МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Б.К. Пергаменщик, И.А. Лесников

ГАЗООТВОДЯЩИЕ (ДЫМОВЫЕ) ТРУБЫ ТЭС: ВОЗВЕДЕНИЕ, РЕМОНТ, РЕКОНСТРУКЦИЯ, ДЕМОНТАЖ

Учебное пособие

Москва 2014

УДК 621.311.22
ББК 31.37+38.728
П26

Р е ц е н з е н т ы:
главный специалист технического отдела
ОАО «Институт Теплоэлектропроект» *Б.Ф. Лейпунский*;
доктор экономических наук, кандидат технических наук *С.Б. Сборщиков*,
профессор кафедры технологии, организации и управления
в строительстве ФГБОУ ВПО «МГСУ»

Пергаменщик, Б.К.
П26 Газоотводящие (дымовые) трубы ТЭС: возведение, ремонт, реконструкция, демонтаж : учебное пособие / Б.К. Пергаменщик, И.А. Лесников ; М-во образования и науки Росс. Федерации, Моск. гос. строит. ун-т. Москва : МГСУ, 2014. 200 с.
ISBN 978-5-7264-0859-0

Рассмотрены вопросы, связанные с возведением, ремонтом, реконструкцией и демонтажом высоких железобетонных и металлических газоотводящих (дымовых) труб тепловых электростанций: общие проблемы сооружения, возведение фундаментов, железобетонных оболочек в подъемно-переставной и скользящей опалубке, устройство футеровки. Значительное место уделено монтажу газоотводящих металлических стволов, расположенных внутри железобетонных оболочек, а также сооружению труб с металлическим каркасом. Представлены современные материалы и способы ремонта футеровок, железобетонных оболочек. Выделены технологии демонтажа. Использованы проектные материалы, в том числе по трубам, построенным в последнее десятилетие.

Для студентов старших курсов строительных специальностей, обучающихся по направлению 271101 «Строительство уникальных зданий и сооружений», магистрантов. Представленные материалы будут полезны инженерно-техническим работникам строительно-монтажных организаций, могут быть использованы инженерами смежных направлений, участвующих в сооружении тепловых электростанций.

УДК 621.311.22
ББК 31.37+38.728

ISBN 978-5-7264-0859-0
© ФГБОУ ВПО «МГСУ», 2014

Оглавление

ПРЕДИСЛОВИЕ 5

ЧАСТЬ I. ВОЗВЕДЕНИЕ ТРУБ 7

Глава 1. Общие конструктивные схемы и принципиальные методы возведения 7

Глава 2. Сооружение фундаментов 13

Глава 3. Возведение железобетонных оболочек труб 19
§ 3.1. Возведение оболочек в скользящей опалубке (СО) 19
§ 3.2. Возведение оболочек в подъемно-переставной опалубке (ППО) 32

Глава 4. Футеровочные работы 39
§ 4.1. Футеровка кирпичом 39
§ 4.2. Футеровка из полимерцементного бетона 40

Глава 5. Монтаж металлических газоотводящих стволов труб с железобетонной оболочкой 42
§ 5.1. Монтаж ствола при реконструкции трубы высотой 180 м на Шатурской ГРЭС 42
§ 5.2. Монтаж ствола при реконструкции трубы № 1 высотой 270 м на Костромской ГРЭС 51
§ 5.3. Монтаж ствола при реконструкции трубы № 3 высотой 120 м на ТЭЦ-21 Мосэнерго 57
§ 5.4. Монтаж стволов четырехствольной трубы № 2 высотой 250 м на Костромской ГРЭС 64
§ 5.5. Монтаж стволов трехствольной трубы высотой 150 м на ТЭЦ-26 Мосэнерго 67

Глава 6. Возведение металлических труб 74
§ 6.1. Возведение одноствольной трубы высотой 180 м на ГРЭС-24 Мосэнерго (Рязанская ГРЭС) 74
§ 6.2. Возведение одноствольной трубы высотой 120 м на ТЭЦ-26 Мосэнерго 83
§ 6.3. Возведение трехствольной бескаркасной трубы высотой 120 м на районной теплофикационной станции (РТС) «Крылатское» 92

Глава 7. Возведение труб с кремнебетонным ГОС 101

ЧАСТЬ II. РЕМОНТ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ТРУБ 114

Глава 8. Ремонт и реконструкция металлических труб 114

Глава 9. Ремонт и реконструкция железобетонных труб 115
§ 9.1. Ремонт футеровок 116
§ 9.2. Ремонт железобетонных оболочек 117
§ 9.3. Реконструкция железобетонных труб 124

ЧАСТЬ III. ДЕМОНТАЖ ТРУБ 127

Глава 10. Демонтаж железобетонных труб 127

Глава 11. Демонтаж металлических труб 131
§ 11.1. Крановая технология демонтажа 131
§ 11.2. Такелажная технология демонтажа 131

