



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
Кафедра «Технология строительного производства»

КУРС ЛЕКЦИЙ **«ВОЗВЕДЕНИЕ ВЫСОТНЫХ И** **БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ ЗДАНИЙ И** **СООРУЖЕНИЙ: МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ»**

Авторы:
Г.В. Несветаев
С.Г. Османов
Ю.И. Корянова



Ростов-на-Дону, 2022

Оглавление

Предисловие	3
Глава 1- ВОЗВЕДЕНИЕ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ	5
1.1. Высотное строительство – актуальность, проблемы, задачи	5
1.2. Конструктивные схемы высотных зданий	7
1.3. Перспективные направления развития технологии возведения высотных зданий	10
1.3.1. Трубобетонные конструкции	10
1.3.2. Метод подъема перекрытий	13
1.3.3. Внешнелистовое армирование	24
1.4. Перспективные направления развития строительных материалов при возведении высотных зданий	25
1.4.1. Технология монолитного бетона	25
1.4.1.1. Общие принципы технологии монолитного бетона	25
1.4.1.2. Опалубочные системы	27
1.4.1.3. Подъемно-транспортное и вспомогательное оборудование для высотного строительства	28
1.4.2. Обеспечение термической трещиностойкости и водонепроницаемости массивных фундаментов	31
1.4.3. Применение расширяющей добавки для замены гидроизоляции	32
1.4.4. Комплексное использование легких бетонов в высотном строительстве	33
1.4.4.1. Конструкционные легкие бетоны, в том числе высокопрочные	33
1.4.4.2. Теплоизоляционные и теплоизоляционно-конструкционные легкие бетоны	35
Глава 2- ВОЗВЕДЕНИЕ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	38
2.1. Конструктивная вариативность возводимых объектов	38
2.2. Общие принципы организации и производства работ	43
2.3. Возведение балочных покрытий	50
2.4. Возведение арочных покрытий	58
2.5. Возведение купольных покрытий	65
ПРИЛОЖЕНИЕ	73
Рекомендуемая литература	75



ПРЕДИСЛОВИЕ

В связи с открытием в ряде российских строительных вузов новой специальности 08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений, одной из специализаций которой предусмотрено углубленное изучение организационно-технологических аспектов возведения высотных и большепролетных зданий и сооружений, возникла необходимость разработки учебно-методического обеспечения соответствующих дисциплин. Аналогичное произошло и в отношении направления подготовки 08.04.01 Строительство в связи с включением дисциплины «Технология возведения высотных и большепролетных зданий и сооружений» в магистерскую программу «Промышленное и гражданское строительство».

Растущий практический интерес к объектам подобного рода обусловлен современными тенденциями в промышленной и гражданской архитектуре. Неслучайно статьей 48.1 Градостроительного кодекса РФ было введено понятие «уникальные объекты капитального строительства», к которым в том числе определено относить здания и сооружения высотой (с пролетами) более 100 м. Методы их возведения, а также используемые при этом машины, оборудование и техоснастка, как правило, значительно отличаются от традиционных. Кроме того, процесс такого строительства обычно связан с большим объемом работ и сложной организацией взаимодействия и использования всех вовлеченных в него трудовых и материально-технических ресурсов. Однако важно иметь в виду, что указанная специфика начинает отчетливо проявляться и со значительно меньших по величине высот и пролетов.

Базовая русскоязычная литература по данной тематике была издана в середине 1980-х гг. малыми тиражами. Ее практически нет в библиотеках. За это время произошли, с одной стороны, серьезные сдвиги в развитии технологий и интенсификации сборного и, особенно, монолитного строительства в нашей стране и мире в целом в связи с внедрением новых перспективных материалов и образцов техники, с другой – неоднократные изменения в отечественном нормативно-техническом обеспечении процессов проектирования и производства строительных работ, вызванные как общественными трансформациями, так и объективными требованиями приведения норм в соответствие техническому уровню и принципам современного строительного производства.

Все это предопределило актуальность подготовки учебного пособия, призванного обобщить, систематизировать и, по возможности, обновить имеющуюся в распоряжении



авторов информацию о подходах к проектированию производства работ при строительстве высотных и большепролетных зданий и сооружений и его непосредственном отечественном и зарубежном опыте, чтобы облегчить поиск рациональных решений соответствующих организационно-технологических задач при курсовом и дипломном проектировании в процессе подготовки инженеров-строителей, а также в их последующей работе на производстве.

ГЛАВА 1- ВОЗВЕДЕНИЕ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

1.1. ВЫСОТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО – АКТУАЛЬНОСТЬ, ПРОБЛЕМЫ, ЗАДАЧИ

Любое общество как исторически конкретный тип социальной системы находит свое отражение в архитектуре зданий, конструкторских и инженерных решениях, методах возведения, применяемых современных материалах и технологии строительства. Повышение жизненного уровня, концентрация населения в мегаполисах, природоохранные мероприятия предопределяют необходимость увеличения этажности зданий.

В свою очередь, строительство высотных зданий является импульсом для разработки комбинированных конструкций, развития новых технологий производства и строительства, создания более мощных монтажных механизмов, применения новых высококачественных материалов.

По современной классификации высотным является здание высотой более 75 м. Для классификации зданий был принят критерий высоты в метрах, а не этажности, поскольку высота этажей принимается различной в зависимости от назначения здания и требований национальных норм проектирования. Высотные здания могут иметь разное назначение: гостиницы, офисы, жилые дома. Высотное здание, чаще всего, является многофункциональным, в нем, помимо помещений основного назначения, размещаются автостоянки, магазины, офисы, кинотеатры и др.

За более чем столетний период проектирования и строительства высотных зданий, в том числе и небоскребов, в мире накоплен большой теоретический и практический опыт, выявлены основные проблемы по всем направлениям их создания и эксплуатации. Развитие высотного строительства в России выделило ряд проблем, требующих обязательного рассмотрения и решения:

- несовершенство нормативной базы;
- недостаток опыта в проектировании и строительстве высотных комплексов;
- нехватка квалифицированных строителей;
- обоснование градостроительной и функционально-типологической необходимости возведения;

- определение предельно допустимой этажности (высотности);
- правильный выбор конструктивной системы, схемы и проектных решений с учетом предотвращения потери устойчивости основания и самого сооружения, приводящей к разрушению и обрушению конструкций;
- недопустимость отклонения от утвержденных проектных решений и изменения этажности сооружений в процессе строительства;
- необходимое функциональное взаимодействие жилых и нежилых зданий и сооружений с транспортной и обслуживающей инфраструктурой города;
- обоснование требуемой вместимости подземных, наземных и надземных автостоянок личного транспорта и их рациональное размещение;
- эффективная минимизация угрозы внешней и внутренней опасности разрушения здания за счет создания специальной службы безопасной эксплуатации;
- требуемая пожарная и эвакуационная безопасность людей, находящихся в высотных зданиях;
- рациональная эффективность современных инженерных решений по жизнеобеспечению и оснащённости здания, энергосбережению и комфортности обслуживания.

Но, несмотря на ряд объективных трудностей и отсутствие достаточного опыта, интерес к развитию высотного строительства существует. Внедрение высотного строительства диктуется в крупнейших городах реальным дефицитом территорий для строительства, отчасти дефицитом офисных и гостиничных площадей, которые, как показывает международный опыт, рационально размещать именно в высотных зданиях. В ближайшей перспективе следует ожидать именно такой направленности развития строительства небоскребов, исключающей размещение в них жилищ для постоянного пребывания.

Поскольку Россия приступила к внедрению высотного строительства с существенным отставанием, полезно ознакомиться с опытом других стран по решению основных проблем высотного строительства за рубежом. Для отечественной практики наиболее ценным представляется такой опыт градостроителей европейских столиц:

- последовательная концентрация сил на крайне ограниченном числе участков;

- подчинение проектирования застройки принципам интегрированного урбанизма с комплексностью застройки и размещением транспортных сетей в нескольких уровнях;
- обеспечение комплексности застройки за счет сочетания объектов разного функционального назначения в зданиях, объемно-планировочное решение, которых наиболее гармонично отвечает их функции, что означает в первую очередь сочетание в комплексной застройке разных зданий различного назначения;
- сочетание в застройке широкой номенклатуры зданий (офисы, отели, общественное обслуживание, учебно-воспитательные учреждения, торговля, развлечения и спорт) в целях создания обширного круга рабочих мест для большей части населения комплекса и его полноценного обслуживания.

1.2. Конструктивные схемы высотных зданий

Конструирование высотных зданий имеет свою специфику с точки зрения объемной формы, пропорций, выбора конструктивных систем и элементов зданий. Конструктивная система высотного здания представляет собой взаимосвязанную совокупность его вертикальных и горизонтальных несущих конструкций, совместно обеспечивающих прочность, жесткость и устойчивость сооружения. Горизонтальные конструкции – перекрытия и покрытия здания воспринимают приходящиеся на них вертикальные и горизонтальные нагрузки и воздействия, передавая их поэтажно на вертикальные несущие конструкции. Последние, в свою очередь, передают эти нагрузки и воздействия через фундаменты основанию.

Горизонтальные несущие конструкции высотных зданий, как правило, однотипны, и обычно представляют собой жесткий несгораемый диск – железобетонный (монолитный, сборно-монолитный, сборный) либо сталежелезобетонный.

Вертикальные несущие конструкции более разнообразны. Различают стержневые (каркасные) несущие конструкции, плоскостные (стеновые, диафрагмовые), внутренние объемно-пространственные стержни с полым сечением на высоту здания (стволы жесткости), объемно-пространственные наружные конструкции на высоту здания в виде тонкостенной оболочки замкнутого сечения. Соответственно примененному виду вертикальных несущих конструкций различают четыре основные конструктивные системы высотных зданий – каркасную (рамную), стеновую (бескаркасную, диафрагмо-

вую), ствольную и оболочковую (рис. 1.1).

Основные системы ориентированы на восприятие всех силовых воздействий одним типом несущих элементов. Наряду с основными широко применяют и комбинированные конструктивные системы. В комбинированной системе могут сочетаться несколько типов вертикальных несущих элементов (плоскостных, стержневых, объемно-пространственных) и схем их работы (например, рамно-связевая или связевая). При таких сочетаниях полностью или частично дифференцируется восприятие нагрузок и воздействий (например, горизонтальных – стенами жесткости, а вертикальных – каркасом). Такое разделение часто позволяет упростить построечные работы или более четко увязать конструктивную систему с планировочной. Соответственно количество возможных вариантов комбинированных систем весьма обширно.

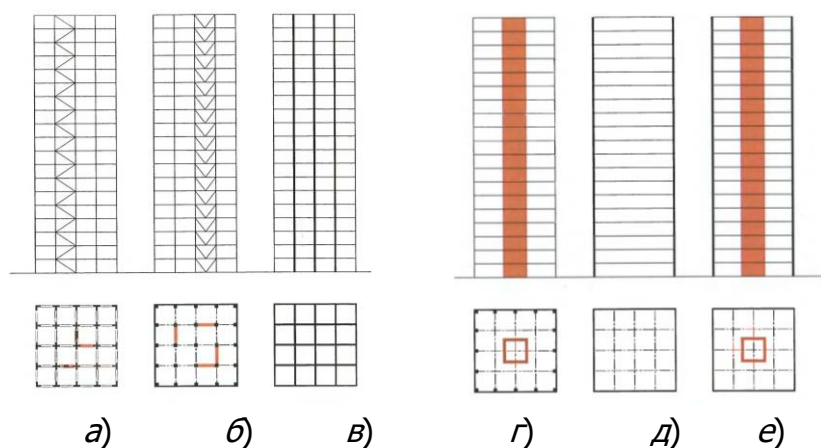


Рис. 1.1. Конструктивные схемы здания:

а – рамно-связевая; *б* – каркасная с диафрагмами жесткости;

в – бескаркасная с перекрестно-несущими стенами;

г – ствольная; *д* – коробчатая (оболочковая); *е* – ствольно-коробчатая («труба в трубе» или «труба в ферме»)

Выбор той или иной конструктивной системы зависит от многих факторов, основными из которых считаются высота здания, условия строительства (сейсмичность, грунтовые особенности, атмосферные, особенно ветровые, воздействия), архитектурно-планировочные требования. Главным приоритетом в проектировании и строительстве высотных зданий является обеспечение их прочности и устойчивости, а также жесткости с учетом воздействия значительных ветровых усилий.

Мировая практика высотного строительства выявила один из самых сложных аспектов для несущих вертикальных конструкций из железобетона – неравномерное их укорачивание под действием нагрузки. Данная неравномерность усиливается при раз-

ной площади поперечного сечения конструктивных элементов – стен и колонн. Опыт проектирования и строительства высотных зданий в Москве в разные периоды также вскрыл существенные недостатки в части необходимой надежности высотного строительства. Это требует поиска новых технических и технологических решений.

В связи со значительной разницей в нагрузках на несущие элементы зданий, например на колонны каркаса, в нижних этажах высоток необходимо сечение колонн больших размеров. Однако это усложняет технологию возведения сооружений, так как требует изменения применяемой опалубки. Один из серьезных недостатков высотных каркасных зданий – противоречие между необходимостью установить расчетное количество диафрагм жесткости и объемно-планировочным решением. Кроме того, размещая диафрагмы жесткости только в габаритах здания, приходится вводить ограничения по их высоте, так как жесткость этих диафрагм бывает недостаточной. Помимо жесткости диафрагм, обязательна еще их пригрузка прилегающими конструкциями, обусловленная необходимостью учитывать горизонтальную (ветровую) нагрузку. При традиционных конструктивных решениях высотных зданий пригрузка диафрагм жесткости осуществляется только половинной нагрузкой прилегающих к диафрагмам пролетов каркаса, что снижает возможности увеличения высоты.

Основное требование к конструктивной системе высотного здания – надежность каждого конструктивного элемента, устойчивость к прогрессирующему обрушению при локальных повреждениях несущих конструкций, авариях инженерных систем, пожарах, взрывах и т. п. Компонировка здания должна давать возможность принимать необходимые габариты диафрагмам жесткости, максимально загруженным вертикальными нагрузками. При его возведении следует предусмотреть использование ограниченного комплекта опалубки.

Данные конструктивные решения возможно усовершенствовать с помощью внедрения в них следующих технологий:

- выполнение несущих колонн из трубобетона;
- монтаж плит перекрытий методом подъема;
- выполнение плит перекрытий с армированием нижней растянутой зоны листовой сталью (внешнелистовое армирование).

1.3. Перспективные направления развития технологии возведения высотных зданий

1.3.1. Трубобетонные конструкции

Трубобетон – комплексная конструкция, состоящая из совместно работающих стальной трубы и бетонного ядра. Технология трубобетона появилась в России в 1919 г., получила развитие в 30-е гг., в настоящее время находится в стадии «второго рождения». В мировой практике используется широко при возведении уникальных объектов.

Первыми сооружениями из трубобетона были арочные и большепролетные мосты, в которых его использование решало проблему потери устойчивости. Эффективно применение трубобетона в различных видах сильно нагруженных колонн, применяемых в высотном и промышленном строительстве, подземных и защитных сооружениях, эстакадах, АЭС. Трубобетон – надежный элемент нижних и верхних поясов арок, надарочных стоек, поясов подпружинных систем автодорожных мостов, в большепролетных подкрановых балках и предварительно напряженных подкрановых эстакадах. Рациональной областью применения трубобетона являются конструкции опор линий электропередач.

При изготовлении трубобетона используют цилиндрические, а также призматические (квадратные или прямоугольные) трубы. Безусловно, круглая металлическая труба – самый эффективный вид арматуры для сжатых бетонных элементов, так как она находится на максимальном расстоянии от центра тяжести бетонного ядра. В некоторых случаях внутри бетонного ядра дополнительно устанавливается арматура: гибкая – в виде стержней или жесткая из металлопроката, что позволяет уменьшить диаметр оболочки и, следовательно, поперечный габарит конструкции, дает возможность увеличить полезную площадь помещений.

Трубобетонная конструкция представляет собой совокупность сопряженных стержней, каждый из которых изготовлен отдельно. Простейшим сопряжением стержней является соосное, т. е. встык. Существуют два конструктивных решения стыков: «сухое» сопряжение и «мокрое». Основным является прямой стык со стыковым швом (рис. 1.2).

