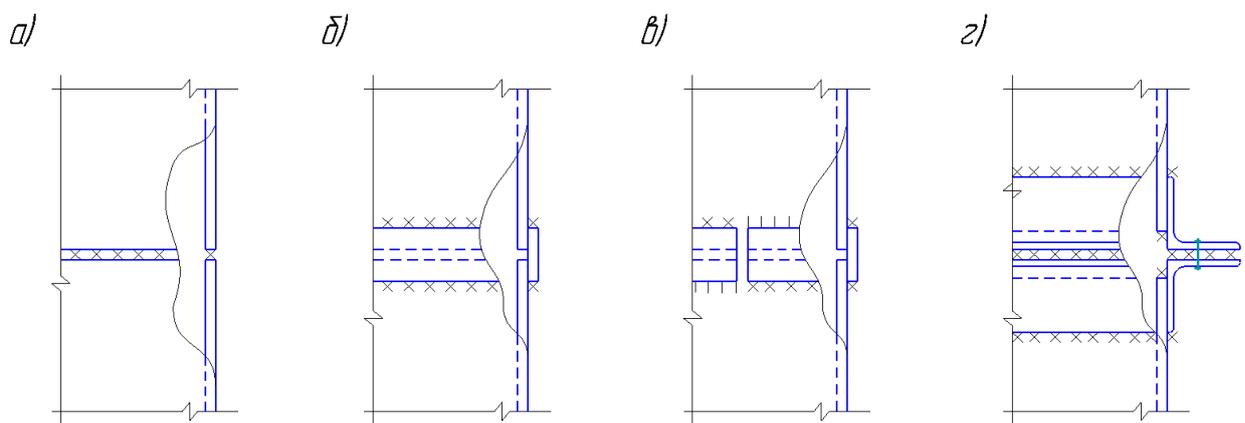


Рис. 3.15. Стыки газоотводящего ствола

3.4. Основы расчета несущей башни и газоотводящего ствола

Расчет конструкций несущей башни аналогичен расчету пространственных высотных сооружений. При аналитических расчетах нагрузку раскладывают на грани и рассматривают их как плоские системы. При этом при расчете решетки **направление ветра** принимают на грань, а при расчете поясов – на диагонали.

Вертикальные нагрузки от газоотводящего ствола передают в зависимости от выбранной конструктивной схемы – на башню или на отдельный фундамент. Горизонтальные нагрузки прикладывают в виде сосредоточенных сил к диафрагмам.

Газоотводящий ствол представляет собой при статическом расчете тонкую цилиндрическую оболочку. Аналитический расчет ее весьма сложен. В настоящее время для этого используют численный МКЭ на ЭВМ. При конструктивном расчете на основании полученных расчетных сочетаний нагрузок проверяют прочность ствола и местную устойчивость. Допускается такой расчет тоже по готовым программам для ЭВМ.

3.5. Дымовые трубы

3.5.1. Конструктивные особенности

Высота дымовых труб составляет от 10 до 120 м, диаметр – от 0,3 до 4 м. Обычно применяют свободностоящие трубы. При малых диаметрах и больших высотах рекомендуется применять оттяжки, их диаметр изменяется в пределах 30...70 см, а толщина стенок – 4...8 мм (рис. 3.16, а).

Свободностоящие трубы обычно имеют переменное сечение. Нижняя часть – коническая, верхняя – цилиндрическая (рис. 3.16, б). Коническая часть: высота – $\geq 0,25 H$, диаметр основания $\sim 2 D_{\text{цил.}}$, а $D_{\text{цил.}}/H \leq 0,1 \div 0,15$ (нефутерованные и футерованные трубы соответственно).

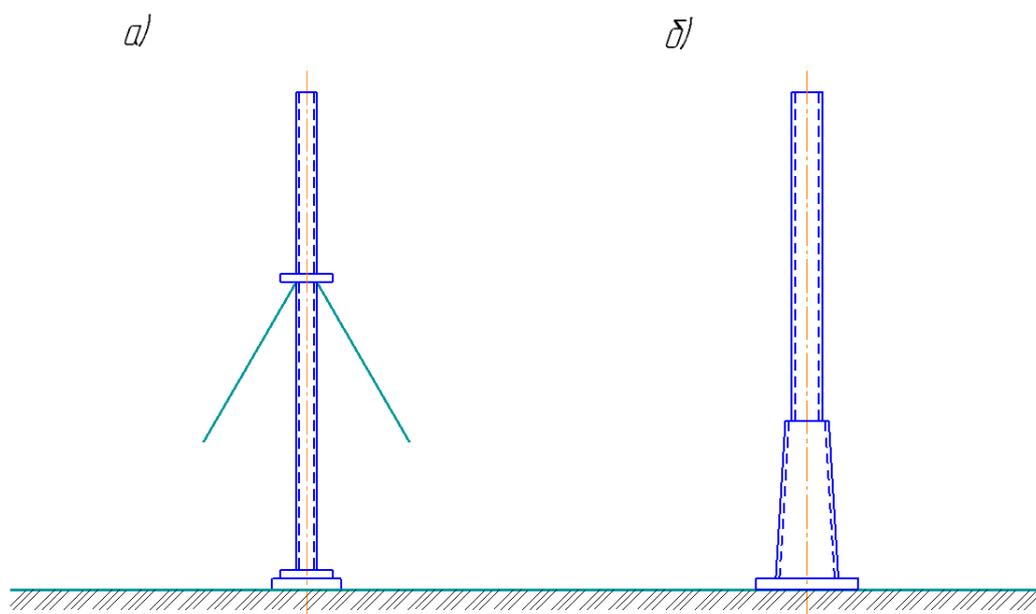


Рис. 3.16. Типы дымовых труб

Толщина листов ствола – 8...18 мм, длина секции – 4,5...8 м. Монтаж – сваркой, на фланцах или с применением колец жесткости (рис. 3.17, а). Для высоких труб ($H > 70$ м) более надежен стык сваркой с односторонней разделкой кромок (нижних) каждой секции (рис. 3.17, б).

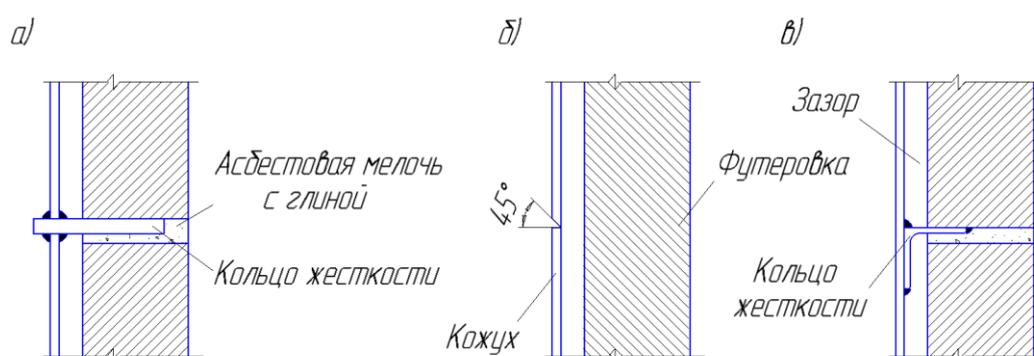


Рис. 3.17. Узлы дымовых труб

Футеровка – из огнеупорного кирпича (шамота). Между футеровкой и оболочкой трубы оставляется зазор 2...3 см, заполняемый котельным шлаком или инфузорной землей. Для опирания и обеспечения жесткости к оболочке трубы приваривают кольца из уголков (рис. 3.17, в). В местах опирания футеровки на кольца мостики передачи тепла перекрывают футеровкой и заделкой зазоров асбестовой мелочью и глиной (рис. 3.17, а, в).

Для усиления верхнего конца трубы и защиты футеровки от атмосферных осадков устанавливают верхнее колено (рис. 3.18, а). В обязательном порядке к трубе приваривают 2...3 молниеотвода в виде стержней высотой 1,5 м под верхом трубы.

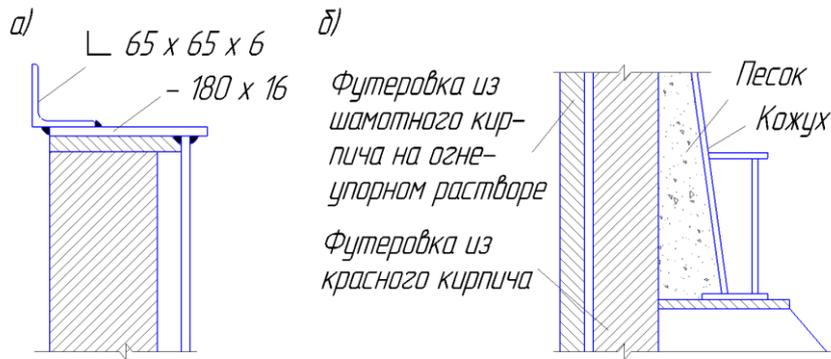


Рис. 3.18. Конструктивное оформление дымовых труб

Коническую часть трубы устанавливают на опорную плиту ($t_{пл} = 20...40$ мм) и приваривают к ней (рис. 3.18, б). К фундаментам плиту крепят анкерными болтами $d = 24...48$ мм. Анкерные столики располагают (если среда неагрессивная) внутри трубы и если организован вход внутрь для периодического осмотра. Иначе анкерные болты располагают снаружи (рис. 3.19, а, б). Узел соединения цилиндрической и конической частей делают сваркой встык (рис. 3.20, а). Решение по рис. 3.20, б, в применяется редко (не экономично).

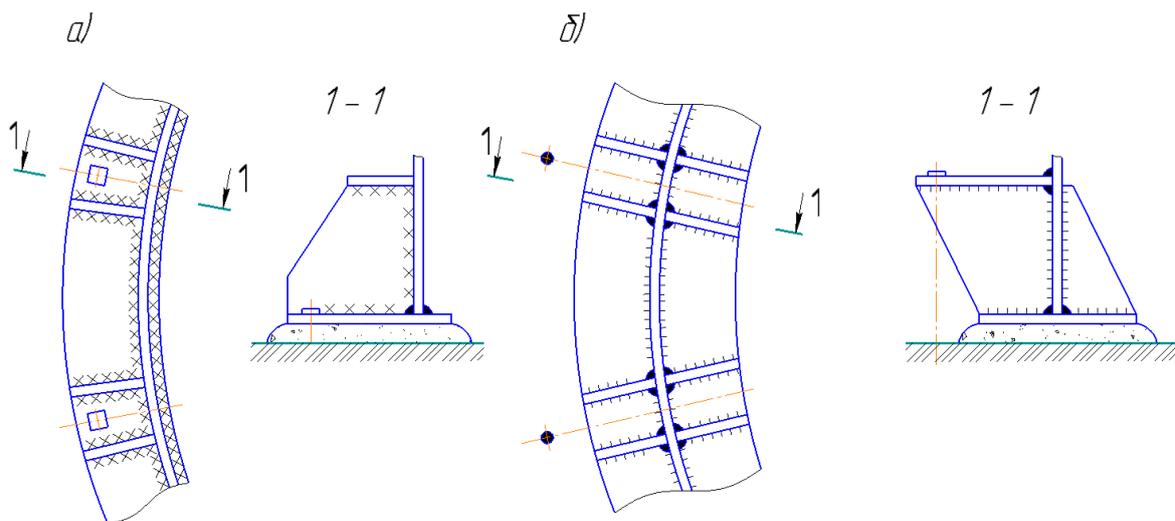


Рис. 3.19. Несимметричная опорная плита

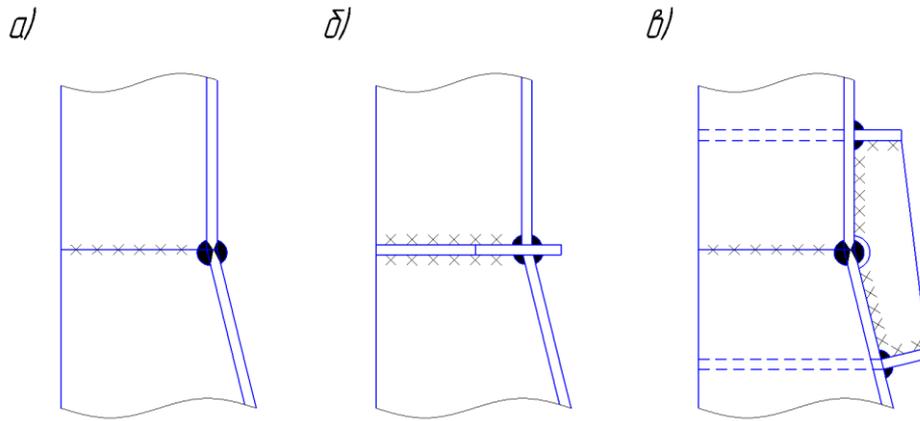


Рис. 3.20. Типы соединений цилиндрической и конической частей трубы:

а – сварка встык; *б* – сварка через фланец; *в* – сварка встык с усилением места перелома ребрами

3.5.2. Основы расчета дымовых труб

Стальную оболочку трубы рассчитывают на прочность, местную устойчивость и выносливость при резонансных колебаниях. Проверять устойчивость на опрокидывание трубы совместно с фундаментом с коэффициентом запаса 1,3 при ветре максимальной интенсивности и отсутствии футеровки. Прогиб верха трубы ограничивают до 1/200 высоты H .

Проверка прочности: $N/A + M/W \leq R_y \gamma_c$.

Проверка местной устойчивости: $(\tau/\tau_{01})^2 + \sigma/\sigma_{01} \leq 1$.

Расчет на ветровой резонанс: когда частота срывов вихрей совпадает с частотой собственных колебаний. Для устранения резонанса применяют гасители колебаний (рис. 3.21) (интерцепторы), привариваемые к верхней трети трубы.

Более подробно аналитические способы расчета дымовых труб приведены в [1, стр. 162...165].

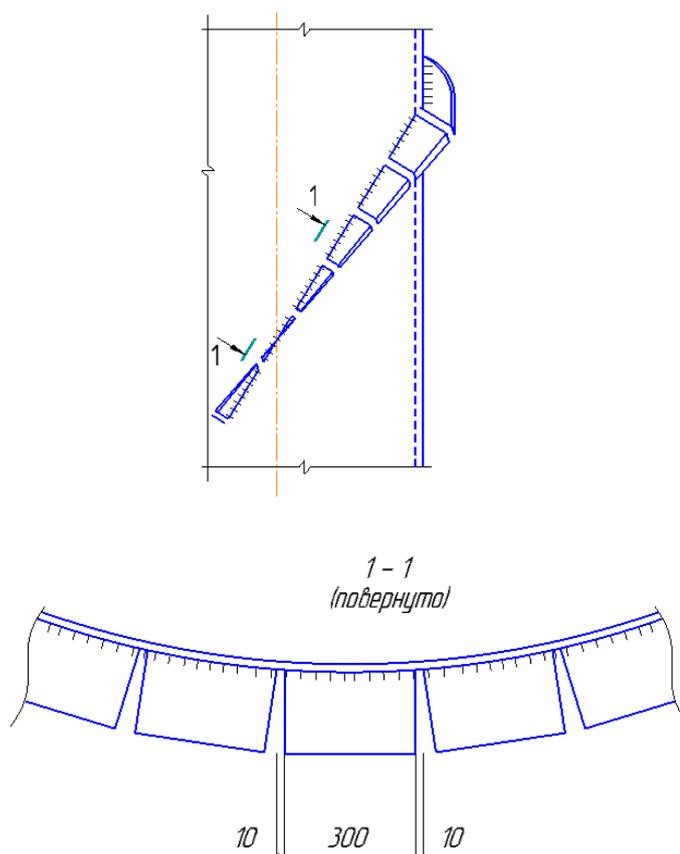


Рис. 3.21. Фрагмент трубы с интерцептером

4. СТАЛЬНЫЕ ОПОРЫ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ (ВЛЭ)

4.1. Общие сведения

Для снижения потерь электроэнергии в высоковольтных линиях каждую фазу расщепляют на несколько проводов, а для защиты от гроз применяют стальные канаты типа ТК из оцинкованных проволок. На рис. 4.1 обозначены основные генеральные размеры: l – пролет провода; h_1 – габарит ВЛ до земли; f – стрела провеса провода; h – высота от поверхности земли точки подвеса провода к опоре.

Определение ветрового давления на провода и тросы ВЛ, нормативной ветровой нагрузки, линейной гололедной нагрузки подробно изложено в учебном пособии [1, стр. 168...170]. Там же даны формулы определения напряжений в проводах согласно ПУЭ.

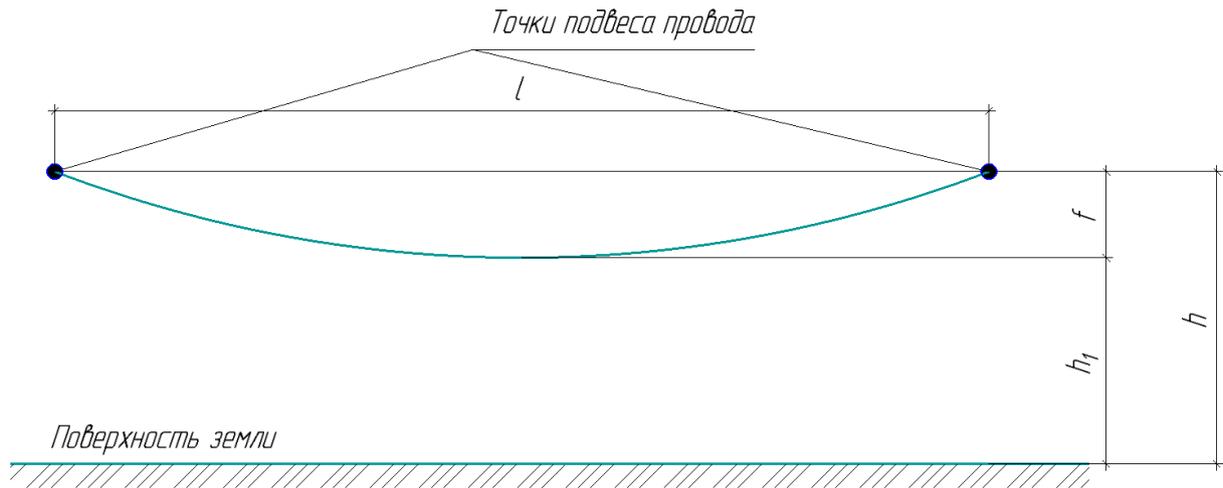


Рис. 4.1. Схема провода ВЛ

4.2. Общие сведения об изоляторах и арматуре

Изоляторы делят на две группы (рис. 4.2):

- штыревые, закрепленные на опорах при помощи штырей;
- подвесные, закрепленные на опорах линейной арматурой в гирляндах.

Линейную арматуру можно разделить на два вида (рис. 4.3 и 4.4):

- зажимы, предназначенные для закрепления проводов и тросов (рис. 4.3);
- сцепную арматуру, предназначенные для соединения зажимов с изоляторами, для подвески гирлянд на опорах и т.д. (рис. 4.4).

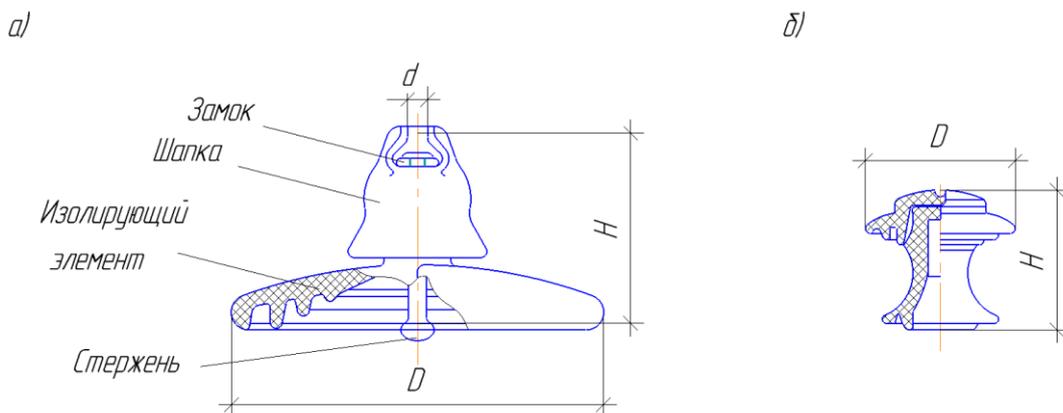


Рис. 4.2. Высоковольтные изоляторы:
а – штыревой; *б* - подвесной

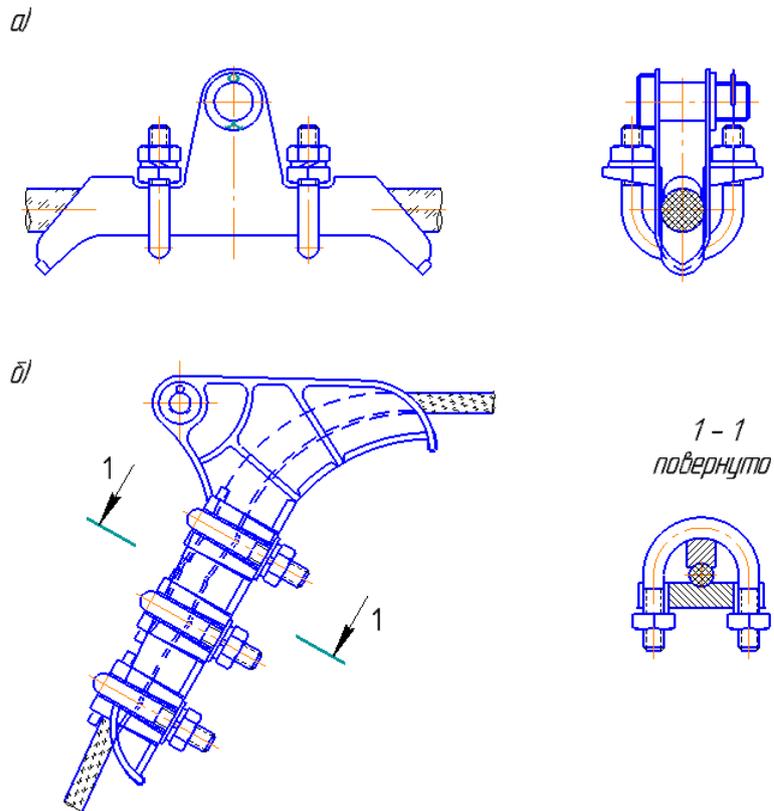


Рис. 4.3. Зажимы:

a – глухой поддерживающий; *б* – болтовой натяжной

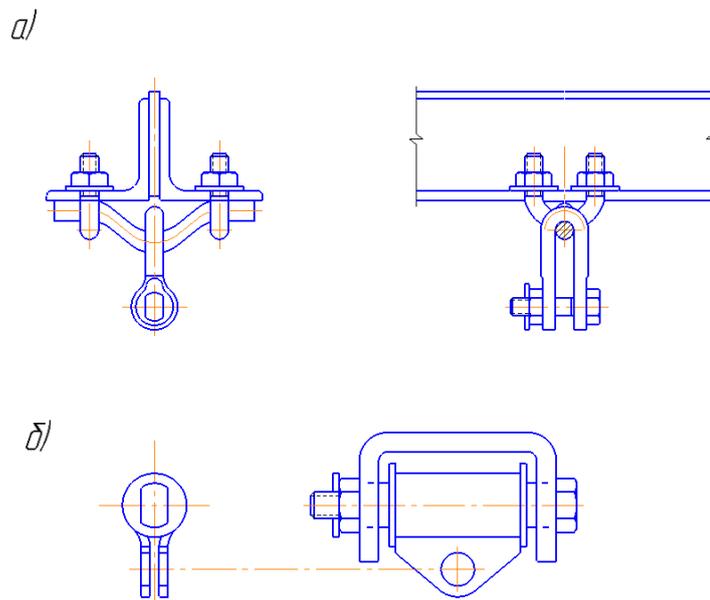


Рис. 4.4. Примеры использования цепной арматуры:

a – узел крепления подвесного изолятора;

б – узел крепления натяжного изолятора

4.3. Классификация и характеристика стальных опор

Фрагмент схемы ВЛ приведен на рис. 4.5. По количеству цепей ВЛ делятся на: одноцепные, двухцепные и многоцепные.

