В. Ф. ПАВЛОВСКИЙ
М. П. КОНДРА

СТАЛЬНЫЕ БАШНИ

(ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОНТАЖ)

В. Ф. ПАВЛОВСКИЙ
М. П. КОНДРА

СТАЛЬНЫЕ БАШНИ

(ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОНТАЖ)

КИЕВ БУДІВЕЛЬНИК 1979

ББК 38.728
6С4.3
П12

УДК 693.814.1

Стальные башни (проектирование и монтаж). Павловский В. Ф., Кондра М. П. К., Будівельник, 1979, 200 с.

В книге изложены вопросы проектирования и организации работ при монтаже стальных башен с различными параметрами. Описаны конструктивные решения широко применяемых башен, схемы и типы узлов башенных конструкций. Приведены основные формулы расчета, определение оптимальных параметров решетчатых башен, различные способы монтажа и эффективность их применения, особенности формирования нагрузок согласно требованиям СНиП. Даны рекомендации по выбору способа монтажа, оснастки и оборудования в зависимости от параметров башен и местных условий.

Нормативные материалы приведены по состоянию на 1 ноября 1978 г.

Книга рассчитана на инженерно-технических работников проектных и строительно-монтажных организаций.

Ил. 82. Табл. 18. Библиогр. список: с. 198

Рецензент *В. В. Шахов*

Редакция литературы по специальным и монтажным работам в строительстве

Заведующая редакцией *З. Н. Конева*

П $\frac{30204\ 121}{М203(04)\text{-}79}$ 25-79 3202000000

© Издательство «Будівельник» 1979

Решениями XXV съезда КПСС предусмотрено дальнейшее развитие всех отраслей народного хозяйства на основе ускоренного технического прогресса. Для развития экономики всей страны особое значение имеет повышение эффективности работы ведущих отраслей промышленности, в том числе металлургической, химической, нефтеперерабатывающей и др.

Дальнейшая интенсификация ряда технологических процессов, необходимость создания благоприятного микроклимата в пределах производственных комплексов, повышенные требования к охране окружающей среды привели к увеличению высоты и количества башенных сооружений на многих крупных промышленных предприятиях. За последние годы также значительно увеличилось количество и высота башенных сооружений для связи, радио и телевидения. Многие башни наряду с их основным назначением используются метеослужбой, а также выполняют другие функции.

По назначению стальные башни можно классифицировать следующим образом: опоры для телевизионных центров, радиовещательных станций, радиорелейных линий связи, сложных антенных систем, линий электропередач, прожекторные опоры, опоры для газоотводящих стволов различных промышленных производств, переходные опоры для трубопроводов над естественными препятствиями (например реки, овраги и т. п.), опоры канатных дорог, многощелевого назначения и др.

Такой неполный перечень использования стальных башен по их функциональному назначению подтверждает широкое использование этого вида инженерных сооружений.

В СССР первой высокой металлической опорой была башня Шухова В. Г. высотой 150 м (затем она была надстроена до 165 м), смонтированная в 1921 г. В течение 1924—1926 гг. были изготовлены и смонтированы металлические башни треугольной

формы в плане для первой в СССР радиотелеграфной коротковолновой линии связи Москва — Ташкент.

С 1935 г. в нашей стране началось массовое строительство металлических башен высотой 100 м для радиоцентров. Элементы этих башен выполнялись из уголковых профилей.

В 1942 г. в г. Куйбышеве была смонтирована первая башня из трубчатых профилей высотой 205 м. Использование для конструктивных элементов башен труб оптимальных диаметров, соответствующих минимальным значениям аэродинамического коэффициента, позволило добиться значительного снижения массы таких сооружений. Это положило начало массовому использованию труб при проектировании и возведении башен различного назначения.

В настоящее время в стране ежегодно возводят десятки высоких башен различного назначения и сотни башенных сооружений малой высоты.

Накопленный опыт в этой области проектными, технологическими и монтажными организациями недостаточно обобщен и мало освещен в печати. Публикуемые в периодической печати отдельные статьи и сообщения также не могут решить эту задачу.

Настоящая работа является попыткой авторов систематизировать и обобщить имеющийся материал по вопросам проектирования и монтажа стальных башен. Авторы не претендуют на полноту освещения и заранее благодарны всем читателям, которые выскажут свои замечания и предложения по улучшению книги.

В книге использованы материалы ГПИ Укрпроектстальконструкция, института Промстальконструкция Минмонтажспецстроя СССР, УкрПКТИмонтажспецстрой Минмонтажспецстроя УССР, а также ряда монтажных организаций.

Раздел «Проектирование стальных башен» написан канд. техн. наук М. П. Кондрой, «Монтаж стальных башен» — лауреатом Государственной премии УССР инж. В. Ф. Павловским.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ БАШЕН

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И НАЗНАЧЕНИЕ БАШЕН

По конструктивным особенностям башни относятся к сложным инженерным сооружениям. Эти особенности обусловлены функциональным назначением башен и характером силовых воздействий, которые испытывают опоры в процессе эксплуатации. Свободно стоящая конструкция, консольно защемленная в основании, не требующая каких-либо оттяжек для обеспечения вертикального положения, может быть разной высоты, иногда достигает нескольких сотен метров.

Башенные сооружения отличаются от зданий и промышленных сооружений обычного типа:

большой высотой конструкций, намного превышающей размеры поперечного сечения и основания в плане;

незначительной массой технологического оборудования по сравнению с собственной массой конструкций;

второстепенным значением собственной массы конструкций и массы технологического оборудования как расчетной нагрузки по сравнению с нагрузками от ветра.

Башни часто являются единственно приемлемыми конструкциями для решения конкретных технологических задач. Они имеют ряд преимуществ. Основные из них: меньшая площадь застройки, отсутствие вант, расположенных над коммуникациями, большая надежность при эксплуатации и др. Например, для строительства мачты высотой 200 м площадь застройки составляет около 3 га, в то время как для башен такой же высоты достаточно всего 0,15 га. Поэтому в условиях застройки, например, на территории действующего предприятия, выбор площадки строительства для башен не представляет особых трудностей.

Конструкция башни удобна для строительства в горных условиях при загруднении размещения фундаментов для оттяжек мачт. Значительно легче построить башню на подрабатываемых территориях (учитывая возможные смещения фундаментов). Иногда конструкция башни предпочтительна из-за технических трудностей выполнения оттяжек и др.

Башни есть решетчатые и сплошностенчатые. Решетчатые башни состоят из пирамидальных и призматических секций с совмещенными основаниями. Чаще всего они имеют в плане трех- или четырехгранное сечение. Уникальные башни больших высот

проектируют с шести- или восьмигранным сечением или другой формы (несимметричные, в виде канделябра или портала и др.). Естественной формой башни является сужающаяся к верху.

Решетчатые башни выполняют, как правило, из трубчатых элементов. Иногда из-за дефицитности труб башни проектируют из уголков, двутавров, швеллеров, а также составных сварных сечений (крест из листа, сварной двутавр и др.). Башни оборудуют площадками, в некоторых случаях — шахтой лифта, которая в несимметричных башнях может быть совмещена с одним из поясов. Пояса башни опираются на отдельно стоящие железобетонные фундаменты, работающие как на сжимающее, так и на вырывающее усилия и на поперечную силу.

В конструкции башни в местах соединения поясов предусматривают детали для закрепления монтажных механизмов. Монтажные элементы, их форму и размеры выбирают, исходя из условий изготовления, транспортировки и монтажа.

Сплошностенчатые башни выполняют в виде стальных оболочек из цилиндрических и конических участков. Башни могут иметь плавное изменение очертаний при непрерывном сужении к вершине. Оболочка в местах изломов подкрепляется кольцевыми ребрами. Применяются конструкции с продольными (стрингеры) и поперечными (шлангоуты) ребрами, приваренными к стальной оболочке. Башню устанавливают на кольцевой фундамент. Одной из разновидностей сплошностенчатой башни является цилиндрическая оболочка с подкосами и подпорками. Иногда к решетчатой конструкции башни прикрепляется сплошная обшивка, выполняющая только ограждающие функции.

Конструкция башни является более удобной для установки и эксплуатации технологического оборудования, а также для обслуживания самой конструкции сооружения, так как отпадает необходимость периодической регулировки и замены оттяжек. При выборе башенной конструкции следует учитывать и эстетический фактор, особенно при строительстве в больших городах. Башни различной конструкции в зависимости от их технологического назначения показаны на рис. 1.

Наиболее широко башенные сооружения применяются в связи. Необходимость строить высотные сооружения для антенных устройств появилась после изобретения радио. Высота антенных опор постепенно увеличивалась, соответственно повышалась и технологическая нагрузка. В настоящее время высота отдельных башен радиотелевизионных центров достигает более полукилометра. Такие башни являются уникальными опорами, предназначенными для оборудования крупнейших телецентров (рис. 2). Башни бывают металлические, железобетонные и комбинированные (например, башня Останкинского телецентра).

Из башен объектов связи больше всего насыщены оборудованием башни радиотелевизионных станций. Их конструкция связана с некоторыми ограничениями. Например, на башне могут быть установлены телевизионные панельные антенны I—IV диапазонов, антенны УКВ ЧМ вещания, рупорно-параболические антенны и др. Панельные (телевизионные) антенны необходимо располагать на призме размером 2,5×2,5, а антенны УКВ ЧМ — 4,0×4,0 м. Верхняя часть башни, на которой размещены антенны, представляет собой призматические четырехгранные участки (рис. 3, *а*). Возможны и другие решения при некотором усложнении схемы и узлов башни. Призматический четырехгранный участок с базой 2,5×2,5 м из прокатываемых сечений труб можно выполнить ограниченной длины (~60 м). Например, башня РТС, построенная в г. Жданове, и башня на горе Толстая возле г. Хуст.

С развитием телевизионных центров появилась необходимость в наборе антенн с длинами участков 80—100 м. В таких случаях необходимо проектировать башню со шпренгелем в верхней части (рис. 3, *б*). Наверху башни устанавливают участок мачты и горизонтальные рен, а оттяжки закрепляют непосредственно к башне.

Для установки антенн РРЛ и ПТС должны быть предусмотрены специальные площадки, а для крепления волноводов — вертикальный элемент между площадками.

Если размеры базы в месте расположения телевизионных антенн ограничены требованиями технологии, то установка на башне остронаправленных антенн для радиорелейной связи требует дополнительных проверок по деформативности, что устанавливают технологи. Эти мероприятия обычно заключаются в

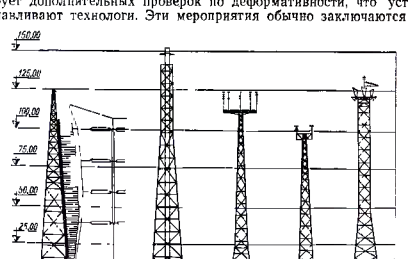


Рис. 1. Типы башен:
а — башня для антенн СТД (*H*=124,7 м); *б* — башня-труба (*H*=150 м); *в* — башня для антенн «Алтай» (*H*=110 м); *г* — опора РТС (*H*=100 м); *д* — радиорелейная опора (*H*=120 м).

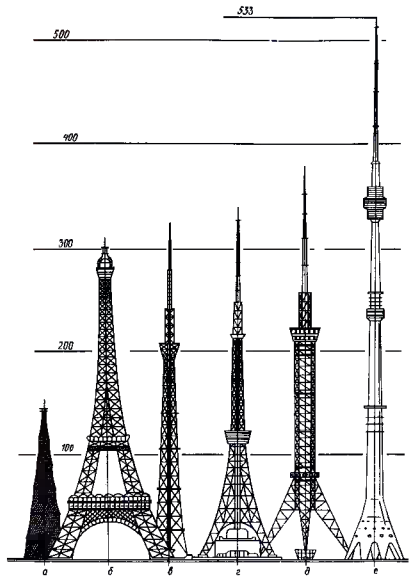


Рис. 2. Уникальные радиотелевизионные башни (высота дана в м):
а — радиобашня Шухова в Москве; *б* — Эйфелева башня в Париже; *в* — телевизионная башня в Ленинграде; *г* — телевизионная башня в Токио; *д* — телевизионная башня в Киеве; *е* — телевизионная башня в Останкино (Москва)

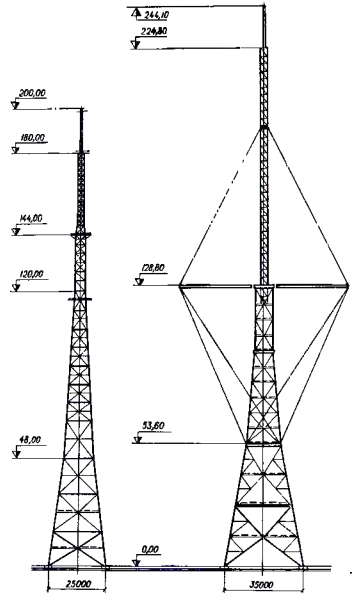


Рис. 3. Схемы башен для РТС:
а — башня высотой 200 м; *б* — проект башни высотой 250 м

ограничении угла поворота сечения башни в месте расположения антенны при нагрузках с требуемой обеспеченностью.

На башнях РТС для обслуживания оборудования и самой опоры устанавливают лифт. При разработке металлических конструкций для него предусматривается шахта. Кроме того, устанавливают лестницу-стремянку с переходными площадками не реже чем через 8 м для башен объектов связи и 12 м для башен-труб. Для окраски и осмотра башни, подъема и спуска рупорно-параболических антенн предусматривают специальные блоки, а также блоки люлек верхолаза. Башни РТС с решетчатыми призмами для установки антенн с оборудованием применяют для высот до 250 м и более. Техническое здание с аппаратурой устанавливают у основания башни, рядом или внутри конструкции башни

Башни радиорелейных линий предназначены для установки на них остронаправленных рупорно-параболических и параболических антенн. При установке антенн наверху башни или же на любой отметке между верхней площадкой башни и базой башню целесообразно проектировать из трех частей: оголовок, призматический вертикальный участок и база (см. рис. 1). Волноводы и площадки крепят в промежутке между оголовком и базой. Высота башни зависит от трассы и расстояния между опорами. Для конструкции башни важным является ограничение по деформативности

Как правило, на опоре верхней площадки башни предусматривают кран для установки и демонтажа антенн. Опоры такого типа выполняют по типовому проекту ЦНИИПроектстальконструкция. Опоры для установки параболических зеркал только наверху решают в виде пирамиды с целью уменьшения ее массы (см. рис. 1).

Башни для подвески синфазных горизонтальных диапазонных коротковолновых антенн нагружены проволочными антенными сетями или системой жестких вибраторов и рефлектором.

Проволочные антенны закрепляют на башне при помощи системы, образующей вместе с антенной плоскую сеть, устанавливаемую в вертикальной плоскости. Параллельно с антенной сетью устанавливают рефлектор. Настраиваемый рефлектор повторяет сеть антенны. Апериодический рефлектор выполняется из ряда натянутых биметаллических проводов с шагом 0,5—1,5 м в зависимости от длины оптимальной волны.

Размеры антенн зависят от их структуры и оптимальной (строительной) волны и могут достигать 150×100 м и более. Наиболее часто применяется подвеска антенны с контурным леером (см. рис. 1). Антенное полотно закрепляется на башне через специальные траверсы с жесткой или шарнирной подвеской. При шарнирной подвеске устанавливается уравновешивающее полотно. Антенны размещают в различных комбинациях с углами перелома в плане от 0 до 60° (рис. 4).

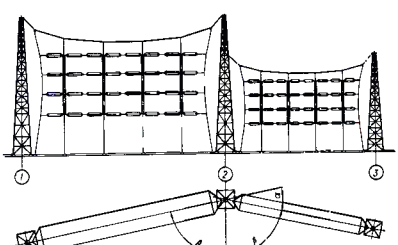


Рис. 4 Схема антенной цепочки антенн СГД 4/8 РА (подвеска антенных сетей выполнена на шарнирных траверсах)

Подвеску сетей удобно выполнять на опоре в виде трех- или четырехгранной башни пирамидального очертания без изломов поясов. Необходимость подвески набора антенн (с разными размерами) к башне одной высоты требует установки диафрагм и усиления решетки в уровне подвески антенного полотна с меньшими размерами. Для крепления рефлектора применяются специальные балки или контурные леры. На новых объектах антенны СГД подвешивают на мачтовых системах, башни применяют на реконструируемых объектах при отсутствии свободной площади.

Для некоторых типов антенн наверху башни необходимо создать круговую площадку для размещения стоек антенны. Башня в этом случае имеет вид канделябра (см. рис. 1). Примером такой башни являются опоры для антенн типа «Алтай». На форму башни ниже площадки технологические ограничения не влияют, и ее можно выбирать из условий минимума расхода материалов или стоимости, удобств изготовления и монтажа.

На многих объектах энергетических, химических и других производств устанавливают вытяжные башни-трубы, предназначенные для рассеивания вредных выбросов в воздухе. Они бывают кирпичные и железобетонные, трубы, у которых железобетонная оболочка поддерживает железобетонные или металлические газоотводящие стволы, и стальные башни, поддерживающие металлические, деревянные или пластмассовые газоотводящие стволы

В конструкциях таких башен можно выделить три основные решения:

в виде сплошностенчатой свободностоящей несущей оболочки с футеровкой внутри, снаружи или без нее;

в виде решетчатого несущего каркаса, поддерживающего один или несколько газоотводящих стволов;

в виде стальной оболочки с подвешенными внутри ее газоотводящими стволами из коррозионно стойкого материала.

Наиболее широко применяются башни с решетчатым стальным каркасом, поддерживающим газоотводящие стволы. Несущие функции выполняет стальной каркас, ствол является технологическим оборудованием. Форма (количество граней, очертания) каркаса башни зависит от основных технологических параметров — высоты, количества поддерживаемых стволов, их расположения по отношению к каркасу (внутри башни или рядом с ее гранями).

Самой распространенной является башня с одним газоотводящим стволом внутри стального каркаса.

В практике проектирования чаще всего применяются газоотводящие стволы диаметрами 0,6—7,2 м с градацией через каждые 0,6 м и других диаметров (например, при проектировании серии унифицированных башен для химической промышленности диаметрами 2,0; 2,4; 2,8; 3,4; 3,8 мм и высотой 100, 120, 150 и 180 м).

При проектировании башен-труб и вытяжных башен следует руководствоваться требованиями СНиП II-91-77, башен объектов связи — СН 376-67, а также учитывать правила маркировки и светоограждения.

Перечень башен различного назначения не ограничивается приведенными примерами. Однако следует отметить, что принципы конструирования и расчетов всех этих башен аналогичны.

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ БАШЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Условия, в которых эксплуатируется башня (переменный характер ветровой нагрузки, сильно зависящей от формы сооружения, незащищенность от температурных воздействий и т. п.), требуют при проектировании экономичной и надежной ее конструкции, применения профилей с минимальными коэффициентами лобового сопротивления и сталей с гарантированными химическими и механическими свойствами.

Для районов с расчетной температурой выше — 40°С несущие элементы башни (пояса, раскосы, распорки и т. п.) выполняют, как правило, из горячедеформированных стальных труб. Сортамент труб — по ГОСТ 8732-70 *, технические требования — по ГОСТ 8731-74*, группы В или Г из стали марки сталь 20 — по ГОСТ 1050-74. Для более низких температур применяют трубы

из стали 09Г2С. Электросварные трубы применяют по ГОСТ 10704-63 из стали марки сталь 20 по ГОСТ 1050-74 или В Ст 3сп5 по ГОСТ 380-71. Из-за трудностей поставки небольших партий труб из стали марки В Ст 3сп5 (основная масса труб идет из стали В Ст 3сп2 при максимальной толщине 16 мм) трубы диаметром свыше 630 мм изготавливают для башен путем вальцовки их из листового проката непосредственно на заводе-изготовителе металлоконструкций. В этом случае может быть применена листовая сталь с необходимыми гарантиями (В Ст 3сп5 по ГОСТ 380-71, 09Г2С или 10Г2С1 по ГОСТ 19282-73 требуемых категорий и т. п.). Сортамент в этом случае рекомендуется принимать по ГОСТ 10704-63.

При изготовлении несущих элементов башни из толстолистового сортового или фасонного проката применяют стали марок, плавок и категорий, рекомендуемые для конструкций групп от I до III включительно (табл. 50 приложения 1 СНиП II-B.3-72) Чаще всего это малоуглеродистая сталь марки В Ст 3сп5 по ГОСТ 380-71 и низколегированные стали 09Г2С, 10Г2С1 и 15ХСНД по ГОСТ 19281-73 и 19282-73. При применении стали 10Г2С1 оговаривают полистовой контроль качества механических свойств.

Для второстепенных (ненесущих) элементов башен (лестницы, площадки, перила и т. п.) принимают стали марок, плавок и категорий, применяемых для конструкций VI группы. Обычно используют сталь марок В Ст 3кп2 для температур выше — 40°С и В Ст 3сп5— ниже —40°С.

Для сварки труб применяют стальную проволоку, флюсы и другие присадочные материалы, обеспечивающие равнопрочность швов основному металлу при сварке встык. При применении канатов в качестве раскосов башен используют канаты спирального типа с жестким сердечником по ГОСТ 3068-55 и канаты закрытого типа по ГОСТ 3636-55. Для заделки канатов во втулках применяют цинковый сплав ЦАМ9-1,55 по ГОСТ 7117-62. Для газоотводящих стволов применяют малоуглеродистые и легированные стали. Выбор их решается отдельно в каждом конкретном случае в зависимости от агрессивности отводимых газов. Как правило, это решают проектировщики металлоконструкций совместно со специализированными организациями [6].

Для болтовых соединений, работающих на срез или небольшие растягивающие усилия, применяют болты нормальной точности из стали марки сталь 20 по ГОСТ 1050-74 или В Ст 3 по ГОСТ 380-71 с техническими требованиями по классу 4.6 ГОСТ 1759-70. При значительных растягивающих усилиях с целью создания компактных узлов соединения рекомендуется применять болты из сталей марки 35Х или 40Х и других, удовлетворяющих требованиям класса 8.8 или 10.9 технических требований ГОСТ 1759-70. Гайки в таких случаях применяют из стали марки 35 по ГОСТ 1050-74 В зависимости от температуры эксплуатации

башни болты должны удовлетворять требованиям ударной вязкости (при —20°С для класса 4.6 и при —40°С для класса 8.8) не ниже 3 кгс·м/см².

При выборе материалов для грунтовки и окраски металлических конструкций башен следует руководствоваться СН 376-67 и СНиП П-28-73.

СХЕМЫ И УЗЛЫ БАШЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

СХЕМЫ

В техническом задании заказчика определяются регламентированные СНиП районы и условия строительства, высоты (места) установки технологического оборудования, условия монтажа, транспортировки и другие специальные требования, предъявляемые к металлическим конструкциям башни. Конструкция башни, ее схема и узлы принимаются на основе опыта проектирования, проработки различных вариантов схем и узлов конструкций, специальных расчетов, обосновывающих выбор оптимальных соотношений.

Самой распространенной является конструкция башни, геометрическая схема которой вписывается в фигуру, образованную вращением ломаной линии вокруг вертикальной оси. В любом сечении лежит правильный многоугольник. Башня состоит из пирамидальных или призматических секций с совмещенными основаниями. Основные элементы башни — это пояса, оси которых совпадают с ребрами секций; раскосы и распорки, расположенные в их гранях. В некоторых сечениях устанавливают жесткие диски-диафрагмы, препятствующие изменению формы поперечного сечения. Башня такой конструкции может иметь три, четыре, шесть, восемь и более граней. В практике применяются различные типы решеток (рис. 5).

Раскосная (рис. 5 *а*) и треугольная (рис. 5, *б*) решетки составлены из элементов, работающих как на сжимающее, так и на растягивающее усилия. Площадь сечения элементов подбирается по усилию сжатия. Эти решетки имеют относительно меньшее число элементов и простые узлы их сопряжения. Они удобны для изготовления и монтажа, однако раскосная и треугольная решетки применяются при небольших параметрах панелей (по отношению к поперечному размеру сечения элемента), чтобы исключить потерю в массе раскосов и распорок из-за ограничений их гибкости.

Крестовая решетка (рис. 5, *в, д*) в башнях, как правило, применяется с раскосами, выключающимися из работы при сжатии и работающими только на растяжение. При этом в распорке, соединяющей узлы пересечения раскосов с поясами, возникает только сжимающее усилие. Вспомогательная распорка в решетке служит для развязки свободной длины пояса. Площадь ее

сечения и диаметр подбирают из условия допускаемой гибкости. Структура крестовой решетки допускает предварительное напряжение ее элементов. По сравнению с раскосной и треугольной она имеет более сложные узлы.

В ромбической решетке основные распорки отсутствуют, а раскосы работают как сжато-растянутые (рис. 5, *г, е*). Как и у крестовой решетки, дополнительная распорка служит для развязки свободной длины пояса.

Полураскосная решетка также составлена из элементов, работающих как сжато-растянутые в зависимости от направления нагрузки (рис. 5, *ж*). Площадь сечения элементов подбирают по сжимающему усилию.

При строительстве башен высотой до 200 м чаще всего применяют крестовую и ромбическую решетки. Они очень отличаются одна от другой характером работы. При равных условиях (одинаковы величина поперечной силы, размеры панелей, тип сечения элементов поясов и т. п.) площадь сечений в раскосах ромбической решетки подбирается на усилие примерно в два раза меньшее, чем в раскосах крестовой. Это обстоятельство часто ставит ромбическую решетку в более выгодное положение по сравнению с крестовой. Объем раскосов в ромбической решетке меньше, чем в крестовой — при коэффициенте продольного изгиба раскоса, бо́льшем 0,45 — при условии полного использования несущей способности раскоса. Кроме того, в ромбической решетке отсутствует основная распорка

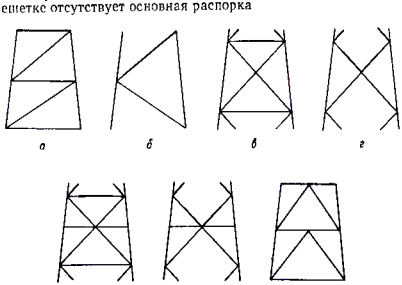


Рис. 5. Типы решеток стальных башен:
а — раскосная; *б* — треугольная; *в, д* — крестовая; *г, е* — ромбическая; *ж* — полураскосная.

Полураскосная решетка применяется реже, в основном в случаях, когда на площадках расположено тяжелое оборудование и при повышенных требованиях к деформативности башни. Она отличается относительной простотой узлов по сравнению с другими типами решеток. Однако эта решетка при обычных условиях имеет бо́льший относительный вес, чем крестовая.

При отсутствии ограничений на геометрические параметры башни и возможности выполнить основные элементы башни из поставляемого промышленностью сортамента предпочтение отдают башням с минимальным числом граней. Опыт показал, что масса башни зависит от количества граней. Например, при переходе от трехгранной башни к четырехгранной масса ее увеличивается на 10, а к шестигранной — на 21%. Приращение массы происходит за счет увеличения конструктивного коэффициента и относительного периметра сечения башни [5].

Кроме увеличения массы при переходе к башне с бо́льшим количеством граней резко увеличивается количество монтажных элементов как несущих, так и вспомогательных, а вместе с тем и трудоемкость изготовления и монтажа. Например, разница в количестве основных элементов для трех- и четырехгранной башни может состаалять 35% и более.

По очертаниям башни, симметричные относительно оси, выполняются призматической или пирамидальной формы без изломов поясов или же имеют один, два и несколько изломов. Встречаются конструкции с перепадом сечения башни. Башни призматической формы применяют для небольших высот (до 40 м), пирамидальной — для бо́льших (180 м и более). В башнях пирамидальной формы без изломов поясов можно применять однотипные решения поясов по всей ее длине, в то время как в башнях с изломами обычно приходится на них выполнять нестандартные стыковые элементы. За счет изломов поясов форму башни стремятся приблизить к такой, которая следует за эпюрой моментов от ветровой нагрузки.

Отношение ширины основания к высоте башни колеблется в пределах 1 : 8—1 : 20 и зависит от многих факторов, прежде всего от величины нагрузки и сортамента профилей, применяемых для наиболее нагруженных элементов башни — поясов.

Пирамидальные башни с отношением ширины к высоте около 10 и более и высотой 80—150 м выполняют с крестовой решеткой (см. рис. 5) с раскосами, выключающимися при сжатии, или с предварительным напряжением. При меньших отношениях ширины к высоте наряду с крестовой (растянутой) применяются другие типы решеток, например ромбическая — для четырехгранных башен-труб и радиорелейных опор. Монтаж башен самоподъемным краном обусловил восьмиметровый шаг панели. При разбивке, когда модуль принимается по оси башни, пояса башен получаются с разными длинами при разных уклонах. Шаг панелей башен для антенн СГД принят 7,5 м. В башнях-трубах по

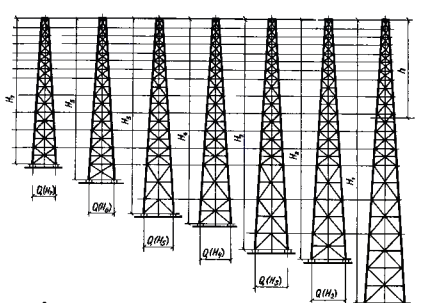


Рис. 6. Башни для антенн СГД РА (унификация типоразмеров схемы).

типовому проекту принимался переменный шаг при постоянном уклоне раскосов.

Распространенным приемом построения типоразмеров башен пирамидальной формы является образование башни меньшей высоты путем отсечения нижнего участка самой высокой башни (рис. 6). На таком примере построены башни для антенн СГД и др.

Для башен радиорелейных линий, некоторых типов башен-труб, имеющих вверху участок с параллельными поясами значительной длины, башни меньших высот получают путем исключения секций на участке с параллельными поясами (рис. 7).

Принцип геометрического подобия применяют реже, потому что в таких случаях трудно увязать размеры башни с модулем разбивки ее по высоте, однако использование его позволяет максимально унифицировать детали, так как углы наклона элементов башни сохраняются. Построение башен разных высот на основе модульной схемы показано на рис. 8. Башни образуют вырезанием подходящих участков. Из общей модифицированной схемы можно выделить участки с оптимальными отношениями и выдержать модуль разбивки башни по высоте. Этот прием используется и в зарубежной практике.

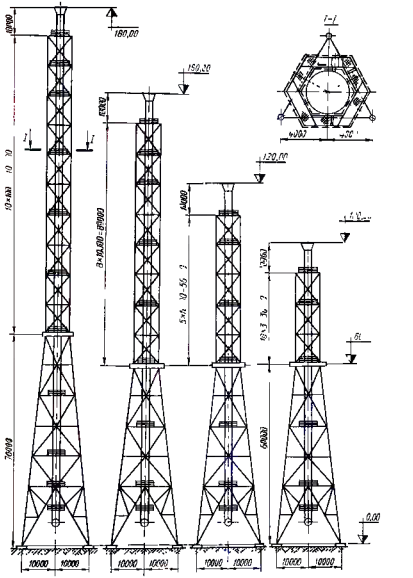


Рис. 7. Построение схем унифицированных выхлопных башен-труб (проект ГПИ Укрпроектстальконструкция).

Один из способов унификации заключается в следующем. Принимается конструктивная схема башни, состоящая из пирамидальных и призматических участков и специальных вставок между этими участками. Стыковые поверхности вставок перпендикулярны к осям поясов примыкающих участков. В этом случае башню можно набирать из однотипных поясов независимо от того, какой уклон имеют оси участка конструкции, где расположен пояс. Принимается ряд модульных схем с уклонами поясов, кратными друг другу (уклоны $1/n$ и $1/2n$, где n близко к 10). За модульный размер для вертикального членения принимается геометрическая длина пояса, величина которой кратна 13500. Размер 13500 увязан с длиной железнодорожной платформы, а также с модулем вертикального членения мачт по высоте. Модульные схемы из пирамидальных и призматических секций даны на рис. 9, а варианты построения башен по этим схемам — на рис. 10. Применение кратных уклонов позволяет унифицировать длины распорок в секциях с разными уклонами. Кроме того, из пространственных призматических секций можно выполнять элементы башен (пояса и распорки). Для башен любого назначения принимаются однотипные элементы, обеспечивается взаимозаменяемость основных деталей, что в итоге приводит к упрощению изготовления и монтажа.

Применение вставок решает также вопрос компоновки схемы, когда на верху башни устанавливаются призматическая часть с перепадом сечения или мачта с рейки.

Представляет интерес решение башни из унифицированных элементов, принятое по французскому патенту (рис. 11) *. Преимущество такой схемы состоит в однотипности элементов—башня собирается из одинаковых треугольников. Примером башни с несимметричной схемой является опора Тбилисского телецентра высотой 274,50 м (рис. 12). В этой конструкции совмещена идея использования несущих и ограждающих функций одного из ее поясов. Вертикальный пояс, переходящий в антенну, служит шахтой лифтов и поддерживается наклонными трубчатыми поясами, связанными с ним системой распорок из труб и раскосов из высокопрочных канатов.

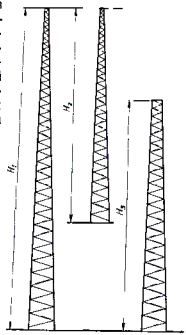


Рис. 8. Модульные схемы для построения башен различных высот.

Две боковые грани башни образованы вертикальными, а третья — наклонными плоскостями. Двугранный угол между боковыми гранями 60°. Любое горизонтальное сечение по нижней части башни — равносторонний треугольник. На отм. 0,00 сторона его равна 60 м, на отм. 151,00—3,2 м. В большинстве узлов применены бесфасоночные примыкания

* Патент № 1.175.912 Е 04.

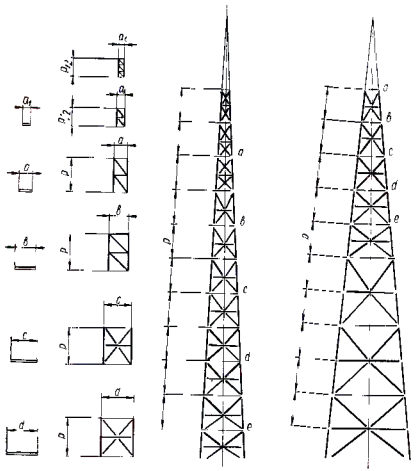


Рис. 9. Модульные схемы для построения башен (буквами обозначены поперечные размеры панелей).

Башня Ереванского телецентра имеет симметричную структуру (рис. 13). Отличительной особенностью ее является принятая из-за больших усилий в поясах схема с пространственными треугольными элементами из горячедеформированных труб. Трехгранные секции поясов выполнены аналогично мачтовым. Нижняя часть представляет трехгранную конструкцию, составленную из усеченных пирамид с совмещенными основаниями. Основание внизу (на отм. 0,00) имеет сторону 60 м, а в верхней части (на отм. 130,40) — 10 м. Распорки и раскосы выполнены также из сквозных решетчатых элементов трехгранных и плоских ферм.

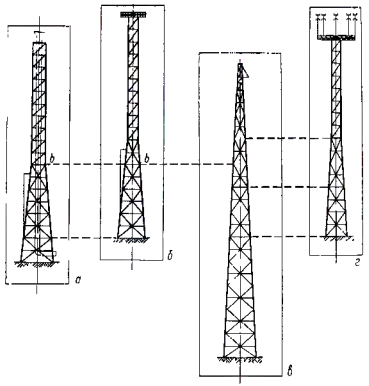


Рис. 10 Схемы башен, построенных на основе модульных схем: *а* — башня-труба; *б* — радиорелейная опора; *в* — башня для антенн СГД. *г* — башня для антенн «Алтай».

Башня Киевского телецентра — самая высокая стальная башня в Советском Союзе (рис. 14). Схема башни была принята из расчета монтажа методом подращивания и с этой целью разделена на три части: базу, решетчатый призматический ствол и шахту лифтов с антенной частью [23]. База башни представляет собой решетчатую восьмигранную обойму, к которой закреплены пространственные четырехгранные «ноги». Решетчатый призматический ствол восьмигранного сечения с диаметром описанной окружности 20 м защемляется в верхней части обоймы базы. Верхняя часть несет каркас технического здания. Высота панелей решетки ствола 8 м. Шахта лифтов опирается на фундаменты у основания башни и проходит внутри решетчатого призматического ствола, а выше его переходит в антенную часть. Шахта лифтов и антенная часть составлены из стальных цилиндрических оболочек. Дальнейшим совершенствованием описан-

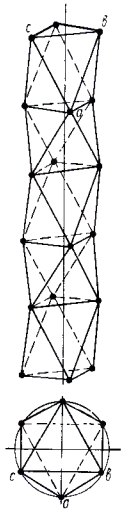


Рис. 11. Схема башни, построенной из равнобедренных треугольников.

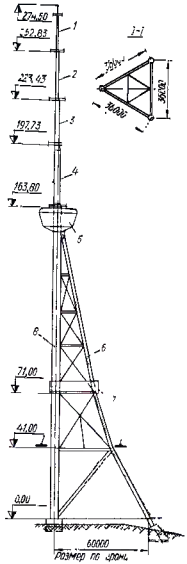


Рис. 12. Схема телевизионной башни в Тбилиси:

1—3 — участки ствола для антенн соответственно IV, III и II диапазонов; *4* — антенны УКВ ЧМ вещания; *5* — верхнее техническое здание; *6* — наклонные пояса; *7* — нижнее техническое здание; *8* — вертикальный ствол, совмещенный с шахтой лифтов и переходящий в антенную часть.

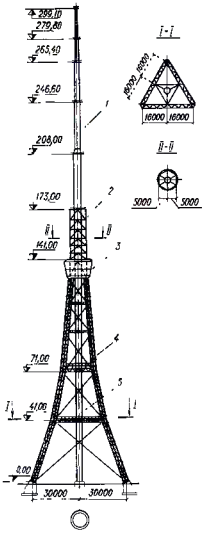


Рис. 13. Схема телевизионной башни в Ереване.

1 — ствол для установки телевизионных антенн и УКВ ЧМ вещания; *2* — ствол для установки антенн УКВ; *3* — техническое здание, *4* — пояс башни из пространственных секций, *5* — шахта лифтов.

ной схемы башни является схема, у которой решетчатый ствол проходит до основания башни, а база башни своей обоймой охватывает ствол и связана с ним только относительно горизонтальных перемещений (рис. 15)*. Примером такого конструктив-

* Авторское свидетельство № 403835. — Бюллетень изобретений, 1973, № 43.

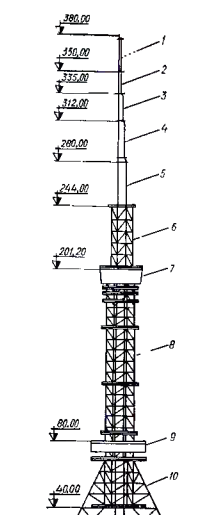


Рис. 14. Схема телевизионной башни в Киеве:

1—3 — участки ствола для антенн соответственно IV, III и II диапазонов; *4* — антенны УКВ ЧМ вещания; *5* — участок ствола для антенны I диапазона; *6* — решетчатый участок ствола для антенн «Алтай»; *7* — верхнее техническое здание; *8* — основной ствол; *9* — нижнее техническое здание; *10* — база башни; *11* — шахта лифтов

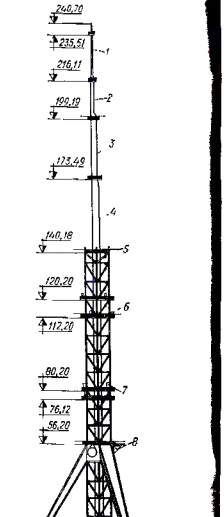


Рис. 15. Схема телевизионной башни в Харькове:

1—3 — участки ствола для антенн соответственно IV, III и II диапазонов; *4* — антенны УКВ ЧМ вещания; *5* — метеорен; *6* — площадки для установки антенн ПТС. *7* — то же антенн РТИ; *8* — места установки местных РРЛ.

ного решения является проект башни Харьковского телецентра, а также проект трехствольной башни-трубы высотой 320 м. Такая конструкция башни удобна для монтажа, отличается более надежной работой при просадках фундаментов, кроме того значительно упрощены соединения центрального ствола и базы.

ДИАФРАГМЫ

Для обеспечения неизменяемости поперечного сечения башни по ее высоте через два-три поперечника, а иногда и чаще (через одну панель) устраивают диски-диафрагмы. Для равномерной передачи усилий по всем граням обязательной является установка диафрагмы в месте приложения силы и в местах изломов поясов. Наиболее просты диафрагмы трехгранных башен, так как трехгранный контур неизменяем. Это — дополнительное преимущество трехгранных башен перед остальными.

Площадки обслуживания обычно совмещают с диафрагмами. В современных конструкциях башен площадки выполняют отдельно, устанавливая затем на элементы диафрагм. Преимущество отдают стержневым диафрагмам с жесткими элементами для трех- и четырехгранных башен. В восьми- и шестигранных башнях применяют, кроме диафрагм из жестких элементов, лучевые диафрагмы из листовых элементов с предварительным напряжением.

Очень важно правильно разбить башню на отправочные элементы. Если невозможно выполнить башню из пространственных габаритных секций полной заводской готовности (при размере нижнего основания более 2360 мм), ее проектируют из отдельных элементов. Размеры и масса этих элементов определяются прежде всего грузоподъемностью монтажных механизмов и средствами транспортировки. В практике длину поясов принимают 8, 10, 12 и 13,5 м. Длина раскосов и распорок не должна превышать 25 м. Масса элементов при монтаже подвесным краном 4 т. Площадки проектируют готовыми габаритными марками шириной не более 3200 мм, длиной — 13,5 м (СН 376-67).

СЕЧЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ БАШЕН

Пояса башен выполняют из труб, одиночных уголков, составных сечений из уголков и сварных составных сечений из листа. В практике можно встретить и другие типы сечений, например труба в трубе, с соединением на концах крестовыми вставками.

Раскосы выполняют из труб, круглой стали, одиночных уголков, крестовых и тавровых сечений из уголков, а также составных сечений из швеллеров. При относительно больших размерах панелей применяются раскосы из канатов. Примером могут служить конструкции башни Тбилисского телецентра и опоры для релейного оборудования.

Распорки выполняют из труб, уголков, составных сечений из уголков и швеллеров. При совмещении распорки с площадкой ее выполняют из трубы, швеллера или двутавра.

Трубчатые сечения являются наиболее подходящими для сжатых элементов башни прежде всего из-за минимальных значений коэффициентов лобового сопротивления и эффективных геометрических характеристик. Поэтому пояса, распорки и сжатые раскосы выполняют из труб. Раскосы, работающие только на растяжение (в схемах решетки *в* и *д*, см. рис. 5), выполняют из круглой стали, уголкового проката и канатов. При применении круглой стали и канатов обязательным является предварительное напряжение. Усилие предварительного напряжения должно составлять 50% расчетного усилия. Уголки в схеме с растянутыми раскосами применяются без предварительного напряжения, но с ограничениями по гибкости не более 350 (СНиП II-В.3-72)

При проектировании следует стремиться к применению минимально необходимого количества профилей. Не рекомендуется применение в одном проекте для одного типа элемента толщин, отличающихся менее, чем на 2 мм (СН 376-67). Минимальная толщина принимается для расчетных элементов конструкции не менее 5, для нерасчетных – не менее 4 мм.

УЗЛЫ РЕШЕТЧАТЫХ БАШЕН

Основные узлы, от качества которых во многом зависят надежность и удобство возведения конструкций башни,— это опорный, узел примыкания раскосов и распорок к поясам и узел пересечения раскосов.

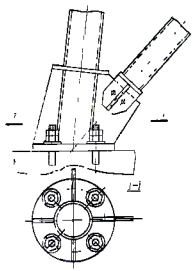
Опорные узлы. В опорном узле сходятся пояса и опорные раскосы. Как правило, в уровне фундаментов распорка отсутствует. Узел нагружен сжимающим усилием и растягивающим, в поясе, достигающим 90% и более величины сжимающего усилия. Усилие в раскосе колеблется в значительных пределах в зависимости от величины поперечной нагрузки и структуры нижней панели.

При конструировании узла, кроме обеспечения прочности самого узла, необходимо обеспечить передачу усилий на фундамент. Усилие сжатия передается на бетон плитой башмака, усилие вырывания передается на болты или на специальные элементы закладной детали. Поперечная сила передается при малых ее значениях непосредственно на болты. В случае относительно больших значений поперечной силы для передачи ее на фундамент предусматривается специальная закладная деталь, к которой через листовую вставку сваркой крепится плита башмака.

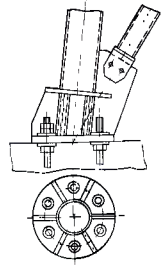
В практике проектирования и строительства применяется несколько типов опорных узлов (табл. 1). Узлы 1 и 2 применяют для башен с поясами из горячекатаных труб при относительно небольших поперечных силах. Для пропуска болтов в башмаке

Таблица 1. Опорные узлы решетчатых башен

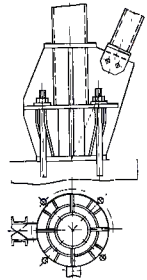
1. Опорный узел трубчатой башни



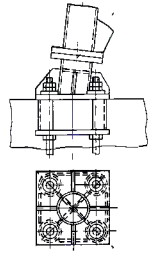
2. Опорный узел башни-трубы для химического производства



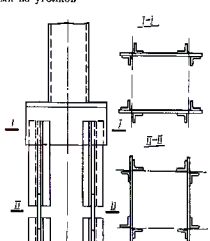
3. Опорный узел башни-трубы с траверсами для анкерных болтов [6]



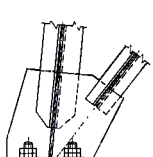
4. Опорный узел башни радиорелейной линии (с переходной деталью)



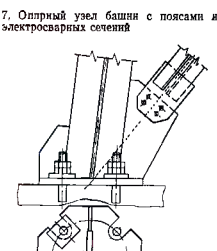
5. Опорный узел с переходными деталями из уголков *



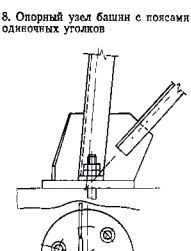
6. Опорный узел башни с поясами из уголков крестом [6]



7. Опорный узел башни с поясами из электросварных сечений



8. Опорный узел башни с поясами из одиночных уголков



* Авторское свидетельство № 468980. — Бюллетень изобретений. 1975, № 16

сделаны увеличенные отверстия (для того, чтобы выбрать погрешности в расстоянии между центрами закладных деталей фундаментов). Для связи болтов с плитой предусматривается дополнительная шайба, перекрывающая увеличенное отверстие, которая приваривается к плите. Башмак четырехгранных башен крепится четырьмя или восемью болтами, трехгранных — чаще шестью. Диаметры болтов достигают иногда 100—120 мм.

В узле 2 предусмотрены дополнительные гайки под плитой для выверки нижней панели при монтаже. Окончательное бетонирование фундамента осуществляется после выверки панели. Узлы 1 и 2 применяются в башнях для антенн СГД и в башнях-трубах.

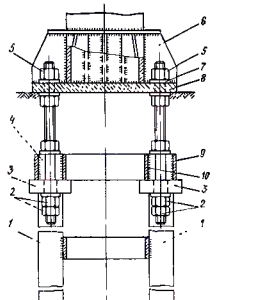


Рис. 16. Закладная деталь для крепления башмака пояса к фундаменту: *1* — листовая тяга, закрепленная между наружным и внутренним кольцами обоймы на сварке; *2* — гайка с контргайкой; *3* — упорная шайба для передачи вырывающих усилий со штанги на обойму; *4* — шпилька; *5* — гайка для передачи усилий с башмака на шпильку; *6* — ребро; *7* — шайба; *8* — плита башмака; *9* — наружное кольцо обоймы; *10* — внутреннее кольцо обоймы; *11* — кольцевая плита

При больших поперечных усилиях опорную плиту и верхний обрез фундамента выполняют перпендикулярно к оси пояса. Иногда анкерные болты опорных узлов закрепляют на выносных траверсах (тип. 3). Такой узел применяется в башнях-трубах. Конструкция его сложная. Опорный узел 4 применяется в радиорелейных опорах. Применение закладных деталей с болтами из круглой стали больших диаметров связано со сложностью изготовления. Более проще решение узла крепления поясов с большими усилиями к фундаменту по типу 5. Башмак башни закрепляется к закладной детали листовыми полосами или уголками. Для регулирования положения башмака введены вставки из листа, расположенные перпендикулярно к листовым деталям, приваренным к плите башмака.

Окончательное бетонирование производится после выверки нижней панели и сварки уголковых элементов закладной детали. При применении для поясов башен сечений из уголков или сварных крестов опорные узлы выполняются по типам 6—8. Конструкций закладных деталей есть много, наиболее удачная предложена ниж. Я. С. Барыком и Б. В. Остроумовым (рис. 16).

Узлы примыкания раскосов и распорок к поясам. Кроме раскосов и распорок к узлу могут подходить элементы диафрагм. В большинстве случаев они подходят к поясу с точной центровкой на ось пояса или же с небольшим эксцентриситетом. Элементы диафрагм крепят к поясу сваркой или болтовым соединением. Типы узлов показаны в табл. 2. Стыковка элеменов поясов осуществляется на фланцах или же сварным швом на подкладном кольце. Стыки могут быть расположены в месте пересечения раскосов (типы 9—11) или же вынесены за пределы узла (тип 12). В башнях объектов связи чаще всего применяются узлы с фланцевыми соединениями по типам 9, 11, 12 при решении поясов из труб и по типу 16, если пояса приняты из уголков или сварных крестов.

При непосредственном примыкании раскосов и распорок из труб к поясу узел решают по типу 15. Конец элемента (раскоса, распорки) имеет фигурный вырез. При возведении башни способом наращивания патрубки приваривают к поясам на заводе, а раскосы крепят при монтаже на полубандажах, а при способе подращивания можно на монтаже выполнить приварку по фигурным вырезам без стыка на полубандажах. Такой узел выполнен на башне Киевского телецентра. На изломах поясов при небольших углах (до 5°) стык осуществляется на фланцах с увеличенным отверстием или отверстием, вырезанным под углом. При больших углах на переломе стык выполняют на заводе сваркой с подкладным кольцом, а фланец выносят за пределы узла.

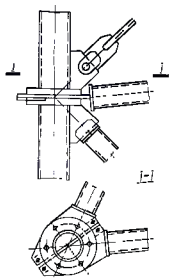
Иногда узел на переломе поясов делают со вставкой-распоркой, воспринимающей изгиб от моментов, возникающих за счет небольшого эксцентриситета (тип 13). Если монтаж производят способом подращивания, к вставке крепят монтажный хвостовик. В связи с тем, что труба слабо сопротивляется местному воздействию усилий от примыкающих фасонок, их окаймляют кольцевыми ребрами. Особенно важно это выполнять в случае применения тонкостенных труб

Узлы пересечения раскосов. Различные узлы пересечения элементов решетки даны в табл. 3. В этих узлах сходится много различных элементов (раскосы, промежуточные распорки, элементы диафрагм), поэтому они имеют различные варианты решения. Наиболее простым является узел пересечения двух уголковых раскосов (тип 18). Иногда в узле закрепляется антивибрационная подвеска основной распорки. При относительно небольших усилиях в раскосах применяют узлы типов 17 и 19. Отличаются они способом крепления фасонки к промежуточной распорке. В первом случае трубу прорезают и фасонка неразрывна. Во втором — фасонки крепят к стенке труб и окаймляют кольцевыми ребрами.