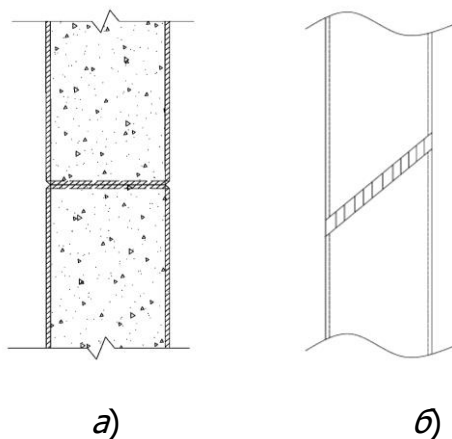


Рис. 1.2. Сопряжения бетонного ядра в стыках
трубобетонных колонн (а) и стык металлических труб
в трубобетонных колоннах (б)

При широком применении трубобетонных конструкций необходим индустриальный и высокопроизводительный способ заполнения труб бетоном, обеспечивающий высокую прочность и однородность бетонного ядра. Ранее использовали три способа уплотнения бетона в трубах: глубинным вибрированием, штыкованием и внешним вибрированием. В настоящее время эффективно заполнение труб самоуплотняющимся бетоном, при этом уплотнение бетонной смеси не требуется.

Прочность бетонного ядра, стесненного стальной оболочкой как обоймой, повышается в два раза по сравнению с традиционным железобетоном. Изоляция бетона от окружающей среды создает лучшие условия для его работы под нагрузкой и позволяет защитить бетон от агрессивной среды. Заполнение стальной трубки бетоном повышает ее прочность и коррозионную стойкость, уменьшает расход бетона.

Наружная поверхность трубы примерно в два раза меньше, чем проката, вследствие чего уменьшается расход бетона. На цилиндрических трубах меньше пыли и грязи, являющихся активаторами процессов коррозии, поэтому имеют повышенную коррозионную стойкость.

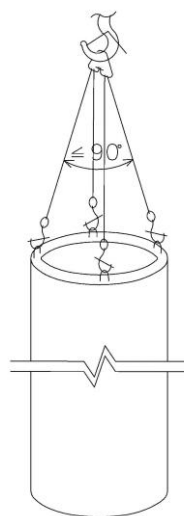


Рис. 1.3. Схема строповки металлической трубы для трубобетонных колонн

нх воздействий внешней среды бетоном повышает ее прочность и коррозионную стойкость элементов.

Трубобетонных конструкций при строительстве из профильного проката расходуются по окраске и на поверхности задерживаются активаторы процессов коррозии. Трубобетонные конструкции имеют повышенную коррозионную стойкость.

Использование цилиндрических стержней в сооружениях, подверженных ветровым нагрузкам, позволяет снизить эти нагрузки за счет улучшения аэродинамических свойств. Трубобетонным конструкциям не требуется окраска, металлизация или герметизация внутренних поверхностей труб.

Трубобетон экономичнее железобетона за счет отсутствия опалубки, кружал, хомутов, отгибов, петель, закладных деталей (рис. 1.3). Применение таких конструкций уменьшает вес сооружений в 2–3 раза, трудозатраты в 4–5 раз, стоимость в 2–3 раза по сравнению с традиционными железобетонными. По сравнению с металлическими конструкциями при незначительном увеличении массы достигается существенное снижение стоимости (до 40 %) и уменьшение расхода стали (в 2–3 раза).

Меньшая масса трубобетонных элементов в сравнении с железобетонными облегчает их транспортирование и монтаж. Отсутствие распределительной и рабочей арматуры позволяет получить более высококачественную укладку жестких бетонных смесей.

Несмотря на такие характеристики, в России трубобетон в настоящее время применяется ограниченно, в том числе из-за отсутствия отечественных норм по проектированию трубобетонных конструкций, что исторически связано с «пограничным» положением трубобетона между железобетонными и металлическими конструкциями, а также из-за дефицита в прошлом стальных труб. Имеющиеся предложения по расчету трубобетона часто противоречивы, основаны на эмпирических данных без достаточного анализа физики процесса разрушения под нагрузкой и современных высокопрочных бетонов.

У трубобетона имеются также некоторые конструктивные недостатки. Основной из них – возникновение растягивающих напряжений на поверхности контакта стальной трубы и бетонного сердечника вследствие разницы коэффициентов Пуассона стали и бетона. Это явление, наряду с усадкой бетона, может приводить к отрыву сердечника от трубы при эксплуатационных нагрузках, что снижает долговечность и, в некоторой степени, несущую способность конструкции. В США распространен способ обеспечения совместной работы ядра и оболочки в трубобетоне, при котором к внутренней поверхности трубы с постоянным шагом приваривают поперечные стержни. Кроме того, за счет применения суперпластификаторов стараются максимально понизить водоцементное отношение (до $V/C = 0,28$ и ниже) в целях уменьшения усадки. В Японии внутреннюю поверхность труб обрабатывают специальной смазкой с целью исключить сцепление бетона с трубой, а нагрузку передают только на ядро.

В отличие от обычного стального стержня, трубобетонный стержень эффективно работает только на сжатие. При работе на растяжение он обладает значительно меньшей несущей способностью. В этом отношении трубобетонный стержень, как первичный элемент конструкции, аналогичен традиционному железобетонному. Поэтому в трубобетонных конструкциях стержни, образующие несущие каркасы, должны быть сжаты.

Еще одним недостатком трубобетона является его недостаточная огнестойкость. Хотя в настоящее время этой проблеме нашлось разрешение – это использование огнезащитных покрытий, среди которых можно выделить вспенивающиеся порошковые краски.

Все эти недостатки решаемы, главное – четко представлять работу трубобетонных элементов под нагрузкой в проектируемых конструкциях.

В последнее время трубобетонные колонны находят все более широкое применение в высотных зданиях. В современных технических условиях трубобетон представляет собой не только высококачественный конструкционный материал, но и эффективное средство возведения. Таким образом, техника трубобетона в сочетании с технологией высокопрочных бетонов и насосного бетонирования будет оказывать влияние на дальнейшее развитие строительного производства.

Среди актуальных проблем технологии трубобетона можно рассматривать следующие:

- исследование механизма разрушения трубобетона с учетом свойств современных высокопрочных бетонов, которые могут характеризоваться более высокой деформативностью;
- анализ известных методов расчета и разработку методики, основанной на использовании реальных диаграмм деформирования материалов.

1.3.2. Метод подъема перекрытий

Возведение зданий и сооружений методом подъема перекрытий и покрытий является одним из перспективных направлений индустриального строительства и позволяет сочетать положительные качества сборного и монолитного железобетона, что снижает расход основных строительных материалов и затрат труда и открывает широкие возможности для возведения архитектурно-выразительных зданий и сооружений различного функционального назначения и этажности, в том числе зданий с различной высотой этажей, по единой технологии. Архитектурно-конструктивно-технологическая система

(АКТС) на основе метода подъема перекрытий дает возможность решать комплекс архитектурно-градостроительных задач индустриального жилищного строительства:

- экономично использовать застраиваемые территории с учетом требований градостроительства, сейсмичности, климатических условий и демографии;
- рационально использовать материально-технические и трудовые ресурсы;
- улучшать объемно-планировочные решения и архитектурно-эстетическую выразительность зданий, а также их эксплуатационные качества;
- повышать комфортность проживания.

Метод подъема перекрытий позволяет в единой АКТС использовать для жилых домов центрическую композицию плана, увязанную с соответствующей конструктивной схемой, при этом конфигурация в плане может быть различной: круг, овал, квадрат, прямоугольник, ромб, крест (рис. 1.4).

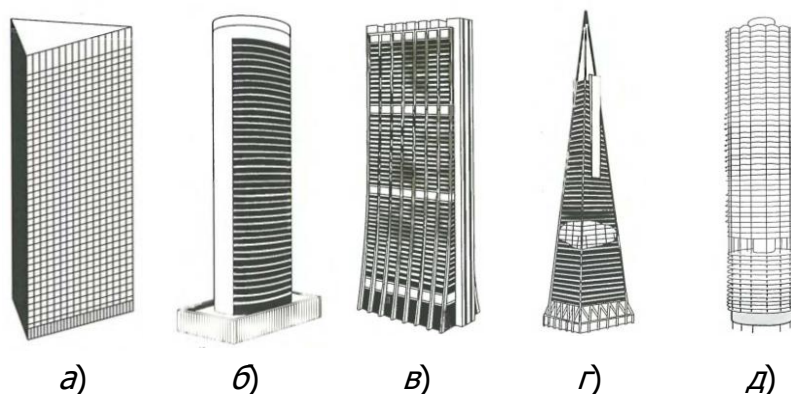


Рис. 1.4. Рациональные формы высотных зданий:

а – треугольная призма; *б* – эллипсоидная; *в* – форма, сужающаяся кверху; *г* – конусовидная; *д* – цилиндрическая

Вокруг железобетонного ядра жесткости, размещающего лестнично-лифтовой узел и вертикальные коммуникации, могут быть сформированы различные системы связевого каркаса. Такая конструктивная схема каркаса с использованием в качестве связевого элемента железобетонного ядра жесткости замкнутого сечения (кольцевого либо прямоугольного) является наиболее рациональной для строительства зданий повышенной этажности. Центральное расположение ядра жесткости и симметричное решение плана здания благодаря совмещению центра масс и центра жесткости позволяет также удовлетворять нормативным требованиям сейсмостойкости.

Применение метода подъема перекрытий в сочетании со «свободным» каркасом позволяет формировать не только точечные, но и протяженные структуры, в том чис-

ле различной этажности, позволяющие создавать компактные жилые комплексы, повышая плотность городской застройки. При этом здания, возводимые методом подъема, могут быть и градостроительно акцентными домами, и архитектурными доминантами в застройке жилых комплексов и микрорайонов. Кроме того, метод подъема обеспечивает возможность архитектурных решений, соответствующих условиям исторически сложившейся застройки города.

Архитектурно-планировочные решения позволяют сосредоточить на узел вертикальных коммуникаций максимально допускаемую по нормам жилую площадь – 300 м² на этаж при одной лестничной клетке. Одновременно при этом обеспечиваются комфортные условия квартир, обычно присущие секционному типу дома, и гигиенические нормативные требования. Двусторонняя ориентация квартир удовлетворяет условиям проветривания, аэрации и инсоляции, что особо важно для южных районов.

Одним из главных направлений повышения комфортности в современном жилище является организация функциональных зон и их взаимосвязь в рамках пространственно-планировочной среды квартиры. Плиты перекрытий с консольными выпусками дают возможность организовать летние помещения, служащие важным элементом композиции фасада здания при различных пластических решениях.

Использование каркаса с безбалочными плитами перекрытий любой конфигурации в плане и площадью на весь этаж со свободной расстановкой колонн, увязанной с планировочным решением, дает возможности для разработки новых типов жилых многоэтажных зданий с гибкими архитектурно-планировочными и объемно-пространственными решениями, отвечающих требованиям индустриального строительства. В домах, возводимых методом подъема, возможны разнообразные планировочные решения в пределах этажа, что позволяет получить любой состав квартир с различным количеством комнат в зависимости от демографических условий или других требований. Кроме того, в пределах квартиры возможна гибкая планировка, позволяющая объединять и разъединять объемы или менять их назначение в зависимости от конкретных требований. Это обеспечивается наличием безбалочных плоских перекрытий и применением ненесущих, легко трансформирующихся перегородок. Возможна также полная трансформация планировочного решения и, в конце концов, получение помещений нового функционального назначения, в том числе с измененной высотой этажа. Таким образом, в зданиях, возводимых методом подъема, обеспечивается универсальность использования их внутреннего пространства. Она позво-

ляет в необходимых случаях осуществлять также переустройство зданий при их моральном износе.

Идея строительства многоэтажных зданий методом подъема готовых перекрытий впервые была высказана французским инженером Лафаргом, однако в то время ее невозможно было осуществить из-за отсутствия необходимого подъемного оборудования. В 1951 г. в США было построено методом подъема перекрытий первое многоэтажное здание. Вскоре после проведения эксперимента по подъему перекрытий этот метод получил широкое распространение и стал применяться во многих странах Европы и Японии. В России его впервые применили в Ленинграде в 1959 г. Свое дальнейшее развитие он нашел в практике строительства Москвы, а также в городах Армении.

Сущность возведения зданий и сооружений методом подъема заключается в том, что на нулевом уровне предварительно изготавливают или монтируют из отдельных сборных элементов крупногабаритные строительные конструкции, которые затем по направляющим опорам поднимают вверх, и без горизонтального перемещения закрепляют на проектных отметках (рис. 1.5).

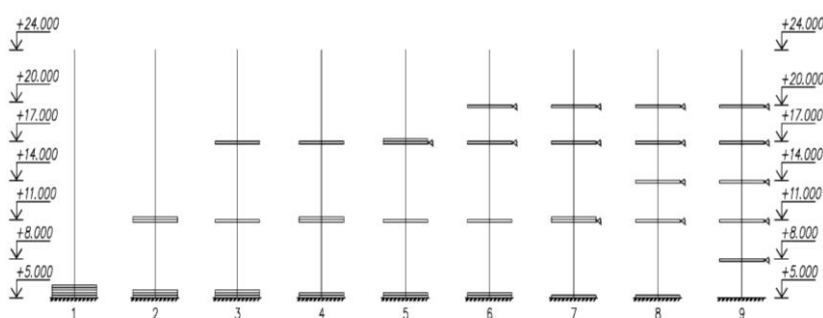


Рис. 1.5. Монтажная схема подъема плит перекрытия на проектные отметки

В большинстве случаев плиты перекрытий зданий изготавливают последовательно одна на другой в виде пакета (рис. 1.6). Направляющими опорами служат железобетонные или металлические колонны, а также железобетонные ядра жесткости. Ядра жесткости обычно изготавливают монолитными в переставной или скользящей опалубке, а железобетонные колонны – сборными, высотой на один или несколько этажей. На проектные отметки конструкции поднимают с помощью специального оборудования (рис. 1.7, 1.8), устанавливаемого внизу здания или на направляющих опорах (см. приложение).