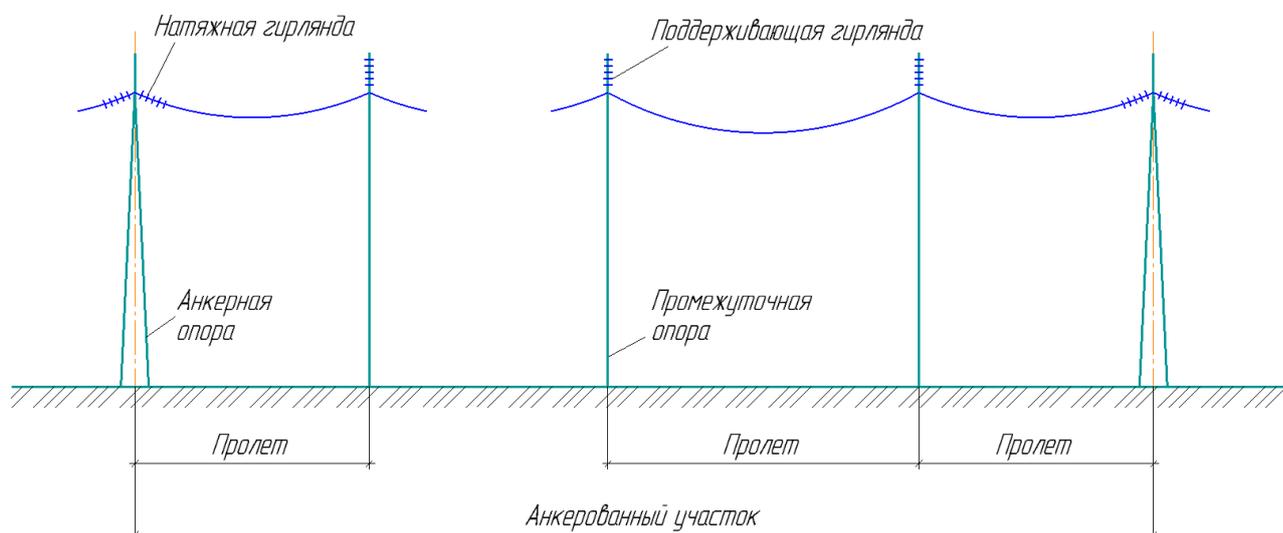
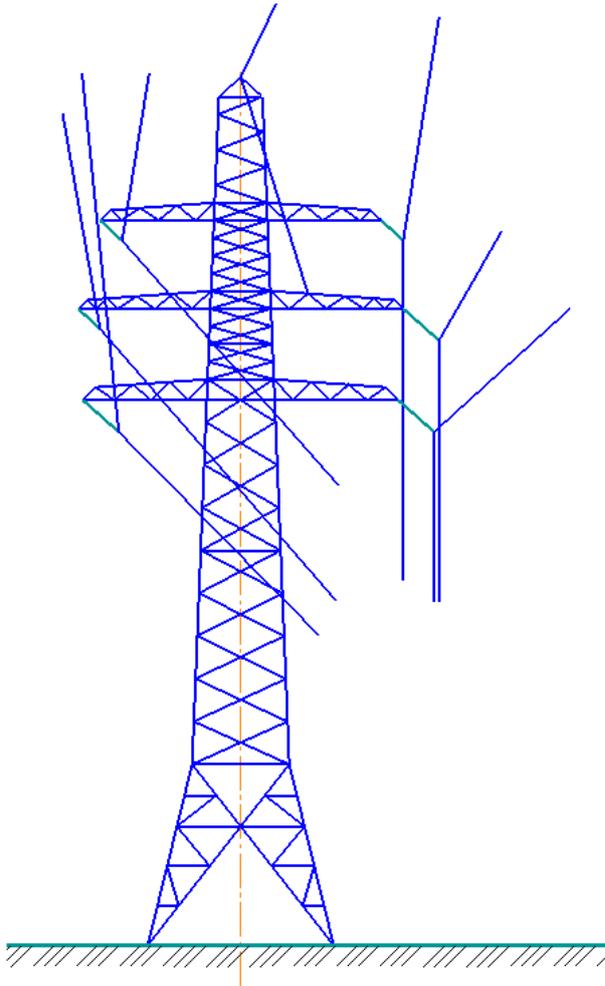


Рис. 4.5. Схема фрагмента высоковольтной линии

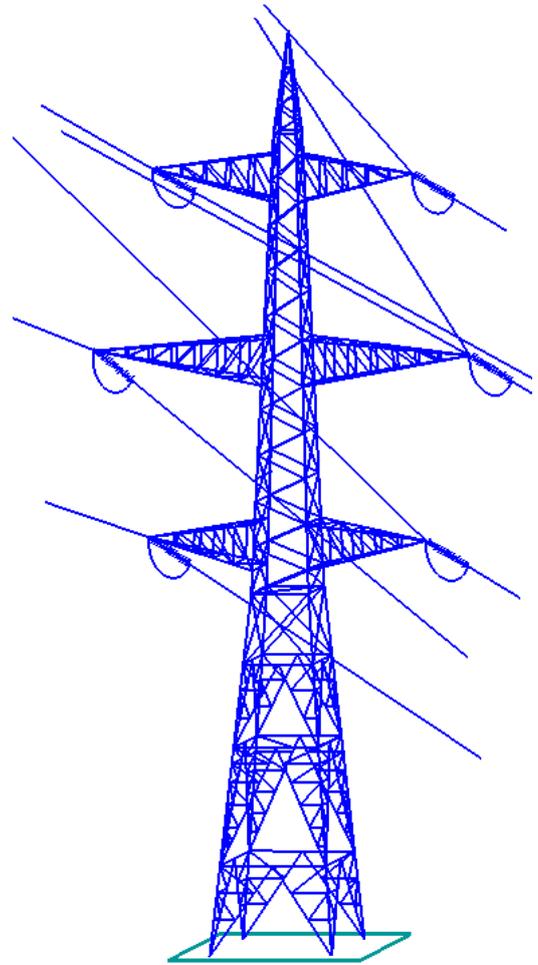
В состав одной цепи входят три провода (фазы) переменного трехфазного тока.

Опоры по назначению делятся на несколько типов:

- промежуточные прямые опоры, устанавливаемые на прямолинейных участках ВЛ. Доля этих опор около 90% общего числа опор ВЛ;
- промежуточные угловые опоры (рис. 4.6, а), устанавливают в точках поворота ВЛ;
- концевые опоры, устанавливают на концах воздушных линий (рис. 4.6, б);
- переходные опоры (рис. 4.7) устанавливают на переходах через большие водные преграды.



**Рис. 4.6, а. Промежуточная двух-
цепная угловая опора**



**Рис. 4.6, б. Анкерная двухцепная
опора**

По **конструктивной схеме** стальные опоры ВЛ делят на две группы:

- опоры без оттяжек (рис. 4.7);
- опоры с оттяжками (рис. 4.8; рис. 4.9; рис. 4.10; рис. 4.11).

Типы сечений стволов:

- сплошные;
- сквозные.

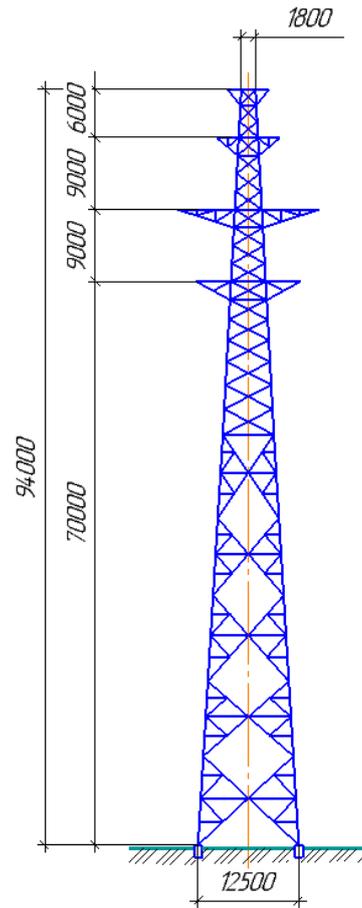


Рис. 4.7. Переходная опора через большие водные преграды

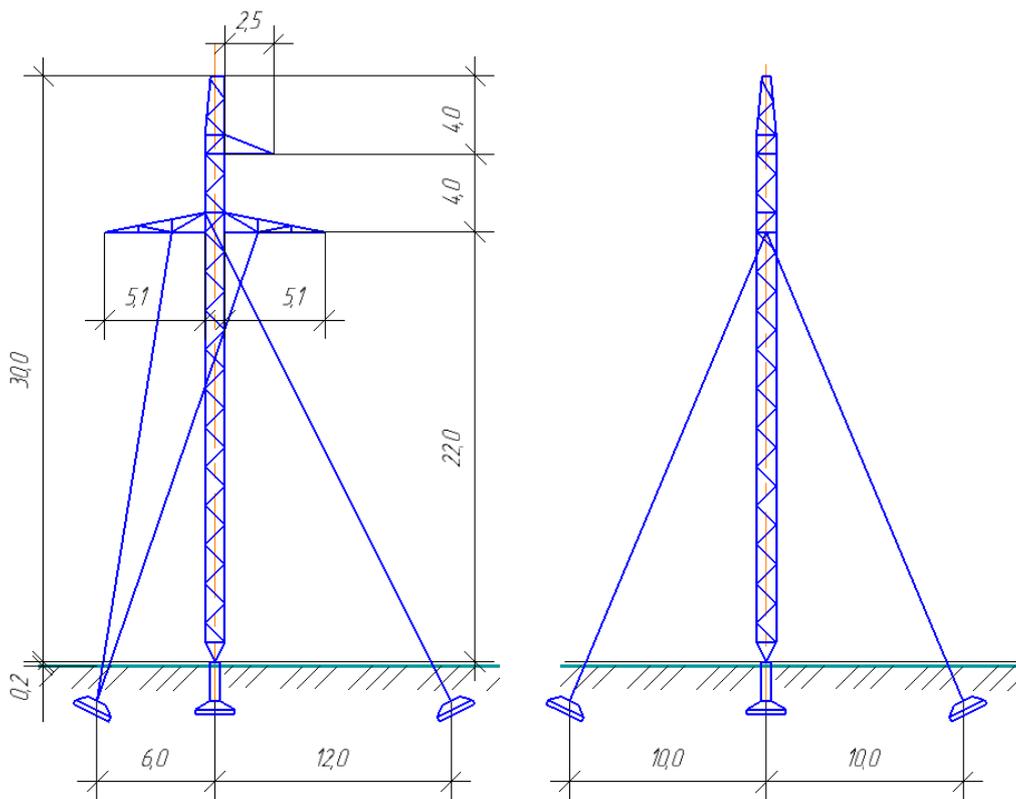


Рис. 4.8. Промежуточная одноцепная одноствольная опора с оттяжками ВЛ 110 кВ

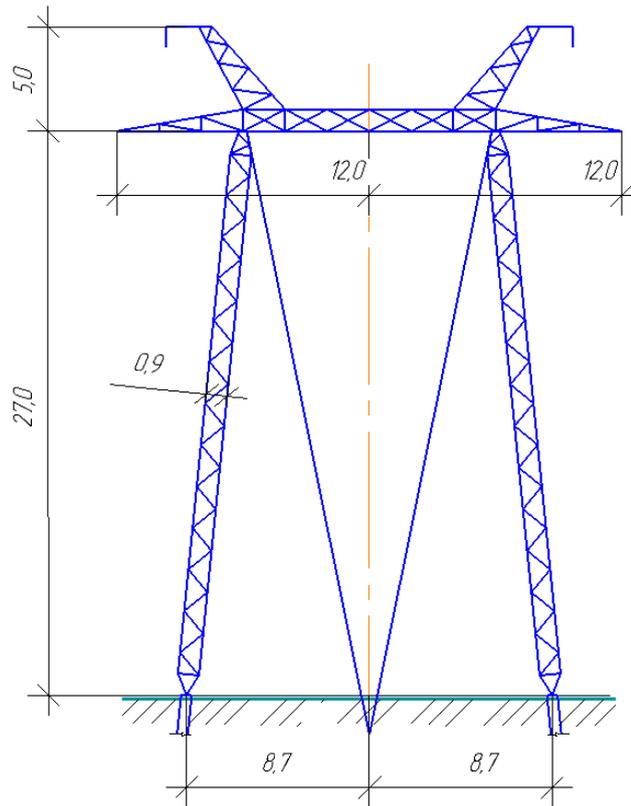


Рис. 4.9. Промежуточная порталная опора с оттяжками ВЛ 500 кВ

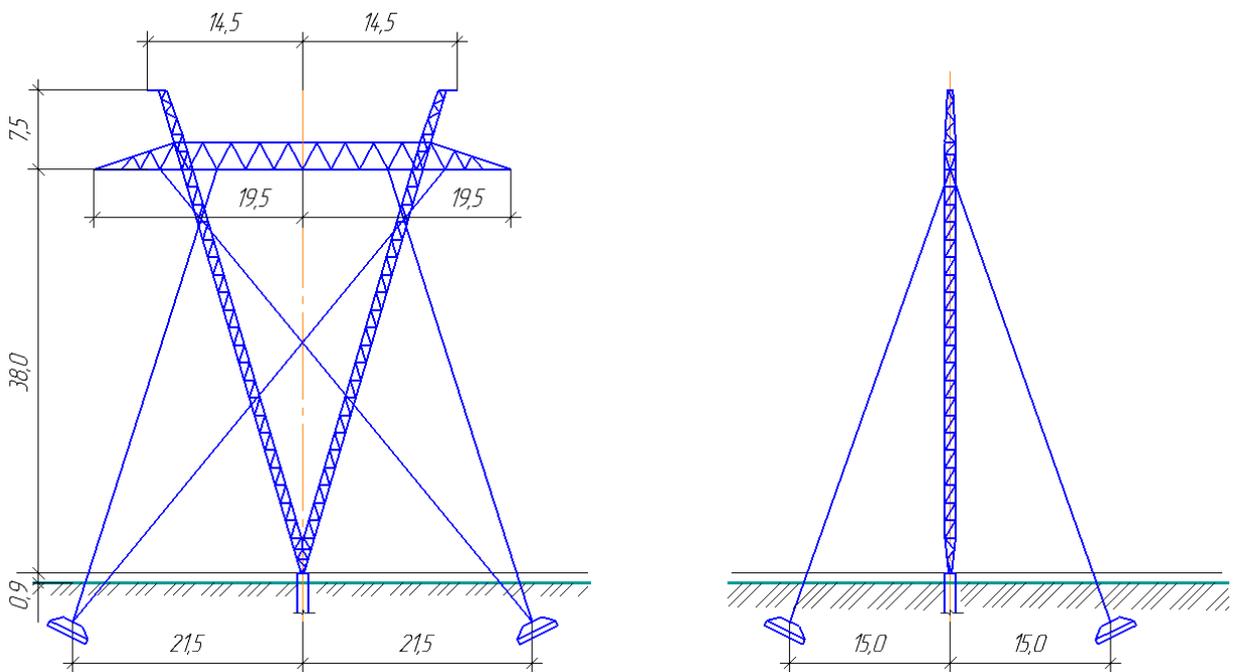


Рис. 4.10. Промежуточная V-образная опора с оттяжками ВЛ 750 кВ

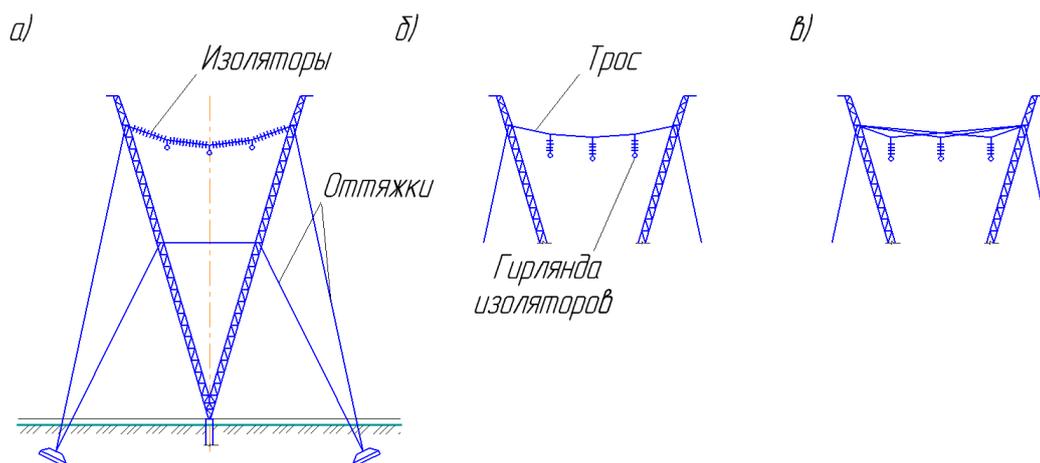


Рис. 4.11. Промежуточная V-образная опора на оттяжках с висячими траверсами:
a – с цепной траверсой из полимерных изоляторов;
б, в – с вантовыми траверсами из стальных высокопрочных канатов

4.4. Конструирование и расчет опор

На рис. 4.12 показаны различные схемы расположения проводов на опорах для одноцепных (*a, б, в, д, е*) и двухцепных (*г, ж з, и, к, л, м*) линий.

Расположение проводов в один ярус называют горизонтальным (рис. 4.12, *a – г*); расположение в два или три яруса называют вертикальным (рис. 4.12, *д – и*); смешанное расположение, когда провода ярусов расположены со смещением по горизонтали (рис. 4.12, *е, ж, з, к, л, м*). На рис. 4.12 размеры *A, B, D* – регламентированы ПУЭ.

Наибольшее применение в типовых двухцепных опорах получили схемы типа «елка» и «бочка» (рис. 4.12, *к, л* и рис. 4.12, *м*).

Опоры ВЛ изготавливают как сварными, так и на болтах.

Сварные – более качественные, изготавливаемые марками в заводских условиях, но нуждаются в монтажных стыках на месте монтажа.

Болтовые – готовятся и транспортируются россыпью, но более трудоемки в сборке.

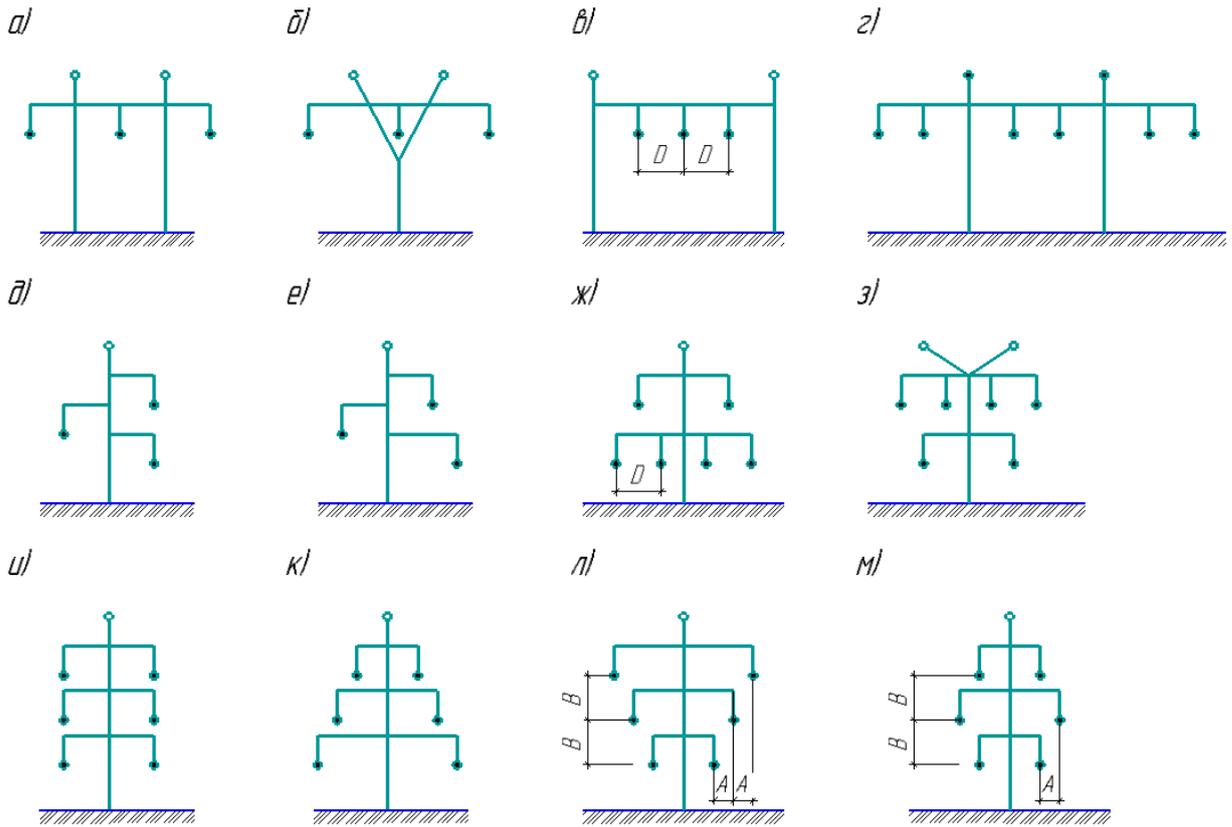


Рис. 4.12. Схемы расположения проводов на опорах

Сечения стержней – в основном из уголков. Опоры больших переходов изготавливают из горячекатаных труб. Решетки между стволами – различные (рис. 4.13) в зависимости от конструктивных особенностей и геометрии башни – опоры.

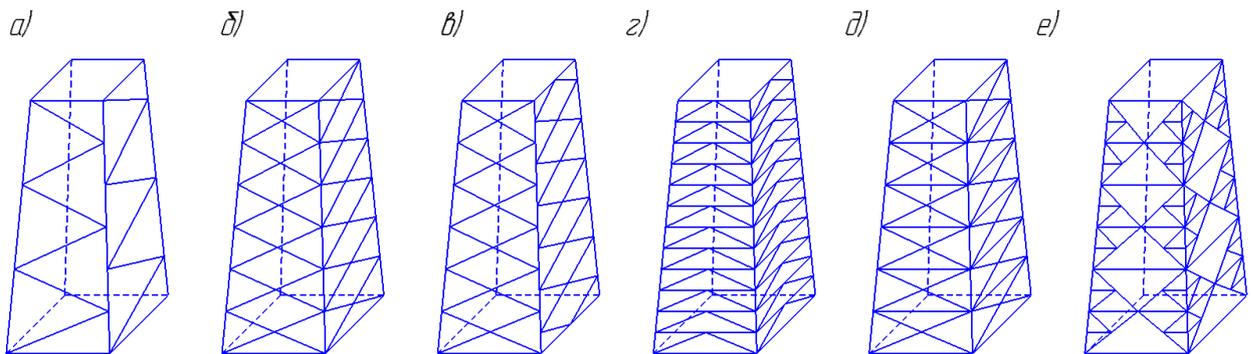


Рис. 4.13. Схемы соединительных решеток:

а – треугольная с несовмещенными узлами (« в елку»);
б – ромбическая с совмещенными узлами; *в* – ромбическая с несовмещенными узлами; *г* – полураскосная; *д* – крестовая; *е* – шпренгельная

Траверсы (консоли) опор башенного типа и одноствольных с оттяжками применяют **сплошные** и **сквозные** (решетчатые). Для обеспечения пространственной жесткости стволов устраивают диафрагмы с расстояниями между ними 8...15 м. Расстояния между опорами рассчитываются с учетом экономических затрат.

В унифицированных одноцепных и двухцепных опорах установлены высоты, близкие к оптимальным. Примером может служить опора двухцепной опоры линии 220 кВ на рис. 4.14, а примером анкерных угловых опор – на рис. 4.15.

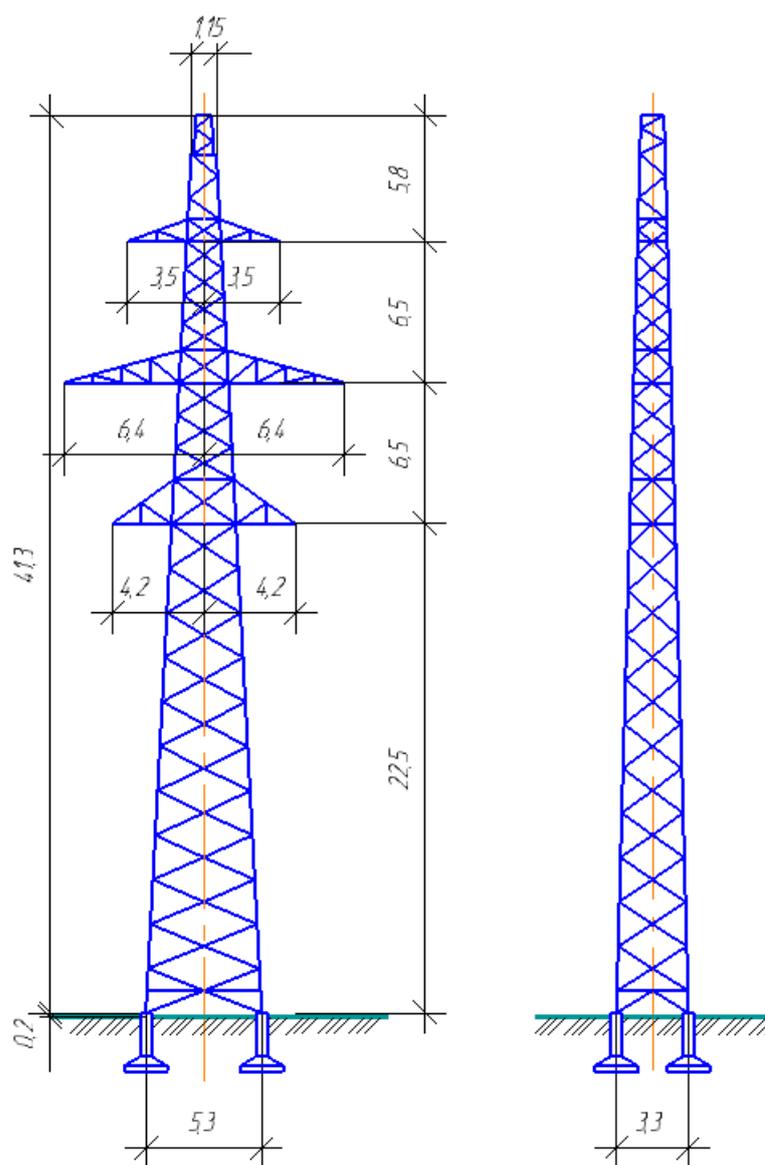


Рис. 4.14. Промежуточная двухцепная опора ВЛ 220 кВ

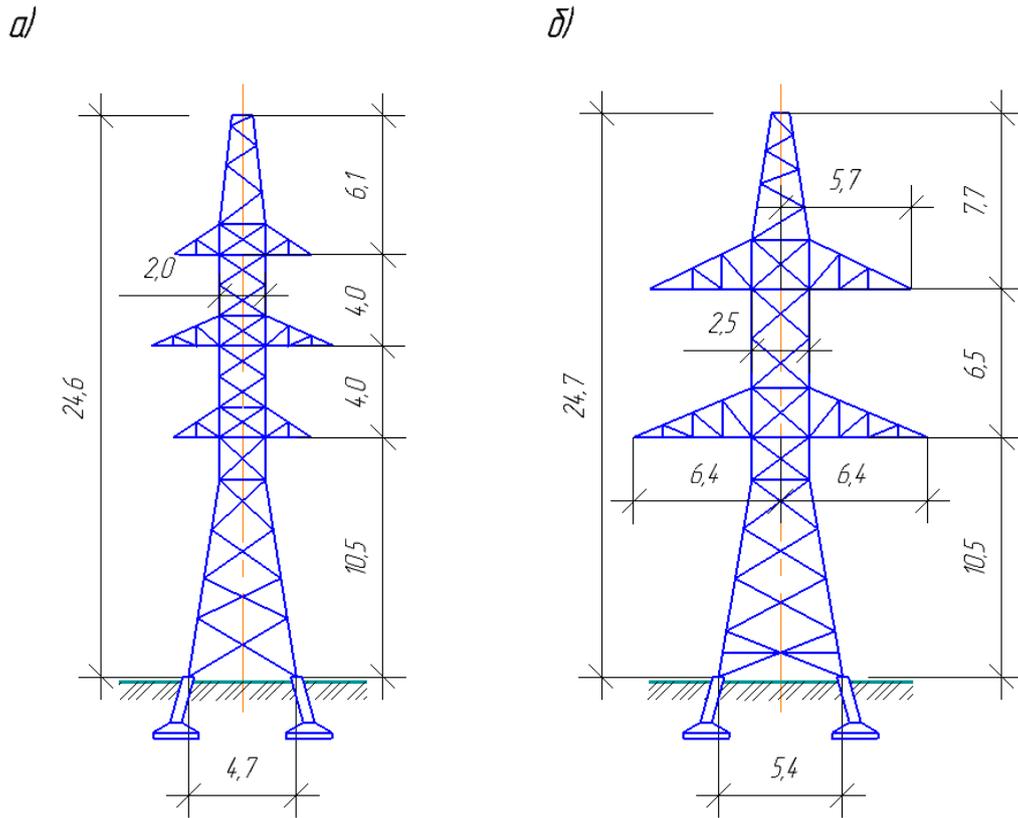


Рис. 4.15. Анкерно-угловые опоры:

а – двухцепная ВЛ 110 кВ; *б* – одноцепная ВЛ 220 кВ

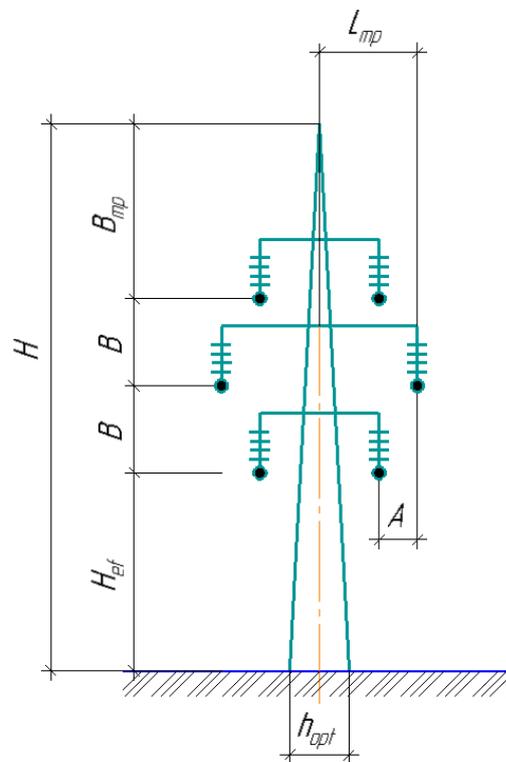


Рис. 4.16. Генеральные размеры двухцепной опоры башенного типа

На рис. 4.16 показан расчет генеральных размеров опоры башенного типа. Конструктивные схемы опорных частей башенных опор приведены на рис. 4.17. На рис. 4.17, а показаны анкерные болты стойки для промежуточной опоры, а на рис. 4.17, б – для стойки анкерной опоры. На рис. 4.18 приведена конструктивная схема опоры на оттяжках.