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ 154

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 154

ПРИЛОЖЕНИЕ 155
К § 5.1 (Шатурская ГРЭС) 155
К § 5.2 (Костромская ГРЭС, труба № 1) 164
К § 5.3 (ТЭЦ-21 Мосэнерго, труба № 3) 166
К § 6.1 (Рязанская ГРЭС) 168
К § 6.2 (ТЭЦ-26, ПГУ) 175
К § 9.1 (ремонт футеровок) 181
К § 9.3 (реконструкция железобетонных труб) 183
К гл. 10 (демонтаж железобетонных труб) 184
К гл. 11 (демонтаж металлических труб) 189

ПРЕДИСЛОВИЕ

Установленная мощность электростанций в нашей стране в 2013 г. превысила 220 млн кВт. Доля тепловых электростанций составила 68 % (около 20 % — гидроэлектростанции и 12 % — атомные). Программой развития Единой энергосистемы России на период до 2018 г. предполагается ввести в строй более 40 тыс. МВт электрической мощности, в том числе 23 тыс. МВт на тепловых электростанциях.

Одно из основных и важнейших сооружений тепловой электростанции (ТЭС) — газоотводящая (дымовая) труба. Труба предназначена для рассеяния в атмосфере вредных веществ, содержащихся в продуктах сгорания органического топлива, с целью снижения их содержания в приземном слое воздуха до допустимых санитарными нормами величин. Труба, кроме того, наряду с тягодутьевыми машинами участвует в создании тяги.

Высота труб на некоторых электростанциях превышает 400 м. Их стоимость на крупных электростанциях составляет весомую долю от общего объема строительно-монтажных работ. Затраты на трубу растут примерно пропорционально квадрату ее высоты. Работы по возведению трубы в некоторых случаях могут определять продолжительность сооружения всей электростанции. Характерный пример: в 1970-е гг. три газомазутных энергоблока по 800 МВт на Запорожской ГРЭС работали несколько месяцев по временной схеме выброса газов из-за задержки в сооружении трубы.

Труба раньше остальных объектов ТЭС выходит из строя, нуждается в ремонте и реконструкции. Ущерб в этом случае может быть значительным, особенно на паросиловых станциях, так как здесь к трубе обычно подсоединено не менее 3—4 паровых котлов.

Конструктивные схемы труб, используемые материалы, местные условия и возможности строительно-монтажных организаций весьма разнообразны, что предопределяет использование самых разных технологий возведения труб, их ремонта, реконструкции и демонтажа.

В пособии сделана попытка изложить не только общие принципы, способы возведения, ремонта, реконструкции и демонтажа труб, но и на конкретных примерах отразить особенности организации и технологии производства работ. Технологические процессы в ряде примеров детализированы, представлены в виде отдельных операций.

При подготовке пособия использованы, наряду с известными литературными источниками, также современные (2005—2011 гг.) проекты производства работ.

Гл. 2—4, 7—10 пособия подготовлены профессором кафедры строительства объектов тепловой и атомной энергетики МГСУ Б.К. Пергаменщиком, гл. 1, 5, 6, 11 — Б.К. Пергаменщиком и ведущим инженером отдела ПОС ОАО «ГИПРОНИИАВИАПРОМ» И.А. Лесниковым. В гл. 9 использованы материалы, предоставленные генеральным директором ООО «ИПЦ «ИнтерАква» В.Л. Чернявским, а в гл. 10 — материалы фирмы «Ольвекс». В работе над пособием принял активное участие магистрант кафедры строительства объектов тепловой и атомной энергетики МГСУ В.В. Белов. Графический материал подготовлен с привлечением студентов старших курсов института гидротехнического и энергетического строительства МГСУ.

Авторы выражают глубокую благодарность рецензентам — главному специалисту ОАО «Институт «Теплоэлектропроект» Б.Ф. Лейпунскому и д.э.н., проф. МГСУ С.Б. Сборщикову за внимательное отношение к рукописи и ценные замечания.

Авторы признательны работникам издательства МИСИ—МГСУ и особенно Фофановой И.Н. за тщательное редактирование пособия и подготовку рукописи к изданию.

Профессор кафедры строительства объектов
тепловой и атомной энергетики МГСУ
Б.К. Пергаменщик

ЧАСТЬ I. ВОЗВЕДЕНИЕ ТРУБ

Глава 1. ОБЩИЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ СХЕМЫ И ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ВОЗВЕДЕНИЯ

Возведение труб сопряжено с большим объемом строительно-монтажных работ (СМР), высокими трудозатратами, значительной продолжительностью, в некоторых случаях соизмеримой со сроками строительства всей ТЭС.