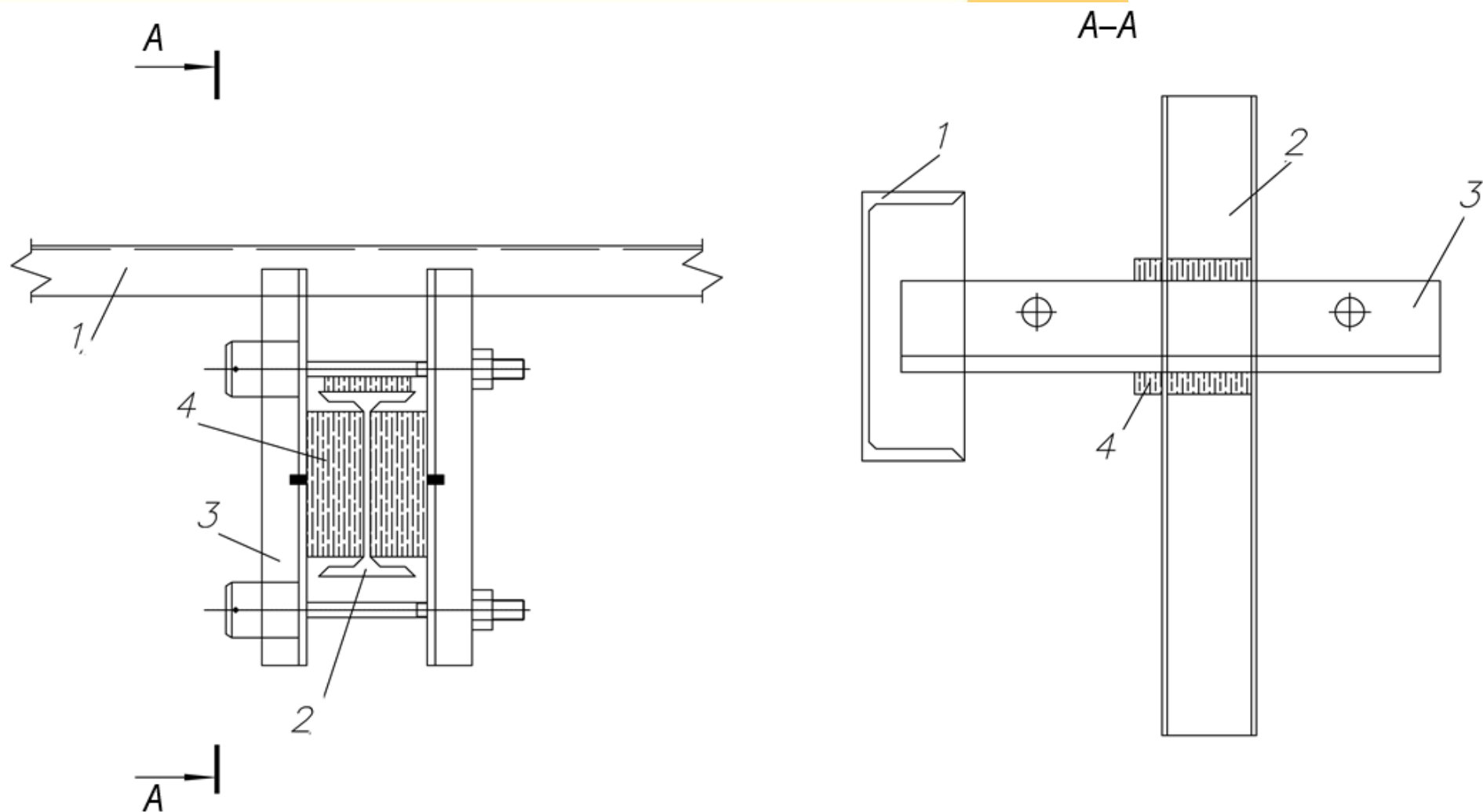
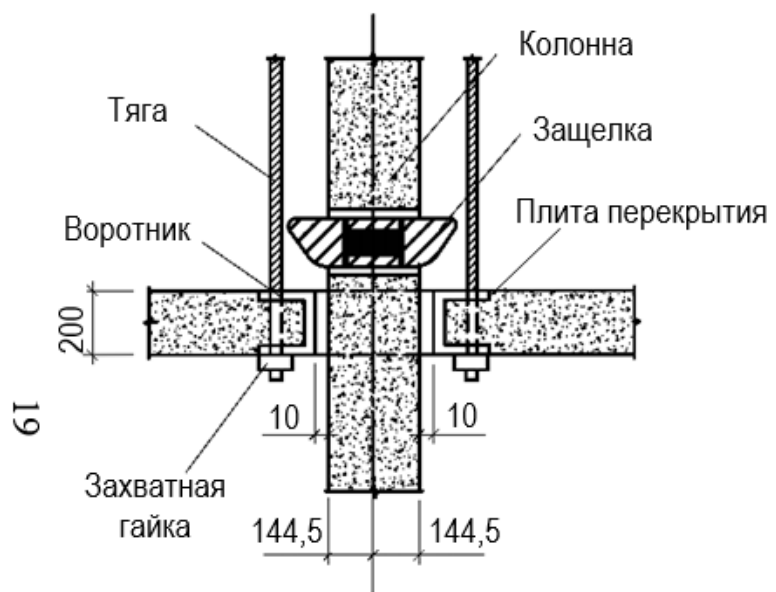
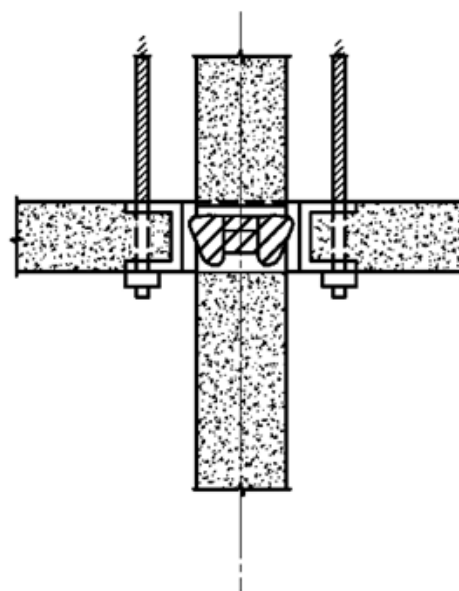


Рис. 1.6. Устройство бортовой опалубки для бетонирования пакета плит перекрытия:
 1 – бортовой элемент из швеллера № 20; 2 – стойка из двутавра № 14;
 3 – хомут с болтовыми креплениями; 4 – деревянные вкладыши

Перед проходом перекрытия



В период прохода защелки



Опираение на защелку

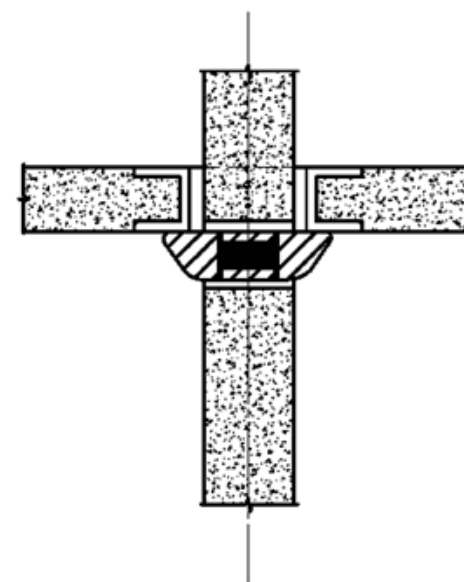


Рис. 1.7. Схема работы автоматической защелки
крепления плит перекрытия

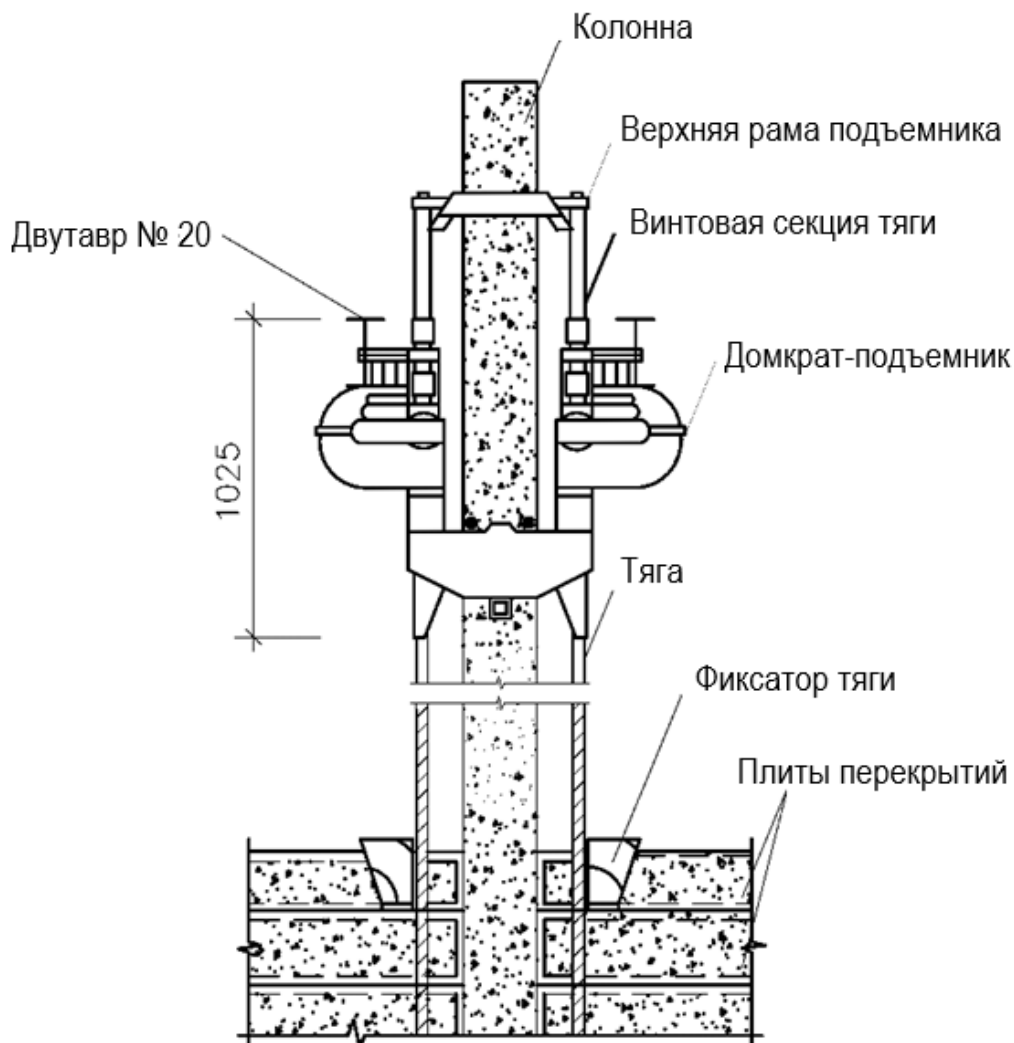


Рис. 1.8. Принципиальная схема конструкции подъемника

В основном используется каркас с безбалочными плитами перекрытий площадью на весь этаж, а также со свободной сеткой колонн. Это позволяет применять плиты перекрытий любой функционально требуемой формы, обусловленной архитектурно-планировочным решением (круг, овал, квадрат, прямоугольник, ромб, крест), поскольку контур плит обеспечивается только бортовой опалубкой.

В результате оказывается возможным проектировать дома центрической композиции со сложной конфигурацией в плане. Такое архитектурно-планировочное решение позволяет достичь значительной архитектурной выразительности зданий, которая не является самоцелью, а должна рассматриваться как результат решения комплекса архитектурно-градостроительных задач индустриального строительства, что создает реальные предпосылки для получения существенного экономического эффекта.

Универсальность применяемого каркаса обуславливает при необходимости возможность получения в одном здании этажей различной высоты. Это позволяет компоновать в жилом доме этажи, отводимые под культурно-бытовые, торговые и другие

помещения, создавая предпосылки для проектирования домов-комплексов. Потенциально широкие формообразующие возможности метода подъема делают его не просто конкурентоспособным с другими технологическими способами индустриального возведения многоэтажных жилых зданий, а наиболее предпочтительным в определенных градостроительных ситуациях. Преимущественное применение центральных композиций со сложной конфигурацией плана и разнообразной пластикой фасадов, характерное для многоэтажных жилых зданий, возводимых методом подъема, объясняется особенностями природно-климатических и градостроительных условий, а также спецификой задач и архитектурно-художественными требованиями, предъявляемыми к жилищному строительству.

Применение метода подъема при возведении зданий различного функционального назначения позволяет следующее:

осуществлять на индустриальной основе по индивидуальным проектам строительство зданий любой формы в плане и при необходимости с разной высотой этажей по единой технологии без создания специальной базы стройиндустрии;

решать разнообразные архитектурно-градостроительные задачи при возведении зданий на стесненных участках городской застройки, на рельефе, в разнообразных и сложных природно-климатических условиях;

максимально раскрывать внутреннее пространство благодаря применению большепролетных каркасов и свободной расстановки колонн;

обеспечить восприятие большепролетным каркасом значительных полезных нагрузок, в том числе разнотипных и изменяющихся как по этажам, так и в пределах одного этажа;

сосредоточить в одном объеме здания помещения различного функционального назначения одного комплекса с их дифференциацией и взаимной увязкой функционирования;

обеспечить разнообразие параметров каркаса, в том числе значительную ширину здания, а также неодинаковые функциональные требования к отдельным частям здания в пределах единого объема.

Таким образом, метод подъема открывает большие возможности в выборе архитектурных решений зданий и наряду с решением функциональных задач позволяет создавать выразительные объемно-пространственные композиции с развитой пластикой фасадов. Метод подъема на современной стадии развития пригоден для строи-

тельства зданий в крупных городах с развитой базой стройиндустрии и на вновь осваиваемых территориях. Это говорит об универсальности технологического приема и складывающегося на его основе метода архитектурного формообразования. Основное преимущество метода – это возможность возведения зданий различной конфигурации с цельными неразрезными плоскими безбалочными бескапитальными плитами перекрытий.

Технологический прием возведения каркаса здания методом подъема как один из способов индустриального строительства, позволяет развивать структуру каркаса во всех трех направлениях, в том числе и по вертикали. Таким образом, отсутствие в конструктивно-технологической системе зданий, возводимых методом подъема, элементов с жесткими габаритами, связанными с модульными сетками, резко увеличивает пространственную гибкость системы и дает реальные предпосылки для создания универсальной объемно-пространственной структуры зданий любых типов, разнообразных как по своей архитектуре, так и по назначению.

Цельные неразрезные плиты выполняют роль горизонтальных диафрагм и надежно передают нагрузки на элементы, обеспечивающие поперечную жесткость здания. Это обуславливает повышение сейсмостойкости возводимых объектов. Плоские безбалочные бескапитальные плиты перекрытий без выступающих ригелей обеспечивают свободную планировку этажей и уменьшают строительные объемы зданий.

Многолетняя практика проектирования и строительства показала, что метод подъема является одним из эффективных направлений в индустриальном строительстве, позволяющим при минимальных затратах на создание производственной базы обеспечить рост эффективности капитальных вложений, производительности труда с одновременным сокращением материалоемкости и повышением уровня архитектурных решений застройки городов. Создание каркаса здания методом подъема перекрытий в сочетании с индустриальными способами устройства внутреннего заполнения этажей превратило этот вид строительства в один из универсальных способов домостроения.

Технико-экономический анализ показывает, что при возведении зданий методом подъема перекрытий показатели стоимости, расхода основных строительных материалов, затрат труда и сроков строительства до 20 %, а по отдельным позициям и более, ниже аналогичных показателей зданий, сооружаемых любым другим индустриальным способом. Экономия при методе подъема достигается за счет максимального облегче-

ния строительных конструкций, применения высокоэффективного механического подъемного оборудования, а также в результате усовершенствования архитектурно-планировочных, конструктивных и технологических решений, приводящих в итоге к уменьшению физических объемов конструкций и видов работ.

Все факторы, влияющие на эффективность применения метода подъема, можно разделить на три группы: не находящие отражения при технико-экономическом анализе, учитываемые частично при технико-экономическом анализе, максимально учитываемые при технико-экономическом анализе. Подобная группировка факторов вызвана тем, что при сравнительном технико-экономическом анализе могут учитываться лишь те факторы, которые отражают конкретные объемно-планировочные и конструктивные решения сопоставляемых зданий. При технико-экономическом анализе не находят отражения следующие факторы:

эффективное использование объемов здания благодаря свободной планировке, установлению плит перекрытий соответствующего этажа на необходимой высоте и строительству зданий наиболее рациональной конфигурации;

ограничение строительной площадки максимальными размерами объекта в плане;

возведение зданий и сооружений с различными объемно-пространственными и архитектурно-планировочными решениями с использованием одних и тех же основных фондов строительной организации при одном и том же подъемном оборудовании.

При технико-экономическом анализе частично учитываются следующие факторы:

применение неразрезных плит перекрытий размером на этаж – неотъемлемой части рассматриваемого метода строительства, передающих сейсмические и ветровые нагрузки на вертикальные элементы жесткости здания, что в наибольшей степени соответствует условиям сейсмического строительства;

проведение значительной части работ на земле с последующим подъемом перекрытий до заданных отметок, что позволяет осуществить комплексную механизацию процессов зданий, а также улучшает условия труда и повышает безопасность строительства.

К факторам, максимально учитываемым при технико-экономическом анализе, относятся такие:

сокращение сроков строительства благодаря максимальному совмещению смеж-

ных строительно-монтажных процессов, что оказывается возможным вследствие особенностей рассматриваемого метода возведения зданий;

наиболее эффективное использование оборудования для возведения зданий благодаря его применению только в период проведения подъемно-монтажных работ;

использование преимущества изготовления плит перекрытий в пакете на земле – исключения опалубочных работ, а также выполнение арматурных и бетонных работ широким фронтом;

использование преимущества связевого каркаса с несущими железобетонными ядрами жесткости и плоскими плитами перекрытий, в том числе эффективное использование лестнично-лифтовых групп, что приводит к уменьшению физических объемов конструкций и видов работ;

сокращение капитальных вложений в производственную базу строительной индустрии и сопряженные отрасли строительства, а также изменение состава основных фондов при переходе к возведению зданий методом подъема.

Перечисленные факторы находят свое отражение в натуральных и стоимостных показателях, на основе которых определяется экономическая эффективность строительства жилых зданий, возводимых методом подъема. В целом экономия при использовании строительства методом подъема перекрытий достигается в результате усовершенствования архитектурно-планировочных и конструктивных решений, способов возведения, а также максимального облегчения строительных конструкций, за счет применения легкого бетона, высокоэффективного электромеханического оборудования. Перечисленные основные преимущества нового метода возведения зданий и сооружений, приводящие к существенному технико-экономическому эффекту, послужили мощным стимулом для широкого применения метода во многих странах мира в различных областях строительства. Обозначенный в ФЦП «Жилище» акцент на развитие сегмента жилья экономкласса, и поставленная в связи с этим задача строительства социального жилья, предопределяет необходимость развития эффективных технологий индустриального домостроения. Одним из перспективных направлений может быть метод подъема перекрытий.

1.3.3. Внешнелистовое армирование

Сборные и монолитные железобетонные конструкции с внешним армированием получили распространение в различных отраслях строительства в нашей стране и за рубежом. Этому способствовали расширение области применения железобетона, технико-экономическая эффективность таких конструкций, а также возможность использования внешней арматуры в качестве опалубки при монолитном способе возведения сооружений.

С развитием и применением эффективных способов соединений металлических элементов значительно увеличилась область применения полосовой, листовой и профилированной стали в качестве арматуры железобетонных конструкций.