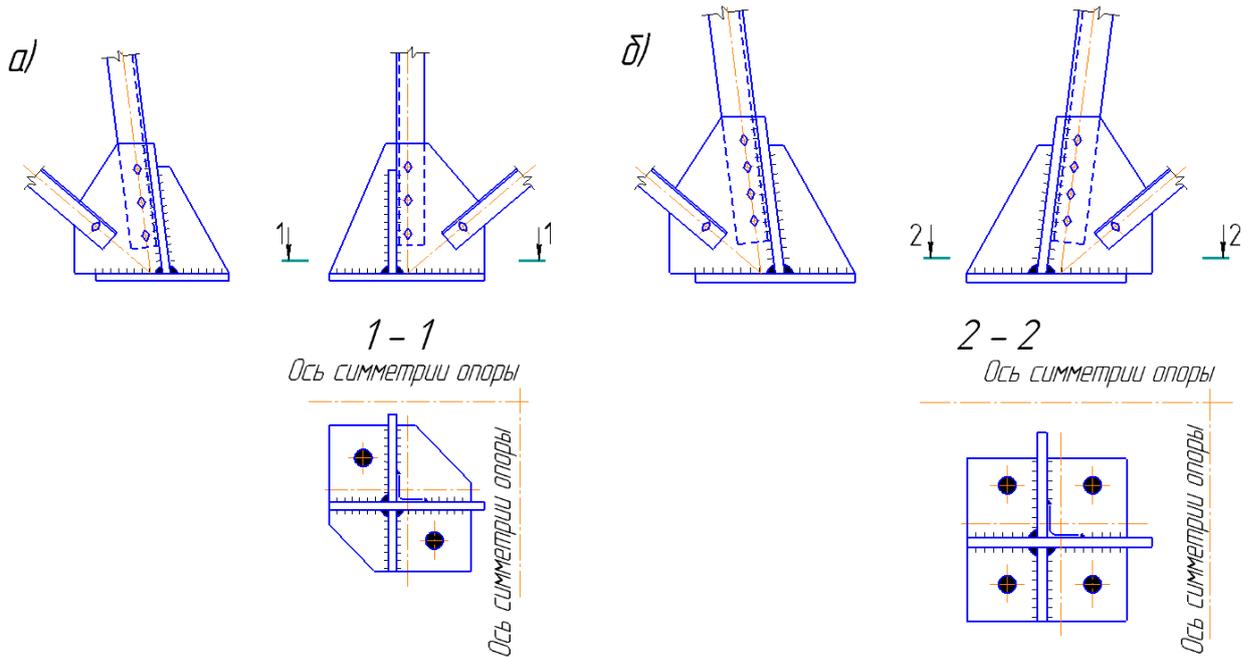


Рис. 4.17. Конструкции опорных частей башенных опор:
а – промежуточной опоры; *б* – анкерной опоры

Узлы крепления элементов соединительной решетки к поясам стволов и диафрагм показаны на рис. 4.19. Узлы стыков поясов из уголков ствола опоры показаны на рис. 4.20. На рис. 4.21 показан узел фланцевого соединения трубчатых поясов ствола опоры.

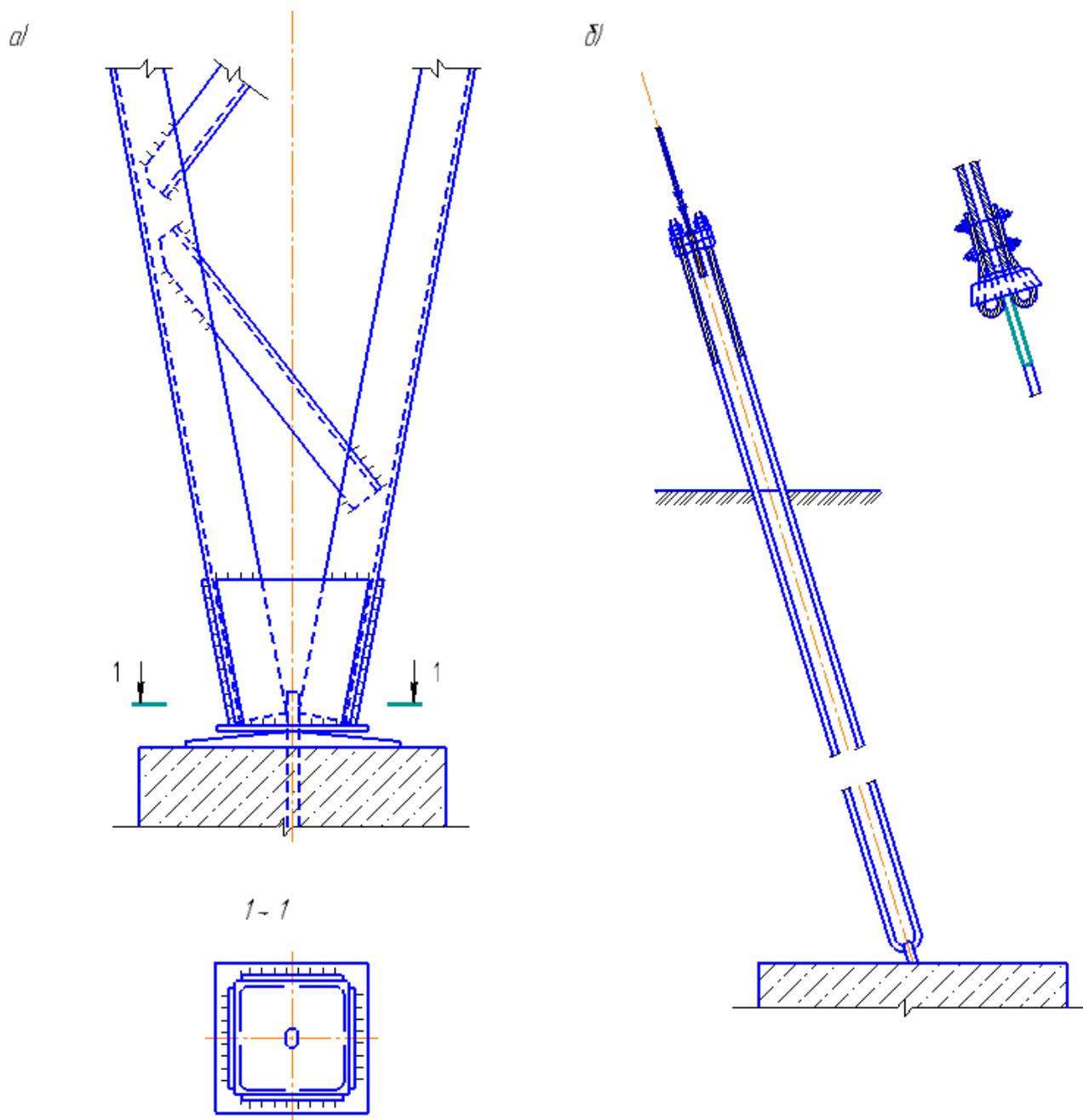


Рис. 4.18. Узлы сопряжения опор на оттяжках с фундаментами:
a – опорный узел ствола; *б* – крепление оттяжки
 к анкерному фундаменту

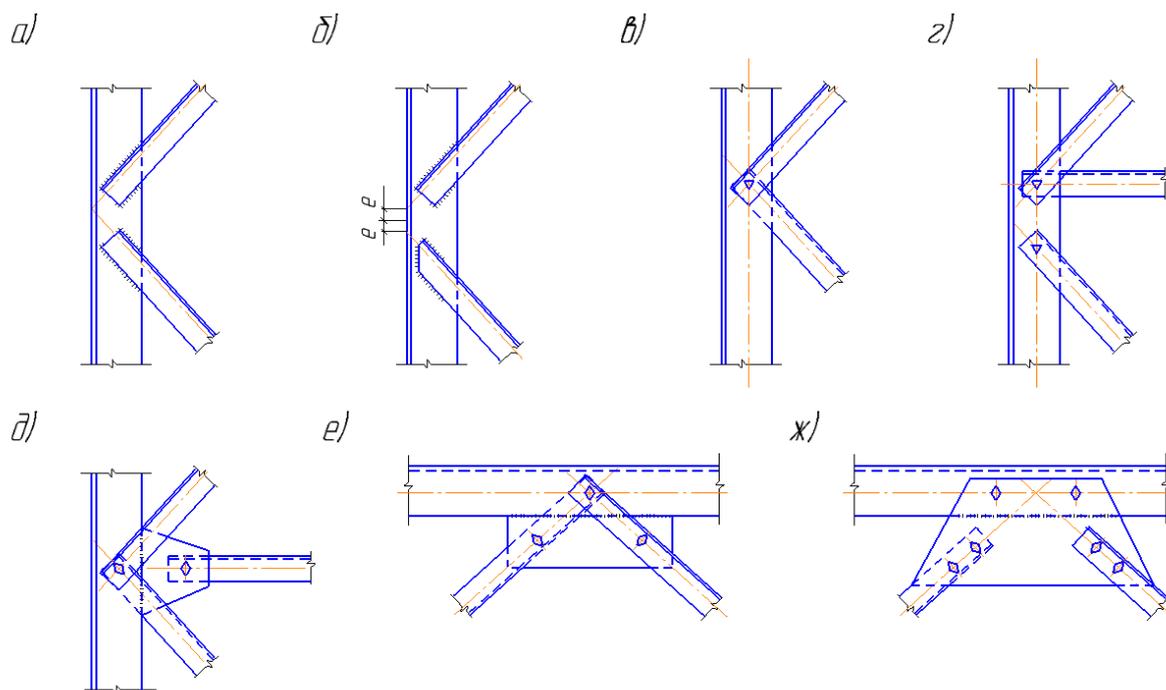


Рис. 4.19. Узлы крепления элементов соединительной решетки к поясам ствол и диафрагм

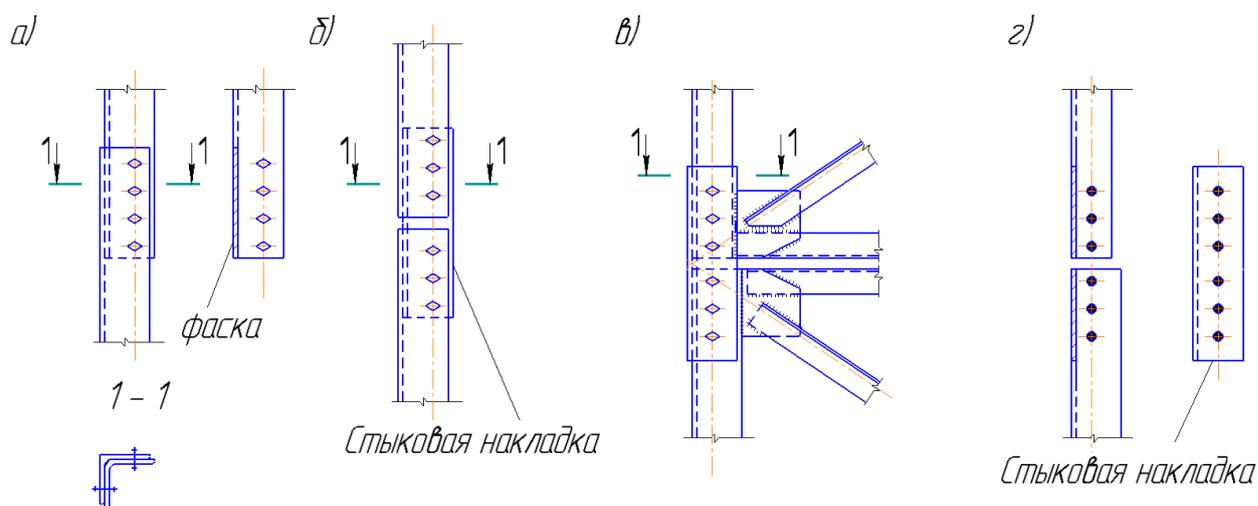


Рис. 4.20. Стыки поясов ствола опоры

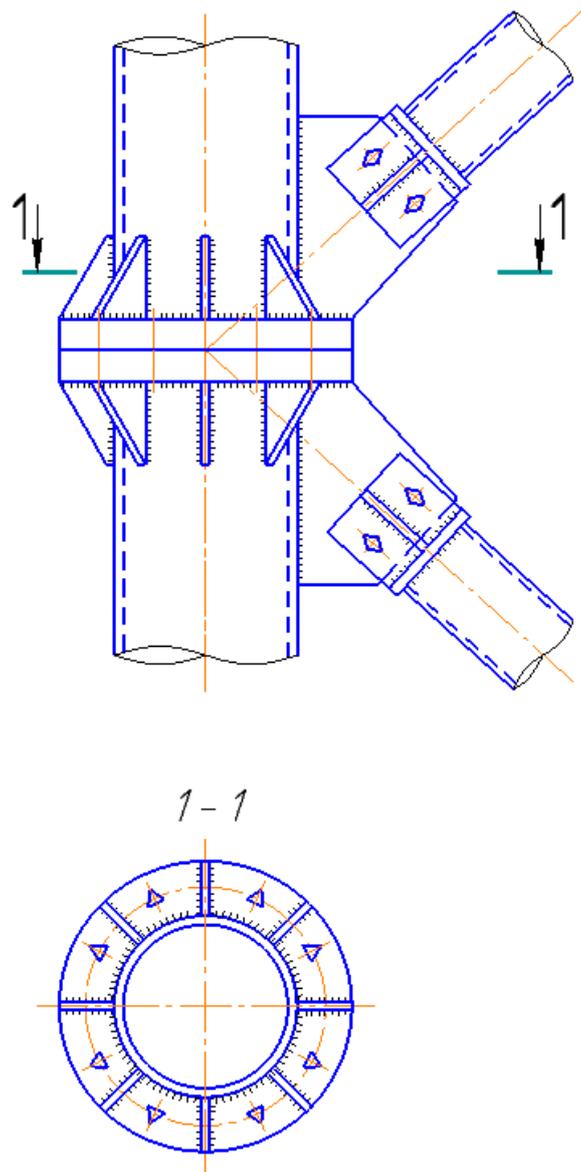


Рис. 4.21. Узел фланцевого соединения трубчатых поясов ствола опоры

На рис. 4.22 приведен узел крепления гирлянд изолятора к траверсе анкерной опоры.

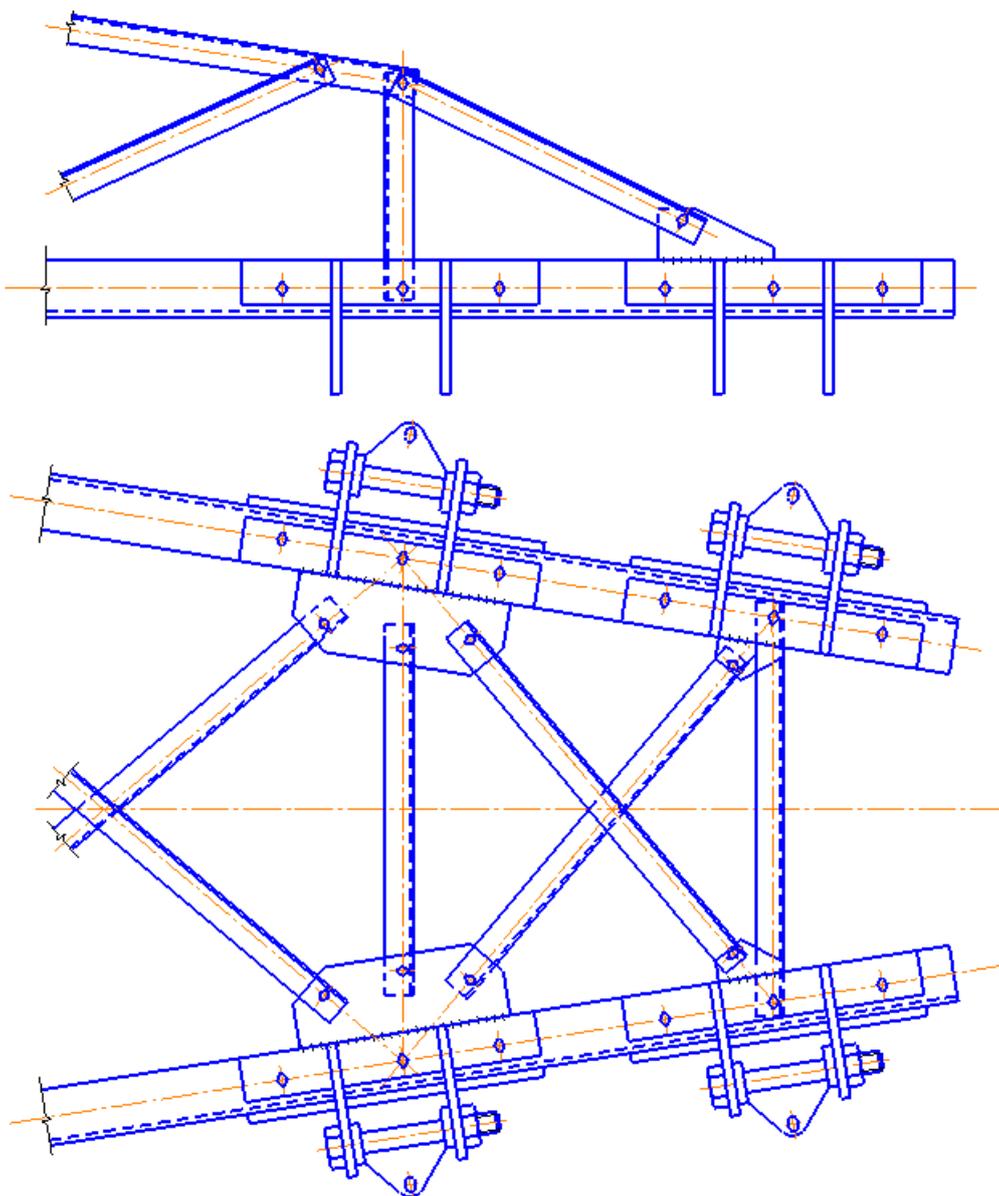


Рис. 4.22. Узел подвески гирлянды изоляторов к траверсе анкерной угловой опоры

На рис. 4.23 приведены узлы пересечения элементов перекрестных решеток.

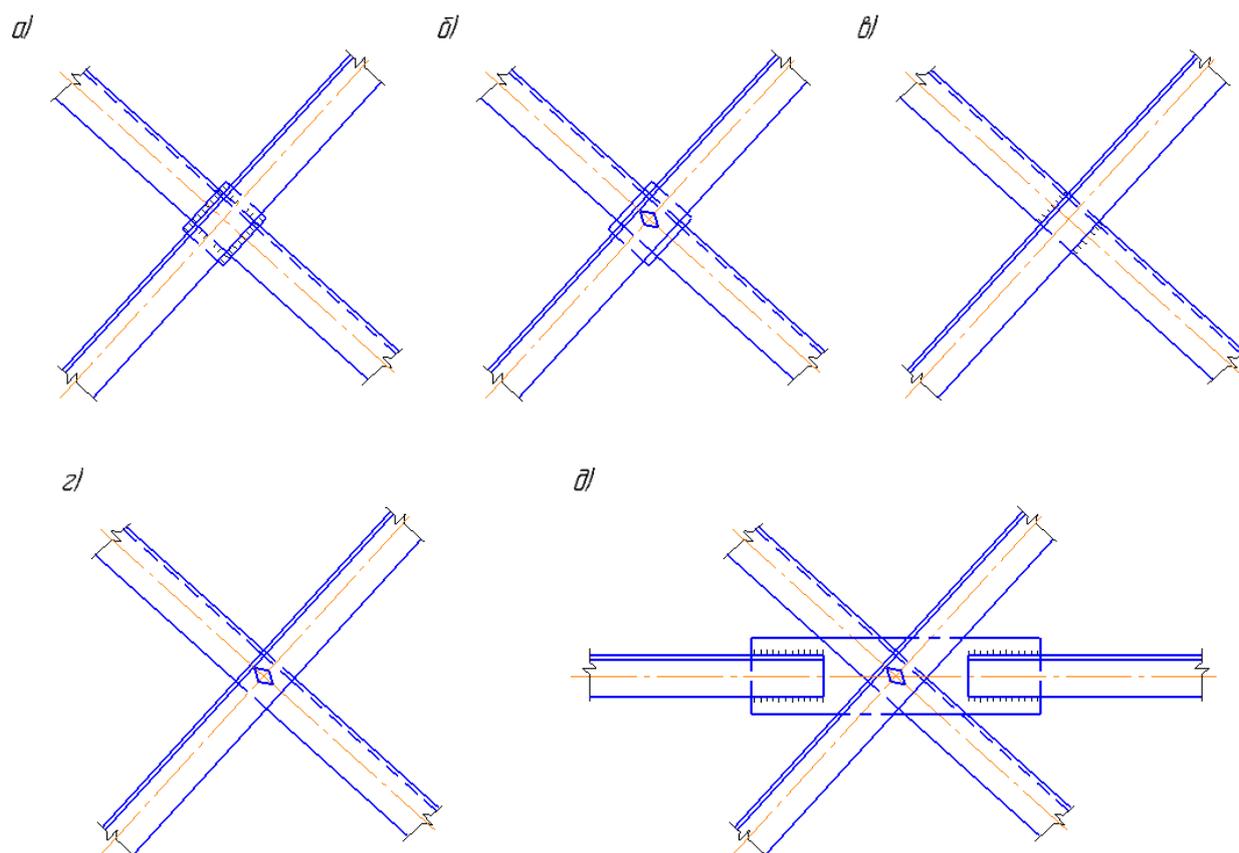


Рис. 4.23. Узлы пересечения элементов перекрестных решеток

4.5. Особенности расчета стальных опор ВЛ

Основные требования к сбору нагрузок, к режимам работы ВЛ изложены в [1, стр.190÷193]. Там же изложены основные подходы аналитического расчета опор [1 стр. 193].

4.6. Тенденции развития конструкций опор

- строительство сверхдальних магистральных линий электропередачи сверхвысокого напряжения (СВН) и создание новых конструкций опор;
- обеспечение дополнительных мероприятий по экологической безопасности и по эстетическому воздействию на человека;
- создание линий с напряжением > 1000 кВ (УВН) большой протяженности.

Характерные особенности таких линий изложены в книге [1, стр. 194÷197].

Примером конструкции новых опор, отвечающих повышенным эстетическим требованиям является проектная разработка промежуточной опоры ВЛ – 1150 кВ, получившая название «Пустая рюмка» (рис. 4.24).