Технологии сооружения этих сложных объектов достаточно разнообразны и в значительной степени определяются типом трубы, ее конструктивными особенностями. В отечественной практике наибольшее распространение получили следующие виды труб:

1) монолитная железобетонная труба (труба с железобетонной оболочкой) с футеровкой из кирпича; варианты с вентилируемым кольцевым (в плане) зазором между железобетонной оболочкой и футеровкой, с наличием или отсутствием теплоизоляции;

2) монолитная железобетонная труба с футеровочным слоем из полимербетона;

3) монолитная железобетонная труба с расположенным внутри одним или несколькими теплоизолированными цилиндрическими газоотводящими стволами (ГОС) из металла при проходном зазоре между железобетонной оболочкой и стволом (стволами);

4) монолитная железобетонная труба с внутренним ГОС из кремнебетонных панелей;

5) труба с металлической решетчатой башней и одним или несколькими металлическими ГОС внутри нее;

6) труба, состоящая из 3—4 металлических теплоизолированных ГОС, объединенных по высоте связями в жесткую самонесущую конструкцию. Часто каждый ствол такой трубы состоит из наружной несущей металлической оболочки и внутреннего металлического ГОС — конструкция «труба в трубе». Диаметр внутренней трубы,

которая обычно выполняется из коррозионно-стойкой стали и теплоизолируется, на 400…600 мм меньше наружной;

7) труба с ГОС из полимерных материалов (стеклопластик, стеклоуглепластик, стеклофаолит). Выполняется как с внутренним ГОС в монолитной железобетонной оболочке, так и с наружным в металлическом каркасе. Такое решение получило широкое распространение при реконструкции монолитных железобетонных труб с расположенным внутри одним или несколькими теплоизолированными цилиндрическими ГОС из металла.

В данном пособии не рассматриваются конструктивные схемы и технологии возведения относительно невысоких (менее 100 м) труб, среди которых кирпичные, сборные железобетонные, а также трубы с металлическим ГОС на оттяжках. На крупных теплоэнергетических установках такие трубы, как правило, не применяются.

Конструктивные особенности трубы и связанные с ними организация и технология возведения зависят от ее высоты, вида топлива и состава отходящих газов, технико-экономических оценок вариантов. Не последнюю роль играют местные условия, наличие тех или иных машин и механизмов, возможность их расстановки при выполнении СМР. Последнее особенно важно при реконструкции трубы в условиях действующей станции, ограничениях в решении стройгенпланов.

Наиболее трудоемкие и сложные процессы при возведении трубы связаны с железобетонной монолитной оболочкой, металлической башней, ГОС и, в некоторой степени, с фундаментом. Именно этим работам в пособии уделено основное внимание.

При возведении фундаментов, которые, как правило, выполняются из монолитного железобетона, используются практически все известные технологии бетонирования: «кран — бадья», бетононасос, подача бетона непосредственно из автобетоносмесителя с эстакады, конвейерный способ. Выбор схемы зависит от объемов работ, наличия у строительно-монтажной организации соответствующих технических средств, сроков строительства. Объем бетона, укладываемого в фундамент высокой железобетонной дымовой трубы крупной ГРЭС, может достигать 8000 м^3 и более.

Железобетонная оболочка трубы возводится в подъемно-переставной (ППО) или скользящей опалубке (СО). Использование последней

приводит к существенному сокращению продолжительности работ, однако накладывает определенные ограничения на конструктивное решение трубы и предъявляет повышенные требования к организации ведения бетонных работ, среди которых — бесперебойная подача материалов, непрерывная трехсменная работа и др.

У железобетонной трубы с футеровкой из кирпича процессы сооружения железобетонной оболочки и устройства футеровки разведены в пространстве. С опережением на 30—50 м по высоте возводится оболочка, а вслед за ней футеровка. Иногда футеровочные работы начинаются после завершения оболочки. Если футеровка выполнена из полимербетона, то она и оболочка возводятся одновременно, в одной опалубке с разделением мелкоячеистой сеткой конструкционного бетона и футеровки.

У железобетонной трубы с ГОС (одним или несколькими) процессы возведения оболочки и стволов разделены во времени: сначала возводится железобетонная несущая часть, затем с ее использованием монтируют стволы. При этом сами ГОС могут быть запроектированы самонесущими, с опиранием на фундамент, или подвесными, подвешиваемыми к оболочке. Имеет место и решение, сочетающее обе схемы. Наибольшее распространение при возведении подобных дымовых труб получила технология подращивания: на оголовке железобетонной оболочки устанавливают металлоконструкции, к которым крепится грузоподъемная полиспастная система. В трубу через проем для газоходов на специальной тележке вдвигаются секции (царги) ГОС, методом подращивания укрупняются в плети, а затем плети с помощью полиспастной системы поднимаются и крепятся к внутренним металлоконструкциям, связанным с оболочкой. Количество плетей зависит от высоты трубы, достигая 10 ед. при массе одной плети до 100—200 т. Стык между плетями оформляется с настилов рабочих площадок.