Концентрированное расположение полосовой, листовой арматуры на внешних гранях сечения таких конструкций, в сравнении с железобетонными, позволяет уменьшить размеры сечения и снизить их массу при обеспечении прочности и жесткости конструкции, что способствует удовлетворению тенденции к увеличению пролетов и шага колонн в зданиях. Применение полосовой арматуры исключает ее многорядное расположение по высоте сечения благодаря чему можно более экономно использовать сталь, значительно упростить укладку и уплотнение бетона, а также снизить трудозатраты.

Использование листовой стали в качестве металлической изоляции и несущей арматуры позволяет достичь значительной экономии стали в железобетонных конструкциях зданий и сооружений (38–43 %), кроме того, сократить сроки строительства, повысить сборность и производительность труда при возведении сооружения.

Возможность использования внешней арматуры в качестве опалубки при устройстве монолитных перекрытий и покрытий способствует значительной экономии материалов, сокращению сроков изготовления конструкций и их стоимости, снижению трудозатрат на строительной площадке, а также является эффективным средством увеличения жесткости железобетонных плит.

Увеличение процента содержания листовой арматуры, расположение ее на краю сечений повышают несущую способность сталебетонных элементов при рациональном использовании высокопрочных марок бетона и небольших размерах поперечного сечения.

При одинаковых размерах сечения и проценте армирования сталебетонных и железобетонных конструкций сталебетонные обладают наибольшим моментом

сопротивления, так как концентрированное сечение полосовой, листовой арматуры располагается на максимально возможном удалении от центра тяжести сечения.

Для сталебетонных конструкций в процессе их эксплуатации вопрос трещинообразования (появление и раскрытие трещин) в растянутой зоне в процессе эксплуатации не имеет такого актуального значения, как для железобетонных.

Эффективность и жизненность конструкции предопределяются не только конструктивной формой, но и технологией ее изготовления, экономической конкурентоспособностью.

В сталебетонных конструкциях, по сравнению с железобетонными, применение внешней арматуры позволяет получить экономию высокопрочной продольной рабочей арматуры до 15–20 % при одиночном армировании и до 25 % – при двойном. Замена стальных конструкций на сталебетонные дает возможность экономить сталь в объеме 35 % при той же несущей способности.

1.4. Перспективные направления развития строительных материалов при возведении высотных зданий

1.4.1. Технология монолитного бетона

1.4.1.1. Общие принципы технологии монолитного бетона

Основным материалом для возведения каркаса высотных сооружений является монолитный железобетон. На его основе созданы многие известные небоскребы, в том числе и мировые рекордсмены – башня «Burj Dubai» (высота 818 м) и высотки нефтегазового концерна Petronas в Малайзии (высота 432 м). Ежегодное производство бетона, используемого для возведения монолитных конструкций различных зданий и сооружений, превышает 1,5 млрд м³, а на изготовление этих конструкций расходуется больше половины мирового производства цемента. По объемам выпуска и области своего применения монолитный бетон опережает другие виды строительных материалов. Так, его производство на душу населения в США составляет 0,75 м³, Японии – 1,2, Германии – 0,8, Франции – 0,5 м³. Для сравнения, в странах СНГ этот показатель значительно меньше – от 0,15 до 0,2 м³.

Со временем появилось понимание, что потенциал монолитного бетона как конструкционного материала, позволяющего возводить яркие и выразительные сооруже-

ния, используется не в полной мере. Очевидно, что расширению области его применения в высотном строительстве будут способствовать освоение новых технологий, создание и внедрение современных опалубочных систем, систем комплексной механизации технологических процессов приготовления, доставки, подачи и укладки бетонной смеси, ускоренных методов твердения при круглогодичном производстве работ.

Основу процесса возведения монолитных высотных зданий составляет комплекс технологических и организационных мероприятий, направленных на оптимизацию сроков производства работ, снижение их трудоемкости и обеспечение требуемого качества конструкций.

В мировой практике в основном востребован бетон классов В40–В60. В последние годы наметилась тенденция к использованию высокопрочных бетонов В60–В90. Так, в монолитном каркасе комплекса «Федерация» (Москва) заложен бетон классов В60 и В80–В90. С конструктивной точки зрения класс материала зависит от действующих нагрузок по высоте здания. Примером рационального использования классов бетона может служить каркас Jin Mao Building (Шанхай), мегаколонны которого сечением 1,5 × 5,0 м на нижних и 1,0 × 3,5 м – на более высоких этажах, возведены из бетонов В80–В40. В 72-этажном здании (264 м) «Trump World Tower» (Нью-Йорк) прочность данного конструкционного материала варьировала как по высоте, так и по видам конструктивных элементов. В нижних этажах применен бетон класса В85.

В соответствии с поручением Министерства архитектуры и строительства специалистами РУП «Институт БелНИИС» при участии других организаций разработано ТКП 45–1.03–109–2008 «Высотные здания из монолитного железобетона. Правила возведения». В нем изложены принципиальные подходы к технологии возведения монолитных конструкций, аккумулирующие отечественный и зарубежный опыт. На необходимость их тщательной проработки еще на стадии проектирования монолитных каркасов высоток следует обращать внимание при подготовке специальных технических условий на проектирование (СТУ).

Требования к бетону как конструкционному материалу для данного вида строительства становятся особенно жесткими. И без современных технологий модификации монолитного бетона, обеспечивающих необходимую морозо-, огне-, ударостойкость и долговечность при агрессивных воздействиях, в высотном строительстве не обойтись.

Важным требованием является непрерывное производство бетона в больших ко-

личествах и подача его на большие расстояния как по горизонтали, так и по вертикали без изменения реологических свойств. Все технологические переделы, начиная от приготовления бетонной смеси и до ее укладки, подлежат тщательному контролю. Применяют в основном две технологические схемы доставки бетонной смеси:

в автобетоносмесителях от централизованного бетонного узла;

с автоматизированного бетонного узла, обеспечивающего приготовление модифицированных смесей прямо на объекте.

Второй вариант предпочтительнее, поскольку позволяет оперативно управлять процессом корректировки состава бетонной смеси и сводит к минимуму изменение ее реологических свойств во времени – от начала приготовления до укладки в опалубку.

Строительство современных высотных зданий связано с применением мощных бетононасосных установок (автобетононасосов и стационарных бетононасосов). Автобетононасосы с распределительной стрелой в основном подают бетонную смесь при возведении подземной части и первых этажей сооружений. Стационарный бетононасос с переналаживаемым бетоноводом обеспечивает ее бесперебойное поступление на всю высоту здания. Распределение и подачу смеси в конструкции выполняют гидравлической распределительной стрелой, которая монтируется на технологической захватке на ранее возведенных монолитных конструкциях. Башенным кранам отводится роль вспомогательного средства для доставки бетонной смеси в бадьях на высоту здания.

Режим твердения бетона назначают в зависимости от конкретных условий производства работ, особенностей возводимых конструкций, требуемой распалубочной прочности, темпов возведения и т. д.

Повышенные требования предъявляют и к арматурным работам. Как правило, сварка арматуры для высотных зданий недопустима. Для стыка арматуры рекомендуется применять соединительные муфты или технологию ее вязки в построечных условиях, например с использованием специального ручного пистолета.

1.4.1.2. Опалубочные системы

Опалубочные системы и опалубочные технологии в основном определяют темпы строительства и трудоемкость операций на бетонных работах. Следует учитывать, что на высоте более 100 м из-за ветров и туманов краны не всегда могут полноценно работать, и использовать их можно не более 4–5 дней в неделю, а построить за это

время нужно не менее одного этажа. В этих условиях наиболее целесообразны самоподъемные на гидравлическом приводе опалубочные системы. Для строительства зданий высотой от 20 до 30 этажей разработаны опалубочные технологии возведения монолитного каркаса с применением традиционных опалубочных систем. Они, однако, не могут обеспечить темпы строительства, превышающие 3–4 этажа в месяц, и требуют разработки специальных технологий по опалубочным работам и обеспечению безопасных условий труда. Традиционные опалубочные технологии возведения монолитного каркаса практикуют на Украине.

При строительстве наружных стен зданий выше 30 этажей необходимо применять переставные самоподъемные опалубки с гидравлическим приводом, которые представляют собой совокупность модуля опалубки, состоящего из наружной и внутренней опалубочной панели, несущих рабочих подмостей и анкеров для крепления опалубки к зданию.

Эффективность переставной опалубки, конструкция которой дает возможность безопасно перемещать весь блок краном, заключается и в снижении трудоемкости опалубочных работ, увеличении темпов и качества строительства.

Самоподъемные опалубки в комплексе решают вопросы опалубливания и механической распалубки конструкций, механического перемещения опалубки по высоте, обеспечения безопасных условий производства работ и максимальной защиты от ветра. Опалубка носит индивидуальный характер, ее проектируют и изготавливают под конкретный объект. Для особо сложных высотных зданий разрабатывают специальные проекты с увязкой перемещения по высоте опалубки, гидравлической распределительной стрелы и индивидуальных кранов, размещаемых на строящемся каркасе.

1.4.1.3. Подъемно-транспортное и вспомогательное оборудование для высотного строительства

Традиционные башенные краны целесообразны при возведении зданий не выше 70–80 м. При большей высоте соотношение основных параметров крана (грузоподъемность, масса поднимаемого груза, безопасность и стоимость работ) становится неоптимальным. Для ведения работ на высоте до 130–140 м следует использовать приставные башенные краны, которые прикрепляются к возведенным конструкциям строящегося здания. При этом рекомендуется следующая технологическая схема: конструкции на высоте 60 м и менее возводятся с помощью традиционного башенного

крана, на высоте 130 м и менее – приставного, оптимальность использования которого на данной отметке и исчерпывается. Для строительства сооружений большей высоты необходимы самоподъемные краны, не имеющие ограничений по высоте подъема груза. Монтажные краны подобного типа крепятся к ядру жесткости здания и обеспечивают производство работ на ярусе высотой от 30 до 40 м.

После окончания работ самоподъемные краны, как правило, демонтируют и по частям опускают вниз с помощью лебедок. Однако за рубежом их нередко консервируют и оставляют на кровле в целях последующего использования, например при текущем или капитальном ремонте здания.

При высотном строительстве к традиционной проблеме подъема мелких грузов на стадии отделочных работ добавляется вопрос безопасного подъема рабочих. Для этих целей используют специальные грузопассажирские подъемники грузоподъемностью до 3 т и вместимостью до 20 человек. Рекомендуемая средняя рабочая высота подъема зависит от конструктивных особенностей строящегося здания. Количество и тип подъемников определяют исходя из конфигурации здания и требований по организации работ на объекте. Подъемники устанавливают после возведения 5–10 этажей надземной части.

Очень важны темпы строительства высоток – не ниже 4–5 этажей в месяц, а это зависит от техники и технологии. При этом максимально используют совмещенные технологии возведения каркаса и фасадных систем, применяют высокопроизводительное оборудование и современные опалубочные системы. Разрыв между устройством каркаса здания и навешиванием его фасада может достигать 5–7 этажей.

Сравнительно самостоятельными техническими элементами являются средства обеспечения работ по устройству ограждающих конструкций наружных стен или отделке фасада. Имеются в виду рабочие площадки, предназначенные для размещения рабочих и специализированного оборудования по внешнему контуру здания. При его высоте менее 75 м традиционно используют леса или навесные подмости разных типов. Но для безопасного ведения работ на фасадах более высоких сооружений целесообразны специальные фасадные платформы.

Серьезное воздействие на безопасность монтажных работ на высоте оказывает постоянная ветровая нагрузка. На высоте более 50 м на боковой поверхности строящегося здания возникают локальные, случайно направленные вертикальные ветровые

потоки, а в уровне верхнего обреза здания – локальные горизонтальные ветровые потоки значительной силы. Они существенно осложняют монтаж элементов большой площади (опалубочные панели и пр.) и оказывают негативное физиологическое воздействие на рабочих. В зимнее время ситуация усугубляется низкой температурой воздуха. Поэтому безопасность и приемлемые климатические условия ведения наружных строительных работ следует обеспечивать дополнительными техническими средствами – ветровыми ограждениями и защитными укрытиями. При этом необходимо предусмотреть следующие мероприятия:

установку ветрозащитных ограждений рабочей зоны, в том числе и при ведении наружных отделочных работ;

формирование на фасаде здания в зоне производства работ тепляков, конструктивно совмещенных со средствами подмащивания и обеспечивающих приемлемые условия труда. При устройстве теплоизоляционного ограждения следует использовать сетки специального назначения, тканевые завесы и пр.

Обеспечению безопасности труда в высотном строительстве следует уделять особое внимание. Анализ существующих в настоящий момент систем коллективной безопасности при работе на высоте в зависимости от конструктивных особенностей позволяет выделить следующие их типы: защитно-улавливающая система; универсальная улавливающая система; улавливающая система; ограждения предохранительные; сетчатое ограждение; защитные козырьки.

Наиболее часто применяются две технологические системы устройства защиты наружного контура. Защитно-улавливающая система (ЗУС) состоит из закрепленных по контуру перекрытий кронштейнов, по которым навешиваются улавливающие сетки, и является дополнительным средством защиты работающего в случае его падения с высоты 6–7 м непосредственно на сетку, а также от падающих строительных отходов в процессе возведения каркаса здания.

Предохранительные ограждения металлические (ПОМ) предназначены для создания безопасных условий труда при возведении монолитных каркасов высоток и оснащены сетчатыми экранами. Применение ПОМ помогает решать следующие задачи:

предохранение от падения за наружный край перекрытия работников, выполняющих монтаж опалубки перекрытия и работы по армированию и бетонированию перекрытия на вышележащем этаже; по устройству колонн, внутренних стен и диафрагм

за исключением наружных стен (необходимо применение наружных консольных подвесных подмостей);

демонтаж опалубки перекрытия и приведение в соответствие бетонных поверхностей на нижележащем этаже;

предотвращение от падения в опасную зону строящегося здания инструмента, элементов опалубки, строительных материалов, отходов.

1.4.2. Обеспечение термической трещиностойкости и водонепроницаемости массивных фундаментов

Масштабы строительства высотных зданий требуют решения проблемы обеспечения термической трещиностойкости массивных монолитных фундаментных плит, возводимых в условиях как положительных, так и отрицательных температур, методом непрерывного бетонирования.

Традиционный опыт решения этой задачи – разбивка конструкции на отдельные блоки (захватки), бетонироваемые дискретно, т. е. с перерывами и образованием сухих технологических швов. Хорошо зарекомендовала себя технология возведения массивных конструкций фундаментных плит объемом до 14 тыс. м³ без разбивки на отдельные блоки с непрерывной укладкой тяжелой бетонной смеси. Суть технологии заключается в применении модифицированных бетонов с низкой экзотермией классов до В60, приготовленных из высокоподвижных, в том числе самоуплотняющихся смесей. Бетонные смеси с осадкой конуса до 28 отличаются повышенной текучестью (распływ конуса не менее 65 см), связностью-нерасслаиваемостью (водоотделение не выше 0,3 %), содержат в своем составе портландцемент не более 330 кг/м³, поликомпонентные модификаторы и другие компоненты. Это предопределяет высокую удобоукладываемость смесей и снижение затрат на бетонирование конструкций, низкое тепловыделение и сокращение затрат на уход за бетоном и выдерживание конструкций. Эффективность технологии заключается в сокращении времени возведения конструкций.

Разработаны легкие бетоны классов по прочности на сжатие до В50 высокой морозостойкости (до F1500 и выше) и особо низкой проницаемости (до W20 и выше) при использовании пористых шлаковых заполнителей благодаря особенностям формирующейся плотной контактной зоны.

1.4.3. Применение расширяющей добавки для замены гидроизоляции

Одним из наиболее эффективных материалов для возведения подземных частей высотных зданий и комплексов является бетон с компенсированной усадкой.

Эти бетоны изготавливают на основе портландцемента и расширяющей добавки (РД – по ТУ 5743-023-46854090), которую вводят либо при помоле цемента на заводе, либо в процессе приготовления бетонной смеси непосредственно в смеситель. Применение такого бетона позволяет за счет регулируемого расширения в процессе твердения нейтрализовать проявление усадки, создать в железобетонной конструкции напряжение всей находящейся в ней и растягиваемой при этом (за счет сцепления с бетоном) арматуры, получать собственное обжатие (самонапряжение) бетона без дополнительных технологических операций и использования специальных машин и оборудования.