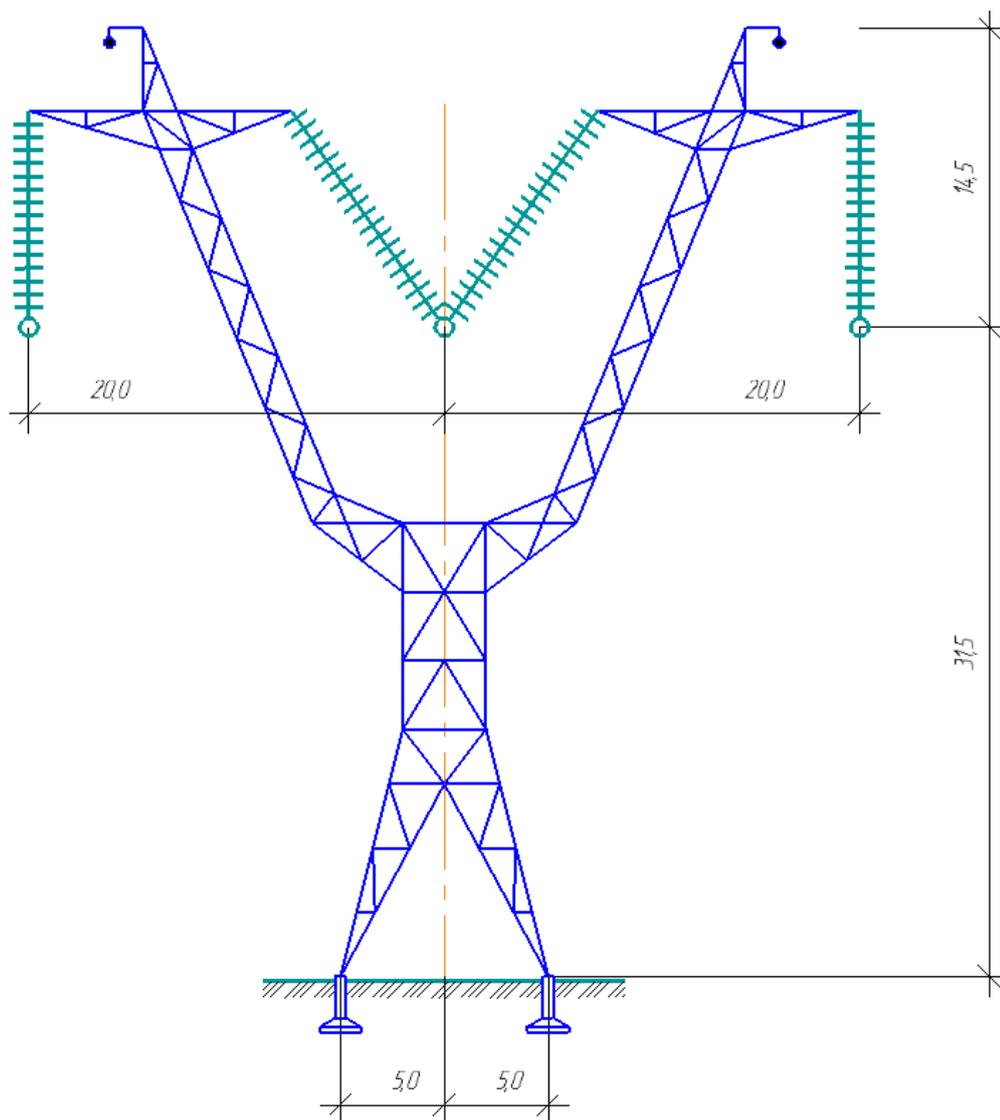


Рис. 4.24. Промежуточная опора ВЛ-1150 кВ типа «Пустая рюмка»

5. ВЫШКИ

5.1. Общая характеристика осветительных вышек

Общие положения проектирования вышек аналогичны проектированию высотных сооружений. Но имеются особенности вышек, связанные с их функциональным назначением:

- осветительные вышки предназначены для освещения территорий или участков производства работ, для архитектурного освещения;
- прожекторные вышки – для освещения аэродромов, перронов, стадионов, причалов и др.;
- прожекторы дальнего действия, получившие распространение в военном деле;
- прожекторы заливающего света; применяются для освещения открытых территорий;
- сигнальные прожекторы, применяют для передачи информации (маяки).

По способу эксплуатации вышки делят на стационарные и передвижные.

На рис. 5.1 приведены прожекторные вышки $H = 45$ м. С базой $1,4 \times 1,4$ м. Если нижняя часть вышки пирамидальная, то базу принимают $2,6 \times 2,6$ м, а верхнюю – квадратную $1,4 \times 1,4$ м.

Для всех типов вышек предусмотрены площадки для установки прожекторов.

На рис. 5.2 представлена вышка с двумя площадками, база вышки – 1700 мм, квадратная, площадка 2200×2200 мм.

На рис. 5.3 приведена вышка с базой $2700 \div 3000$ мм, пирамидальная с раскосной решеткой и верхней площадкой.

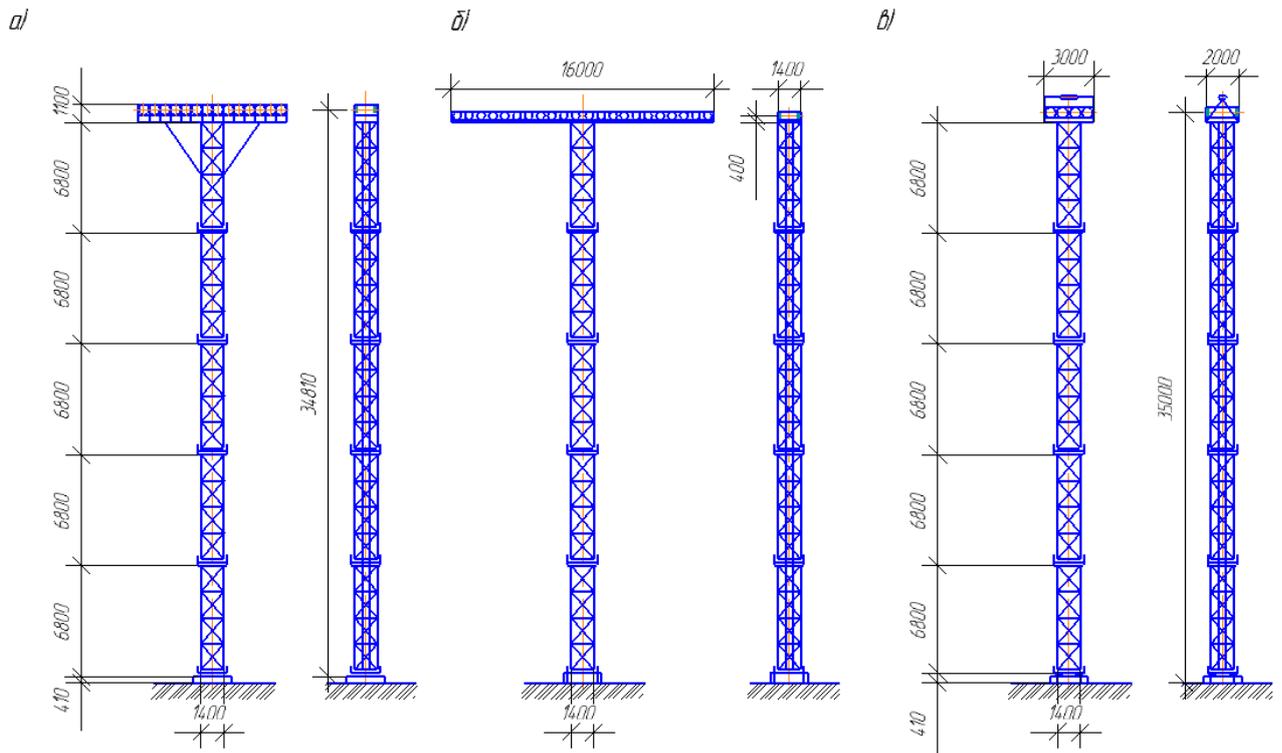


Рис. 5.1. Проекторные вышки высотой 45 м:
а – с площадкой типа П-4; *б* – с удлиненной площадкой;
в – с площадкой нормальной длины

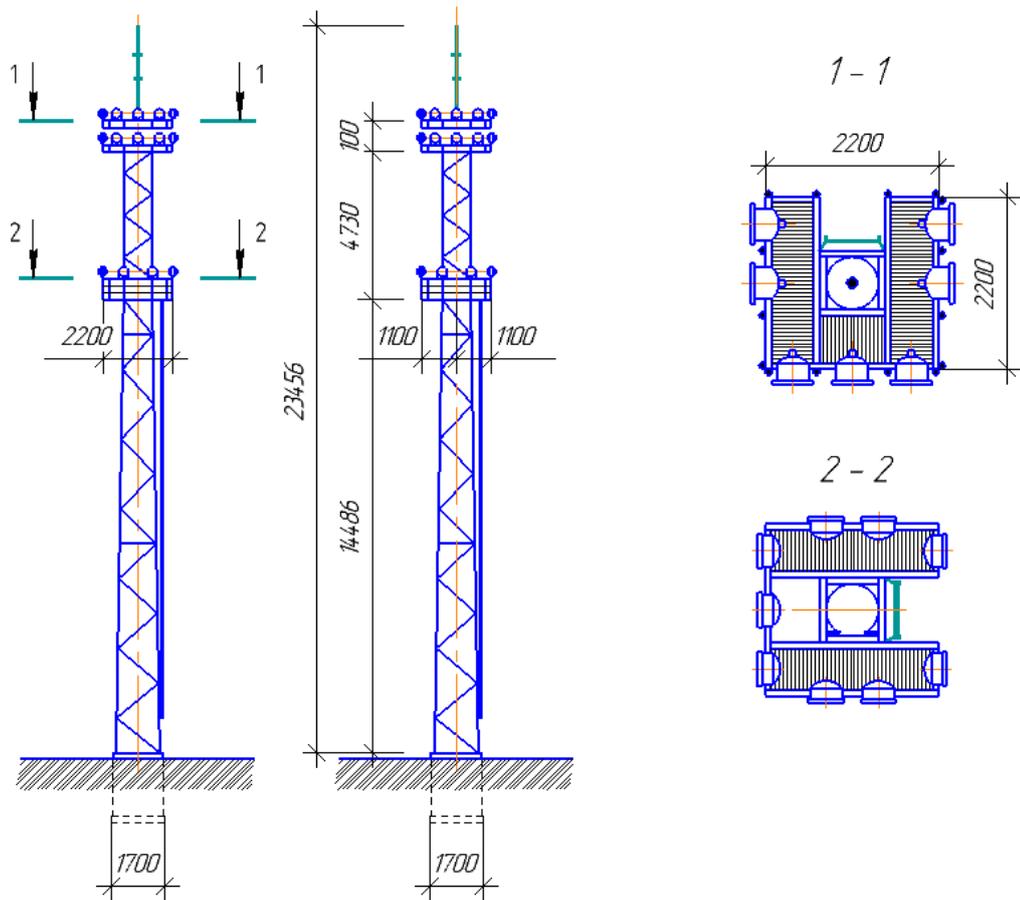


Рис. 5.2. Проекторная вышка высотой 20 м с двумя площадками

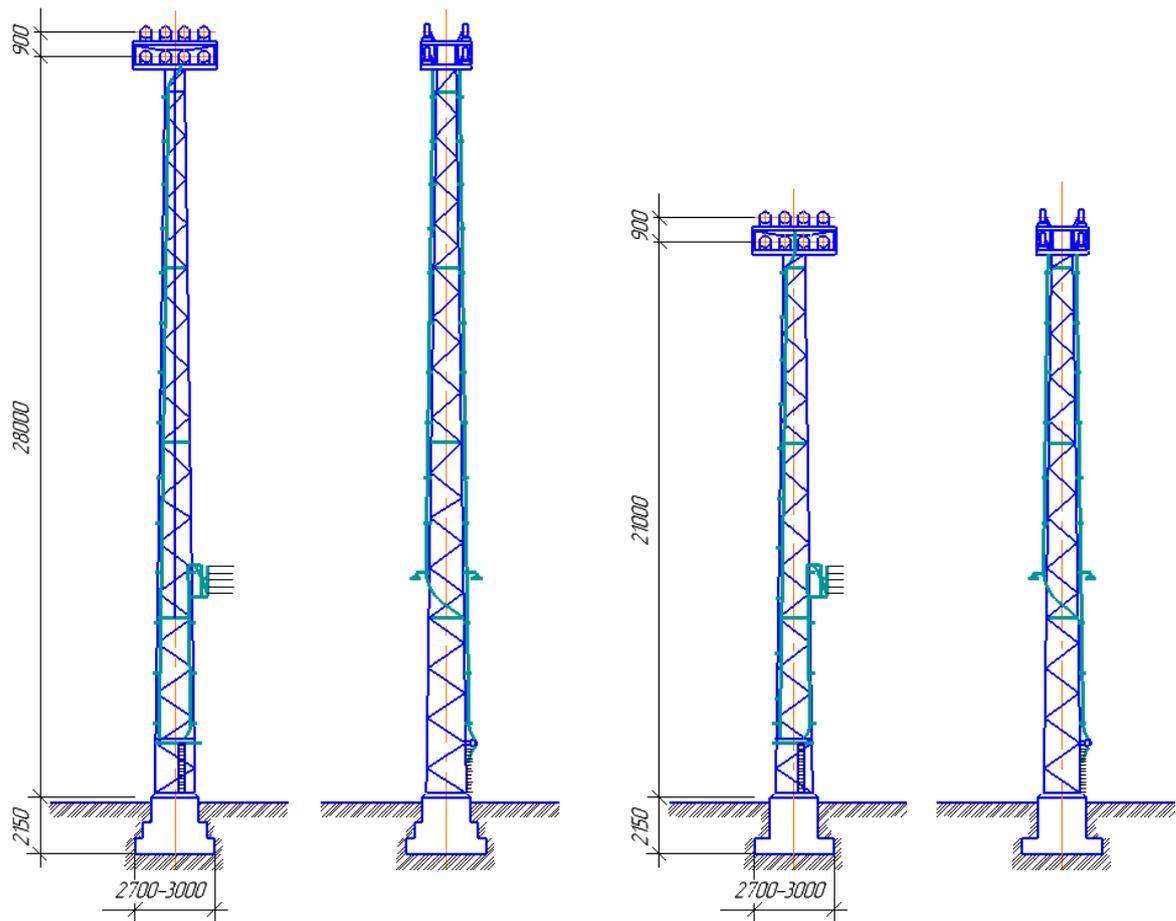


Рис. 5.3. Проекторные вышки высотой 28 и 21 м

На рис. 5.4 приведена вышка, в которой на отметке 33 м установлены 62 прожектора. Опорная секция ($H_1=6$ м) имеет уширение до 6 м.

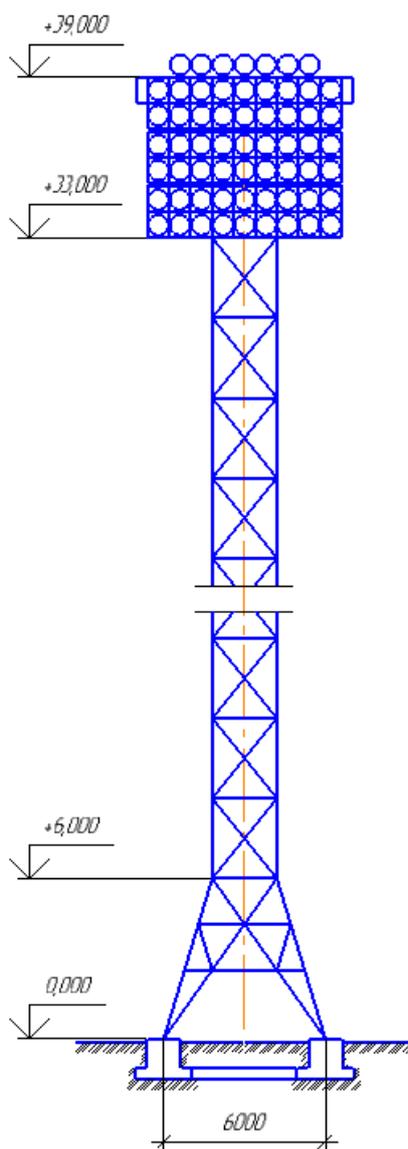


Рис. 5.4. Прожекторные вышки высотой 33 м для установки большого количества прожекторов

На рис. 5.5 приведена вышка для стадиона с базой 5200×4500 мм трехгранная с радиусом $R = 300$ мм (от центра до решетки пояса).

На рис. 5.6 приведена вышка с порталным основанием, совмещенная с опорами контактной сети железной дороги. В табл. 10.1 [1, стр. 204] приведены характеристики осветительных (прожекторных) вышек.

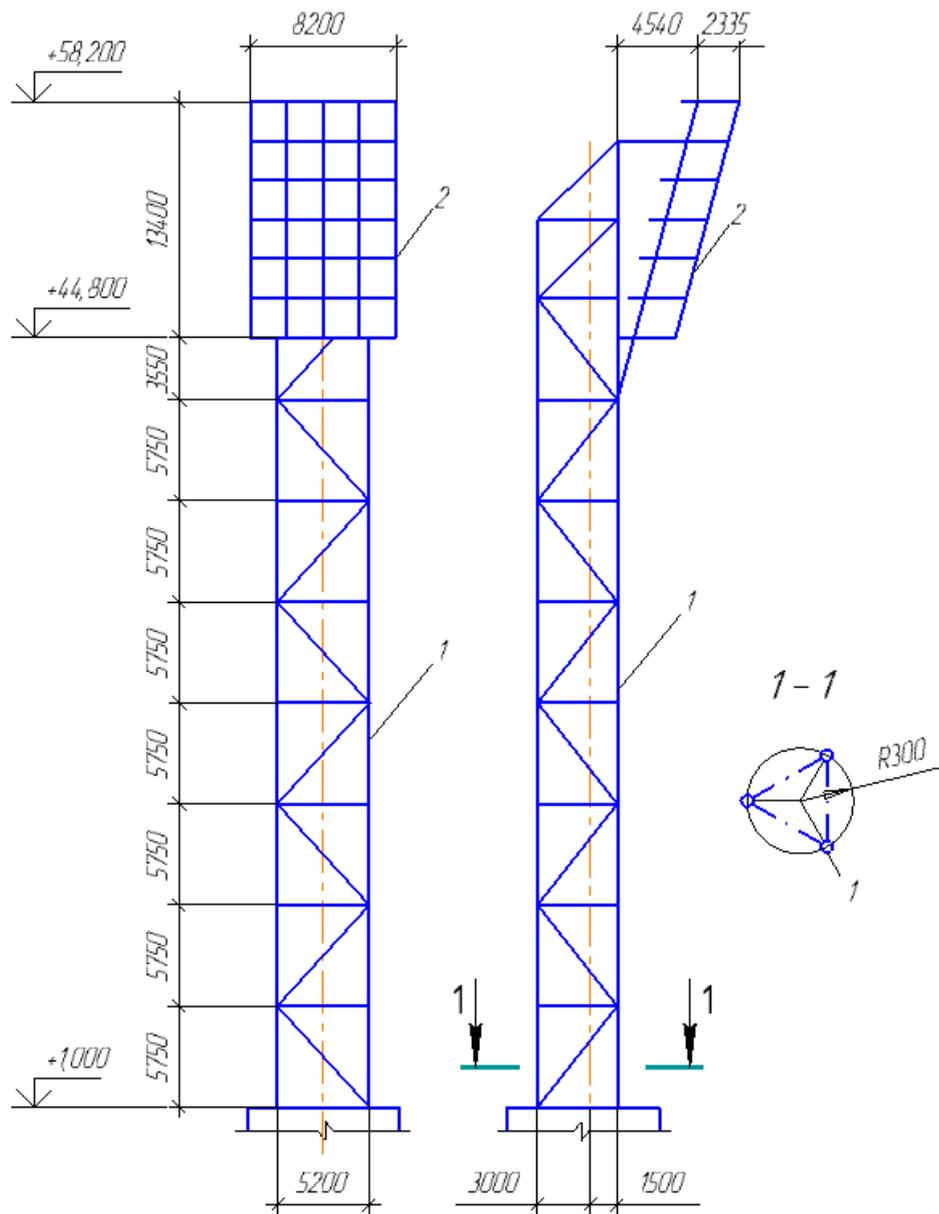


Рис. 5.5. Прожекторная вышка для стадиона:
 1 – ствол; 2 - осветительная кассета

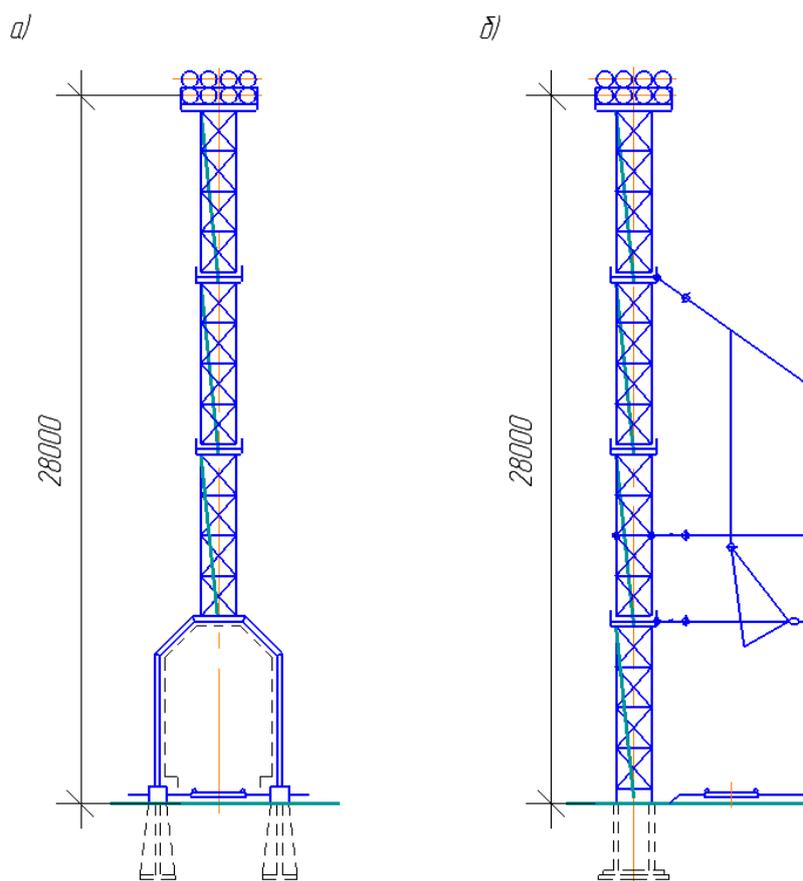


Рис. 5.6. Вышки с порталным основанием и совмещенные с опорами контактной сети

5.2. Буровые вышки

Предназначены для бурения и эксплуатации геологоразведочных скважин нефтегазовой отрасли.

На рис. 5.7 приведены примеры буровых вышек.

На рис. 5.8 показана телескопическая буровая вышка: порталная (5.8, *а*) и башенная (5.8, *б*).

5.3. Вышки для прыжков в воду

Такие вышки представляют собой консольные системы, к которым по высоте крепят платформы на высотах: 5,0; 7,5; 10 м над уровнем воды в бассейне (рис. 5.9; 5.10). На рис. 5.11 приведена вышка для прыжков в воду в виде консольно-рамной системы.