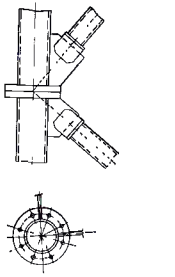
Узлы с разрывом распорки есть двух видов: со стыковкой распорки на фланце, при этом раскосы крепят на промежуточ-

Таблица 2. **Узлы примыкания распорок и раскосов к поясам башни**

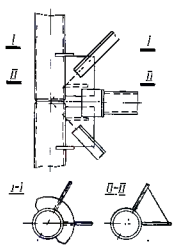
9. Узел примыкания раскосов из круглой стали к поясам из труб



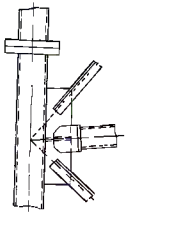
10. Узел примыкания распорок и раскосов к поясам башни РРЛ



11. Узел примыкания распорок и раскосов к поясам башни-трубы для химического производства

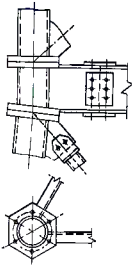


12. Узел примыкания распорок и раскосов к поясам башни (с вынесенным стыком)

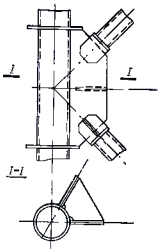


Продолжение табл. 2

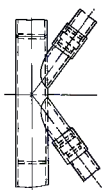
13. Узел примыкания распорок и раскосов к поясам башни РРЛ в пос. Тараща



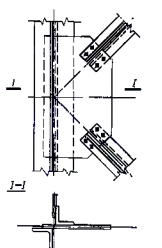
14. Узел примыкания распорок и раскосов к поясам башни с окаймлением фасонок



15. Узел с непосредственным примыканием раскосов и распорок к поясам башни



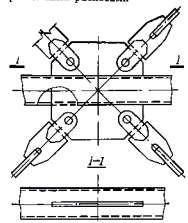
16. Узел примыкания распорок и раскосов к поясам башни (с элементами из уголков)



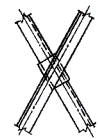
ных распорках (типы 17—19) и с центральной сварной деталью, к которой крепят все элементы (тип 20).

Таблица 3. Узлы пересечения раскосов с промежуточными распорками в решетчатых башнях

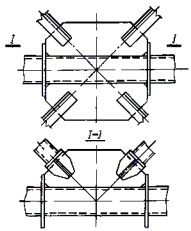
17. Узел пересечения с предварительно напряженными раскосами



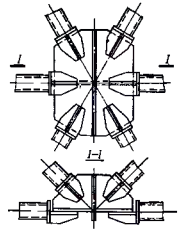
18. Узел пересечения раскосов из одиночных уголков



19. Узел пересечения раскосов с промежуточными распорками с раскосами из уголков



20. Узел пересечения раскосов с промежуточными распорками со сварной вставкой из стальных листов [6]



КОНСТРУКТИВНЫЕ ДЕТАЛИ

Стыки трубчатых элементов выполняют сварными и на фланцевых соединениях. Варианты сварных стыков труб приведены в табл. 4. Сварной стык на подкладном кольце равнопрочен основному металлу и не требует расчета. Если расчетное

Таблица 4. **Варианты сварных стыков труб**

Стык труб, выполненный на подкладном кольце	Размеры по разделке кромок и прилегания между притупленными приняты по рекомендациям Института электросварки им. Е. О. Патона АН УССР При ручной сварке $a=6\pm1{,}5$ мм; при сварке в среде CO_2 $a=1{,}5\div2{,}0$ мм
Стык труб на накладках с фигурными вырезами	$L=\frac{\pi D+2\delta_н}{2}$, где D — диаметр трубы; $\delta_н$ — толщина накладки, принимается равной $1{,}2\ \delta_{тр}$; $r_1=20\div30$ мм; $r_2=r_1+5$ мм; $\delta_{св.\ шв}=\delta_н$
Стыки труб разных диаметров	a — стык через листовую прокладку (в проекте необходимо предусматривать проверку на расслой); $б$ — конический переход Уклон не более 1 : 5

сопротивление наплавленного металла ниже материала свариваемых труб, шов проверяют по формуле

$$\frac{N}{\pi d_{ср}\delta m}\leqslant R_{св},$$

где N — расчетное усилие; $d_{ср}$ — средний диаметр сечения трубы; δ — толщина стенки; m — коэффициент условий работы; $R_{св}$ — расчетное сопротивление сварного шва.

В стыках на накладках сварные швы рассчитывают как угловые по СНиП II-В.3-72.

Трубы разных диаметров соединяют при помощи конической вставки или листовой прокладки (см. табл. 4). Коническая вставка должна иметь уклон не более 1 : 5 с целью уменьшения краевого эффекта. В тонких оболочках в местах сопряжения предусматривают утолщенные вставки. Для горячекатаных труб конические вставки были применены при монтаже башни Ленинградского телецентра, башни-трубы в Новгороде и на других объектах.

При применении стыков труб с листовой прокладкой требуется тщательная проверка листа на расслой, особенно для стыков поясов, нагруженных растягивающим усилием. Применяются стыки и других типов, например через крестовую вставку, но они имеют конструктивные недостатки.

В башенных конструкциях широко применяется фланцевый стык труб (рис. 17). При проектировании башен используется разработанный ЦНИИПроектстальконструкцией набор типоразмеров фланцев, увязанный с сокращенным сортаментом труб. Количество болтов для фланцевых стыков определяют из соотношения

$$N_р\leqslant R_б n\frac{\pi d_б^2}{4}m,$$

где $R_б$ — расчетное сопротивление болта; n — число болтов; $d_б$ — диаметр болта; m — коэффициент условий работы болтового соединения, равный 0,8.

При определении количества болтов стремятся к уменьшению их диаметра. Это ведет к уменьшению диаметра окружности по центрам болтов и в итоге к уменьшению массы фланца. Количество болтов зависит от угла:

Угол α	120	90	60	45	30
Количество болтов	3	4	6	8	12

Болты для фланцевых соединений, как правило, применяют из стали 40Х и 35Х. Несущая способность болтов диаметром до 48 мм приведена в табл. 5.

Соотношения толщины фланца и стенки трубы таковы, что расчет фланцев производят с учетом работы стенки трубы [5].

Крестовые и угловые сечения соединяют при помощи фланцевых стыков или накладок. Фланцевый стык применяется в уз-

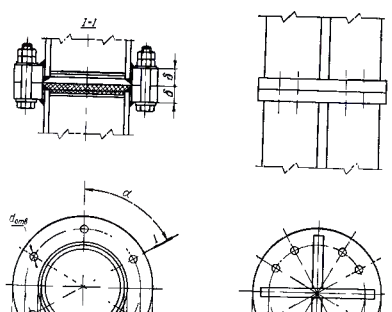


Рис. 17. Фланцевые стыки элементов башен:
а — стык трубчатого элемента; *б* — стык элемента из сварного крестового сечения.

Таблица 5. **Несущая способность болтов различных диаметров**

Болт	$\sigma_{вр}$		Значения коэффициентов			$R_б$, кг/см²		Расчетная площадь, см²	Несущая способность одного болта, тс	
	40Х	35Х	k_1	$k_2=k_3=k_4$	$k_1k_2k_3k_4$	40Х	35Х		40Х	35Х
М48	100	80	0,8	0,8	0,410	4100	3280	13,75	56,4	45,0
М42	100	80	0,8	0,8	0,410	4100	3280	10,45	42,8	34,3
М36	100	80	0,9	0,8	0,460	4690	3680	7,58	34,8	27,8
М30	100	80	1,0	0,8	0,512	5120	4100	5,19	26,6	21,3
М27	100	80	1,1	0,8	0,563	5630	4500	4,27	24,0	19,2
М24	100	80	1,2	0,8	0,615	6150	4910	3,24	19,9	15,9
М20	100	80	1,2	0,8	0,615	6150	4910	2,25	13,8	11,0
М16	100	80	1,2	0,8	0,615	6150	4910	1,44	8,85	7,05
М14	100	80	1,2	0,8	0,615	6150	4910	1,047	6,45	5,15

лах с соединением поясов в пересечении раскосов, в основном в башнях для антенн СГД. Для фланцев крестовых сечений из уголков и сварных сечений из листа (см. рис. 17) болты рассчитывают аналогично болтам фланцевых соединений трубчатого сечения. Толщина фланца подбирается из расчета секторной плиты, защемленной по радиальным кромкам со свободным дуговым краем.

Упругий расчет является трудоемким. Кроме того при упругом расчете в центре плиты появляются бесконечные значения величины моментов. Более удобный расчет плиты по методу предельного равновесия. На основании этого метода построен график, позволяющий находить толщину плиты h при заданной расчетной нагрузке P (рис. 18) и решать обратную задачу, т. е. по h находить P. Вычисления выполнены для стали марки 10Г2С1 ($\sigma_т=3500$ кгс/см²; $k=0{,}85$; $m=0{,}8$; $mk\sigma_т=2400$ кгс/см²). К другим материалам с величинами $\sigma_т$, k', m' можно перейти, умножая полученные из графика значения h на $(2400/m'k'\sigma_т')^{\frac{1}{2}}$.

Пример. Требуется определить толщину фланца из стали марки 10Г2С1 (см. рис. 18, *а*). Усилие на болты $P=60$ тс, $\alpha=45°$, $r/r=1{,}5$. По графику на оси P находим число 60, по наклонной линии опускаемся до вертикальной прямой, соответствующей $r/r_0=1{,}5$, и далее по горизонтальной до кривой, соответствующей $\alpha=45°$. От точки пересечения с кривой опускаемся вниз до оси h, где находим $h=38$.

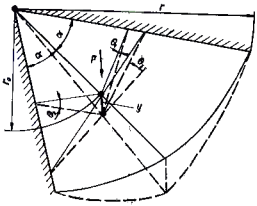
Стыки на накладках рассчитывают обычными методами (СНиП II-В.3-72).

Детали концевых закреплений распорок и раскосов. Наиболее целесообразно трубчатые раскосы и распорки крепить непосредственно к поясам на сварке. Однако такое решение не всегда может быть осуществлено. Из деталей концевых закреплений трубчатых распорок к фасонкам узлов чаще всего применяется деталь с торцевой заглушкой (табл. 6). Такая деталь была исследована в Институте электросварки им. Е. О. Патона АН УССР и испытана на практике*.

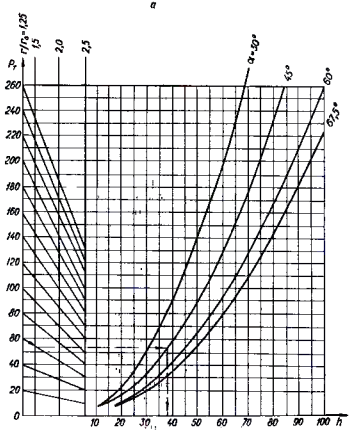
Надежная работа концевого закрепления обеспечена при отношении толщины торцевого листа к диаметру, большем 1/6. Для лучшего распределения напряжений по контуру трубы ставят ребро перпендикулярно к основной фасонке. Крепление трубы с использованием торцевой заглушки может быть выполнено в двух вариантах. Крепление со сдвоенной фасонкой применяется при значительном растягивающем усилии. При небольших размерах труб применяется крепление со сплющиванием конца трубы.

Деталь непосредственного примыкания трубчатой распорки и раскоса к поясу из трубы. При непосредственном примыкании

* В. И. Новиков, В. А. Ковтуненко. Прочность соединения трубчатого раскоса с узловой фасонкой. — Автоматическая сварка, 1968, № 10.



а

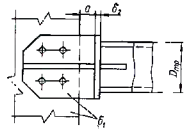


б

Рис. 18. Зависимость толщины плиты от усилий в болтах: *а* — расчетная схема разрушения плиты; *б* — графики зависимости усилий $P_т$ от толщины h.

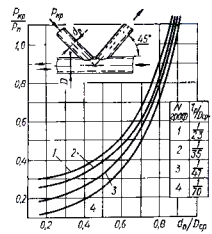
Таблица 6. Узлы примыкания раскосов и распорок к поясам башен

Концевое закрепление раскосов и распорок к поясам башни при помощи фасонок



$a \approx (5 \div 6)\ \delta$ при закреплении на сварке

К-образный узел при бесфасоночном примыкании раскосов к поясу башни*



$P_п = F_п R$

*Несущая способность узла определяется по материалам Института электросварки им. Е. О. Патона АН УССР (см.: Статическая прочность и расчет сварных бесфасоночных узлов трубчатых металлоконструкций. Изд. УкрНИИНТИ и ИЭС им. Е. О. Патона, К., 1969).

элемента под произвольным углом α проводят проверку несущей способности узла, устанавливают соотношения диаметров и толщин труб пояса и примыкающего элемента и производят расчет сварных швов (см. табл. 6).

При разработке узлов и деталей в проекте предусматривают конструктивные мероприятия, учитывающие особенности работы башенных конструкций. Принимая во внимание переменный случайный характер нагружения башни, возможность возникновения колебаний, разрабатывают мероприятия по устранению концентрации напряжений (плавные переходы в местах изменения сечений, замыкания швов, механическая обработка и др.). Осо-

бое внимание уделяют разработке таких мероприятий при проектировании башен, эксплуатируемых в условиях низких температур (СН 378-67, СНиП III-18-75).

УСТРОЙСТВА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ КОЛЕБАНИЙ

Для защиты башен от резонансных колебаний в ветровом потоке используют такие средства: оттяжки; специальные элементы (пластины, спирали, перфорированные пластины) в месте срыва вихрей, вызывающих колебание башни, с целью изменить характер обтекания цилиндра ветровым потоком; гасители колебаний.

Наиболее эффективным средством защиты башни от резонансных колебаний является установка оттяжек. При них резко изменяется схема сооружения и достаточно установить одностороннюю связь. Примером применения оттяжек для защиты от резонанса является временная схема защиты башен-труб высотой 150 м с диаметром газоотводящего ствола 2,6 м в трехгранной башне в Новгороде и Дорогобуже. Резонанс возник после ураганного ветра при снижении его скорости до 7—10 м/с. После установки оттяжек колебания башни были полностью устранены.

В зарубежной практике для этой цели применяют оттяжки с подвижно закрепленным грузом. Оттяжку закрепляют в верхней части трубы, а нижний конец ее с грузом перебрасывают через бревно. Для устранения резонансных колебаний достаточно небольшого груза. Такое решение удобно при защите сплошностенчатых башен-труб, так как подвижное крепление исключает появление дополнительных усилий в оттяжках при удлинении газоотводящего ствола за счет температуры. Хотя оттяжки являются надежным устройством для защиты, но это временное средство, они вызывают ряд неудобств при эксплуатации и зачастую неприемлемы.

Для защиты длинных гибких элементов башен, например распорок, применяются гибкие односторонние связи (антивибрационные подвески). Их выполняют из круглой стали диаметром 20—28 мм. Применение уголковых сечений исключено, так как уголки при большой гибкости начинают колебаться и разрушаться. Такое явление наблюдалось на башнях для сетей коротковолновых антенн, где антивибрационные подвески пришлось заменять.

Колебания горизонтальных и наклонных трубчатых элементов наблюдались при гибкостях более 130. В связи с этим для таких элементов при длине более 40 диаметров для стержней, шарнирно опертых по концам, рекомендуется ставить антивибрационные связи [3]. Способ защиты цилиндрической башни от резонанса при помощи полосы, прикрепленной к цилиндру, впервые был предложен Г. А. Савицким *.

* Авторское свидетельство № 77097, кл. 371,5.— Бюллетень изобретений, 1949, № 12.

В зарубежной практике применяют спирали, устанавливаемые в верхней части трубы для башен-труб высотой 40—60 м. Ширина полосы спирали принята из расчета 0,09 диаметра. Устанавливают пять витков спирали. Аналогичное решение принято для гашения колебаний цилиндрической стальной трубы высотой 140 м диаметром 6 м в верхней части трубы. Для снижения уровня колебаний трубы на основе исследований аэроупругих моделей в аэродинамической трубе было установлено в верхней ее части три спирали с шагом витка 1/5. Высота ребра составляла 0,1 диаметра трубы.

Применение спиралей и пластинчатых интерцепторов исключает резонансные колебания, но увеличивает ветровую нагрузку вдоль потока за счет увеличения коэффициента лобового сопротивления C_x. Учитывая, что существенное изменение характера обтекания цилиндра возможно при высоте ребра спиралей не менее 0,1 D, нагрузку на трубу увеличивают примерно вдвое. В связи с этим для защиты башенных конструкций широко применяют гасители колебаний двух типов: ударные и динамические.

Ударный гаситель колебаний состоит из нескольких маятников, подвешенных на верху башни без зазоров *. Условие настройки гасителя $\theta T = 2\pi$; $2w = \theta$, где θ — частота возмущения (принимается равной частоте собственных колебаний башни по первому тону); T — период соударений; w — частота колебаний маятника. Преимуществом ударного гасителя являются простота конструкции и надежность работы. К недостаткам можно отнести необходимость в отбойных устройствах на башне, а также относительно большую длину маятника при низких частотах колебаний. В связи с этим ударные маятниковые гасители применимы для башен небольших высот (до 100 м).

Динамический гаситель колебаний представляет собой устройство маятникового типа, масса которого движется в противофазе с возмущающей силой, снижая тем самым воздействие этой силы на башню. Для снижения колебаний башни применяют динамические гасители колебаний с затуханием. Частота колебаний гасителя равна частоте колебаний башни. Условия эксплуатации башни обычно такие, что постоянный контроль за состоянием конструкций башни, в том числе гасителей, отсутствует. Поэтому конструкции гасителей должны быть просты по устройству и не чувствительны к метеорологическим воздействиям.

Чаще всего применяется гаситель, выполненный в виде груза, подвешенного на стальном канате (рис. 19) **. Затухание в гасителе приведенной конструкции происходит за счет трения в самом

* В. М. Сысоев. Маятниковый гаситель колебаний сооружений башенного типа.— В кн.: Исследования по динамике сооружений. М., Госстройиздат, 1957.

** Авторское свидетельство № 386180, кл. F 16 f 15/28 — Бюллетень изобретений, 1973, № 26.

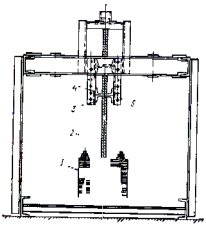


Рис. 19. Динамический гаситель колебаний:

1 — груз, *2* — подвески; *3* — деталь с отверстием для пропуска каната с втулкой, *4* — упорные шайбы, *5* — подвижная деталь для регулировки длины подвески маятника

канате. Такой гаситель применяли для снижения колебаний башен-труб высотой 150 м. Недостатком гасителя является слабое затухание. Так, для гасителя массой 1,5 т с периодом колебаний около 2 с подвеску пришлось решать из трех канатов диаметром 55 мм, связанных между собой бандажами. При этом декремент колебаний гасителя при рабочих амплитудах ≈400 мм составлял ≈0,15. Иногда в гасителе такого типа декремент повышают, жестко присоединяя стержень к массе, второй конец которого движется при колебаниях в сосуде с сыпучим материалом. Гаситель колебаний, примененный для снижения колебаний меча монумента в Волгограде, выполнен с воздушным демпфером в виде поршня с малым отверстием.

В гасителе, состоящем из нескольких маятников одинаковой длины, соединенных связью с пружиной, затухание регулируется натяжением пружины (рис. 20) или присоединением к жестким подвескам стальных канатов *.

При периодах колебаний менее секунды конструктивно выполнить гаситель с подвеской из каната невозможно из-за малой ее длины. В этом случае применяют гаситель с двойной регулировкой частоты за счет изменения эксцентриситета и длины упругого элемента (рис. 21) **. При больших периодах колебаний конструктивная длина подвески является достаточно большой и применение маятниковых гасителей колебаний с подвеской затруднительно. В таких случаях можно применять гасители, выполненные в виде шара, свободно установленного на направляющей поверхности.

При использовании гасителей колебаний появляется необходимость определения динамических характеристик башни в натуре и настройки гасителей. На основе опыта применения динамических гасителей колебаний декременты их колебаний для рабочих амплитуд рекомендуется принимать ≈0,2—0,3. Массу га-

* Авторское свидетельство № 514 134 — Бюллетень изобретений, 1976, № 18

** Авторское свидетельство № 557220. — Бюллетень изобретений, 1977, № 17

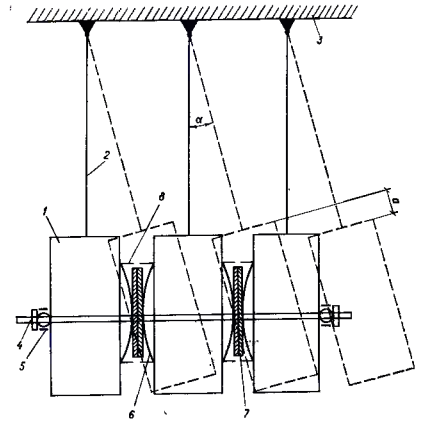


Рис. 20. Динамический гаситель колебаний маятникового типа

1 — груз; *2* — подвески; *3* — конструкция башни; *4* — винтовая стяжка; *5* — упор; *6* — пружины, *7* — фрикционные колодки; *8* — упоры для фиксации фрикционных колодок

сителей рекомендуют принимать равной 3—4% приведенной массы башни трубы. Расчет башни с гасителями выполняют в соответствии с рекомендациями по проектированию ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко*.

Настройка гасителей колебаний для башни-трубы производится по этапам:

запись свободных колебаний башни без гасителей с целью выяснения парциальной частоты башни;

* Рекомендации по проектированию гасителей колебаний для защиты зданий и сооружений, подверженных горизонтальным динамическим воздействиям от технологического оборудования и ветра. ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко Госстроя СССР. М., Стройиздат. 1978

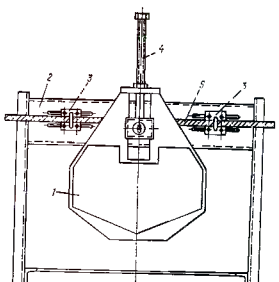


Рис. 21. Динамический маятниковый гаситель колебаний:
1 — груз; *2* — защищаемая конструкция; *3* — подвижный ограничитель; *4* — регулировочный винт; *5* — упругий элемент (отрезок каната)

настройка гасителей (подбор длины подвески маятника) на соответствующую частоту на образце, установленном на земле;

установка подобранной длины маятника на гасителях, расположенных на башне.

ВОЗДЕЙСТВИЯ И НАГРУЗКИ

На башенную конструкцию существенное влияние оказывают силовые воздействия:

сила тяжести собственной массы оборудования и конструкций;

метеорологические воздействия (ветер, обледенение, температура);

сейсмические воздействия;

натяжение проводов и тросов, закрепленных на башне, и предварительное напряжение элементов башни;

воздействия, возникающие в особых условиях (взрывы, просадки грунтов, обрыв проводов и тросов и др.);

температурные перепады, вызванные технологическими процессами (характерно для вытяжных башен-труб);

монтажные нагрузки.

Необходимо выделить особо специфические воздействия, не связанные с возникновением нагрузок, но влияющие на конструктивное выполнение элементов — агрессивность среды по отношению к сталям.

СОБСТВЕННАЯ МАССА ОБОРУДОВАНИЯ И КОНСТРУКЦИЙ

Масса сооружений включает массу оборудования и массу металлических конструкций башни. Масса оборудования приводится в задании на проектирование или устанавливается проектировщиком по справочным данным или же вычисляется по рабочим чертежам. Коэффициент перегрузки для нагрузок от собственной массы оборудования принимают в соответствии со СН 376-67.

Хотя собственная масса сооружения составляет относительно небольшую долю при вычислении усилий в основных элементах от статических нагрузок, правильный учет ее при расчете башни является важным. Особенно необходимо учитывать распределение массы по высоте при динамическом расчете, а также при расчете отдельных элементов на местное воздействие собственной массы. При проектировании собственная масса конструкции принимается по аналогичным проектам или же устанавливается расчетом по предварительно принятым сечениям элементов с последовательным уточнением. Для приближенного определения распределенной массы башни по высоте используют соотношение [5]

$$g_i = 0{,}5 g_{ср}\left[1 + 3\left(1 - \frac{x_i}{H}\right)^2\right],$$

где g_i масса башни на рассматриваемой высоте x_i; $g_{ср}$ — средняя масса башни; H — высота башни.

Если известна приведенная распределенная нагрузка на башню, то теоретическая масса четырехгранной башни с оптимальными очертаниями может быть вычислена по формулам (табл. 7).

Для вычисления распределенной массы четырехгранных башен-труб используется линейное соотношение [6]

$$g = aDg + b,$$

где D — диаметр газоотводящего ствола; g — распределенная нагрузка; a и b — коэффициенты, зависящие от профилей, из которых изготовлены основные элементы башни-трубы (для трубчатых сечений $a=22$, $b=7$).

При прогнозировании показателей массы нового башенного сооружения в проектной практике используется зависимость [7]

$$G = G_0 k_{пол}^3 k_w,$$

где G — масса нового сооружения, геометрически подобного сооружению с известными параметрами; G_0 — масса сооружения

Таблица 7. **Определение массы башен с различными типами решеток** (обозначения: g — приведенная нагрузка, h — ордината, отсчитываемая от верха башни)

Тип решетки (см. рис. 5)	Теоретический распределенный объем V, м³
Раскосная (*а*)	$\left[2{,}50\frac{gh^2}{\sqrt[3]{gh^2}}+2{,}85gh+0{,}55\left(\sqrt[3]{gh^2}\right)^2\right]10^{-4}$
Треугольная (*б*)	$\left[2{,}25\frac{gh^2}{\sqrt[3]{gh^2}}+1{,}9gh+0{,}84\left(\sqrt[3]{gh^2}\right)^2\right]10^{-4}$
Крестовая (*в*)	$\left[1{,}60\frac{gh^2}{\sqrt[3]{gh^2}}+4{,}75gh+0{,}67\left(\sqrt[3]{gh^2}\right)^2\right]10^{-4}$
Ромбическая (*г*)	$\left[2{,}30\frac{gh^2}{\sqrt[3]{gh^2}}+1{,}9gh+1{,}05\left(\sqrt[3]{gh^2}\right)^2\right]10^{-4}$
Крестовая с дополнительной распоркой (*д*)	$\left[1{,}40\frac{gh^2}{\sqrt[3]{gh^2}}+4{,}75gh+0{,}65\left(\sqrt[3]{gh^2}\right)^2\right]10^{-4}$
Ромбическая с дополнительной распоркой (*е*)	$\left[1{,}52\frac{gh^2}{\sqrt[3]{gh^2}}+1{,}9gh\quad 0{,}69\left(\sqrt[3]{gh^2}\right)^2\right]10^{-4}$

Примечание. Распределенная масса может быть получена по значению теоретического распределенного объема с точностью до конструктивного коэффициента $n=7{,}85\,V\,K$, где m — распределенная масса, т/м, K — конструктивный коэффициент. Теоретический объем, вычисленный по данным табл. 7, может служить оценкой нижнего предела объема конструкции, к которому нужно стремиться при проектировании

с известными параметрами: $k_{по}$ — коэффициент подобия ($k_{под}=\frac{l_1}{l_0}$, где l_1, l_0 — геометрические размеры прогнозируемого и известного сооружения); $k_w=\frac{q_{1\,срез}}{q_{0\,срез}}$, где $q_{1\,срез}$, $q_{0\,срез}$ — среднее значения интенсивности ветровой нагрузки для проектируемого и известного сооружения. Массу вспомогательных деталей учитывают коэффициентом 1,1

При расчетах для собственной массы конструкций в зависимости от характера расчетной проверки принимаются коэффициенты перегрузки: 1,1 — при проверках на сжимающие усилия; 0,9 — при определении растягивающих усилий в поясах, расчете фланцевых болтов, проверке фундаментов на вырывающие усилия их устойчивости и др.

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

Ветер. Основное силовое воздействие на башенные конструкции оказывает ветер. Интенсивность ветрового воздействия на препятствия определяется скоростью перемещения воздушной массы и связана с ней квадратичной зависимостью.

При проектировании башен интенсивность ветрового воздействия (нормативный скоростной напор) принимают по средней скорости ветра, возникающей один раз в пять лет. Для территорий СССР по скоростному напору ветра установлено семь районов (СНиП II-6-74)·

Районы	I	II	III	IV	V	VI	VII
Нормативный скоростной напор ветра, кгс/м²	27	35	45	55	70	85	100
Нормативная скорость ветра, м/с	20,7	23,6	26.8	29,6	33,4	36,7	40,0

Для уникальных сооружений используют также данные многолетних наблюдений местных метеостанций. Если ветровые скорости в районе строительства превосходят данные СНиП II-6-74, то скоростной напор вычисляют по конкретным условиям. Для многих пунктов СССР ветровые скорости, возникающие один раз в год и за 5, 10, 15 и 20 лет в зависимости от ветрового района, приведены в табл. 8. СНиП II-А.6-72.

Скорость ветра и скоростной ветровой напор меняется (нарастает) с высотой, и характер этого изменения зависит от микрорельефа в районе строительства. Чаще всего принимают, что увеличение напора с высотой следует степенному закону. Конкретный вид функции изменения скоростного напора от высоты получают подбором показателя степени и постоянной для данного типа местности скорости*, которыми можно учесть вид микрорельефа. СНиП II-6-74 регламентирует два типа местности: А и Б. К типу А относятся открытые местности (степи, открытые берега озер и морей и др.). К типу Б относятся местности с равномерно расположенными препятствиями выше 10 м над поверхностью земли (табл. 8). Промежуточные значения коэффициентов для высот, не указанные в табл. 8, вычисляются линейной интерполяцией.

Установлено, что профиль скоростного напора ветра у поверхности земли может иметь более сложную структуру Возможны спады скорости на отдельных участках по высоте, причем участок спада может располагаться на различных уровнях над землей. В связи с этим для высоких башен учитывают зональное

Таблица 8. **Коэффициенты изменения скоростного напора ветра по высоте**

Коэффициент изменения скоростного напора ветра	Тип местности	Высота над поверхностью земли, м						
		10	20	40	60	100	200	350 и выше
k	А	1	1,25	1,55	1,75	2,1	2,6	3,1
	Б	0,65	0,9	1,2	1,45	1,8	2,45	3,1

* Руководство по расчету зданий и сооружений на действие ветра. ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко Госстроя СССР. М., Стройиздат. 1978.

воздействие ветра. Такой учет является расчетным для отдельных элементов решетки.

В соответствии со СНиП II-6-74 коэффициент перегрузки для ветровой нагрузки на башни широкого применения принимается равным 1,3, что соответствует скорости ветра, превышаемой один раз в 20 лет. Иногда, учитывая уникальность сооружения, принимают этот коэффициент равным 1,4—1,5. Скорость ветра и число лет, соответствующие этим коэффициентам перегрузки для различных ветровых районов, могут быть определены по табл. 9 [12].

Коэффициенты пульсации, принятые для расчета башенных конструкций, приведены в табл. 10.

Кроме воздействия статической и динамической составляющих ветровой нагрузки, направленной вдоль ветрового потока, башни-трубы и башни цилиндрической формы, а также решетчатые башни, несущие на себе большие цилиндрические элементы наверху сооружения, подвержены еще воздействию периодических сил, направленных перпендикулярно к ветровому потоку в автоколебательном процессе, вызванном срывами вихрей.

Обледенение. Гололед, образовавшийся непосредственно на конструкции башни, мало влияет на усилия в основных элементах башни, однако может быть определяющим при расчете отдельных элементов (площадок, консолей и др.). Если башня нагружена сетями или проводами, например антеннами СГД, усилия в элементах башни значительно возрастают от увеличения натяжения проводов, нагруженных гололедом, и расчетным случаем для башни может явиться воздействие гололеда с ветром на оборудование и башню.

Таблица 9. **Средние скорости ветра по районам СССР** [12]

Период времени, годы	Районы						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
1	17	20	23,5	27	30	33,1	36
5	20,8	23,8	27,3	31,3	34	37,7	40,4
10	22	25,8	29	32,6	36,2	39,5	44,5
20	23,5	27	31	34,2	38	41,2	45
30	24	27,4	31,5	35	38,6	41,8	45,8
50	25	29,2	32,8	36,5	40	43,2	48

Таблица 10. **Коэффициенты пульсации (СНиП II-6-74)**

Тип местности	Высота над поверхностью земли, м						
	До 10	20	40	60	100	200	350
А	0,60	0,55	0,48	0,46	0,42	0,38	0,35
Б	0,88	0,75	0,65	0,60	0,54	0,46	0,40

В зависимости от величины гололедных образований (толщина стенки гололеда, превышающая один раз в 5 лет на высоте 10 м над уровнем земли) территория СССР разделена на 5 районов:

Район	I	II	III	IV	V
Толщина стенки гололеда, мм	Не менее 3	5	10	15	Не менее 20

Определение нагрузок на элементы башен, провода и канаты, учет изменения толщин льда с высотой производят в соответствии со СНиП II-6-74. Коэффициент перегрузки для гололедной нагрузки принимают равным 1,3.

Вероятность появления гололеда при максимальном ветре весьма мала, поэтому в сочетании нагрузок гололед плюс ветер за расчетную принимают половину скорости ураганного ветра.

Температура. При учете температурных условий при эксплуатации конструкции башни следует иметь в виду два основных фактора; влияние изменения температуры на напряженное состояние башни; возможное изменение характеристик стали при высоких и низких температурах.

Изменение напряженного состояния башни связано с изменением температуры окружающей среды, воздействием солнечной радиации или же изменением температуры отдельных элементов при технологических процессах. Последнее характерно для работы металлических башен-труб. За счет изменения суточной температуры происходит относительно равномерное изменение температуры всего сооружения. При воздействии солнечных лучей происходит неравномерный односторонний нагрев, что может вызвать существенные деформации башни. Учет одностороннего нагрева важен для сплошностенчатых башен. Особо сильно сказывается влияние температуры в башнях-трубах, так как разница в температурах газоотводящего ствола и поддерживающей конструкции достигает иногда нескольких сот градусов. Взаимные смещения при этом составляют десятки сантиметров, что требует специальных конструктивных мероприятий.

Температура газов в газоотводящих стволах принимается по технологическому заданию. Минимальные значения температуры учитывают при выборе марки стали с учетом ее хладноломкости. При высоких температурах модуль упругости и расчетные сопротивления стали понижают. Температура при гололедных образованиях для всей территории СССР принимается для башен высотой до 100 м — 5°С, выше 100 м — 10°С (СНиП II-6-74).

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

Величина сейсмического воздействия характеризуется коэффициентом сейсмичности K_c, учитывающимся при расчетах:

Расчетная сейсмичность, баллы	7	8	9
Коэффициент сейсмичности K	0,025	0,05	0,1

Районирование территории СССР по сейсмичности дано в СНиП II-А.12-69 *. Величина сейсмического воздействия на сооружение зависит от его динамических характеристик и определяется с их учетом.

Для основных элементов башни наиболее невыгодным является горизонтальное направление нагрузок, которое принимается за расчетное и для сейсмических сил. Вертикальное воздействие является опасным для площадок, консольных элементов антенн и подобных конструкций.

Сейсмическое воздействие на башню увеличивается с увеличением массы оборудования, установленного на башне, и жесткости сооружения. Однако подобное изменение площади сечений и массы несущих конструкций не приводит к уменьшению напряжений, так как оно приводит к конструкции сейсмически равнонапряженной за счет соответствующего изменения жесткости [7]. Снизить жесткость сооружения и уменьшить усилия от сейсмических воздействий можно за счет варьирования очертаний башни, приближая их к очертаниям башни минимальной массы, а также применяя стали повышенной прочности.

Для большинства решетчатых башен, установленных в ветровых районах выше III, сейсмическая нагрузка не является расчетной, решающее значение имеет ветровая. Учет сейсмичности сводится к конструктивным мероприятиям, обеспечивающим узловые крепления элементов башни и связи между фундаментами, и расчету выступающих элементов (типа консольных площадок).

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ

Предварительные напряжения элементов конструкции башни могут появиться при изготовлении и монтаже за счет начальных несовершенств, возникнуть при проведении сварочных работ, а также могут быть заданы специально для улучшения работы конструкций, например при крестовой решетке башни с гибкими раскосами.

При проектировании башен для подвески антенных сетей и нитей начальные натяжения этих технологических элементов оказывают существенное влияние на напряженное состояние башни, поэтому начальным натяжениям сетей и нитей уделяют особое внимание [13].

Внутренние напряжения за счет начальных несовершенств, прокатные и сварочные напряжения невелики в традиционно применяющихся башнях и учитываются косвенно коэффициентом условий работы [7]

Предварительные натяжения раскосов крестовой решетки, лучевых диафрагм и других элементов задают такими, чтобы при появлении расчетных нагрузок усилие в минимально нагруженном элементе не было ниже нуля. Для этого, например, в раскосах крестовой решетки предварительные натяжения принимают равными половине расчетного усилия, вычисленного для схемы с выключенными из работы сжатыми раскосами [5].

МОНТАЖНЫЕ НАГРУЗКИ

Конструкция башни должна быть рассчитана на воздействие нагрузок, соответствующих принятому способу монтажа. Вид воздействий определяется принятым способом, механизмами и оборудованием, применяемыми при монтаже. Главными из монтажных воздействий являются сила тяжести элементов конструкции и механизмов и ветровая нагрузка. При этом различают уровень ветрового воздействия на конструкцию во время подъема и ветер, действующий на конструкцию и монтажные механизмы, закрепленные в период между подъемами. При проектировании рекомендуется учитывать различные варианты сочетания нагрузок (табл. 11). Если в конкретных условиях выявляется неблагоприятным другое сочетание, например, эксплуатационное при заданной повышенной жесткости сооружения, то его принимают за расчетное.

Таблица 11. **Коэффициенты сочетания нагрузок и воздействий**

Сочетание	Нагрузки и воздействия											
	Сила тяжести конструкции и оборудования	Предварительное натяжение	Временные нагрузки	Ураган	Гололед	Снег	Сейсмика	Температура: Среднесуточная	Температура: Перепад	Одностороннее снятие или обрыв сети	Монтажные нагрузки	Взрыв
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1+2+8+11	1	1	—	—	—	—	—	1	—	—	1	—
1+2+3+4+5+ +8+10	1	1	1	0,25	—	—	—	1	—	1	—	—
1+2+4+8	1	1	—	1	—	—	—	1	—	—	—	—
1+2+4+5	1	1	—	0,25	1	—	—	—	—	—	—	—
1+2+7+8	1	1	—	—	—	—	1	1	—	—	—	—
1+2+12+4	1	1	—	0,25	—	—	—	—	—	—	—	1
1+2+4	1	1	—	1*	—	—	—	—	—	—	—	—

* Интенсивность ветровой нагрузки принимается по критической скорости при резонансе

РАСЧЕТ СТАЛЬНЫХ БАШЕН

Расчет башен выполняют по первому, а в некоторых случаях по первому и второму предельным состояниям в соответствии со СНиП II-А.10-71, СНиП II-В.3-72.

При расчете башни по первому предельному состоянию проверяют прочность и устойчивость сооружения в целом и отдель-

ных его элементов, а также выносливость отдельных элементов и деталей. Расчет по первому предельному состоянию проводится по упругой стадии работы стали.

Второе предельное состояние для башен различного назначения определяется в каждом конкретном случае и оговаривается заданием на проектирование. Чаще всего это ограничение угловых перемещений для башен, предназначенных для остронаправленных антенн. СН 376-67 установлены требования к предельной деформативности башен объектов связи: горизонтальное перемещение любой точки при расчетном ветре — $1/100\ H$; то же при односторонне подвешенных сетях без ветра — $1/200\ H$, H — высота рассматриваемой точки. Вместе с тем на практике эти отклонения могут быть больше. При больших прогибах проводят оценку напряженного состояния башни по деформированной схеме. Деформативность башни проверяют по нормативным нагрузкам, вычисленным по ветру с заданной повторяемостью с учетом динамического воздействия ветра.

При расчете башен по первому предельному состоянию для башен широкого применения учитывают коэффициенты перегрузки в зависимости от вида воздействия (СН 376-67):

Собственная масса металлоконструкций и оборудования	1,1 (0,9)
Собственная масса теплоизоляции	1,2 (0,9)
Нагрузки:	
ветровая	1,3
гололедная	1,3
сейсмическая	1,0
снеговая	0,5
монтажные	1,2
Обрыв проводов и тросов	1,2

Следует также учитывать коэффициент условий работы в зависимости от элементов конструкций:

Основные элементы башни	0,9
Лестницы, переходные площадки, перила и др.	1,0
Металлические газоотводящие стволы	1,0
Фланцы кольцевого типа	1,1
То же остальных типов	0,9
Проушины при работе на разрыв	0,65
То же на смятие и выкалывание	1,0
Болты при работе на растяжение	0,8
То же на срез, смятие, изгиб	1,0
Анкерные болты	0,65

Этапы расчета башни:

сбор статических нагрузок от собственной массы, ветровой нагрузки, вызванной средней нормативной скоростью ветра (напором), тяжением проводов и тросов и т. п.;

определение динамических характеристик и вычисление инерционных сил при колебаниях башни, вызванных пульсациями скорости ветра;

вычисление усилий в элементах башни от статических нагрузок и от инерционных сил раздельно для каждой формы колебаний (при этом усилия от инерционных сил определяются как от статических нагрузок);

определение суммарных расчетных усилий от статических нагрузок и инерционных сил в расчетных комбинациях.

Как правило, должно проводиться несколько циклов расчета с учетом поиска оптимальных значений параметров башенной конструкции. В настоящее время расчеты проводятся с использованием комплекса программ с автоматизированным выполнением.

Достаточно трудоемкими и менее всего поддающимися механизации и автоматизации вычислений являются этапы сбора нагрузок и конструктивных расчетов. Имеются программы лишь для конструкций башен с регулярной структурой и мало насыщенным оборудованием. Для сбора нагрузок башню разбивают на несколько участков по высоте, количество которых устанавливают в каждом конкретном случае в зависимости от сложности конструкции, распределения масс и жесткостей, а также от вычислительных возможностей. Наиболее достоверным значение статической нагрузки от ветра получается при продувке модели сооружения или его фрагментов в аэродинамической трубе. Обычно такие исследования проводятся при проектировании новых дорогостоящих башен (например, для башни Киевского телецентра и других башен были выполнены продувки отсеков антенн с целью получения значений коэффициента лобового сопротивления и подъемной силы C_x и C_y). Для традиционно применяемых конструкций башен нагрузка формируется по данным СНиП II-6-74 и справочным материалам.

Схема при динамическом расчете чаще всего принимается в виде стержня с сосредоточенными массами и ступенчатой жесткостью. В точки сосредоточения масс сводятся также составляющие ветровой нагрузки. При такой схеме динамические характеристики (ординаты форм собственных колебаний и частоты) определяются с достаточной точностью. Так, при проверке в натуре периода колебаний башни высотой 150 м в городах Дорогобуже и Новгороде разница между измеренным и вычисленным периодами с использованием расчетной схемы составила доли процента. Запись колебаний башни показана на рис. 22.

Решетчатые башни традиционных форм и соотношений между жесткостями элементов могут быть представлены расчетной схемой в виде пространственной стержневой системы с шарнирным соединением узла. В случае применения для элементов башен тонкостенных оболочек больших диаметров и пространственных решетчатых стержней анализируют также схемы с жестким сочленением.

Для определения усилий используют программы расчета стержневых систем на ЭВМ. Вместе с тем для трех- и четырех-

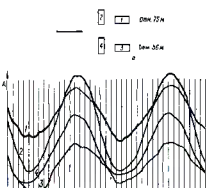

1 сек 35 м
1 сек 35 м
а
б
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40

Таблица 12. Формулы, применяемые при расчете башен

Характеристика	Единица измерения	Формула	Величины, входящие в формулу
Ординаты формы собственных колебаний	—	$a_{jk} = a_{jk} \sqrt{M_k}$	a_{jk} — элементы собственных векторов матрицы $\|\|a_{jk}\|\| = \sqrt{M_k} \cdot \beta_{jk}$ || M_k — M_{jk} — массы, сосредоточенные в точках k и n; β_{jk} — элементы матрицы перемещений от единичных воздействий
Период колебаний башни по j-му тону	с	$T_j = 2\pi \sqrt{\lambda_j}$	λ_j — собственное число, соответствующее j-му собственному вектору матрицы $\|\|a_{jk}\| \sqrt{M_k}\|\|$
Суммарное усилие и перемещение в башне (СНиП II-6-74)	В зависимости от расчетной величины	$X = X^c + \sqrt{\sum_{j=1}^{s} (X_j^d)^2}$	X — амплитудное (полутяжкий) значение усилия или продольного перемещения; X^c — то же, от статической составляющей ветровой нагрузки; X_j^d — то же, от динамической составляющей ветровой нагрузки при колебаниях по j-му тону; s — число учитываемых форм (от 1 до 3)
Резонансное усилие и перемещение (СНиП II-6-74)	То же	$X^{res} = \frac{\pi}{\delta} X^c$	X^c — прогиб изгибающий момент или поперечная сила от статически приложенной ветровой нагрузки; δ — логарифмический декремент колебаний, принимаемый равным 0,15 для стальных башен и 0,3 — для башен железобетонных труб
Расчетные усилия и перемещения при резонансе (СНиП II-6-74)	» »	$X = \sqrt{(X^{res})^2 + (X^c)^2 + (X^d)^2}$	X^{res} — резонансные усилия или перемещения, вызываемые ветровой нагрузкой, скорость которой равна критической скорости вдоль ветра (статическая составляющая); X^d — динамическая составляющая усилия при критической скорости
Расчетное усилие от сейсмических сил (СНиП II-А. 12-69)	» »	$X_p = \sqrt{X_{max}^2 + 0{,}5 \sum_{i=1}^{n} X_i^2}$	X_{max} — наибольшее значение усилия, отнесенное к рассматриваемому сечению; X_i — значение усилия в элементе при других формах колебаний

ной зависимости от силовых факторов, представленных в виде моментов M, поперечных сил Q и продольных — N в башне как консольном стержне.

Особенности башенной конструкции позволяют при составлении зависимостей между искомыми параметрами, нагрузками и объемом заменить дискретную модель (пространственную ферму) моделью с параметрами, непрерывно меняющимися по высоте (стержнем). Для этой цели каждой точке h приписывается условная панель, образованная пересечением осей раскосов, идущих под углом $\theta(h)$ с осями поясов, имеющих тангенс угла наклона к вертикали α и расположенных на расстоянии a. Количество раскосов и распорок, их взаимное расположение определяется структурой решетки. Каждый элемент характеризуется диаметром (у трубчатых элементов) или другим главным размером поперечного сечения элемента d_i. Используя условную панель для каждой точки h можно записать аналитическое выражение распределенной нагрузки на башню, определить расчетные длины элементов l_i, усилия S в каждом элементе и в итоге объем (массу) элементов башни с учетом расхода материала на обеспечение устойчивости элементов.

Обозначим суммарный объем элемента i (пояса, раскоса, распорки и т. д.) на участке $0—h$ через x_i. В этом случае x_i является функцией от h. При принятых ранее предположениях о расчетной модели эту функцию можно считать дифференцируемой. Производная x_i по h будет равна распределенному объему элемента в точке h. В этом случае распределенные объемы, выраженные через искомые и исходные параметры, образуют систему уравнений

$$\frac{dx_i}{dx} = \Phi_i(x,\ u,\ h)$$

$$(i = 1,\ \ldots,\ n),\ u = u_1,\ \ldots,\ u_m. \quad (A)$$

$$x = x_1, \qquad , x_n.$$

Здесь $u_1 = a$; $u_2 = t$; $u_3 = d_1$;...

Суммарный приведенный объем башни будет представлен выражением

$$G = \sum_{i}^{n} p_i C_i x_i(T), \qquad (B)$$

где T — высота башни (см. рис. 23); p_i — число элементов данного вида в сечении башни (например, 4 пояса и 8 раскосов в башне с ромбической решеткой); $C_i = C_1, C_2, \ldots, C_n$ — коэффициенты, учитывающие относительную стоимость стали, из которой изготовлен элемент, относительную трудоемкость его изготовления (по методике, разработанной М. Я. Лихтарниковым и В. И. Осыкой). Требование минимума функционала (B) при условиях (A), если известны условия $x_1(0) = x_1^0$, ..., $x_n(0) = x_n^0$, приводит к

задаче оптимального управления с фиксированным временем $0 \leqslant h \leqslant T$ [8]. Задача неавтономна, так как в правую часть уравнений (А) явно входит переменная h; h — аналогична переменной времени в задаче оптимального управления.

Приведение задачи к автономной может быть выполнено по известной схеме путем введения дополнительной переменной $x_{n+1} = 1$. В этом случае система (А) примет вид

$$\begin{cases} x_i' = \Phi_i(x, u, h) \\ x_{n+1}' = 1, \end{cases}$$

а функционал (В) запишется в виде

$$G = \sum_1^n p_i C_i x_i(T) + 0 x_{n+1}(T).$$

Приведем схему решения задачи определения оптимальных диаметров поясов и раскосов четырехгранной башни с ромбической решеткой. Расчетные зависимости приведены в табл. 13.

Условия (8) при начальных значениях (11) совместно с условиями (13) при значениях (14), а также необходимое условие обеспечения максимума функции H по управляющим переменным (искомым параметрам) в каждой точке h позволяют построить алгоритм последовательных приближений минимизации функционала (10). Этот алгоритм в общих чертах представляется следующим образом.

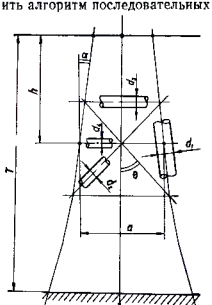


Рис. 23. Расчетная модель для формирования нагрузок и определения усилий при оптимизации.

1. Интервал T разбивается на участки с шагом $\Delta h = T/n_1$ (n_1 — число участков).

2. На каждом участке задаются значения управляющих переменных (искомых параметров) из области их значений.

3. Из (8), (11), (13), (14) определяются значения x и ψ на каждом участке, при принятых по п. 2 значениях управляющих переменных. Вычисления можно провести, используя, например, метод Эйлера, решая последовательно сначала систему (8) при начальных значениях (11), а затем систему (13) при значениях (14) в точке T.

4. Полученные значения x и ψ подставляются в выражение (12) и из условия его максимума определяются новые значения управляющих переменных.

Далее начинаем с п. 2 подстановкой полученных в п. 4 значений управляющих переменных в уравнения (8) и (13), вычисления новых значений x, ψ и т. д. Циклы повторяются до получения близких значений H или управляющих переменных, вычисленных на соседних циклах.

Функции ψ_1, ψ_2 могут быть получены из первых двух уравнений системы (13) при начальных значениях (14) и будут иметь вид

$$\psi_1 = \psi_1(T) \exp \frac{\gamma k_1 (l + a)^2}{\varphi_1 R} [T - h];$$

$$\psi_2 = \psi_2(T) \exp \frac{\gamma k_1 (l + a)^2}{\varphi_1 R} [T - h], \qquad (15)$$

где учтен угол наклона пояса к вертикали α. Выражения (15) показывают, что функции ψ_1, ψ_2 отражают влияние распределенного объема элементов башни на суммарный. Выражения, связанные с функциями ψ_1, ψ_2

$$-\left[\frac{\psi(h)}{\psi_1(T)\psi_1(0)}\right]^{-1} = -\left[\frac{\psi_0 h}{\psi_2(T)\psi_2(0)}\right]^{-1} = \exp \frac{k_1 \gamma (l + a^2)}{\varphi_1 R} h, \qquad (16)$$

аналогичны распределению площади поперечного сечения в стойке равного сопротивления, а при $\varphi = 1$, $k_1 = 1$, $\alpha = 0$ совпадают полностью.