В результате повышается трещиностойкость конструкции. У бетона с компенсированной усадкой повышенная прочность на растяжение и лучшее сцепление со старым бетоном. Благодаря своей структуре такие бетоны являются водонепроницаемыми, обладают повышенной морозостойкостью и стойкостью при воздействии агрессивных сред, в том числе сульфатных. Конструкции из этого бетона обладают высокой долговечностью, срок безремонтной эксплуатации увеличен в 2–3 раза. При этом решается проблема снижения температурных деформаций по объему фундаментной плиты.

Практический опыт свидетельствует, что использование бетонов с компенсированной усадкой дает возможность возводить конструкции и сооружения, превосходящие по своим техническим и эксплуатационным характеристикам аналоги из бетона на портландцементе.

При применении этого бетона возможно отказаться от использования гидроизоляции в фундаментных плитах и стенах, защитной кладки из обычного кирпича, устройства дренажа и обратной засыпки котлована.

При возведении фундаментных плит большой протяженности устраиваются рабочие (холодные) швы. Осадочные швы между жилой высотной частью здания и пристроенной выполняются с использованием компенсаторов.

Опыт эксплуатации зданий и сооружений, построенных с 1965 г., показал их высокую надежность, дальнейшее повышение несущей способности (рост прочности бе-

тона до 80 МПа и более), практическое отсутствие эксплуатационных затрат в течение всего срока службы конструкций. Такие бетоны открывают новые возможности в строительстве, совершенно справедливо заслужив оценку Конгресса Международной Федерации по бетону и железобетону (FIB) в Вашингтоне в 1997 г. как «Строительный материал XXI века».

1.4.4. Комплексное использование легких бетонов в высотном строительстве

Анализ тенденций развития мировой практики строительства высотных зданий показывает, что основными задачами являются следующие:

снижение собственной массы здания; это особенно актуально для городов-мегаполисов, где имеется острый дефицит земельных площадей, а основания под ними, как правило, ослаблены различными инженерными коммуникациями; снижение массы здания важно для сейсмически активных регионов (например, Иркутская область, Владикавказ – до 7–8 баллов) в целях уменьшения степени вибрационного динамического воздействия на фундаменты и основания;

повышение не только уровня тепловой защиты здания, но и надежности его обеспечения тепловой энергией во время эксплуатации, соответственно, снижение уровня его энергопотребления;

повышение огнестойкости конструктивной системы здания и его пожаробезопасности в целом;

снижение энергоемкости и стоимости строительства зданий за счет применения материалов, производимых по низкоэнергоемким, малозатратным и при этом экологически чистым технологиям на базе преимущественного использования крупнотоннажных техногенных отходов и местных сырьевых ресурсов.

Эффективнейший путь решения всех этих задач – комплексное использование в конструктивной системе высотного здания (т. е. не только в ограждающих, но и в несущих конструкциях) такого универсального по своим строительно-техническим свойствам материала, как легкие бетоны на пористых заполнителях.

1.4.4.1. Конструкционные легкие бетоны, в том числе высокопрочные

Целесообразность выполнения несущих конструкций надземной части высотных

зданий из легких бетонов подтверждает зарубежный опыт строительства, подкрепленный соответствующей нормативно-технической документацией FIB.

Особенно широко и успешно конструкционный легкий бетон (КЛБ) классов по прочности на сжатие до B60 включительно используется в строительстве высотных зданий в США, Канаде, Японии, Австралии, в странах Западной Европы (Германия, Франция, Испания, Великобритания и др.). Например, перекрытия здесь выполняются в последние годы практически только из легких бетонов. Имеются примеры, когда почти все элементы несущей конструктивной системы (НКС) здания выполняются только из КЛБ. Один из них – известное здание Australian Square Tower, возведенное в Сиднее (1974).

На массу НКС здания приходится более 50 % расчетной нагрузки. Снижение ее при замене тяжелого бетона легким позволяет сократить расход арматурной стали на 12–18 % прежде всего в фундаментах; существенно уменьшить материальные и трудовые затраты на их устройство, в частности свайных ростверков, исключить расходы на укрепление оснований.

КЛБ, по зарубежным разработкам и в последние 20 лет – по отечественным, наряду с меньшей на 20–50 % плотностью, обладает еще следующими основными преимуществами, по сравнению с равнопрочными тяжелыми бетонами:

коэффициент теплопроводности ниже в 1,5–2,0 раза; это позволяет уменьшить теплоотдачу здания за счет выхода на «теплые» наружные стены элементов несущего каркаса здания, в частности перекрытий, выполненных из менее теплопроводных легких бетонов;

температура огнестойкости бетона выше на 300–500 °С;

морозостойкость бетона выше на 1–5 марок и его водонепроницаемость – на 1–3 марки.

В составе КЛБ есть возможность применять альтернативные традиционным относительно недорогие, низкоэнергоемкие и при этом экологически чистые пористые заполнители, изготавливаемые на базе:

рационального использования крупнотоннажных техногенных отходов (прежде всего, металлургии и тепловой энергетики);

местных природных материалов, в частности, пористых горных пород вулканического и осадочного происхождения.

Энергоемкость производства таких заполнителей в 3–5 раз, а себестоимость в

1,5–3 раза ниже в сравнении с природными плотными заполнителями для тяжелых бетонов. Соответственно, для КЛБ эти показатели также ниже.

За последние 10 лет НИИЖБ созданы КЛБ, в том числе высокопрочные – В40–В60 (при плотности 1 750–1 900 кг/м³) с высокоподвижными (осадка конуса равна 21–25 см) бетонными смесями. Такие бетоны получены за счет модифицирования их структуры химико-минеральными добавками нового поколения, а также с использованием высокопрочных пористых заполнителей: высокопрочных керамзита и пористого шлакового гравия (шлакостеклогранулята). КЛБ такого типа класса до В45 включительно успешно были применены в последние 5 лет при возведении облегченных монолитных и сборно-монолитных каркасов зданий высотой до 24 этажей (Воронеж, Москва).

Разработанные высокопрочные и высокоморозостойкие (до F1500 включительно) КЛБ являются, по существу, аналогами используемых в последнее время в зарубежной практике строительства высококачественных бетонов High Performance Concretes.

1.4.4.2. Теплоизоляционные и теплоизоляционно-конструкционные легкие бетоны

Для возведения ненесущих (с поэтажной разрезкой) наружных стен каркасных высотных зданий рекомендуются легкие бетоны теплоизоляционного (Т) и теплоизоляционно-конструкционного (ТК) назначения.

При марках по средней плотности D200–D500 эти бетоны приближаются по своим строительно-техническим свойствам к натуральному дереву. Поэтому их можно назвать бетонами «минеральное дерево». Такие бетоны, как и натуральное дерево, легкие, теплые на ощупь, легко обрабатываются (режутся, колются, строгаются, гвоздятся), но при этом не боятся биологической коррозии, являются негорючими (или трудногорючими) и долговечными.

Такая низкая плотность и, соответственно, теплопроводность достигается в Т и ТК бетонах за счет применения легких крупных (насыпной плотностью 10–250 кг/м³) и мелких (15–400 кг/м³) пористых заполнителей:

минеральных (перлит, вермикулит, пеностеклогранулят из вулканического пепла или вспученного стеклобоя, гравий и щебень из вулканического туфа и вспученного базальт-андезита, особо легкие трепельный гравий и керамзит);

органических (песок и гравий пенополистирольные или из других отходов производства полиолефинов, заполнители из отходов сельскохозяйственного производства и деревообрабатывающей промышленности).

Кроме того, снижению плотности этих бетонов способствует значительная (до 30 %) поризация цементной матрицы химическими добавками воздухововлекающего или воздухововлекающе-пластифицирующего действия.

Важное направление в области совершенствования технологии особо легких бетонов – разработка специально для них низкотеплопроводных и низкосорбционно-активных, малоклинкерных и бесклинкерных композиционных вяжущих на основе химически взаимосочетаемых техногенных отходов и продуктов их переработки. Использование таких вяжущих позволяет снизить до 35 % коэффициент теплопроводности и до 75 % – сорбционной (равновесной) влажности, до 1,5 раз – усадки бетонов при той же или повышенной их морозостойкости.

Наиболее востребованным и широко используемым в последнее время видом Т и ТК бетонов, являются модифицированные суперлегкие (марок D200–D350) полистиролбетоны. Они хорошо зарекомендовали себя при использовании как в сборном, так и монолитном вариантах при возведении жилых зданий более чем в 20 регионах страны, особенно в северных и северо-восточных (Петрозаводск, Екатеринбург, Томск, Омск, Иркутск, Норильск и др.).

Такие бетоны высококонкурентоспособны в сравнении с традиционными строительными материалами Т и ТК назначения:

с «эффективными» плитными утеплителями – благодаря высокой долговечности и теплофизическим свойствам во время эксплуатации при относительно низкой стоимости;

с ячеистыми пено- и газобетонами – благодаря меньшей возможной плотности, сорбционной влажности, теплопроводности при более высокой морозостойкости.

Можно привести следующие примеры принципиальных технических решений несущих наружных стен высотных зданий, возводимых с применением особо легких бетонов, отвечающих требованиям ГОСТ Р 51263–2012 и ГОСТ 25820–2014. Эти решения могут быть различны, изменяясь по уровням высоты здания.

Для зданий высотой до 75 м (включительно):

однослойная стена, например, из монолитного полистиролбетона марок по средней плотности D200–D300, возводимая в несъемной опалубке из жесткой объемной

просечной оцинкованной сетки, по которой путем торкретирования наносится отделочный слой.

Для зданий высотой более 75 м:

слоистая стена отдельной конструкции с наружным слоем из сборных тонкостенных ребристых панелей-скорлуп различной разрезки с применением мелкозернистого легкого бетона класса по прочности на сжатие от В25 до В60 (класс увеличивается по высоте здания) марки по морозостойкости не ниже F150. Панель-скорлупа с готовым защитно-декоративным слоем различных типов отделяется от внутренней теплоизолирующей части стены вентилируемым воздушным зазором с противопожарными рассечками через несколько этажей. При этом теплоизолирующий слой стены рекомендуется выполнять в виде:

стеновой кладки из блоков и перемычек, изготавливаемых, например, из модифицированного полистиролбетона марок соответственно D300 и D350 преимущественно на композиционных вяжущих; изделия выполняются двухслойными с обращенным внутрь воздушного зазора слоем толщиной 3–5 см из конструкционно-теплоизоляционного керамзитобетона или шлакопемзобетона;

однослойной стены из монолитного полистиролбетона марок D250–D350 (марка увеличивается по высоте здания), возводимой в несъемной опалубке из листовых огне- и водостойких материалов по легкому тонкостенному каркасу из оцинкованного профиля (гипсоволокнистые листы и т. п.); при этом внутренняя и внешняя опалубки соединяются одна с другой с помощью низкотеплопроводных гибких базальтопластиковых связей.

Таким образом, стоимость высотных зданий существенно выше, чем объектов массового строительства, и обусловлена не только специфическими конструктивными решениями, но также системами жизнеобеспечения и требованиями комплексной безопасности. Безусловно, при проектировании высотных зданий нужно принимать экономически оправданные технические решения, но при этом они не должны снижать надежность сооружения и превращать его в источник повышенной опасности для людей и окружающей среды. Только при этих условиях высотные здания станут своеобразной визитной карточкой государства, будут свидетельствовать о его экономическом благополучии и достижениях научно-технического прогресса в строительной отрасли.

ГЛАВА 2- ВОЗВЕДЕНИЕ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

2.1. Конструктивная вариативность возводимых объектов

В современном строительстве большепролетными принято считать здания и сооружения, имеющие конструкции с пролетами 18 м и более (для объектов гражданского назначения), 30 м и более (для промышленных объектов) либо имеющие консоль 9 м и более.

При этом, как правило, речь идет о конструкциях покрытия. И в связи с требованием отсутствия промежуточных опор таковые обычно проектируются однопролетными: в промышленном строительстве – это, например, судо-, авиа- и автосборочные цехи, тогда как в гражданском – здания вокзалов, крытые концертные и спортивные арены. При строительстве таких объектов именно возведение покрытий является наиболее сложным, ответственным и ресурсоемким процессом.

По статической схеме работы несущих конструкций большепролетные покрытия целесообразно разделять на балочные, рамные, арочные, оболочечные, складчатые, структурные и висячие.

В балочных покрытиях основные несущие конструкции – плоские либо пространственные, как правило стальные, балочные фермы – раскреплены в поперечном направлении прогонами и в ряде случаев дополнительными связями по верхним и нижним поясам. Среди всех большепролетных покрытий именно балочные наиболее распространены и просты в монтаже. Они отличаются простотой расчетной схемы (отсутствует распор от вертикальных нагрузок), а также (в случае шарнирного опирания ферм) малой чувствительностью к осадкам опор. Основные же недостатки такого конструктивного решения – это относительно высокие удельный расход стали (t/m^2) и высота ферм в коньке, достигающая в ряде случаев 6–10 м. Применяются балочные покрытия при пролетах не более 110 м.

Рамные покрытия характеризуются, по сравнению с балочными, меньшими массой и высотой основных горизонтальных несущих элементов, большей жесткостью, но и в то же время большими шириной поддерживающих колонн и подверженностью неравномерным осадкам опор и температурным деформациям. Ригели рам проектируются в основном решетчатыми в виде стальных и деревянных ферм, реже – сплошного

сечения из клееной древесины. Отдельные рамные элементы бывают, как правило, плоскостными, хотя встречаются и пространственные, состоящие из двух плоских, соединенных между собой связями, рам, что значительно повышает их поперечную жесткость. В рамных конструкциях возможно регулирование расчетных усилий путем подвески наружных стен, устройства анкерных оттяжек на консолях, замыкания опорных узлов после монтажа элементов покрытия, подъема или опускания опор, выгиба колонн в процессе монтажа, натяжения раскосов и стоек решетки и другими способами. Предназначаются рамные покрытия для пролетов до 120 м.

Основные несущие элементы в составе арочных покрытий – стальные (решетчатые) и деревянные (в том числе сплошного сечения) арки – бывают двух-, трех- и бесшарнирными. Последние – наименее материалоемки и деформативны. Арочные покрытия менее массивны, чем рамные и балочные, но более сложны в изготовлении и монтаже. Все типы арок весьма чувствительны к неравномерной нагрузке, температурные же колебания воспринимаются ими по-разному: в двухшарнирных и бесшарнирных возникают соответствующие усилия, в трехшарнирных – нет. Принято считать, что для арок является оптимальным: высота – $1/4$ – $1/6$ пролета, очертание – такое, при котором геометрическая ось совпадает с кривой давления от постоянной нагрузки (для пологих арок – круговое, для высоких – стрельчатое и т. д.). Высота решетчатого и сплошного сечений арок принимается в пределах $1/30$ – $1/60$ и $1/50$ – $1/80$ пролета соответственно, тогда как значение последнего обычно не превышает 200 м.

Под оболочечными наиболее часто понимаются жесткие пространственные, тонкостенные покрытия: верхняя и нижняя их поверхности криволинейны, а расстояние между ними (толщина оболочки) не превышает $1/20$ наименьшего из радиусов кривизны. Данному типу покрытий среди всех прочих соответствует наибольшее разнообразие возможных архитектурно-конструктивных решений. При этом ограничение по величине перекрываемого оболочечными покрытиями пролета зависит от их конструктивного решения и потому варьируется в весьма широких пределах. Несущие конструкции таких покрытий изготавливают из стали, древесины, в том числе клееной, а также сборного и монолитного железобетона. Оболочки могут быть нулевой, положительной и отрицательной гауссовой кривизны: наиболее типовыми примерами соответственно являются цилиндрические оболочки, купола и оболочки в форме гиперболического параболоида.

В свою очередь, купола конструктивно могут быть разделены на ребристые, ребристо-кольцевые и сетчатые. Ребристые состоят из радиально расположенных плоских ферм (ребер), шарнирно соединенных по высоте системой поперечных кольцевых поясов (колец); при этом кольцевые прогоны, обладающие, как правило, малой жесткостью, на деформацию ребер влияния практически не оказывают. Верхние пояса таких ферм либо узлы этих поясов (в случае многогранных куполов) проектируются вписанными в поверхность вращения (например, в сферическую или параболическую). В ребристо-кольцевых куполах кольцевые прогоны соединяются с ребрами жестко, при этом усилия в последних значительно снижаются разгружающим влиянием колец. Сетчатые купола образуются включением во все панели ребристо-кольцевых куполов дополнительных связей, что приводит к еще большему увеличению жесткости системы и улучшению ее работы на несимметричные нагрузки. Если непологие купола являются безраспорными системами, то пологие – распорными: элементы нижнего кольца испытывают растяжение, а верхнего – сжатие. При несимметричных нагрузках верхнее кольцо дополнительно подвергается кручению, усилия от которого тем больше, чем больше диаметр кольца. Нижнее кольцо проектируется с опиранием на стены или отдельные пилоны.