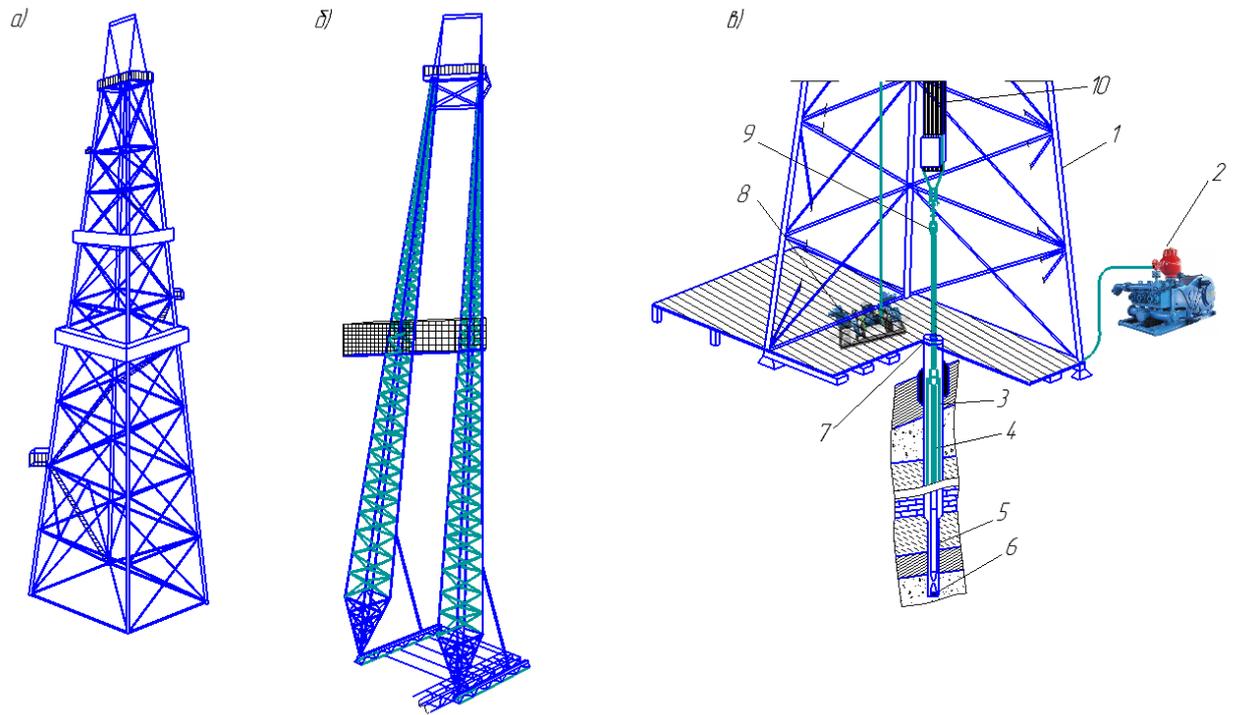


Рис. 5.7. Буровые вышки:

a – башенного типа; *б* – А-образная; *в* – схема буровой установки;
 1 - буровая вышка; 2 – буровые насосы; 3, 4 – обсадные и бурильные
 трубы; 5 – турбобур; 6 – долото; 7 – ротор; 8 – буровые лебедки;
 9 – вертлюг; 10 - талевая система

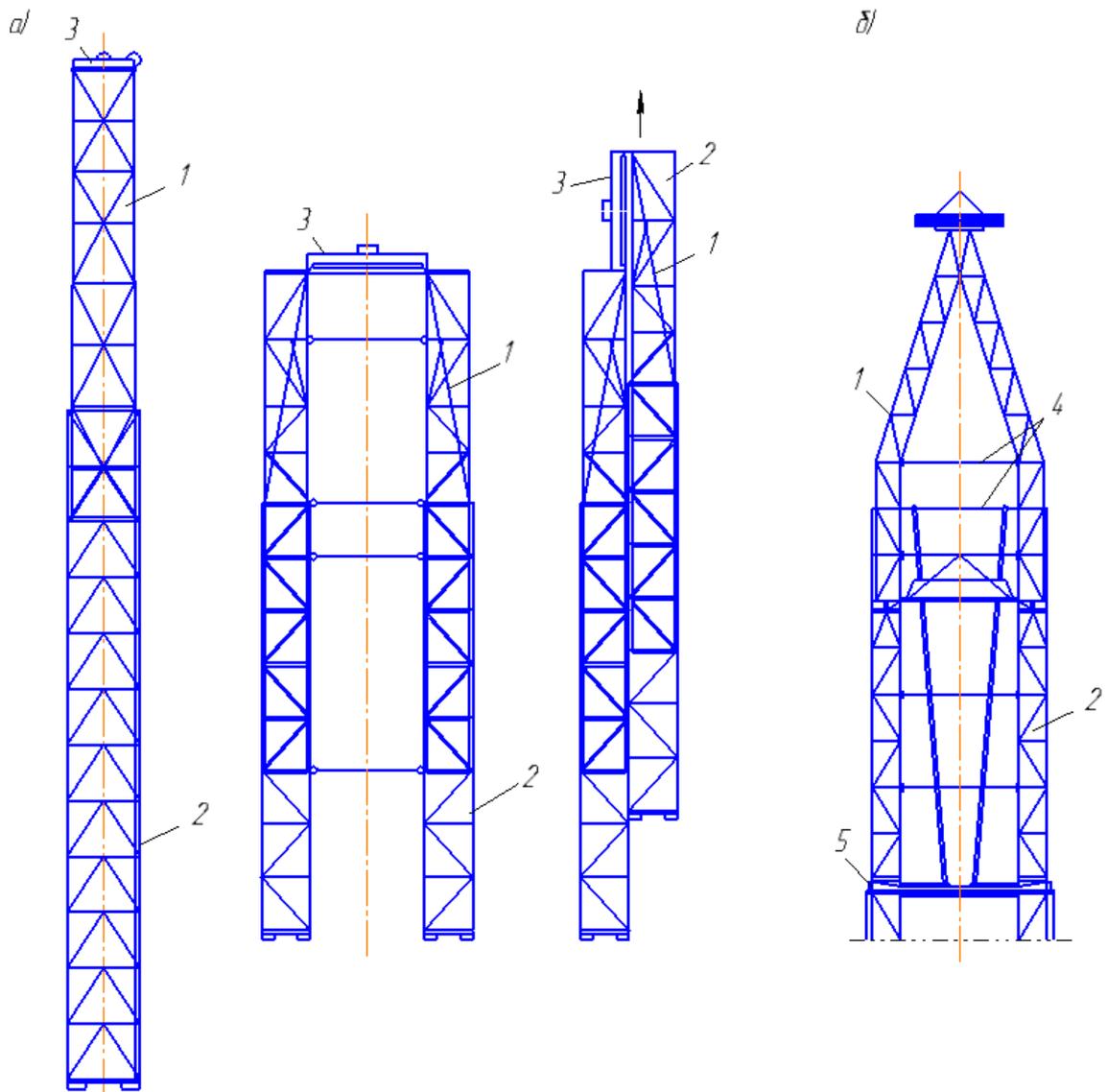


Рис. 5.8. Телескопические буровые вышки:

a – порталная; *б* – башенная; 1 – подвижная секция; 2 – неподвижная секция; 3 – кронблочная рама; 4 – поперечные связи; 5 – шарнирные опоры

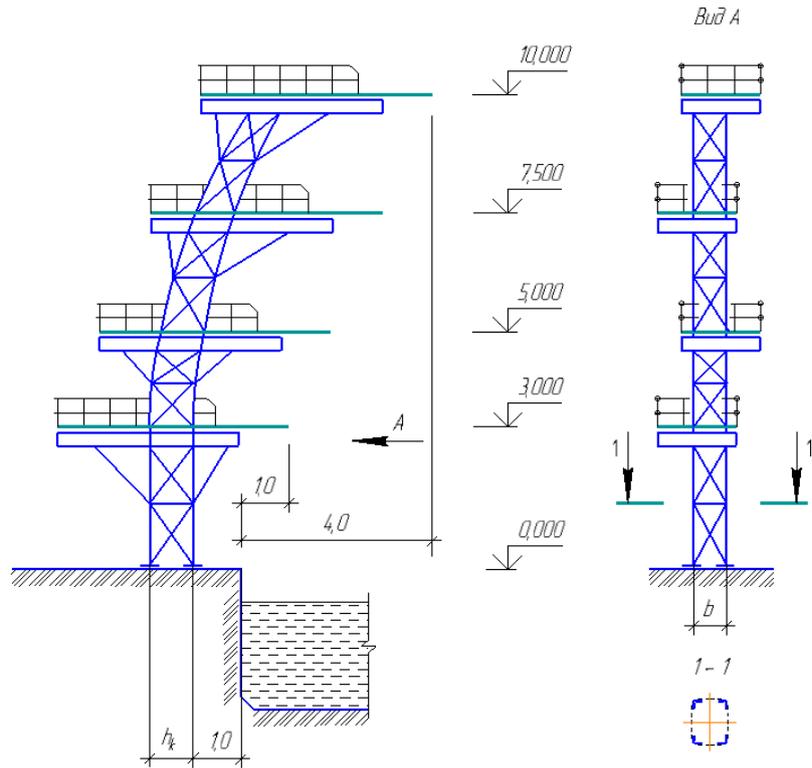


Рис. 5.9. Вышка для прыжков в воду в виде консольной пространственной фермы

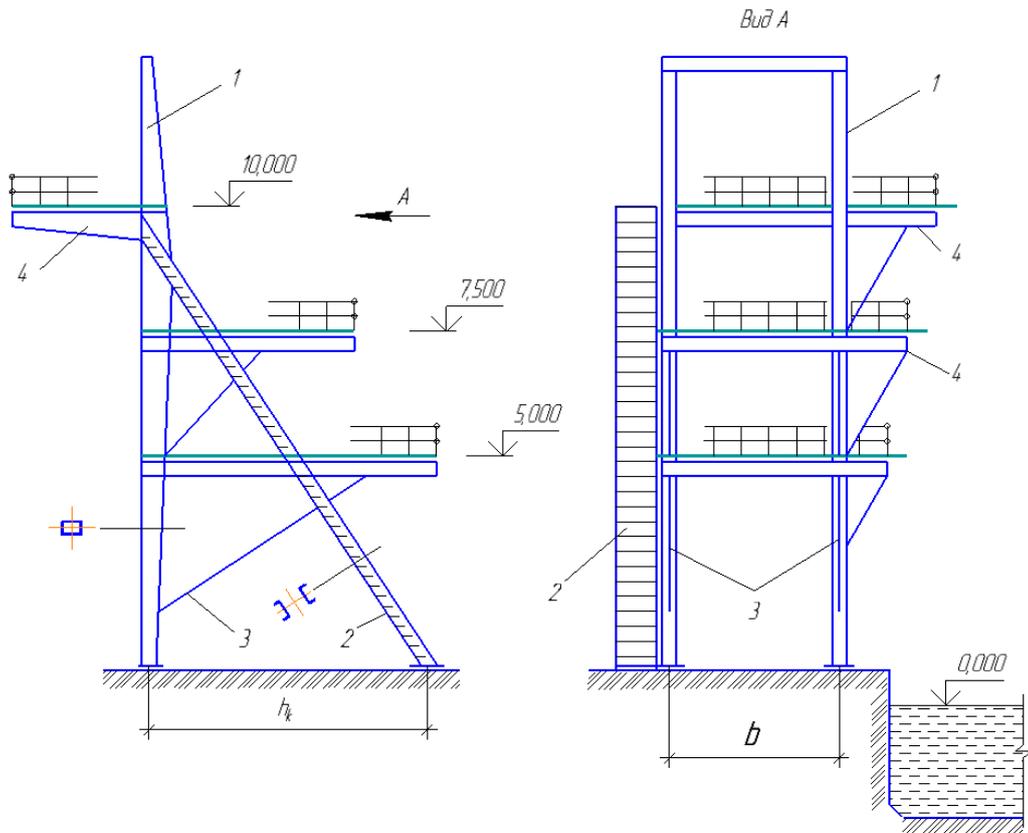


Рис. 5.10. Вышка для прыжков в воду в виде рамно-подкосной системы: 1 – несущая рама; 2 – лестница (подкос рамы); 3 – подкосы консольных площадок; 4 – консольные площадки; 5 – перила ограждения

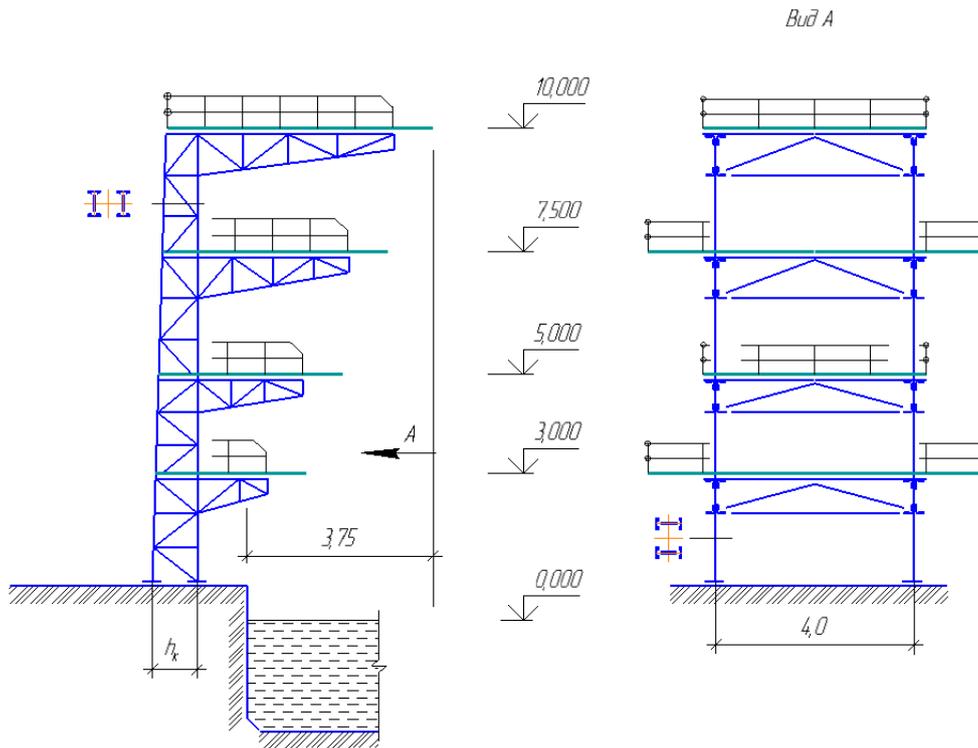


Рис. 5.11. Вышки для прыжков в воду в виде консольно-рамной системы

5.4. Другие типы вышек

– Геодезические: являются геодезическими сигналами; они предназначены для установки геодезических инструментов (теодолитов) на высоте, обеспечивающих непосредственную видимость на смежные знаки, находящиеся на расстоянии 5÷50 км. На рис. 5.12, а приведена геодезическая вышка высотой от 6 до 15 м. В этом случае геодезический инструмент устанавливают под пирамидой на обычном штативе. На рис. 5.12, б показана вышка для сложных сигналов на высоте от 16 до 55 м.

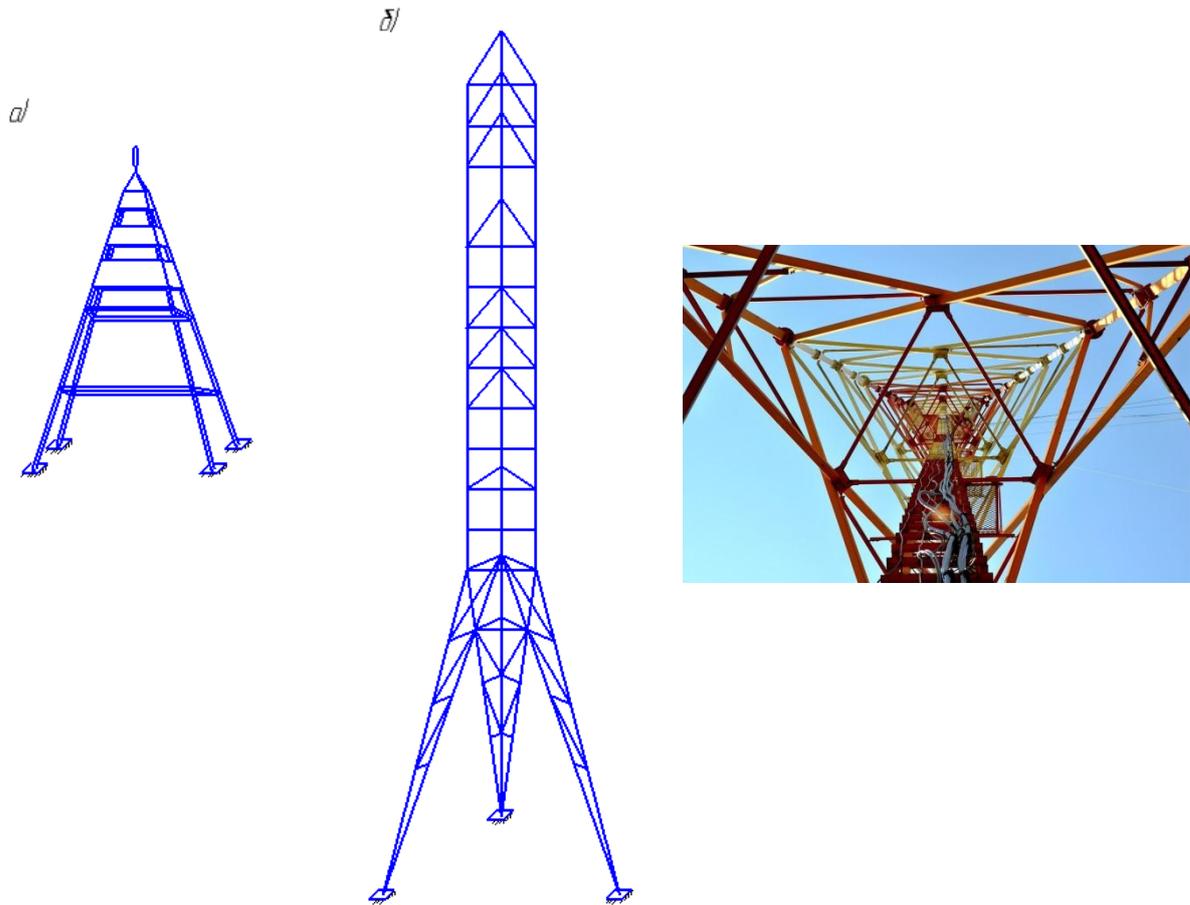


Рис. 5.12. Геодезические вышки

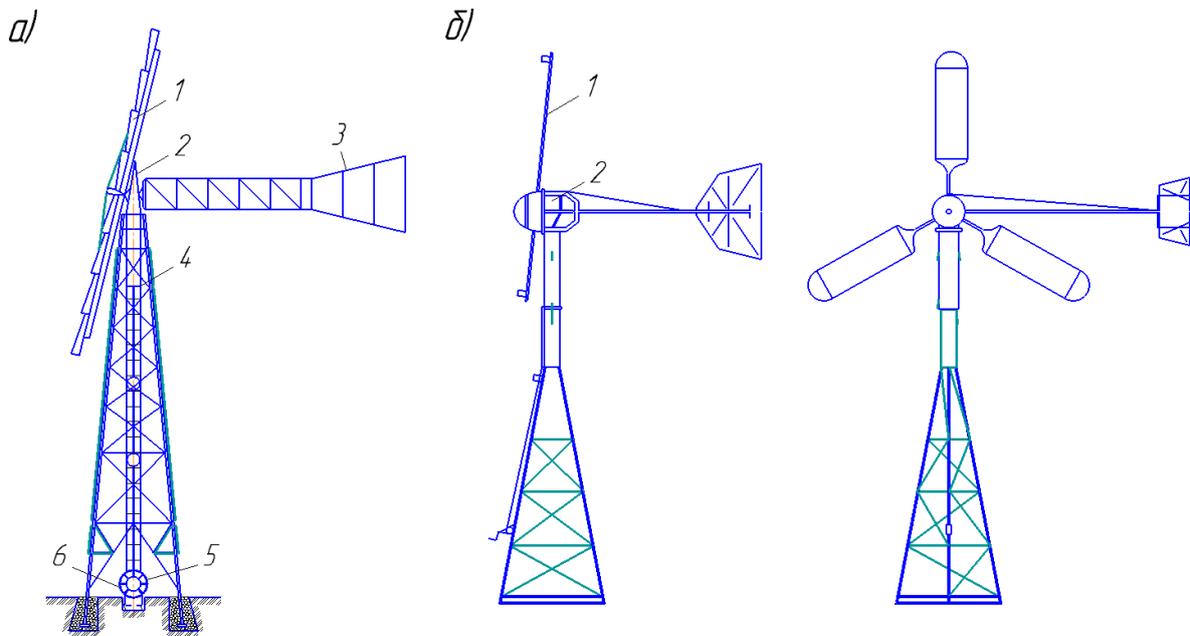


Рис. 5.13. Опора ветросиловой станции:

a – с вертикальной трансмиссией; *б* – с расположением узлов в головке;
 1 – ветроколесо; 2 – верхний редуктор; 3 – хвостовое оперение;
 4 – вертикальный вал; 5 – нижний редуктор; 6 – рабочая машина

– Вышки ветровых двигателей: предназначены для преобразования энергии ветра в электроэнергию. На рис. 5.13 показана опора ветросиловой станции, на которой устанавливают крыльчатые ветродвигатели. На рис. 5.14 показана вышка, у которой к стволу закреплен подкос, который опирается на кольцевой фундамент, снабженный щитом-флюгером для возможности передвижения по кольцевому пути при изменении направления ветра.

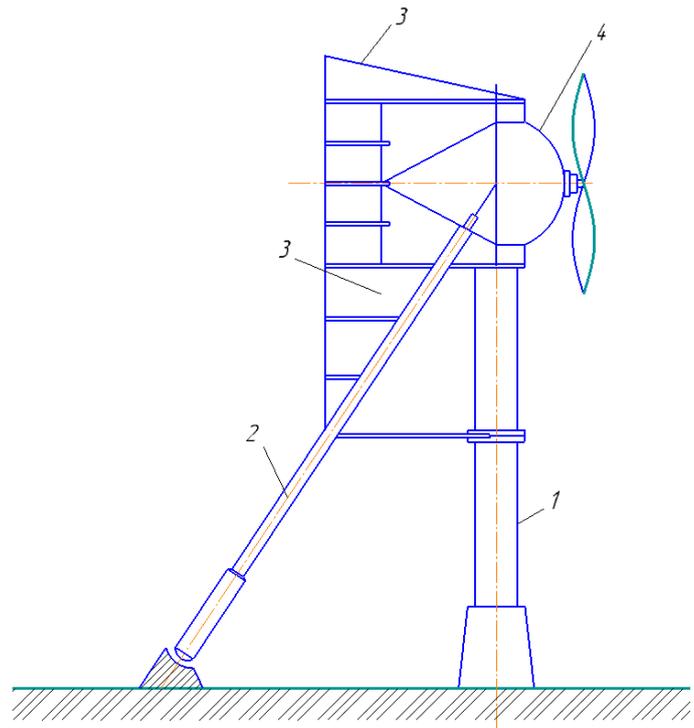


Рис. 5.14. Ветродвигатель с подкосом
 1 – ствол; 2 – подкос с кольцевым фундаментом; 3 – щит-флюгер; 4 – двигатель вращения

– Аэродромные вышки: используются для глissадных радиомаяков, огней подхода, осветительных устройств на перронах, в местах стоянки самолетов в аэропортах (рис. 5.15).

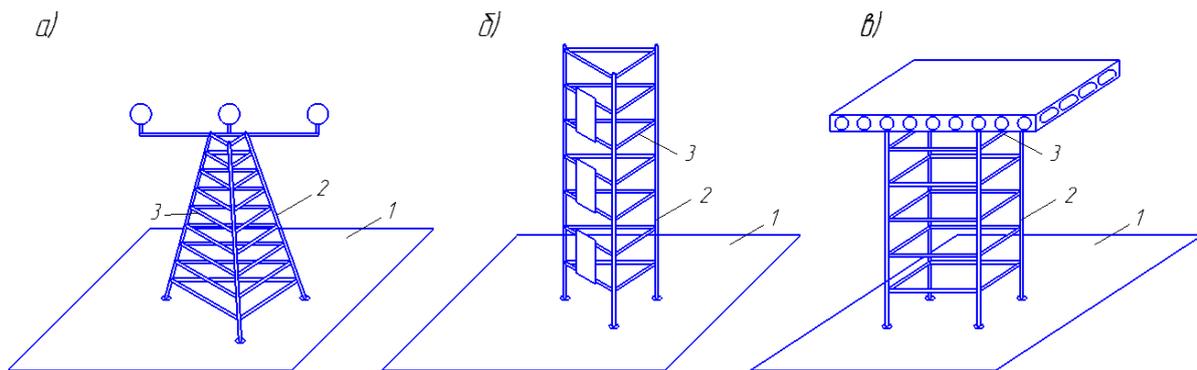


Рис. 5.15. Многосекционные аэродромные вышки:
 а – вышка огней подхода; б – вышка антенны глissадного радиомаяка; в – вышка для освещения перрона или мест стоянки; 1 – опорный фундамент; 2 – ствол; 3 – горизонтальные связи

– Высотные аэрометрические вышки: предназначены для исследования пространственной структуры воздушных потоков (рис. 5.16).

– Вышки лесника: служат для наблюдения за лесными массивами и обнаружения источников возгорания (рис. 5.17).

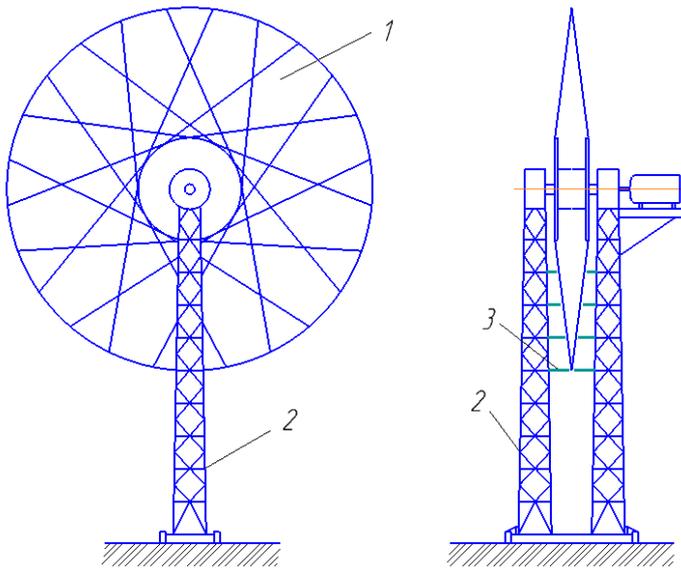


Рис. 5.16. Аэрометрическая вышка:
1 – пространственная система; 2 – высотная опора; 3 – площадки обслуживания метеоприборов

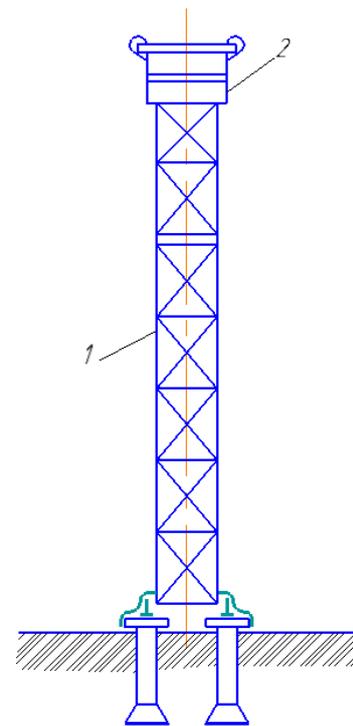


Рис. 5.17. Вышка лесника: 1 – ствол; 2 – смотровая кабина

6. ВОДОНАПОРНЫЕ БАШНИ

6.1. Общая характеристика водонапорных башен

На рис. 6.1 приведены общие виды конструктивных схем башен. Они являются накопительными емкостями и служат для хранения запаса и регулирования подачи воды от насосных станций к потребителям, обеспечивая требуемое давление в сети в часы максимального водоразбора и во время остановки насосов.