Процесс построения искомых параметров (управляющих переменных) состоит из относительно простых операций. Подберем оптимальное распределение диаметров элементов башни высотой $T = 100$ м. Очертания башни заданные: $a = 1 + 0{,}1\ h$; $t = \text{const}$.

Принимаем $\Delta h = 0{,}25\ T$. Ограничения на искомые параметры $0{,}1 \leqslant d_1 \leqslant 0{,}4$; $0{,}05 \leqslant d_2 \leqslant 0{,}25$. Расчетное сопротивление $R = 2{,}1 \times 10^4$ т/см^2. Значения $m(h)$ приняты по графику (см. рис. 24).

При поиске максимума функции Гамильтона используется простой перебор на сетке. Характер изменения функций показан на рис. 25, В табл. 14 приведены данные исходного приближения и результаты после второго цикла вычислений. Следует отметить, что результаты первого и второго циклов практически совпадают.

Из этого примера можно сделать некоторые выводы о характере оптимального распределения диаметра пояса и раскоса: во-первых, в верхней части башни искомые параметры d_1, d_2 стремятся к значениям, при которых уменьшается нагрузка, несмотря на некоторые потери в массе, хотя отношение нагрузки к массе увеличивается; во-вторых, в нижних участках башни влияние распределенной нагрузки уменьшается, а коэффициент продольного изгиба увеличивается. Диаметры элементов d уве-

Таблица 13. Расчетные зависимости для четырехгранной башни с ромбической решеткой

Характеристика	Единица измерения	Формула	Величины, входящие в формулу
Распределенная нагрузка	тс/м	$w(h) = (f_1 u_1 + f_2 u_2)\, m,$	d_1 — диаметр пояса;
		где $f_1 = 4{,}4d_1 - (7d_1^2 + 10d_1 d_2)/a;$	d_2 — диаметр раскоса;
		$f_2 = 6{,}2d_2 - (14d_2^2 - 10d_1 d_2)/a.$	Q — ширина башни;
		$u_i = C_{x_i} V^2/16 \ (i = 1, 2)$ (1)	m — коэффициент приближенного учета динамического воздействия ветра (рис. 24);
Поперечная сила (полная)	тс	$Q = Q_0(h)\, m(h) + P_1(h)$ (2)	$Q_0(h)$ — поперечная сила от приведенной технологической нагрузки;
Изгибающий момент	т·см	$M = M_0(h)\, m(h) + P_2(h)$ (3)	$M_0(h)$ — изгибающий момент от технологической нагрузки;
Поперечная сила от нагрузок на собственно башню	тс	$P_1(h) = \int_0^h [f_1(\varepsilon) u_1(\varepsilon) + f_2(\varepsilon) u_2(\varepsilon)]\, m(\varepsilon)\, d\varepsilon$ (4)	ε — меняется от нуля до h;
Изгибающий момент от нагрузок на конструкцию	т·см	$P_2(h) = \int_0^h [f_1(\varepsilon)\, u_1(\varepsilon) + f(\varepsilon)\, a_2(\varepsilon)] \times$ $\times\, m(\varepsilon)\, (h - \varepsilon)\, d\varepsilon$ (5)	V_0 — продольная сила от технологической нагрузки;
Распределенные объемы	т/м	$x_1^1 = F_1;\ x_2^1 = 1{,}41F_2;\ F_i = S_i/R\varphi_i$ (6)	F_1 — площадь пояса; F_2 — площадь раскоса, S_i — усилие в элементе;

Продольная сила	тс	$N(h) = N_0(h) + \Sigma\, x_i(h)\, \gamma$ (7)	φ_i — коэффициент продольного изгиба;
Система уравнений		$x_1' = [N_0/4 + \gamma(x_1 + 2x_2) +$	$N_0(h)$ — продольная сила от технологической нагрузки
		$+ (M_0 + P_2)/1{,}41a]/R\varphi_1;$	Принимается $C_1 = C_2 = 1$;
		$x_2' = (Q_0 + P_1)/2R\varphi_2;\ x_3' = 1$ (8)	
Суммарный теоретический объем башни	м³	$G = 4C_1 X_1(T) + 8C_2 X_2(T)$ (9)	γ — объемная масса стали, равна 7,8 тс/м³;
Минимизируемый функционал в автономной задаче	-	$G = 4X_1(T) + 8X_2(T) + 0X_3(T)$ (10)	ψ_1, ψ_2, ψ_3 — сопряженные функции
Начальные условия		$X_1(0) = 0;\ X_2(0) = 0;\ X_3(0) = 0$ (11)	
Функция Гамильтона		$H = \psi_1 \{[N_0/4 + \gamma(x_1 + 2x_2) +$ $+ (M_0 + P_2)/1{,}41a]/R\varphi_1\} +$ $+ \psi_2 [(Q_0 + P_1)/2R\varphi_2] + \psi_3$ (12)	
Сопряженная система		$\psi_1' = -\psi_1 \gamma/R\varphi_1;\ \psi_2' = -2\psi_1\gamma/R\varphi_1;$	
		$\psi_3' = -\psi_1 [N_0'/4 + (Q_0 + P_1)/1{,}41a]/R\varphi_1 -$ $- \psi_2 [Q_0' + (f_1 u_1 + f_2 u_2)\, m]/2R\varphi_2$ (13)	
Начальные условия для сопряженной системы		$\psi_1(T) = 4;\ \psi_2(T) = -8;\ \psi_3(T) = 0$ (14)	

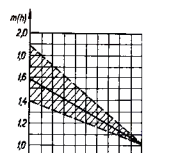


Рис. 24. Зависимость коэффициента $m(h)$ приближенного учета динамического воздействия ветра от относительной высоты башни (h отсчитывается от верха башни; T — высота башни).

личиваются при приближении h к T. Приобретают значение ограничения на параметры, связанные с местной устойчивостью стенки трубы, из которой выполнен элемент башни. Это объясняется тем, что при приближении h к T влияние нагрузки на элементы башни в точке h на объем башни приближается к нулю, а коэффициент φ — к единице при стремлении параметра d_1 к бесконечности. Общий характер изменения параметров: чем дальше от вершины башни рассматриваемая панель, тем больше может быть диаметр элемента при более тонкой по отношению к диаметру стенке.

Таким образом, в верхней части башни (примерно на одну треть высоты) необходимо подбирать параметры, прежде всего диаметры поясов, распорок и раскосов, из условия минимума нагрузки на них. При этом следует иметь в виду, что из-за характера зависимости коэффициента лобового сопротивления (от диаметра и скорости ветра) меньшему диаметру иногда может соответствовать большая нагрузка [5]. Особенно важно это для башни с малой технологической нагрузкой.

Для нижних участков башни следует применять трубы тонкостенные при увеличенном диаметре.

Существует много типов опор, у которых технологическая часть нагрузки имеет преобладающее значение. Это опоры для подвески антенных сетей, для которых технологическая нагрузка составляет 80% суммарной и более. При малом значении доли переменной нагрузки по сравнению с суммарной полную нагрузку можно считать постоянной в процессе решения задачи минимума объема башни. Силовые воздействия, представленные в виде моментов M, поперечных Q и продольных сил N, могут задаваться как известные функции от h. Задача упрощается и для ее решения наряду с методом определения оптимальных параметров с использованием результатов теории оптимального управления могут быть применены и другие методы.

Если использовать принятую расчетную модель с распределенными параметрами, то объем башни запишется в данном случае через заданные функции $M(h)$, $Q(h)$, $N(h)$ и искомые параметры $b'=a$, $b=0{,}5a$ и t. Искомые параметры d_1 в связи с тем, что при их изменении не учитывается изменение нагрузки, можно не рассматривать. Учет материала, необходимого для обеспечения устойчивости элемента, в этом случае удобнее провести

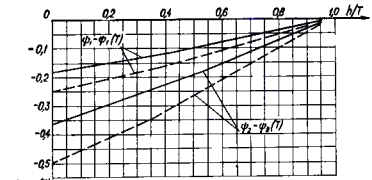


Рис. 25. Сопряженные функции и функции Гамильтона:
а — функции $\Psi-\Psi(T)$ (пунктиром обозначено исходное приближение); *б* — функции H, вычисленные в процессе последовательных приближений (кривая *1* соответствует функции $H_0(d_1)$, кривая *2* — функции $H_1(d_1$ при фиксированном $d_1=0{,}1$; кривая *3* — функции $H_1(d_1)$ при фиксированном $d_1=0{,}2$. Аналогично кривая *4* соответствует функции $H_3(d_1)$ при $d_1=0{,}3$, кривая *5* — функции $H_3(d_1)$ при $d_1=0{,}12$, кривая *6* — функции $H_3(d_1)$ при $d_1=0{,}25$. Кривые *1'* и *4'* иллюстрируют соответствующие функции во втором приближении)

через удельные радиусы инерции ρ. Башенные конструкции с решетками рассматриваемых типов (см. рис. 5) обладают таким свойством, что почти всегда можно определить знак усилия, по которому будет подбираться (вычисляться) площадь поперечного сечения элемента l. Кроме того, для большого числа ба-

Таблица 14. Данные исходного приближения и результаты вычислений

Наименование показателей	Искомые параметры	Участок 1	Участок 2	Участок 3	Участок 4	Теоретическая масса башни, т
Исходное приближение	d_1	0,10	0,15	0,25	0,35	51,0
	d_2	0,10	0,12	0,15	0,20	
	r_2	0,625	0,384	0,465	0,40	
Результат	d_1	0,20	0,30	0,40	0,46	
	d_2	0,10	0,23	0,25	0,26	26,4
	r_2	0,840	1,26	0,860	0,425	
Скорость ветра	—	59,9	58,0	50,0	37,0	—

Примечания: 1. r_2 — отношение поперечной распределенной нагрузки к распределенной массе. 2. К верхнему сечению приложена поперечная нагрузка $P=10{,}0$ т.

шениях конструкций характерно, что гибкости сжатых элементов находятся в области невысоких значений. Характер изменений средних значений гибкости элементов по высоте башни показан на рис. 26. Усредненные значения гибкостей получены из обработки проектных данных. Допустимую область площадей элементов можно определить ограничениями:

$$F_i \geqslant \frac{S_i}{R} \quad \text{для } S > 0,$$

$$F_i \geqslant \frac{S_i}{R} + k_3 \frac{l_{oi}^2}{t^2} \quad \text{для } S < 0,$$

где S_i — усилие в элементе; R — расчетное сопротивление; k_3 — коэффициент, связанный с аппроксимацией коэффициента продольного изгиба зависимостью $\varphi = 1 - k\lambda^2$; l_{oi} — расчетная длина элемента; ρ — удельный радиус инерции.

В связи со статической определимостью схем башен с решеткой рассматриваемых типов ограничения могут быть приняты в виде равенств.

Для элементов, сечения которых подбираются по заданной гибкости, площадь сечений определяют из соотношения

$$F = \frac{l^2}{\rho^2 (\lambda_0)^2}$$

Эти соотношения позволяют при использовании расчетной модели с распределенными параметрами записывать выражения для распределенного объема и полного приведенного объема башни с учетом устойчивости элементов. Необходимые соотношения получаются, если выразить S через заданные функции M, Q, N и искомые параметры. При этом длины элементов l выражаются через искомые параметры b, t и производную b^1 по h.

Задача может быть решена вариационным методом. Используя особенность башенной конструкции, заключающуюся в том, что отношение ширины башни к ее высоте мало, можно принять косинус угла наклона пояса к вертикали равным единице. Тогда при вычислении усилий в элементах башни и длин элементов величину b можно принять равной нулю. Такое предположение часто принимается при выполнении практических расчетов. В этом случае функционал, представляющий массу башни, не содержит производной от искомой функции $b(h)$. Оптимальные значения по поперечного размера определяются обычными приемами анализа.

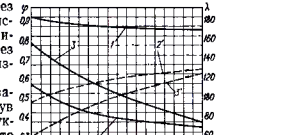


Рис. 26. Распределение усредненных значений гибкостей λ и коэффициентов продольного изгиба φ элементов башни по высоте (h отсчитывается от верха башни): *1—5* — зависимость φ соответственно для поясов, распорок и раскосов; *1'—5'* — зависимость λ соответственно для тех же элементов.

Выражение для определения распределенного объема башни с ромбической решеткой имеет вид

$$\tilde{g} = \frac{4}{R}\left(0{,}85\,\frac{M}{2b} + \frac{N}{4} + \frac{Q}{4t}\right) + \frac{8Q}{4R}\,\frac{1+t^2}{t} + \\ + \frac{4k_1b^2}{F_1^2}\,\frac{1}{t} + \frac{8k_2b^2}{F_2^2}\,\frac{\sqrt{(1+t^2)^3}}{t}.$$

Необходимыми условиями минимума распределенного объема в каждой точке h будет равенство нулю производных от объема по искомым параметрам b и t:

$$\frac{d\tilde{g}}{db} = 0; \quad \frac{d\tilde{g}}{dt} = 0.$$

При $\rho_1 = \rho_2$ выражение $\frac{d\tilde{g}}{db}$ дает

$$b = \sqrt[3]{\frac{M\rho^2}{Rk_1}}\,\varphi(t),$$

где $\varphi(t) = \sqrt[3]{\dfrac{0{,}425t}{2\left(1+2\sqrt{(1+t^2)^3}\right)}}$

* М. М. Бердичевский, В. Н. Гордеев. О подборе сечений сжатых и растянутых элементов в задаче оптимального проектирования ферм (ЦНИИПроектстальконструкция). — В кн.: Материалы по металлическим конструкциям. М., Стройиздат, 1972, вып. XVI.

Из выражения $d\tilde{g}/dt$ находим соотношение *

$$b = \sqrt{\frac{Qp^2}{4k_3R}} \sqrt{\frac{2t^2-2}{2(\sqrt{1+t^2})^3 - \sqrt{9(1+t^2)}t+1}},$$

из которого можно определять границы области значений параметра t, при которых получается вещественной величина b. Границы t находим из системы неравенств

$$\begin{cases} 2t^2-2>0 \\ 2(\sqrt{(1+t^2)^3}-3\sqrt{1+t^2})\,t>0. \end{cases}$$

Следовательно, величина b будет вещественной при $1{,}00<t<1{,}41$. Эти границы соответствуют границам области углов наклона раскоса $45°<\theta<35°$. Подставляя в выражение для $\varphi(t)$ значения тангенса угла наклона раскоса из области $1{,}00<t<1{,}41$, находим, что фувкция $\varphi(t)$ меняется мало при изменении t в пределах области существования функции. Оптимальные очертания башни можно получить, принимая значение $\varphi(t)$ из интервала $0{,}54>\varphi(t)>0{,}52$ и усредненное значение удельного радиуса инерции ρ. Аналогичные зависимости могут быть получены и для других типов решетки.

Учет влияния фундаментов при определении схемы башни минимального объема. При возведении башни на грунтах со средними характеристиками стоимость фундаментов составляет 20—30% стоимости всего сооружения. Стоимость фундамента зависит от нагрузок на него и типа его конструкции, зависящей в свою очередь от характеристик грунта, на котором возводится башня. Как правило, для рассматриваемых башен фундаменты выполняются в виде отдельно стоящих бетонных или железобетонных монолитов, связанных с поясами башни у ее основания. Нагрузки на фундамент зависят не только от нагрузок на башню, но и от параметров схемы башни — поперечного размера башни (расстояние между осями фундаментов), угла наклона пояса и раскоса в нижнем сечении башни. При решении задачи оптимизации башни совместно с фундаментами будем считать фундаменты как некоторый сосредоточенный приведенный объем, расположенный в точке T.

Принимаем стоимость фундаментов пропорционально их объему. Тогда единице объема металлоконструкций башни соответствует $k_4=\frac{C_M\gamma}{C_6}$ единиц объема фувдаментов. Здесь $C_м$ — стоимость 1 т металла в деле; γ — объемный вес металла; $C_б$ — стоимость единицы объема бетона в деле.

* В. И. Гордеев, М. Л. Гринберг, М. П. Кондра. О выборе оптимальных очертаний башни. — Строительная механика и расчет сооружений, 1969, № 6.

Стоимость 1 т металла $C_м$ считается известной и не меняющейся при изменении искомых параметров в рассматриваемой задаче определения оптимальной схемы с учетом фундаментов. Величина $C_б$ также считается известной.

Приближенность учета влияния фундаментов на размеры конструкции связана в основном с предположением, что распор, возникающий при изменении угла наклона поясов, воспринимается в нижней панели башни.

Нагрузки на отдельно стоящие фундаменты являются фувкциями $M(T)$, $Q(T)$, $N(T)$ и поперечного размера $a(T)=2b(T)$. Влияние других параметров сказывается в меньшей степени по сравнению с влиянием a. Результаты обработки проектных данных показывают, что объем фундамента в основном определяется величиной вырывающего усилия $R_{выр}$, действующего на фундамент (рис. 27).

Характеристики грунтов, которые рассматривались при построении зависимостей, а также величина удерживающей силы, приходящаяся на единицу объема фундамента, приведены в табл. 15. $A_{гр}$ может служить совокупной характеристикой типа фундамента и данного типа грунта. Величины $A_{гр}$ также получены на основе обработки проектных данных. Эта характеристика выступает в качестве исходного параметра в случае применения фундаментов любого типа (железобетонных, монолитных, свайных и т. п.).

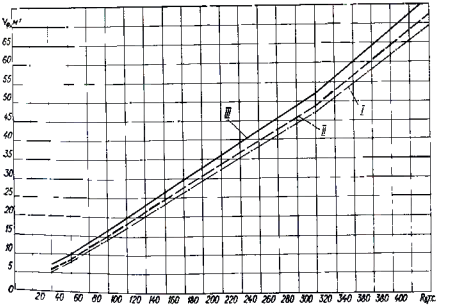


Рис. 27 Зависимость объема фундаментов $V_ф$ от вырывающей силы $R_в$: I — III — типы грунтов.

Таблица 15. **Характеристики грунтов для построения зависимостей**

Тип грунта	Объемная масса грунта $\gamma_{гр}$	Угол внутреннего трения	$A_{гр}$
I	1,8	40°	7,3
II	1,6	30°	6,3
III	1,3	20°	5,2

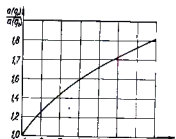


Рис. 28. Зависимость относительного поперечного размера башни a от изменения нагрузки q.

Условие обеспечения устойчивости фундамента имеет вид

$$\frac{Q(T)\,y}{(R_{уд}-R_{выр})\,x} \leqslant 0{,}8,$$

где $R_{уд}$ — удерживающая сила; $R_{выр}$ — вырывающая сила; y — высота фундамента; x — ширина подошвы фундамента; 0,8 — коэффициент условий работы.

Приближенно вырывающая сила определяется по формуле

$$R_{выр} = \frac{0{,}85M(T)}{2b(T)} - \frac{N(T)}{4}$$

Используя приведенные выше характеристики, удерживающую силу выразим линейной зависимостью от объема фундамента

$$R_{уд} = V_{ф}A_{гр}.$$

В итоге приведенный объем фундамента выразится зависимостью

$$V_{ф.пр} = \frac{4}{k_4 A_{гр}}\left[\frac{0{,}85M(T)}{2b(T)} + 1{,}25\,\frac{Qy}{x} - \frac{N}{4}\right],$$

которая может использоваться при оптимизации башен с учетом фундаментов.

Зависимость геометрических параметров схемы башни от нагрузки. Очертания башни минимального объема при большой технологической нагрузке достаточно близко описываются зависимостью, из которой следует, что ширина башни пропорциональна корню кубическому от изгибающего момента. Учет устойчивости элементов башни приводит к тому, что поперечный размер башни изменяется не так резко, как нагрузка, являющаяся в данном случае исходным параметром. Относительное изменение поперечного размера башни минимальной массы при изменении нагрузки показано на рис. 28. Из графика следует, что увеличение нагрузки в два раза приводит к увеличению поперечного размера на 25%. Очевидно, поэтому в практике проектирования выработалось положение считать отношение ширины основания башни к ее высоте в пределах 0,05÷0,125.

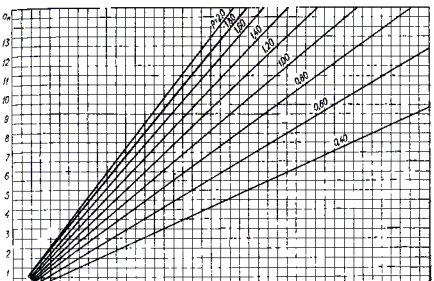


Рис. 29. Зависимость поперечного размера башни a от изгибающего момента M, вычисленного в направлении «на грань» (при $k=0{,}4\cdot10^{-4}$; $R=2{,}1\cdot10^{4}$ тс/м²; $\varphi(t)=0{,}40$ — для треугольной решетки).

Очертания башни представляют собой ломаную линию, вписанную в очень крутую кубическую параболу. Это обстоятельство позволяет хорошо приближаться к схеме башни минимального объема, применяя пояса с малым количеством изломов или вообще без них.

Зависимость поперечного размера башни от изгибающего момента при различных усредненных значениях удельного радиуса инерции показана на рис. 29. Продольная нагрузка влияет на очертания башни в меньшей степени и для большинства случаев ею можно пренебречь. В рассматриваемом типе башен для каждой структуры решетки можно установить область изменения углов, в которой существует решение для оптимальной ширины башни. Значения границ областей параметра a даны в табл. 16. В области изменения углов, где существует оптимальное значение a, функция $\varphi(t)$ меняется незначительно. Из этого следует, что параметр a мало зависит от распределения углов наклона раскосов на высоте башни.

Для произвольного случая нагружения, а также при учете различных ограничений выбор того или иного типа решетки мож-

Таблица 16. **Границы областей существования оптимального значения параметра a**

Тип решетки (см. рис. 5)	$\bar{\tau}^2(\bar{t})$	t, θ, φ
Раскосная (a)	$\bar{t}/\left[16\bar{t}^3+4\sqrt{(1+\bar{t}^2)^3}\right]$	$0{,}75<\bar{t}<1{,}41$ $37°<\theta_t<55°$ $0{,}28'<\bar{\varphi}<0{,}37$
Треугольная ($б$)	$\bar{t}/\left[16\bar{t}^3+4\sqrt{(1+\bar{t}^2)^3}\right]$	$0{,}44<\bar{t}<1{,}00$ $24°<\theta_t<45°$ $0{,}33<\bar{\varphi}<0{,}40$
Крестовая ($в$)	$\bar{t}/[4(\bar{t}^3+1)]$	$0{,}795<\bar{t}<1{,}225$ $38{,}5°<\theta_t<52°$ $0{,}48<\bar{\varphi}<0{,}51$
Ромбическая ($г$)	$\bar{t}/\left[4\bar{t}^3+8\sqrt{(1+\bar{t}^2)^3}\right]$	$0{,}63<\bar{t}<1{,}00$ $32°<\theta_t<45°$ $0{,}34<\bar{\varphi}<0{,}35$
Крестовая с дополнительной распоркой ($д$)	$\bar{t}/\left[\bar{t}^3+4+10^{-4}/(4k_3)\right]$	$1{,}225<\bar{t}<1{,}32$ $51°<\theta_t<53°$ $0{,}57<\bar{\varphi}<0{,}58$
Ромбическая с дополнительной распоркой ($е$)	$\bar{t}/\left[\bar{t}^3+2\sqrt{(1+\bar{t}^2)^3}+10^{-4}/(4k_3)\right]$	$0{,}70<\bar{t}<1{,}00$ $35°<\theta_t<45°$ $0{,}52<\bar{\varphi}<0{,}54$

Примечание. $\theta_t=90°-\theta$; $\bar{t}=tg\theta_t$; $\bar{\varphi}=\varphi(\bar{t})$; $k_3=0{,}4\cdot10^{-4}$, $\bar{\varphi}$ зависит от k_3 в случаях, когда в решетке имеются элементы, площадь которых выбирается из условия допускаемой гибкости (∂, $е$).

но установить, производя расчет по методике оптимального управления. Однако достаточно просто можно получить некоторые оценки для различных типов решетки, сравнивая распределенные объемы оптимальных схем башен с различной структурой решетки при заданной постоянной приведенной суммарной нагрузке $g_{\text{прив}}$.

Распределенный теоретический объем оптимальной схемы башни может быть представлен выражениями, приведенными в табл. 7. Нагрузка принимается здесь равной

$$g_{\text{прив}}=\frac{2M_{\max}}{r^2},$$

где $M_{\max}$ — максимальный момент в башне как консольном стержне от нагрузки, вычисленной в направлении на грань. При

составлении выражения для распределенного объема принято значение усредненного радиуса инерции $\rho=0{,}8\div1{,}0$, расчетное сопротивление стали $R=2{,}1$ т/см^2, а величина параметра t, близкая к единице.

Ромбическая решетка при равной нагрузке является менее металлоемкой. Такую же металлоемкость решетка третьего типа будет иметь при нагрузке на башню, меньшей в 1,25 раза, чем на башню с ромбической решеткой. Однако при этом она будет иметь меньшее число элементов на единицу длины. Примером могут служить башни для маломощных телевизионных антенн, антенн связи и т. п.

Решетка с растянутыми раскосами будет менее металлоемкой в том случае, когда на очертания башни наложены ограничения снизу, т. е. когда размер должен быть больше, чем оптимальное его значение для ромбической решетки. Примером могут служить башни для поддержания газоотводящих стволов большого диаметра.

Зависимость геометрических параметров схемы башни минимального объема от прочности стали. Несущие элементы башенных конструкций выполняются из стали класса С38/23. Постепенно внедряются стали повышенной и высокой прочности. Повышение прочности стали и понижение при этом величины коэффициента продольного изгиба влияет на геометрические параметры схемы башни минимального объема. При заданном значении усредненного удельного радиуса инерции ρ зависимость относительной величины поперечного размера $a_{\text{отн}}$ может быть представлена графиком (рис. 30), а также следующими данными:

Расчетное сопротивление R	21	23	28	34
Марка стали (пример)	Ст 3	Ст 4	09Г2С 15ХСНД	10ХСНД
Коэффициент уменьшения размера без учета изменения геометрических характеристик	1,00	0,827	0,725	0,655
То же с учетом изменений	1,0	0,86	0,83	0,82

За единичный размер принимается оптимальное значение поперечного размера башни, изготовленной из стали класса С38/23. Следует, что при одинаковой нагрузке и характеристиках сортамента (усредненном значении удельного радиуса инерции ρ) относительный поперечный размер башни минимального объема уменьшается с ростом прочности стали. На рис. 30 пунктиром

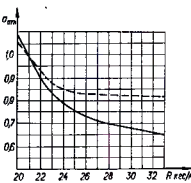


Рис. 30. Зависимость относительной величины поперечного размера башни от расчетного сопротивления стали.

показана зависимость поперечного размера башни от прочности стали, с уточнением величины удельного радиуса инерции при переходе к характеристикам стали более высокой прочности по сравнению со сталью С38/23 и к более тонкостенным сечениям. Значение поперечного размера $a_{отн}$ резко меняется в интервале 2,1 т/см²<R<2,6 т/см². При дальнейшем повышении расчетного сопротивления стали относительный поперечный размер башни почти не меняется. При изготовлении элементов из различных марок стали относительная стоимость металла и трудоемкость изготовления влияют на приведенные соотношения.

Зависимость параметров схемы башни от сортамента стали. Характеристики сортамента сильно влияют на величину геометрических параметров, больше всего на величину поперечного размера башни, а вместе с тем и на разбивку башни на панели по высоте. При известных других параметрах (нагрузка, характеристики стали R, k_5 и др.) ширина башни пропорциональна удельному радиусу инерции в степени 2/3. Возможные (условные) пределы изменения относительной ширины башни, изготовляемой из профильного проката и труб, приведены в табл. 17.

Ширина башни определяется по формуле $a=k\rho\sqrt[3]{M_\Phi(f)}$.При изменении ρ в 3,5 раза оптимальная ширина башни может изменяться в 2,5 раза, т. е. достаточно сильно. Таблица дает представление о влиянии величины удельного радиуса инерции на параметры башни минимального объема при принятых предпосылках и неизменности суммарной нагрузки. Для башен с большой нагрузкой на собственно конструкцию башни по сравнению с технологической нагрузкой первостепенным является учет распределения диаметров (характерных размеров сечений) по высоте башни в связи с оптимизацией нагрузки, из-за чего резко будет меняться и значение характеристик сортамента.

Из частных примеров по изложенному выше методу следует, что в верхних участках башни решение стремится к таким значениям параметров, при которых уменьшается нагрузка. Уменьшение нагрузки при некоторой потере материала за счет неэффективных сечений (с уменьшенным значением φ и ρ) в итоге приводит к суммарному выигрышу. При стремлении h к точке T (т. е. к основанию башни) влияние поперечной нагрузки на общую массу понижается и основной выигрыш в объеме получается за счет улучшения характеристик сортамента.

Таблица 17. **Возможные пределы изменения относительной ширины башни**

Пределы изменения k_ρ	Трубы		Уголки	
	ρ_{max}=1,30	ρ_{min}=0,35	ρ_{max}=0,85	ρ_{min}=0,50
С38/23	1,26	0,52	0,95	0,66
С46/33	1,01	0,42	0,76	0,53
С60/45	0,75	0,31	0,56	0,40

На современном этапе при проектировании стальных башен наиболее эффективны следующие решения:

элементы башен выполняют из эффективных (в смысле уменьшения нагрузки на них и выгодного распределения в сечении при работе стержня на сжатие) профилей. Для сжатых элементов — это горячедеформированные, электросварные трубы (оболочки) увеличенных диаметров из углеродистых и легированных сталей, пространственные решетчатые элементы из горячедеформированных труб. Для растянутых элементов применяют также профили из сталей повышенной прочности и высокопрочные канаты;

узлы и соединения элементов в заводских условиях и на монтаже стремятся выполнять с минимальным количеством дополнительных соединительных деталей (пояса—сваркой встык, распорки и раскосы — примыкающими непосредственно к поясам на фигурных вырезах). Фигурные вырезы с одновременной обработкой кромок выполняют специальными машинами;

конструкцию башни собирают из унифицированных элементов; параметры устанавливают с учетом оптимизации конструкции в смысле минимального расхода стали при возможно меньшей трудоемкости изготовления и монтажа. При этом следует учитывать, что для башен с малой технологической нагрузкой очень важно рациональное распределение параметров, когда учитывается изменение суммарной нагрузки при изменении искомых геометрических параметров. Прежде всего это касается распределения диаметров сечений элементов башни по высоте. В верхней части башни можно потерять материал за счет нерациональных размеров этих сечений. Эта потеря компенсируется уменьшением суммарной нагрузки и облегчением нижележащих элементов, для которых следует применять эффективные профили, несмотря на увеличение их наветренной площади. Это положение количественно может быть реализовано с помощью алгоритма, построенного, например, на принципе максимума. В нижней части башни целесообразно применять тонкостенные трубы увеличенных диаметров. Для частного случая преобладающей технологической нагрузки ($Q_{техн}>0{,}5\ Q_{общ}$) оптимальные очертания могут быть получены из простых соотношений, связывающих изгибающие моменты, расчетное сопротивление стали и характеристики сортамента. Следует иметь в виду, что характеристики сортамента достаточно сильно влияют на поперечные размеры башни. При увеличении расчетного сопротивления оптимальное значение поперечного размера башни уменьшается (в традиционно применяемых типах башен).

Изменение углов наклона раскосов в определенных пределах мало влияет на изменение оптимального значения поперечного размера. Это позволяет увязывать шаг панелей с принятым модулем. Схемы башен минимальной массы легко могут быть вписаны в технологические схемы на основе использования одного из приемов унификации.

МОНТАЖ СТАЛЬНЫХ БАШЕН

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ И ТЕХНОЛОГИИ МОНТАЖА БАШЕН

При организации и производстве работ на монтаже башен необходимо руководствоваться СНиП III-18-75, а также учитывать:

малые размеры в плане по сравнению с высотой сооружения;

значительную зависимость монтажных работ от метеорологических условий (ветер, гололед, низкая температура, гуман и т. п.);

ограниченное количество рабочих мест;

ограниченные возможности расширения фронта работ в каждой точке объекта;

небольшую массу монтажных элементов при относительно малой их повторяемости;

повышенные требования к точности монтажа и качеству работ;

необходимость постоянного геодезического контроля;

строгое соблюдение требований безопасного ведения работ.

Все это повышает трудоемкость возведения башенных сооружений, которая является высокой и превышает этот показатель при сооружении объектов других видов. Кроме этого, в большинстве случаев башни располагают на значительном расстоянии одна от другой (на десятки и сотни километров) и в труднодоступных местах. Немаловажное значение при сооружении башен имеют подготовительные работы. На этом этапе необходимо определить способ монтажа, выбрать механизмы, оборудование и такелажные устройства; изготовить и доставить на монтажную площадку необходимые механизмы, устройства, такелаж; заложить фундаменты с учетом дополнительных технических требований (ДТТ); доставить на объект конструкции и выполнить складирование их в строгом соответствии с очередностью монтажа. Все эти вопросы детально с необходимыми обоснованиями отражают в графической и текстовой частях проектов производства работ (ППР). С целью повышения эффективности монтажных работ, в частности, производительности труда и снижения себестоимости работ по монтажу башен при проектировании и составлении ППР необходимо решить характерные инженерные задачи.

Учет в конструктивной форме башни требований монтажа. При монтаже конструкции башен, помимо эксплуатационных

нагрузок, испытывают монтажные воздействия. Они возникают вследствие дополнительных нагрузок либо от монтажных механизмов (подвесные, прислонные краны, порталы и т. п.), либо от изменения пространственного положения конструкции в процессе монтажа в сравнении с эксплуатационными (метод поворота вокруг шарниров), либо от приложения сосредоточенных усилий в отдельных узлах башни при ее подъеме (подъем краном башни, собранной полностью на земле). Возможны также сочетания различных монтажных нагрузок.

Если при проектировании башни не учтены требования монтажа, это приводит к дополнительным, зачастую выполняемым с большими трудностями работам. Например, при использовании самоподъемных кранов определение отметок столиков для подвесок должно выполняться с учетом применяемых монтажниками марок кранов. Несоблюдение этого требования приводит к тому, что столики для подвесок приходится приваривать на других отметках уже в процессе монтажа. Эти же требования необходимо учитывать при проектировании башен, возводимых методом поворота в шарнирах. В этом случае следует заранее проектировать узлы и элементы с учетом их дополнительного усиления, не допуская выполнения этих работ на строительной площадке.

Учет в проектах возможности использования отдельных элементов башни или ее частей для целей монтажа (т. е. создание башен с совмещением эксплуатационных и монтажных функций). Несомненно, что одним из прогрессивных направлений в проектировании является создание конструктивных форм, совмещающих эксплуатационные и монтажные функции в элементах башен. В результате уменьшается количество монтажной оснастки, достигается значительное ее облегчение. Такие элементы в составе башен в процессе их эксплуатации также существенно облегчают обслуживание и ремонт.

Примером рационального проектирования с учетом совмещения эксплуатационных (функциональных) и монтажных требований является проект башни Киевского телецентра

При монтаже башни методом подращивания нижний блок служит одновременно порталом с направляющими и защемляющими элементами. Также удачно решен вопрос с совмещением эксплуатационных и монтажных функций в проекте буровой вышки, которую монтируют методом поворота. В этом случае нижний ярус вышки по диагонали разделен на два блока, один из них выполняет роль неподвижной мачты при монтаже.

Создание конструктивной формы, позволяющей получить максимальную заводскую готовность. Решение этой задачи сопряжено с определенными сложностями, так как в большинстве случаев башни негабаритны. Башни должны иметь конструктивную форму, позволяющую выполнять в заводских условиях окончательное изготовление отправочных марок. Следует избегать

в отправочных марках деталей со сложной пространственной ориентировкой.

Конструирование башен на основе простых узлов сопряжения отправочных марок. Простые узлы башен требуют минимальных затрат на их заводское изготовление и оформление на монтаже. Такие узлы должны соответствовать действующим нормам и правилам на монтаж сооружений, т. е. без дополнительных ограничений, накладываемых требованиями проекта. Узлы сопрягаемых элементов должны также обладать компенсационными возможностями и без сложных операций по подгонке позволять исправлять неточности и погрешности в ранее смонтированных ярусах башни.

Конструкция простого узла во многом определяется способом монтажа. Например, бесфланцевые сварные стыки поясов башен, монтируемые методом подращивания, обладают бесспорными преимуществами по сравнению с другими конструкциями узлов. В то же время такие узлы в башнях, сооруженных методом наращивания, характеризуются повышенной трудоемкостью по сравнению с фланцевыми.

Создание условий для выполнения максимального количества операций по укрупнению конструкций башни или их монтажу на земле (либо на уровне постоянно оборудованных рабочих мест). В этом случае помимо повышения производительности труда создаются условия для качественного и безопасного ведения монтажных работ, так как последние выполняются в нормальных условиях и доступны контролю специалистов.

Создание условий, позволяющих свести до минимума влияние метеорологических факторов. При возведении башен сроки ввода в эксплуатацию во многом зависят от метеорологических условий. Производство монтажных работ на высоте прекращается при обильных снегопадах, дожде, тумане, гололеде, ветре 6 баллов и более (СНиП III-А.11-70). Дополнительно введены ограничения в проектах для сварочных работ (ветер не более 3 баллов, температура воздуха в зависимости от марки свариваемых сталей не ниже 5—10°С и др.), для работ по перестановке монтажных механизмов (ветер не более 4 баллов, $\frac{ВСН\ 61\text{-}75}{ММСС\ СССР}$). Влияние метеорологических факторов на сроки возведения башен особо велико в районах с неблагоприятными погодными условиями (горные районы). Задачей проектировщиков-конструкторов и разработчиков ППР является выбор таких схем башен и способов их возведения, на которые бы метеорологические факторы оказывали минимальное воздействие. Это — перенос работ на низкие отметки, создание постоянных оборудованных рабочих мест с укрытиями и навесами, устройство передвижных легких укрытий над рабочими местами, внедрение технологических процессов, выполнению которых метеорологические факторы не препятствуют. Практика подтверждает, что при возведении башен,

полностью собранных на земле с помощью кранов, способом поворота вокруг шарниров или способом подращивания влияние метеорологических факторов на сроки ввода сооружения в эксплуатацию незначительно.

По технологическим признакам в зависимости от применяемых механизмов и такелажной оснастки монтаж башен осуществляют: наращиванием, подращиванием, поворотом в шарнирах и различными комбинированными способами (схема дана на с. 78, 79).

Характерной особенностью монтажа башен является автономность в работе при их возведении. После приемки фундаментов и получения металлоконструкций организация, возводящая башню, практически не зависит от работы смежников. Отсутствие необходимости координировать работу с другими участниками строительства позволяет организовать непрерывный процесс монтажа конструкций. Поэтому организацию работ по возведению стальных башен целесообразно вести только методом бригадного подряда.

Организация работ на монтаже башни методом бригадного подряда. Бригаде для перехода на бригадный подряд необходимо иметь следующую документацию:

приказ по управлению о переводе бригады на подряд, в котором определены задачи для всех отделов и служб;

хозяйственный договор между управлением и бригадой на выполнение монтажных работ;

раскладку сметной стоимости на башню по материалам, механизмам и заработной плате;

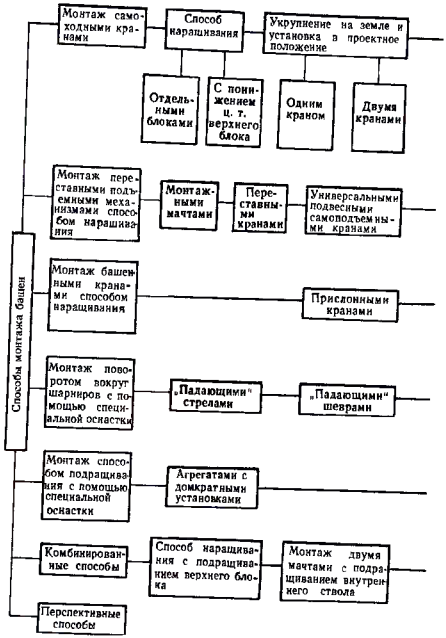
расчетную стоимость по элементам затрат на монтаж башни;

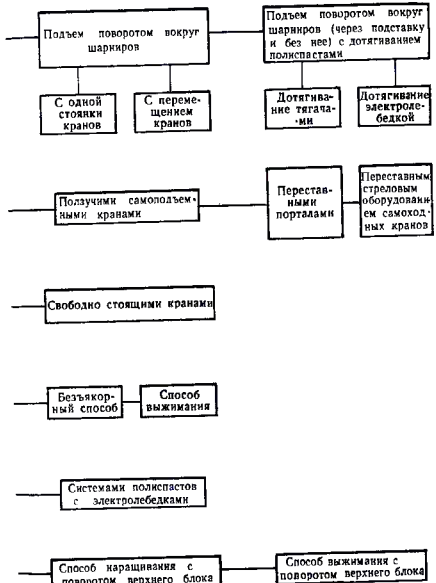
расчетную стоимость работ, передаваемых по договору;

ведомость распределения накладных расходов на монтаж металлоконструкций башни;

лимитно-комплектовочную ведомость основных и вспомогательных материалов, конструкций и деталей для монтажа металлоконструкций башни.

Практика возведения стальных башен методом бригадного подряда подтвердила его высокую эффективность. На Ровенском ПО «Азот» нормативный срок возведения башни высотой 80 м составлял 33 рабочих дня для бригады, состоящей из 24 монтажников. Эту работу поручили одной из лучших бригад треста Центростальконструкция, которую возглавлял бригадир С. М. Медведь, заключив с ней договор на бригадный подряд. Бригада монтажников Медведя С. М. в составе 2 чел. смонтировала башню за 28 рабочих дней, достигнув выполнения норм выработки на 206%. За работу бригаде было выплачено 1211 руб. премии, средний заработок монтажника составил 467 руб.


Способы монтажа башен
Монтаж самоходными кранами
Способ наращивания
Укрупнение на земле и установка в проектное положение
Отдельными блоками
С понижением ц. т. верхнего блока
Одним краном
Двумя кранами
Монтаж переставными подъемными механизмами способом наращивания
Монтажными мачтами
Переставными кранами
Универсальными подвесными самоподъемными кранами
Монтаж башенными кранами способом наращивания
Прислонными кранами
Монтаж поворотом вокруг шариков с помощью специальной оснастки
„Падающими" стрелами
„Падающими" шеврами
Монтаж способом подращивания с помощью специальной оснастки
Агрегатами с домкратными установками
Комбинированные способы
Способ наращивания с подращиванием верхнего блока
Монтаж двумя мачтами с подращиванием внутреннего ствола
Перспективные способы


Подъем поворотом вокруг шариков
Подъем поворотом вокруг шариков (через подставку и без нее) с дотягиванием полиспастами
С одной стоянки кранов
С перемещением кранов
Дотягивание тягачами
Дотягивание электролебедкой
Ползучими самоподъемными кранами
Переставными порталами
Переставным стреловым оборудованием самоходных кранов
Свободно стоящими кранами
Безъякорный способ
Способ выжимания
Системами полиспастов с электролебедками
Способ наращивания с поворотом верхнего блока
Способ выжимания с поворотом верхнего блока

ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Подготовка технической документации. Монтаж башни независимо от объема работ разрешается выполнять только по проектам производства работ типовым или индивидуальным (СНиП III-18-75). Типовые проекты производства работ разрабатывают для наиболее распространенных конструкций башен. Привязку типовых ППР осуществляют либо специализированные проектные организации либо монтажные, имеющие квалифицированных работников в составе разработчиков ППР. Привязку типового проекта выполняют с учетом местных условий, т. е. практически для идентичных объектов разрабатывают стройгенплан, решают вопросы подъездов к монтажной площадке, электроснабжения, подачи на приобъектный склад конструкций и др.

На чертежах типового проекта производства работ, которые можно применять без изменения, указанные выше организация ставят штамп с соответствующими подписями, разрешающими использование их для работы. До начала монтажа конструкций башни на объекте должна быть необходимая техническая документация:

комплект чертежей на стадии КМ и КМД со штампом «К производству работ»;

комплект чертежей ППР со штампом организации, разрешающей производство работ;

исполнительная схема фундаментов с указанием положения анкеров и выполнением дополнительных технических требований;

техническая документация на подъемные устройства с необходимыми выписками из паспортов грузоподъемных механизмов, заверенными ответственными лицами;

журналы и бланки, входящие в состав исполнительной технической документации (журналы монтажных, сварочных работ, журналы авторского надзора и др.);

комплект документации по технике безопасности (инструкции по технике безопасности по видам работ, утвержденные главным инженером организации, производящей монтаж, журналы инструктажа по технике безопасности на рабочем месте, журналы оперативного контроля и др.);

приказ организации, производящей монтаж, о поименном направлении на объект монтажников, сварщиков с указанием оригинального им номера личного клейма, стропальщиков, машинистов электролебедок и других специальностей;

приказы организации, производящей монтаж, о назначении лиц, ответственных за сооружение объекта, за безопасное перемещение грузов кранами, безопасную эксплуатацию механизмов и электроустановок;

карточки операционного контроля.

Подготовка и оборудование монтажной площадки. В соответствии с требованиями СНиП III-18-75 и СНиП III-1-76 монтажные работы следует начинать только после выполнения общестроительных и подготовительных работ на площадке.

1. Возведение всех фундаментов и установка анкерных устройств по проекту, сдача их монтажной организации по акту. При приемке фундаментов проверяется: правильность расположения фундаментов по отношению к осям башни; правильность высотных отметок верхнего обреза фундаментов; расположение, диаметр и высота анкерных болтов, наличие и возможность свободного вращения гаек по резьбе анкерных болтов, а также соответствие проекту других анкерных и закладных устройств в фундаментах, выполнение дополнительных технических требований (наличие и положение закладных частей для крепления монтажных устройств с подтверждающими актами на скрытые работы). К акту приемки фундаментов прилагается схема геодезической съемки с указанием отступлений от проекта. Если такие отступления превышают допускаемые, необходимо согласовать с проектной организацией мероприятия по приспособлению конструкций к таким изменениям. Котлованы фундаментов должны быть засыпаны, территория около них спланирована.

Допускаемые отклонения фундаментов, опорных плит, положения анкерных болтов в соответствии со СНиП III-18-75 (табл. 11 и 25):

Расстояние между центрами фундаментов одной башни	10 мм +0,001 проектного расстояния при общей величине не более 25 мм
Отклонение опорных плит от проектной отметки:	
плиты центрального фундамента	±10 мм
раздельно стоящие плиты башни (под поясами)	1/1500 базы, но не более 5 мм
Смещение анкерных болтов в плане, расположенных внутри контура опоры конструкций	5 мм
То же вне контура опоры конструкций	10 мм
Отклонение отметки верхнего торца анкерного болта от проектной	+20 мм, —0 мм
Отклонение длины нарезки анкерного болта	+30 мм; —0 мм

2. Устройство подъездов к монтажной площадке и проездов внутри нее, окончание строительства и оснащение временных зданий и сооружений (бытовых помещений, складов, навесов, якорей) в соответствии со стройгенпланом.

3 Подготовка площадей под склады конструкций башни и организация укрупнительной сборки их.

4. Устройство площадок для работы монтажных механизмов.

5. Сооружение объектов электрохозяйства (щитовые, сборки, ПЭС) и объектов для подачи сжатого воздуха.

6. Наличие на площадке всего монтажного оборудования, такелажной оснастки и приспособлений согласно ППР, а также испытание монтажных кранов до начала работы.

7. Выполнение заземления в соответствии с проектом или по временной схеме. В зависимости от грунта схемы временного заземления имеют три исполнения (рис. 31):

а	Торф, глина
б	Чернозем, суглинок, супесь
в	Песчаный грунт

Заземляющий штырь заглубляют не менее чем на 2,5 м, а металлические полосы, соединяющие конструкции башни со штырем, укладывают на глубине не менее 1,2 м от поверхности земли.

Склады и хранение конструкций. Организации складского хозяйства на монтаже башен придается большое значение. От правильной организации складирования конструкций во многом зависят сроки возведения башен. Малая повторяемость элементов башни, невозможность из-за негабаритности поставки на объект конструкций в блоках требуют их доставки на строительную площадку заблаговременно. Значительное количество монтажных элементов, внешне не отличающихся один от другого, может быть вовремя и без больших трудозатрат направлено на монтаж только при соблюдении на складе строгого порядка их складирования.

В проекте производства работ определяют место расположения склада и площадь. Исходя из конструктивных особенностей башен под склады башенных конструкций рекомендуется выделять бо́льшую площадь, чем для других сооружений, и располагать их вблизи башни. Земельный участок, отведенный под склад, должен быть ровным и иметь удобные подъезды. Если на одной строительной площадке одновременно возводят несколько башен, склады конструкций предусматривают отдельно для каждого сооружения. Целесообразно на складах конструкций для башен выделять две зоны: одну — для складирования конструкций ствола башни; другую — для складирования лестниц, площадок, конструкций ограждений.

Рис. 31. Схемы временного заземления башен:
а — в — варианты исполнений: *1* — фундамент башни, *2* — заземляющий штырь; *3* соединительная полоса.

Размещение конструкций на складе должно соответствовать очередности подачи их в монтаж. На территории склада конструкции укладывают на подкладках (обычно деревянных). Если элементы башни изготовлены не из труб, а из прокатных профилей, они должны быть уложены на подкладки так, чтобы в их полостях не скапливалась вода.

Перед подачей конструкций в монтаж на складе в соответствии со СНиП III-18-75 производится предварительная обработка элементов: общий осмотр; выбраковка элементов, имеющих дефекты и повреждения; очистка конструкций от грязи, снега, наледи, ржавчины; ремонт элементов, имеющих незначительные повреждения. Конструкции со сложными дефектами в монтаж не допускаются. Использовать их можно только с разрешения представителя проектной организации и завода-изготовителя.

На складе восстанавливается поврежденная огрунтовка и окраска. Если завод поставил неокрашенные конструкции, их окраску выполняют на складе (состав и цвет красок указаны в паспорте на покраску, который заказчик передает исполнителям). Обычно конструкции окрашивают в два слоя при $t > +4°C$ в хорошую погоду; после монтажа производят окраску поврежденных мест и участков; по требованиям ГВФ цвета отдельных ярусов башен чередуются: светлый — темный.

При неблагоприятных погодных условиях, обычно в осенне-зимний период, в монтаж подают неокрашенные конструкции. Их окраску выполняют со специальных подмостей после монтажа.

Для антикоррозионной защиты на торцы трубчатых элементов поясов с соединениями на фланцах наносят разогретый битум № 4, который заливают на заглушку в уровень с плоскостью фланца, одновременно смазывая его поверхность.

В связи с тем, что башня представляет собой отдельно стоящий объект, даже незначительные задержки с поставками конструкций приводят к прекращению работ. Поэтому до начала монтажа на складе должно быть не менее 30% всего объема комплектных конструкций.

МОНТАЖ БАШЕН САМОХОДНЫМИ КРАНАМИ

В народном хозяйстве широко применяются башни сравнительно небольшой высоты (до 60 м). Это прожекторные и осветительные башни, опоры грозозащитных устройств и ЛЭП, башни-факелы, башни-трубы химических и металлургических предприятий, башни вспомогательного назначения и др. Параметры этих башен дают возможность использовать для их монтажа самоходные стреловые краны. Опыт возведения башен самоходными стреловыми кранами и технико-экономические расчеты подтверждают эффективность их применения. Самоходные стрело-

вые краны целесообразно также применять для монтажа нижних блоков высоких башен.