Складчатыми называют пространственные покрытия, состоящие из повторяющихся плоских тонкостенных взаимно пересекающихся плит (реже ферм), опирающихся по краям на диафрагмы жесткости. Угол наклона формообразующих элементов к горизонту обычно составляет не менее 30° . По статической схеме такие покрытия могут быть балочными, рамными и арочными. В плитном исполнении их толщину, высоту и ширину граней соответственно принимают не менее $1/200$, $1/10$ и $1/5$ пролета. При этом складчатые, равно как и прочие рассматриваемые покрытия, за исключением висячих, могут быть выпущены за пределы крайних опор с образованием консольных свесов. Плитные элементы складок выполняются как в монолитном (позволяющем перекрывать большие пролеты), так и в сборном, в том числе предварительно напряженном, железобетоне: так, за рубежом более распространены первые (угол наклона их граней обычно не превышает 35° , чтобы обеспечить возможность бетонирования без двойной опалубки); в нашей стране – вторые. Основным преимуществом складок перед оболочками является простота формы и, соответственно, простота изготовления, в том числе в заводских условиях. При этом небольшие в последнем случае габариты сборных элементов, удобные для хранения и транспортирования, обес-

печивают также возможность поточного монтажа без укрупнительной сборки и подмостей. Применяются складчатые покрытия, как правило, при пролетах не более 60 м.

Структурные покрытия, все более часто применяемые в последнее время, – это пространственные перекрестно-стержневые неразрезные и жесткие во всех направлениях системы из многократно повторяющихся комбинаций труб либо иных профилей (длиной в среднем до 3 м) и узловых фасоночных, либо шаровых элементов, соединенных на высокопрочных болтах. В качестве основного конструкционного материала структур, как правило, используется высокопрочная сталь, реже – алюминий и пластмассы. Из наиболее распространенных конструктивных типов структур можно назвать «ЦНИИСК», «МАРХИ», «Кисловодск» и «Берлин». В отличие от традиционных металлических балочных и рамных конструкций покрытий, структурные характеризуются меньшими материалоемкостью, трудозатратами заводского изготовления составляющих элементов, а также большей экономичностью их доставки на объект, сборки в укрупненные блоки и их последующего монтажа. Структурами могут быть перекрыты пролеты до 200 м.

В висячих покрытиях основными несущими элементами являются изготавливаемые из высокопрочных сталей и работающие исключительно на растяжение гибкие ванты (в виде канатов или арматурных стержней) либо тонкостенные листовые мембраны. Возможные архитектурно-планировочные и конструктивные решения висячих покрытий весьма многочисленны. Так, например, расположение вант может быть как параллельным, так и радиальным; они могут быть запроектированы в виде сетей, а могут – в виде висячих ферм или балок. Такие покрытия обеспечивают наилучшие условия акустики, видимости и освещенности. Кроме того, как вантовые, так и мембранные висячие покрытия выгодно отличаются от ранее рассмотренных, выполненных в металле: в растянутых элементах эффективнее используется площадь поперечного сечения, что обеспечивает малую массу несущих конструкций; ванты и мембраны, сворачиваемые на заводах соответственно в бухты и рулоны, к тому же весьма удобны при транспортировке и монтаже, не требующем применения ни лесов, ни подмостей.

Однако висячим покрытиям присущи и некоторые конструктивные недостатки: повышенная деформативность (ванты и мембраны могут свободно изменять свою начальную форму); необходимость устройства специальных конструкций для восприя-

ВОЗВЕДЕНИЕ ВЫСОТНЫХ И БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ
ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ: МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

тия распорных усилий от растянутых несущих элементов, что негативно сказывается на стоимости покрытия в целом; возникающая в ряде случаев трудность отвода воды с покрытия. Висячие покрытия являются наиболее перспективными в плане перекрытия больших пролетов, поскольку с увеличением пролета экономичность покрытия в данном случае только лишь возрастает, ввиду того, что масса несущих конструкций все равно остается относительно малой. Поэтому специфических ограничений по величине перекрываемого пролета для таких покрытий пока не выявлено.

Показательны результаты исследований немецких ученых О. Бюттнера и Х. Штенкера, установивших границы областей наиболее частого и рационального применения различных конструктивных типов покрытий в диапазоне перекрываемых пролетов от 5 до 500 м (рис. 2.1).

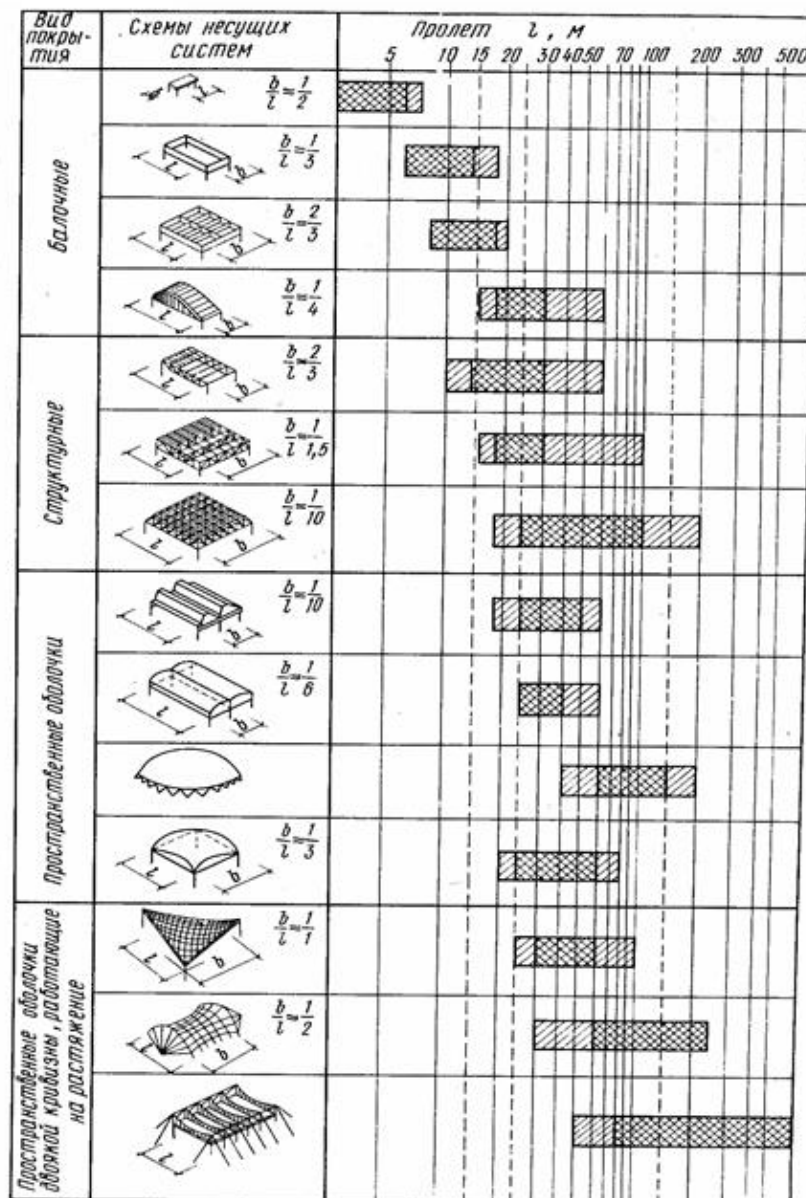


Рис. 2.1. Границы областей наиболее частого и рационального применения конструктивных типов покрытий по величине перекрываемого пролета

Отечественные специалисты уделяют внимание вопросам рационального проектирования конструкций большепролетных покрытий зданий и сооружений. Так, например, В.А. Максименко и Н.Н. Никоновым разработана оригинальная аналитическая методика определения экономических параметров их архитектурно-конструктивных решений, основанная на сопоставлении удельного расхода основного строительного материала несущих конструкций с площадью перекрываемого пространства (рис. 2.2).

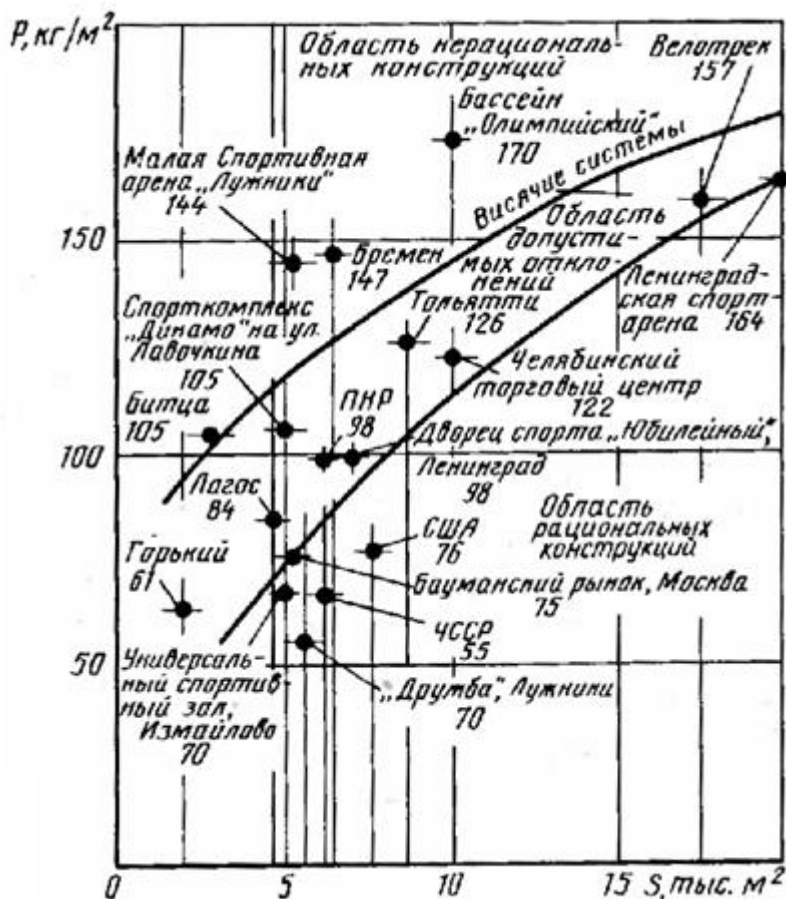


Рис. 2.2. Зависимость удельного расхода стали P на несущие конструкции большепролетного покрытия от его площади S

Все обозначенные особенности конструктивных решений большепролетных зданий и сооружений влияют на технологию их возведения и должны учитываться при соответствующем организационно-технологическом проектировании.

2.2. Общие принципы организации и производства работ

Говоря об организационно-технологических особенностях возведения большепролетных зданий и сооружений следует иметь в виду, что соответствующей спецификой отличаются в основном лишь процессы, связанные с возведением конструкций

покрытий таких объектов, прочие же, как правило, идентичны подобным процессам при строительстве зданий и сооружений с пролетами менее 18–30 м. Несмотря на конструктивную вариативность объектов, наиболее часто их покрытия все же монтируются, а не выполняются в монолите. Поэтому специфику возведения большепролетных зданий и сооружений рассмотрим с точки зрения применения соответствующих методов монтажа конструкций, грузоподъемной техники и технологической оснастки.

Большие габариты сборных несущих конструкций большепролетных покрытий исключают возможность их доставки с завода-изготовителя на объект в целом виде, в связи с чем она организуется транспортабельными частями – отправочными марками. Это обычно 1/2–1/8 часть конструкции либо отдельные ее элементы: стержни, ванты в бухтах, рулонные заготовки и т. д. На объекте же в том или ином виде организуются площадки укрупнительной сборки, оснащенные кондукторами, сварочным, контрольно-измерительным и другим необходимым оборудованием, на которых из подобных составляющих формируются монтажные блоки – готовые несущие конструкции или их части, отправляемые затем на монтаж. При необходимости может быть организована специальная транспортная система с тележками на рельсовом либо пневмоколесном ходу для доставки монтажных блоков со сборочных площадок в зону монтажа, в ряде случаев последние могут быть объединены с такой системой в единый сборочный конвейер. Так или иначе, конструкция, размеры и масса блоков предварительно должны быть увязаны с очередностью поставки на объект материалов, полуфабрикатов и изделий, с конструктивной схемой монтируемого здания либо сооружения, принятой последовательностью монтажа, обязательно учитывающей сроки и порядок его ввода в эксплуатацию, наличием и видом встроенного технологического оборудования и инженерных сетей, а также возможностями монтажных кранов либо иной спецтехники данного назначения.

Размеры рассматриваемых объектов строительства в плане очень велики и в большинстве случаев превосходят радиусы действия отдельных монтажных кранов. Это, а также значительная масса монтажных блоков приводят к тому, что даже в случае монтажа большепролетных ферм, арок, структур и прочих конструкций путем горизонтального наращивания частями, не говоря уже об их подъеме на уровень монтажного горизонта целиком, нередко приходится использовать не один, а два и более тяжелых самоходных гусеничных стреловых либо башенно-стреловых крана. В ряде случаев

может быть обосновано парное использование стационарных грузоподъемных механизмов: монтажных мачт, стрел, шевров, порталов, гидравлических подъемников и т. п.

Монтаж большепролетных покрытий также отличается повышенными требованиями к соблюдению техники безопасности из-за большой парусности и инерционности монтируемых конструкций; необходимостью их раскруживания после установки в проектное положение; большим количеством контрольно-измерительных операций в связи со сложностью наводки крупных монтажных блоков на опоры и последующей выверки их положения, в том числе (в особо ответственных случаях) операций по замеру монтажных усилий в элементах их конструкций; необходимостью применения редко используемых в обычной практике строительства видов, а иногда и индивидуальных образцов машин, монтажного оборудования и техоснастки: вертолетов-кранов, козловых, кабельных кранов, самоходных установщиков, домкратных систем, передвижных временных опор, балансирных траверс большой грузоподъемности и т. п.

В зависимости от направления развертывания монтажного процесса большепролетные конструкции прямоугольных в плане зданий могут монтироваться либо продольным методом, т. е. последовательно пролетами, либо поперечным. Последний бывает рационален: при вводе здания в эксплуатацию отдельными секциями, включающими все его пролеты; при использовании монтажных кранов с большим радиусом действия, с тем чтобы более полно использовать их возможности на каждой стоянке; при необходимости или целесообразности перемещения кранов поперек пролетов, что может иметь место при возведении бескрановых одноэтажных промышленных зданий, когда таким образом обеспечиваются наименьшие требуемые значения технических характеристик крановой техники.

В целях сокращения продолжительности строительства монтаж большепролетных зданий и сооружений вытянутых конфигураций целесообразно осуществлять одновременно в двух направлениях: от середины к торцам. При этом каждый из двух независимых потоков должен обслуживаться своим комплектом машин. При организации поточного строительства значительных по площади зданий и сооружений их разбивают на монтажные участки, а последние, в свою очередь – на монтажные захваты. Размеры участков и захваток увязывают с объемно-планировочными и конструктивными решениями возводимого объекта, трудоемкостью монтажа, необходимыми и имеющимися в распоряжении подрядной организации типами, количеством и возможностями

строительных машин, оборудования и монтажной оснастки (особенно это касается средств временного крепления и выверки конструкций: кондукторов, распорок и т. п.), численно-квалификационным составом бригады монтажников, особенностями ввода объекта в эксплуатацию и сроками сдачи смонтированных ячеек каркаса под производство последующих работ, а также местными условиями строительства.

Так, при возведении большепролетных цехов крупных промышленных предприятий в качестве монтажных участков нередко назначают отдельные температурные блоки (по завершении основных монтажных работ в них обычно можно начинать установку технологического оборудования, прокладку инженерных сетей и отделку помещений), а в качестве захваток – группы совместно расположенных типовых ячеек: на всех стадиях монтажа принятая конфигурация участков и особенно захваток должна обеспечивать устойчивость и геометрическую неизменяемость ранее смонтированных конструкций.

В зависимости от возможной и целесообразной схемы и степени совмещения процессов возведения подземных, несущих и ограждающих надземных конструкций, монтажа основного технологического оборудования и последующих работ строительство большепролетных промышленных зданий может быть организовано открытым, закрытым, совмещенным либо комбинированным методами.

Открытый метод заключается в том, что вначале выполняют все работы по возведению на монтажном участке (а в ряде случаев его отождествляют со всем зданием) подземной части, а затем, после планировки площадки и устройства временных путей движения соответствующей техники, монтируют конструкции, в том числе большепролетные, надземной, устанавливая технологическое оборудование, прокладывают инженерные сети и выполняют отделочные работы.