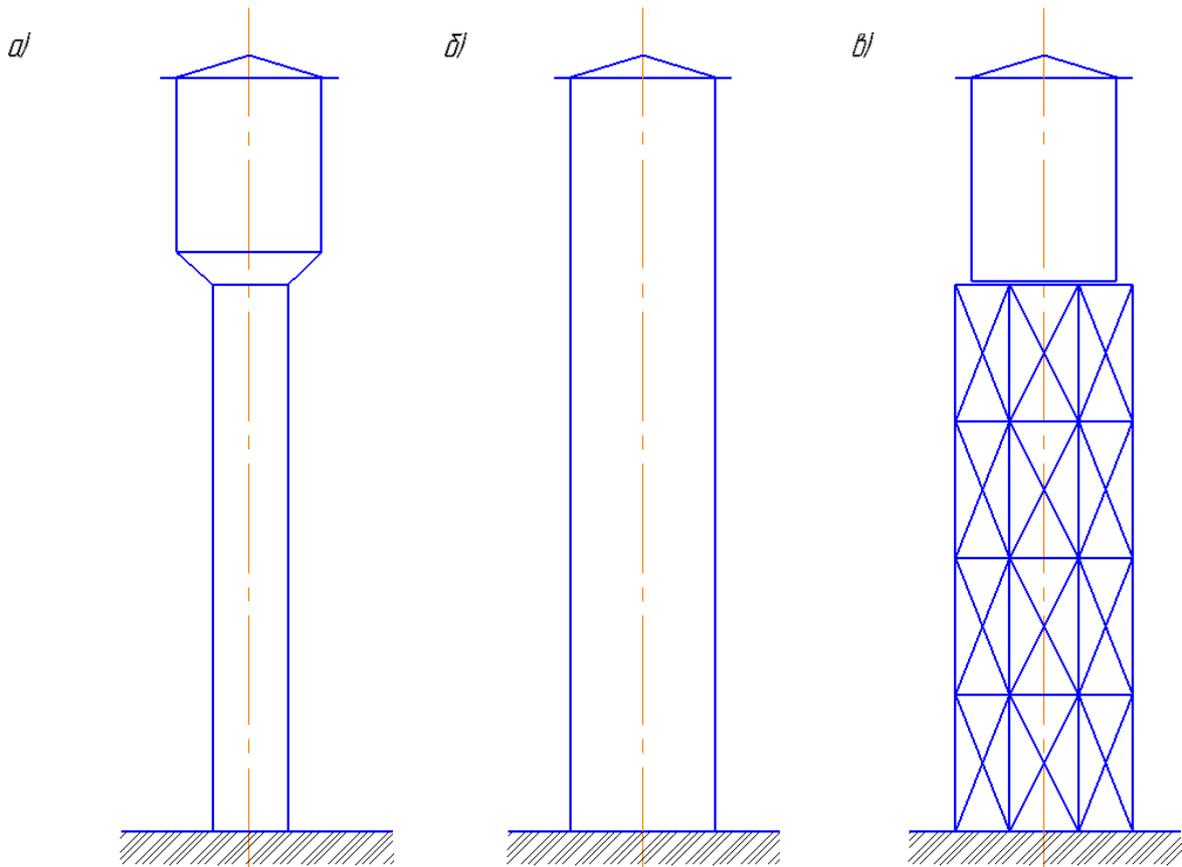


Рис. 6.1. Конструктивные схемы водонапорных башен:
а, б – со сплошным стволом; *в* – со сквозным стволом

Водонапорная башня состоит из резервуара (бака) и поддерживающей конструкции (ствола). Объем резервуара и высоту водонапорной башни назначают из технологических расчетов в проекте водоснабжения.

Оборудование башни состоит из напорно-разводящего провода, переливной и спускной труб. От насосной станции по трубопроводу вода поступает в нижнюю часть башни. Этот же трубопровод служит для отвода воды из башни потребителям. Переливная труба заканчивается на наибольшем уровне воды в баке. Для полного опорожнения бака предусмотрена спускная труба – грязевая.

Тип резервуара зависит от вместимости, высоты башни, заданной разности верхнего и нижнего уровней воды в баке, других условий.

Ствол водонапорной башни может быть сплошным в виде вертикальной цилиндрической оболочки (рис. 6.1, *а, б*) или сквозной конструк-

ции (рис. 6.1, в). Сквозная опора состоит из 4...12 колонн, по периметру бака.

Корпус бака – вертикальная оболочка, цилиндрическая с плоским или пространственным дном. Опираие бака на колонны – через опорное кольцо; если дно плоское, то – на балочную клетку.

6.2. Конструкции элементов водонапорной башни

Основным вопросом проектирования водонапорной башни является выбор типа и размеров резервуара, объем которого может быть от 10...5000 м³ при высоте ствола от 10...45 м и диаметре бака в пределах 2...25 м, высоте бака – 4...13 м и толщине листов в пределах 5÷12 мм.

Пространственное дно проектируют в виде или конического, или сферического, или эллипсоидального.

На рис. 6.2, а показано эллипсоидальное дно, оно не вызывает в опорном кольце сжимающих усилий, но более трудоемко в изготовлении. Сферическое дно (рис. 6.2, б) проще в изготовлении, но вызывает в опорном кольце сжимающие усилия. Глубину сферического дна принимают около 1/6 диаметра бака.

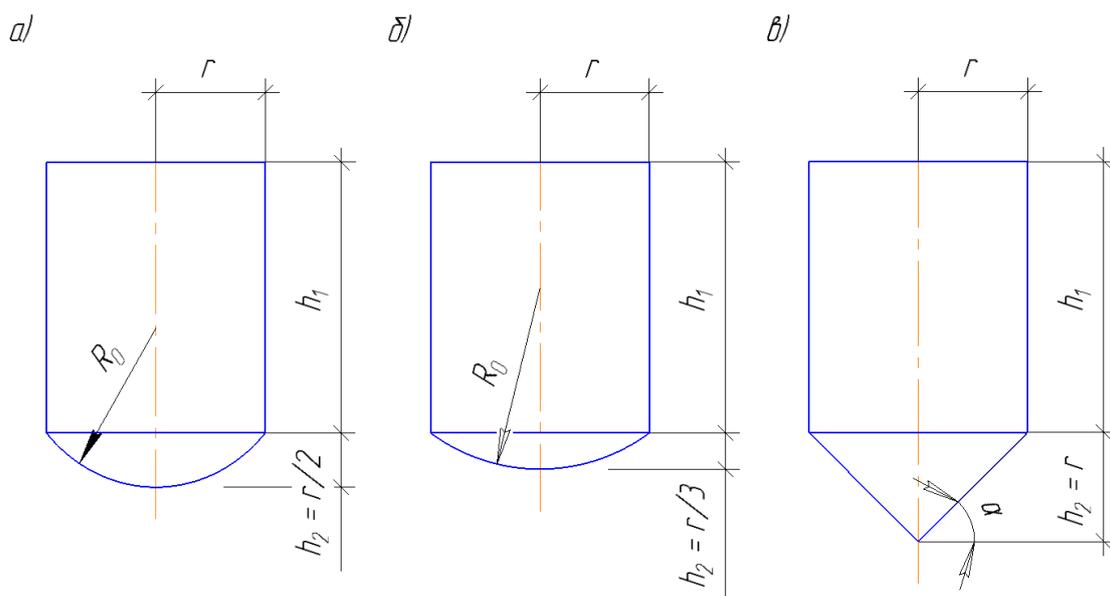


Рис. 6.2. Схемы резервуаров с пространственным дном:
 а – эллипсоидальным; б – сферическим; в – коническим

Коническое днище изготавливается проще, однако весовые показатели его хуже, чем у других днищ.

Кровля бака обычно пологая: коническая или сферическая со стрелкой подъема $1/15$ диаметра корпуса.

6.3. Основы расчетов

Корпус бака (цилиндрическую оболочку) рассчитывают, как вертикальный цилиндрический резервуар на гидростатическое давление воды.

Днища рассчитывают в зависимости от формы (эллипсоидальное, сферическое или коническое) по теории и рабочим формулам соответствующих оболочек, получая меридиональные (σ_1) и кольцевые (σ_2) напряжения [1, стр. 218...219].

Опорное кольцо – (рис. 6.3; 6.4) рассчитывают на осевые сжимающие усилия от опорных реакций днища. Подробные рабочие формулы для проверки опорного кольца на прочность, устойчивость и сложное НДС с учетом кручения приведены в [1, стр. 219...221].

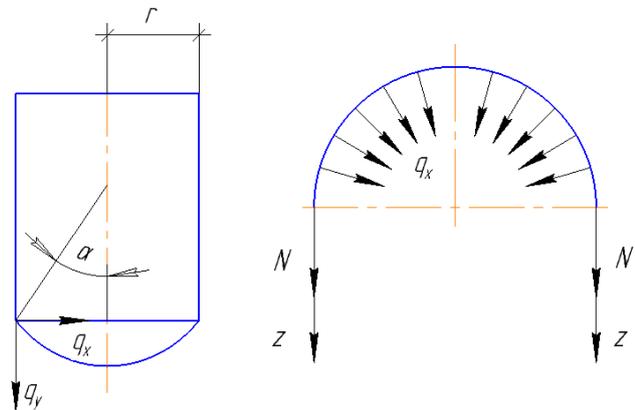


Рис. 6.3. К расчету опорного кольца

Анкерные болты ствола башни рассчитывают при пустом резервуаре от горизонтальных нагрузок ветра на растягивающее усилие (N_p).

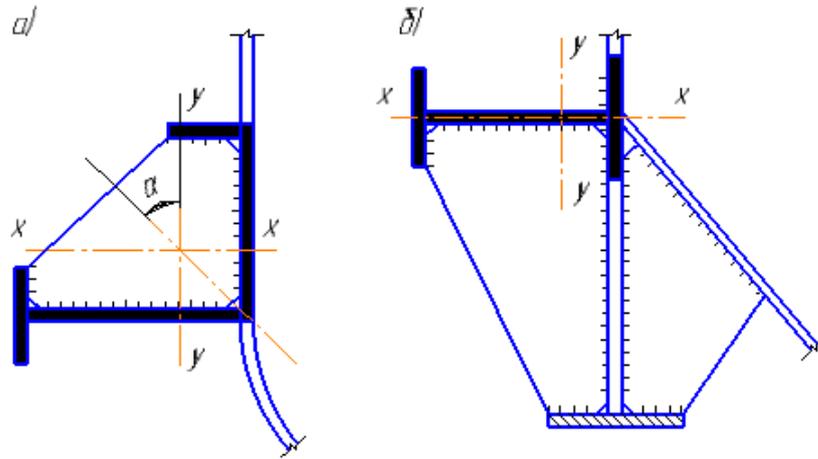


Рис. 6.4. Конструкции опорных колец, со сферическим (а) и с коническим (б) днищами

Узлы водонапорной башни: на рис. 6.5, 6.6 приведены основные узлы водонапорных башен системы Рожновского, которые получили широкое распространение при объемах 15; 25; 50 м³ и высоте 12; 15; 18 м. В этих башнях бак не имеет днища, переходя своей конической частью в цилиндрическую опору, заполняемую водой. Днище башни системы Рожновского крепят к фундаменту (рис. 6.6) шарнирно на болтах.

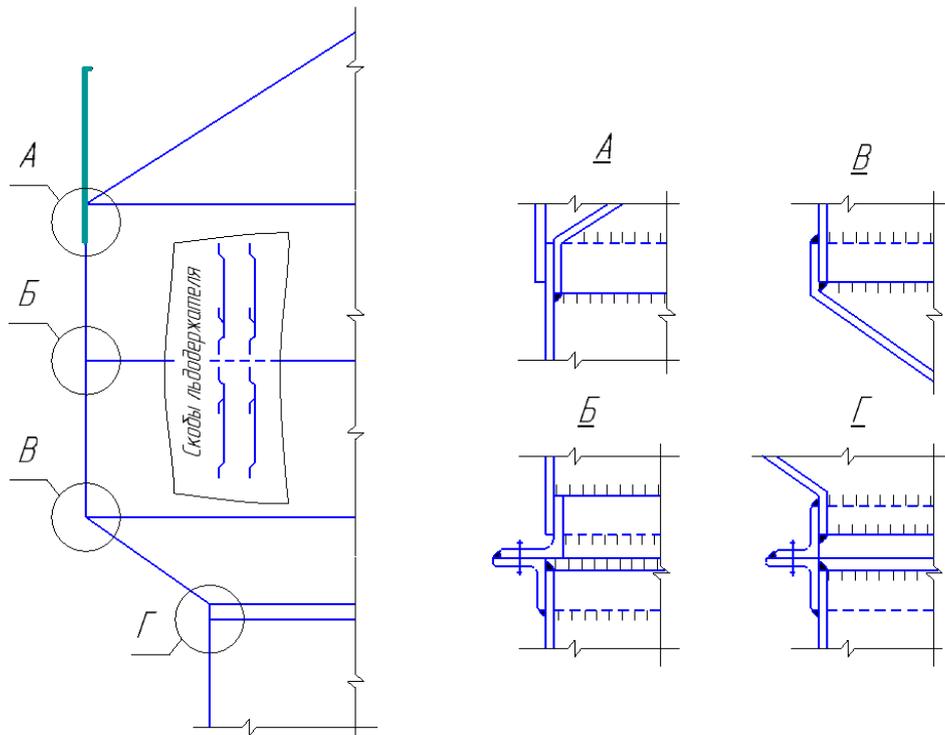


Рис. 6.5. Узлы башни конструкции Рожновского

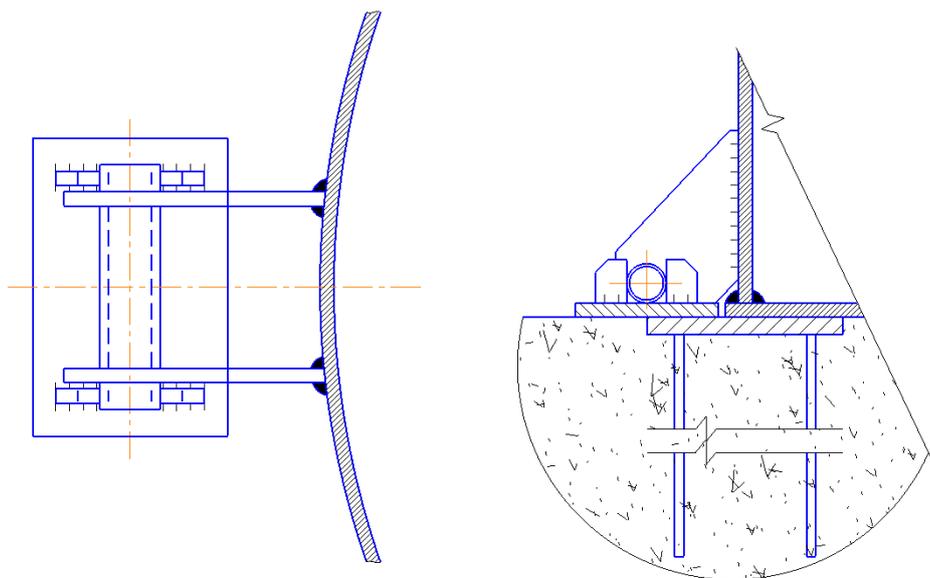


Рис. 6.6. Опорный узел башни

7. ГРАДИРНИ

7.1. Общая характеристика

Это гидротехнические сооружения для охлаждения воды атмосферным воздухом в оборотных системах водоснабжения ТЭС, АЭС и других предприятий, работа оборудования которых связана с отводом большого количества теплоты.

Они выполняются в двух вариантах:

- испарительные;
- с поверхностными теплообменниками (радиаторными).

В испарительных градирнях передача теплоты от воды к воздуху происходит за счет испарения, что обеспечивает более глубокое снижение температуры.

В градирнях с радиаторными теплообменниками передача теплоты от воды к воздуху осуществляется через стенку радиаторов за счет теплопроводности материала радиаторов и конвекции.

Испарительные градирни делят на три основных типа:

- 1) открытые (атмосферные), в которых для потока воздуха через ороситель используется ветер и конвекция воздуха (рис. 7.1).

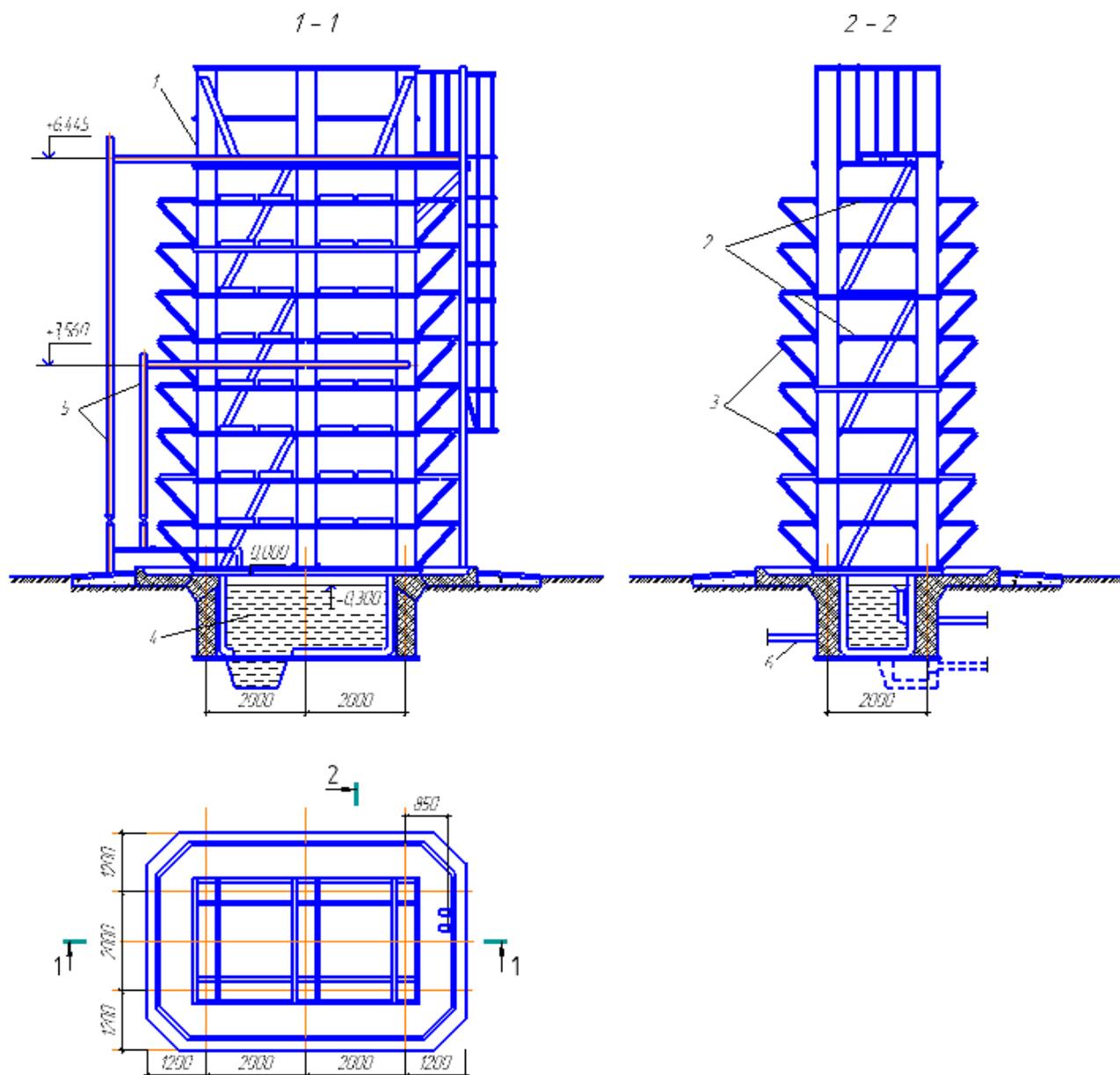


Рис. 7.1. Схема открытой капельной грядирни:

1 – несущий каркас; *2* – оросительное устройство; *3* – воздухонаправляющие жалюзи; *4* - водосборный бассейн; *5* – водораспределительная система; *6* – отводящий водовод

- 2) вентиляторные грядирни с механической тягой воздуха (рис. 7.2).
3) башенные грядирни с естественной тягой воздуха (рис. 7.3).

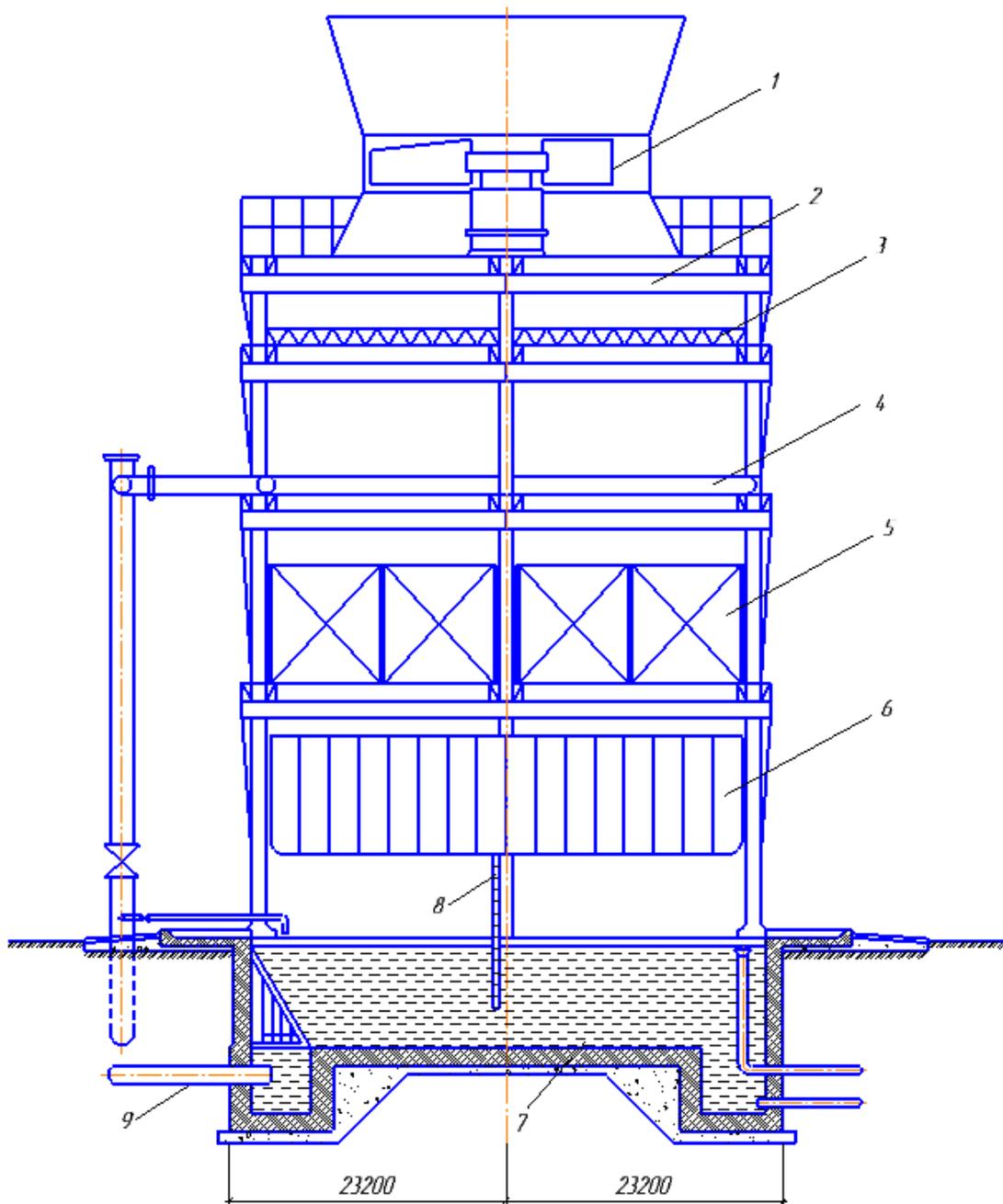


Рис. 7.2. Схема вентиляторной противоточной градирни:
 1 – вентилятор; 2 – несущий каркас; 3 – водоуловитель;
 4 – водораспределительная система; 5 – оросительное устройство;
 6 – воздуходувные окна; 7 – водосборный бассейн;
 8 – ветровая перегородка; 9 – отводящий водовод

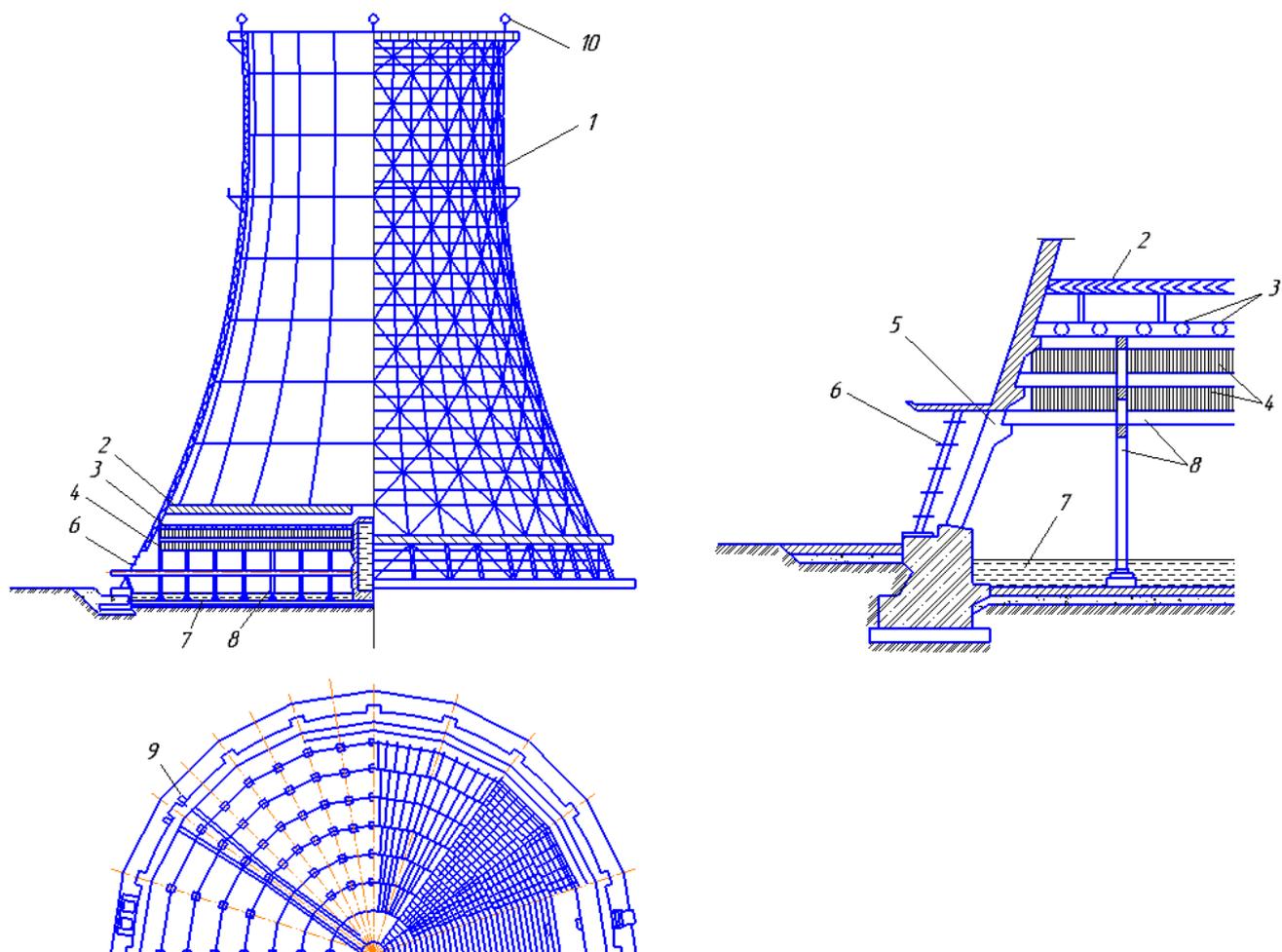


Рис. 7.3. Башенная противоточная градирня:

1 – каркас вытяжной башни; 2 – водоуловитель; 3 – водораспределительная система; 4 – оросительное устройство; 5 – воздухорегулирующее устройство; 6 – воздуходувные окна; 7 – водосборный бассейн; 8 – каркас оросителя; 9 – подводящий водовод; 10 – светоограждение

Открытые градирни предназначены для систем с небольшим расходом оборотной воды ($10 \dots 500 \text{ м}^3/\text{г}$). Для них характерен высокий охлаждающий эффект, простота строительных конструкций и условий эксплуатации. Недостаток – ограничение размещения на незастроенных территориях (площадках), сильно продуваемых ветром.