В зависимости от параметров сооружения, технических характеристик кранов, местных условий есть несколько схем монтажа металлических башен самоходными кранами (см. с. 78, 79). Для монтажа отдельно стоящих башен рекомендуется применять краны на пневмоходу МКП-25, МКП-40, перебросна которых не требует больших трудозатрат. При соответствующем технико-экономическом обосновании (ТЭО) возможно применение гусеничных кранов. Их целесообразно использовать при сооружении башен в районах сосредоточенного строительства, когда переброска кранов не сопряжена с большими подготовительными работами. Наиболее удобным для монтажа башен является кран МКГ-25 БР, а также краны большой грузоподъемности СКГ-40, СКГ-40 БС, СКГ-63А, СКГ-100 при условии перебазирования их самоходом (в пределах одной строительной площадки или комплекса).

МОНТАЖ БАШЕН СПОСОБОМ НАРАЩИВАНИЯ

В стесненных условиях, например при плотной застройке промышленных площадок, в зонах парков, лесных массивов монтаж башен целесообразно производить способом наращивания. При возведении башен этим способом с использованием самоходных кранов достаточна минимальная строительная площадка, на которой можно создать рабочую зону крана, частичное складирование конструкций, площадок для их укрупнения и подготовки к монтажу. И все же значительную часть работ приходится выполнять на высоте. Для уменьшения объема этих работ укрупнительную сборку конструкций башни в блоки следует выполнять на земле, используя для их подъема кран. Применяемый самоходный кран должен иметь соответствующие грузоподъемность и высоту подъема крюка, чтобы обеспечить монтаж башни на всю высоту укрупненными блоками.

Самоходными кранами можно производить монтаж конструкций башен, собранных на земле в блоки, на отметках, превышающих максимальную высоту подъема крюка крана. В этом случае нижняя часть башни до отметок, которые может обслужить кран, монтируется способом наращивания. Каркас верхней части башни имеет небольшие размеры поперечных сечений и массу. Обычно центр тяжести верхнего блока башни совпадает или находится вблизи центра его вертикального геометрического сечения.

При использовании кранов со стрелами меньшей длины, чем проектная вертикальная отметка центра тяжести блока башни, к последнему после полной сборки на земле необходимо навешивать дополнительный груз (рис. 32). Его крепят к конструкциям блока таким образом, чтобы центр тяжести не только смещался

вниз, но и в сторону. Это дает возможность с помощью простейшего строповочного устройства поднимать блок в вертикальном положении. При этом значительно упрощается наводка блока на проектную отметку и не требуются дополнительные устройства (захваты, ловители).

Координаты центра тяжести (ц. т.) поднимаемой системы (блок + дополнительный груз, рис. 33) определяют из уравнений.

По оси x уравнение равновесия

$$q_{гр}x_2 - q_{бл}x_1 = 0,$$

где $q_{гр}$ — масса дополнительного груза, определяется из грузоподъемности монтажного крана (максимально возможная); $q_{бл}$ — масса поднимаемого блока; x_1 — плечо силы $q_{бл}$ (координата ц. т.), устанавливается из условий конструирования строповочного узла и должно быть минимально допустимым; x_2 — плечо силы $q_{гр}$, тогда $x_2 = \frac{q_{бл}}{q_{гр}} x_1$.

Из уравнения видно, что при $x_1 = \min$ и $q_{гр} = \max$ расстояние от места закрепления дополнительного груза до монтируемого блока будет минимально возможным. Это условие необходимо соблюдать, чтобы разместить дополнительный груз в подстреловом габарите. В противном случае несколько усложняется крепление груза, так как последний придется располагать симметрично по обеим сторонам стрелы.

Рис. 32. Монтаж башни способом наращивания:
1 — кран; *2* — полиспаст; *3* — строповочная рама; *4* — монтируемый блок; *5* — смонтированная часть башни

Рис. 33. Определение координат центра тяжести системы (блок + дополнительный груз).

По оси y уравнение равновесия

$$Q_{об}\, y_{ц.т} = q_{бл}\, y_{бл} + q_{гр}\, y_{гр},$$

где $Q_{об}$ — масса всей конструкции; $y_{ц.т}$ - координата ц. т. системы; $y_{бл}$ — координата ц. т. поднимаемого блока; $y_{гр}$ — координата ц. т. дополнительного груза (задается).

Таким образом, $y_{ц.т.} = \dfrac{q_{бл}\, y_{бл} + q_{гр}\, y_{гр}}{Q_{об}}$.

Из уравнения видно, что понижения центра тяжести системы можно достигнуть благодаря уменьшению (понижению) координаты $y_{гр}$. Значит при соответствующей отрицательной величине координаты $y_{гр}$ возможна строповка даже за низ поднимаемого блока.

В последние годы в строительстве используется все большее количество самоходных кранов с большой грузоподъемностью и большой высотой подъема крюка. Это дает возможность более широко применять самоходные краны на монтаже башен, особенно в пределах строительных площадок крупных промышленных комплексов, где всегда сосредоточено определенное количество кранов большой грузоподъемности.

УСТАНОВКА СОБРАННОЙ НА ЗЕМЛЕ БАШНИ В ПРОЕКТНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Наиболее удобно производить монтаж конструкций башен, полностью собранных на земле, и затем в готовом для эксплуатации виде устанавливать краном на фундаменты (рис. 34). Для этого возле фундаментов необходимо иметь свободную территорию, на которой можно полностью собрать башню и при наличии крана, грузоподъемность которого позволяет поднять башню с отрывом от земли, установить ее на анкерные болты.

Рис. 34. Монтаж стреловым краном башни, собранной на земле

1 — стреловой кран; *2* — башня, *3* — прицеп; *4* — путь для скольжения башмаков башни; *5* — подсыпка для крана

Технология монтажа башен таким способом простая, затраты на подготовительные работы минимальные, такелажные приспособления простейшие, легкие и обеспеченность безопасности производства работ, выполняемых на низких отметках, максимальная. Обеспечение монтажных организаций самоходными кранами большой грузоподъемности, оснащенными длинными стрелами, особенно пневмоколесными способствует более широкому распространению этого способа.

Для подъема башни строповка осуществляется выше центра тяжести. В зависимости от грузоподъемности крана и параметров башни кран устанавливается либо на кулевой отметке, либо на искусственной подсыпке, либо понижается центр тяжести башни путем подвески у основания дополнительного груза. При подъеме башни башмаки базы необходимо снабжать специальными съемными салазками или поддерживать на весу трубоукладчиком. Для снижения трения трущиеся поверхности следует смазывать маслами, глинистые грунты поливать водой, в зимних условиях создавать искусственное образование льда на пути движения салазок. При подъеме башен для подтягивания низа используют ручные или рычажные лебедки. Применение их исключает рывки, достигается плавная передача нагрузок, это способствует безопасности ведения работ.

Если в монтажной организации нет кранов соответствующей грузоподъемности, монтаж можно производить двумя одновременно работающими кранами. Общая их грузоподъемность определяется с учетом коэффициента неравномерности работы. Строповку груза с крюками кранов осуществляют через траверсы специальных конструкций, исключающие неравномерность передачи нагрузок на краны.

ПОДЪЕМ БАШЕН ПОВОРОТОМ ВОКРУГ ШАРНИРОВ

Если на стройплощадке нет крана соответствующей грузоподъемности или габариты башни затрудняют использование одного крана, для подъема башни применяют два крана. Технико-экономические расчеты подтверждают, что во многих случаях применение двух мобильных кранов меньшей грузоподъемности выгоднее одного крана большой грузоподъемности. Основное значение имеют затраты, связанные с перемещением на площадку грузоподъемной техники.

Правилами устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов (§ 331) разрешается использование для одновременной работы при подъеме груза двух и более кранов. При этом необходимо соблюдать условия организационного характера, а также выполнять определенные технические требования. Во-первых, работы должны производиться в соответствии с проектом производства работ, разработанным специализированной организацией. В нем должны быть указаны схемы строповки и перемещения груза, дана четкая последовательность выполнения операций, положения грузовых канатов в процессе подъема и методы контроля за ним, требования к состоянию пути для перемещения грузов. Схемы строповки и подъема башни должны гарантировать условия, при которых нагрузка, приходящаяся на каждый кран в процессе подъема, не должна превышать его грузоподъемность. Руководит подъемом башни назначенный приказом квалифицированный инженерно-технический работник либо

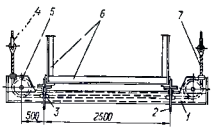


Рис. 35. Балансирная траверса:
1 — траверса из трубы; *2* — проушины, *3* — ограничители; *4* — крюк крана, *5* — ролики, *6* — конструкция крана; *7* — строп

лицо, ответственное за безопасное перемещение груза (СНиП III-1-75). Эти лица в обязательном порядке предварительно подробно изучают проект производства работ и расписываются на титульном листе ППР: «Проект производства работ изучил».

Башню собирают автокраном в горизонтальном положении. Пояса нижнего яруса закрепляют в шарнирах, которые устанавливают на фундаментах. В зависимости от положения центра тяжести башни и грузовых характеристик имеющихся стреловых кранов выбирается место их стоянки. Длину и вылет стрелы рекомендуется выбирать такими, чтобы общая грузоподъемность механизмов на 10—15% превышала общую нагрузку на оба крана. Четкое распределение нагрузки между кранами, компенсация некоторой неравномерности их работы достигается за счет применения специальных траверс (рис. 35). Траверсу изготовляют из трубы (диаметр и толщину стенки определяют расчетом), на обоих концах которой через ребра из листовой стали на осях устанавливают ролики. В месте строповки траверсу крепят к поднимаемой башне проушинами из листовой стали. Во избежание осевого перемещения к траверсе с обеих сторон у проушин приваривают фиксаторы (наиболее целесообразно их выполнять из отрезков труб диаметром 40—50 мм). Для строповки используют облегченный строп с коушами на концах, его протягивают внутри трубчатой траверсы. С целью возможности наблюдения за равномерностью подъема строп выпущен выше оси траверсы с каждой стороны на 1—1,5 м.

При подъеме башня занимает разные углы к горизонту. Траверса, вращаясь в проушинах, обеспечивает необходимое направление стропу и предотвращает его соскальзывание с роликов. Такая конструкция узла строповки удовлетворяет всем требованиям безопасного подъема башен. По мере подъема башни производят поворот стрел кранов по направлению к фундаменту для сохранения вертикальности грузовых тросов (отклонение грузовых полиспастов кранов от вертикали не должно превышать 1°, как указано в рекомендациях по применению для монтажа оборудования спаренными кранами, разработанных ВНИИмонтажспецстроем).

После перехода башни через положение неустойчивого равновесия дальнейшую посадку ее на фундаменты осуществляют торможением тросовой оттяжкой, которую можно крепить к автомобилю или трактору, так как ввиду небольшой массы таких

башен (не более 20 т) усилие в тормозной оттяжке небольшое. При установке башни на фундамент башмаки без шарниров крепят гайками к анкерным болтам, а с шарнирами — подклинивают. Затем шарниры удаляют. Производят окончательную выверку башни, установку в проектное положение, закрепление и демонтаж такелажа.

ПОДЪЕМ БАШЕН ПОВОРОТОМ ВОКРУГ ШАРНИРОВ С ДОТЯГИВАНИЕМ ПОЛИСПАСТОМ

Этот способ применяется при монтаже опор ЛЭП, опор линий радиорелейной связи, наблюдательных вышек и др. В тех случаях, когда грузоподъемность стреловых кранов не позволяет поднять башню в проектное положение, ее поворачивают вокруг шарниров на угол, достаточный для включения в работу тяговых полиспастов (рис. 36). Преимущества предыдущего способа монтажа полностью относятся к данному способу. Неудобство способа заключается в некотором усложнении монтажной оснастки, так как наряду с кранами для дотягивания до положения неустойчивого равновесия используется полиспаст. Однако удорожание монтажных работ в связи с усложнением оснастки окупается повышением производительности труда и сокращением сроков монтажа.

При монтаже башен таким способом необходимо определить:

оптимальный угол подъема башни к горизонту самоходными кранами;

место строповки дотягивающей системы в узлах башни и место закрепления неподвижного блока полиспаста.

Таким образом, задача сводится к определению усилий в дотягивающей системе. При этом следует принимать во внимание следующие обстоятельства: наличие в монтажной организации механизма с определенным тяговым усилием для дотягивания башни; наличие полиспастных блоков, строповочных траверс и других такелажных приспособлений; минимальное усилие конструкций для восприятия монтажных воздействий.

Расчетная схема усилий приведена на рис. 37.

Усилие для подъема башни в начальный период (поворот в шарнире) будет

$$P = Q\frac{a}{b} + q,$$

где Q — масса поднимаемой башни; a — плечо силы Q; b — плечо силы P; q — масса такелажа.

Усилие для дотягивания башни до положения неустойчивого равновесия

$$T = Q\frac{a\cos\alpha}{c\sin\varphi},$$

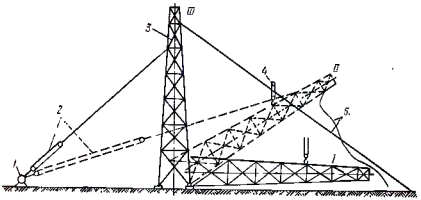


Рис. 36. Монтаж башни поворотом вокруг шарниров с дотягиванием полиспастом:

1 — электролебедка; *2* — тяговый полиспаст; *3* — башня; *4* — крюк крана; *5* — тормозная оттяжка; *I* — положение башни перед подъемом; *II* — включение в работу дотягивающего полиспаста; *III* — проектное положение башни

где c — расстояние от поворотного шарнира до места закрепления неподвижного блока полиспаста дотягивающей системы; α — угол, на который башня повернута краном; φ — угол, при котором дотягивающая система включается в работу.

Монтажные сжимающие усилия при дотягивании башни, воспринимаемые ее конструкциями,

$$T_{сж} = T\,\frac{\cos\varphi}{\cos\alpha} = Q\,\frac{a}{c}\,\operatorname{ctg}\varphi.$$

Узлы башни, в которых производится строповка грузоподъемных приспособлений, проверяют на монтажные воздействия и при необходимости выполняют усиление этих узлов и отдельных элементов башни. Из расчетных формул видно, что башню следует поднимать на максимально возможный угол, так как в этом случае усилие для дотягивания T и монтажное сжимающее усилие $T_{сж}$, являющиеся функциями углов α и φ, уменьшаются с увеличением угла подъема. Усилие для дотягивания T находится в сложной зависимости от проектных параметров башни, расположения монтажной оснастки и положения башни в пространстве. По рассчитанному усилию P производится выбор грузоподъемного механизма.

При определении величин, как правило, значение T задается в зависимости от наличия тяговых средств (монтажных лебедок, тракторов и др.), находят место закрепления якоря неподвижного блока полиспастной системы (расстояние c), а также минимальный угол α, на который необходимо поднять башню. Эти величины должны обеспечить возможность применения тяговых средств с соответствующим усилием. Опыт показал, что следует ориентироваться на тяговые средства с усилием 3—8 тс.

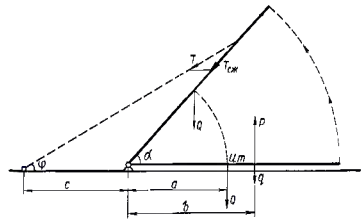


Рис. 37. Расчетная схема усилий при монтаже башни поворотом вокруг шарниров с дотягиванием полиспастом.

При монтаже башен этим способом не требуются уникальные грузоподъемные механизмы, такелажные приспособления и устройства. Достаточно иметь грузоподъемную технику и такелаж массового применения. Этот способ широко применяется на монтаже опор канатных дорог, ЛЭП, телевизионных башен небольшой высоты и др.

ПОДЪЕМ БАШЕН ПОВОРОТОМ ВОКРУГ ШАРНИРОВ ЧЕРЕЗ РАМНУЮ ПОДСТАВКУ С ДОТЯГИВАНИЕМ ПОЛИСПАСТОМ

Этот способ применяется при монтаже башен различной высоты (от 60 до 100 м и более). Для этого необходимо иметь свободную от строений площадку, достаточную для размещения собранной внизу башни и установки стреловых кранов. Преимущества этого способа в следующем: простота монтажной оснастки и такелажа (в основном многоцелевые приспособления, узлы и детали); вся монтажная оснастка и такелаж изготавливаются силами монтажной организации; для подъема башни используют стреловые краны с общей грузоподъемностью меньше массы башни.

Недостатком этого способа является то, что часть приспособлений (рамная подставка и шарнир) не является приспособлениями массового пользования, а также наличие дотягивающей полиспастной системы. При разработке проекта производства работ для монтажа башен таким способом необходимо определить аналогичные предыдущему способу параметры, т. е. найти максимально возможный угол подъема башни самоходными кранами, определить параметры дотягивающей полиспастной системы. Кроме этого надо определить геометрические размеры рамной подставки, точку шарнирного прикрепления ее к конструкциям башни и параметры удерживающей тяги подставки (рис. 38).

Усилие P в начальный период подъема башни и усилие T для дотягивания башни определяют по формулам, приведенным выше.

Усилие для подъема башни, установленной на рамную подставку, определяют по формуле

$$P_n = Q\,\frac{c}{b}\,\cos(\alpha+\beta)\cos(\alpha-\omega),$$

где Q — масса башни, c — расстояние от поворотного шарнира до центра тяжести башни; b — плечо силы P_n; α — угол подъема башни, стоящей на рамной подставке; β — угол между линией, соединяющей шарнир с п. т., и нижним поясом башни; ω — угол между нижним поясом и линией, параллельной оси башни.

Из формулы видно, что усилие для подъема башни (если пренебречь влиянием $\angle\beta$ и $\angle\omega$) пропорционально квадрату косинуса угла подъема.

Усилие, передаваемое на конструкции рамной подставки, в точке соединения с балансирной траверсой в момент отрыва будет

$$S = P\cos\gamma,$$

где γ — угол между плоскостью рамной подставки и направлением силы P_n. То же для промежуточного положения

$$S_1 = P'_n\,\frac{\sin\gamma}{\sin\varphi},$$

где P'_n — усилие подъема при заданном положении башни; φ — угол между плоскостью рамной подставки и направлением строповочной тяги.

По мере подъема башни усилие S в рамной подставке уменьшается, а S_1 в строповочной тяге с увеличением угла γ увеличивается.

Учитывая, что пояса рамной подставки испытывают сжимающие усилия, эту конструкцию подвергают поверочному расчету

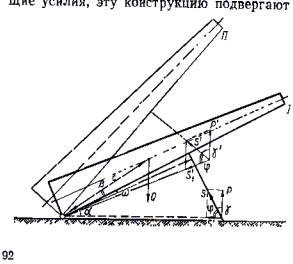


Рис. 38. Расчетная схема усилий при монтаже башни поворотом вокруг шарниров через рамную подставку с дотягиванием полиспастом.
I — положение в начале подъема; *II* — промежуточное положение.

на общую устойчивость. Производят также поверочный расчет узлов, через которые передаются монтажные усилия от рамной подставки на конструкции башни. При необходимости усиливают соответствующие узлы и примыкающие к ним раскосы и распорки решетки башни.

Для усиления конструкций башни, монтируемой описываемым способом, затрачивается менее 0,5% металла ее массы.

В монтаже башни этим способом можно выделить шесть этапов (рис. 39):

а — сборка башни и такелажных приспособлений в горизонтальном положении;

б — подъем башни краном на определенный угол и закрепление рамной подставки в предмонтажном положении;

в — подъем башни на максимально возможный угол двумя кранами, крюки которых стропят за низ рамной подставки через балансирную траверсу;

г — дотягивание башни полиспастом до положения неустойчивого равновесия;

д — посадка башни тормозными приспособлениями на фундаменты;

е - закрепление башмаков башни к анкерам, демонтаж оснастки

Сборку конструкций башни в горизонтальном положении начинают с первого (от основания) яруса. Два нижних его пояса заводят в поворотные шарниры. По окончании сборки этот ярус поворачивают стреловым краном в шарнирах в проектное положение. При этом выполняют рихтовку нижнего сечения яруса по анкерам, проверяют поворотные шарниры в работе, в нижнем сечении монтируют элементы монтажной диафрагмы с целью исключения каких-либо деформаций при последующей работе. Затем первый ярус поворачивают в горизонтальное положение и строго по оси башни на шпальных выкладках собирают остальные секции. В горизонтальном положении на отметке, указанной в ППР, в шарнирах укрепляют монтажную рамную подставку. Низ подставки укладывают в сторону фундаментов и соединяют через пальцы канатными тягами с башмаками. В горизонтальном положении монтируют всю такелажную оснастку, закрепляют дотягивающую полиспастную систему, тормозное устройство и т. д.

По окончании подготовительных работ тщательно осматривают все конструкции башни, особенно те, к которым закрепляют такелажные устройства и монтажные приспособления. После этого башню поднимают одним краном (или двумя, одновременно работающими), поворачивая в шарнирах, на высоту, обеспечивающую установку в предмонтажное положение рамной подставки. Для этого низ подставки оттягивают трактором или автомашиной до полного натяжения канатной тяги. Затем со

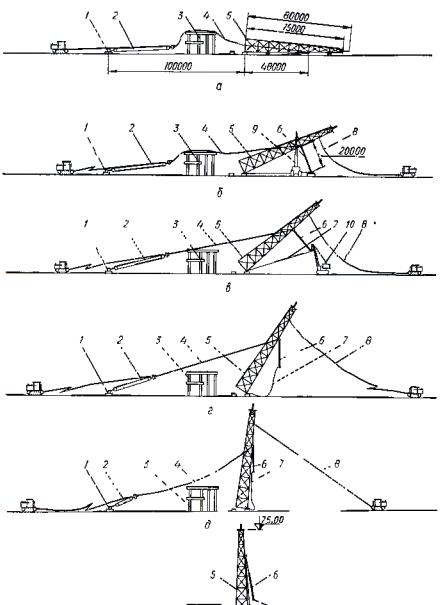


Рис. 39. Этапы монтажа башни (*а — е*):
1 — якорь на усилие 50 тс; *2* — тяговый полиспаст; *3* — эстакада технологических трубопроводов, *4* — тяговые вожжи; *5* — башня; *6* — рамная подставка; *7* — тяги рамной подставки; *8* — тормозная оттяжка; *9* — кран СКГ-63, *10* — кран МКГ 25 ВР

спланированных площадок с тщательно устроенным покрытием (утрамбованный слой щебня либо дорожные плиты) двумя кранами через балансирную траверсу, закрепленную за низ подставки, поднимают башню на максимально возможный угол. Одновременно выбирают слабину в полиспастной дотягивающей системе. После максимально возможного подъема башни кранами тяговую систему натягивают до включения в работу. Повторно осматривают и проверяют всю такелажную оснастку: узлы строповки, поворотные шарниры, якоря и др. После проверки нагрузку полностью передают на дотягивающий полиспаст, освобождают крюки кранов от стропов, выводят краны из монтажной зоны. Дальнейший поворот (подъем) башни производят дотягивающим полиспастом, а при подходе башни к положению неустойчивого равновесия включают в работу термозные посадочные устройства. Некоторое время при повороте башни синхронно работают тяговым полиспастом и тормозным устройством, которое только после перехода линии центра тяжести башни через горизонтальную ось шарниров включается полностью в работу и устанавливает башню на фундаменты.

Временную рамную подставку после освобождения от шарниров демонтируют двумя тракторами: один из них оттягивает канатом низ подставки, другой, двигаясь к башне,— ослабляет удерживающий канат, переброшенный через однорольный блок, укрепленный к узлу башни выше мест крепления подставки.

Практика показала эффективность применения этого способа. Им были смонтированы выхлопная башня-труба высотой 105 м массой 250 т на Невинномысском ПО «Азот», телевизионная башня в Ужгороде высотой 50 м массой 40 т, башня с факельной установкой высотой 80 м и массой 45 т на Калушском ПО «Хлорвинил» и другие объекты.

МОНТАЖ БАШЕН ПЕРЕСТАВНЫМИ ГРУЗОПОДЪЕМНЫМИ МЕХАНИЗМАМИ

Переставные грузоподъемные механизмы применяются при монтаже башен способом наращивания. Этот способ монтажа применяется в строительстве давно. Все время он изменялся и постепенно совершенствовался. Наибольшие изменения претерпели механизмы, применяемые при наращивании башен.

Усовершеиствованный способ монтажа башен наращиванием, основы конструирования подвесных грузоподъемных механизмов и основные принципы их эксплуатации разработаны советскими инженерами лауреатом Ленинской премии Л. Н. Шипакиным, А. С. Каминским, Г. Б. Броверманом и др. В настоящее время этот способ широко распространен на моитаже металлических башен любой высоты (более 80 м) и массы. Используя соответствующее монтажное оборудование, его можно применять

в условиях стесненных площадок, при наличии вблизи объекта строений, при сложном рельефе местности. Принцип монтажа заключается в том, что башню собирают из отдельных элементов или блоков от нижних отметок к верхним.

Во время монтажа башни на ее элементы действуют те же нагрузки, что и при эксплуатации, т. е. собственная масса и ветер. Воздействие монтажного механизма обычно не превышает расчетных усилий от основных действующих сил. При монтаже башен, возводимых по индивидуальным проектам, может возникнуть необходимость в усилении конструкций башни для восприятия реакции от монтажного механизма. Обычно такое усиление бывает местным в узлах крепления крана, так как на все сооружение нагрузки от крана не оказывают существенного влияния.

На практике применяют следующие механизмы:

монтажные мачты на расчалках грузоподъемностью 2,5 т;

переставные краны типа ПК конструкции треста Стальмонтаж грузоподъемностью 6,5 т при минимальном вылете стрелы;

универсальные подвесные краны УПК-2,5 и УПК-4 грузоподъемностью соответственно 2,5 и 4 т при всех вылетах стрелы, ползучие самоподъемные краны ПК-6/13, СПК-12, СПК-25, ПСК-20 грузоподъемностью соответственно 6—13; 2,6—12; 1 · 25; 17—20 т;

переставные порталы.

После выбора механизма и определения массы конструкций, поднимаемых за один раз, производят проверочный расчет на восприятие элементами башни воздействий от монтажного механизма. Способ монтажа определяют при проектировании башни, а требуемое усиление — при разработке рабочих чертежей.

При наращивании башен подливку опорных башмаков и заливку колодцев анкерных болтов в фундаментах башни производят после выверки двух собранных и закрепленных ярусов башни. Эти работы оформляют соответствующими актами, в которых должны быть приведены данные замеров. После подливки монтаж разрешается производить только при условии достижения раствором подливки 50%-ной проектной прочности. Для подливки используют цемент высокой марки. Смонтированные два верхних яруса башни необходимо подсоединить к заземляющему устройству. Заземление (постоянное) выполняют в период устройств фундаментов в соответствии с проектом. При отсутствии постоянных заземляющих устройств монтирующая организация заземляет башню по временным схемам (см. рис. 31).

МОНТАЖ БАШЕН МАЧТОЙ НА РАСЧАЛКАХ

Этот способ монтажа известен в строительстве давно. Для применения его достаточно иметь простейшее монтажное оборудование и оснастку, которые изготавливают в мастерских монтажных организаций, а также располагать свободной зоной вокруг башни для размещения якорей и монтажных расчалок. В процессе работы необходимо согласовывать работу лебедок на расчалках с работой подъемной лебедки при перестановках мачты, а также с работой грузовой лебедки при подъемах тяжелых элементов. Трудно регулировать положения мачты четырьмя расчалками, так как их лебедки находятся на большом расстоянии друг от друга. Мачта с оборудованием дает возможность осуществлять монтаж большей части конструкций башни позвенно и лишь незначительную часть — блоками.

На практике в зависимости от размеров башни применяют мачты различной высоты — 16—29 м. Наибольшее распространение получили мачты высотой 25—29 м. Такие решетчатые мачты сварной конструкции имеют сечение 500×500 мм и состоят из четырех секций — двух промежуточных и двух концевых. В комплект оборудования монтажной мачты входят 6 лебедок: две электрические, устанавливаемые на расстоянии 1/3 высоты башни (одна — для грузового полиспаста, другая — для перестановки мачты), и четыре ручные для расчалок. Мачту удерживают четыре расчалки. Шарнирное опирание мачты на консоли состоит из вертикального валика, позволяющего мачте вращаться вокруг вертикальной оси, и двух взаимно перпендикулярных горизонтальных пальцев, вокруг которых она поворачивается (рис. 40).

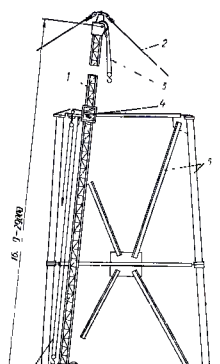


Рис. 40. Закрепление монтажной мачты:
1 — монтажная мачта; *2* — расчалка; *3* — грузовой полиспаст; *4* — направляющая рама; *5* — конструкции башни; *6* — опорный стопик; *7* — полиспаст перестановки мачты

Положение мачты в пространстве определяется и регулируется расчалками, закрепленными к ручным лебедкам. Угол наклона расчалки к горизонту при максимальном подъеме мачты не превышает 45°, угол между расчалками в плане составляет примерно 90°. Опорную консоль хомутом крепят к поясу башни

в направлении к центру ее сечения. Минимально возможный вылет консоли составляет 0,7 м, если в сечении нет площадок. При наличии площадок, не позволяющих установить мачту на минимальном расстоянии, опорная консоль имеет вылет до 2,5 м. Такелажное оборудование мачты состоит из грузового полиспаста с верхним и нижним однорольными блоками, а также однорольного отводного блока, прикрепленного к основанию мачты. Блоки (верхний полиспаста и отводной) крепят к мачте стальными канатами.

Для перестановки мачты предусмотрен двухниточный полиспаст. Верхний блок этого полиспаста крепят к башмаку, который соединяют болтами с фланцем оголовка пояса башни. Нижний подвижный блок подъемного полиспаста находится у основания мачты. Опорные башмаки бывают двух типов: без консолей и с консолями. Опорный башмак без консолей применяют в тех случаях, когда между поясом башни и мачтой нет площадок. Для того чтобы обойти площадки, используют опорный башмак с консолями, которые обеспечивают вылет 1900—2000 мм.

Мачту с помощью расчалок устанавливают так, чтобы оголовок ее с грузовым полиспастом находился над местом установки очередного элемента. После подъема и закрепления элемента башни оттяжками изменяют наклон мачты для подъема других конструкций.

Для безопасности ведения работ необходимо соблюдать следующие условия:

все четыре расчалки мачты независимо от наличия груза должны быть натянуты до усилия не менее 0,5 тс;

наклон мачты не должен быть больше, чем требуется для установки элемента;

при изменении наклона не допускать упора мачты в конструкции башни;

подъем груза следует производить снаружи; груз необходимо удерживать оттяжками, не допуская касания к смонтированным конструкциям и соблюдая зазор в свету 0,4—0,8 м;

особо внимательно необходимо следить за подъемом тяжелых элементов и пространственных секций, а также при перестановке мачты на новую стоянку, выводе мачты наружу. При подъеме тяжелых элементов грузовой полиспаст натягивается почти до отрыва груза, задними расчалками отрывают груз от земли, уменьшая наклон мачты, и только после этого груз поднимают грузовым полиспастом;

перед началом работы такелажная оснастка, металлоконструкции и механические узлы мачты, лебедки, якоря должны быть проверены. В дальнейшем ответственный за монтаж ежедневно осматривает и опробывает все подъемное оборудование;

монтаж конструкций разрешается производить при ветре не более 6 баллов, а подъем тяжелых элементов, пространственных секций и перестановку мачты — не более 4 баллов.

Описанный метод в исключительных случаях можно применять при монтаже башен высотой до 140 м. Применение его обусловливается местными условиями, главное из них — отсутствие других средств для монтажа.

МОНТАЖ БАШЕН ПЕРЕСТАВНЫМИ КРАНАМИ

Широкое развитие монтажа башен методом наращивания привело к созданию более совершенного механизма — переставного стрелового крана (рис. 41). Преимущество монтажа башен переставными кранами заключается в том, что наряду с использованием простейшего механизма отпадает необходимость удерживать стрелу расчалками, в связи с этим площадь, занимаемая монтажными устройствами, значительно меньше, чем при применении монтажной мачты. Стрела крана удерживается в заданном положении стреловым полиспастом. Недостатком является невозможность производить монтаж конструкций башни пространственными блоками, а также частые перестановки механизмов с одной стоянки на другую.

Стреловой кран состоит из стойки высотой 8,5 м, стрелы длиной 28 м, собираемой из четырех частей, опорных и поворотных устройств. Грузоподъемность крана 6,5 т обеспечивается грузовым трехниточным полиспастом, грузовая ветвь которого по отводным роликам сбегает вдоль стрелы и через стойку направляется вниз к грузовой лебедке. Вылет стрелы регулируется стреловым полиспастом, сбегающая ветвь которого через стойку направляется вниз к лебедке. Стойка крана закрепляется к поясу и распоркам башни в двух уровнях опорными устройствами через приваренные к конструкциям опорные столики.

Монтаж башни переставным стреловым краном осуществляется следующим образом. Нижнюю часть баш-

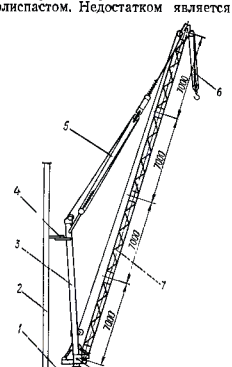


Рис. 41. Переставной стреловой кран:
1 — нижний опорный столик; *2* — пояс башни; *3* — стойка крана; *4* — верхний столик; *5* — стреловой полиспаст; *6* — грузовой полиспаст; *7* — стрела; *8* — поворотный круг

ни монтируют стреловым краном, выверяют и выполняют проектное оформление узлов. Этим же краном производят монтаж металлоконструкций переставного крана на его первой стоянке. Кран закрепляют опорными устройствами на смонтированных конструкциях внутри контура башни в одном из углов. Сбегающие нити канатов крана и полиспастов его перестановки идут вниз внутрь башни к отводным блокам, закрепленным у фундаментов за специально установленный якорь. От отводных блоков канаты направляют к лебедкам, сосредоточенным в одном машинном помещении.

Элементы башни на земле укрупняют в плоские блоки на высоту яруса массой не более грузоподъемности крана. С каждой стоянки крана монтируют конструкции одного яруса башни. После монтажа конструкций каждого яруса производят их выверку и проектное закрепление. Затем кран перемещают на следующую стоянку на шаг, равный высоте яруса башни. Перемещение крана производят двумя полиспастами, неподвижные блоки которых закрепляют к башмакам, временно устанавливаемым на болтах на верхних концах двух смонтированных поясов башни. Башмаки крепят на двух смежных поясах башни относительно пояса, на котором устанавливают кран. Нижние подвижные блоки полиспастов закрепляют за низ стойки крана. Кран поднимают в сборе со стрелой. Перед подъемом стрелу крана устанавливают на минимальном вылете и фиксируют в таком положении, закрепляя к стойке винтовой стяжкой. Для обеспечения устойчивости крана во время перестановки стрела скользит в направляющей рамке, которая охватывает по периметру сечение стрелы. Направляющую рамку устанавливают в верхнем сечении последнего смонтированного яруса и раскрепляют горизонтальными канатными тягами, свободные концы которых крепят к поясам башни. Положение стрелы при перемещении крана регулируется не только рамкой, но и дополнительной стяжкой.

Описанный способ применяется на монтаже башен различного назначения высотой 100—150 м. С появлением более совершенных способов монтажа применение этого способа ограничено. Его используют только при небольших объемах работ и в тех случаях, когда нет других грузоподъемных средств.

МОНТАЖ БАШЕН УНИВЕРСАЛЬНЫМИ ПОДВЕСНЫМИ САМОПОДЪЕМНЫМИ КРАНАМИ

В процессе развития способа наращивания совершенствовались и грузоподъемные средства, применяемые при монтаже стальных башен. Конструкторы института Промстальконструкция совместно с монтажными подразделениями и другими организациями разработали универсальные подвесные самоподъемные краны. Возведение башен способом наращивания с использованием таких кранов сейчас широко применяется при монтаже башен самого различного назначения и высоты.

По сравнению с ранее рассмотренными этот способ имеет много преимуществ:

работы производят в пределах территории, непосредственно примыкающей к башне, даже при наличии зданий в зоне строительства;

влияние местных условий на подготовку и ход монтажных работ незначительно;

в процессе монтажа башня испытывает такие же нагрузки и воздействия, как в период эксплуатации, а нагрузки от подвесного крана в большинстве случаев из-за малой величины не влияют на общую несущую способность конструкций;

управление операциями на всех этапах монтажных работ осуществляется из одного места;

при перестановке крана одновременно работает только одна канатная система;

в случае прекращения монтажных работ даже на длительное время нет необходимости выполнять какие-либо сложные и объемные работы по консервации сооружения, так как смонтированные конструкции находятся в проектном положении.

Однако, как и при других способах монтажа башен наращиванием, в данном случае значительный объем работ выполняется на высоте. Для выполнения их необходимо иметь высококвалифицированные кадры монтажников-верхолазов, монтажные подмости, лестницы и люльки. Сложно выполнение геодезического контроля, значительное влияние на темпы работ оказывают метеорологические факторы. С увеличением высоты башни эти обстоятельства еще больше усложняются и оказывают отрицательное влияние на ход работ. Кроме этого применение подвесных кранов для монтажа башен возможно при свободном от конструктивных элементов внутреннем пространстве башни.

Подвесной кран с оснасткой применяется только по своему прямому назначению, т. е. использование такого оборудования ограничено монтажом башен. Конструкции башни необходимо проверять на нагрузки от подвесного крана. При проектировании башен следует учитывать дополнительные технические требования и в состав чертежей включать привязанные к соответствующим отметкам столики для крепления подвесок крана.

При монтаже башен рассматриваемым способом наиболее целесообразно применять универсальные подвесные краны типа УПК (рис. 42), разработанные институтом Промстальконструкция. Эти краны имеют решетчатый ствол, включающий пять секций по 8 м каждая и шестую (верхнюю) — с трубчатым окончанием, а также поворотный оголовок со стрелами — грузовой и противовеса. В комплект оборудования входят три электролебедки (для перестановок крана, подъема груза и стрелы), а также две ручные — для поворота оголовка крана. Нижний конец первой секции ствола крана имеет жесткую диафрагму, которая предназначена для раскрепления крана канатными растяжками

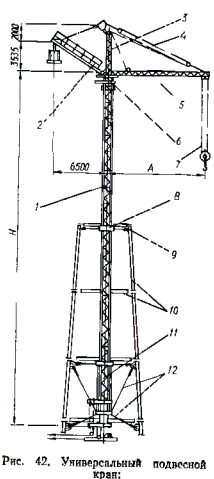


Рис. 42. Универсальный подвесной кран:

1 — ствол; *2* — стрела противовеса; *3* — поворотный оголовок; *4* — стреловой полиспаст; *5* — стрела; *6* — поворотный круг; *7* — грузовой полиспаст; *8* — рамка-обойма; *9* — канатные растяжки; *10* — конструкции башни; *11* — решетчатая обойма; *12* — канатные подвески.

в период перестановки обоймы. Поворотный оголовок опирается на трубчатый конец последней (верхней) секции ствола крана в двух уровнях: в верхнем — он опирается на сферическую опору трубы секции, в нижнем — поворотным кругом на четыре горизонтальных катка. Выше сферической опоры оголовок отклонен на 600 мм в сторону противовеса для создания минимально возможного вылета грузовой стрелы. К вершине оголовка крепят тяги стрелы противовеса и стрелового четырехниточного полиспаста.

Вращение оголовка осуществляется поворотным кругом, с которого концы каната шестью отводными роликами направляются через внутреннее сечение ствола вниз на две ручные лебедки. В состав подвесного крана входят также четырехгранная решетчатая обойма, поперечное сечение которой обеспечивает беспрепятственный проход ствола внутри нее, канатные подвески и растяжки со стяжными муфтами, рамка-обойма и др. В рабочем положении нагрузка от ствола крана воспринимается верхней частью обоймы через два закладных штыря. В стволе крана отверстия для штырей образованы через каждые 8 м. Это дает возможность устанавливать ствол и стрелы крана выше верхней части обоймы на 10; 18; 26 и 34 м.

Обойму крана закрепляют на смонтированных конструкциях башни четырьмя наклонными подвесками и восемью горизонтальными растяжками. К обойме подвески и растяжки крепят через пальцы в рамках жесткости, а к поясам ствола башни — к привариваемым столикам с проушинами и пальцами. Подвески крепят одним концом за нижнюю рамку жесткости, а другим — к столику на поясах в уровне верхней рамки. Горизонтальные растяжки располагают по четыре штуки в уровне нижней и верхней рамок жесткости обоймы.

При перестановке крана на новую стоянку в случае изменения сечения башни длину подвесок и растяжек изменяют пережимом концов каната на серьге, а затем вытягивают их, регулируя длину стяжными муфтами. Заучастую заранее заготавливают необходимые комплекты подвесок и растяжек с учетом их длины для каждой стоянки крана.

Для обеспечения устойчивости ствола крана при выдвижении его над обоймой на 26 и 34 м дополнительно устанавливают рамку-обойму выше верха обоймы на 16 м, раскрепляя ее канатными растяжками к смонтированным конструкциям поясов ствола. Благодаря этому удается сохранить максимальную свободную длину ствола 16 м и обеспечить работу 32-метрового ствола в условиях продольного изгиба, а также облегчить его работу при ветровой нагрузке. При выдвижении ствола с поворотным оголовком на 10 и 18 м устанавливать рамку-обойму над верхом обоймы нет необходимости.

Крапами типа УПК с одной стоянки монтируют конструкции четырех восьмиметровых ярусов башен, т. е. по высоте 32 м. Таким образом, наиболее распространенные башни (высотой до 200 м) можно монтировать с 5—7 стоянок кранов УПК. Порядок работы подвесного крана при этом следующий. В центре башни устраивается специальный фундамент с башмаком и с закладными деталями. Кран с тремя секциями ствола и обоймой собирают на земле в горизонтальном положении и через шарнир, установленный на башмаке, поворачивают в вертикальное положение. Ствол крепят анкерными болтами к башмаку и расчаливают. На башмаке закрепляют отводные ролики для всех сбегающих нитей канатов, направляемых на лебедки. В таком положении краном монтируют два нижних яруса башни, после чего обойму выдвигают вверх на 8 м и крепят ко второму ярусу. Затем выталкивают ствол в обойме на высоту яруса и монтируют третий и четвертый ярусы башни. Последующие перестановки крана выполняют следующим образом. Низ ствола крана за жесткую диафрагму раскрепляют к смонтированным конструкциям башни четырьмя тросовыми подвесками и четырьмя растяжками. Под поворотным кругом оголовка крана устанавливают и раскрепляют к поясам башни рамку-обойму. Стрелу крана устанавливают на минимальном вылете. Грузовым полиспастом обойму, предварительно освобожденную от конструкций крана, поднимают в верхнее положение на 33 м и крепят к конструкциям башни подвесками и растяжками. Низ ствола крана освобождают от подвесок и растяжек и поднимают полиспастом, неподвижный блок которого крепят к специальной диафрагме обоймы, а подвижный — к низу ствола. При перестановке рамки-обоймы в самое верхнее положение перед подъемом крана на следующую стоянку свободная длина его ствола возрастает до 32 м.

Однако в таком положении кран не поднимает груз, и поэтому напряжения в элементах ствола остаются в пределах допускаемых. Таким образом, перестановка подвесного крана со стоянки на стоянку — операция трудоемкая, требующая постоянного внимания и тщательного контроля. Для максимально возможного сокращения таких перестановок выбрана соответствующая высота крана, равная 46,7 м.

Подвесным краном монтаж осуществляется при двух рабочих положениях. Первое—ствол крана выдвинут на 16 м выше обоймы. В этом положении монтируют два восьмиметровых яруса башни, после чего поднимают рамку-обойму под поворотный круг и раскрепляют растяжками в узлах поясов башни к монтажным столикам. Второе — кран в обойме и рамке-обойме выдвигают на следующие 16 м. В таком положении монтируют еще два восьмиметровых яруса башни.

Помимо грузоподъемности крана, технология монтажа конструкций башен во многом определяется массой отдельных элементов или отправочных марок и возможностью их укрупнения в блоки. В зависимости от грузоподъемности крана и массы элементов подъем конструкций на проектную отметку производится отдельными элементами, либо укрупненными в плоскости, либо пространственными блоками.

Параметры наиболее распространенных типов башен дают возможность производить их монтаж в основном плоскостями, а в верхней — призматической части — пространственными блоками.

Установка турникетных передающих антенн совмещается с частичным демонтажом подвесного крана. Кран опускается на полиспасте до тех пор, пока поворотный оголовок не сядет на верхнюю площадку башни и не выйдет с трубчатой части верхней секции ствола. В этом положении поворотный оголовок сдвигается с центра башни к краю площадки и расчаливается тросами за конструкции башни, а грузовой и стреловой полиспасты перепасовывают. Закрепленный таким образом оголовок превращается в неповоротный кран, которым демонтируют секции ствола подвесного крана и обоймы, а затем устанавливают турникетную антенну. По окончании монтажных работ оголовок разбирают на отдельные части массой по 15—250 кг и опускают на землю через блок.

МОНТАЖ БАШЕН ПОЛЗУЧИМИ САМОПОДЪЕМНЫМИ КРАНАМИ

Башни есть призматического очертания или значительная часть ствола которых имеет такое очертание, или с вертикальным элементом (один из поясов либо шахта лифтов). В большинстве случаев внутреннее сечение таких башен на ряде отметок занимают конструктивные элементы или технологические устройства. Для монтажа конструкций таких башен способом наращивания используют ползучие самоподъемные краны. Эти краны перемещаются по внешней стороне одного из поясов башен со стоянки на стоянку. Конструктивно они мало отличаются один от другого, принципиальная схема их аналогична схеме подвесных кранов. Главное отличие их в конструкции опорных устройств, которые, в основном, зависят от конструкции элементов башни, к которым в процессе работы крепят кран. Схема работы крана и его крепление позволяют конструировать механизмы грузоподъемностью 13—30 т со сравнительно большими вылетами стрелы (15—25 м). Это расширяет возможность использования крупноблочного монтажа конструкций башен, а в случаях невозможности выполнения монтажа отдельными элементами — проектирования монтажа башни с применением ползучих кранов большой грузоподъемности.

Рассмотрим технологию монтажа башен ползучими кранами.

I. На монтаже башен призматического очертания сечением 14,2×14,2 м и высотой 65—100 м широко применяют краны ПКБ-6/13. Пояса таких башен выполнены из труб соответствующих диаметров с монтажными фланцевыми стыками на болтах. Раскосы — предварительно напряженные из стальных канатов диаметром 55—67 мм. Башни разделены на ярусы высотой 12 м. Ползучий кран ПКБ-6/13 является модификацией одного из кранов, разработанных проектным институтом Промстальконструкция для монтажа высотных сооружений. Грузоподъемность крана 13 т, высота ствола 35 м, сечение ствола 1,3×1,3 м, максимальный вылет пр горизонтальном положении стрелы — 22 м. Пояса ствола крана и обойма выполнены из стали 15ХСНД. Контргруз состоит из двух блоков по 4 т каждый, бетонируемых по стальному решетчатому каркасу. Общая масса крана 28 т масса металлоконструкций 20 т. Для крана требуется три электрические и две ручные лебедки, 3000 м каната диаметром 22 мм, восемь блоков грузоподъемностью 1,5—25 т, 3 т деталей (2700 единиц).

Монтаж металлоконструкций первого и второго ярусов башни производит, как правило, бригада, монтирующая всю башню. В отдельных случаях для сокращения сроков работ и уменьшения перерывов в использовании ползучего крана (при его перебазировании на новую площадку) монтаж двух нижних ярусов выполняет специальная бригада. Для этих работ применяют краны на пневмоходу МКП-16 и МКП-25, перемещающиеся к месту работ собственным ходом. Конструкция нижней части башни и грузовые характеристики кранов не позволяют производить монтаж укрупненными блоками, поэтому его выполняют, в основном, поэлементно.

После монтажа первого яруса башни производят подливку фундаментов до проектной отметки. Анкерные болты с дополнительными гайками, на которые опираются опорные плиты поясов первого яруса, позволяют монтировать первый (базисный) ярус

с большой точностью, что обеспечивает высокое качество монтажа конструкций верхних ярусов. Собранный в нижнем положении на инвентарных козлах ползучий кран выводят в вертикальное положение через поворотный шарнир после окончания монтажа второго яруса башни. Расположение якорей по оси поворота крана позволяет применять расчалки постоянной длины. Натяжение расчалок производят включенными в них фаркопфами грузоподъемностью 5 т. В качестве временных якорей для расчалок используют пакеты металлоконструкций (пояса башни) массой до 15 т. Это дает возможность не только сделать инвентарной оснастку для монтажа и демонтажа ползучих кранов и в виде двух комплектов перевозить ее с одной монтажной площадки на другую, но и отказаться от устройства временных якорей, что в зимнее время и в полевых условиях затрудняет работу.

Для крепления пяты крановых лебедок устраивают инвентарный якорь в виде сварной фермы, к узлам которой приваривают проушины. Ферму укладывают на грунт в месте установки лебедок и загружают любыми железобетонными конструкциями общей массой 2 т. К поясам фермы поперек поясных уголков приваривают заостренные уголки (по 5 шт. на каждый пояс), которые для усиления сцепления грузом вдавливают в грунт.

Все конструкции башни выше второго яруса монтируют ползучим краном ПКБ-6/13. Основным в организации монтажа является максимальное укрупнение конструкций. Это сокращает до минимума количество крановых подъемов, позволяет значительную часть трудоемких работ выполнить на земле, а следовательно, повысить производительность и улучшить условия труда. С этой целью проводят тщательный анализ конструкций башни и их разбивку на монтажные блоки с учетом грузоподъемности крана на требуемом для монтажа блока вылете и возможности установки блока в проектное положение. Для башни составляют ведомость укрупненных блоков.

В отдельных случаях, когда при подъеме укрупненного блока остается запас грузоподъемности крана, к таким укрупненным блокам крепят марки, которые впоследствии монтируют поэлементно без опускания грузового крюка до земли.

Все распорки, поднимаемые отдельно от поясов, укрупняют, как правило, с примыкающими площадками и ограждениями, отдельно поднимаемые пояса башни — с двумя раскосами, блоки шахты лифта — с угловыми площадками. Секции антенной этажерки монтируют оформленными блоками с площадками и ограждениями. Последним устанавливают стационарный кран-укосину.

К числу наиболее сложных подъемов относятся: установка блока из двух соединенных распоркой поясов башни с прикрепленными к ним гибкими раскосами; монтаж конструкций в зоне перекрытия над кабиной (переходная часть от башни с базой 14,2 м к этажерке). Наводка тяжелой пространственной конст-

рукции на узлы ранее смонтированной части (по три соединяемых элемента в узлах на общих болтах М36) требует больших трудозатрат.

Для установки в проектное положение гибких раскосов из тросов диаметрами 55 и 63 мм свободный фланцевый конец раскоса обхватывают специальным захватом в виде спаренного сжима, к которому крепят тяговый трос. Через отводной блок, прикрепленный к поясу башни в месте крепления фланца раскоса, трос направляют вниз на электрическую лебедку (трактор, автомашину). Натягивая трос, прижимают фланец раскоса к фланцу пояса башни. После установки всех фланцевых болтов захват снимают. Натяжение гибких раскосов фланцевыми болтами производят только после установки в проектное положение всех раскосов смонтированного яруса башни. При этом каждые два раскоса, принадлежащие одной грани башни, натягивают одновременно.