При закрытом методе на каждом монтажном участке вначале выполняют земляные работы и возводят фундаменты под основные несущие конструкции, после чего выполняют их монтаж. По окончании этих работ уже внутри здания разрабатывают котлованы, устраивают фундаменты под встроенные конструкции (например, этажерки) и технологическое оборудование, а также элементы подземного хозяйства (технические помещения, проходные каналы, коллекторы и т. п.); затем монтируют эти конструкции и оборудование и производят последующие работы. Данный метод особенно рационален, если фундаменты под технологическое оборудование занимают значительную часть площадей пролетов здания, а сеть подземного хозяйства весьма разви-

та, что при производстве работ открытым методом неизбежно приводило бы к сосредоточению на ограниченных участках их фронта большого количества трудовых и материально-технических ресурсов, увеличению количества вынужденных организационно-технологических перерывов и производственных опасностей. Закрытый метод позволяет, рассредоточив работы, повысить их темпы и добиться большей степени совмещения во времени, а также снизить расходы на механизацию работ за счет более адресного подбора и использования ее средств, ввиду чего, например, ситуации, когда тяжелые краны с высокой стоимостью эксплуатации приходится использовать на монтаже относительно легких негабаритных конструкций, практически исключаются.

При совмещенном методе устраивают общий котлован под все конструкции подземной части, запускают опережающим потоком бетонирование фундаментов под каркас здания, а его монтаж и бетонирование фундаментов под оборудование и конструкции подземного хозяйства совмещают так, чтобы к моменту сдачи фундаментов под оборудование монтаж каркаса на соответствующих участках был также закончен и можно было бы приступить к монтажу оборудования.

При комбинированном методе пролеты с большим насыщением технологическим оборудованием и с развитой сетью подземного хозяйства возводят закрытым методом; пролеты, где ситуация противоположна, – открытым.

Однако, как правило, большепролетные промышленные здания возводят закрытым методом. Это обусловлено тем, что такого рода строительство требует обычно больших свободных площадей для организации складирования и укрупнительной сборки конструкций; кроме того, перекрытия объектов подземного хозяйства здания могут не выдержать нагрузки от работающих сверху тяжелых самоходных кранов, используемых обычно на монтаже каркаса.

Готовность монтажных блоков: линейных, плоскостных, пространственных – должна обеспечивать минимизацию объемов вспомогательных и послемонтажных работ, для чего нужно стремиться к максимально достижимой, с учетом конкретных местных условий, степени укрупнения. Так, в ряде случаев в состав блоков большепролетных покрытий включают элементы технологического оборудования и инженерных сетей возводимых объектов. При укрупнительной сборке особое внимание уделяют обеспечению устойчивости блоков в процессе монтажа, для чего производят их временное усиление и

оснащают дополнительными приспособлениями, предупреждающими возникновение опасных деформаций и напряжений.

Для погрузки, разгрузки, укрупнительной сборки и монтажа большепролетных конструкций может быть обосновано применение не только стреловых и башенных, но также козловых (рис. 2.3), вертолет- (рис. 2.4) и кабель-кранов (рис. 2.5).

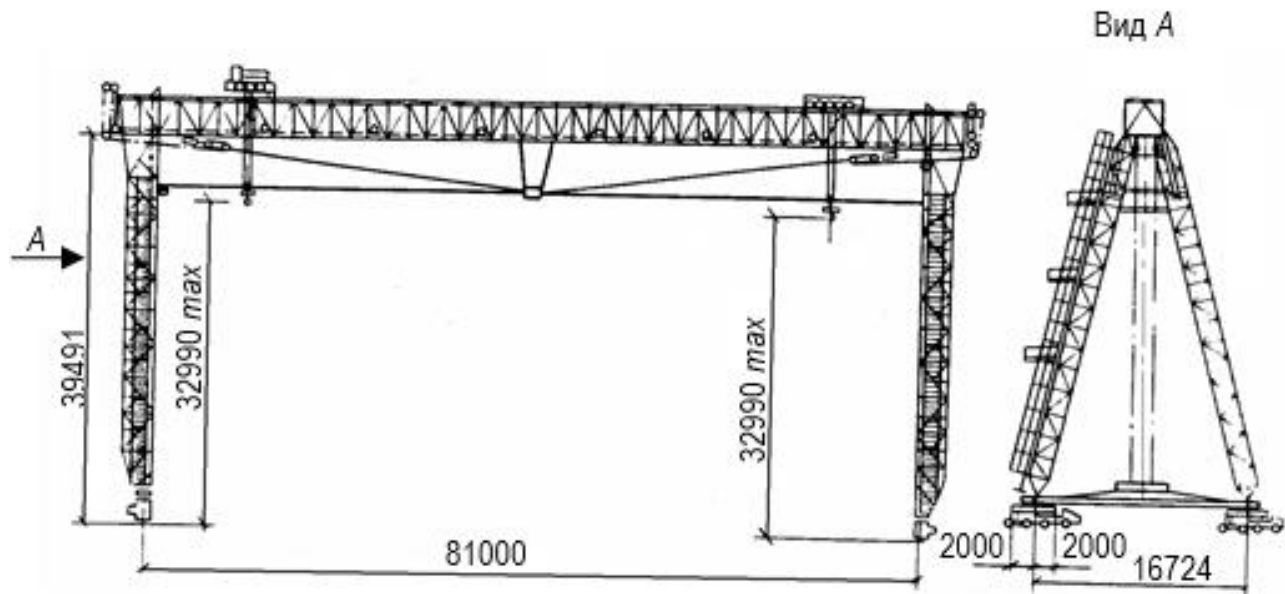


Рис. 2.3. Уникальный козловой кран УКП-100-81, применявшийся при монтаже большепролетных конструкций покрытия Театра оперы и балета в Харькове



Рис. 2.4. Вертолет-кран Ми-10К с дополнительной нижней кабиной для координации процесса монтажа конструкций

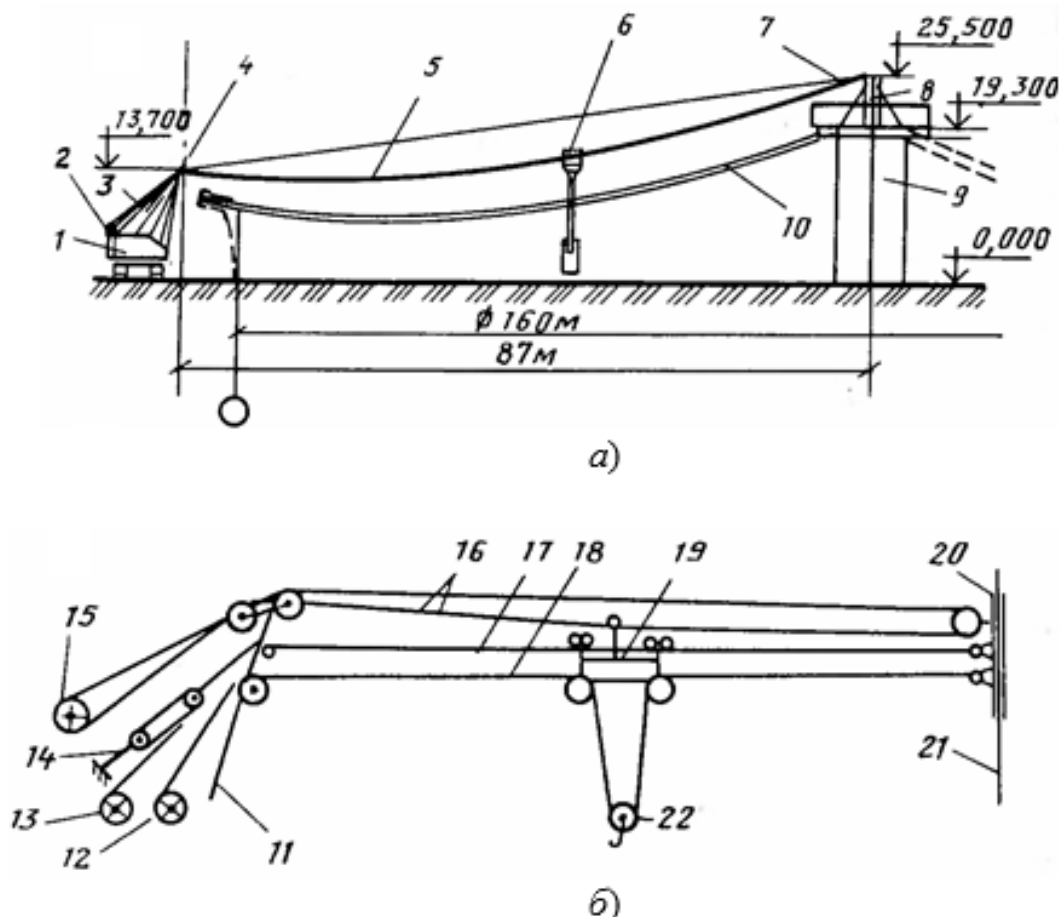


Рис. 2.5. Схема работы (а) и запасовки каната (б) кабель-крана при монтаже вантового покрытия здания автобусного парка в Киеве: 1 – гусеничный кран; 2 – тяговая лебедка; 3, 14 – стреловой полиспаст; 4 – концевая секция стрелы; 5, 17 – несущий канат; 6, 19 – грузовая каретка; 7, 21 – мачта неподвижной опоры; 8 – расчалка мачты; 9 – центральная башня здания; 10 – вантовое покрытие; 11 – конструкция концевой секции стрелы; 12 – барабан грузовой лебедки; 13 – барабан стреловой лебедки; 15 – барабан тяговой лебедки; 16 – тяговый канат; 18 – грузовой канат; 20 – поворотная головка; 22 – крюковая обойма

Работы выполняются комплексными бригадами. Большепролетные конструкции монтируют на проектных либо промежуточных временных опорах путем вертикального подъема, надвигкой либо наращиванием. При горизонтальном наращивании доставляемые на объект отправочные марки выгоднее монтировать с транспортных средств, т. е. без промежуточного складирования. При этом темпы монтажа и доставки и, как следствие, значения эксплуатационной производительности соответствующей техники, должны быть взаимосвязаны.

Выбор оптимальных организационно-технологических решений по монтажу должен учитывать весь комплекс рассмотренных выше базовых внешних и внутренних влияющих

факторов на основании результатов сравнения технико-экономических показателей альтернативных вариантов.

2.3. Возведение балочных покрытий

Монтаж балочных покрытий часто ведут отдельными большепролетными элементами путем их установки непосредственно на проектные опоры. Соответствующий комплекс организационно-технологических решений был реализован при строительстве однопролетного самолеторемонтного цеха длиной 218 м в Минеральных Водах (рис. 2.6). Его металлокаркас включает в себя стропильные фермы пролетом 60 м, с одной стороны шарнирно опирающиеся на колонны, шаг которых равен 6 м, с другой – жестко соединенные с двумя подстропильными фермами длиной 108 и высотой 8,5 м каждая, имеющими по три опоры, между которыми предусмотрены ворота шириной 54 м, позволяющие пропускать сверхмощные современные самолеты. Узлы подстропильных ферм выполнены на заклепках, соединения прочих металлоконструкций покрытия – сварными. Сверху на стропильные фермы оперты сборные железобетонные плиты размером 3 × 6 м.

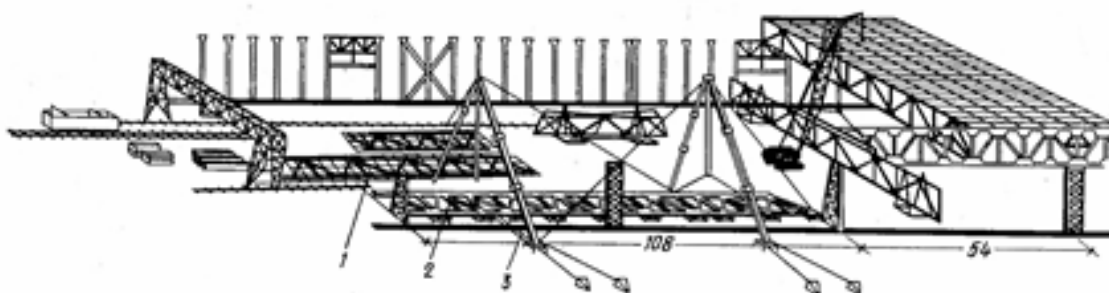


Рис. 2.6. Схема монтажа покрытия самолеторемонтного цеха в Минеральных Водах:

- 1 – площадка для укрупнения стропильных ферм;
- 2 – положение укрупненной подстропильной фермы перед подъемом;
- 3 – монтажный шевр

Началу монтажа предшествовала работа по выбору его оптимального варианта. Рассматривалось несколько схем, в том числе предусматривающая использование несерийного козлового крана, оснащенного двумя стрелами для подъема стропильных ферм и кран-дерриком на грузовой тележке для монтажа связей и плит покрытия. Однако более рациональным оказался и в итоге был принят проект Ростовского отделения ПИ «Промстальконструкция», по которому монтаж конструкций, кроме подстропильных ферм, осуществлялся краном СКГ-63 со стрелой 30 м и гуськом 10 м, а для складских ра-

бот и укрупнительной сборки стропильных ферм использовался козловой кран пролетом 38 м. При этом укрупнение выполнялось в два этапа последовательно на отдельных площадках недалеко от мест монтажа: сначала в полуфермы, затем – в фермы, которые уже поступали на монтаж.

Поскольку подстропильные фермы запроектированы неразрезными, монтаж каждой из них производили одним блоком массой 240 т с помощью двух циркульных шевров: сборка и клепка на высоте крайне трудоемки. Выполненные из труб диаметром 720 мм шевры устанавливали лишь после приемки всех узлов ферм. Каждая опора шевра состояла из трех секций, соединенных фланцами на болтах. Нижние секции оканчивались шарнирами: одну опору крепили к фундаменту, другую устанавливали на подвижные салазки, скользящие по рельсам длиной 20 м с шириной колеи 784 мм. У основания шевров к их опорам крепили горизонтальные полиспасты грузоподъемностью 40 т, на ось верхнего шарнира подвешивали грузовой полиспаст грузоподъемностью 130 т. Строповка подстропильных ферм осуществлялась двумя траверсами длиной 18 м каждая. Кантовку из горизонтального положения в вертикальное и подъем производили поочередной работой грузовых и горизонтальных полиспастов: сначала включали две электролебедки грузоподъемностью по 12,5 т, стягивающие грузовые полиспасты, затем две электролебедки грузоподъемностью 5 т, стягивающие горизонтальные полиспасты. Для контроля равномерности перемещения подвижных опор на рельсовых путях краской были нанесены риски, при этом отставание либо опережение опор допускалось в пределах 100 мм. Подъем и установка первой подстропильной фермы были произведены бригадой из 12 монтажников за 4,5 ч, второй – за 4 ч.

Строповка стропильных ферм осуществлялась траверсой грузоподъемностью 30 т и длиной 24 м. В целях обеспечения устойчивости смонтированные фермы до установки проектных связей временно раскрепляли в поперечном направлении: первые две – расчалками со стяжными муфтами, а остальные – инвентарными монтажными распорками с шагом 12 м по длине ферм.

При подъеме большепролетных балочных ферм одним краном изменяются значения и характер распределения усилий в их элементах относительно проектных: так, нижний пояс и раскосы, рассчитанные на растяжение, начинают претерпевать сжатие. И часто это может потребовать их дополнительного усиления на время монтажа во избежание потери устойчивости, особенно в направлении из плоскости ферм (рис. 2.7). Практически не меняются усилия при строповке за верхний пояс вблизи опорных частей

ферм, однако при этом подъем приходится осуществлять двумя кранами.

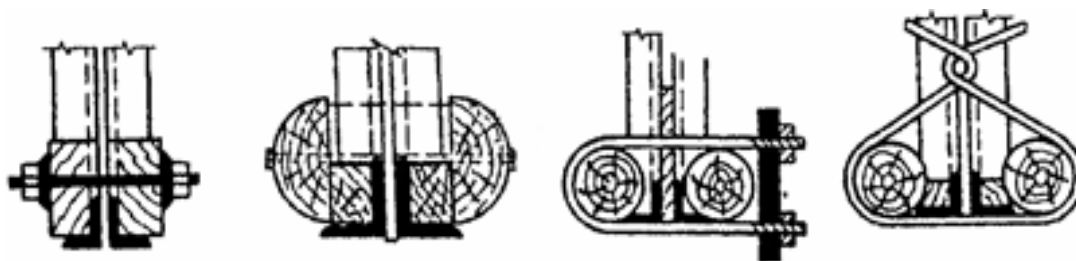


Рис. 2.7. Схемы временного усиления нижнего пояса фермы брусом

Нередко монтаж большепролетных балочных конструкций выполняется на временных промежуточных опорах. Каждая из них – жесткая стальная решетчатая башня необходимой, чаще всего регулируемой, высоты с системой опорных гидродомкратов на верхней рабочей площадке, выставляемых по нивелиру на величину строительного подъема, и питающих их гидронасосов, перемещающаяся вдоль пролета с одной стоянки на другую по рельсовому пути электротяги. По нему же обычно движется и транспортная тележка с подготовленным монтажным блоком от площадки укрупнительной сборки в зону монтажа и обратно.