Вентиляторные градирни рекомендуется применять в системах оборотного водоснабжения, требующих устойчивого и глубокого охлаждения воды.

Башенные градирни являются с технологической точки зрения наиболее рациональным типом охладителей большой производительности (10...100 тыс. м³/г). Высоты башенных градирен >100 м. На рис. 7.4 приведен пример башенной градирни $H = 151$ м.



Рис. 7.4. Башенная градирня $H = 151$ м с обшивкой из алюминиевых волнистых листов

По признаку создания поверхностного охлаждения испарительные градирни подразделяются на следующие типы:

- а) путем разбрызгивания воды соплами (брызгальные градирни);
- б) с оросительными устройствами, которые могут быть капельного типа (теплопередача происходит с поверхности капель воды);
- в) пленочного типа (теплопередача с поверхности водяной пленки, образующейся на щитах оросителя);
- г) смешанного капельно-пленочного типа.

По признаку направления движения воздуха в оросителе по отношению к движению воды градирни устраивают с **противоточным движением** воздуха (вода – сверху вниз, воздух – снизу вверх); с **поперечным**

движением воздуха (вода – сверху вниз, воздух – в горизонтальном направлении); **со смешанным** поперечно-противоточным движением воздуха.

Основной показатель градирни – площадь оросительного устройства в горизонтальном сечении, которая составляет 4÷6 тыс. м².

Разработан проект сверхмощной градирни с площадью орошения 9400 м². Высоты вытяжной башни таких градирен – 90; 110; 150 м при выходных диаметрах 43; 55; 73 м соответственно.

7.2. Конструкции башенных градирен

- вытяжные башни;
- оросительные башни;
- водосборные бассейны.

Вытяжные башни – отводят насыщенный пар вверх. В зависимости от производительности имеют разные конструктивные формы. Их выполняют из дерева, железобетона или стали. На рис. 7.3 показана башня со стальным каркасом, имеет форму геометрии, приближенную к гиперболоидной. На рис. 7.5 приведены градирни с предварительно напряженными оболочками с подвеской к вертикальному пилону. Фундаменты под каркас башен – столбчатые из монолитного или сборного железобетона.

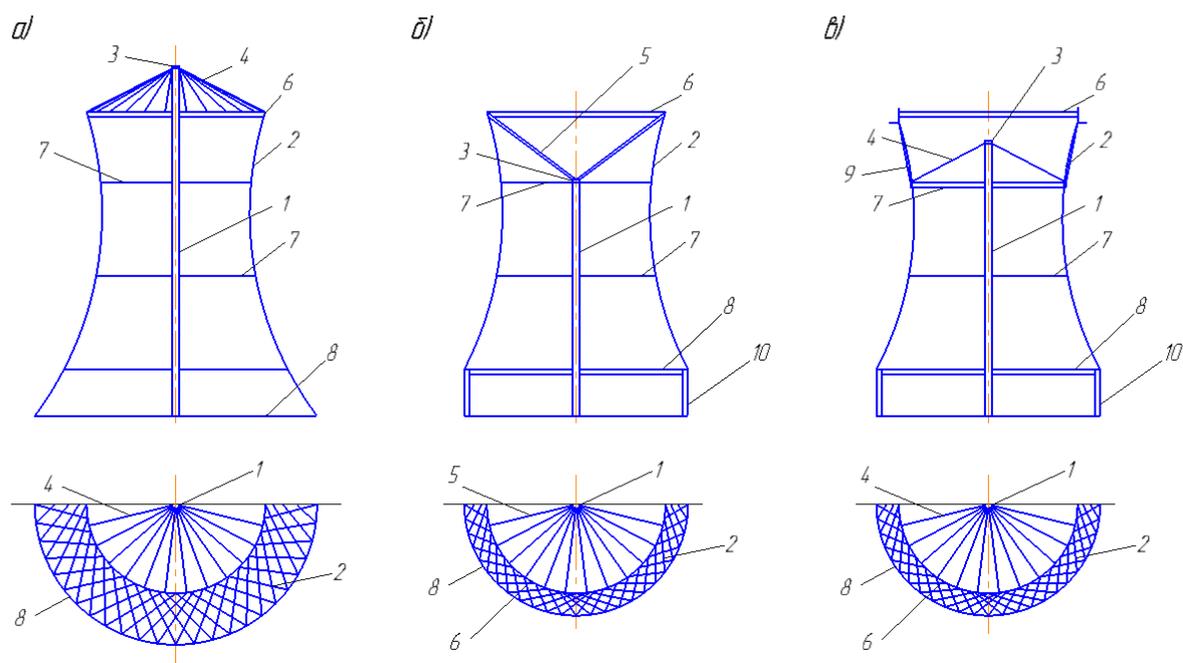


Рис. 7.5. Схема сетчатых оболочек башенных градирен с одним пилоном:

a – с растянутыми элементами крепления верхнего кольца жесткости к пилону; *б* – то же, со сжатыми элементами; *в* – то же, с комбинированным креплением; 1 – пилон; 2 – сетчатая оболочка; 3 – оголовок пилона; 4 – тяги подвески; 5 – подкосы; 6 – верхнее кольцо жесткости; 7 – промежуточное кольцо жесткости; 8 – нижнее кольцо жесткости; 9 – дополнительные стойки верхней зоны башни; 10 – колонны-направляющие нижнего кольца жесткости

Башни со стальным каркасом и с обшивкой его изнутри деревом, асбестоцементом или алюминием, полимерными листами имеют преимущество по ТЭП.

Оросительные башни – состоят из опорного железобетонного каркаса, заполненного деревянными рейками в капельном оросителе или щитами в пленочном оросителе. Щиты – из дерева или асбестоцементных плит, или из полимерных материалов.

Водосборные бассейны – располагают под оросителем. Они имеют глубину 2 м, выполняются, как правило, из монолитного железобетона. Стенки и днище покрывают гидроизоляцией.

7.3. Материалы для градирен

Выбор материала для башенных градирен определяется спецификой их работы в условиях 100% влажности и температуры от +45⁰С до -40⁰С.

В наиболее тяжелых условиях эксплуатации находятся внутренние поверхности обшивки. Кроме того, циркуляционную воду хлорируют.

Сталь для каркасов башен градирен принимают по нормам с учетом групп конструкций:

- гр. 1 – ригеля, балки, фермы – в вентиляторных градирнях;
- гр. 2 – балки покрытий и перекрытий в элементах несущего каркаса;
- гр. 3 – колонны и стойки открытых градирен, опорные плиты колонн, конструкции, поддерживающие оросители;
- гр. 4 – фахверк, связи, ограждение, лестницы.

При этом для групп конструкций 1÷3 следует принимать сталь С345, С245 (ВСтЗпс6), С255 (ВСтЗсп5, 18Гпс).

Дерево – применяют для щитов обшивки. При этом следует применять древесину сосны или лиственницы не ниже II сорта. Для продления сроков службы дерева применяют антисептирование.

Асбестоцемент.

Асбестоцементные листы применяют для обшивки вытяжных башен, ветровых перегородок, щитов оросительного устройства и водоуловителей.

Наружная обшивка башен находится в наиболее неблагоприятных условиях эксплуатации. Ее выполняют из волнистых листов усиленного профиля. Для защиты от расслоения их пропитывают стойкими составами. На рис. 7.6 приведены варианты крепления обшивки к каркасу. Для уплотнения стыков листов применяют битумную мастику.

Алюминий – также применяют для наружной обшивки башен градирен. Используют волнистые листы алюминия толщиной 1,2...1,4 мм при

длине волны 125 мм и высоте 35 мм. Между собой листы соединяют болтами по типу асбестоцементных листов (рис. 7.6).

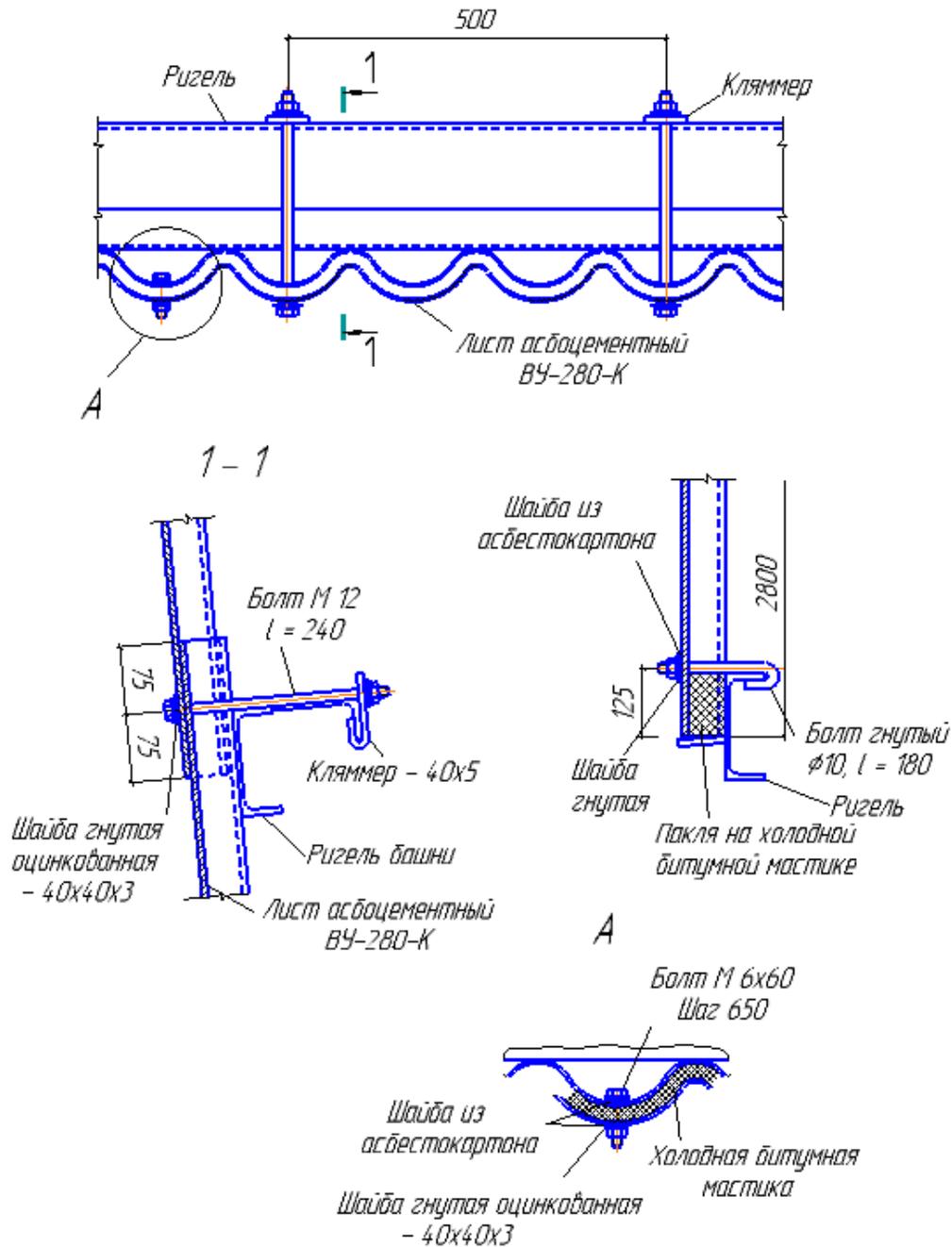


Рис. 7.6. Крепление обшивки из асбестоцементных листов к каркасу башенной градирни

Пластмассовые материалы – применяют для обшивки вытяжных башен, щитов оросительных устройств, водоуловителей, ветровых перегородок, трубопроводов систем водораспределения и разбрызгивающих уст-

ройств. Требования – прочность, невозгораемость, долговечность, химическая стойкость к хлорированной воде и щелочам. Для герметизации стыков применяют специальные клеи.

Крепежные детали – должны быть защищены от коррозии. Обычно их оцинковывают.

7.4. Антикоррозионная защита стальных конструкций

Дополнительные меры, кроме обозначенных выше, сводятся к следующему:

- иметь доступ для осмотров и повторной защиты от коррозии;
- применять прокатные или гнутые одиночные профили сплошного сечения;
- не использовать односторонние и прерывистые швы;
- обеспечить герметичность трубчатых элементов.

7.5. Основы расчета башенных градирен

Расчет выполняют на следующие нагрузки:

- **постоянные** от обшивки и каркаса; принимают на основе проектного опыта, а также по сортаменту;
- **снеговые** – принимают по действующим нормам с учетом снижающих коэффициентов [1, стр. стр.247];
- **от наледи** – $1 \dots 2 \text{ кН/м}^2$, прикладывают на основные ригели;
- **ветровая нагрузка** – по нормам как сумма статической и динамической (пульсирующей) ветрового напора [1, стр. стр.247].

На рис.7.7 приведен график значений аэродинамического коэффициента «С» по полупериметру башни [1, стр. стр.248].

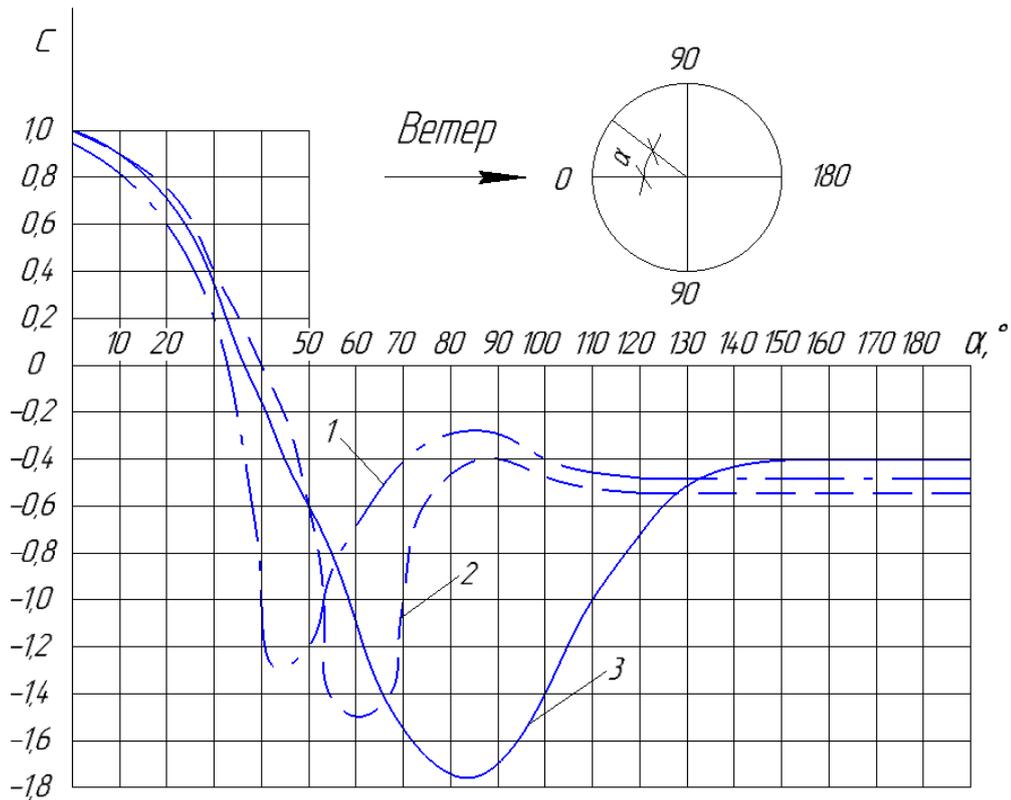


Рис. 7.7. Эпюры распределения аэродинамического коэффициента «С» по полупериметру башни:

1 – для каркасно-обшивной пирамидальной восьмигранной формы;
 2 – то же, для двенадцатигранной; 3 – то же, для гладкой цилиндрической, конической и гиперболической форм

При расчете башни на ветровую нагрузку рекомендуют рассматривать два варианта загрузки:

- действие ветра на грань башни (лобовое давление);
- на ребро (угловое давление) при разных значениях «С».

Расчеты показывают, что лобовое давление ветра вызывает наибольшие усилия в стойках башни, а угловое в раскосах.

На рис. 7.8 приведен пример распределения коэффициента «С» на стойки башни и на раскосы.

На рис. 7.9 приведена конструктивная схема башни, а на рис. 7.10 – расчетная. Статический расчет башни в современных условиях целесообразно после сбора нагрузки выполнять МКЭ на ЭВМ. Конструктивный проверочный расчет по проверке I и II ПС также проще выполнять по го-

товой программе, уточняя итерациями требуемые жесткости КЭ (поперечных сечений при заданных расчетных длинах).

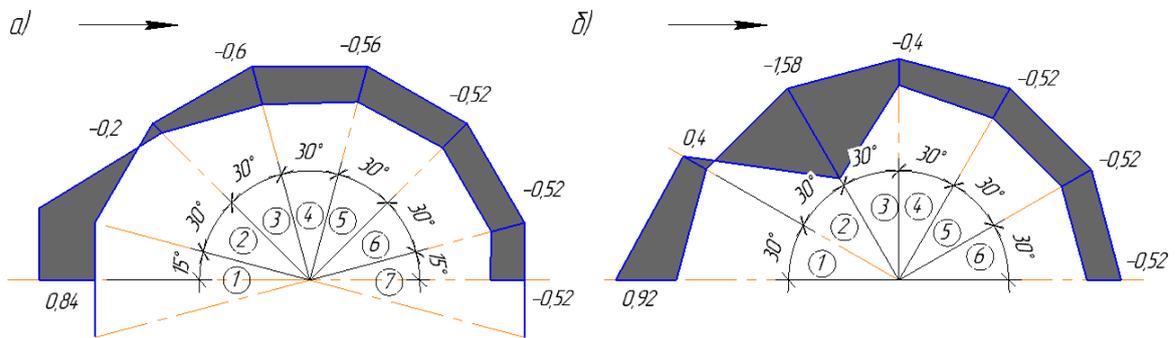


Рис. 7.8. Эпюры аэродинамических коэффициентов для двенадцатигранной башни:

a– при лобовом направлении ветра;
б– при угловом направлении ветра

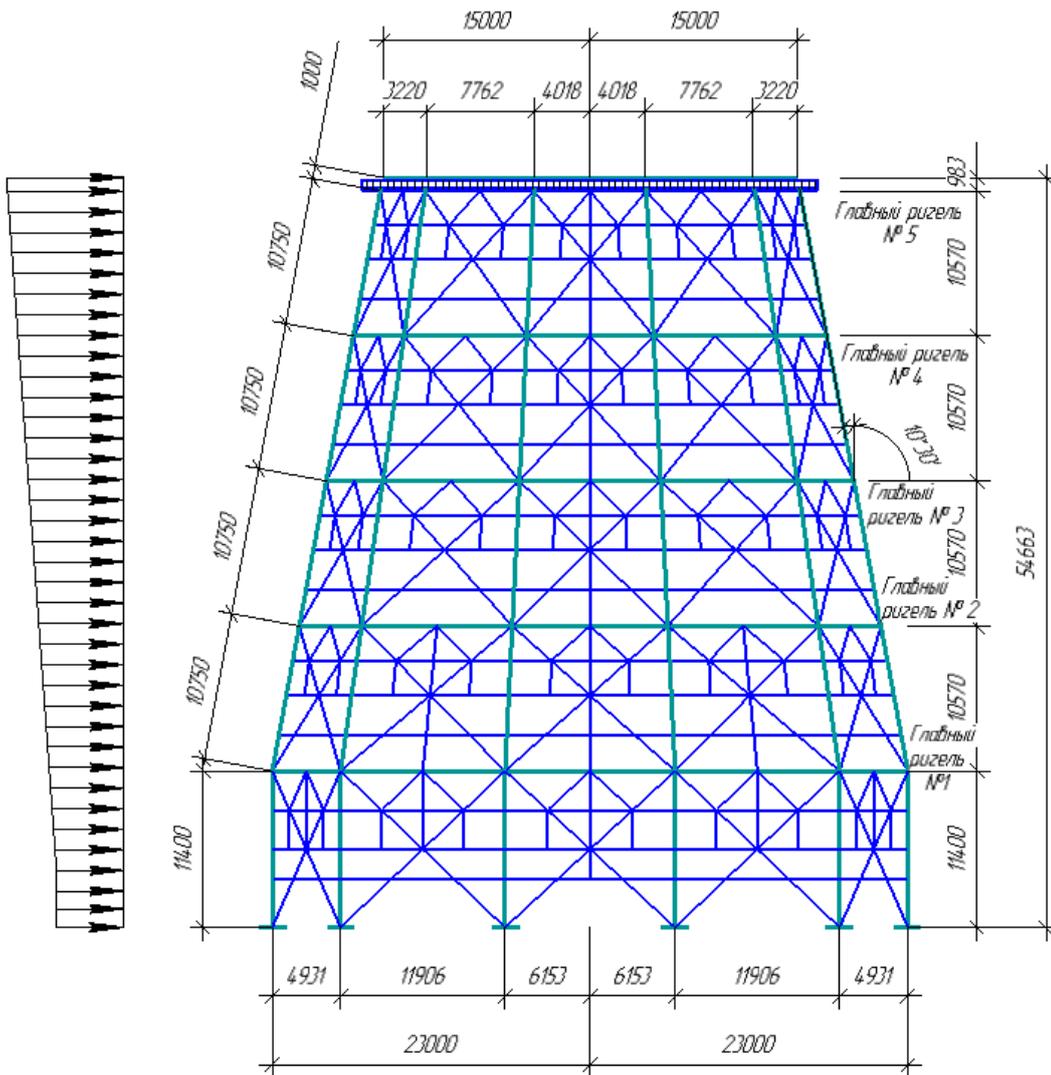


Рис. 7.9. Башня градирни площадью орошения 1600 м²

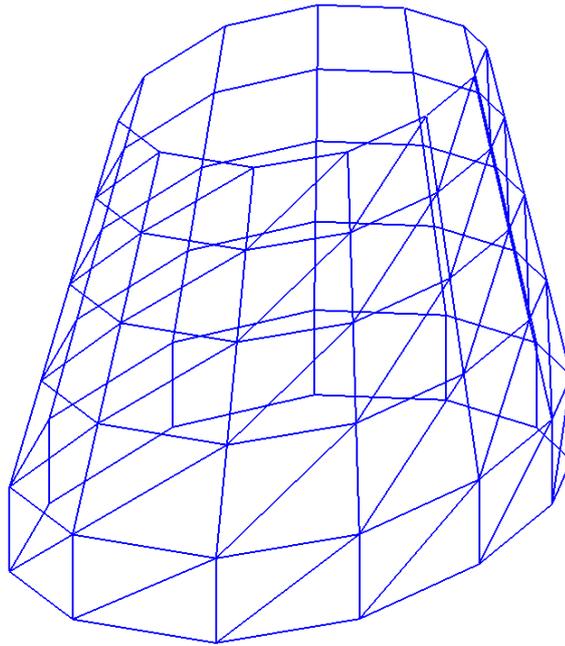


Рис. 7.10. Расчетная схема башни гадирни

8. ЛЫЖНЫЕ ТРАМПЛИНЫ

8.1. Общая характеристика

Трамплины для прыжков на лыжах можно устраивать на естественном склоне горы со средним углом наклона $20^{\circ} \dots 40^{\circ}$ или возводить из железобетона, металла, дерева.

Чаще трамплины выполняют по смешанной схеме, когда часть возводится по естественному грунту, а другая часть – искусственно с приданием профилей и размеров, пригодных для безопасных прыжков на лыжах (рис. 8.1).

Лыжные трамплины подразделяют на:

- тренировочные с длиной прыжка $L \leq 30$ м;
- трамплины для соревнований $L \leq 70$ м;
- трамплины для Олимпийских прыжков $L \leq 90$ м;
- трамплины для полета прыжками $L \leq 120$ м.