Монтажное усилие каждого из восьми фланцевых болтов раскоса из троса диаметром 63 мм составляет 5440 кгс, а для раскоса из троса диаметром 55 мм — 4130 кгс. В переводе на крутящий момент, прилагаемый к гайке при ее завинчивании, это составляет 42 кгм для раскосов из троса диаметром 63 мм и 33 кгм — диаметром 55 мм.

Фланцевые болты подтягивают тарированными ключами ступенями последовательно по одному-два оборота гайки до тех пор, пока отклонения показаний тарированного ключа от проектных на каждой гайке не достигнут допустимой величины (от +10 до 30%).

После того, как натяжение всех раскосов смонтированного яруса достигнет проектной величины, производят геодезическую проверку вертикальности конструкций. При правильно натянутых гибких раскосах отклонение смонтированных конструкций от вертикали практически равно нулю и всегда меньше отклонений, допускаемых СНиП.

Приведенная технология была использована на монтаже многих башен радиорелейных линий связи. При этом была достигнута высокая выработка — 360—390 кг металлоконструкций в смену на рабочего, а в отдельные месяцы — до 500 кг.

II. При монтаже башен, имеющих нижнюю часть пирамидального очертания, а верхнюю призматическую, последнюю обычно монтируют ползучими кранами, обеспечивающими монтаж этой части башни пространственными блоками. При монтаже башен высотой 225 м и более для монтажа призматической части на отметках перехода пирамидального очертания в призматическое устанавливают самоподъемный кран СПК-12. Технология монтажа конструкций башни аналогична описанной выше. Обычно большая высота башни и малые размеры площадки не дают возможности установить оттяжку под углом, обеспечивающим оттягивание секций крана от ствола башни при их спуске. В та-

ких случаях угол наклона оттяжки такой, что она не оттягивает секции от ствола башни, а тянет их вниз. Опускать ползучий кран следует с учетом работы оттяжки в условиях стесненной площадки. Для отведения секции крана от ствола башни при спуске применяют выдвижную балку. Ее изготавливают из двух швеллеров № 20 —24 и на внешнем конце укрепляют ролики диаметром 300 мм.

Перед демонтажом кран СПК-12 опускают вниз по стволу башни на высоту призматических секций башни, стрелу поднимают и закрепляют к оголовку, полиспасты распасовывают (рис. 43). Грузовой канат используют для полиспаста опускания крана, закрепленного на отм. 200,00—210,00 м и проходящего через ролики на выдвижной балке. Выдвижная балка имеет вылет от оси башни при строповке конструкций крана 3,5—4 м, а при опускании — 5,5—6 м. Ее закрепляют на заданном вылете при помощи «пальцев» в опорных балках. Изменение вылета выдвижной балки осуществляют рычажными лебедками.

Конструкции крана демонтируют в такой последовательности: в первую очередь — оголовок, затем последовательно верхнюю секцию, обойму и нижнюю секцию. Нижнюю секцию ствола крана перед рассоединением с верхней закрепляют к башне двумя швеллерами. Все работы по демонтажу крана, начиная с установки последней секции башни и кончая уборкой такелажа и приспособлений, занимают 10 смен, а непосредственно демонтаж — две смены.

III. Эффективно применять ползучие краны при сооружении башен в тех случаях, когда их вертикальные пояса способны воспринимать значительные нагрузки, например башня Тбилисского телецентра (проект ГПИ Укрпроектстальконструкция, рис. 44). Отличительной особенностью ее является наличие вертикального ствола трубчатого сечения диаметром 4 м толщиной стенки 14—32 мм и наклонных поясов из труб диаметром 1,8 м толщиной стенки 15—24 мм, связанных между собой и стволом трубчатыми распорками. Раскосы нижнего яруса также трубчатые, а расположенные выше — из канатов диаметром 45—60 мм с предварительным натяжением. Башня выполнена с двумя техническими зданиями.

Вертикальный ствол после верхнего технического здания ступенчато переходит в антенную часть, выполненную из труб диаметром 3; 2,6 и 1,72 м. Благодаря вертикальному стволу из трубы большого диаметра для монтажа конструкций башни использовали самоподъемные краны большой грузоподъемности: СПК-25 — для монтажа конструкций вертикального ствола и антенн; ПСК-20 — для монтажа наклонных поясов, решетки технических зданий (выше нижнего яруса).

Монтаж конструкций нижнего яруса (между отм. 0,00—41,00) осуществляли гусеничным краном СКГ-63. Секции вертикального ствола временно закрепляли парными уголковыми фиксаторами

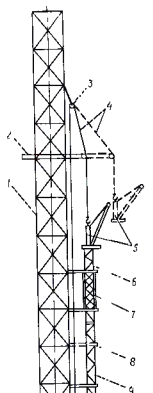


Рис. 43. Демонтаж ползучего крана:
1 — призматическая часть башни; *2* — выдвижная балка; *3* — блок; *4* — грузовой трос; *5* — оголовок крана; *6* — верхняя секция ствола крана; *7* — обойма крана; *8* — балка крепления нижней секции ствола крана; *9* — нижняя секция ствола крана

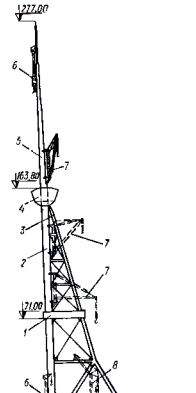


Рис. 44. Монтаж башни Тбилисского телецентра:
1 — нижнее техническое здание; *2* — вертикальный трубчатый ствол; *3* — пояса-подкосы; *4* — верхнее технические здание; *5* — антенная часть; *6* — положения крана СПК-25 в начале и в конце монтажа; *7* — стрелки крана ПСК-20; *8* — кран СКГ 63

с болтами, выверяли и полностью вываривали кольцевой шов. Установку каждой последующей секции производили после геодезической проверки правильности положения расположенной ниже секции и полной заварки ее стыкового шва.

При монтаже наклонных поясов и раскосов нижнего яруса были применены промежуточные портальные опоры, на которые временно опирались указанные элементы башни. Каждый портал устанавливали на бетонные фундаменты на деревянные

шпальные клетки. В основания порталов были вмонтированы по два гидравлических домкрата грузоподъемностью 50 т, а их вершины раскрепляли тросовыми расчалками диаметром 22,5 мм, в которые были врезаны винтовые стяжки. Сходящиеся в одном узле концы стыкуемых элементов не могли занять проектное положение из-за деформаций от собственной массы. Соответствующим перемещением портала с помощью гидравлических домкратов и расчалок достигали совпадения узлов сочленения отдельных элементов и их проектного закрепления.

Гусеничным краном СКГ-63, помимо разгрузочных работ, укрупнительной сборки, монтажа конструкций нижнего яруса выполнены сборка и установка самоподъемных кранов СПК-25 и СПК-20. Краном СПК-25 производили монтаж вертикального ствола и антенной части башни. Общая масса крана 37,5 т, длина ствола 27,5 м. С каждой стоянки монтировали две шестиметровые секции ствола, после чего кран перемещался на следующую стоянку через 12 м. Кран перемещался вверх по стволу через обойму подъемным полиспастом и лебедкой, установленной на земле. Грузовая лебедка была установлена также на земле, а стреловая — на его поворотной части. При работе кран опирался выдвижными опорными балками на специальные стоялки, приваренные к конструкциям ствола или антенны. Оболочки ствола и антенны в местах крепления столиков усиливали. Конструкции усиления были съемными, их переносили со стоянки на стоянку по мере перемещения крана. Общая образующая аятенной части (при ее ступенчатом смещении на границах диапазонов) позволила перемещать кран СПК-25 вдоль нее, используя унифицированные опорные части. После окончания монтажа конструкций демонтаж крана был выполнен специальной стрелой, установленной на антенне выше последней стоянки крана.

Конструкции наклонных поясов, элементов решетки, технических зданий монтировали специально сконструированным для этого объекта переставным стреловым краном ПСК-20 грузоподъемностью 20 т с максимальным вылетом стрелы 30 м. Он был оснащен механизмом поворота, аналогичным механизму поворота гусеничных кранов, лебедкой для изменения вылета стрелы, расположенной на кране, и двумя лебедками, расположенными на земле — грузовой и для перестановки крана. Кран имел три рабочих стоянки на отм. 83,00, 118,00 и 173,60 м. Его перестановку осуществляли полиспастом, который крепили к стволу башни на 12 м выше стоянки крана.

Укрупнение конструкций и их сварку производили на специальных стендах вблизи места установки конструкций в проектное положение. Все конструкции поясов, распорок, технических зданий укрупняли в блоки с максимальной массой, соответствующей грузоподъемности крана.

IV. В последнее время строят башни большой высоты многоцелевого назначения, в том числе для многопрограммного телевидения. Такие башни имеют несколько диапазонов антенн, технические здания на высоких отметках и другое оборудование. При обслуживании этих устройств необходимы лифты для подъема людей, оборудования и материалов.

Общая масса конструкций башен во всех случаях превышает 1000 т, а в некоторых случаях достигает 2500 и более. Монтаж такого большого количества конструкций по традиционным технологическим схемам трудно выполним и требует новых решений. Необходимо поднимать на высокие отметки укрупненные в блоки массой 15—20 т и более части башни и диапазоны антенн с установленной и отрегулированной аппаратурой. Одно из решений этой задачи — использование в качестве опорной конструкции решетчатых призматических или трубчатых шахт лифтов и антенн для подвески кранов ПКТ, СПК и других марок. Такие краны, как правило, изготавливают для каждой башни по индивидуальному проекту с использованием укрупненных узлов серийных грузоподъемных механизмов.

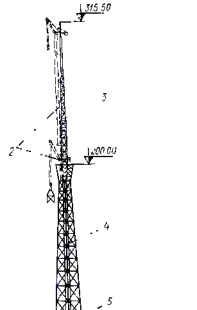


Рис. 45. Монтаж башни Ленинградского телецентра:
1 — башенный кран БК-300Б; *2* — положения самоподъемного крана; *3* — антенная часть; *4* — шахта лифтов башни; *5* — ствол башни

Представляет интерес опыт монтажа башни высотой 315 м Ленинградского телецентра (проект ГПИ Укрпроектстальконструкция, рис. 45). Характерной особенностью этой башни является наличие по ее центру четырехгранной призматической вертикальной шахты лифтов сечением 3×3 м до отм. 200,00 м и дальше — призматической части антенн сечением 6,0×6,0, 3,7×3,7 и 2,08×2,08 м. Все конструкции башни выполнены из труб. Пояса соединены сваркой встык на подкладных кольцах, решетка на фасонках. Между отм. 187,000 и 200,00 м размещено техническое здание для радиотехнического и лифтового оборудования.

Выбор механизма с соответствующей грузоподъемностью был обусловлен требованием ведения монтажа антенны крупными блоками с заранее установленным, налаженным и отрегулированным телевизионным и радиотехническим оборудованием. Масса одного такого блока достигала 15 т. В этом случае конструкции антенны не воспринимали реакции от самоподъемных кранов. В институте Промстальконструкция был сконструирован

специальный самоподъемный кран с удлиненным стволом на базе узлов крана БК-300. Это позволило снизить до допустимых пределов величины действующих на конструкции антенн горизонтальных сил от крана. Такой кран состоял из решетчатого ствола сечением 1,47×1,47 м длиной 123 м, стрелы длиной 17 м, консоли противовеса, закрепленных на поворотном оголовке. Рамками, воспринимающими горизонтальные усилия, кран крепили к шахте лифтов или антенне и опирали на стульчики.

Вертикальное перемещение крана осуществляли двумя сдаренными полиспастами грузоподъемностью 60 т каждый с ограничителями грузоподъемности, допускающими перегрузку не более 20%. Кран обслуживали шесть электролебедок, расположенных на земле: две грузовые грузоподъемностью по 5 т (с повышенной канатоемкостью до 2 тыс. м по чертежам института Промстальконструкция); одна стреловая грузоподъемностью 5 т; две для подъема крана грузоподъемностью 7,5 т; одна для поворота крана грузоподъемностью 5 т. Кроме того имелась лебедка грузоподъемностью 5 т для обслуживания временного лифта для подъема людей, две лебедки грузоподъемностью 7,5 т каждая для натяжения тросов в зоне башни; одна лебедка грузоподъемностью 5 т — для тросовой оттяжки за габариты башни поднимаемых элементов. Краном и временным лифтом управлял машинист, находившийся на земле. Связь с монтажной бригадой осуществляли по радиотелефону.

Нижняя часть башни до отм. 68,00 м и шахта лифтов до отм. 72,00 м были смонтированы башенным краном БК-300В. Этим же краном смонтировали самоподъемный кран. Применение крана БК-300В позволило уменьшить вылет стрелы самоподъемного крана до 17 м.

Конструкции ствола башни с отм. 25,00 до отм. 187,00 м (низ технического здания) монтировали по ярусам: устанавливали и закрепляли в стыках фиксаторами два пояса, затем монтировали решетку и верхнюю распорку. Элементы решетки каждой панели предварительно укрупняли на земле в специальном кондукторе. Такие плоскостные блоки, состоящие из четырех раскосов и распорки (так называемые «пауки»), подавали на монтаж полуавтоматическим захватом, конструкция которого позволяла поднять «паук» в вертикальное положение и прикрепить болтами концы элементов к фасонкам поясов. После установки блока рабочие, находившиеся на подмостях, установленных на поясах башни, выдергивали с помощью пенькового каната штыри захвата и освобождали крюк крана.

При монтаже ствола башни с отм. 40,00 м перед сваркой узлов на каждом ярусе устанавливали специальное распорное устройство для предварительного натяжения раскосов. До включения его в работу производили инструментальную проверку правильности положения верхних узлов поясов монтируемого яруса башни, их выверку, сварку стыков поясов, обварку узлов раскосов и средних распорок, а верхние распорки яруса с одного конца приваривали к фасонкам поясов. Второй конец закрепляли болтами в овальных отверстиях фасонок поясов, затем распорным устройством натягивали раскосы до требуемого усилия и сваривали вторые концы распорок. После этого освобождали распорное устройство, устанавливали и приваривали элементы горизонтальных радиальных связей-тяжей. Монтаж конструкций следующего яруса производили только по окончании работ в расположенном ниже ярусе.

Конструкции антенны на специально возведенных фундаментах на земле укрупняли в блоки, равные диапазонам. Здесь же на временных фундаментах антенны оснащали радиотехническим оборудованием, кабелями освещения. Затем разделяли на монтажные блоки массой, соответствующей грузоподъемности монтажного механизма.

Для монтажа блоков антенн потребовалось восемь перестановок самоподъемного крана. Установку блоков в проектное положение и их временное закрепление производили через специальные фиксаторы, установленные на поясах в заводских условиях. После временного закрепления секции, прикрепления элементов решетки и инструментальной проверки стыки сваривали. В проектировании сварных стыков, разработке технологии сварки, контроле качества сварочных работ и техническом надзоре за их производством принимали участие сотрудники Института электросварки им. Е. О. Патона АН УССР.

Башню смонтировали за 21 месяц (в течение этого времени из-за плохих метеорологических условий были перерывы в работе общей продолжительностью 3,5 месяца). На монтаже было занято в среднем 19 чел., на выполнение монтажных работ затрачено 9165 чел.-дней, среднесменная выработка составила 125,4 кг. В результате применения передовых методов труда, усовершенствованных монтажных приспособлений и оперативной организации производства башня была построена на 2,6 месяца раньше срока и в результате сэкономлено 16,43 тыс. руб. Общий экономический эффект от внедрения прогрессивных материалов (в частности, низколегированной стали марки 15ХСНД, экономичных конструкций — бесфланцевых соединений поясов) и передовой технологии производства работ составил 115,36 тыс. руб.

МОНТАЖ БАШЕН ПЕРЕСТАВНЫМИ ПОРТАЛАМИ

При монтаже башен способом наращивания необходимо стремиться к переносу их нулевые отметки максимального количества операций. Этому способствует внедрение на монтаже переставных механизмов большой грузоподъемности. При монтаже башен призматического очертания это осуществлялось путем замены подрезных кранов ползучими. Однако такие краны — довольно сложные и дорогие устройства, состоящие из большого

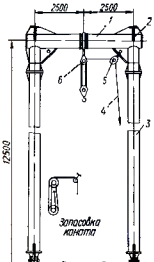


Рис. 46. Переставной портал:

1 — ригель портала; 2 — косынки с проушинами для расчалок; 3 — стойки портала; 4 — грузовой трос; 5 — отводной блок; 6 — блок грузового полиспаста

количества отдельных частей и деталей. В результате сравнения конструктивных особенностей грузоподъемных механизмов были выбраны переставные порталы, которые несмотря на большую грузоподъемность (более 20 т) представляют собой в конструктивном отношении очень простые устройства (рис. 46).

В зависимости от конструкций башни (в том числе массы части башни, которую можно поднять в виде блока) применяют порталы определенной грузоподъемности (6,5—35 т). Наиболее распространены порталы постоянной ширины. Порталы переменной ширины, т. е. с уменьшающейся шириной по мере подъема на верхние отметки башен пирамидального очертания, менее распространены из-за конструктивной сложности и значительных затрат времени и труда на дополнительные операции, связанные с изменением их ширины.

Пирамидальные башни монтируют с использованием порталов, ширина которых выбирается по максимально требуемой. Порталы крепят к конструкциям башен в зависимости от несущей способности элемента башни двумя способами: в большинстве случаев к поясам башни; при небольшой грузоподъемности — к центральному узлу распорки, когда элементы решетки перекрещиваются в таком узле. Порталы проектируют в виде сборно-разборных конструкций с монтажными узлами на болтах повышенной точности. Стойки и ригеля портала наиболее целесообразно выполнять из трубчатых элементов. Высоту портала выбирают исходя из размеров сечения башни и высоты монтируемых блоков от 12,5 до 28 м. Нижний ригель портала в зависимости от способа крепления к конструкциям башни соединяют со стойками шарнирно или жестко. В нужном положении портал удерживают двумя парами вантовых расчалок, один конец которых крепят за верхний ригель, а второй — за якоря через полиспасты на электролебедках, устанавливаемых на земле на расстоянии более 1,5 высоты монтируемой башни.

В зависимости от места крепления опорно-поворотных шарниров к конструкциям башни может быть три варианта крепления переставного портала (рис. 47):

а) крепление на конструкциях башни со стороны подъема монтируемых блоков;

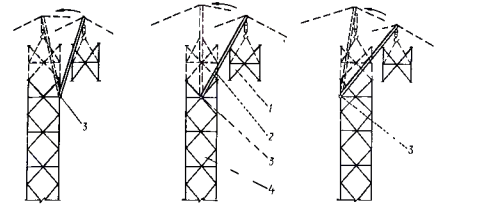


Рис. 47. Схемы крепления портала (*а—в* — варианты):

1 — монтируемый блок, 2 — портал; 3 — опорно-поворотные шарниры; 4 — смонтированная часть башни.

б) крепление в средней части сечения башни;

в) крепление на конструкциях башни с противоположной стороны относительно поднимаемых блоков.

Подъем собранных на земле ярусов башни и установку их в проектное положение производят полиспастами (двумя или одним в зависимости от грузоподъемности). Неподвижные блоки полиспастов крепят к верхнему ригелю портала через специальные обоймы, которые при изменении наклона портала вращаются, сохраняя во всех случаях вертикальное положение грузовых полиспастов. Сбегающие нити грузовых полиспастов проходят с неподвижного блока вдоль стоек через отводные блоки и направляющие ролики на лебедки, установленные на земле.

Последовательность монтажа башен переставными порталами следующая. Удлиняя задние и соответственно укорачивая передние расчалки, портал наклоняют от башни. Укрупненный блок конструкций стропят за крюк подвижных блоков грузовых полиспастов и поднимают на проектную отметку. Затем расчалками поворачивают портал до совпадения узлов укрупненного блока с соответствующими узлами смонтированной части башни и грузовым полиспастом опускают блок. Вид крепления портала определяет порядок его поворота в вертикальной плоскости.

При первом варианте крепления шарниров достигается наименьший наклон портала, следовательно, усилия в расчалках минимально возможные. Это позволяет получить самые малые сечения элементов портала и канатов расчалок, т. е. наиболее легкую оснастку. Однако при наводке монтируемого блока на проектную отметку портал наклоняется в противоположную сторону с переходом через вертикальную плоскость. Это изменяет условия работы расчалок, так как минимально нагруженная

ветвь в момент перехода должна воспринять максимальную нагрузку. При недостаточно скоординированной работе возникает опасность допущения больших динамических воздействий на такелаж и конструкции башни. Эту операцию должны выполнять высококвалифицированные монтажники.

Второй вариант крепления шарниров требует вдвое большего наклона портала, т. е. усилия в элементах оснастки и в передних расчалках также увеличатся, что вызовет утяжеление всей монтажной оснастки. При монтаже башен с таким вариантом крепления шарниров не требуется изменения наклона портала в противоположную сторону. Для удержания портала в вертикальном положении необходимо равновесие усилий в расчалках обоих направлений.

Третий вариант крепления шарниров требует максимального наклона портала, в связи с этим усилия во всей оснастке будут наибольшими по сравнению с рассмотренными выше. Однако портал в данном случае будет наклоняться только в одном направлении и необходима одна пара рабочих расчалок. Этот вариант целесообразно использовать в случаях, когда ширина монтируемой башни невелика.

На практике наибольшее распространение получила оснастка, соответствующая первому варианту, ввиду ее наибольшей легкости и максимального удобства перемещения портала со стоянки на стоянку. Перестановку портала с одной стороны на другую выполняют двумя подъемными полиспастами и электролебедками. Неподвижные блоки подъемных полиспастов накладными башмаками закрепляют за оголовки поясов верхнего смонтированного яруса башни, а подвижные — за нижний ригель портала, на котором имеются проушины. Помимо назначения удерживать подъемный полиспаст, накладные башмаки выполняют роль направляющих при перемещении портала. Направляющие полурамки башмаков охватывают стойки портала и при перемещении его обеспечивают устойчивость, а также фиксируют направление перемещения.

Перед перестановкой портала на новую стоянку распускают грузовые полиспасты и заторможивают грузовые электролебедки. Полиспасты расчалок уравнивают таким образом, чтобы усилия в них были в пределах 3 тс. Подъем портала производят равномерно двумя электролебедками, избегая перекосов. При проходе нижнего ригеля мимо опорных столиков портал отклоняют расчалками, а после прохода выравнивают и заводят в гнезда опорно-поворотных шарниров. В случае, когда нижний ригель соединяют жестко с узлом решетки, подъем портала осуществляют без отклонения. Перестановку порталов разрешается выполнять при ветре, не превышающем 4 баллов, под непосредственным наблюдением опытного линейного инженерно-технического работника ($\frac{\text{ВСН 61-75}}{\text{ММСС СССР}}$).

Представляет интерес монтаж башни пирамидального очертания с помощью переставного портала грузоподъемностью 36 т, установленного на конструкциях по первому варианту крепления (рис. 48). Башня четырехгранная высотой 115,85 м и шириной основания 24 м. Первые три яруса монтировали блоками с применением гусеничного крана СКГ-100 грузоподъемностью 25 т, со стрелой длиной 35, гуськом — 29 м. С отм. 55,80 м монтаж осуществляли трубчатым переставным порталом размерами 17,5×28 м грузоподъемностью 35 т. Установку портала в рабочее положение и его закрепление на опорных столиках производили тем же гусеничным краном. После натижения растяжек был выполнен полный комплекс испытаний и опробование в работе.

Башня выше отм. 55,80 м была расчленена на шесть монтажных блоков массой 15—35 т. Укрупнение конструкций в блоки осуществляли в зоне работы портала. Перед подъемом блока портал устанавливали на требуемый вылет (около 6 м), производили строповку блока, грузовые полиспасты натягивали усиляем, близким к отрывному. Под этим воздействием вылет портала увеличивали и для возвращения его в исходное положение подтягивали полиспасты задней пары оттяжек. При этом блок башни отрывали от земли и дальнейший его подъем производили грузовыми полиспастами.

При подъеме блоки оттягивали во избежание касаний за ранее смонтированные конструкции башни. Регулируя полиспастом длину грузовой оттяжки, следили за тем, чтобы поднимаемый блок находился на расстоянии 0,5—1 м от конструкций башни. При этом строго соблюдали равномерность работы грузовых полиспастов, не допуская перекоса блока во время подъема. При возникновении перекосов один из грузовых полиспастов выключали, а вторым устраняли перекос. После подъема груза на проектную отметку пор-

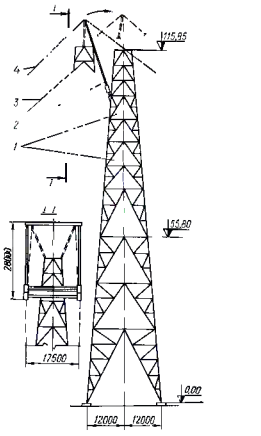


Рис 48. Монтаж башни переставным порталом:
1 — смонтированная часть башни; *2* — переставной портал; *3* — монтируемый блок; *4* — оттяжки

тал поворачивали и наводили блок для установки в проектное положение. Поворот портала выполняли синхронной работой расчалок.

Укрупнение конструкций в блоки, подъем и закрепление последних на проектных отметках в промежутке между отм. 55,80 и 115,85 м производится месяц. Высокие темпы монтажа конструкций достигаются благодаря большой готовности монтируемых блоков и высокой квалификации монтажников.

МОНТАЖ БАШЕН С ПОМОЩЬЮ СТРЕЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ САМОХОДНЫХ КРАНОВ

Монтаж башен способом наращивания осуществляют с применением механизмов целевого назначения. Эти механизмы (переставные краны, подвесные краны, переставные порталы и др.) применимы только по прямому назначению, т. е. для монтажа башен. Отсутствие таких объектов в плане работ организации вызывает простой техники, приводит к неиспользованию основных фондов и снижению фондоотдачи в целом по монтажной организации. В условиях новой системы планирования и экономического стимулирования это отрицательно сказывается на экономических показателях хозяйственной дентельности организации и поэтому не только не способствует созданию условий для консервации неиспользуемой уникальной техники, а, наоборот, вызывает необходимость быстрейшей ее реализации другим организациям. С другой стороны, появление в плане работ объектов типа башен требует наличия в монтажных организациях соответствующей монтажной техники специального узкого назначения. Это обстоятельство было учтено. В последние годы применяют способ монтажа башен с использованием стандартного многоцелевого кранового оборудования. Инженерно-технические работники проектно-конструкторского бюро Республиканского объединения Укрстальконструкция, трестов Криворожстальконструкция и Днепростальконструкция разработали способ, предусматривающий монтаж верхних частей башен серийным башенно-стреловым оборудованием (БСО) гусеничных кранов СКГ-40 и СКГ-63 (рис. 49).

Последовательность монтажа следующая. Нижнюю часть башни до отм. 50,00—60,00 м монтируют крупными пространственными блоками массой до 25 т гусеничными кранами СКГ-63 или СКГ-100. Ниже верхней отметки на высоту яруса (т. е. на 8—10 м) смонтированной части башни к ее конструкциям закрепляют опорную балку, на которую теми же гусеничными кранами устанавливают БСО кранов СКГ-40 или СКГ-63. В рабочее положение БСО выводится стреловым полиспастом, который закрепляют за верхние узлы смонтированной части башни. БСО монтируют верхнюю часть башни до отм. 90,00—110,00 м без перестановки. Таким способом смонтированы башни для труб газоотводящих стволов доменной печи № 9 на Криворожском металлургическом заводе, Запорожском титано-магниевом комбинате и др.

Технология монтажа башни высотой 80 м на Запорожском титано-магниевом комбинате раскрывает возможности этого способа. Нижнюю часть башни до отм. 63,00 м монтировали гусеничным краном СКГ-63А со стрелой 35,5 м и гуськом 24 м. Верхнюю часть смонтировали БСО крана СКГ-40 со стрелой длиной 25 м и гуськом 15,8 м. Полиспаст подъема БСО в проектное положение крепили к самой башне

Башенно-стреловое оборудование: стрела, гусек и запасованные полиспасты предварительно были собраны вместе с опорной балкой в один монтажный блок массой 10 т. Затем БСО подняли краном СКГ-63А, опорную балку закрепили к заранее установленным кронштейнам на отм. 47,00 м, а полиспаст подъема БСО в рабочее положение — к смонтированной части башни на отм. 53,00 м. После полного закрепления БСО натянули подъемный полиспаст и, ослабив грузовой полиспаст крана СКГ-63А, расстропили от крюка крана и подняли БСО в рабочее положение. При монтаже верхней части башни между отм. 63,00—80,00 м выполнили восемь подъемов блоков общей массой 31,4 т. Максимальная масса пространственного блока 10,2 т. Таким образом, трудоемкость и продолжительность монтажа этим способом значительно меньше за счет монтажа пространственными блоками и применения серийного башенно-стрелового оборудования кранов СКГ-40 или СКГ-63, имеющихся во всех монтажных управлениях. Применение для монтажа нижней части башни гусеничных кранов СКГ-100 и СКГ-63А и установка верхней части башни башенно-стреловым оборудованием кранов СКГ-40 или СКГ-63 позволяют осуществлять монтаж башен-труб высотой до 110 м.

Благодаря преимуществам этого способа, заключающимся в применении такелажа и механизма многоцелевого назначения,

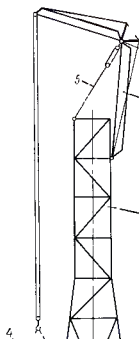


Рис. 49. Монтаж верхней части башни закрепленным башенно-стреловым оборудованием гусеничного крана:

1 — задняя расчалка БСО; *2* — башенно-стреловое оборудование; *3* — смонтированная часть башни; *4* — монтируемый блок башни; *5* — передняя расчалка

он получил дальнейшее совершенствование и развитие. В тресте Харьковстальконструкция способ монтажа башен с применением стрелового оборудования кранов был усовершенствован до уровня изобретения *. Был расширен диапазон применения башенно-стрелового оборудования кранов и создана возможность возведения с его помощью башен высотой более 110 м. Впервые этот способ опробован специалистами треста Харьковстальконструкция на монтаже башен радиорелейной линии. Эти башни четырехгранного пирамидального очертания имели высоту до 90 м.

Монтаж башен с применением БСО производят в два этапа:

на первом мобильными гусеничными кранами монтируют первые 2—4 яруса башни и устанавливают на них БСО гусеничного крана;

на втором — БСО монтируют наращиванием конструкций вышерасположенных ярусов башни и по мере необходимости производят перестановку монтажного оборудования на верхние отметки. В качестве монтажного устройства используют башенно-стреловое оборудование крана МКГ-25БР: основную стрелу длиной 12,5 м и маневровый гусек длиной 20 м (рис. 50). Грузоподъемность устройства 3 т. При этом маневровый гусек частично усиливают и закрепляют шарнирное устройство на его средней секции.

Крепление корня стрелы монтажного устройства выполняют в столиках, заранее устанавливаемых на распорках ярусов башни. Конструкция столиков включает щеки с отверстиями для осей, которыми закрепляют корень стрелы с сохранением способности ее вращения в вертикальной плоскости. В рабочем положении стрелу удерживают передней и задней расчалками. Переднюю расчалку из каната диаметром 22,5 мм закрепляют к узлам стрелы кольцевым четырехниточным стропом через уравнительный однорольный десятитонный блок. Свободные концы расчалки соединяют с узлами смонтированного яруса башни на тех же отметках, где устанавливают стрелу. Натяжение этой расчалки осуществляют обычно ручной талью, которую врезают в одну из нитей расчалки. Для задней расчалки используют вожжи стрелы крана МКГ-25БС, которые крепят к ее оголовку, и канат диаметром 22,5 мм через однорольный блок соединяют с вожжами. Один свободный конец каната крепят на ручной лебедке, а другой — к якорю. В зафиксированном расчалками положении стрела находится в течение всего рабочего цикла монтажа конструкций с одной стоянки крана. Маневровый гусек удерживают в заданном положении оттяжкой и оттяжкой-полиспастом.

Грузовой двухниточный полиспаст позволяет поднимать на заданную отметку как отдельные элементы, так и укрупненные

* Авторское свидетельство № 507513. — Бюллетень изобретений, 1976, № 11.

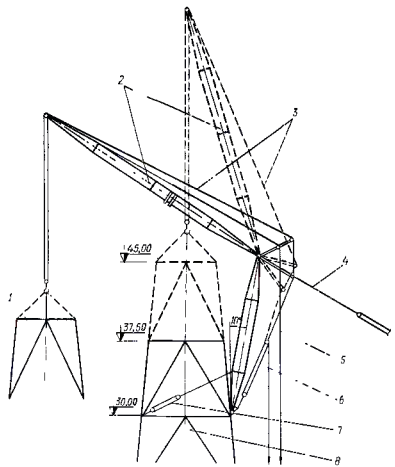


Рис 50. Монтажное устройство с использованием БСО крана МКГ-25БР:

1 — монтируемый ярус; *2* — маневровый гусек БСО; *3* — оттяжка маневрового гуська; *4* — задняя расчалка стрелы; *5* — нить грузового полиспаста, *6* — оттяжка-полиспаст маневрового гуська; *7* — передняя расчалка стрелы, *8* — башня

в блоки конструкции башни массой до 3 т. Поворотом гуська в вертикальной плоскости монтируемые элементы башни совмещают с осями уже смонтированной части сооружения и грузовым полиспастом плавно опускают на проектные отметки. После этого с подмостей и люлек осуществляют выверку и проектное закрепление конструкций яруса башни. Окончив монтажные работы, выверку конструкций и проектное оформление узлов, грузоподъемное устройство переставляют на следующую стоянку (рис.

51). В первую очередь гусек устройства опускают до момента его касания в расчетной точке к распорке смонтированного верхнего яруса башни. В этом месте гусек с распоркой соединяют шарниром, позволяющим вращать его в вертикальной плоскости. Для последующих операций используют специальный двухниточный тяговый полиспаст. Глухую нить этого полиспаста закрепляют за конструкции башмака башни, а подвижный однорольный блок навешивают на крюк грузового полиспаста подъемного устройства. Грузовым полиспастом подъемного устройства растягивают тяговый полиспаст до тех пор, пока его подвижной блок достигнет отм. 18,00—20,00 м (см. рис. 51).

Дальнейший подъем прекращают, а сбегающую нить грузового полиспаста защемляют на конструкциях гуська. Электролебедки грузового полиспаста и оттяжки-полиспаста растормаживают. Тяговым полиспастом выбирают слабину грузового полиспаста, освобождая от конструкций башни переднюю расчалку стрелы, растормаживают ручную лебедку задней расчалки и освобождают корень стрелы на опоре от шарнира. Путем сокращения тягового полиспаста осуществляют поворот гуська вокруг временного шарнира и подъем стрелы на следующую стоянку.

Установку грузоподъемного устройства в рабочее положение выполняют в такой последовательности: закрепляют стрелу в шарнире на распорке; устанавливают переднюю расчалку с натянутой ручной талью; освобождают гусек от временного шарнира; снимают сжимы со сбегающей нити грузового полиспаста; освобождают ее от конструкций гуська и натягивают электролебедкой; осуществляют натяжение оттяжки-полиспаста и подъем гуська; включают в работу переднюю оттяжку стрелы с одновременным натяжением задней расчалки; снимают тяговый полиспаст.

Порядок демонтажа грузоподъемного устройства следующий (рис. 52) К верхним узлам последнего яруса башни закрепляли опускной полиспаст. Конец каната этого полиспаста диаметром 22,5 мм глухо закрепляли к одному узлу верхнего яруса сжимами, ко второму узлу закрепляли неподвижный 10-тонный однорольный блок полиспвста. Подвижный 10-тонный однорольный блок крепили к конструкциям временного шарнира маневрового гуська. Для этого маневровый гусек поворачивали в направлении смонтированного яруса до тех пор, пока между ними не оставался зазор 100- 150 мм. В таком положении выполняли все операции по закреплению опускного полиспаста. Затем опускной полиспаст слегка натягивали, выбирая всю слабину каната, и за низ стрелы закрепляли оттяжку, второй конец которой шел на ручную лебедку. В таком положении снимали переднюю расчалку и отсоединяли корень стрелы от опорного шарнира. Медленно и осторожно опуская устройство на подвеске с винтовыми стяжками, выводили гусек и стрелу в положение, близкое к вертикальному. Далее опускным полиспастом устройство поднима-

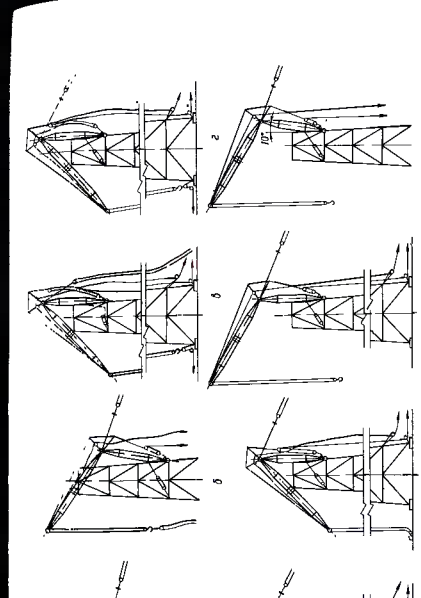


Рис. 51. Перестановка монтажного устройства на очередную стоянку

а — снятие распорки и временного ригеля с передней грани последнего яруса башни; *б* — поворот гуська и его оттяжка за временный шарнир; *в* — поворот гуська в шарнире дополнительным тяговым полиспастом после освобождения от временного шарнира; *г* — последовательное включение в работу передней оттяжки и задней расчалки; *д* — установка монтажного устройства в рабочее положение.

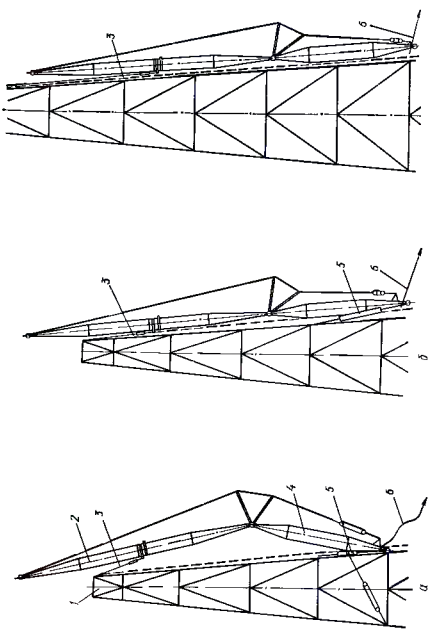


Рис. 52. Демонтаж грузоподъемного устройства:
а — в — этапы демонтажа грузового устройства; 1 — полиспаст; 2 — стяжка; 3 — опускной полиспаст; 4 — стрела; 5 — винтовые стяжки; 6 — башня; 7 — стояка; 8 — гусек

ли на 200—300 мм и освобождали стрелу от стропов подвески с винтовой стяжкой. Последующие операции, хотя и не представляли сложности, требовали большого внимания при выполнении. Опускным полиспастом монтажное устройство медленно опускали и одновременно оттяжкой отводили низ стрелы от конструкций башни до тех пор, пока стрела не легла на землю.

Для выполнения монтажных работ при сооружении башен описанным способом используется грузоподъемное оборудование и такелаж многоцелевого назначения. Его можно укомплектовать силами строительно-монтажного управления. Проверка этого способа на практике подтвердила его надежность и высокую технико-экономическую эффективность.

Монтаж башни РРЛ вблизи Харькова осуществляла бригада из 6 человек, которая выполняла работы в одну смену. Возводимая башня имела 13 ярусов, каждый из которых монтировали в течение смены. Для осуществления монтажа башни было предусмотрено три стоянки монтажного устройства. На перемещение со стоянки на стоянку затрачивали около одной смены. Демонтировали грузоподъемное устройство за одну смену. С учетом подготовительных работ монтаж башни высотой 90 м осуществили за один месяц, т. е. в два-три раза быстрее, чем другими переставными механизмами.

МОНТАЖ БАШЕН БАШЕННЫМИ КРАНАМИ

Увеличение объемов работ, связанных с монтажом башен различного назначения и их своевременным возведением, с одной стороны, отсутствие во многих случаях такелажа и механизмов специального назначения и стремление приспособить механизмы и такелаж многоцелевого назначения для монтажа башен, с другой стороны, привели к необходимости поиска новых, прогрессивных способов монтажа. Коллектив проектно-конструкторского бюро республиканского объединения Укрсельконструкция под руководством инженера Гуревича Э. И. разработал способ монтажа башенных сооружений для металлургической, химической и других отраслей промышленности с применением башенных кранов. Монтажные организации трестов Днепростальконструкция, Центростальконструкция и другие внедрили этот способ на монтаже многих объектов. Эффективность данного способа очевидна, когда в пределах сооружаемого комплекса имеется башенный кран, грузовысотные характеристики которого обеспечивают монтаж конструкций крупными пространственными блоками. В этом случае затраты на перевозку крана и другого монтажного оборудования сводятся к минимуму.

Практика показала, что этот способ наиболее целесообразен в тех случаях, когда есть возможность перебазировать кран на монтируемый объект без демонтажа, перегоняя его по временным путям.

Известны два варианта монтажа башен: с прислонными башенными кранами и башенными кранами в проектном исполнении. В связи с тем, что наибольшее распространение получил монтаж башен с прислонными кранами, последние должны иметь неподвижный ствол и поворотный оголовок.

МОНТАЖ БАШЕН ПРИСЛОННЫМИ БАШЕННЫМИ КРАНАМИ

Данный способ дает возможность осуществлять сооружение объектов крупными пространственными блоками, подаваемыми на проектные отметки. Характерной особенностью описываемого способа является возможность монтажа башен в условиях стесненных строительных площадок, плотной застройки, действующих предприятий и др. Небольшие площади для укрупнительной сборки металлоконструкций и их хранения, незначительные объемы подготовительных работ для организации монтажной площадки, возможность монтажа крупными блоками (в связи с использованием кранов большой грузоподъемности) определяют применение в конкретных условиях данного способа. Однако широкого распространения на монтаже башен этот способ не получил ввиду того, что затраты на монтаж и демонтаж тяжелого крана, масса которого может составлять 55—60% массы возводимого объекта, значительно превышают сметные, и башенные краны большой грузоподъемности не всегда имеются в монтажных организациях. Поэтому применять этот способ рекомендуется только в случаях необходимости сокращения сроков монтажа башни, когда башенное сооружение имеет значительную массу (например многоствольные башни-трубы) и когда затраты на перебазировку и монтаж тяжелого крана могут быть оправданы, т. е. применение этого способа требует тщательного технико-экономического обоснования.

Монтаж башен высотой 120—150 м на практике в основном осуществляют с использованием крана БК-300П (рис. 53, 54). В технологии монтажа башен прислонным башенным краном можно выделить два этапа:

I — до отм. 65,00—67,00 м конструкции монтируют башенным краном в обычном исполнении;

II — на более высоких отметках монтаж выполняют башенным краном, ствол которого соединяют монтажными диафрагмами со смонтированной частью башни.

Для переоборудования башенного крана в прислонный необходимо выполнять реконструкцию и следующие работы:

повысить грузоподъемность подъемных полиспастов выдвижения крана, увеличив их кратность с 16 до 32 рабочих нитей;

усилить балки портала с тем, чтобы они могли воспринять повышенные нагрузки при выдвижении ствола крана с увеличенным числом секций (8 дополнительных секций при монтаже 120-метровых и 12 — 150-метровых башен);

устроить на нулевой отметке опорный узел для шарнирного опирания ствола крана.

При монтаже башни выше отм. 65,00—67,00 м осуществляют выдвижение ствола башенного крана с одновременным его подрашиванием дополнительными секциями. Выдвижение производят с помощью двух дополнительных электролебедок грузоподъемностью 5 т каждая, устанавливаемых на домкратных балках портала. Устойчивость удлиненного ствола башенного крана по сравнению с проектными обеспечивают за счет его соединения со смонтированной частью башни монтажными диафрагмами. При высоте башни до 120 м таких диафрагм две, до 150 м — три. Диафрагмы устанавливают на отм. 45,00—50,00; 70,00—77,00; 98,00—105,00 м. В местах установки диафрагм в связи с воздействиями монтажных нагрузок требуется незначительное

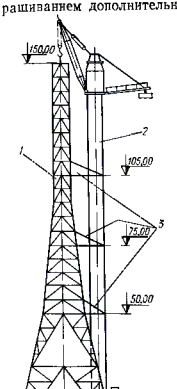


Рис. 53. Монтаж башни прислонным башенным краном:
1 — башня; *2* — кран прислонный; *3* — диафрагмы.

Рис. 54. Смонтированная часть башни-трубы прислонным краном БК-300П.

усиление конструкций ствола башни. В местах закрепления диафрагм к стволу выполняют усиление элементов в поперечном сечении ствола, а между второй и третьей диафрагмами — усиление отдельных стержней решетки. Объем усиления составляет около 0,5% общей массы сооружения, т. е. немного больше 2 т.

Перенос большинства рабочих операций на низкие отметки позволил достигнуть высокой производительности труда при максимально возможных безопасных условиях труда. Это подтвердилось на строительстве башен Ровенского ПО «Азот».

Башня высотой 150 м в основании имела сечение 20×20 м, а на верхней отметке — 4×4 м. По высоте она расчленена на 15 монтажных пространственных блоков массой от 8 до 35 т, в том числе выше отм. 67,00 м — 6 пространственных блоков массой от 8 до 17 т. Лестницы, переходные площадки и другие вспомогательные конструкции укрупняли с основными несущими конструкциями на земле. Укрупненными блоками монтировали около 80% всех металлоконструкций. Однако 42 элемента было смонтировано россыпью. Блоки укрупняли с помощью гусеничных кранов МКГ-25 и БК-300П. «Ноги» базы башни были укрупнены в четыре пространственных блока массой до 18,5 т каждый. Блоки монтировали краном БК-300 и после установки на фундаменты временно раскрепляли тремя расчалками. После установки четвертого блока их объединили в пространственную систему, тщательно выверили и узлы оформили согласно проекту. Монтаж вышележащих блоков выполняли после выверки и полного проектного оформления ранее смонтированного блока.

При монтаже башни-трубы высотой 150 м на Ровенском химкомбинате (масса металлоконструкций каркаса 275 т) выработка на одного рабочего была достигнута 265 кг металлоконструкций в смену (посменная производительность по нормам 102 кг в чел.-смену) без учета подготовительных работ, связанных с вводом в работу башенного крана. Затраты труда распределялись следующим образом: укрупнительная сборка металлоконструкций — 680; монтаж металлоконструкций каркаса башни — 360; монтаж и демонтаж крана БК-300П и диафрагмы — 630 чел.-смен; всего 1670 чел.-смен.

Трудозатраты на подготовку к работе и демонтаж крана составили 40% общих трудозатрат. Однако несмотря на такое соотношение трудозатрат, укрупнение металлоконструкций в пространственные блоки и монтаж башни блоками в конечном итоге дает сокращение сроков монтажа и экономию трудозатрат. При монтаже башни трубы высотой 150 м на Днепродзержинском ПО «Азот» монтаж 318 т металлоконструкций был закончен за 2,5 месяца (при нормативных сроках монтажа самоподъемным краном 5,5 месяца).

Экономический эффект при применении прислонных кранов на монтаже башен высотой 120—150 м по сравнению с подвесными кранами составляет 7,5 тыс. руб. на каждом объекте.

МОНТАЖ БАШЕН СВОБОДНО СТОЯЩИМИ БАШЕННЫМИ КРАНАМИ

Демонтаж, перевозка и монтаж башенного крана, особенно тяжелого, сопряжены с выполнением трудоемких и дорогостоящих работ. Затраты на их выполнение окупаются при возведении объектов с большими объемами работ. Для монтажа башен небольшой высоты (до 75 м), т. е. таких, которые можно возвести тяжелыми башенными кранами, требуется выполнять ограниченные объемы работ. Однако возможность монтировать эти сооружения крупными блоками, используя грузоподъемность и высоту подъема крюка башенного крана, способствовала разработке таких решений, при которых было бы выгодно выполнять работы башенными кранами.

Технико-экономический анализ подтверждает, что монтаж башен свободно стоящими башенными кранами весьма целесообразен в тех случаях, когда возможна перебазировка крана без демонтажа. Такие условия создаются при возведении различных башенных сооружений, входящих в состав крупных промышленных комплексов.

Известны случаи, когда в пределах строительной площадки осуществляют перебазирование башенных кранов с объекта на объект без демонтажа по временным подкрановым путям. Эти вопросы детально прорабатывают в проектах производства работ и осуществляют под руководством опытных инженерно-технических работников. Такие обстоятельства создались при монтаже башни на Ровенской ПО «Азот». Конструктивно эта башня представляет собой четырехгранную усеченную пирамиду до 29,00 м с основанием 14×14 м, а выше — четырехгранную призму сечением 5×5 м. Общая высота башни 76 м. Конструкции башни запроектированы и изготовлены из уголковых профилей. Горизонтальными диафрагмами служат площадки, соединяемые лестницами. Общая масса конструкций башни 101 т.

Выбор способа монтажа с использованием башенного крана определили условия, сложившиеся на строительной площадке. В непосредственной близости от места возведения башни производили монтаж каркаса производственного корпуса башенным краном БК-300. Между корпусом и башней была свободная от застройки территория. Это обстоятельство учли при выборе способа монтажа башни. В результате технико-экономического анализа различных вариантов было принято решение использовать для монтажа башни кран БК-300. Для этого по временному подкрановому пути его перебазировали без демонтажа, развернув один раз тележки на угол 90°. Кроме того, ствол крана дополнили одной секцией, что дало возможность смонтировать конструкции башни до верхней проектной отметки. При этом грузоподъемность крана уменьшилась с 25 до 18 т. Для укрупнительной сборки использовали мобильный автомобильный кран МК-10М. Укрупнение конструкций в пространственные блоки выполня-

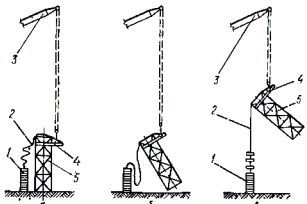


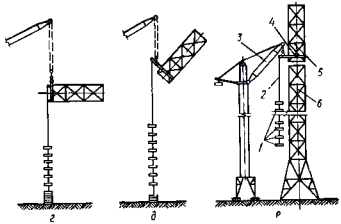
Рис. 55. Монтаж верхних блоков

а — е — этапы подъема блока; *1* — дополнительная гирлянда грузов; *2* — гибкая тяга; *3* — часть башни.

ли на площадке вблизи башни в пределах радиуса действия стрелы башенного крана. Такое решение позволило, во-первых, исключить дополнительные работы, связанные с подачей пространственных блоков в зону действия башенного крана, во-вторых, в случае необходимости подключать в работу башенный кран. Укрупнение конструкций в пространственные блоки существенно расширило фронт работ, дало возможность свести до минимума верхолазные работы и в конечном счете добиться сокращения сроков монтажа башни.

В проекте производства работ было предусмотрено разделить конструкции башни на 13 пространственных блоков, в том числе базу башни — на 8 и призматический ствол — на 5 блоков. Монтаж начали с установки четырех нижних блоков базы башни массой по 7,5 т каждый. До подъема блока в проектное положение его оснащали монтажными лестницами и на верхних элементах (распорках) устраивали настил из досок. После наводки башмаков на фундаменты первый блок расчаливали тремя расчалками из троса диаметром 19 мм длиной 15 м, которые закрепляли к якорям на усилие 5 и 3т. Аналогично устанавливали три последующих блока. При этом второй и третий блоки удерживали двумя расчалками, а четвертый — без расчалок. После окончательной установки всех блоков, выверки их и проектного оформления всех узлов расчалки снимали.