Есть также примеры монтажа ГОС сверху вниз, через устье трубы. Подача секций в этом случае осуществляется краном, который должен иметь соответствующую высоту и грузоподъемные характеристики. Плети ствола набираются в районе оголовка трубы и постепенно с использованием опять же полиспастной системы опускаются вниз. Такая технология находит применение при реконструкции трубы, когда по

тем или иным причинам необходимо сохранить подведенные к трубе газоходы.

Использование технологии «сверху вниз» возможно и для достаточно высоких труб, когда отсутствуют краны с необходимыми грузоподъемными характеристиками. В этом случае после бетонирования оболочки на оголовке трубы устанавливается (крепится к оголовку) консольный поворотный кран. Элементы крана поднимают на оголовок шахтным подъемником, который используется также для подачи и устройства металлических площадок и лестниц внутри оболочки. После выполнения этих операций подъемник демонтируется.

Канат от крюка поворотного крана через систему блоков связан с лебедкой на нулевой отметке. Секция (царга) ствола поднимается краном с наружной стороны оболочки наверх трубы, консоль крана поворачивается, после чего царга опускается внутрь оболочки и стыкуется с ранее установленной.

При этом способе все стволы внутри оболочки монтируются одновременно, до завершения их монтажа исключается возможность эксплуатации трубы.

При конструктивном решении трубы в виде несущей решетчатой металлической башни с металлическим(-и) ГОС(-ами) применяются следующие способы возведения:

1. Метод наращивания с использованием кранов. Монтируются одновременно башня — заводскими элементами или предварительно укрупненными на монтажной площадке блоками — и ствол. Основные несущие элементы башни соединяются обычно на фланцах с использованием высокопрочных болтов. Для связей и площадок применяется наряду с болтами и сварка.

Монтаж ствола осуществляется отдельными секциями высотой обычно до 6 м или после предварительного объединения нескольких секций в блок. Конструкции и площадки башни возводятся с небольшим опережением по высоте и используются для организации стыков между секциями, блоками. Данный способ позволяет возвести трубу в минимальные сроки, однако возможен только при наличии крана с высокими грузоподъемными характеристиками и свободной площадки для его установки и сборки.

Крановый монтаж находит применение и при возведении металлической трубы без башни, представляющей собой конструкцию из нескольких ГОС объединенных связями. Заводские или укрупненные перед монтажом секции стволов устанавливаются краном одна на другую с организацией стыков между ними. По мере роста стволов в высоту между ними монтируются связи, площадки обслуживания, лестницы.

Современные мобильные краны позволяют вести монтаж трубы высотой до 100—120 м и более, однако высокая стоимость машино-смены ограничивает их применение. Более экономичное решение связано с использованием стационарного самоподъемного башенного крана с креплением его башни к возведенной части трубы, но сроки строительства в этом случае возрастают.

2. Бескрановый монтаж методом подращивания ГОС с применением специальной оснастки. До начала монтажа на специально устраиваемой площадке производится доизготовление и укрупнение заводских секций. Монтажный блок теплоизолируется и, при необходимости, к нему крепится защитно-декоративный кожух. Эти же операции часто имеют место и при крановом методе монтажа путем наращивания.

Можно выделить следующие основные этапы возведения:

• монтаж опорной части несущей башни дымовой трубы на высоту 25…30 м с применением пневмоколесного или гусеничного крана сравнительно небольшой (25…50 т) грузоподъемности;

• монтаж конструкций и оборудования такелажной оснастки, грузоподъемной полиспастной системы, установка ее на верху смонтированной части башни; устройство путей подачи секций ГОС от площадки укрупнительной сборки в зону монтажа;

• подача секций ГОС и монтаж их методом подращивания при помощи полиспастной системы; монтаж ствола выполняется на высоту, бóльшую, чем у смонтированной части несущей башни;

• монтаж на обрезе верхней секции смонтированной части ГОС специально спроектированного подъемно-поворотного устройства, предназначенного для дальнейшего монтажа конструкций несущей башни;

• поочередный монтаж ГОС методом подращивания (полиспастной системой) и каркаса несущей башни методом наращивания (подъемно-поворотным устройством).

Основной особенностью такой схемы является опережающее возведение ГОС по отношению к несущему каркасу, что связано с необходимостью обеспечения разности высотных отметок ствола и башни (примерно на 1,5 высоты яруса каркаса) для возможности монтажа конструкций каркаса (плоскостными блоками и поэлементно) подъемно-поворотным устройством. По мере увеличения высоты башни на ней устраиваются дополнительные силовые площадки, на которые производится перемонтаж грузовых балок с неподвижными блоками подъемной полиспастной системы.