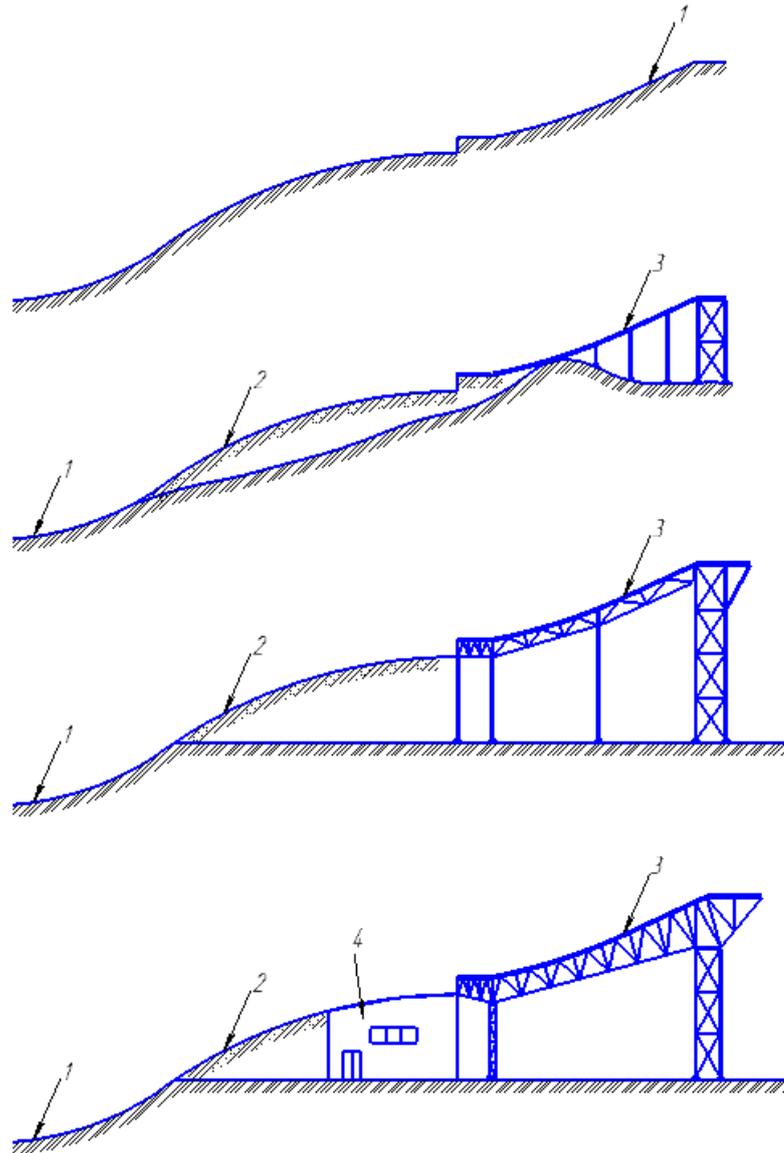


Рис.8.1 Виды лыжных трамплинов: 1 – естественный грунт; 2 – насыпной грунт; 3 - искусственное сооружение; 4 - вспомогательное сооружение

Профиль лыжного трамплина имеет несколько частей (рис. 8.2):

- 1 – стартовая площадка длиной $l_e = 4 \dots 6$ м;
- 2 – разгонная зона (E_1) длиной, определяемой радиусом $R_1 = 70 \dots 90$ м на наклонной поверхности с углом наклона $20^\circ \dots 40^\circ$, где идет набор скорости лыжником;

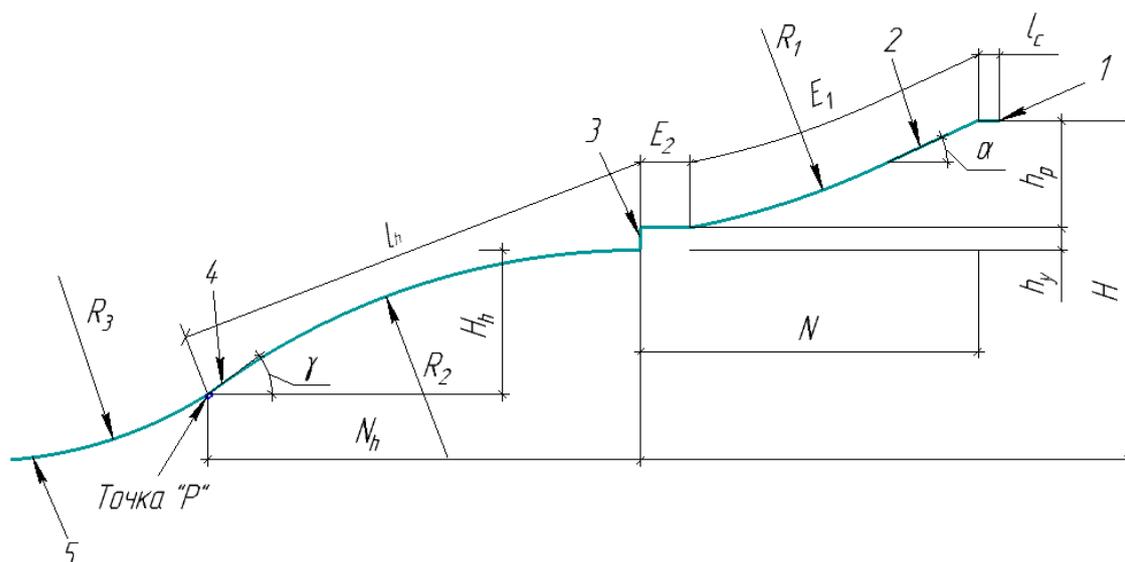


Рис. 8.2. Профиль лыжного трамплина:

1 – стартовая площадка; 2 – участок разгона; 3 – уступ трамплина;
4 – участок прыжка (полета); 5 – кривая торможения

– E_2 – длина разгонного участка по развертке длиной $(0,15 \dots 0,2)v$ м,
где v – скорость движения лыжника в конце участка E_1 ;

– 3 – уступ трамплина высотой h_y и длиной по горизонтали для отрыва $\approx 0,2v$;

– l_n – длина участка прыжка радиусом R_2 ;

R_3 – радиус приземления.

Выбор генеральных размеров трамплина производят по указаниям норм ФИС (Международной лыжной федерации).

В табл. 14.1 и 14.2 [1, стр. 253] приведены сведения по размерам генеральных параметров трамплинов в зависимости от угла наклона (α) и скорости разгона (табл. 14.1), а также для определения длины прыжков (табл. 14.2).

Покрытием лыжной дорожки, чаще всего, служит искусственный материал, позволяющий тренироваться в разное время года. При этом покрытие укладывают по деревянному настилу разгонной зоны. Лыжную дорожку по ширине ограничивают бордюром из деревянных брусков.

8.2. Компонувочные и конструктивные решения

Для пролетных строений трамплинов применяются следующие конструктивные схемы:

- балочную (безраспорную) при длине зоны разгона до 70...80 м (рис. 8.3);
- рамную при длине зоны разгона до 60...120 м (рис. 8.4);
- консольную при длине зоны разгона до 30...40 м (рис. 8.5);
- комбинированную (гибкая арка с балкой жесткости) при длине разгонной зоны более 120 м (рис. 8.6);
- комбинированную висячую при длине разгонной зоны более 150 м (рис. 8.7).

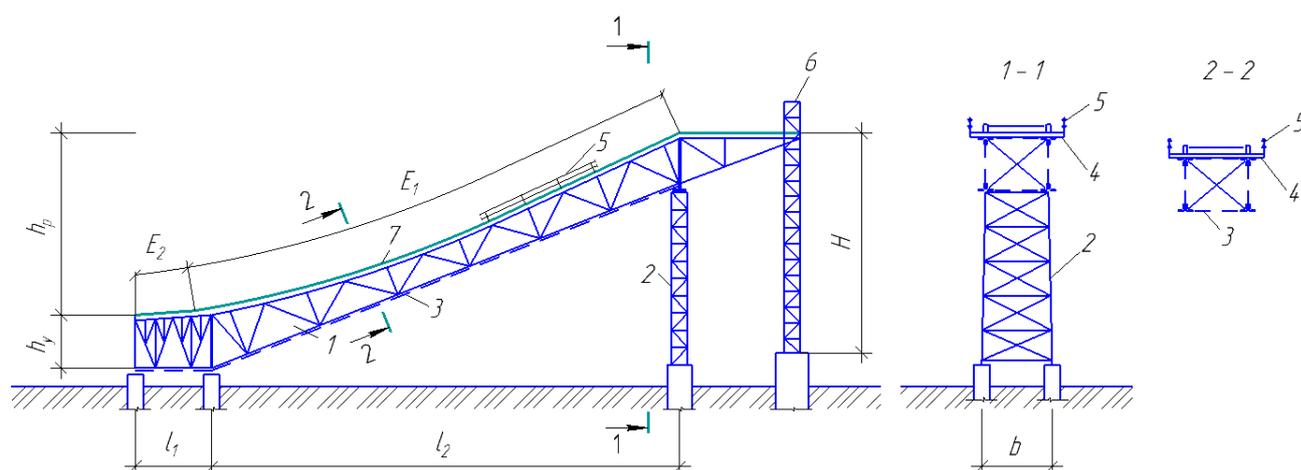


Рис. 8.3. Балочный двухпролетный трамплин:

- 1 – двухпролетные фермы легкого типа; 2 – концевая опора;
 3 – связи пролетного строения; 4 – прогоны; 5 – перила ограждения;
 6 – лифтовая шахта; 7 – деревянный настил по прогонам

Балочные схемы пролетных строений (рис. 8.3) выполняют двух или трех пролетными с консольными участками для стартовой площадки, с пролетом $l_1 \leq 40$ м.

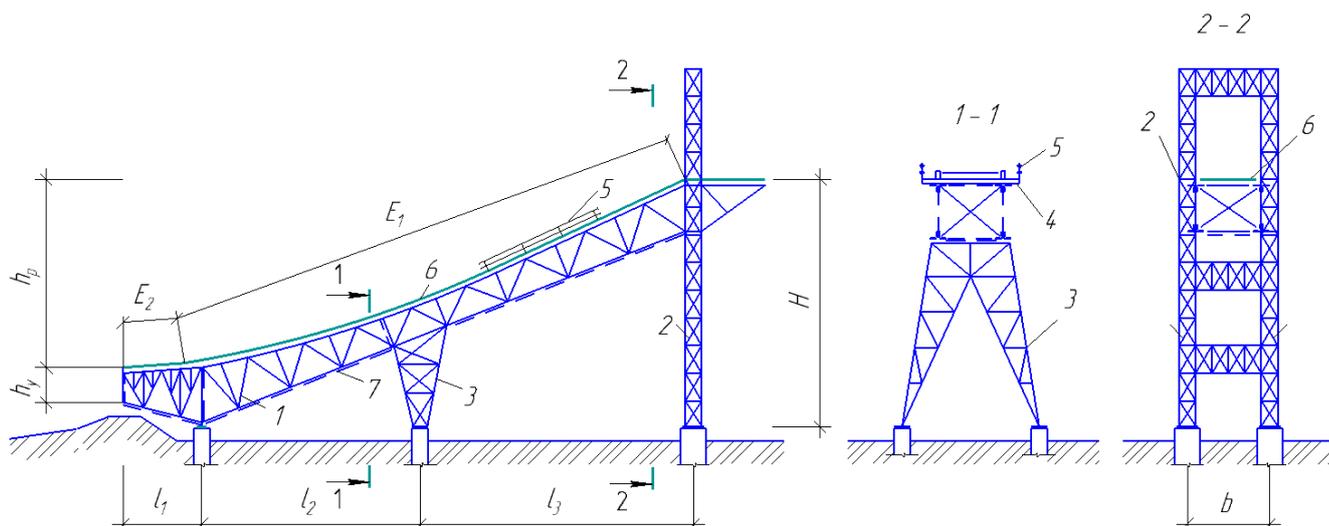


Рис. 8.4. Консольно-рамный трамплин:

- 1 – двухпролетные сквозные рамы с консольным участком ригеля;
 2 – сквозная пространственная рамная опора, совмещенная с лифтовой шахтой;
 3 – промежуточная пространственная опора; 4 – прогоны;
 5 – перила ограждения; 6 – деревянный настил по прогонам

Высота сечения неразрезной фермы в пролете принимается $(1/12 \div 1/15)l_i$, а на промежуточных опорах - $(1/6 \div 1/8)l$. Подробное описание конструкций этого типа конструктивной схемы изложено в [1, стр. 256].

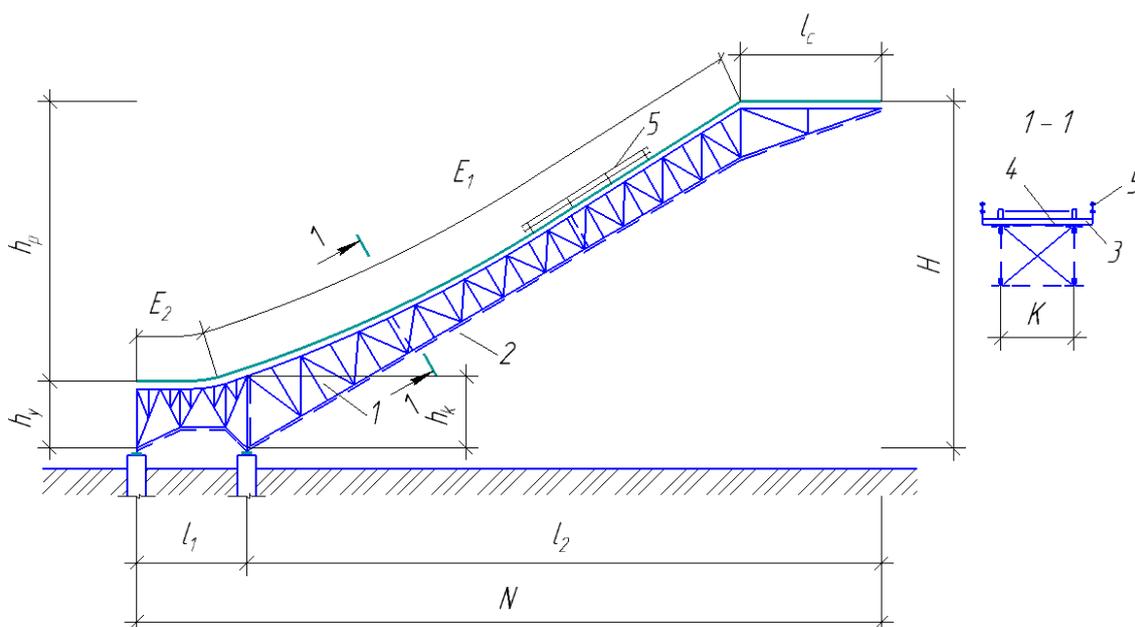


Рис. 8.5. Консольный трамплин:

- 1 – консольные фермы; 2 – связи пролетного строения; 3 – прогоны;
 4 – деревянный настил по прогонам; 5 – перила ограждения

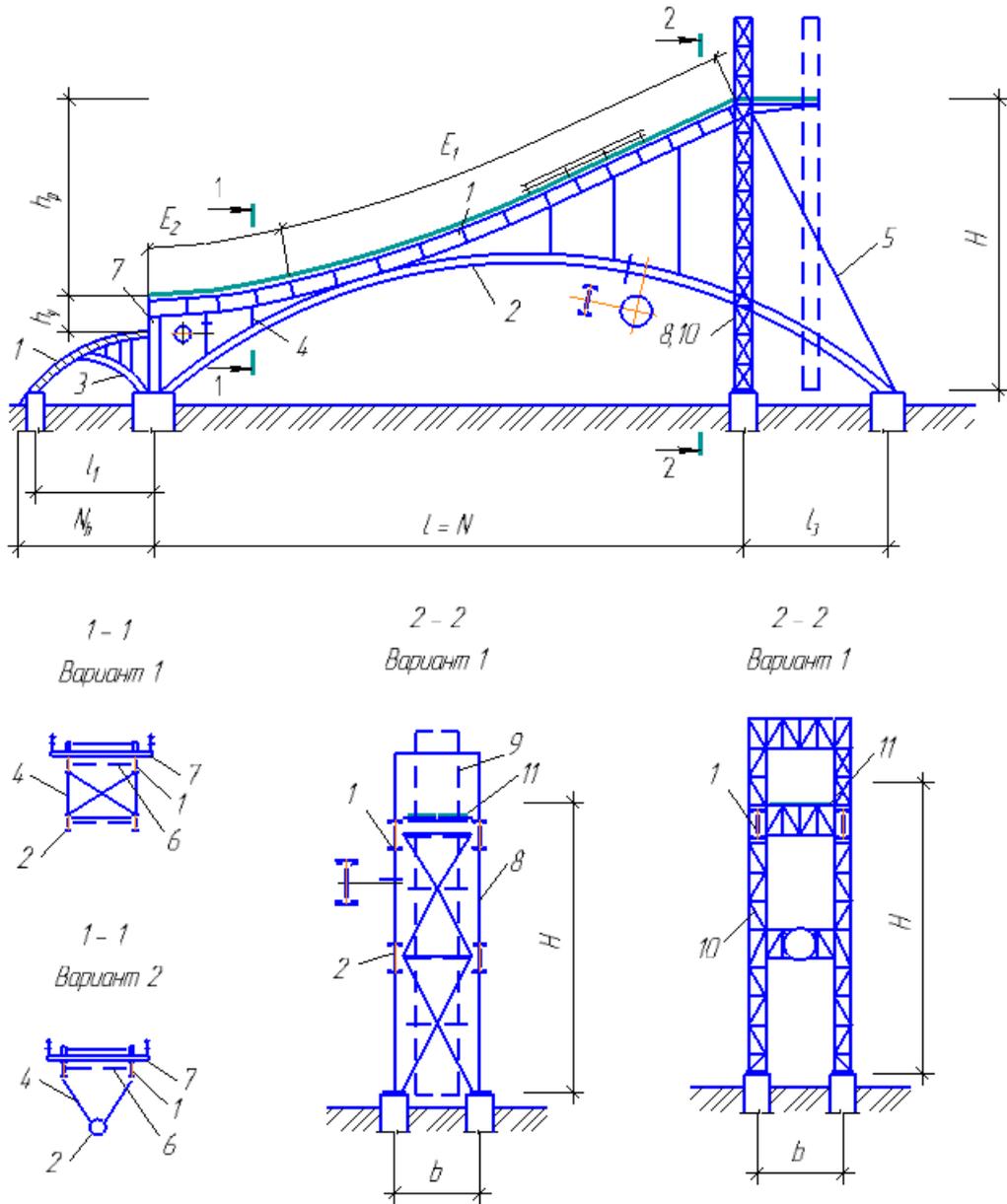


Рис. 8.6. Трамплин с комбинированной системой пролетного строения:

1 – балка жесткости; 2 – гибкая арка пролетного строения разгонной зоны;
 3 – гибкая полуарка участка прыжка; 4 – надарочные стойки; 5 – оттяжка (ванты); 6 – ветровые связи пролетного строения; 7 – прогоны; 8 – пилон (рамная плоская опора); 9 – лифтовая шахта; 10 – пилон (рамная пространственная опора, совмещенная с лифтовой шахтой); 11 – деревянный настил лыжной дорожки

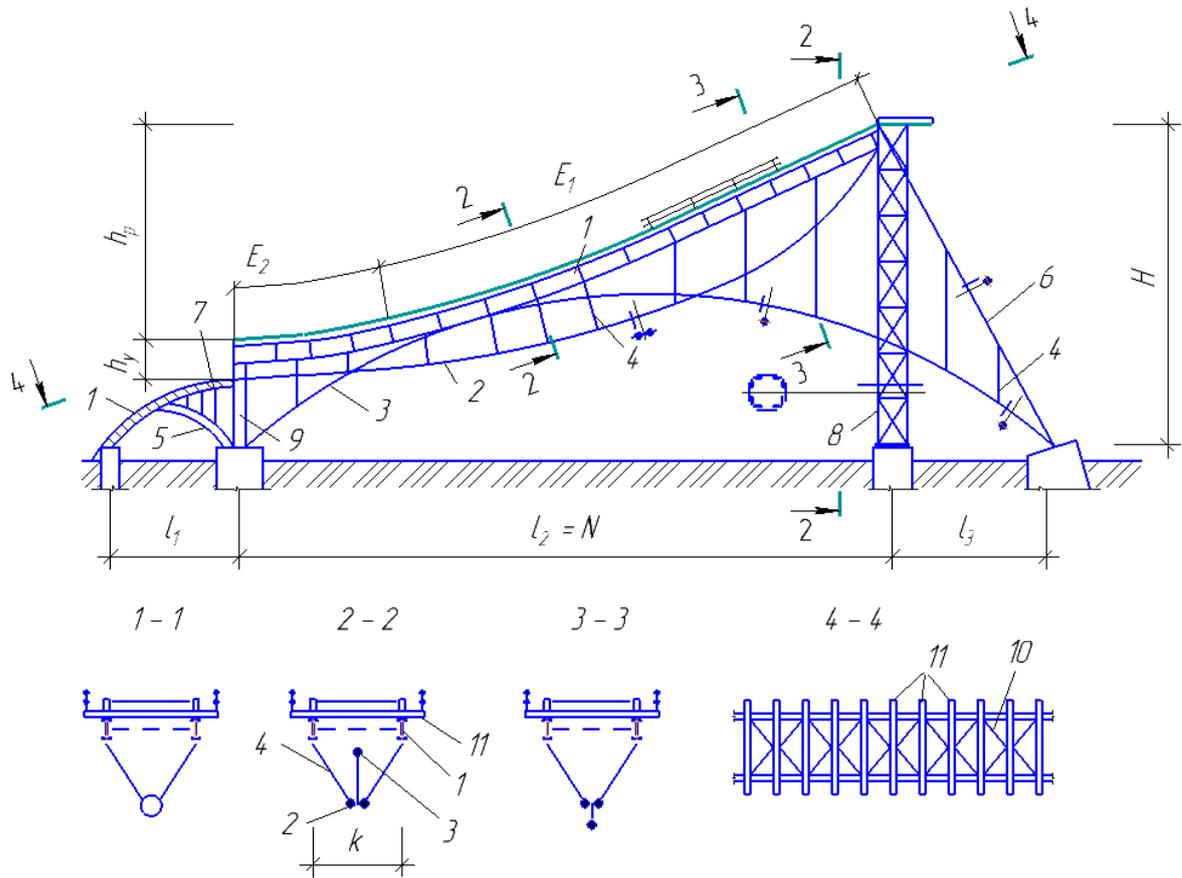


Рис. 8.7. Трамплин с висячей системой пролетного строения:

- 1 – балка жесткости; 2 – несущие тросы; 3 – стабилизирующий трос;
 4 – стойка балки жесткости к несущему и стабилизирующему тросам;
 5 – гибкая полуарка пролетного строения участка прыжка; 6 – оттяжка;
 7 – надарочные стойки; 8 – пространственная опора, совмещенная с лифтовой шахтой; 9 – опора в конце разгонной зоны;
 10 – ветровые связи пролетного строения; 11 – прогоны

Рамные, рамно-консольные и консольные системы применяют при длине разгонного участка E_1 более 60...70м (рис. 8.4); участок E_2 допускается выполнять консольным. При высоте трамплина $H > 30...40$ м участок E_1 выполняют двухпролетным с шарнирным опиранием кольцевого пролета со стороны стартовой площадки. При небольшой длине участка E_1 ($< 30...40$ м) пролетное строение можно выполнять консольным (рис. 8.5).

Комбинированные и висячие системы.

Когда общая длина разгонной зоны $E_1 > 100 \dots 120$ м, целесообразно применять комбинированную систему по рис. 8.6. Здесь высоту сечения балки жесткости принимают $(1/40 \div 1/60)$ пролета арки из условия обеспечения требуемого прогиба (f).

Гибкую арку принимают параболического очертания сплошностенчатую высотой сечения $(1/100 \div 1/120)l$.

На рис. 8.7 приведена конструктивная схема трамплина с висячей системой пролетного строения как комбинированная: растянутые гибкие нити и балки жесткости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Металлические конструкции : учебник для строительных вузов. В 3 томах. Том 3. Специальные конструкции и сооружения / под редакцией В. В. Горева. – Москва : Высшая школа, 1999. – 544 с. : ил. – ISBN 5-06-003444-5. – Текст : непосредственный.
- 2 СП 16.13330. 2017. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81* : свод правил : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 27 февраля 2017 г. № 126/пр : дата введения 28 августа 2017 г. – Москва : ЦПП, 2017. – 140 с. : ил. – Текст : непосредственный.
- 3 ГОСТ Р 54257–2010. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования : национальный стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 23 декабря 2010 г. № 1059-ст. – дата введения 2011-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2011. – 12 с. – Текст : непосредственный.
- 4 Металлические конструкции : учебник для студентов высших учебных заведений / под редакцией Ю. И. Кудишина. – 9-е изд. стер. – Москва : Академия, 2007. – 688 с. – ISBN 978-5-7695-4418-7. – Текст : непосредственный.
- 5 СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07–85* : свод правил : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 3 декабря 2016 г. № 891/пр : дата введения 4 июня 2017 г. – Москва : ЦПП, 2016. – 104 с. : ил. – Текст : непосредственный.

- 6 Соколов, А. Г. Металлические конструкции антенных устройств / А. Г. Соколов. – Москва : Стройиздат, 1971. – 240 с. : ил. – Текст : непосредственный.
- 7 Мельников, Н.П. Металлические конструкции. Современное состояние и перспективы развития / Н.П. Мельников. – Москва : Стройиздат, 1983. – 543 с., ил. – Текст : непосредственный.

Колесов Александр Иванович
Иванова Ольга Борисовна
Иванова Елизавета Валерьевна

МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ ВЫСОТНЫХ И БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Часть 4. Высотные сооружения с применением
стальных конструкций

Учебное пособие

Подписано в печать Формат 60x90 1/8. Бумага газетная. Печать трафаретная.
Уч. изд. л. 14,9. Усл. печ. л. 15,1 Тираж 100 экз. Заказ №

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
603950, Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65.
Полиграфический центр ННГАСУ, 603950, Н.Новгород, Ильинская, 65
<http://www.nngasu.ru>, srec@nngasu.ru