Монтаж четырех блоков верхнего яруса базы башни (массой 7 т каждый) между отм. 12,40 и 28,40 м производили аналогично монтажу блоков нижнего яруса. Закрепление блоков в узлах, их проектное оформление выполняли с настилов, навесных подмостей и люлек. После окончательного закрепления и проектного оформления узлов производили монтаж части проектных



башен с понижением их центра тяжести:

а — стрела крана; *4* — монтажная траверса, *5* — монтируемый блок, *6* — смонтирован

лестниц и площадок, которые укрупнять с блоком было нецелесообразно. Все правила монтажа конструкций башен, описанные выше, соблюдали и в данном случае.

Укрупнение конструкций в блоки призматической части башни выполняли на той же площадке краном МК-10М. Строповку выполняли четырехветвевыми стропами за верхние узлы блока и башенным краном БК-300В со стрелой 28 м поднимали на проектную отметку. Блок наводили на узлы ранее смонтированной части башни, выверяли и производили проектное закрепление.

Опыт показал, что при монтаже башен свободно стоящими башенными кранами можно достичь высоких технико-экономических показателей. В частности, каркас башни высотой 76 м на Ровенском ПО «Азот» был смонтирован за 28 рабочих дней, на что затрачено 336 чел.-дней при норме 688, выполнение норм выработки составило 206%. Производительность труда в натуральных показателях составила 301 кг смонтированных металлоконструкций в смену на 1 чел., т. е. более чем в два раза выше нормативной. Преимуществом этого способа является также использование для монтажа башен обычного монтажного такелажа и оборудования многоцелевого назначения.

Возможность подъема блоков на высокие отметки у башенных кранов ограничена, поэтому верхние части башни смонтировать без дополнительных устройств и приспособлений нельзя. Одним из простейших устройств является подвешенная на тросах гирлянда грузов (рис.55). По мере подъема блока вводятся в работу отдельные грузы гирлянды, что вызывает смещение центра тяжести всей системы. Затем центр тяжести понижают настолько, чтобы установить на проектной отметке блок, застропленный за нижнее сечение. Расчет такой системы прост.

МОНТАЖ БАШЕН ПОВОРОТОМ ВОКРУГ ШАРНИРОВ С ПОМОЩЬЮ СПЕЦИАЛЬНОЙ ОСНАСТКИ

Безопасность выполнения основного объема работ при сооружении башен на низких отметках привела к подробным техническим разработкам способа монтажа этих объектов поворотом вокруг шарниров с использованием специальной оснастки. Предварительно собранную на земле башню такой оснасткой поднимают в рабочее положение за несколько часов. Как правило, на земле башню оснащают всем или почти всем технологическим оборудованием, кабельными разводками и сигнальным освещением. После ее подъема в проектное положение соединение всех разводок занимает непродолжительное время, и ввод в действие осуществляется практически с момента подъема башни.

Применяемую специальную оснастку по назначению можно разделить на две группы такелажа: многоцелевого — лебедки, блоки, канаты и специального — порталы, строповочные узлы, шарниры. Если первую группу такелажа в промежутках между подъемами башен монтажные организации используют постоянно, то вторую они могут использовать только по прямому назначению и, как правило, периодически.

Для повышения эффективности описываемого способа необходимо координировать работу низовых монтажных подразделений. Это позволит более полно использовать возможности монтажной организации путем ее специализации, либо своевременно освободить ее от монтажной оснастки, передавая ее для использования другим подразделениям.

Опыт показал, что такую оснастку легко и просто можно перевозить с объекта на объект на значительное расстояние обычными транспортными средствами. При монтаже группы объектов предоставляется возможность широким фронтом развернуть работы с момента получения конструкций и сооружения фундаментов одновременно на нескольких объектах. Последовательно перевозя комплект оснастки с объекта на объект, в течение нескольких смен каждую предварительно укрупненную на земле башню можно вводить в строй.

При проектировании башен следует выбирать решения, дающие возможность использовать отдельные части башни в качестве монтажной оснастки. Примером может служить проект башни, разработанный ГПИ Укрпроектстальконструкция (рис. 56). Проектом было предусмотрено разделение базы башни на два блока, один из них — для использования в качестве неподвижной опоры для монтажа способом поворота остальной части башни. Такое решение упрощает и удешевляет монтажную оснастку.

Подъем башен поворотом вокруг шарниров наряду со значительным упрощением процесса сборки конструкций требует тщательной инженерной подготовки в каждом конкретном случае:

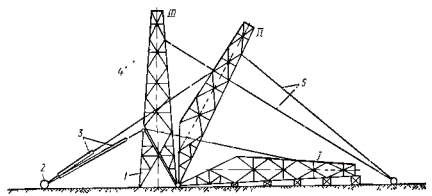


Рис. 56. Монтаж башни способом поворота:
I—III — положение башни соответственно горизонтальное, промежуточное и проектное; *1* — блок башни, выполняющий роль неподвижной мачты на период монтажа; *2* — лебедка; *3* — полиспаст; *4* — поднимаемая часть башни; *5* — тормозная расталка.

во-первых, необходимо рассчитать конструкции башни на монтажное состояние, установить наиболее невыгодный момент для работы конструкций и на основании полученных данных дать рекомендации для усиления конструкций;

во-вторых, определить оптимальные характеристики монтажных устройств;

в-третьих, найти наиболее удачное расположение монтажных устройств относительно поднимаемой конструкции.

Шарнирные устройства. Из всех монтажных приспособлений поворотные шарниры являются обязательным элементом при монтаже башен методом поворота. Шарнирными устройствами, как правило, оснащают не только поднимаемую конструкцию, но и основные монтажные приспособления. Шарниры состоят из верхней подвижной и нижней неподвижной частей, а также вала. Нижняя неподвижная часть имеет опорную плиту, заанкеренную в фундаменте к установленной закладной части, и опорные продольные и поперечные листовые ребра («щеки»). Верхняя подвижная часть состоит из листовых ребер. В поперечных листовых ребрах высверливают отверстия, в которые вставляют поворотный вал шарнира. При необходимости основные части шарнирного устройства усиливают.

По конструктивным особенностям поворотные шарниры для подъема башен можно условно свести к двум принципиальным схемам (рис. 57) При первой схеме ось вала поворотного шарнира находится за пределами опорного башмака и параллельна его оси. Вследствие такого расположения шарнира в процессе подъема конструкции в «ногах» базы башни (до первого узла) возникает изгибающий момент, который является дополнительным монтажным воздействием. Для этого необходимо вы-

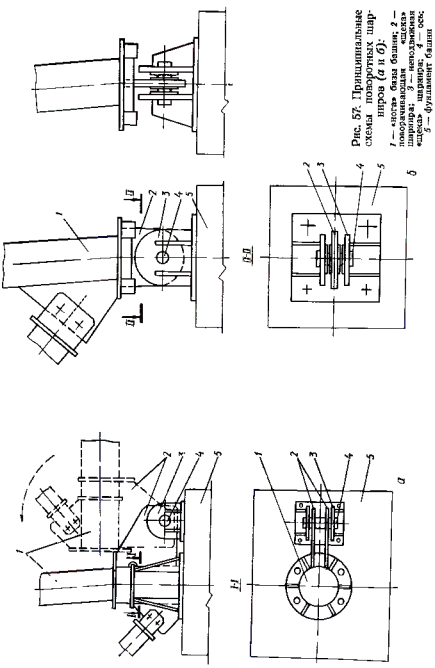


Рис. 52. Принципиальные схемы поворотных шарниров (*а* и *б*):
1 — ось шарнира; 2 — ось башмака; 3 — ось фундамента; 4 — ось башни; 5 — шарнир башмака; 6 — шарнир башни

полнять усиление конструкций «ног» базы башни. В некоторых случаях возникает необходимость расширения фундаментов для размещения опорной плиты нижней неподвижной части шарнира. Тем не менее при такой схеме значительно упрощаются все операции, которые связаны с установкой башни на опоры и снятием шарниров. Кроме того, в случае необходимости демонтажа такой башни всегда есть возможность установить шарнир.

При второй схеме ось явла поворотного шарнира совпадает с осью «башмака» опоры. Такая схема установки шарнира обеспечивает в конструкциях «ног» базы башни в течение всего поворота действие только нормальных сил от монтажных нагрузок. Конструкции базы башни в период ее подъема подвергаются монтажным усилиям, которые не превышают эксплуатационных нагрузок. Поэтому они не нуждаются в дополнительном усилении. Однако при посадке башен на фундаменты необходимо выполнение ряда дополнительных операций, требующих четкости и высокой квалификации монтажников. Снятие шарниров после установки башни на фундаменты также сопряжено с выполнением сложных операций, за исключением случаев, когда шарниры включены в состав проектной конструкции опорных башмаков «ног» башни. Выбор схемы шарнирного устройства следует производить после сравнения технико-экономических расчетов в каждом конкретном случае.

МОНТАЖ БАШЕН «ПАДАЮЩИМИ» СТРЕЛАМИ

Этот способ применялся на монтаже высотных сооружений еще в 50-х годах. Наиболее часто он применяется при монтаже башен относительно небольшой высоты — 50—50 м и реже — до 90—95 м. Распространению этого способа способствовали его преимущества:

простая кинематическая схема подъема;

возможность свести до минимума верхолазные работы и создать все условия для контроля за качественным выполнением работ;

выигрыш в силе в результате использования эффекта рычага первого рода может достигать двухкратной величины (на практике в пределах 1,4—1,7);

падение нагрузок в такелажной системе по мере подъема конструкций, что дает возможность в начальный момент работы испытать такелаж на максимальные нагрузки;

относительно небольшая масса «падающей» стрелы.

Однако этот способ не нашел широкого применения из-за многих недостатков. При его применении требуется большая свободная территория для укрупнения башни, опускания стрелы, расположения расчалок стрелы, боковых расчалок поднимаемой конструкции и тормозного устройства. Сложным и громоздким во многих случаях является узел опирания «падающей» стрелы.

который должен обеспечить ее поворот и воспринять значительные горизонтальные усилия. Монтажный такелаж также является достаточно сложным, так как в большинстве случаев включает несколько систем полиспастов и якоря на большие усилия. Однако при соответствующих условиях с учетом технико-экономических обоснований этот способ монтажа башен находит применение на практике с достаточно высокой эффективностью.

Имеются три схемы этого способа в зависимости от расположения в плане опорного узла «падающей» стрелы:

узел располагают впереди поворотного шарнира поднимаемой конструкции, и их оси параллельны;

ось узла совпадает с осью поворотных шарниров;

узел располагают сзади поворотного шарнира.

Выбор той или иной схемы в каждом конкретном случае зависит от наличия такелажных средств и технических характеристик поднимаемой башни. Учитывая, что в процессе подъема конструкции в поворотных шарнирах башни и «падающей» стрелы возникают значительные сдвигающие горизонтальные усилия, фундаменты, закладные детали, анкерные устройства необходимо рассчитать с учетом этих воздействий. Выполнение указанных элементов тщательно контролируют и затем оформляют специальные акты на скрытые работы.

При сборке конструкций на земле необходимо увеличить количество рабочих мест, т. е. раскрыть дополнительный фронт работ, способствующий сокращению продолжительности монтажа. Это часто имеет первостепенное значение. Например, при монтаже переходной металлической опоры через Днепр высотой 90 м и массой 120 т вблизи г. Киева необходимо было выполнить все работы в предпаводковый период в максимально короткие сроки. Эта четырехгранная опора имела пирамидальное очертание с размерами в нижнем сечении 11×11 м, с ромбической решеткой и сварными монтажными соединениями. На монтажную площадку конструкции доставляли отдельными элементами на автомобилях с прицепами. Сборку конструкций в горизонтальном положении на временных шпальных клетках выполняли двумя кранами — пятитонным автомобильным и десятитонным гусеничным. Направление сборки — от фундаментов к вершине.

Фундамент шарнира «падающей» стрелы был размещен между фундаментами башни и ось шарнира «падающей» стрелы совпадала с осью поворотных шарниров башни (рис. 58). Шарнир «падающей» стрелы закрепили к фундаменту через опорную плиту четырнадцатью анкерными болтами и дополнительно расчалили четырьмя тягами из спаренных тросов диаметром 28 мм, закрепленных за оголовки фундаментов башни и натянутых пятнадцатитонными фаркопфами.

Решетчатая «падающая» стрела высотой 46 м и поперечным сечением 1,2×1,2 м имела пояса из уголкового профиля 160×

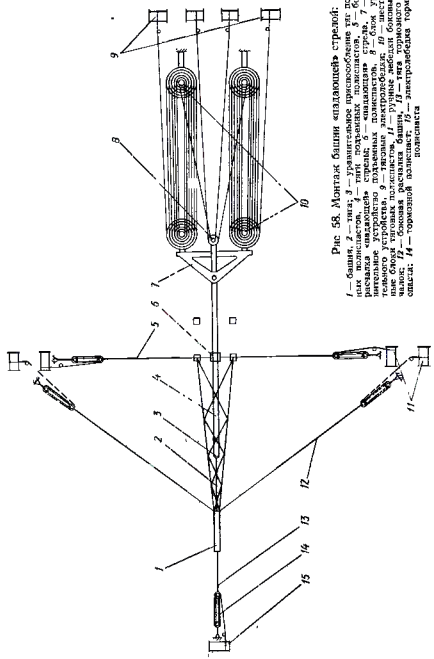


Рис. 58. Монтаж башни «падающей» стрелой:
1 — башня; *2* — тяги; *3* — грузозахватное приспособление тут подвеса «падающей» стрелы; *4* — полиспаст; *5* — якорь; *6* — полиспаст расчалки «падающей» стрелы; *7* — ура тяговые устройства; *8* — полиспаст; *9* — оттяжка; *10* — оголовки фундаментов башни; *11* — якорь полиспаста; *12* — рушные лебедки боковых расчалок; *13* — тяговая лебедка; *14* — тяговая лебедка полиспаста; *15* — тормозной полиспаст; *16* — электролебедка тормозного полиспаста

×14 мм и решетку 75×8 мм. На ее оголовке устроены два открытых ручья для тросовых тяг монтажных полиспастов. Для подъема башни потребовалось два монтажных полиспаста длиной в растянутом состоянии 70 м. Двенадцатинитиочные подъемные полиспасты грузоподъемностью 50 т каждый были оснащены шестиблочными блоками и уравнительным устройством. С каждого монтажного полиспаста одну сбегающую нить непосредственно направляли на первую электролебедку, а другую через уравнительный блок устройства — на вторую. Таким образом, сбегающие нити каждого из полиспастов наматывали на барабаны рядом стоящих двух электролебедок, образуя замкнутые полиспасты. Монтажные полиспасты со стороны неподвижных блоков двумя тягами из двух тросов диаметром 39 мм каждый крепили к металлическим тяжам якоря на усилие 100 тс, а со стороны подвижных блоков — к уравнительному устройству. От уравнительного устройства две тросовые тяги перебрасывали через оголовок «падающей» стрелы к поднимаемой башне, где закрепляли через второе уравнительное приспособление. Включали монтажные полиспасты в работу через четыре электролебедки грузоподъемностью 5 т каждая, закрепленные к якорю упомянутых полиспастов. Крепление электролебедок к якорю было выполнено двумя тягами из троса диаметром 24 мм каждый и, кроме того, они упирались в стойки из бревен диаметром 200—250 мм.

Якорь, рассчитанный на усилие 100 тс, выполнен из монолитного бетона. Объем земляных работ составил 250 м³, а расход материалов следующий:

Бетон марки 150	22,5 м³
Лесоматериалы	5,5 »
Металл	3 т

Поднимаемую башню и «падающую» стрелу из плоскости подъема раскрепляли боковыми расчалками. Для сохранения в процессе подъема постоянства длин боковых расчалок их нижние концы закрепляли по линии, совпадающей с осью шарниров башни раскрепляли на отм. 72,00 м двумя боковыми расчалками из троса диаметром 36 мм, которые на земле соединяли с якорями на усилие 20 тс каждый через четырехниточные полиспасты. Сбегающие нити этих полиспастов направляли на барабаны ручных лебедок грузоподъемностью 5 т каждая, заиерепленных к тем же якорям. «Падающая» стрела была раскреплена также расчалками по аналогичной схеме.

Перед началом работ, связанных с подъемом башни, весь такелаж был тщательно осмотрен и освидетельствован. Подъем «падающей» стрелы осуществляли в два приема. Вначале гусеничным краном ее подняли на угол примерно 30°, а затем дотянули до рабочего вертикального положения с помощью тросовой тяги и электролебедки, установленной за оголовком башни по ее оси. Эта лебедка впоследствии выполняла роль тормозной при

установке опоры на фундаменты. Для восприятия горизонтального усилия, достигшего при подъеме стрелы 20 тс, ее «пяту» дополнительно закрепили к фундаментам тросом диаметром 39 мм. После выведения «падающей» стрелы в рабочее положение включили электролебедки монтажных полиспастов и подняли башню над временными шпальными опорами. В таком положении с участием представителей проектной организации вновь был осмотрен весь такелаж и конструкции и получено разрешение на подъем.

В процессе работы лебедок длина монтажных полиспастов сокращалась и тяги, переброшенные через оголовок «падающей» стрелы, передавали усилия на конструкцию. Составляющая этих усилий, перпендикулярная к оси башни, вызывала вращение последней в шарнирах. На заключительном этапе подъема тяги и монтажные полиспасты вытянулись в прямую линию, тросовые тяги вышли из ручьев оголовка «падающей» стрелы и она освободилась от нагрузки. Еще до начала подъема ее подвязали к конструкциям башни для предотвращения падения после выключения из работы. В положение неустойчивого равновесия башню поднимали без стрелы.

На заключительном этапе подъема, т. е. после перехода башней положения неустойчивого равновесия, ее удерживали тормозной расчалкой с шестиниточным полиспастом, неподвижный блок которого крепили к якорю на усилие 30 тс. Растягивание полиспаста с подторможиванием обеспечивалось электролебедкой грузоподъемностью 5 т, закрепленной к якорю.

Монтаж башни производили сравнительно высокими темпами. Все процессы, включая укрупнительную сборку и такелажные работы, были выполнены комплексной бригадой из 25 чел. за 41 день при трехсменной работе. Трудоемкость монтажа составила около 1100 чел.-дней.

Представляет интерес способ монтажа башен при расположении шарнира «падающей» стрелы сзади поворотных шарниров сооружения, предложенный инженерами треста Криворожстальконструкция Заслуженным строителем УССР Зыбиным Ю. И. и Соловьевым Ф. А. Для установки в вертикальное положение опор ЛЭП в тресте Криворожстальконструкция была применена модифицированная схема, которая может быть также использована и для монтажа других объектов.

Опоры высоковольтной линии имели высоту 41 м и массу 28 т. Применение обычной схемы монтажа «падающей» стрелой было связано с необходимостью устройства якорей на усилие не менее 30 тс и усиления столбчатых фундаментов. Кроме того, не было свободной площадки для опускания мачты в процессе подъема конструкций. Поэтому приняли решение: «падающую» стрелу высотой 19 м, изготовленную из трубы 377×12 мм, расположить внутри собранной опоры и раскрепить двумя расчалками за верхние «башмаки», а поворотный шарнир мачты — за

нижние «башмаки»; на ее оголовке закрепить два полиспаста общей грузоподъемностью 35 т, на которые через траверсу застропить поднимаемую конструкцию. Поворот мачты трактором путем стягивания грузовых полиспастов сопровождался вращением опоры вокруг установленных на ее «башмаках» шарниров. При этом мачта проходила сквозь решетку конструкции. На заключительном этапе опору удерживали от оорокидывания тормозной расчалкой. Такая схема подъема свела к минимуму опасные горизонтальные нагрузки на фундаменты. Следует отметить, что с увеличением высоты и массы башен значительно возрастает объем подготовительных работ, связанных с устройством мощных якорей, полиспастов для боковых расчалок и др Поэтому этот способ монтажа не рекомендуется применять ори монтаже опор высотой более 60—70 м.

МОНТАЖ БАШЕН «ПАДАЮЩИМИ» ШЕВРАМИ

Сооружения башенного типа с большой массой можно также устанавливать на опоры поворотом в шарнирах с использованием «падающего» шевра. Преимущество шевров по сравнению с мачтами состоит в отсутствии боковых расчалок и якорей, недостаток в том, что их масса больше массы «падающих» стрел. Как правило, для подъема различных башен применяют А-образные шевры.

Как и при предыдущем способе, возможны три варианта расположения шарниров шевра относительно поворотных ширниров башни: впереди фундаментов; сзади фундаментов; совпадение с осями поворотных шарниров.

Оптимальной установкой А-образного шевра следует считать такую, при которой оси поворотных шарниров опор шевра совмещаются в одной конструкции с поворотными шарнирами поднимаемой башни. При ограниченной грузоподъемности такелажных средств опоры шевра следует смещать на 5—10 м от осей шарниров башни в сторону ее вершины. Это приводит к уменьшению максимальных нагрузок на подъемные полиспасты в начальный период подъема. Определение усилий в звеньях такелажных устройств поднимаемой башни, а также воздействий на поворотные шарниры и фундаменты выполняют аналитическим либо графическим способом или используют специальные номограммы.

Одним из наиболее интересных подъемов башенного сооружения с применением «падающего» шевра является монтаж башни-обелиска в комплексе мемориала Брестской крепости. Обелиск представляет собой стальную конструкцию башенного типа пирамидального очертания высотой 104 м и массой 620 т, четырехгранной формы, облицованную снаружи листами из титанового сплава толщиной 1,5 мм. Размеры конструкции в основании 5×5 м к вершине уменьшаются до 2,6×0,45 м. Рабочие

чертежи металлоконструкций башни-обелиска разработаны ЦНИИПроектстальконструкция, проект производства работ разработан институтом Промстальконструкция.

С завода-изготовителя конструкции поступали в виде отдельных, в том числе нескольких негабаритных отправочных марок. Всего было 20 отправочных марок массой от 8—10 до 43—45 т, в том числе 9 марок секций ствола.

До начала укрупнительной сборки металлоконструкций были выполнены следующие работы:

земляные — в объеме более 700 м³ для выкладки металлоконструкций обелиска и шевра в соответствии с планировочными отметками;

возведены все временные сооружения;

устроены пути и площадки для монтажных кранов СКГ-63 и СКГ-100;

доставлены на площадку опорные конструкции обелиска, шпалы для временных опор и поворотные шарниры;

по акту приняты фундаменты.

Согласно ППР укрупнительную сборку конструкций выполняли краном СКГ-100. В первую очередь с большой точностью установили фундаментные плиты с шарнирными опорами. Опорную и первую секции ствола собрали в вертикальном положении и затем повернули в горизонтальное на заранее подготовленные шпальные клетки. Это дало возможность проверить работу поворотного шарнира и тщательно отработать процесс поворота вокруг него конструкции. Укрупнительная сборка конструкций под сварку осуществлялась на монтажных болтах через установленные на заводе-изготовителе фиксаторы. Конструкции сваривали высококвалифицированные сварщики по специально разработанной технологии с последующим проведением контроля неразрушающими методами ультразвуковой рентгенодефектоскопии.

Для подъема башни-обелиска «падающим» А-образным шевром высотой 50 м необходимо тяговое усилие 465 тс. Для этого использовали восемь электролебедок ЛМН-12 грузоподъемностью 12,5 т каждая и канатоемкостью барабана 800 м. Каждая электролебедка была установлена на бетонном фундаменте на расстоянии 140 м от оси шарнирного устройства. Четыре средние электролебедки были закреплены под углом 2° к оси обелиска. Две крайние электролебедки с каждой стороны оси обелиска на первом этапе подъема закрепили под углом 4°30′, а на втором — под углом 7°30′. Изменение углов расположения электролебедок было необходимо для того, чтобы обеспечить нормальную навивку канатов на их барабаны при изменении направления канатов во время подъема конструкции.

Подъемная система состояла из четырех полиспастов с восьмирольными блоками грузоподъемностью 160 т каждый. Их неподвижные блоки были закреплены к якорям на усилие 30 тс каждый, а подвижные — двойными тягами из каната диаметром

43 мм, переброшенными через ригель шевра, крепили к конструкции обелиска на отм. 75,50 м. Для запасовки каждого полиспаста было израсходовано около 2 тыс. м каната диаметром 33,5 мм.

Исходя из больших длин канатов, подлежащих навивке на барабаны электролебедок, а также принимая во внимание их канатоемкость, было принято решение о закреплении свободных концов канатов каждого полиспаста на двух электролебедках *. Натяжение полиспастов можно было осуществлять одной из них или одновременно обеими. Направление вращения барабанов всех лебедок при навивке каната было принято одинаковым. Управление всеми восемью электролебедками осуществлялось с центрального пульта управления. При этом электрическая схема управления лебедками обеспечивала следующие режимы работы:

индивидуальный пуск, реверсирование и остановку любой из восьми лебедок;

одновременную работу всех восьми лебедок в любом направлении и их остановку;

групповой пуск, реверсирование и остановку лебедок с нечетными номерами.

Для посадки обелиска на фундамент после перехода через положение неустойчивого равновесия и предотвращения его падения в обратном направлении от вертикальной оси служила оттяжка из тросовых тяг и полиспаста с пятирольными блоками, которые закрепили к конструкциям на отм. 75,50 м, а сбегающую нить — на барабане тормозной электролебедки ЛМН-12.

По окончании сборки конструкций и монтажа всей оснастки и оборудования специально созданной комиссией были осмотрены конструкции, такелажная оснастка, рассмотрены сертификаты, исполнительная документация и акты на скрытые работы. Установив, что все работы, предшествующие подъему башни, выполнены в соответствии с проектом, комиссия дала разрешение на подъем башни.

До начала подъема все установленные электролебедки подвергли испытанию и проверили синхронизацию включения их в работу. Включение электролебедок во время подъема башни осуществляли с центрального пульта управления, расположенного непосредственно у самих лебедок. Это дало возможность операторам четко и оперативно исполнять все команды руководителя подъема, а ему — вести наблюдение и контроль за работой электролебедок в течение всего подъема. Выведение А-образного шевра, установленного на одном фундаменте с башней-обелиском, в рабочее положение осуществляли поворотом вокруг шарниров в три этапа (рис. 59):

* В настоящее время разработан канатоведущий барабан электролебедки, который позволяет выбирать практически неограниченную длину каната (Авторское свидетельство № 565008 — Бюллетень изобретений, 1977, № 26).

на первом — одновременно работающими кранами СКГ-100 и СКГ-63 верхнюю часть шевра подняли на отм. 27,00 м (положения I—II);

на втором — двумя полиспастами грузоподъемностью 160 т каждый и лебедками ЛМН-12 его установили в промежуточное положение III, натянув при этом грузовой полиспаст;

на третьем — грузовым полиспастом шевр вывели в рабочее вертикальное положение IV.

Подъему башни предшествовал пробный отрыв конструкций на высоту 350 мм от опорных тумб. После тщательного осмотра всех монтажных узлов, системы строповки, проверки подъемных механизмов, поведения шевра под нагрузкой и выявления удовлетворительных результатов произвели заделку титановыми листами мест временного опирания обелиска на тумбы и продолжили подъем.

Подъем башни производили в два этапа: первый (наиболее ответственный) — вывод конструкции до угла подъема 45° с последующей корректировкой положения лебедок путем поворота вокруг оси на фундаментах и второй — дальнейший подъем до установки башни в вертикальное проектное положение.

Для удержания башни в момент прохождения в положении неустойчивого равновесия при угле 70° к горизонту включили тормозной по-

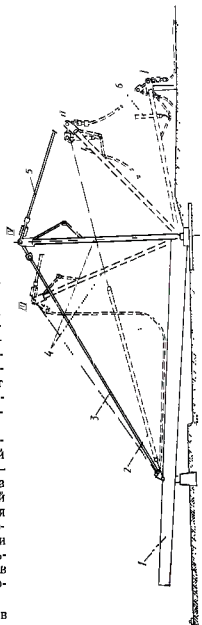


Рис. 59. Подъем шевра в рабочее положение:
I — III — промежуточные положения IV — рабочее вертикальное положение; 1 — горизонтальное положение; 2 — монтажный полиспаст шевра с тягой; 3 — тяга грузового полиспаста; 4 — шевр; 5 — грузовой полиспаст; 6 — полиспаст крана

лиспаст, имевший к этому моменту провес примерно 5 м (что соответствует натяжению 10 тс). В дальнейшем по мере подъема тормозной полиспаст удлиняли с сохранением провеса от 5 до 1,5 м (что соответствует максимально допустимому усилию 40 тс).

По окончании подъема и установки башни-обелиска в проектное положение произвели выверку теодолитом и приварку его основания к закладным деталям железобетонного фундамента накладками из листовой стали толщиной 30—40 мм. При подъеме и последующем демонтаже оснастки пользовались радио- и телефонной связью.

При выполнении монтажных работ коллектив треста Химмонтаж достиг высоких технико-экономических показателей. Укрупнение и сварка конструкций, антикоррозионная защита их, устройство и монтаж всех такелажных приспособлений были выполнены за 64 календарных дня. Всего было смонтировано 820 т металлоконструкций. Затраты труда на выполнение работ по монтажу башни-обелиска составили 4445 чел.-дней, выработка достигла 185 кг металлоконструкций на 1 чел.-день. Подъем башни продолжался 5 ч 20 мин.

МОНТАЖ БАШЕН БЕЗЪЯКОРНЫМ СПОСОБОМ

Особенность безъякорного способа монтажа заключается в том, что силы, действующие в элементах оснастки и в поднимаемой конструкции при монтаже, вызывают реакцию только в опорных шарнирах шевра (портала) и башни. Отсутствие мощных якорей, боковых расчалок и лебедок большой грузоподъемности существенно упрощает монтаж и уменьшает трудозатраты.

Подъем башни безъякорным способом осуществляют в такой последовательности:

подъем краном портала (шевра) на максимально возможный угол для уменьшения усилий в оснастке при последующем его повороте;

включение в работу тягового грузового полиспаста и выведение портала (шевра) в рабочее положение;

поворот порталом (шевром) башни до положения неустойчивого равновесия;

установка башни в проектное положение тормозным устройством;

опускание портала (шевра) на землю и демонтаж всего такелажа.

Преимущества безъякорного способа монтажа:

отсутствие мощных якорей, расчалок и лебедок большой грузоподъемности;

возможность выполнения работ в условиях стесненной площадки, так как монтажная площадка незначительно превышает габариты башни;

возможность монтажа и настройки бо́льшей части технологического оборудования башни на земле до ее подъема;

возможность обеспечения квалифицированного контроля за качественным выполнением всех работ.

К недостаткам этого способа относятся:

необходимость затрат для изготовления такелажа специального назначения и монтажных устройств разового применения;

необходимость усиления отдельных элементов башни, так как монтажные воздействия отличаются от эксплуатационных нагрузок;

сложность испытания оснастки на максимальные усилия, так как таковые в отдельных элементах возникают не в начале, а в процессе подъема.

Однако преимущества способа, в особенности при условии повторяемости объектов, способствовали его распространению. Таким способом трест Центростальконструкция во Львове смонтировал стальную четырехгранную башню пирамидального очертания высотой 100 м массой 64 т с размерами сечения в основания 10,2×10,2 м. Башню возводили в черте города в окружении зданий производственного назначения, жилой застройки и зеленых насаждений, что усложняло монтаж. Чтобы исключить дополнительные операции при посадке башни на фундаменты, было принято решение поворотные шарниры расположить не по осям «башмаков», а с эксцентриситетом. В соответствии с дополнительными техническими требованиями два фундамента башни, на которых предполагалась установка шарниров, при возведении были уширены на 250 мм и в них заанкерены специальные закладные детали. Портал был изготовлен из стальных бесшовных труб высотой 40 м шириной 12,1 м массой 16,6 т. Стойки были изготовлены из труб размерами 920×7 мм, верхний и нижний ригели — из труб 426×7 мм, соединения ригелей со стойками — фланцевые на болтах. Для крепления блоков грузовых полиспастов, отводных блоков и тяг к конструкциям портала были приварены проушины с усиливающими ребрами и валиками. Низ стоек портала в плоскости его поворота был закруглен и обшит листом толщиной 10 мм по радиусу 460 мм. Портал шарнирно опирали закругленными концами стоек на временные фундаменты из шпальных клеток, шпалы были стреплены скобами. На шпальных клетках закрепили опорные плиты из листовой стали толщиной 20 мм, размерами 1400×1400 мм с продольными ограничительными ребрами высотой 250 мм, которые образовали гнездо шириной 1000 мм для поворота в нем стоек портала. Масса одной опорной конструкции была примерно 435 кг.

Две электролебедки типа ЛМ-8 грузоподъемностью по 8 т каждая установили в 15 м за пределами высотных габаритов башни и закрепили к полузаглубленным якорям на усилие 10 тс. Схема подъема башни безъякорным способом дана на рис. 60.

Укрупнительную сборку конструкций башни начали с первого яруса. При этом конструкции двух противолежащих граней яруса укрупняли в плоские блоки массой по 4 т каждый. Авто-

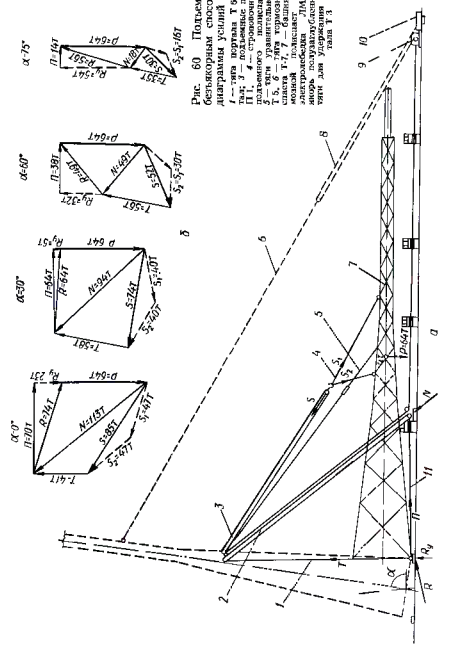


Рис. 60. Подъем башни без оттяжки способом поворота: *а* — диаграммы усилий (*б*), *в* — *г* — схемы портала Т 8, 2 — вер тяг; 3 — подъемные полиспасты П, 4 — стреловое полиспаста Т, 5, 6 — тяги грузового блока спаста Т7, 7 — башня; 9 — тор кранами К-162; 8 — башня, *10* — электролебедка ЛМ-1, *11* — якорь полуавтобалочный, *11* — тяги для закрепления якоря

кораном марки К-162 их устанавливали на фундаменты, закрепляли анкерными болтами и расчалками. Конструкции двух других граней башни монтировали поэлементно. После тщательной выверки выполняли проектное оформление узлов и установили временные распорки в нижней плоскости этого яруса башни, что обеспечило его полную геометрическую неизменяемость при последующих работах и дало возможность в дальнейшем установить башню точно на анкерные болты без каких-либо дополнительных подгоночных работ. После этого устанавливали поворотные шарниры. Шарниры, оси которых располагались на расстоянии 470 мм, с внешней стороны от осей «ног» башни монтировали на уширенных фундаментах, тщательно выверяли и закрепляли к «башмакам ног» и закладным деталям сваркой. Одновременно выполняли усиление «ног» башни, к которым закрепляли поворотные шарниры, от башмака до первого узла, так как они не были рассчитаны на восприятие дополнительного изгибающегося момента, возникшего вследствие эксцентричной установки поворотных шарниров. Затем с помощью автокрана К-162 опрокидывали первый ярус башни в шарнирах, затормаживая его опускание оттяжкой.

Остальные конструкции собирали на шпальных клетках этим же автокраном со стрелой длиной 18 м в направлении к вершине башни, последовательно подсоединяя их к ранее смонтированным ярусам. Порядок укрупнительной сборки: установка на шпальных клетках двух плоских блоков боковых граней яруса башни; монтаж элементов нижней грани яруса; монтаж распорки верхней грани яруса и элементов диафрагмы; монтаж раскосов верхней грани яруса.

Одновременно были усилены элементы решетки башни в местах строповки тяг монтажных полиспастов и закреплены строповочные детали. На усиление израсходовали около 0,75 т металлопроката. По окончании укрупнительной сборки башни в горизонтальном положении был собран портал, к местам строповки присоединены все тяги, на земле запасованы и растянуты на расчетную длину монтажные полиспасты, блоки которых затем были закреплены к порталу и тягам.

Подъем портала в рабочее положение выполняли в два приема. Вначале верх портала подняли на высоту 15 м с поворотом в шарнирах двумя одновременно работающими автокранами К-162. Одновременно с подъемом портала кранами производили натяжение монтажных полиспастов (рис. 61). При этом необходимо следить, чтобы при провисании тросы полиспаста не перехлестывались и блоки не закручивались, так как на высоте поправить это сложно.

После расстроповки крюков кранов дальнейшее выведение портала в рабочее положение выполняли монтажными полиспастами. Эту операцию продолжали до натяжения передних двухниточных тяг портала Т-6. В рабочем положении верх портала

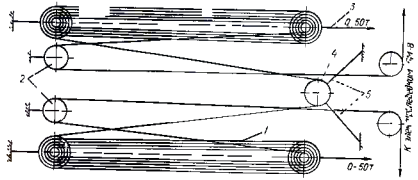


Рис. 61. Схема монтажных полиспастов П-1:
1 — полиспаст; *2* — отводные блоки грузоподъемностью 10 т каждый; *3* — тяги полиспаста Т-4; *4* — уравнительный блок; *5* — тяги Т-5.

достиг отм. 31,20 м. На нижнем поясе башни в непосредственной близости от поворотного шарнира закрепили угломер, которым в дальнейшем контролировали положение башни в пространстве в процессе поворота. Далее натягивали рабочие полиспасты, обеспечивая отрыв башни от всех промежуточных шпальных клеток на 100-250 мм. В таком положении тщательно осмотрели весь такелаж, конструкции башни и узлы. После этого башню подняли грузовыми полиспастами на угол примерно 75—77°, т. е. до положения, близкого к неустойчивому равновесию (см. рис 60). Дальнейший поворот башни осуществляли путем кратковременного включения в работу грузовых полиспастов и незначительного ослабления тормозного полиспаста П-2. Ослабление тормозного полиспаста контролировали по величине провисания тормозных тяг Т-7. После перехода башни через положение неустойчивого равновесия ее устанавливали на фундаменты тормозным полиспастом П-2, сбегающую нить которого через отводной блок закрепили к трактору. Электролебедки грузовых полиспастов П-1 растормаживали. Подъем башни и ее установка на фундаменты заняли около 2,5 ч. Менее чем через 4 мин были включены огни сигнального освещения СОМ.

Все работы, связанные с укрупнительной сборкой башни, ее подъемом и закреплением, были выполнены за 220 чел.-смен, причем непосредственная подготовка к подъему, подъем и закрепление заняли 8, монтаж всего такелажа около 50 чел.-смен. Выработка в натуральных показателях превысила 300 кг металлоконструкций на 1 чел.-смену.

МОНТАЖ БАШЕН СПОСОБОМ ВЫЖИМАНИЯ

Очевидные преимущества безъякорного способа монтажа башен способствовали его дальнейшему развитию и совершенствованию. В результате был предложен монтаж башен способом выжимания. Этот способ заключается в том, что при подъеме башни из горизонтального положения в вертикальное производится вращение ее вокруг опорного шарнира такелажной системой с порталом, нижняя опорная часть которого перемещается вдоль оси поднимаемого сооружения к фундаменту, а верхняя — выжимает башню.

Монтаж башен способом выжимания применяют в условиях стесненных площадок, при невозможности использования кранов, необходимости снижения горизонтальных усилий на фундаменты Этот способ характерен тем, что тяговые грузовые полиспасты находятся на уровне земли. В остальном характеристика данного способа совпадает с характеристикой безъякорного способа монтажа.

В практике применяются две схемы закрепления верхнего ригеля портала или толкателя к конструкции поднимаемой башни: шарнирное крепление к нижним узлам поясов башни и крепление тросовыми тягами к верхним узлам поясов башни.

По первой схеме был собран такелаж на монтаже призматической башни высотой 53 м массой (с антенами) 60 т в г. Фастове Киевской области. Башня была собрана в горизонтальном положении на шпальных клетках, и концы нижних поясов завелены в шарниры, установленные на фундаменты. Выжимной толкатель длиной 35 м имел Т-образную форму и был изготовлен из трубы диаметром 1220 мм. Его ригель шарнирно закрепили в проушинах, приваренных в узлах нижних поясов башни на расстоянии 33,50 м от опор. Нижний конец толкателя заканчивался шарнирно закрепленными салазками, которые соединяли полиспастами с фундаментами башни Сбегающую нить каната закрепили на барабане электролебедки грузоподъемностью 5 т.

На первом этапе башню подняли двумя пневмоколесными кранами на угол примерно 20°, на втором — нагрузку передали на полиспасты толкателя (рис. 62). После расстроповки крюков

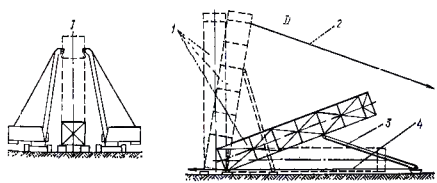


Рис 62. Подъем башни способом выжимания с использованием толкателя:
I – подъем башни кранами; *II* — выжимание башни толкателем; *1* — башня, *2* — тормозная оттяжка; *3* — толкатель; *4* — стягивающий полиспаст

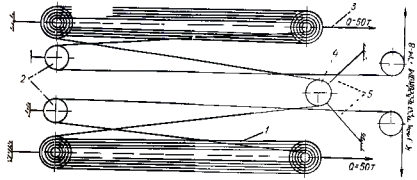


Рис. 61. Схема монтажных полиспастов П-1:
1 — полиспаст; *2* — оттяжные блоки грузоподъемностью 10 т каждый, *3* — тяги полиспаста Т-4; *4* — уравнительный блок; *5* — тяги Т-5.

достиг отм. 31,20 м. На нижнем поясе башни в непосредственной близости от поворотного шарнира закрепили угломер, которым в дальнейшем контролировали положение башни в пространстве в процессе поворота. Далее натягивали рабочие полиспасты, обеспечивая отрыв башни от всех промежуточных шпальных клеток на 100-250 мм. В таком положении тщательно осмотрели весь такелаж, конструкции башни и узлы. После этого башню подняли грузовыми полиспастами на угол примерно 75—77°, т. е. до положения, близкого к неустойчивому равновесию (см. рис. 50). Дальнейший поворот башни осуществляли путем кратковременного включения в работу грузовых полиспастов и незначительного ослабления тормозного полиспаста П-2. Ослабление тормозного полиспаста контролировали по величине провисания тормозных тяг Т-7. После перехода башни через положение неустойчивого равновесия ее устанавливали на фундаменты тормозным полиспастом П-2, сбегающую нить которого через отводной блок закрепили к трактору. Электролебедки грузовых полиспастов П-1 растормаживали. Подъем башни и ее установка на фундаменты заняли около 2,5 ч. Менее чем через 4 мин были включены огни сигнального освещения СОМ.

Все работы, связанные с укрупнительной сборкой башни, ее подъемом и закреплением, были выполнены за 220 чел.-смен, причем непосредственная подготовка к подъему, подъем и закрепление заняли 8, монтаж всего такелажа около 50 чел.-смен. Выработка в натуральных показателях превысила 300 кг металлоконструкций на 1 чел.-смену.

МОНТАЖ БАШЕН СПОСОБОМ ВЫЖИМАНИЯ

Очевидные преимущества безъякорного способа монтажа башен способствовали его дальнейшему развитию и совершенствованию. В результате был предложен монтаж башен способом выжимания. Этот способ заключается в том, что при подъеме башни из горизонтального положения в вертикальное производится вращение ее вокруг опорного шарнира такелажной системой с порталом, нижняя опорная часть которого перемещается вдоль оси поднимаемого сооружения к фундаменту, а верхняя — выжимает башню.

Монтаж башен способом выжимания применяют в условиях стесненных площадок, при невозможности использования кранов, необходимости снижения горизонтальных усилий на фундаменты Этот способ характерен тем, что тяговые грузовые полиспасты находятся на уровне земли. В остальном характеристика данного способа совпадает с характеристикой безъякорного способа монтажа.

В практике применяются две схемы закрепления верхнего ригеля портала или толкателя к конструкции поднимаемой башни: шарнирное крепление к нижним узлам поясов башни и крепление тросовыми тягами к верхним узлам поясов башни.

По первой схеме был собран такелаж на монтаже призматической башни высотой 53 м массой (с антеннами) 60 т в г. Фастове Киевской области. Башня была собрана в горизонтальном положении на шпальных клетках, и концы нижних поясов заведены в шарниры, установленные на фундаменты. Выжимной толкатель длиной 35 м имел Т-образную форму и был изготовлен из трубы диаметром 1220 мм. Его ригель шарнирно закрепили в проушинах, приваренных в узлах нижних поясов башни на расстоянии 33,50 м от опор. Нижний конец толкателя заканчивался шарнирно закрепленными салазками, которые соединяли полиспастами с фундаментами башни. Сбегающую нить каната закрепили на барабане электролебедки грузоподъемностью 5 т.

На первом этапе башню подняли двумя пневмоколесными кранами на угол примерно 20°, на втором — нагрузку передали на полиспасты толкателя (рис. 62). После расстроповки крюков

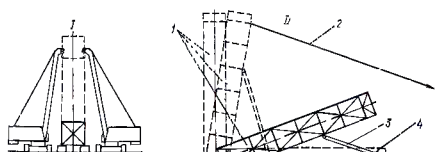


Рис 62 Подъем башни способом выжимания с использованием толкателя:
I - подъем башни кранами; *II* — выжимание башни толкателем; *1* — башня; *2* — тормозная оттяжка, *3* — толкатель, *4* — стягивающий полиспаст

кранов, сокращая полиспасты, толкателем башню подняли на угол примерно 75—77°. После этого в работу включилась тормозная оттяжка, которой устанавливали башню на фундаменты. Практика подтвердила надежность и целесообразность такой схемы закрепления. Однако ее применение ограничено, в основном она применима при монтаже башен высотой до 50 м.

Монтаж башен способом выжимания с использованием портала (вторая схема) нашел более широкое применение благодаря большой универсальности (рис. 63 и 64).

На Украине в последнее время способом выжимания смонтировано несколько четырехгранных башен высотой 60—100 м с базой 13 м и массой 75—105 т каждая. Монтаж башни производили одним комплектом оснастки. Транспортировку оснастки с объекта на объект осуществляли автотранспортом. Сборку каждой башни выполняли в горизонтальном положении автокраном МКА-10М в направлении от основания к вершине. К месту сборки конструкции подавали трубоукладчиком ТЛ-4. Первые яруса башен собирали в вертикальном положении на постоянных фундаментах, к металлическим закладным плитам которых были приварены поворотные шарниры и устроены подкладки из шпал. Для закрепления «башмаков» в процессе сборки нижнего яруса проектные анкерные болты на двух фундаментах, свободных от опорных шарниров, наращивали шпильками диаметром 20 мм. После сборки и оформления узлов нижнего яруса шпильки срезали без повреждения постоянных анкерных болтов. Выполнив геодезическую выверку, устанавливали дополнительные распорки так, чтобы каждая грань яруса представляла собой геометрически неизменяемую, один раз статически неопределимую ферму. Это исключало деформации яруса при его повороте и обеспечивало точное попадание «башмаков» на анкерные болты при установке башни. Затем первый ярус поворачивали в горизонтальное положение с помощью трубоукладчика и крана. Последующие ярусы укрупняли в горизонтальном положении, присоединяя их к ранее собранной части башни и опирая на временные опоры. Каждый ярус башни собирали на земле из укрупненных панелей. Башню поднимали собранным на строительной площадке порталом высотой 40 м с базой 14 м. Стойки портала были изготовлены из труб 920×8 мм, ригели — из труб 426×8 мм.

Стыки секций портала фланцевые на болтах нормальной точности.

Порядок установки портала: стойки портала собирали из секций в горизонтальном положении вдоль башни с двух сторон, шарнирно закрепив к их основанию салазки и соединив верхним и нижним ригелями. Верхний ригель в определенном месте укладывали на собранную в горизонтальном положении башню и временно закрепляли к ее поясам. Стойки портала поочередно поднимали автокраном и соединяли ригелем. Второй ригель, находящийся под нижней гранью башни, присоединяли у основания

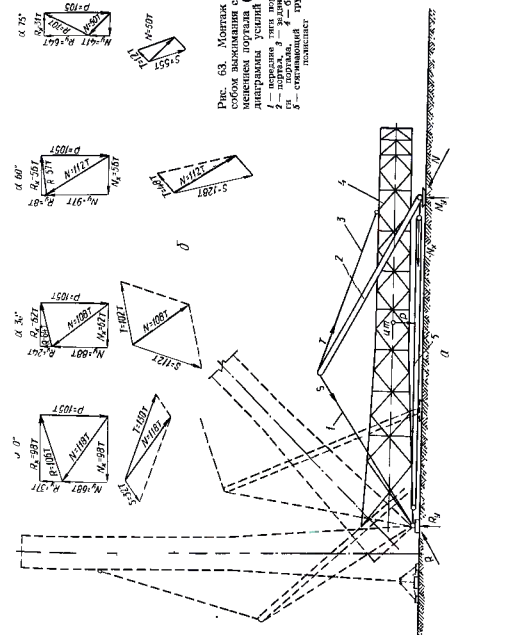


Рис. 63. Монтаж способом выжимания с применением портала (*а*) и диаграммы усилий (*б*):
1 — передние тяги портала, *2* — задние тяги портала, *3* — башня, *4* — монтируемый ярус, *5* — стягивающий полиспаст

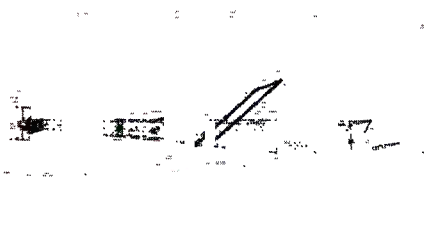


Рис. 64. Монтаж башни способом выжимания (общий вид).

каждой стойки. После этого к оголовку портала и узлам поясов башни прикрепляли строповочные тяги, запасовывали два тяговых полиспаста грузоподъемностью 50 т каждый, при сокращении которых двумя электролебедками грузоподъемностью 8 т каждая выводили портал в исходное положение. Лебедки устанавливали у основания башни и закрепляли за ее фундаменты.

Канатные строповочные тяги были выполнены из одного цельного каната диаметром 55 мм. Тяги через канатные втулки, залитые сплавом «ЦАМ», соединяли с оголовком портала и конструкциями башни строповочными «полотенцами» длиной 4 м. «Полотенца», состоящие из восьми питок, соединяли с каждой вертикальной гранью башни непрерывным канатом диаметром 13,5 мм. Это уменьшало трудоемкость устройства строповочных тяг, так как строповочные «полотенца» из каната выполняли не на всю длину тяг, а только по ее концам. Это давало возможность менять длину тяг при подъеме других башен без изменения основного звена тяги из каната большого диаметра. Запасовка строповочных «полотенец» непрерывным канатом необходима для перераспределения в них усилий, а также в стойках и тягах портала при движении салазок по неровному грунту.

При монтаже башен способом выжимания с применением портала его устанавливали в исходное положение под таким углом к горизонту, чтобы в процессе поворота башни не возникали усилия с отрицательным знаком на опорных шарнирах и фундаментах. Проектом производства работ допускалось совмещение линии центра тяжести башни и точек опирания портала на салазки в вертикальной плоскости (рис. 65). При этом реакция

Рис. 65. Опорные салазки (общий вид).