Для производства работ применяется специальная монтажная оснастка: полиспасты, лебедки грузоподъемностью от 5 до 18 т, специально проектируемые и изготавливаемые грузовые балки для закрепления полиспастов, поворотные грузоподъемные устройства для монтажа конструкций несущей башни и другие приспособления. При проектировании трубы и расчете прочности башни должны быть учтены нагрузки от силовых площадок.

В конструкции ствола трубы предусматривается устройство специальных строповочных узлов, к которым на монтаже закрепляют подвижные блоки грузовых полиспастов. Количество узлов зависит от грузоподъемности полиспастной системы. Кроме того, при проектировании необходимо учесть дополнительные нагрузки на верхнем обрезе ствола от монтажного подъемно-поворотного устройства и запроектировать конструкции для его установки и закрепления.

Основные преимущества данного способа монтажа:

• отсутствие затрат на аренду и эксплуатацию кранов большой грузоподъемности;

• выполнение работ по оформлению монтажных стыков секций ствола дымовой трубы (сварка, теплоизоляция, облицовка) на относительно небольшой высоте от уровня земли (обычно до 6 м);

• возможность выполнения работ в стесненных условиях площадки строительства.

Главный недостаток такой технологии — большой срок монтажа.

3. Комбинированный способ монтажа. При таком способе нижняя часть сооружения (от 1/2 до 2/3 высоты) монтируется с применением крана, а верхняя часть — с использованием специальной оснастки. Данная схема позволяет значительно сократить сроки возведения

сооружения по сравнению со схемой «чистого» подращивания, позволяет использовать краны умеренных грузоподъемных характеристик, а также сочетает в себе достоинства и недостатки перечисленных выше технологий.

Глава 2. СООРУЖЕНИЕ ФУНДАМЕНТОВ

Фундаменты труб сооружаются в монолитном железобетоне. Конфигурация, размеры, конструктивные особенности, глубина заложения фундамента зависит от высоты трубы, ее конструкции, от характеристик грунтов, залегающих в основании.

В зависимости от конструкции трубы получили распространение следующие виды фундаментов:

1. Труба с железобетонной оболочкой и футеровкой из кирпича или футеровочным слоем из полимербетона. Фундамент, как правило, проектируется в виде сплошной круглой плиты с коническим стаканом. Для высоких труб (более 200 м) изгибающие моменты на уровне подошвы фундамента от ветровых воздействий значительны. Приходится увеличивать его диаметр. Поэтому наиболее рациональным становится выполнить фундамент в виде кольцевой плиты. Такое решение было принято при строительстве трубы высотой 420 м на Экибастузской ГРЭС-2. Кольцевая конфигурация по сравнению с круглой сплошной позволила сократить расход бетона на 33 %, а стоимость работ по фундаменту — на 30 %.

Есть примеры, когда толщину плитной части кругового фундамента уменьшают путем устройства радиальных ребер. Расход бетона и арматуры снижается, однако заметно усложняется производство работ, увеличиваются трудозатраты.

2. Трубы с железобетонной оболочкой и ГОС внутри нее. В этом случае проектируется, как правило, сплошная круговая плита со стаканной частью для оболочки. На центральную часть плиты передается вся нагрузка от самонесущих стволов. В решениях с одним стволом, его верхняя часть может быть подвешена к оболочке, а нижняя часть, связанная с верхней через компенсатор, может опираться на плиту. Соединение железобетонной оболочки с фундаментом осуществляется через выпуски арматуры из стакана.

3. Трубы с металлической башней и стальными ГОС. Один или несколько стволов, как правило, самонесущие, полностью или своей нижней частью опираются на столбчатый фундамент ступенчатого типа или фундамент в виде плиты. Размер в плане такого фундамента, учитывая относительно небольшую нагрузку от стволов, невелик. При нескольких стволах фундамент в плане немного превышает габариты газоотводящей части.

При высоких трубах, когда башня имеет призматическую конфигурацию с переменным уклоном по высоте, расстояния между опорами башни в основании могут достигать нескольких десятков метров. В этом случае под каждую опору предусматривается собственный столбчатый фундамент.

Если труба относительно невысокая, то башня может быть решена в виде решетчатой призмы с постоянным сечением по высоте. Фундамент в большинстве случаев выполняется общим под опоры башни и ствол(-ы).

Возможна конструкция и в виде плиты с той или иной конфигурацией в плане, которая переходит в столбчатые элементы — опоры башни и ствола(-ов).

Связь опор металлической башни и стальных ГОС с фундаментом осуществляется с помощью анкерных болтов.

При грунтах с недостаточной несущей способностью используются различные методы закрепления, иногда замещения грунтов, но чаще всего проектируют свайные фундаменты. Последнее решение позволяет существенно уменьшить объем земляных работ, избежать (или уменьшить объем) водопонижения при высоком уровне грунтовых вод, а также сократить размеры фундамента в плане, что бывает в ряде случаев необходимо.