в опорных шарнирах была нулевая, а под салазками реакция грунта равна силе тяжести сооружения. Соблюдая упомянутые условия, портал устанавливали в исходное положение под углом 30° к горизонту. При этом в стойках портала возникали максимальные осевые усилия. В процессе подъема, например башни массой 105 т, в опорных узлах нормальная сила изменялась от 17 до 53 т в каждом, а в узлах строповки — от 77 т до 0. Салазки скользили непосредственно по грунту. Опорная часть салазок имела размеры 1,75×2,65 м, что обеспечило передачу усилий на грунт в пределах значительно ниже его несущей способности. Для преодоления местных неровностей по пути движения шарнирное прикрепление салазок к стойкам выполнили таким образом, что их передняя часть примерно на 20% была длиннее задней. Это уменьшало давление на грунт в передней части салазок и давало возможность легко преодолеть уклон местности. Перепад отметок между началом пути скольжения салазок и концом составлял около 1 м. Для уменьшения сил трения связные грунты под салазками поливали водой, на песчаных грунтах подкладывали швеллеры. В зимнее время возможно образование льда или трамбование снега. Выбор мероприятия зависит от метеорологических условий и грунта. Это необходимо предусмотреть в начале движения портала, так как в дальнейшем тяговые усилия в полиспастах падают и образование резерва усилий позволяет легко преодолевать силу трения.

Монтаж башен способом выжимания, как и любым способом поворота вокруг шарниров, включает два этапа: первый — подъем башни до положения неустойчивого равновесия и второй — посадка ее на опоры после перехода линии вертикальной равнодействующей через вертикальную плоскость поворотных шарниров. Первый этап разработан достаточно подробно, есть много оригинальных технических инженерных решений; второй этап до недавних пор осуществляли только одним путем — включением в работу тормозных оттяжек или полиспастов. Несовершенство технологии второго этапа объясняется тем, что для тормозной системы необходимо устройство мощных якорей, применение лебедок или тягачей, большое количество канатов, а также свободная площадка за пределами монтажной зоны. При подъеме башни в момент перехода через положение неустойчивого равновесия возникают трудности в обеспечении синхронной работы тягового и тормозного полиспастов.

В тресте Центростальконструкция разработано принципиально новое инвентарное приспособление для посадки башен на фундаменты при монтаже способом поворота. Приспособление состоит из двух песочных домкратов, канатной тяги, опорных салазок и шарнирных соединений (рис. 66). Цилиндры песочных домкратов изготовлены из стальных труб размерами 273×8 мм, штоки — из труб 219×8 мм, поршни — из стального листа толщиной 20 мм (диаметр поршня 252 мм, т. е. на 5 мм меньше внутреннего диаметра трубы цилиндра).

При разработке приспособления были учтены следующие условия: изменение нагрузок на опорные точки в процессе установки башни на фундаменты; обеспечение синхронной работы подъемного и тормозного устройств в диапазоне, близком к положению неустойчивого равновесия башни и при его переходе; обеспечение устойчивой плавной работы приспособления на этапе торможения башни; особенности расчета цилиндра песочного домкрата. В момент установки башни на фундаменты она имеет три точки опоры: поворотные шарниры на опорных башмаках и шарнирное соединение вершины тормозного приспособления с поясом. При повороте башни нагрузки на эти точки изменяются (рис. 67). В положении неустойчивого равновесия, т. е при совмещении центра массы башни с вертикальной плоскостью поворотных шарниров нагрузка от силы тяжести башни и подъемной оснастки распределялась поровну на оба шарнира. При дальнейшем повороте башни центр ее массы перемещался в направлении геометрического центра основания и нагрузка воспринималась не только поворотными шарнирами, но и тормозным приспособлением.

Перераспределение нагрузки происходило между тормозным приспособлением и поворотным шарниром, лежащими в одной плоскости, второй шарнир воспринимал половину нагрузки на протяжении всего процесса торможения. Вертикальная нагрузка на приспособление при установке башни все время возрастала (при монтаже башни массой 110 т высотой 80 м она достигала 80 т, а максимальное усилие в песочном домкрате — 90 тс).

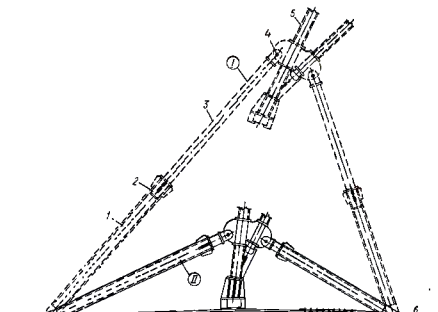


Рис. 65. Схема работы тормозного приспособления:
I — включение в работу приспособления; *II* — конечное положение в момент установки башмака башни на фундамент; *1* — цилиндр; *2* — поршень; *3* — шток; *4* — шарнирное крепление; *5* — «нога» башни; *6* — салазки приспособления; *7* — канатная тяга; *8* — фундамент башни.

Синхронную работу тяговой и тормозной систем обеспечивали соблюдением определенной последовательности их работы. Геометрические размеры звеньев тормозного приспособления подбирали из расчета включения его в работу до наступления положения неустойчивого равновесия (до 8—10°). В рассматриваемом случае для обеспечения этого условия один

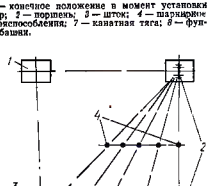


Рис. 67. Перераспределение нагрузки при включении в работу тормозного приспособления:
1 — фундамент «ноги» башни; *2* — поворотные шарниры; *3* — тормозное приспособление; *4* — положения проекции центра тяжести башни при установке на фундаменты

из домкратов (передний) имел длину 8800, а второй — 6320 мм. При повороте башни в момент соприкосновения салазок приспособления с грунтом низ песочных домкратов соединяли канатной тягой. Скользя по грунту, салазки натягивали канат, домкраты устанавливались в вертикальной плоскости и в работу включалось приспособление. До положения неустойчивого равновесия приспособление не воспринимало нагрузку от массы башни, а только подстраховывало ее от динамических воздействий. После включения приспособления в работу открывали затворы в нижней части цилиндра, через которые удаляли песок. Поскольку в данном положении башни усилие в тяговой системе становится незначительным (около 15 тс), перегрузок системы нет. Это дало возможность периодически отключать тяговую систему и обеспечить плавный поворот башни. Подтверждением движения башни было вхождение штоков в цилиндры песочных домкратов. Остановка движения штоков была сигналом для включения тяговой системы. Благодаря опыту работы, монтажники не ожидали этого сигнала, а периодически включали тяговую систему, обеспечивая непрерывный цикл. При переходе положения неустойчивого равновесия песочные домкраты воспринимали нагрузку от массы башни и обеспечивали ее установку на фундаменты. Тормозное приспособление дало возможность осуществить плавный переход башни через положение неустойчивого равновесия, в то время как при использовании тормозных оттяжек наблюдался рывок.

Скорость посадки башни регулировали путем перекрытия затворами отверстий в цилиндрах домкратов. Цилиндр переднего домкрата был длиннее и объем его был в 1,4 раза больше объема второго, поэтому для равномерности работы всех звеньев приспособления необходимо было, чтобы песок из первого цилиндра удаляли в 1,4 раза быстрее. Если это соотношение нарушалось и песок из какого-либо цилиндра удаляли быстрее, то этот домкрат не мог выключиться, так как его салазки перемещались в направлении фундамента. В этом случае временно прекращали удаление песка из цилиндра этого домкрата. Неизменное положение салазок свидетельствовало о том, что оба домкрата находятся в работе и удаление песка из цилиндра происходит в нужном соотношении. Общая высота посадки башни тормозным приспособлением равнялась 2,7 м и длина песочных домкратов сокращалась: первого — с 8800 до 5060, второго — с 6320 до 3720 мм.

При конструировании приспособления действующие усилия определяли, исходя из изложенных выше предположений. Для башни высотой 80 м и массой 110 т осевое усилие в домкрате, вычисленное по силовому многоугольнику, равно 90 тс.

Расчет цилиндров домкратов производили следующим образом. Сначала определяли удельное давление на сыпучую среду

$$q = \frac{Q}{F} = \frac{9000}{520} = 173 \text{ кгс/см}^2,$$

где Q — максимальное усилие в домкрате, кгс;

F — площадь заполнения сыпучей среды в цилиндре, см².

Затем находили давление на стенки цилиндра

$$P_{ст} = 0{,}6\,q = 0{,}6 \cdot 173 \text{ кгс/см}^2 = 104 \text{ кгс/см}^2,$$

где 0,6 — эмпирический коэффициент, учитывающий распор на стенку от осевого усилия при наличии песка в цилиндре.

Напряжение в стенке цилиндра определяли по формуле

$$\sigma = P_{ст} = \frac{1 + K^2}{1 - K^2},$$

где $K = \frac{D_{вн}}{D_н} = \frac{257}{273} = 0{,}94$ ($D_{вн}$ и $D_н$ — соответственно внутренний и наружный диаметры трубы, мм);

$$\sigma = 104 \frac{1 + 0{,}88}{1 - 0{,}88} = 104 \frac{1{,}88}{0{,}12} = 104 \cdot 15{,}7 = 1633 \text{ кгс/см}^2.$$

Экономический эффект от применения тормозного приспособления на монтаже одной башни высотой 80 м массой 110 т составляет 870 руб. Благодаря простой конструкции изготовить его можно в мастерских монтажных организаций. Приспособление применяли на монтаже многих башен, надежность и безопасность в работе подтвердились.

Технико-экономические показатели монтажа башен способом выжимания следующие:

Высота башни, м	60	85	95
Масса башни, т	75	105	105
Трудоемкость монтажа с окраской, чел.-дни.			
нормативная	1236	1540	1540
фактическая	560	770	810

Стоимость монтажных работ по башням высотой 60, 85 и 95 м составляет соответственно 5,6; 7,2 и 7,8 тыс. руб., а сметная стоимость этих работ — соответственно 8,5; 12 и 12 тыс. руб. Таким образом, при монтаже башен способом выжимания исключены такие трудоемкие операции, как устройство подпортальных путей, якорей для лебедок, а также значительно облегчена оснастка. Трудоемкость монтажа башен способом выжимания по сравнению со способом наращивания уменьшается в два раза. Этим способом трест Центростальконструкция смонтировал шесть башенных опор различной высоты. Результаты работы свидетельствуют о целесообразности его дальнейшего применения и широкого распространения при сооружении башен высотой до 100 м.

МОНТАЖ БАШЕН СПОСОБОМ ПОДРАЩИВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ СПЕЦИАЛЬНОЙ ОСНАСТКИ

Бурное развитие телевидения, радиовещания, радиорелейной связи выдвинуло задачу интенсивного возведения башен многоцелевого назначения высотой свыше 300 м. Назначение башен — обеспечивать размещение нескольких антенн для различных диапазонов многопрограммных телецентров, связи с подвижными объектами, радиопередач через радиорелейные линии и для других специальных устройств. Такое увеличение полезных нагрузок наряду с возрастанием метеорологических воздействий с высотой привело к увеличению массы конструкций башен. С увеличением высоты башен возрастают затраты времени на транспортировку конструкций с земли к отметкам их установки, на доставку монтажников к рабочим местам, усложняется управление монтажом, повышается влияние метеорологических факторов на ход работ и др. Все это удлиняет сроки возведения таких башен традиционными методами монтажа.

Актуальной стала задача нахождения новых способов монтажа башен, которые смогут обеспечить дальнейший рост производительности труда, повысить эффективность и качество монтажа.

Одним из таких является монтаж башен способом подращивания, который в последние годы находит все большее применение. Этот способ заключается в том, что на низких отметках монтаж башни начинается с верхних ярусов, которые циклично выдвигают вверх и по мере их выдвижения снизу подращивают конструкции нижерасположенных ярусов.

Способ подращивания по сравнению с другими способами имеет принципиальные отличия и преимущества:

возможность выполнять самые сложные и трудоемкие работы сборки конструкций, оформления узлов, сварочных и других работ на низких отметках;

постоянство рабочих мест дает возможность хорошо их оснастить, оборудовать и укрыть;

минимальная зависимость от метеорологических воздействий;

неограниченные возможности контроля за выполнением всех рабочих операций;

высокая степень безопасности работ.

В данном случае строительное производство приобретает черты промышленного, так как рабочие места не перемещаются по мере возведения объекта, а остаются постоянными. При монтаже башен методом подращивания исчезает одна из главных отличительных черт строительного производства — постоянное перемещение рабочих мест. Однако в некоторых случаях монтажное оборудование и оснастка еще сложны и дорого стоят, их обслуживание нуждается в высококвалифицированных рабочих, сложно испытывать монтажное оборудование на максимальные нагрузки, так как в некоторых элементах оснастки они достигают максимальных значений на заключительной стадии монтажа башни. И все же преимущества монтажа башен способом подращивания настолько очевидны, что специалисты упорно работают над его совершенствованием и внедрением в практику.

Еще в 1941 г. было внесено предложение монтировать пирамидальные башни способом подращивания. Вплотную к реализации этой идеи подошли в конце 50-х годов, когда ГПИ Укрпроектстальконструкция предложил монтировать способом подращивания стальную башню высотой 315 м Ленинградского телецентра. Но в то время не был решен ряд технических задач, связанных с общей устойчивостью башни при выдвижении, и идея монтажа способом подращивания не была реализована. Не удалось также осуществить монтаж способом подращивания стальной антенной части Останкинской башни в Москве, так как неисключалась возможность параллельного производства трудоемких работ на ряде отметок в ее железобетонной части, в связи с чем срок строительства объекта значительно удлинялись.

Впервые в стране запроектирована и полностью смонтирована способом подращивания стальная башня высотой 380 м Киевского телецентра.

Анализ конструктивных схем башен, монтируемых способом подращивания, показывает, что башню разделяют на блоки — нижний и верхний. Нижний блок монтируют одним из известных способов. Его высота определяется из расчета возможности защемления верхнего блока при выдвижении. Таким образом нижний блок в течение монтажа башни является составной частью монтажной оснастки, так как он воспринимает монтажные воздействия при выдвижении верхнего блока, на нем закрепляют направляющие и другие элементы монтажных приспособлений. Верхний блок собирают внутри нижнего и затем выдвигают на проектную отметку. В зависимости от используемых механизмов и приспособлений есть несколько схем монтажа башен способом подращивания.

МОНТАЖ БАШЕН ВЫДВИЖЕНИЕМ АГРЕГАТАМИ С ДОМКРАТНЫМИ УСТАНОВКАМИ

Такой способ монтажа башен рекомендуется применять при подъеме конструкций большой массы. Он отличается высокой надежностью, возможностью поднять практически любую массу, плавностью хода работы, возможностью легкой рихтовки конструкций. Наряду с положительными сторонами способ подращивания башен выдвижением агрегатами с гидродомкратными установками отличается высокой стоимостью монтажного оборудования и оснастки, уникальностью оборудования и невозможностью использования подавляющего большинства его частей для других целей. Рациональное использование такого оборудования и оснастки следует планировать на длительный период для

нескольких последовательно сооружаемых объектов. Только при таком подходе экономически целесообразно его применение. При проектировании высоких башен необходимо учитывать возможности монтажных организаций, в том числе наличие специального оборудования и оснастки.

Впервые способ подращивания с выдвижением частей башни гидродомкратами был применен при сооружении башни высотой 380 м Киевского телецентра. Эта уникальная цельносварная башня была создана совместными усилиями ГПИ Укрдроектстальконструкция и Института электросварки им. Е. О. Патона АН УССР. На различных этапах работы к решению отдельных инженерных задач приклекали другие научно-исследовательские и проектные организации, заводы и проектно-конструкторские бюро, а также организации Министерства монтажных и специальных строительных работ УССР.

Телевизионная башня Киевского телецентра состоит из следующих конструктивных частей: база, ствол башни, ствол антенны для системы «Алтай», шахта лифтов, антенны, нижнее и верхнее технические здания. При решении конструкции башни и узлов сопряжения ее элементов был учтен метод монтажа этого сооружения (подращивание). В связи с этим ствол башни был запроектирован призматической формы постоянного сечения по всей высоте, а «ноги» базы башни объединены в обойму, которая в процессе выдвижения ствола являлась направляющим каналом. База башни воспринимала нагрузку от вышерасположенных конструкций и передавала ее на фундамент. Она состоит из четырех опорных «ног», которые в верхней части между отм. 40,00—72,00 м объединены в обойму, представляющую собой восьмигранную решетчатую призму с диаметром описанной окружности 23 м, а в нижней части оканчиваются «башмаками», которые опираются на монолитные железобетонные фундаменты, расстояние по диагонали между которыми 90 м. Пояса базы выполнены из сварных труб диаметром 550 мм из высокопрочной стали класса С-50,а все элементы решетки — из цельнотянутых труб из стали марки Ст 20. Соединения отдельных элементов поясов и решетки сварены встык.

Ствол башни имеет постоянное по высоте восьмигранное сечение диаметром описанной окружности 20 м. Он защемлен в базе башни на отм. 64,00 и 72,00 м двумя горизонтальными решетчатыми диафрагмами из труб, а между отметками пояса ствола соединены с обоймой базы вертикальными листовыми вставками на сварке. Ствол разбит на ярусы высотой 8 м каждый, решетка треугольная с постоянным наклоном стержней. В каждом ярусе ствола установлены кольцевые диафрагмы. Для наиболее нагруженных элементов — поясов ствола из сварных труб с постоянным диаметром по всей высоте ствола (от отм. 72,00 до отм. 190,20 м) — 550 мм и переменной толщиной стенки от 22 до 18 мм использована высокопрочная сталь марки ИЗ-138. Для

распорок и раскосов использованы трубы постоянных диаметров из обычной стали марки Ст 20. На отм. 190,20 м ствол башни ступенью переходит в решетчатую восьмигранную призму (вписанную в окружность диаметром 12 м) ствола антенны «Алтай». Эта часть башни между отм. 190,20 и 239,40 м предназначена для установки вибраторов системы связи с подвижными объектами и защемления антенной части башни. Между отм. 191,20 и 201,20 м расположено верхнее техническое здание, имеющее форму опрокинутого усеченного конуса. Это здание предназначено для размещения телевизионных передатчиков и оборудования ультракоротковолновой связи. На отметке перехода ствола башни в базу расположено нижнее техническое здание, имеющее форму цилиндра, помещения которого служат для размещения радиорелейной аппаратуры.

В центре башни на бетонном фундаменте до отм. 240,00 м расположена шахта лифтов, выполненная из цельносварной трубы диаметром 4 м. Внутри шахты предусмотрено размещение грузового и пассажирского лифтов, лестниц-площадок, деталей для крепления фидеров и кабелей питания. С отм. 240,00 м шахта лифтов переходит в антенну, выполненную из цельносварной трубы длиной 134 м с коническими ступенчатыми переходами от диаметра 4 м у нижнего основания к диаметру 0,7 м у верхнего основания. Масса башни состаляла 2790 т, по отдельным частям, т:

База башни	741
Ствол башни	724
Ствол антенны «Алтай»	192
Шахта лифтов	460
Антенны	236
Нижнее техническое здание	164
Верхнее техническое здание	218
Фидерный мостик	55

В монтаже башни способом подращивания можно выделить четыре характерных этапа (рис. 68).

На первом этапе был выполнен весь комплекс работ, включающий не только подготовительные работы, но и большой объем специальных работ, без выполнения которых невозможно приступить к подращиванию башни. В соответствии с разработанным стройгенпланом после планировки территории были устроены внутриплощадочные проезды и дороги с улучшенным покрытием, отведены и благоустроены места для складирования металлоконструкций, площадки под укрупнительную сборку, подведена электроэнергия, выполнено общеплощадочное освещение и установлено необходимое количество передвижных вагончиков для размещения бытовых и служебных помещений.

Кроме того, были забетонированы центральный фундамент для шахты лифтов, фундаменты под «ноги» башни, фундаменты

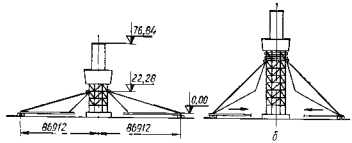


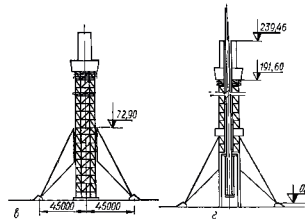
Рис. 68. Монтаж башни способом подращивания:
а — подготовительный этап, *б* — возведение базы «зонтиком»; *в* — монтаж ствола башни, *г* — монтаж антенн и шахты лифтов.

с приямками под монтажный кондуктор, ленты под накаточные пути. В связи с тем, что в процессе монтажа базы «зонтиком» «башмаки ног», двигаясь по накаточным путям (их отметки ниже отметки верха фундамента), пересекали фундаменты, бетонирование последних осуществлялось в два приема: вначале забетонировали их нижнюю часть с отм. — 5,50 м до отм. — 1,75 м. На отм. — 1,75 м был устроен технологический шов с выпусками специальных закладных деталей и вертикальных круглых стержней арматуры для соединения с верхней частью. После чего выпуски металлических закладных частей и арматуры тщательно укрыли толем и засыпали слоем щебня, подготовив нижнюю часть фундамента для устройства над ней накаточных путей. Верхняя часть фундамента была забетонирована по окончании монтажа базы «зонтиком».

На подготовительном этапе была смонтирована монтажная опора-кондуктор (рис. 69), насосная станция с разводкой маслопроводов, стенды для укрупнительной сборки конструкций, а также часть конструкций верха башни, «ноги» башни, организовано инструментальное хозяйство и обучение рабочих. На территории телецентра разместили постоянные и временные сооружения.

Помимо объектов, связанных с монтажом башни, на этом участке были возведены сооружения телецентра и зарезервирован участок под укрупнительную сборку и настройку антенн, расположенный в 40—50 м от токоведущих устройств и мест складирования металла.

Для башенного крана крана КБ-1000 выполнили кольцевой путь с радиусом 49 м, который относительно центра башни расположили эксцентрично. Это дало возможность вести укрупнительную сборку и монтаж секций ствола антенны «Алтай» и «ног» базы башни, а также разгрузку и складирование конст-



рукций внутри кольцевых путей краном, расширив площадь обслуживания краном. Это также обеспечивало подход крана к башне на минимальное расстояние с двух сторон и наиболее полное использование его максимальной грузоподъемности и высоты подъема крюка при минимальном вылете стрелы.

Для обеспечения точности при сборке секций ствола и их выдвижении, а также для восприятия горизонтальных усилий от ветровых воздействий при монтаже башни способом подращивания была использована монтажная опора-кондуктор, выполненная в виде восьмигранной призмы с диаметром описанной окружности 17 м, высотой 18,9 м и массой 175 т. Колонны кондуктора — двутавровые из сварных двутавров, расстояние между ветвями 2 м для прохода сварочных автоматов при сварке кольцевых швов на поясах ствола башни. С наружной стороны к полкам колонн кондуктора крепили рельсы КР-100, которые были направляющими при выдвижении ствола.

Рис. 69. Монтажная опора-кондуктор.

Рабочие места для сборки и сварки поясов, раскосов, рас-

порок и диафрагм башни оборудовали на двух перекрытиях кондуктора. Площадка на отм. 5,75 м предназначалась для сварки стыков поясов в среде углекислого газа автоматами, разработанными Институтом электросварки им. Е. О. Патона АН УССР. Рабочее место сварщика находилось на специальных выдвижных площадках. Площадка на отм. 15,75 м служила для промежуточного складирования и последующего монтажа элементов диафрагм ствола. Рабочие площадки были связаны между собой маршевыми лестницами и стремянками, а по периметру ограждены.

Доставленные поэлементно на монтажную площадку конструкции «ног» базы, ствола башни и антенны «Алтай» собирали в плоские блоки. Для соблюдения необходимой точности сборки, подгонки стыков под сварку и сборки элементов на монтажной площадке были изготовлены специальные стенды, представлявшие собой жесткие металлические рамы, повторявшие в плане геометрию плоских блоков. Такие стенды имелись для сборки блоков «ног» базы, верхних трех панелей ствола и антенны «Алтай». На стендах с большой точностью была выполнена разметка и установлены фиксаторы. Конструкции подавали на стенды башенным краном КБ-1000 или автокранами.

Укрупнение конструкций производяли в такой последовательности. В первую очередь на длину панели из восьмиметровых элементов укрупняли пояса, а затем из двух плетей поясов, распорок и раскосов набирали панель. Три верхние секции ствола на стенде были укрупнены в четыре плоские панели длиной по 24 м, массой по 3 т каждая и башенным краном КБ-1000 смонтированы на временных опорах вокруг кондуктора. Опорами для панелей служили восьмиметровые отрезки труб поясов ствола, а не толкатели гидродомкратов, так как последние к началу монтажа не были поставлены на площадку заводом-изготовителем. Временные опоры устанавливали в приямках кондуктора на металлические «башмаки», а верхнюю часть металлическими решетчатыми рамками крепили к кондуктору. Для опирания поясов панелей ствола верхние концы стоек временных опор имели заглушки и фиксаторы. Каждую панель после выверки крепили к кондуктору на отм. 15,60 м хомутами, а нижнюю часть надежно закрепляли фиксаторами опор.

После проверки геометрии восьмигранника в верхней части ствола на отм. 29,48 м между панелями были установлены по ярусам распорки и раскосы, которые приваривали к поясам ручную с навесных люлек. Ствол антенны «Алтай» с учетом защемления в башне по высоте был разбит на три яруса панелей высотой 21, 15 и 19 м.

Монтаж конструкций осуществляли в такой последовательности. Собранные на стенде четыре плоские панели первого яруса антенны вместе с кронштейнами и радиальными балками пола верхнего технического здания были установлены на временные

трубчатые опоры, опирающиеся на верхнюю площадку кондуктора на отм. 15,76 м. На этой рабочей площадке предварительно была выполнена разбивка восьмигранника ствола антенны. После выверки панели первого яруса антенны соединяли между собой распорками, закрепленными временно хомутами. Одновременно конструкции нижнего монтажного яруса антенны соединили со стволом башни горизонтальными и вертикальными связями. Узлы примыкания этих элементов решены в виде фасонок на монтажных болтах с последующей сваркой. Узлы позволили осуществлять независимую выверку конструкций ствола башни и антенны и исключить влияние ошибок сборки ствола башни на антенну. В этот же период монтировали элементы пола и крыши верхнего технического здания. Для обеспечения выверки верхних панелей антенны «Алтай» и временного их закрепления точно по центру башни смонтировали временную трубчатую опору до отм. 65,00 м. Оголовок трубы оборудовали рабочей площадкой, на которую был вынесен геометрический центр башни, а также устроены узлы крепления винтовых расппрок, с помощью которых осуществляли выверку двух верхних панелей ствола антенны и их временное раскрепление.

По окончании монтажа ствола антенны с верхней площадкой временная опора и винтовые распорки были демонтированы. Одновременно производили подготовительные работы по монтажу диафрагм. Для этого на верхней площадке антенны был установлен крышевой кран грузоподъемностью 2 т, а внутри ствола собрана круговая монтажная площадка, которая перемещалась лебедками по вертикали и выставлялась на нужных отметках. Ее размеры (диаметр 11 м) обеспечивали доступ монтажников ко всем узлам ствола. Полукольца диафрагм на площадку подавали краном КБ-1000, а раскладку элементов диафрагм под сборку производили крышевым краном. Одновременно к поясам ствола были приварены узловые фасонки крепления лучей диафрагм. Лучи диафрагм крепили к фасонкам ствола сваркой, а к фасонкам кольца диафрагм — болтами в овальных отверстиях. Затем лучи диафрагм предварительно натягивали на проектное усилие одновременно во всех восьми лучах. Натяжное приспособление было выполнено из двух хомутов из круглых стержней с упорными планками, которые были надеты на свободные концы стержней с резьбой. Планки после сборки натяжного приспособления плотно упирались в упоры на лучах диафрагм и при завинчивании гаек растягивали лучи, создавая в них предварительное натяжение. Натяжение контролировали оттарированными ключами предельного момента.

После выполнения этих операций и проверки геометрии диафрагм, их лучи приваривали к фасонкам центрального кольца. После этого натяжные приспособления демонтировали, а кольцевую площадку опускали ниже на отметку установки следующей диафрагмы. Параллельно с монтажом конструкций трех

верхних ярусов ствола и антенны на стендах производили укрупнительную сборку «ног» базы башни в плоские блоки массой 28—41 т. Плоские блоки являлись боковыми гранями «ног» базы и их укрупнение производили на двух стендах, расположенных рядом. В первую очередь укрупняли и сваривали в плети пояса на отдельном стенде с кантователем, затем на сборочном стенде собрали конструкции боковой грани в плоский блок. После сборки тщательно проверили геометрию блока и приварили элементы решетки к поясам. Плоские блоки «ног» базы к месту монтажа подавали со стендов кранами КБ-1000 и СКГ-63. Каждую «ногу» базы разделяли на четыре плоских блока На отм. 122,28 м к поясам ствола башни крепили шарнирную балку с фланцами. Верхние плоские блоки поочередно выводили в вертикальное положение двумя одновременно работающими кранами СКГ-63 и КБ-1000. Затем один конец поднимали и крепили болтами к фланцам шарнирной балки, а второй — фиксировали и закрепляли на временной портальной раме. Второй блок был смонтирован аналогично первому. Затем их связали элементами решетки в пространственный блок. Работы выполняли с подвесных подмостей и люлек. Нижнюю пару блоков «ноги» базы выводили в вертикальное положение самоходными кранами СКГ-63 и МКП-40 и присоединяли к верхнему блоку. Каждая «нога» базы башни оканчивалась специальным «башмаком». «Башмаки» базы устанавливали на накатные пути, по которым они скользили при подъеме башни «зонтиком». Накатные пути были возведены в направлении четырех осей башни А, Б, В и Г длиной 44 м каждый из рельсов КР-100. В двух полосах по осям В и Г были выполнены пазы под кольцевые пути башенного крана. Накаточные пути заканчивались временными фундаментами, на которых крепили монтажные «башмаки ног» базы на время бетонирования верхней части фундаментов башни. По обе стороны накаточных путей были устроены временные дороги из железобетонных плит для перемещения самоходных кранов при монтаже «ног» базы. Параллельно с установкой «ног» базы в предмонтажное положение краном КБ-1000 монтировали конструкции верхнего технического здания.

Сварка поясов ствола башни, антенны, «ног» базы и узлов примыкания стержней решетки к поясам производилась по специальной технологии, разработанной Институтом электросварки им. Е. О. Патона АН УССР. Все сварные швы подвергали 100%-ному ультразвуковому контролю, а отдельные участки — гаммаграфированию с помощью радиоактивного изотопа «Цезий 137».

На подготовительном этапе монтажа башни было смонтировано 1205 т металлоконструкций трех верхних секций ствола, базы, антенны «Алтай» и 175 т металлоконструкций кондуктора (рис. 70). В конце этого этапа было смонтировано синхронизирующе-натяжное устройство (СНУ) в виде замкнутой канатной

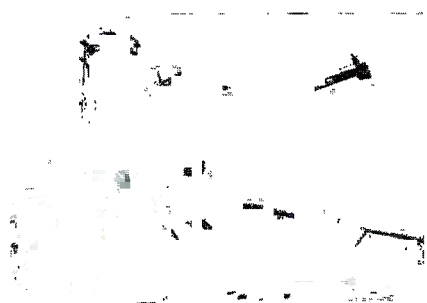


Рис. 70. Фрагмент смонтированной части башни.

системы, состоящей из нескольких секций, огибающих блоки в начале и в конце каждого накаточного пути (рис. 71), которое позволило в процессе выдвижения ствола башни включить в работу «ноги» базы и обеспечить устойчивость системы. Синхронизирующе-натяжное устройство состояло из одинарных секций, проходящих сквозь временные опорные монтажные «башмаки ног» базы, двух двойных секций из стального каната диаметром 42 мм и однорольных блоков диаметром 1250 мм, которые закрепляли к якорям: внешние — на усилие 90 тс, внутренние — 50 тс. Якоря устанавливали по осям равнодействующих усилий, возникающих в секциях системы в процессе ее работы. Система в рабочее состояние приводилась двумя полиспастами.

Перед закреплением канатов системы СНУ к опорным монтажным «башмакам ног» базы было проведено ее испытание нагрузкой, превышающей расчетную в 1,5 раза. Испытание выполнили натяжением полиспастов системы электролебедками грузоподъемностью 5 т каждая и выдержкой в таком состоянии в течение 10 мин. Усилия контролировали динамометрами, врезанными в мертвые нити полиспаста. По истечении контрольного времени натяжение полиспастов ослабили до усилия проектного предварительного натяжения, равного 1,5 тс. После этого канаты одинарных секций закрепили к монтажным «башмакам» с обоих концов сжимами, исключающими проскальзывание.

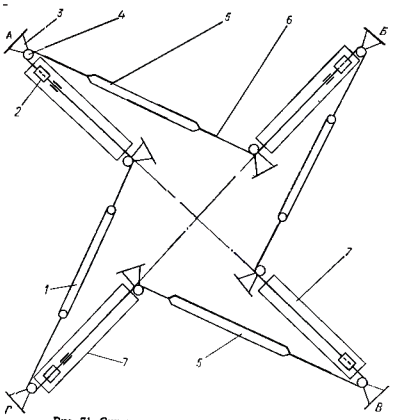


Рис. 71. Синхронизирующе-натяжное устройство:
1 — полиспаст; *2* — монтажный башмак; *3* — якорь; *4* — отводной блок; *5* — вставки из двух канатов; *6* — основной канат; *7* — бетонные ленты накаточных путей.

До начала монтажа базы башни «зонтиком» были заменены восемь временных опор на толкатели гидроподъемного устройства (рис. 72). В процессе подъема башни концы «ног» базы приближались к стволу, напоминая закрывающийся зонтик (рис. 73). Толкатель через подвижную упорную шайбу передавал нагрузку от гидродомкратов на пояс башни. Для предотвращения самопроизвольного опускания штоков гидродомкратов синхронно с их подъемом выдвигали винтовые страховочные упоры. Нижние концы труб поясов ствола соединяли в единый жесткий блок в горизонтальной плоскости специальной восьмиугольной монтажной диафрагмой массой 25 т.

Монтажные работы при подращивании башни выполнили в следующей последовательности. Упорные шайбы на двух диаметрально противоположных толкателях опускали вниз. Толкатели наклоняли в сторону под углом 8—10° и на них автокраном К-162 насаживали трубы поясов очередного яруса ствола. При

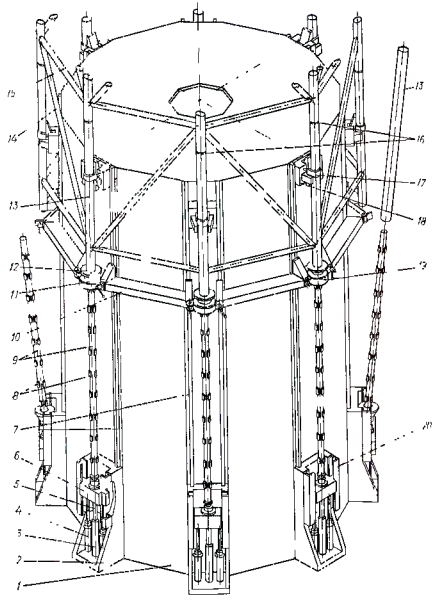


Рис. 72. Гидроподъемное устройство:
1 — опора-кондуктор; *2* — рама гидродомкратной установки; *3* — гидродомкрат; *4* — страховочные винты; *5* — шток гидродомкрата; *6* — наддомкратная балка; *7* — направляющие; *8* — боковые упоры толкателя; *9* — толкатели; *10* — монтажная диафрагма; *11* — башмак диафрагмы; *12* — втулка толкателя; *13* — пояс ствола башни; *14* — раскос ствола; *15* — распорка ствола; *16* — сварные швы поясов ствола; *17* — хомут нижнего направляющего устройства; *18* — нижнее направляющее устройство; *19* — хомут диафрагмы; *20* — направляющая наддомкратной балки

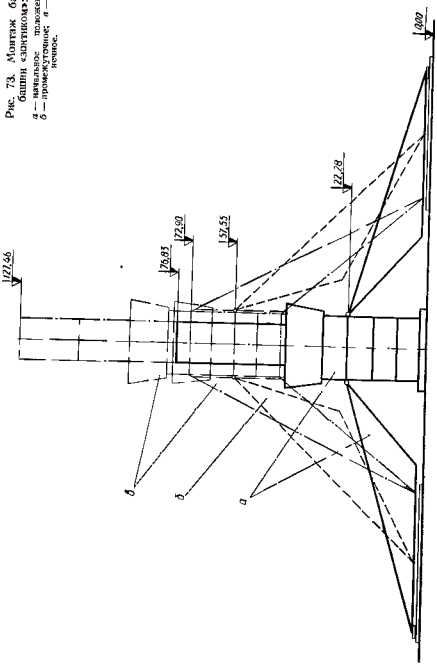


Рис. 73. Монтаж базы башни «Шухпком»:
а — начальное положение; б — промежуточное; в — конечное.

этом нагрузка от выжимаемой части башни воспринималась остальными шестью поясами ствола. Затем толкатель с трубой выводили в вертикальное положение, производили его проверку, подгонку стыка к вышерасположенным трубам поясов, зачистку и автоматическую сварку в среде углекислого газа. Для этого в кондукторе на отм. 5,76 м были предусмотрены выдвижные консольные площадки. Для защиты рабочего места от атмосферных осадков и ветра площадки закрывали брезентовыми палатками.

После контрольной ультразвуковой дефектоскопии сварных швов двух стыков поясов ствола и включения их в работу все операции производили

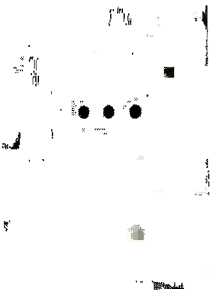


Рис. 74. Фрагмент гидродомкратной установки для подъема башни

на следующих двух поясах башни, расположенных в перпендикулярной плоскости относительно первых. Таким же образом монтировали остальные четыре трубы поясов ствола. Затем полиспастами опускали монтажную диафрагму и закрепляли ее к упорным шайбам толкателей одновременно производили повторно проверяли геометрию ствола, после чего автокраном монтировали элементы решетки — распорки и раскосы. Стыки элементов решетки ствола готовили под сварку в соответствии с требованиями специальной инструкции, разработанной Институтом электросварки им. Е. О. Патона АН УССР. Сварку выполняли вручную с последующим 100%-ным ультразвуковым контролем.

После выполнения этих работ начали подъем башни гидродомкратной установкой (рис. 74). Высота подъема башни без переналадки системы соответствовала рабочему ходу поршня гидродомкрата (900 мм). Закончив подъем на такую высоту, каждую пару противолежащих толкателей поворачивали вокруг вертикальной оси на определенный угол, чтобы их упоры совпали со сквозными пазами в упорных шайбах. Затем эти толкатели вместе со штоками поршней гидродомкратов опускали в исходное положение, а упорные шайбы оставались закрепленными на нижних концах трубчатых поясов ствола. В таком положении толкатели разворачивали в обратном направлении и их упоры плотно соприкасались с упорными шайбами. После переналадки четырех пар толкателей повторяли подъем на следующие 900 мм. Подъемом ствола на величину яруса (8 м) цикл заканчивался

Подращивание башни на один восьмиметровый ярус выполняли за 17—18 смен, т. е. за 8—9 рабочих дней. Масса конструкций каждого яруса в зависимости от толщины труб колебалась от 31 до 45 т. При монтаже базы «зонтиком» система СНУ предотвращала перекос ствола башни под воздействием ветровых нагрузок и других неучтенных усилий. При этом отклонения оси ствола от вертикали не только не превышали нормативных 0,001H (СНиП II-8-75, табл. 26), а были меньше их в 2—4 раза.

Принцип работы СНУ заключается в следующем. Монтажные опорные «башмаки ног» специальными сжимами закрепляли к канатам одинарных секций для предотвращения проскальзывания каната. При подъеме базы нижние концы четырех ее «ног» перемещались по накаточным путям на одинаковые расстояния, так как в замкнутой кольцевой канатной системе с предварительным натяжением происходило перераспределение и выравнивание усилий. Усилия в системе в процессе подъема изменялись в небольших пределах, а максимальное отставание «ног» базы при перемещении по накаточным путям не превышало 40 мм.

После каждого подъема ствола на один ярус монтажные опорные «башмаки» базы дополнительно фиксировали специальными противоугонными устройствами, которые устанавливали и закрепляли на рельсах накаточных путей. Контроль за перемещением монтажные опорных «башмаков» базы производили по горизонтальной разметке, нанесенной на накаточных путях. Одно деление разметки соответствовало вертикальному перемещению башни на 900 мм, т. е. на величину рабочего хода штока поршня гидродомкрата.

В процессе монтажа базы башни «зонтиком» смонтировали шесть ярусов ствола за 58 рабочих дней. На конечной стадии этого этапа на гидродомкратную установку приходилась нагрузка величиной 1364 т.

После установки базы в проектное положение произвели тщательную выверку вертикальности смонтированной части башни. Монтажные «башмаки ног» базы электросваркой закрепили к временным монтажным фундаментам, непосредственно примыкающим к постоянным фундаментам башни, и демонтировали СНУ.

Башенным краном КБ-1000 и лебедками между отм. 40,00—72,00 м смонтировали распорки и раскосы, соединяющие между собой вертикальные пояса «ног» базы башни в обойму. Одновременно производили монтаж наружных обслуживающих площадок базы на отм. 40,00 и 72,00 м, которые во время монтажа башни подращиванием выполняли роль диафрагм базы и поэтому были усилены. В этот же период производили бетонирование верхних частей фундаментов. Когда бетон фундаментов «ног» достиг 70%-ной проектной прочности, монтажные опорные «башмаки ног» базы были срезаны и шарнирные балки на отм. 72,00 м демонтированы. Таким образом, нагрузки от массы базы и других воздействий, воспринимаемых базой были переданы на

постоянные фундаменты и ствол башни получил возможность свободного вертикального перемещения внутри обоймы базы.

Перед подращиванием ствола на верхних концах всех восьми труб вертикальных поясов базы были смонтированы верхние рычажные направляющие устройства. Назначение этих устройств заключается в передаче горизонтальных усилий от ствола на базу башни при его выдвижении, а также во временном закреплении ствола откидными хомутами в период монтажа элементов решетки подращиваемого яруса и в случае ураганного ветра. Каждое направляющее устройство было рассчитано на восприятие горизонтальной нагрузки величиной 80 т (от ураганного ветра). Кроме того, верхние направляющие устройства совместно с нижними, смонтированными на отм. 8,50 м кондуктора, образовали направляющий «канал» высотой около 64 м, который обеспечил вертикальность движения ствола при его выталкивании, а также восприятие момента от горизонтальных воздействий на этом плече.

Монтаж ствола башни способом подращивания на этом этапе принципиально не отличается от описанного при подъеме базы «зонтиком». Параллельно с подращиванием ствола по мере его выдвижения башенным краном КБ-1000 на отм. 72,00 м укрупненными блоками подавали металлоконструкции кольцевых площадок. Их установку с одной стороны производили краном КБ-1000, а на противоположную сторону ствола блоки площадок подавали лебедками через отводные однорольные блоки. На верхней площадке кондуктора было оборудовано рабочее место для укрупнительной сборки и установки диафрагм по стволу башни по мере его выдвижения.

В связи с тем, что ствол башни заканчивался на отм. 64,00 м, для выталкивания его на проектную отметку потребовалось восемь дополнительных ярусов, т. е своеобразная монтажная опора, получившая название «хвостовик». Технические характеристики яруса «хвостовика» аналогичны характеристикам ствола башни. Учитывая, что «хвостовик» являлся временной конструкцией, все его элементы были выполнены из обычной стали класса Ст3, пояса из труб, а решетка из прокатных профилей. Масса «хвостовика» составляла 155 т.

После выдвижения ствола башни на проектную отм. 240,00 м была выполнена тщательная его выверка относительно вертикальной оси. Проектное защемление ствола в базе было осуществлено между отм. 64,00—72,00 м путем соединения вертикальных поясов базы и ствола стальными листами на сварке и двумя горизонтальными диафрагмами из труб. Верхние направляющие устройства были демонтированы, «хвостовик» отсоединен от ствола и нагрузка от массы ствола башни, антенны «Алтай», части конструкций верхнего технического здания была передана на базу. Эта операция была осуществлена путем одновременного снятия нагрузки со всех домкратов гидролодъемной установки.

На этом этапе было смонтировано семь яругсов ствола и восемь хвостовика, четыре наружных площадки, металлоконструкции нижнего технического здания массой 63 т, расположенные внутри ствола.

При первом подъеме на этом этапе монтажа башни масса выдвигаемого блока составила 871 т, последний блок имел массу 1387 т, т. е. на 2% больше номинальной грузоподъемности гидродомкратной установки. Однако положительные результаты испытаний каждого гидродомкрата с номинальной грузоподъемностью 170 т на статическую нагрузку 250 т с большой выдержкой во времени гарантировали надежность работы гидродомкратной установки с таким незначительным перегрузом в течение выталкивания последнего яруса. Монтаж ствола башни продолжался 85 дней, т. е. 6 дней на один восьмиметровый ярус. В течение этого времени верх башни был поднят с отм. 127,00 на отм. 240,00 м.

Последний этап монтажа башни потребовал проведения подготовительных работ, необходимых для ведения монтажа методом подращивания конструкций антенн шахты лифтов. Между отм. 64,00 и 56,00 м были демонтированы конструкции «хвостовика», опора-кондуктор с гидроподъемными устройствами и забетонированы в приямках концы труб последнего яруса «хвостовика». Из конструкций, полученных от демонтажа кондуктора, изготовили, а затем смонтировали рабочую площадку на отм. 56,00 м оставшейся части «хвостовика». На этой рабочей площадке смонтировали конструкции ленточных подъемников с гидродомкратами и насосную станцию.

Отличительной особенностью этапа монтажа антенн и шахты лифтов является то, что значительный объем подготовительных работ осуществляли параллельно с монтажом ствола башни. Прежде всего выполнили укрупнительную сборку антенн на временных фундаментах в блоки, равные величине антенны каждого диапазона. Каждый диапазон антенны в вертикальном положении, т. е. аналогично рабочему, был временно закреплен на монтажных фундаментах. В таком положении организации треста Радиострой производили монтаж всего антенно-фидерного оборудования, его предварительную настройку и испытание. В отличие от применявшихся ранее способов монтажа антенн способ подращивания дал возможность подавать в монтаж блоки диапазонов антенн с полностью смонтированным радиофидерным и электрическим оборудованием, со всеми внутренними лестницами и площадками. Эти обстоятельства впоследствии позволили на сокращение сроков ввода в эксплуатацию нового телецентра.

При монтаже конструкций башни на всех этапах большое внимание было уделено геодезическому контролю. Новый метод монтажа башни позволил осуществить эти работы по специально разработанной методике геодезического контроля при монтаже

башни высотой 380 м Киевского телецентра. Точность геодезических работ соответствовала требованиям СНиП III-18-75 и технического проекта. На площадке и за ее пределами были закреплены главные оси башни и сеть основы для высотных геодезических отметок. Достаточно массивные реперы обеспечили сохранность разбивки главных осей, и ими постоянно пользовались при геодезических работах на всех этапах монтажа башни. Высотная геодезическая основа служила для контроля отметок конструкций башни при ее возведении, проведении периодических наблюдений за просадками фундаментов на разных этапах монтажа и при эксплуатации сооружения.

На монтаже башни Киевского телецентра работники геодезической службы удачно использовали геометрический центр (который не был занят, как в других случаях, монтажным оборудованием) для размещения геодезических приборов и приспособлений. В центре верхней секции ствола башни, смонтированной на подготовительном этапе способом наращивания, выверенной обычными методами и закрепленной на опоре-кондукторе, установили геодезическую пластину-палетку размерами 300×300 мм, изготовленную из прозрачного оргстекла. На пластину-палетку была нанесена сетка с ценой деления 10 мм в виде двух взаимно перпендикулярных осей, проходящих через ее центр. Центр пластины-палетки совместили с вертикальной осью башни, а оси сетки строго сориентировали по осям башни. На центральном фундаменте с максимально возможной точностью закрепили геометрический центр башни, на котором установили постоянный металлический столик с принудительным центрированием. На этом столике был установлен прибор вертикального визирования «Зенит-линия» с точностью измерения до 1 мм на 100 м производства фирмы «Карл-Цейсс» Германской Демократической Республики.

В основу разработанной методики геодезических работ были положены измерения отклонений вертикальной оси башни от вертикального луча. Закрепленный над геометрическим центром столик использовали также для выноса высотных отметок под установку горизонтальных элементов решетки башни. По окончании монтажа положение башни проверили двумя способами: прибором «Зенит-линия» и теодолитами ТБ-1. Теодолиты были установлены на дальних пунктах геодезического обоснования главных осей башни. С этих пунктов производили визирование на марки, нанесенные яркой краской на распорки «ног» базы и ствола.

Соблюдение вертикальности при установке базы и выведение ее вертикальной оси на ось башни позволило в дальнейшем с высокой точностью завершить монтаж ствола, антенны и шахты лифтов. При монтаже антенн и шахты лифтов вертикальность выдвигаемого блока обеспечена направляющими, расположенными на антенне и шахте лифтов, и упорами на диафрагмах

ствола, а также направляющими «хвостовика» и упорами на строповочной раме. Стыкуемый блок выставляли по осям, накернённым на металлическом листе, закрепленном на центральном фундаменте. Вертикальность антенны периодически контролировали теодолитом. Проверку вертикально смонтированных конструкций на отдельных этапах монтажа производили в предрассветные часы при отсутствии ветра и по возможности в пасмурную погоду, чтобы исключить влияние одностороннего нагрева конструкций башни солнечными лучами. Это обеспечило высокую точность контроля в процессе монтажа и закрепления сооружения в проектном положении при минимальных затратах. Допускаемое отклонение ствола башни от вертикальной оси составляет 1/1000 высоты башни, или 240 мм (СНиП III-18-75, табл 26), а фактическое отклонение равно 30 мм. Фактические отклонения от вертикали отдельных граней башни составили до ±10 мм, смонтированной антенны — в пределах 25 мм.

Принятый вариант монтажа башни Киевского телецентра способом подращивания обеспечил возможность совмещения ведения и параллельной работы не только по укрупнению и монтажу металлоконструкций, но и специальных работ, связанных с монтажом и настройкой радиотехнического оборудования. Монтаж башни высотой 360 м продолжался 29 месяцев. Общие трудозатраты составили 17669 чел.-дней. На темпы монтажа и продолжительность строительства башни существенное влияние оказывали не только некомплектные поставки металлоконструкций и специального монтажного оборудования, но и экспериментальные работы, без которых нельзя было обойтись, принимая во внимание, что способ монтажа башни осуществлялся на практике впервые. Тем не менее на монтаже башни Киевского телецентра средняя выработка на одного рабочего составила 213 кг металлоконструкций в день, а с учетом монтажа вспомогательных конструкций и монтажной оснастки — 227 кг. Эти результаты значительно выше, чем достигнутые на монтаже более низких и менее сложных конструктивно башен, монтировавшихся другими способами.

Таким же способом решено смонтировать башню Харьковского телецентра.

МОНТАЖ БАШЕН СИСТЕМАМИ ПОЛИСПАСТОВ С ЭЛЕКТРОЛЕБЕДКАМИ

Преимущества монтажа башен способом подращивания способствовали разработкам новых схем его применения. В последние годы была решена проблема монтажа способом подращивания наиболее распространенных типов башен с пирамидальным очертанием всего ствола или его части. В основу разработок положена идея максимального использования многоцелевого оборудования и такелажной оснастки. Объем приспособлений

специального назначения сведен к минимуму. В качестве тяговых устройств используют многониточные полиспасты и электрические лебедки. Все используемое оборудование является многоцелевым и типовым, имеется в монтажных организациях, стоимость его значительно ниже, трудозатраты на монтаж меньше. Однако грузоподъемность таких средств ограничена и синхронность работы нескольких полиспастов обеспечить труднее, чем работу гидродомкратных подъемных установок. Кроме того, описываемая схема работы не допускает никаких перегрузок подъемной системы, поэтому ее применение ограничивается общей грузоподъемностью полиспастов.