Рассмотрим некоторые особенности возведения фундамента дымовой трубы с железобетонной оболочкой. Организация и технология производства работ по таким фундаментам наиболее сложная. Объем бетона, укладываемого в фундамент для высоких труб тепловых электростанций с крупными энергоблоками, достигает 8000 м^3 при расходе арматуры до 100 кг/м^3. Глубина заложения фундаментов обычно 3—5 м, достигает в отдельных случаях 7 м. Средняя толщина плиты кругового фундамента 2—3 м.

После отрывки котлована последовательность работ в общем случае следующая:

1. *Устройство бетонной подготовки* толщиной 200—300 мм.

2. *Устройство гидроизоляции*. На большинстве построенных дымовых труб электростанций гидроизоляция из асфальтобетона толщиной 50 мм.

3. *Арматурные работы*. Фундаментную плиту армируют, как правило, кольцевой и радиальной арматурой, отдельными стержнями с соединением их на сварке, а в последнее время и с помощью муфт, обжимных втулок или сетками внахлест. Верхняя арматура плиты укладывается по вертикальным радиальным армокаркасам. Выпуски арматуры из стаканной части фундамента крепят вязальной проволокой к арматуре плиты. Арматура в фундаменте устанавливается обычно на всю высоту до начала бетонирования.

4. *Опалубочные работы и бетонирование*. Технология бетонирования аналогична используемой при возведении других массивных железобетонных фундаментных конструкций. Фундамент разбивается на блоки бетонирования с межблочной опалубкой из сетки с ячейками 4×4 мм или 5×5 мм, которая закрепляется на арматуре. Размер блока 200—900 м^3, определяется из условий обеспечения непрерывной укладки бетона (без рабочих швов) и зависит от возможностей бетонного завода, автотранспортных средств и мощности бетоноукладочных механизмов. Для гарантированной связи бетона между блоками бетонирования в стыках устанавливается дополнительная стержневая арматура с заходом в каждый из смежных блоков на 35—40 диаметров.

Наружная опалубка по периметру плитной части и стакана фундамента — инвентарная щитовая, а иногда несъемная.

Бетонирование большинства возведенных фундаментов осуществлялось по технологии «кран — бадья». Использовали бадьи емкостью до 2 м^3. Укладка бетона в каждый блок производилась непрерывно слоями по 400—500 мм. Уплотнение смеси — с помощью глубинных вибраторов. Использование современных эффективных пластифицирующих добавок позволяет получать высокоподвижные бетонные смеси, укладываемые без виброуплотнения.

Подачу бетона осуществляли гусеничными кранами ДЭК-251 и ДЭК-50. Например, на Экибастузской ГРЭС при бетонировании кольцевого фундамента один кран размещался вне котлована, на его бровке, а второй — в центральной части котлована, куда предусматривался

съезд. Арматурные и бетонные работы по фундаменту в зоне съезда выполняли в последнюю очередь (рис. 2.1).

Имели место решения, когда по радиусу к центру фундамента, располагаясь над ним, прокладывалась транспортная эстакада. Автотранспортные средства подавали бетон по эстакаде к крану, который также размещался на ней над центральной частью трубы (рис. 2.2). На завершающем этапе кран выводили по эстакаде, бетонируя «на себя» зоны фундамента под эстакадой. Конструкции эстакады по мере движения крана демонтировали. Такую технологию использовали при бетонировании круговых фундаментов большого диаметра, когда грузоподъемные характеристики крана не позволяли подавать бадью с бетоном в центральную часть фундамента при расположении крана вне его периметра.

С целью сокращения числа рабочих швов бетонирования, а значит вероятности нарушения однородности железобетонного массива, применяются технологии непрерывного бетонирования. Бетон в этом случае укладывается кольцом во взаимно противоположных направлениях.

Современные средства и технологии способны обеспечить непрерывное бетонирование при минимальной протяженности рабочих швов или полном их отсутствии. Эффективны бетононасосы, техническая производительность которых достигает 100 м^3/ч и больше. Может быть использован как авто-, так и стационарный бетононасос. Последний, располагаясь на дневной поверхности, вне котлована, подает бетонную смесь по стационарному бетоноводу, прокладываемому на опорах к центру фундамента. Далее, с помощью расположенного здесь манипулятора, смесь распределяется по блокам бетонирования.

Характеристики современных манипуляторов позволяют осуществлять бетонирование и при их расположении рядом с бетононасосом за пределами котлована. Транспортировка смеси сегодня осуществляется только автобетоносмесителями.

В энергетике есть примеры использования конвейерного транспорта. По такой технологии в 1980-х гг. прошлого века на Балаковской АЭС и ряде других осуществлялось бетонирование фундаментной плиты турбоагрегата.

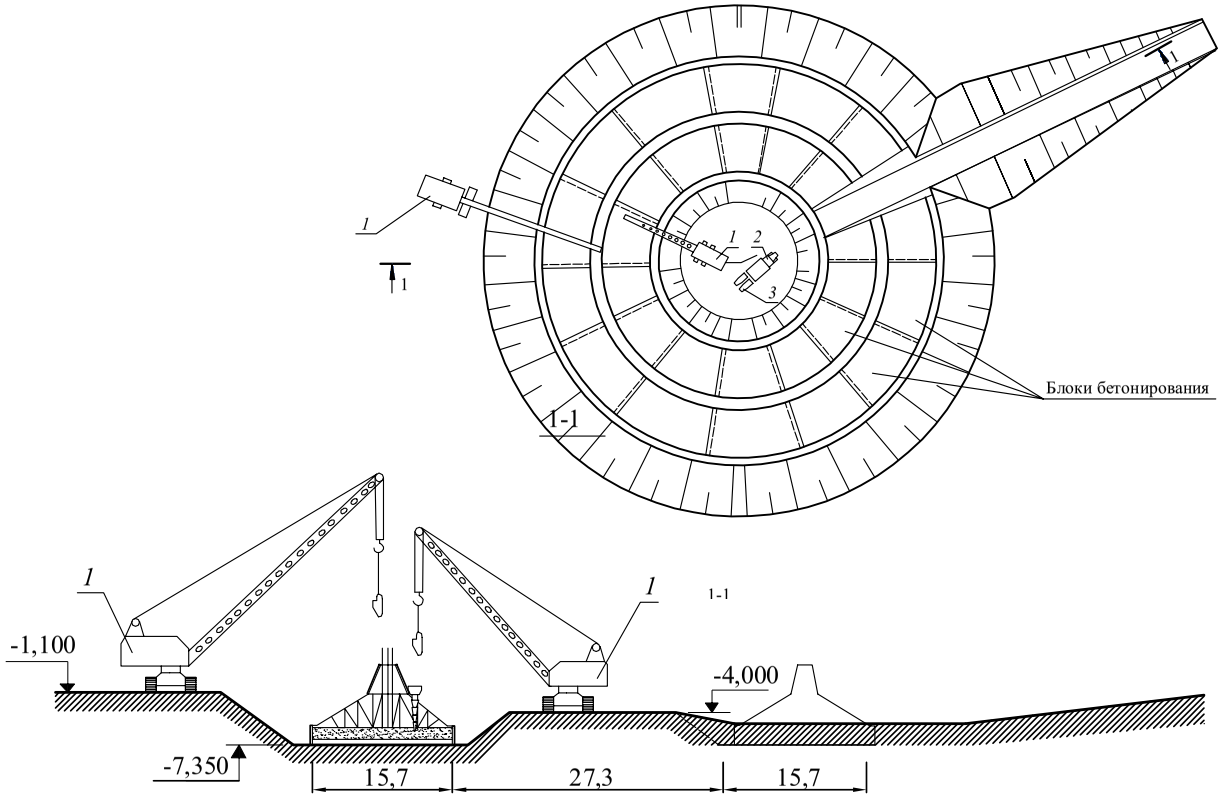
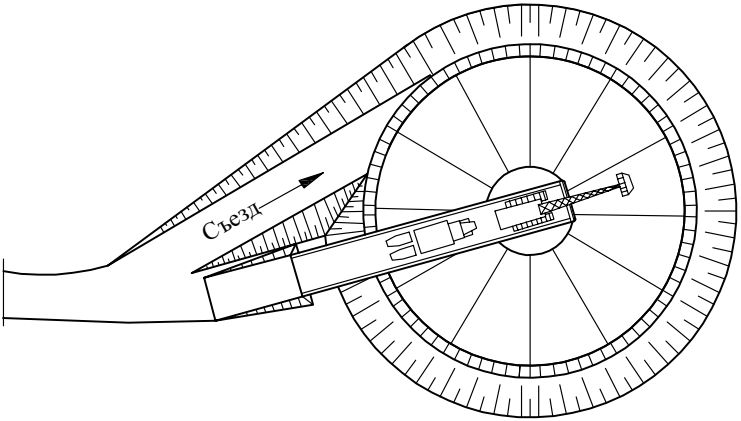
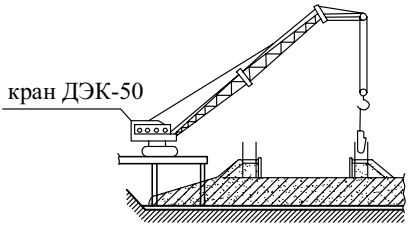