Таким способом осуществлен монтаж башни-трубы высотой 180 м с тремя газоотводящими стволами на одном из химических заводов. Всего было смонтировано 2500 т металлоконструкций.

Один из вариантов схемы монтажа башни способом подращивания с выдвижением ее верхнего блока полиспастом разработан проектно-конструкторским бюро Республиканского объединения Укрстальконструкция с участием ГПИ Укрпроектстальконструкция. Для осуществления монтажа способом подращивания башням на стадии проектирования необходимо придать соответствующую конструктивную форму. Нижний блок башен проектируют пирамидальным, а верхний (выдвигаемый при монтаже) - призматическим. Отметка перехода одной формы в другую определяется техническими характеристиками самоходных кранов (грузоподъемность и длина стрелы), которыми обычно монтируют нижнюю (пирамидальную) часть башни. При возможности монтажа этой части башни поворотом вокруг шарниров отметка перехода сечения может быть поднята и конструкция башни по расходу металла будет более оптимальной.

ГПИ Укрпроектстальконструкция запроектировал ряд унифицированных башен для газоотводящих стволов различных отраслей промышленности. Такие башни имеют высоту 100—170 м и предназначены для газоотводящих стволов диаметрами 2—3,8 м в I—IV ветровых районах (СНиП II-6-74). Эти башни имеют трехгранное очертание. Переход с пирамидальной части на призматическую предусмотрен на отм. 60,00 м. Пояса и распорки изготавливают из труб, раскосы из уголков и частично из труб. До отм. 60,00 м узлы поясов выполнены болтовыми на фланцах (по требованию монтажников), а выше 60 м — сварными встык.

Рассматриваемый способ монтажа башни можно разделить на два этапа

На первом производят монтаж конструкций гусеничным краном СКГ-100БС, причем параллельно с монтажом пирамидальной части внутри ее устанавливают конструкции верхней части башни. Укрупнение конструкций в блоки выполняют в горизонтальном положении в непосредственной близости от фундаментов башни на специальных стеллажах. Конструкции пирамидаль-

ной и частично призматической частей башни укрупняют в блоки параллельно. Так как верхний блок на первом этапе работ располагают внутри башни, его высота принимается равной 50 м при высоте башни 140 м. Эту часть башни укрупняют в три блока: два по 20 м и один 10 м (соответственно их проектным отметкам 90,00; 110,00 и 130,00 м).

На втором этапе монтажа башни (при подращивании верхнего блока) выполняют вертикальное выдвижение верха башни тремя полиспастами и тремя электролебедками. Вертикальность перемещения обеспечивают направляющие в виде винтовых упоров, закрепленные в узлах поясов пирамидальной части на отм. 30,00; 40,00 и 50,00 м. Они рассчитаны на восприятие горизонтальных усилий от ветровых нагрузок (до 8 м/с).

Процесс возведения башни состоит из XVIII этапов (рис. 75).

Этап I. Краном СКГ-100БС в центре башни устанавливают блок, который во время укрупнения оснащают всеми проектными лестницами и площадками. Точность его установки в плане и по высоте составляет ±5 мм, а отклонение от вертикали — не более 20 мм. Масса блока составляет 19,2 т. Его положение соответствует проектному между отм. 90,00 и 110,00 м.

Этап II. Краном СКГ-100 БС последовательно устанавливают на фундаменты три блока «ног» базы башни массой 13,5 т каждый. Раскрепление их в пространстве осуществляют путем опирания на блок, установленный в центре, через временные упоры, которые устанавливают в узлах поясов, а также монтажными листовыми деталями в местах сопряжения блоков. Перед окончательным проектным оформлением узлов блоков производят их выверку. Затем монтируют и закрепляют постоянные лестницы с площадками и срезают монтажные листовые детали крепления.

Этап III. Краном СКГ-100 БС устанавливают следующий блок на ранее смонтированный в центре башни. Этот блок включает два яруса призматической части башни, которые соответствуют проектным отметкам от 110,00 до 130,00 м, его масса составляет 13,7 т. Его также оснащают проектными постоянными лестницами и площадками. После установки производят выверку блока и проектное закрепление.

Этап IV. Краном СКГ-100 БС устанавливают еще три блока массой 9,40—9,70 т на отм. 20,20 м на ранее смонтированную пирамидальную часть башни. Временное крепление к центральному блоку выполнено аналогично креплению конструкций на втором этапе. После выверки проектного оформления узлов, удаления временных крепежных деталей монтируют проектные лестницы и площадку-диафрагму на отм. 40,00 м.

Этап V. Краном СКГ-100 БС устанавливают верхний блок призматической части на отм. 40,00 м на ранее смонтированный в центре башни блок, и дальнейшие работы выполняют так же, как на третьем этапе.

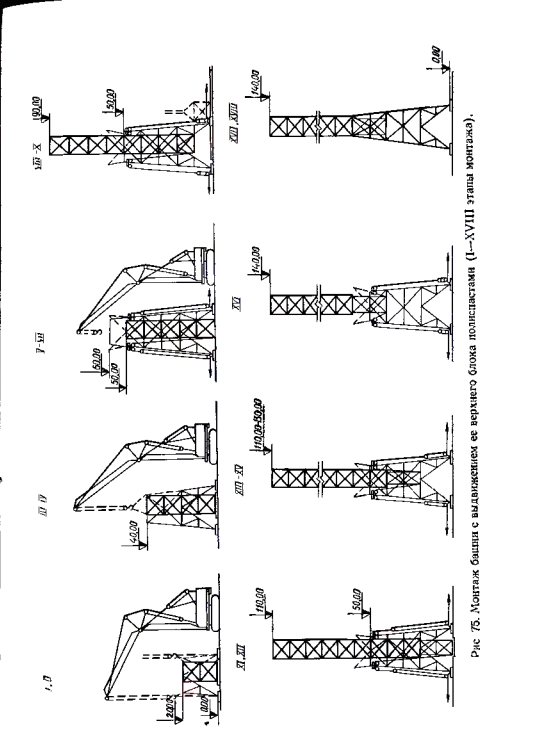


Рис. 75. Монтаж башни с выдвижением ее верхнего блока полиспастами (I—XVIII этапы монтажа).

Этап VI. Краном СКГ-100 БС устанавливают три блока пирамидальной части на отм. 40,00 м аналогично установке предыдущих блоков этапа IV. На этом же этапе для точной подгонки по месту на отм. 60,00 м временно устанавливают блок из растворок и площадок, входящих в нижнее сечение верхней призматической части башни. Это позволяет затем точно и быстро без дополнительной пихтовки соединить пирамидальную и призматическую части башни. После подгонки этого блока к смонтированным конструкциям пирамидальной части башни в сечении на отм. 60,00 м его узлы сваривают и блок опускают на землю. Этим этапом заканчивается монтаж нижней пирамидальной части и установка внутри верхней призматической части башни высотой 50 м.

Этап VII. Выполняют работы, связанные с подготовкой к этапам подращивания и выдвижения призматической части башни. Для этого на отм. 50,00 м в стыках поясов башни устраивают временные шарниры и разводят наружу конструкции последнего яруса, создав этим самым возможность для прохода призматической части башни при ее выдвижении. На отм. 50,00 м на каждом поясе устанавливают монтажные балки, оснащенные двумя отводными блоками. Строповку за низ призматического блока, собранного внутри пирамидальной части, выполняют канатными тягами, вторые концы которых через отводные блоки монтажных балок выведены наружу поясов башни. Здесь к канатным тягам закрепляют подвижные пятирольные блоки тяговых полиспастов. Неподвижные пятирольные блоки закрепляют к фундаментам башни. К глухим питям полиспастов для контроля усилий крепят динамометры марки ДП-5. Сбегающие нити через отводные блоки, закрепленные к фундаментам башни, направляют к пятитонным электролебедкам. На отм. 40,00 и 50 м монтируют винтовые упоры, которые принимают и передают на конструкции нижней части башни все монтажные воздействия, возникающие в процессе вертикального перемещения ярусов призматической части башни.

Этапы VIII—X. Подъемными полиспастами выдвигают башню на высоту яруса (в данном случае 10 м). Выдвигаемые конструкции сохраняют вертикальное направление благодаря наличию упоров на отм. 40,00 и 60,00 м, отрегулированных с зазором 10 мм. Закончив подъем блока на высоту яруса, на монтажных балках жимкуют строповочные тяги полиспастов и надвигают следующий ярус на центр башни. Его соединяют с низом ранее поднятого блока. В связи с тем, что на отметке стыка оборудуется постоянное рабочее место, соединение поясов башни запроектировано на сварке встык на остающихся подкладных кольцах

На этапе X подстыковывают укрупненный последний ярус верхнего блока, низ которого ранее был подогнан к верхушке нижнего блока башни, и выдвигают блок на высоту 10 м.

Этап XI. Первую секцию «хвостовика» высотой 10 м и массой 10,80 т надвигают на центр башни, соединяют с низом последнего яруса верхнего блока, освобождают от тягового каната и рычажной лебедкой растягивают подъемные полиспасты. После этого подъемные полиспасты стропят за низ секции «хвостовика» и поднимают верхний блок на высоту его яруса.

Этап XII. На центр башни подают нижнюю секцию «хвостовика» массой 14 т, соединяют ее с поднятой частью и разбирают дути надвижки. После этого верхний блок опускают на землю на временный фундамент на отм.— 1,00 м, отстроповывают тяговые полиспасты и закрепляют их за низ «хвостовика».

Этап XIII. Верхний блок башни тяговыми полиспастами выжимают на высоту яруса.

Этап XIV. Поднимают верхний блок башни на высоту 600 мм, на отм. 30,00 м устанавливают направляющие упоры под габариты «хвостовика», а на отм. 40,00 м демонтируют направляющие упоры под габариты поперечного сечения верхнего призматического блока. После выполнения перечисленных работ верхний блок выжимают на высоту яруса.

Этап XV. На отм. 40,00 м устанавливают направляющие упоры под габариты «хвостовика», а на отм. 50,00 м демонтируют упоры под поперечные габариты верхнего блока башни. Затем выжимают верхний блок на высоту яруса.

Этап XVI. На отм. 60,00 м устанавливают направляющие упоры под габариты «хвостовика» и верхний блок башни выжимают на проектную отметку.

Этап XVII. Ранее разведенные пояса с элементами решетки башни между отм. 50,00 и 60,00 м разворачивают в шарнирах в проектное положение, затягивают болты в нижних узлах и после плавного опускания блока до соприкосновения с фланцами узлов производят проектное оформление всех узлов.

Этап XVIII. Демонтаж оснастки.

Работы этапов XII—XVII необходимо выполнять непрерывно при скорости ветра не более 8 м/с. Следует отметить, что в процессе укрупнительной сборки конструкций башни одновременно устанавливают все лестницы, площадки, подмости и настилы. Укрупненные ярусы в монтаж подают по специальным путям надвижки из трех ниток рельсов Р-60 длиной 7,5 м каждая с отметкой головки рельса 0,00 м. Внутри контура башни в местах конечных положений поясов верхнего блока башни устанавливают заглубленные в землю четырехрядные шпальные клетки на песчаном основании.

Монтажный «хвостовик», прикрепляемый к нижней секции призматической части башни, предназначен для поднятия ее на проектную отметку и удержания до полного соединения обеих частей башни. Геометрические размеры наружного контура «хвостовика» приняты меньше внутреннего контура верхнего обреза пирамидальной части башни. Конструкция и сечения элементов

«хвостовика» в пределах унифицированного ряда башен приняты едиными, благодаря чему он является инвентарным, собирается на болтах и состоит из двух или трех секций по 10 м. «Хвостовик» крепится к нижним распоркам призматической части, которые в этом сечении испытывают значительные монтажные воздействия и запроектированы из сварных двутавров. Последние смещены внутрь сечения и образуют треугольный контур со сторонами, равными сечению «хвостовика».

Технико-экономические показатели монтажа башни высотой 150 м способом подращивания следующие:

Масса конструкций башни, т	190
Общее количество подъемов, шт.	28
Продолжительность эксплуатации крана МКГ-25, маш.-смены	44
То же крана СКГ-40БС	40
Средняя выработка кранов в одну смену, т	2,5
Средняя масса одного подъема, т	6,7
Среднее количество подъемов в смену	1,15
Количество монтажных болтов, шт., устанавливаемых на сборке	298
То же на высоте	166
Объем монтажной сварки наплавленного металла, кг, выполняемой на сборке	240
То же на высоте	329
Трудоемкость монтажа, чел.-дни	740
Выработка на одного рабочего в смену, кг	250
Среднее количество рабочих в смену, чел.	9
Продолжительность монтажа, смены	35

КОМБИНИРОВАННЫЕ СПОСОБЫ МОНТАЖА БАШЕН

К комбинированным способам монтажа башен относятся такие, которые совмещают два (реже три) способа. Необходимость в таком совмещении в большинстве случаев определяется местными условиями (наличие свободной от застройки территории, грузоподъемных средств, такелажных устройств) или рельефом площадки. Монтаж башни комбинированным способом при соответствующей инженерной подготовке способствует сокращению сроков возведения этих объектов, использованию отдельных частей башни в качестве монтажной оснастки. Однако при применении таких способов требуется сложная такелажная оснастка и квалифицированные рабочие.

Комбинированные способы в большинстве случаев применяют при монтаже башен в условиях строительства крупных промышленных комплексов, где работы выполняют оснащенные специализированные монтажные организации. Использование дорогостоящей монтажной оснастки и изготовление небольшого количества приспособлений компенсируются выигрышем во времени при монтаже башни.

МОНТАЖ БАШЕН СПОСОБОМ НАРАЩИВАНИЯ С ПОДРАЩИВАНИЕМ ВЕРХНЕГО БЛОКА

Удобство и безопасность производства работ при монтаже башен способом подращивания, а также другие его преимущества способствуют дальнейшему совершенствованию этого способа, разработке разнообразных схем, в том числе комбинации с наращиванием нижней части, и расширению его применения.

Одну из схем монтажа способом подращивания разработала группа инженерно-технических работников треста Центростальконструкция Минмонтажспецстроя УССР. Совместно с сотрудниками отдела высотных конструкций ГПИ Укрпроектстальконструкция была заново запроектирована стальная четырехгранная башня высотой 200 м и массой около 400 т для возведения способом наращивания с подращиванием верхнего блока. По высоте башня была расчленена на два блока: нижний — пирамидальный высотой 120 м с базой 25×25 м, оканчивающийся восьмиметровым призматическим ярусом сечением 4,90×4,90 м, и верхний — призматический высотой 80 м сечением 4,00×4,00 м. Переход от нижнего блока к верхнему осуществлен через контур, состоящий из сварных двутавровых балок высотой 1540 мм. Балки расположены на противоположных гранях каждого блока.

Монтаж башни осуществляли в такой последовательности. Нижний блок массой 320 т монтировали способом наращивания подвесным краном УПК-4 (возможен и монтаж способом поворота выжиманием). Последний ярус нижнего блока с отм. 112,00 м переходит в призматический, и на двух противолежащих гранях на отм. 118,80 м монтировали сварные двутавровые балки. Выше отм. 120,00 м был установлен восьмиметровый кондуктор, который повторял геометрию последнего призматического яруса башни. Его элементы были аналогичны элементам этого яруса. На отм. 121,00 и 128,00 м кондуктора были оборудованы рабочие площадки с настилом и ограждениями. В состав рабочей площадки на отм. 128,40 входил замкнутый контур из сварных двутавровых балок, к которым крепили траверсы строповочных канатных тяг и подъемных полиспастов (рис. 76). С внутренней стороны к поясам призматического яруса башни и кондуктора по диагонали были приварены четыре направляющие таврового сечения, усиленного ребрами из листовой стали через каждые 400 мм. Внутри нижнего блока способом подращивания укрупняли конструкции верхнего блока башни. Последовательность его укрупнения и выдвижения не отличалась от описанной выше технологии. Нижнее сечение последнего яруса, соответствующее отм. 120,00 м, заканчивалось двумя сварными двутаврами балками, которые располагали в перпендикулярных плоскостях по отношению к таким же балкам нижнего блока башни. Через 8 м в узлах верхнего блока башни устанавливали металлические упоры.

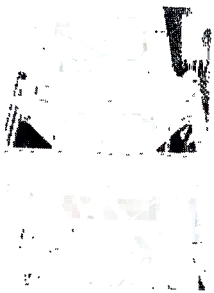


Рис. 76 Ярус с замкнутым контуром двутавровых балок.

По окончании сборки верхнего блока башни в узлах его сварных двутавровых балок через стальные пальцы диаметром 70 мм крепили строповочные канатные тяги, которые свободными концами с помощью траверсы соединяли с двумя пятирольными подъемными полиспастами грузоподъемностью 60 т каждый. Полиспасты располагали снаружи башни на ее противоположных сторонах. Неподвижные блоки подъемных полиспастов закрепляли к фундаментам, а сбегающие ветви через однорольные отводные десятитонные блоки направляли на электролебедки ЛМ-8 грузоподъемностью 8 т каждая.

Одновременно сокращая оба подъемных полиспаста, верхний блок был выдвинут на проектную отметку. При его прохождении через призматическую часть нижнего блока кондуктор упорами взаимодействовал с направляющими, обеспечивая вертикальность выдвижения. Выдвижение блока продолжали до совмещения двутавровых балок нижнего и верхнего блоков башни. При совмещении балок узлы через накладки соединяли болтами. После проектного оформления узлов полиспасты ослабляли, передавая нагрузку от верхнего блока на нижний и демонтировали монтажную оснастку. При такой схеме монтажа уменьшается количество операций по соединению блоков, а также упрощается их выполнение.

МОНТАЖ БАШЕН-ТРУБ ДВУМЯ МАЧТАМИ С ПОДРАЩИВАНИЕМ ВНУТРЕННЕГО СТВОЛА

Этот способ заключается в том, что конструкции башни укрупняют на земле, оформляют все узлы, монтируют необходимый такелаж, включая демонтажные приспособления, и двумя мачтами большой грузоподъемности устанавливают их на фундаменты. Газоотводящие стволы башен-труб в этих случаях, как правило, монтируют выдвижением с поярусным подращиванием.

Преимуществом этого способа является возможность на земле широким фроитом вести укрупнительную сборку, организовать действенный контроль за высоким качеством выполняемых работ и др. В этом случае используются все возможности, вытекающие из обстоятельств выполнения работ на низких отметках. Однако монтажные приспособления и такелаж для выполнения таких работ сложны и дороги, для сборки и обслуживания их требуются высококвалифицированные рабочие. Кроме того, дорогостоящий такелаж имеется только в крупных специализированных монтажных организациях. Поэтому несмотря на возможность сокращения сроков монтажа башен, такой способ пока не нашел широкого применения в практике.

Представляет интерес монтаж башни-трубы на Воскресенском химкомбинате, выполненный трестом № 7 Минмонтажспецстроя СССР. Конструкция башни-трубы была разработана ГПИ Укрпроектстальконструкция. Она представляет собой трехгранную усеченную пирамиду до отм. 96,00 м, а выше — до отм. 140,00 м призму массой 190 т с размерами основания 20×20×20 м и металлическим газоотводящим стволом диаметром 1800 мм массой 31 т. Пояса и распорки башня выполнены из стальных труб, раскосы — из прокатных профилей. Характерной особенностью этой башни являются бесфланцевые соединения ее поясов сваркой встык.

Башня находилась в застроенной зоне комбината со сложным расположением производственных зданий, подземных каналов и различных подъездных дорог. Безопасность ведения работ на всех этапах монтажа в этих условиях имела первостепенное значение. При выборе способа монтажа Гипронефтеспецмонтаж учел условия на строительной площадке, наличие в монтажной организации соответствующей оснастки, а также провел технико-экономическое сравнение нескольких вариантов монтажа. В результате был одобрен вариант, предусматривающий укрупнение конструкций башни на земле и подъем ее в проектное положение двумя мачтами грузоподъемностью по 160 т, высотой 62 м каждая. Монтаж газоотводящего ствола было предусмотрено осуществить способом подращивания после установки башни на фундаменты. Размещение на площадке конструкций башни, подъемных механизмов, такелажных средств и якорей показано на рис. 77.

Для укрупнения конструкций трехгранной башни характерны особенности, вытекающие из ее конструктивной формы. На монтажной площадке до начала укрупнительной сборки конструкций башни были разбиты оси, определяющие положение ее конструкций и места установки временных опор под них. Укрупнение элементов поясов в плети длиной на два яруса выполняли в специальном кондукторе (рис. 78). Элементы поясов двух ярусов устанавливали в кондуктор, и они принудительно ориентировались в пространстве в соответствии с рабочим положением. Устройство постоянного рабочего места сварщика значительно снизило трудозатраты при сварке бесфланцевых стыков поясов. Укрупнительную сборку конструкций башни вели от основания к вершине. При этом предусматривали укрупнение одной (ниж-

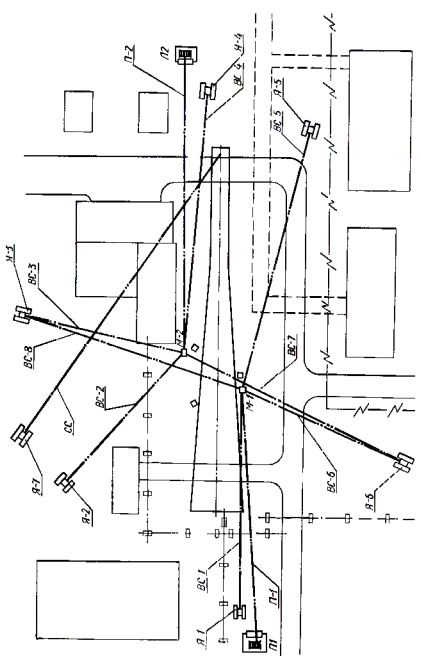


Рис. 77. Сагуудионный план при монтаже башни мачтами:
Л-1, Л-2 — грузовые лебедки, П-1, П-2 — канатные тяги грузовых полиспастов; М-1, М-2 — монтажные мачты, СС — страховочная система, ВС-1 — ВС-8 — вантовые системы монтажных мачт; Я-1 и Я-7 якоря (Я-1 и Я-4 грузоподъемностью 40 т, Я-5 — 30 т, Я-2, Я-3 — 20 т)

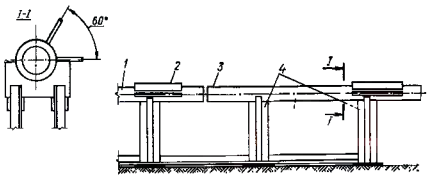


Рис. 78. Кондуктор для сборки элементов поясов:
1 — пояс башни; *2* — узловая фасонка; *3* — стык поясов, *4* — кондуктор

ней) грани в горизонтальном положении, затем установку конструкций двух других граней и в последнюю очередь — плетей третьего пояса. Сборку каждой последующей панели башни начинали после окончания всех работ на предыдущей. Все сборочно-сварочные работы наверху выполняли с монтажных люлек и лестниц, навешиваемых на металлоконструкции на земле до их подъема.

На отм. 52,00 м был устроен специальный монтажный строповочный узел. Для этого со стороны грани башни, обращенной к земле, на расстоянии 3 м от осей ее поясов (т. е. с эксцентриситетом) вваривали в решетку и раскрепляли дополнительными раскосами стальную трубу размерами 1020×14 мм. На ее концах, выступающих за пределы плоскостей боковых граней, предусматривали узлы для крепления подвижных блоков грузоподъемных полиспастов. Установив мачты в рабочее положение, их грузовые полиспасты бестросовыми захватами крепили к штуцерам монтажной строповочной балки. К смежным со строповочной балкой узлам поясов башни крепили дополнительные грузы массой 60 т для испытания всей монтажной оснастки с коэффициентом перегрузки 1,25. Включив в работу полиспасты, башню поднимали со всех временных опор (минимальный зазор над опорами до 100 мм). В таком положении осматривали конструкции башни, строповочные узлы, фундаменты мачт, якоря, проверяли закрепление электролебедок и затем опускали ее на временные опоры, после чего спимали грузы. Выполнив оставшиеся подготовительные работы — закрепление крюков трубоукладчиков за два нижних «башмака ног» базы и оттяжки за третий (верхний) «башмак».— начинали подъем башни. Подняв трубоукладчиками верх башни примерно на 1,5 м, ее разворачивали в плане в положение, удобное для посадки башмаков «ног» на фундаменты.

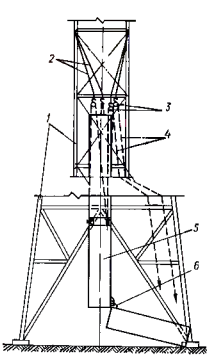


Рис. 79. Монтаж трубы газоотводящего ствола:

1 — конструкция башни; *2* — подвески полиспастной системы; *3* — блоки полиспастной системы; *4* — канаты полиспаста; *5* — труба, *6* — шарнирное монтажное соединение труб.

При подъеме башни на угол примерно 70° (такое положение было зафиксировано реперами у опор башни) включали системы оттяжек верха и низа башни. Крюки трубоукладчиков расстроповывали и отгоняли на безопасное расстояние. Одновременно работая грузовыми полиспастами и системами оттяжек, выводили башню в вертикальное положение над анкерами фундаментов. Затем опускали на фундаменты и закрепляли в проектное положение анкерными болтами. После окончательного закрепления башни на фундаментах срезали строповочные устройства и грузовыми полиспастами мачт опускали их на землю.

Монтаж трубы газоотводящего ствола способом подращивания выполняли следующим образом.

Отдельные царги на земле укрупняли в блоки массой до 5 т и высотой 18 24 м (за исключением нижнего 12-метрового). Таких блоков семь. На отм. 112,00 м закрепляли неподвижные и отводной блоки шестиниточного полиспаста, обе сбегающие нити которого направляли на электролебедки грузоподъемностью 5 т каждая. На отм. 18,70 м оборудовали рабочую площадку для проведения сварочных работ. Рабочих полиспаст для монтажа трубы закрепляли до подъема башни. Верхний блок трубы трубоукладчиком подавали к центру башни и приваренными к нему крюками соединяли с тремя подвижными блоками полиспаста. Следующий блок присоединяли шарнирно к верхнему (рис. 79). Включив в работу полиспаст, поднимали верхний блок и соединенный с ним шарнирно следующий в вертикальное положение. Опустив такой блок на фундамент, с рабочей площадки подгоняли стык под сварочные работы и сваривали его. Аналогично перестроповывая полиспаст, монтировали остальные блоки. В результате все работы были закончены в течение двух месяцев, трудоемкость составила 620 чел.-дней, выработка — 323 кг на 1 чел.-день. Хотя около 47% общих трудозатрат составили трудозатраты на монтаж-демонтаж такелажного

оборудования, общие результаты дают основание рекомендовать этот способ к распространению в организациях, располагающих соответствующим оборудованием.

МОНТАЖ БАШЕН СПОСОБОМ НАРАЩИВАНИЯ С ПОВОРОТОМ ВЕРХНЕГО БЛОКА

С оснащением монтажных организаций самоходными кранами большой грузоподъемности с длинными стрелами значительно увеличились возможности скоростного монтажа различных высотных сооружений, в частности башен. Применение таких кранов на монтаже башен взамен ранее использовавшихся различных типов самоподъемных и ползучих кранов, переставных порталов дает значительный экономический эффект. На крупных объектах, где монтаж башен осуществляется в комплексе с работами других вилов, целесообразно применять тяжелые краны МКГ-100, СКГ-100 и СКГ-63. В противном случае затраты на перебазирование крана и подготовку его к работе могут не оправдать понесенных затрат.

Опыт монтажа башен на ряде промышленных комплексов показал преимущества этого способа:

до минимума сокращаются размеры монтажной площадки;

укрупнение в блоки ярусов башни на земле с применением легких кранов удешевляет монтаж;

незначительные затраты на монтажную оснастку.

Монтаж краном нижней части башен способом наращивания не отличается от ранее описанной технологии. Использование кранов большой грузоподъемности позволяло укрупнять части башни в блоки массой до 25 т при использовании крана СКГ-100 или до 16 т при использовании крана СКГ-63. В первом случае монтаж конструкций осуществляли до 61-75 м, а во втором — до 50-55 м.

Укрупнение ярусов башни в блоки такой массы дало возможность использовать основной кран на монтаже всего около 10 дней. На Красноярском целлюлозно-бумажном комбинате на монтаже башни высотой 120 м и массой 200 т краном МКГ-100 до отм. 75,00 м смонтировали способом наращивания шесть блоков массой 18—25 т. На отм. 75,00 м в двух поясах закрепили нижние части поворотных шарниров. Остальная часть башни между отм. 75,00 и 120,00 м была укрупнена в два блока. К нижнему блоку приварили жесткую поворотную раму с подкосом, верхней тягой и консолью общей массой 12 т. Этот блок с монтажной оснасткой навесили на шарниры поясов и закрепили в них в перевернутом положении (рис. 80). Следующий блок аналогичным образом был подвешен к первому и закреплен болтами. Затем на консоль монтажного поворотного устройства подвесили тяговые полиспасты. Два тяговых полиспаста грузоподъемностью 40 т каждый неподвижными блоками закрепили к фун-

Рис. 80. Установка верхнего блока башни в шарниры.

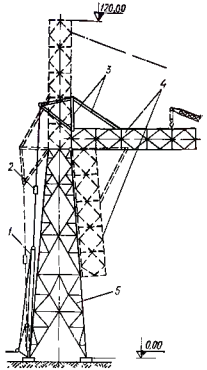


Рис. 81. Монтаж башни способом наращивания с поворотом ее верхней части:

1 — подъемные полиспасты, *2* — балансир на усилие 80 ст; *3* — поворотная рама; *4* — верхний блок башни; *5* — нижний блок башни

даментам башни, а подвижными — сблокировали один с другим через восьмидесятитонный балансир, который был подвешен канатными тягами к иршине монтажного устройства. Сбегающие нити полиспастов через отводные блоки направлялись на барабаны электролебедок грузоподъемностью 8 т каждая. Тормозной полиспаст был запасован в две нити и закреплен на электролебедке грузоподъемностью 5 т.

Поворот и установку в проектное положение верхнего блока башни высотой 45 м и массой 60 т осуществили в два этапа (рис. 81). На первом этапе краном МКГ-100 блок вывели в горизонтальное положение и после натяжения монтажных полиспастов и тросовых тяг крюк крана отстропили. На втором этапе поворот производили двумя сбалансированными полиспастами грузоподъемностью 40 т каждый. При этом главными якорями были сами конструкции башни. Угол поворота составил около 180°.

Монтаж конструкций башни осуществляли в условиях стесненной площадки, между действующими цехами и железнодорожными путями. Тем не менее, монтаж полностью завершили в течение двух месяцев и выработка на одного рабочего составила 350 кг металлоконструкций в день.

Практика подтверждает целесообразность применения описанного метода монтажа в случаях наличия на площадке кранов большой грузоподъемности, одновременно выполняющих монтаж других сооружений.

МОНТАЖ БАШЕН СПОСОБОМ ВЫЖИМАНИЯ С ПОВОРОТОМ ВЕРХНЕГО БЛОКА

В условиях стесненной площадки, обычно на действующих предприятиях, размещение подъемных механизмов и других такелажных устройств сопряжено с определенными трудностями. Поиск оптимальных вариантов возведения башен в таких условиях зачастую приводит к комбинированным способам монтажа. Кажущееся на первый взгляд усложнение такелажа в конечном итоге приводит к сокращению сроков возведения объекта.

Примером может служить комбинированный монтаж башни-трубы высотой 100 м и массой 112 т на заводе «Узбекхиммаш». Башня имела форму усеченной четырехгранной пирамиды с размерами основания 14×14 м, верха — 3×3 м и была расположена в застроенной части действующего предприятия. С трех сторон башню окружали производственные корпуса, расположенные в 7,5—11 м от осей ее фундаментов. Такие размеры площадки в условиях работающего в три смены предприятия не давали возможности использовать для скоростного монтажа ни один из известных способов возведения башен. В результате технико-экономического анализа нескольких вариантов монтажа приняли решение осуществить монтаж башни комбинированным способом — вначале выжиманием нижней части башни с использованием для монтажа ее конструкций, затем поворотом верхней части башни в шарнире с применением четырехзвенной поворотной рамы «велосипедного» типа.

Монтаж башни включал несколько последовательно выполняемых этапов (рис. 82). Башню собирали на земле в горизонтальном положении в направлении от фундаментов к вершине. «Башмаки» нижних поясов были оснащены поворотными шарнирами, установленными на фундаменты башни. На расстоянии от фундамента, соответствующем отм. 60,00 м, башню разделили на два блока — нижний и верхний. В месте разъема устроили шарнир, которым соединили оба блока. На шарнире закрепили поворотную раму «велосипедного» типа массой 18 т, изготовленную из труб размерами 377×9 мм, и две выжимных рамы длиной соответственно 15 и 28 м, изготовленных: первая — из труб размерами 529×8 мм и массой 4 т; вторая — 720×8 и 529×

Рис. 82. Монтаж башни корифейным способом:
а — установка нижнего блока башни; *б* — подъем нижнего блока башни; *в* — перемещение выжимной рамы; *г* — установка второй выжимной рамы; *д* — перемещение верхней части башни; *е* — установка верхнего блока башни; 1 — нижний блок башни; 2 — вторая выжимная рама; 3 — верхняя часть башни; 4 — верхний блок башни; 5 — оголовок; 6 — «велосипедная» рама; 7 — «башмаки»; 8 — первая выжимная рама; 9 — подвижные блоки нижних полиспастов

×8 мм и массой 9 т. Верх башни нарастили временным решетчатым оголовком длиной 13 м из труб размерами 219×8 мм и массой 9 т. Для подъема башни запасовали две пары полиспастов — нижние грузоподъемностью по 60 т каждый с двумя электролебедками грузоподъемностью по 8 т каждая и верхние грузоподъемностью по 50 т каждый с электролебедками грузоподъемностью по 5 т. Тормозной полиспаст закрепили к гусеничному тягачу.

После укрупнения металлоконструкций и монтажа всех такелажных устройств начали подъем нижнего блока башни (рис. 82, *б*). Для этого верхними полиспастами повернули «велосипедную» раму и башню поворотом в шарнирах подняли на 8,5 м. «Велосипедная» рама при повороте опорными «башмаками» скользила по рельсовым направляющим (ширина колеи 7,4 м, длина — 36 м). Временный решетчатый оголовок башни перемещался по рельсовым направляющим с шириной колеи 4 м (общая длина этих направляющих 90 м). В результате выжимная рама длиной 15 м, перемещаясь по направляющим с шириной колеи 7,4 м, заняла положение под углом 32° к горизонту. К ее опорным «башмакам» крепили подвижные блоки нижних полиспастов и выжимали башню до отм 14,00 м в месте ее излома (рис. 82, *в*). Выжимную раму фиксировали от обратного хода После этого подвижные блоки нижних полиспастов отсоединяли от первой выжимной рамы, растягивали полиспасты и закрепляли за низ второй выжимной рамы длиной 28 м, которая передвигалась по тем же направляющим, заняв положение под углом 30° к горизонту. Включив в работу нижние полиспасты на этом этапе, второй выжимной рамой поднимали башню в сечении устройства шарнира до отм. 27,00 (рис. 82, *г*). В таком положении закрепляли низ рамы, предотвращая ее самопроизвольный обратный ход. Нижние полиспасты растягивали вновь и их подвижные блоки крепили к временному решетчатому оголовку верхней части башни. Верхняя часть башни, занявшая к этому моменту положение под углом 30° к горизонту, включалась в работу, как одно из звеньев подъемной такелажной оснасткой (рис. 82, *д*). Сокращая нижние полиспасты, верхним блоком башни, оголовок которого перемещался по рельсовым направляющим, выжимали нижний блок в положение, близкое к вертикальному. После перехода нижнего блока через положение неустойчивого равновесия последний устанавливали на фундаменты под действием собственной массы и торможением оттяжкой. После выверки и закрепления блока башни на фундаментах анкерными болтами удаляли весь такелаж, приспособления и срезали временный оголовок (рис. 82, *е*). Все операции, связанные с установкой нижнего блока на фундаменты, заняли 12 ч. Подъем и установку в проектное положение верхнего блока башни выполняли двумя верхними полиспастами, подвижные блоки которых закрепляли за уэлы поворотной рамы При сокращении этих полиспа-

стов поворотная рама вращалась на оси и канатными тягами, закрепленными за узлы верхнего блока, поднимала его, поворачивая в шарнирах разъема. На заключительном этапе поворота верхнего блока башни установку его в проектное положение выполняли торможением оттяжкой. Подъем и установка верхнего блока башни продолжались 1,5 ч.

В результате монтажа башни описаным способом получен экономический эффект около 8 тыс. руб., снижены трудозатраты до 20%, достигнута выработка до 180 кг металлоконструкций на 1 чел.-день.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ МОНТАЖА БАШЕН

Дальнейшее совершенствование технологии монтажа башен, появление новых средств для подъема грузов привели к разработке новых способов возведения высотных сооружений. Некоторые из этих способов проходят экспериментальную проверку, другие находятся еще в стадии разработки или на уровне технических предложений.

К перспективным способам монтажа стальных башен можно отнести: монтаж вертолетами наращиванием или поворотом вокруг шарниров; монтаж поворотом вокруг шарниров двумя кранами, полиспасты которых наклонены к стреле; монтаж поворотом вокруг шарниров двумя кранами, оголовки стрел которых соединены ригелем; монтаж поворотом вокруг шарниров с помощью тяговых двигателей, которые крепят к конструкциям башни; монтаж с применением дирижаблей.

Из перечисленных способов все большее распространение находит монтаж стальных башен вертолетами. Большую практическую работу по разработке и внедрению этого способа выполнили Всесоюзный научно-исследовательский институт гражданской авиации СССР и проектный институт Промстальконструкция Минмонтажспецстроя СССР.

Монтаж башен вертолетами. Техническая возможность и целесообразность применения вертолетов для монтажа башен подтверждаются примерами отечественной и зарубежной практики. Применение вертолетов дает положительный эффект на монтаже башен: в труднодоступных районах, когда монтажные работы необходимо сочетать с доставкой конструкций;

при реконструкции башен в условиях действующих предприятий, когда остановка производства на длительное время невозможна;

при возведении башен в стесненных условиях стройплощадки, когда невозможно обойтись без большого объема подготовительных работ, в том числе реконструкции ряда строений, невозможно разместить такелажные средства или подъемные устройства.

При использовании вертолетов требуется обязательно предусматривать такие мероприятия:

разработку проекта производства работ с технико-экономическим обоснованием;

проектирование и изготовление специальных направляющих и фиксирующих приспособлений;

выбор посадочной площадки на минимальном расстоянии от монтируемого объекта;

отработку системы сигнализации для четкого взаимодействия летного экипажа с руководителем монтажа;

устройство необходимых ориентиров.

В зависимости от района монтажа изменяется стоимость эксплуатации вертолета за один летный час. Министерством гражданской авиации СССР установлены тарифы за каждый летный час эксплуатации вертолетов на строительно-монтажных работах (табл. 18).

Несмотря на высокую стоимость летного часа, применение вертолетов на монтаже башен является весьма эффективным. Монтаж башен вертолетами выполняли способами наращивания и поворота вокруг шарниров. При монтаже башен способом наращивания вблизи монтажной площадки конструкции укрупняли в блоки массой, соответствующей грузоподъемности вертолета на внешней подвеске.

Такой блок закрепляли к внешней подвеске вертолета таким образом, чтобы он занимал в пространстве положение, близкое к проектному. Вертолет поднимал блок над смонтированной частью башни и зависал. По команде руководителя монтажа монтируемую конструкцию опускали и наводили на узлы с помощью специальных ловителей-направляющих. После этого ее закрепляли болтами. Так была смонтирована стальная башня высотой 100 м и массой 160 т за 168 ч вертолетом Ми-10К (г. Миасс, Челябинская обл.).

Таблица 18. **Тарифы за летный час эксплуатации вертолетов на строительно-монтажных работах, руб.** [24]

Тип вертолета	Грузоподъемность на внешней подвеске, т	Тарифы по районам *			
		I	II	III	IV
Ми-4	1,30	210	220	230	240
Ми-8	3,00	590	600	610	620
Ми-6	8,00	1100	1200	1400	1600
Ми-10К	11,00	1200	1320	1530	1760

* Группы районов эксплуатации:
I — Европейская часть СССР (без районов Крайнего Севера), Кавказ и Средняя Азия
II — районы Крайнего Севера Европейской части СССР, Урал и Западная Сибирь
III — Мурманская область, Центральная и Восточная Сибирь, Хабаровский и Приморский края
IV — Якутская АССР, Камчатская, Сахалинская, Магаданская области и другие наиболее отдаленные районы страны.

Монтаж металлических башенных опор линии электропередачи высотой 25 м и массой 3—4 т выполнили методом поворота в шарнире. К собранной на земле и закрепленной на двух фундаментах шарнирами башне подлетал вертолет с опущенными канатами внешней подвески длиной 21 м. Во время зависания вертолета над опорой внешнюю подвеску стропили к ее вершине. Затем вертолет плавно набирал высоту до натяжения каната внешней подвески, после чего переходил к дальнейшему набору высоты с одновременным горизонтальным перемещением в направлении поворота башни-опоры. После посадки башни-опоры на фундаменты ее временно раскрепляли расчалками и затягивали гайки анкерных болтов. Время от зависания вертолета над опорой сброса строп внешней подвески после ее установки в проектное положение составило более двух минут.

На трассе газопровода Ухта - Надым 80-метровую башню массой 25 т устанавливали вертолетом Ми-10К. Подъем башни длился всего пять минут (для монтажа обычным методом требуется около месяца).

Монтаж башен двумя одновременно работающими кранами. На монтаже башен высотой 50 -70 м перспективным может быть способ подъема этих сооружений поворотом в шарнире двумя самоходными стреловыми кранами с наклоненным в сторону стрелы грузоподъемным полиспастом. Этот способ рассчитан на значительное повышение устойчивости крана и увеличение его грузоподъемности за счет того, что грузовой полиспаст при подъеме конструкций способом поворота всегда имеет наклон в сторону стрелы и его направление не выходит за ребро опрокидывания крана. Способ был проверен на монтаже нескольких вертикальных аппаратов наклонного типа на ряде химических и нефтегазоперерабатывающих предприятий. Теоретически и практически подтверждено, что данный способ позволяет устанавливать вертикальные конструкции массой, превышающей общую максимальную грузоподъемность двух кранов в 2—5 раз. Трудоемкость монтажа этим способом по сравнению с трудоемкостью монтажа таких конструкций мачтами снижается в 3—4 раза.

Положительный опыт монтажа вертикального оборудования спаренными кранами со стрелами, оголовки которых соединены ригелем, также дает основание рекомендовать этот способ для использования в практике монтажа башен. Этот способ позволяет увеличить суммарную грузоподъемность кранов на 40—42% по сравнению с паспортной.

Отдельные попытки монтажа башен высотой до 60 м таким способом в сочетании с поворотом вокруг шарниров и последующим дотягиванием их тракторами дали положительные результаты. Количество такелажной оснастки, объем подготовительных работ сводятся к минимуму. Стоимость монтажа башен спаренными кранами со стрелами, соединенными ригелями, приближается к стоимости монтажа таких объектов отдельными кранами.

Монтаж башен тяговыми двигателями. Представляют интерес предложения, содержащие технические решения, предусматривающие использование двигателей, в том числе и реактивных для монтажа башен способом поворота в шарнирах.

Предлагается закрепить шарнирно в узлах собранной на земле башни двигатели и за счет их тяги при работе осуществить поворот башни в шарнирах до проектного положения. Посадку башни на фундаменты будут осуществлять дополнительной канатной тягой и лебедкой. Предварительные расчеты подтверждают возможность осуществления монтажа башен таким способом и его высокую экономичность.

Использование дирижаблей. В последние годы многие ученые и инженеры вернулись вновь к идее использования дирижаблей в народном хозяйстве. В наше время созданы синтетические материалы для прочных, газонепроницаемых, легких и дешевых оболочек, имеется достаточное количество самых разнообразных авиационных двигателей, несложно получение достаточного количества гелия. Эти обстоятельства открывают необходимые перспективы для дирижаблестроения. В некоторых крупных городах нашей страны, в частности в Киеве, на общественных началах работают конструкторские бюро, которые разрабатывают основы технологии и обоснования экономической эффективности использования дирижаблей в строительстве. Данные расчетов подтверждают несомненные преимущества этого вида грузоподъемного средства.

Дирижаблями можно будет в собранном виде перевозить опоры ЛЭП, радиорелейных линий, радио- и телебашни, а также другие сооружения башенного типа. Будет создана реальная возможность готовые к эксплуатации башни высотой 150—200 м и массой 300—350 т перевозить с базовых сборочных площадок или заводов непосредственно к месту установки и в течение нескольких часов устанавливать в проектное положение. Преимущества такого способа монтажа башен особенно будут ощущаться в условиях труднодоступных площадок (в горной, лесистой местности, северных районах страны). Это внесет коренные изменения в технологию возведения сооружений башенного типа.

ПРИКНИЖНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Материалы XXV съезда КПСС. М., Политиздат, 1976.

2. Башмаков Ю. И. и др. Проектирование и монтаж высоких опор. К., Будівельник, 1968.

3. Беленя Е. И., Гениев А. И., Балдин В. А и др. Металлические конструкция. М., Стройиздат, 1973.

4. Броверман Г. Б Строительство башенных и мачтовых сооружений М., Стройиздат, 1970.

5. Соколов А. Г Опоры линий передач. М., Госстройиздат, 1961

6 Солодарь М. Б., Кузнецова М. В. Плишкин Ю. С. Металлические конструкции вытяжных башен. Л., Стройиздат, 1975.

7. Соколов А. Г. Металлические конструкции антенных устройств. М., Стройиздат, 1971.

8. Лессич Е. Н, Лилеев А Ф., Соколов А. Г. Листовые металлические конструкции. М., Стройиздат, 1970.

9. Болтянский В. Г Математические методы оптимального управления М., Наука, 1969

10. Мельников Н. П. Металлические конструкции. Ч. I. М., Стройиздат, 1978.

11. Стрелецкий Н. С., Стрелецкий Д. Н. Проектирование и изготовление экономичных металлических конструкций. М., Стройиздат, 1964.

12. Справочник по динамике сооружений. М., Стройиздат, 1972.

13. Савицкий Г. А. Основы проектирования антенных конструкций М., Связь, 1973.

14. Савицкий Г. А. Расчет антенных сооружений. М., Связь, 1978

15 Савицкий Г. А. Ветровая нагрузка на сооружения. М., Стройиздат. 1972.

16. Беспрозванная И. М., Соколов А. Г., Фомич Г. М. Воздействие ветра на высокие сплошностенчатые сооружения. М., Стройиздат, 1975

17. Матвеев В. В. Примеры расчета такелажной оснастки. Л., Стройиздат, 1974.

18. Мельников Н. П. Пути прогресса в области металлических конструкций. М., Стройиздат, 1974.

19. Персион А. А., Седых Ю. И., Маркман Ю. Н. Справочник монтажника специальных сооружений. К., Будівельник, 1976.

20. Сытник Н. П., Павловский В. Ф. Монтаж сооружений методом подращивания. К., Будівельник, 1975.

21. Соколова А. Д., Ходов М. Б. Подъемно-транспортное и такелажное оборудование для монтажа строительных конструкций. М., Стройиздат, 1971.

22. Швиденко В И. Монтаж строительных конструкций. К., Будівельник, 1973.

23. Шумицкий О. И. Исследование и развитие конструктивной формы сварных стальных телевизионных башен большой высоты. — В кн.: Строительные конструкции. К., Будівельник, 1976, вып. XXVII.

24. Минмонтажспецстрой СССР. Опыт применения вертолетов на строительно-монтажных работах. Изд. ЦБНТИ, М., 1971.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ БАШЕН 5
Конструктивные особенности и назначение башен 5
Материалы для элементов башенных конструкций 12
Схемы и узлы башенных конструкций 14
Схемы 14
Диафрагмы 25
Сечения элементов башен 25
Узлы решетчатых башен 26
Конструктивные детали 33
Устройства для снижения уровня колебаний 40
Воздействия и нагрузки 44
Собственная масса оборудования и конструкций 45
Метеорологические воздействия 46
Сейсмические воздействия 49
Предварительные напряжения 50
Монтажные нагрузки 51
Расчет стальных башен 51
Определение оптимальных параметров стальных решетчатых башен 54
МОНТАЖ СТАЛЬНЫХ БАШЕН 74
Особенности организации работ и технологии монтажа башен 74
Подготовительные работы 80
Монтаж башен самоходными кранами 83
Монтаж башен способом наращивания 84
Установка собранной на земле башни в проектное положение. 86
Подъем башен поворотом вокруг шарниров 87
Подъем башен поворотом вокруг шарниров с дотягиванием полиспастом 89
Подъем башен поворотом вокруг шарниров через рамную подставку с дотягиванием полиспастом 91
Монтаж башен переставными грузоподъемными механизмами 95
Монтаж башен мачтой на расчалках 96
Монтаж башен переставными кранами 99
Монтаж башен универсальными подвесными самоподъемными кранами 100
Монтаж башен ползучими самоподъемными кранами 104
Монтаж башен переставными порталами 113
Монтаж башен с помощью стрелового оборудования самоходных кранов 118
Монтаж башен башенными кранами 125
Монтаж башен приспонными башенными кранами 126
Монтаж башен свободно стоящими башенными кранами 129
Монтаж башен поворотом вокруг шарниров с помощью специальной оснастки 132
Монтаж башен «падающими» стрелами 135
Монтаж башен «падающими» шевронами 140
Монтаж башен безъякорным способом 144
Монтаж башен способом выжимания 148

Монтаж башен способом подращивания с помощью специальной оснастки 158
Монтаж башен выдвижением агрегатами с домкратными установками 159
Монтаж башен системами полиспастов с электролебедками . . 175
Комбинированные способы монтажа башен 182
Монтаж башен способом наращивания с подращиванием верхнего блока 183
Монтаж башен-труб двумя мачтами с подращиванием внутреннего ствола 184
Монтаж башен способом наращивания с поворотом верхнего блока 189
Монтаж башен способом выжимания с поворотом верхнего блока 191
Перспективные способы монтажа башен 194
Прикнижный библиографический список 198

БИБЛИОТЕКА СТРОИТЕЛЯ

СЕРИЯ «ИНЖЕНЕРУ-ПРОЕКТИРОВЩИКУ»

Владимир Фомич Павловский,
Михаил Петрович Кондра

Стальные башни

(проектирование и монтаж)

Редактор *Л. И. Шитова*
Художественный редактор *Т. С. Преснякова*
Технический редактор *А. Д. Новик*
Корректор *Н. А. Малахова*

Информ. бланк № 662

Сдано в набор 12.01.79. Подписано к печати 12.06.79. БФ 10704 Формат 60×90¹/₁₆. Бумага типографская № 1. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 12,5. Уч.-изд. л. 13,07. Тираж 8000 экз. Изд. № 72—78. Зак. № 9—304 Цена 1 р.

Издательство «Будівельник», 252601 Киев 1, ГСП, Владимирская, 24

Киевская фабрика печатной рекламы РПО «Полиграфкнига» Госкомиздата УССР, 252057, Киев-57, Выборгская, 84