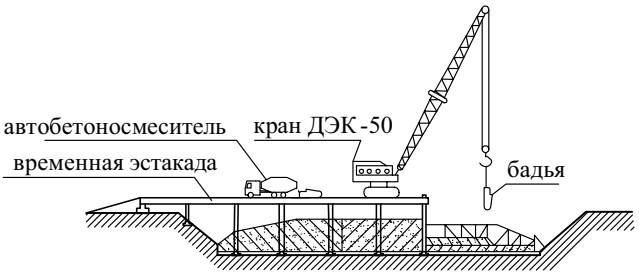
Рис. 2.1. Схема бетонирования по технологии «кран — бадья» при сооружении кольцевого фундамента трубы:
1 — краны ДЭК-251 и ДЭК-50; *2* — автотранспортное средство; *3* — бадьи для бетона



а



б



в

Рис. 2.2. Схема бетонирования по технологии «кран — бадья» при сооружении кругового фундамента трубы: *а, б* – план, разрез при бетонировании подушки; *в* – разрез при бетонировании стакана

Глава 3. ВОЗВЕДЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОБОЛОЧЕК ТРУБ

§ 3.1. Возведение оболочек в скользящей опалубке (СО)

3.1.1. Общие сведения. Использование СО при возведении железобетонных оболочек труб предъявляет повышенные требования к организации строительного процесса. Арматурные и бетонные работы ведут непрерывно, высота трубы, как показывает практика, может увеличиваться со скоростью до 5—6 м/сут. Особенно эффективна СО для высоких дымовых труб. В мировой практике есть примеры, когда оболочки труб высотой 300—350 м при объеме бетона 10—15 тыс. м^3 возводились за 2,5—3 мес.

С помощью СО можно сооружать не только цилиндрические трубы, но и трубы с изменяющимся уклоном по высоте и с переменной толщиной стенки. Широко известны системы СО фирм «Винстром» (Швеция), «Ааль», «Пибоди», «Келлог» (Германия) и других. Системы различаются видом, конструкцией подъемного механизма, особенностями системы изменения толщины и диаметра оболочки, способом подъема персонала на рабочую отметку и др.

В отечественной практике в свое время получила распространение СО, разработанная институтом «Гидроспецпроект» на базе лицензионной документации Магдебургского специального строительного комбината Германской Демократической Республики. Модификации опалубки позволяли возводить трубы максимальным начальным диаметром 20,4—36 м, минимальным — 9,45—15 м, при максимальной толщине стенки 700—1000 мм, минимальной — 200—300 мм с максимальным уклоном до 12 %.

Если геометрия трубы отличалась от приведенных выше размеров, что часто имело место в ее нижней части, то здесь использовалась подъемно-переставная опалубка (ППО) с соответствующим набором необходимых устройств и механизмов. Затем производился перемонтаж на СО. В этом случае требуется дополнительный комплект оборудования переставной опалубки и, разумеется, увеличивается срок строительства. В настоящем учебном пособии рассматриваются особенности данной опалубки и технологии возведения трубы.

При использовании СО не допускается устройство консолей или выступов по высоте оболочки. Таким образом, распространенное решение трубы с внутренней футеровкой, располагаемой на кольцевых выступах оболочки через 10—12 м по высоте, невозможно.

Оболочки труб, возведенных в СО, могут использоваться для размещения в их внутреннем пространстве ненесущих или самонесущих ГОС. Возможно решение с футеровочным слоем, выполняемом на «относе» — на выносных консолях, связанных с оболочкой через закладные. Ряд труб был построен с футеровочным слоем из полимербетона. При этом конструктивная и футеровочная часть трубы возводились в одной опалубке.

Сдерживающими факторами развития СО являются:

- резкое удорожание производства работ в зимнее время;
- потребность в большом количестве рабочих высокой квалификации, в том числе персонала, обслуживающего системы СО;
- резкое снижение эффективности технологического процесса бетонирования при различных организационных неполадках и перерывах;
- большие затраты на ликвидацию всякого рода дефектов бетонирования.

Часть перечисленных причин может быть устранена технологическими приемами. Так, бетонирование можно производить не круглосуточно, а с перерывами, используя специальные добавки к бетонным смесям. Замедлители твердения позволяют продлить период схватывания бетона до 18 часов. При бетонировании в районах холодного климата можно использовать ускорители твердения, а также тепловую обработку бетона, что не снижает темп бетонирования.

Одна из последних труб в СО высотой 90 м и диаметром 5,5 м возведена в 2007 г. ЗАО «Союзтеплострой» для стекольного завода в г. Рязани. Было уложено 500 м^3 бетона, работы продолжались 27 дней.

3.1.2. Конструкция опалубки. Общая схема СО и вспомогательных систем в процессе возведения железобетонной оболочки трубы представлена на рис. 3.1.1.

Основным несущим элементом опалубки является система домкратных рам (рис. 3.1.2).

Состав системы:

- отдельные П-образные домкратные рамы, соединенные между собой по окружности крестообразными связями;