В зависимости от размера перекрываемого пролета и технологических возможностей может быть применен монтаж двумя–пятью блоками на одной–трех опорах (рис. 2.8): при реализации последней из представленных схем для обеспечения поперечной устойчивости балочных ферм их монтируют спаренными блоками. Однако первая ячейка устраивается жесткой и в остальных случаях, при этом до установки связей каждый блок должен оставаться временно раскрепленным двумя–тремя парами расчалок, временное крепление блоков последующей ячейки осуществляется к ранее смонтированным распорками. Соединяются блоки по верхнему и нижнему поясам, как правило, на фланцах со стяжкой высокопрочными болтами.

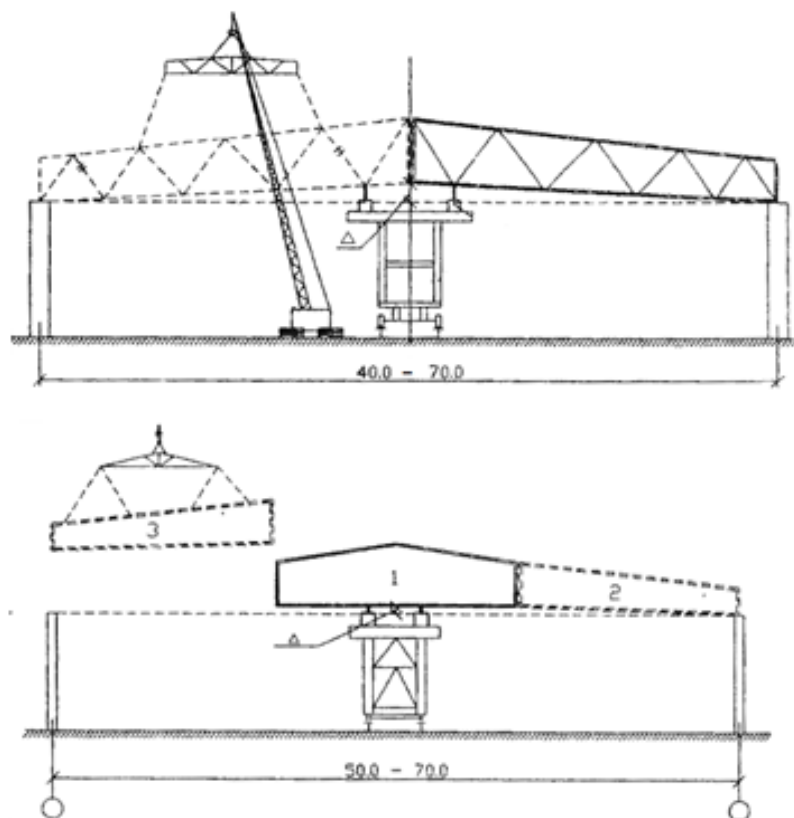


Рис. 2.8. Схемы монтажа балочных конструкций на временных промежуточных опорах:
1-3 и I-V – порядок монтажа одиночных и спаренных блоков соответственно; Δ – строительный подъем (начало)

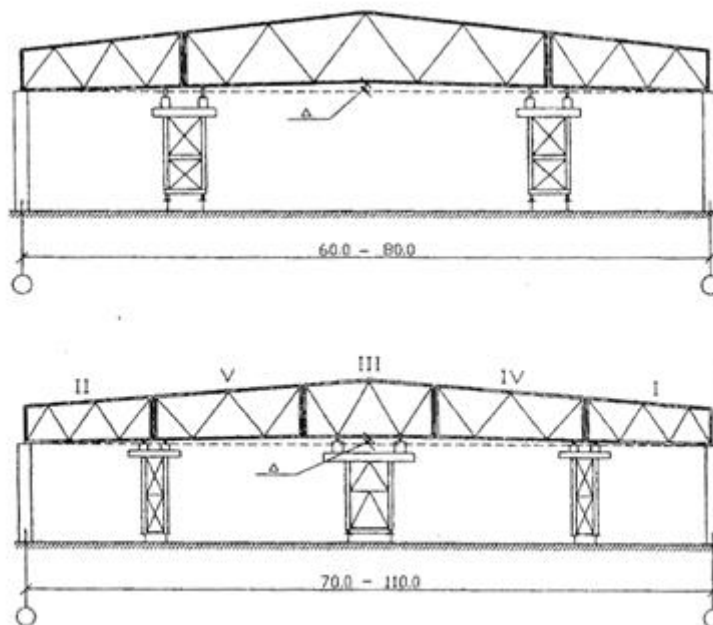


Рис. 2.8. Окончание

После сборки и инструментальной выверки большепролетных балок и балочных ферм производят их раскружаливание, т. е. постепенное снятие с временных опор путем опускания домкратов и контролируемое введение в работу.

При строительстве типовых одноэтажных промышленных зданий с большепролет-

ными балочными покрытиями высокие технико-экономические показатели (табл. 2.1) обеспечиваются вертикальным подъемом укрупненных блоков массой до 1 200 т четырьмя переставными ленточными гидроподъемниками, устанавливаемыми на оголовках колонн. У нас в стране эта технология лучше всего отработана при возведении стальных каркасов зданий размером 120 × 216 м, состоящих из двух пролетов: главного (96 м) и смежного с ним (24 м) высотой 34 и 24 м соответственно при шаге колонн 24 м. Основные конструкции покрытия главного пролета – сварные двутавровые балки высотой 3,3 м, усиленные сверху гибкими фермами высотой 12,2 м в коньке; монтажные соединения элементов таких систем выполнены на высокопрочных болтах. Балочно-ферменные системы соединены поперек с шагом 12 м неразрезными фермами высотой 3,3 м и пролетом 24 м; устойчивость элементов покрытия также обеспечивается горизонтальными и вертикальными связями.

Таблица 2.1

Технико-экономические показатели вариантов монтажа покрытия одноэтажного промышленного здания размером 120 × 216 м

Наименование	Монтаж		
	блоками до 45 т двумя башенно- стреловыми кранами с помощью 4 временных опор	блоками до 520 т с помощью самоходных подмостей- установщика	блоками до 1 200 т с помощью 4 ленточных гидроподъемников
Продолжительность выполнения работ, мес.	20	9	10
Количество рабочих, чел./сут.	60	25	9
Трудозатраты, чел.-дни	26 400	5 080	1 845
Выработка, кг/(чел.-дни)	350	880	2 276

Монтаж ведется пятью блоками (рис. 2.9), предварительно собранными на уровне земли на передвижных стендах, устанавливаемых с учетом проектного положения блоков в плане, до полной строительной готовности и окрашенными, включающими в том числе пути подвесного многоопорного крана, профнастил, сантехническое и электрооборудование. По типовому проекту на укрупнении используются гусеничные краны СКГ-63 и МКГ-25. Сборка одного блока занимает 2–2,5 месяца.

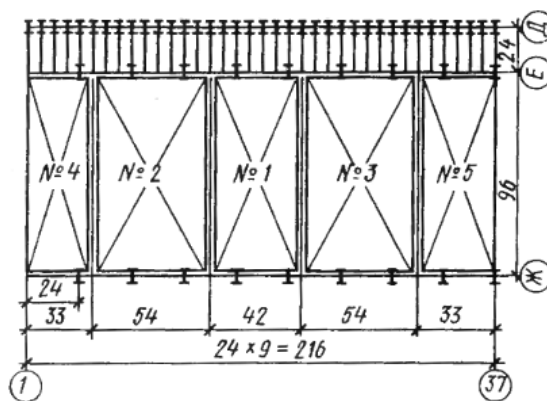


Рис. 2.9. Схема разбивки главного пролета цеха на монтажные блоки и последовательность их подъема

Подъем каждого блока на проектную отметку осуществляют в шесть этапов, по результатам каждого из которых блок перемещается вверх на 6 м и после выдвигения упоров на его концах опускается путем плавного уменьшения давления в домкратах на промежуточные опорные столики, приваренные к колоннам, служащим одновременно опорами и направляющими при подъеме, в связи с чем они запроектированы двухветвевыми с наружными диафрагмами и съемной решеткой, демонтируемой и устанавливаемой вновь по мере прохождения блока.

Поскольку максимальный ход штока соответствующих домкратов редко превышает 1,12 м, подъем блока на каждые 6 м также выполняют путем шестикратного производства поочередных подъемов на высоту 1 м с промежуточными остановками для перезарядки домкратов и перестановки пальцев с наддомкратной на поддомкратную балку и обратно. Продолжительность каждого этапа подъема в среднем составляет 1–2 смены, тогда как его общая продолжительность со всеми сопутствующими работами – 10–14 смен.

Достижимые при реализации данной схемы производства работ показатели эффективности подтверждают, что с увеличением массы монтажных блоков суммарная трудоемкость монтажа (с учетом сборки) снижается.

Нередко весьма эффективным является монтаж большепролетных балочных покрытий надвжкой, в чем легко убедиться, изучив ход строительства футбольно-легкоатлетического спорткомплекса ЦСКА на 10 000 мест в Москве, имеющего в своем составе два одинаковых зала длиной 126 м и пролетом 84 м. Покрытие каждого из них образовано из объемных стальных блок-панелей системы инженера Г.Д. Попова размером 2,5 × 12 м, состоящих из соединенных решеткой верхней и нижней плоских предварительно напряженных панелей, каждая из которых представляет собой каркас из

уголков, обтянутый стальной обшивкой толщиной 1,5 мм.

Формирование монтажных блоков происходило следующим образом. Сначала из плоских панелей, поступавших на объект в готовом виде, на спецкондукторах выполняли сборку объемных панелей. Затем на каждом из двух комплектов сборочных ступеней из девяти блок-панелей путем соединения их высокопрочными болтами собирали блок покрытия полной длины (110 м с учетом консолей) высотой 6 м в коньке и 2 м на концах, имеющий рыбообразную форму с радиусом верхнего и нижнего поясов 677 м (рис. 2.10). И уже непосредственно перед надвижкой эти два блока сваркой по всей длине на сплошных полосовых накладках объединяли в один монтажный блок размером 5 × 110 м и массой до 110 т. На укрупнении конструкций покрытия работали два башенных крана КБ-160.2.

На двух специально запроектированных восьмиколесных тележках скипового типа грузоподъемностью 60 т каждый монтажный блок по наклонной эстакаде длиной 30 м накатывали до уровня горизонтальных подстропильных балок и по ним производили последующую надвижку в проектное положение (рис. 2.11). Пути эстакады представляли собой неразрезные двухпролетные балки коробчатого сечения высотой 1 200 мм с уложенными по их верху рельсами, подпертые в середине стойками и одним своим концом опирающиеся на колонну каркаса возводимого комплекса, а другим – на запроектированный для этой цели фундамент.

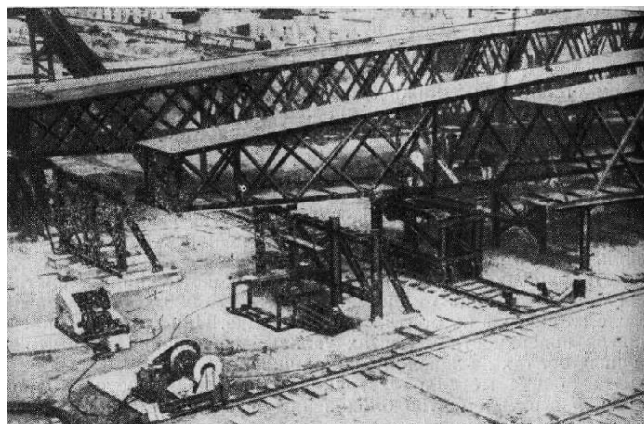


Рис. 2.10. Укрупнение конструкций покрытия спорткомплекса ЦСКА в Москве

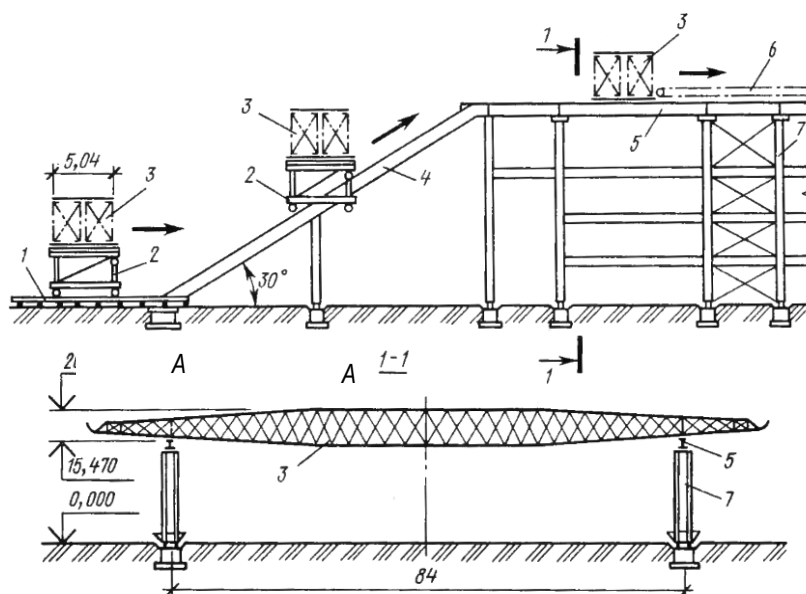


Рис. 2.11. Схема монтажа блока покрытия спорткомплекса ЦСКА надвижкой:

- 1 – рельсовый путь; 2 – тележка для передвижения блоков покрытия;
 3 – блок покрытия; 4 – пути наклонной эстакады;
 5 – подстропильные балки; 6 – тяговый полиспаст;
 7 – колонны комплекса

Для регулирования положения блока на опорных частях путей эстакады были установлены гидравлические домкраты грузоподъемностью 50 т. Тележки с блоками передвигали с помощью двух тяговых полиспастов и тихоходных электролебедок, требуемая грузоподъемность которых на наклонном и горизонтальном участках пути надвижки составляла 32 и 8 т соответственно. Малая скорость передвижения тележек по наклонному участку (1 м/мин) позволяла вести наблюдение за положением надвигаемого блока, не допуская опережения одного его конца другим, и обеспечивала тормозной путь в случае необходимости остановки, равный 10–15 мм. Полная сборка одного монтажного блока происходила в течение 10 смен, а его надвижка в проектное положение – в течение 1 ч.

Монтаж большепролетных покрытий надвижкой предварительно укрупненных блоков отличается относительно высоким уровнем безопасности, возможен в стесненных условиях и не требует применения дорогостоящей тяжелой техники: требуемая грузоподъемность основных машин и оборудования оказывается в несколько раз меньше, чем при прочих рассмотренных схемах монтажа. Потенциально же достижимые при этом его темпы и качество – наоборот, как правило, выше, в том числе в связи с ограничением свободы перемещения и удобством корректировки положения монтируемого блока в пространстве.

2.4. Возведение арочных покрытий

При поэлементном монтаже двухшарнирных большепролетных арок первые две из них временно закрепляют расчалками, временное крепление последующих к установленным ранее выполняют монтажными распорками. По мере монтажа прогонов и прочих проектных связей в покрытии расчалки и распорки демонтируют. Именно так был возведен стальной каркас арочного покрытия всемирно известного спорткомплекса в Конфлан-Сент-Онорин (Франция), включающий десять решетчатых трубчатых арок пролетом 36–46 м.

Однако наиболее часто двухшарнирные арки, как, впрочем, и любые другие, ввиду их большой гибкости монтируют частями, в том числе укрупненными в пространственные блоки, с использованием временных промежуточных опор. Их число увязывается с размером пролета арки, геометрией монтажных блоков и возможностями грузоподъемной техники. Подобные технологические решения использованы, например, при строительстве входящего в состав спорткомплекса МИФИ в Москве легкоатлетического манежа. Его покрытие содержит 22 стальные сплошные двухшарнирные арки, ширина, высота и пролет каждой из которых составляют 400, 1 000 мм и 58 м соответственно, опирающиеся с одной стороны на монолитные железобетонные контрфорсы, с другой – на стальные рамные конструкции трибун. Общая масса металлоконструкций покрытия 540 т, а его длина 226 м.

В ходе предварительного укрупнения конструкций покрытия сначала из отправочных марок на спецплощадке, обустроенной рядом с возводимым комплексом, со стороны контрфорсов с использованием башенного крана БКСМ-7-5 собирали элементы отдельных арок длиной в $1/3$ пролета и подавали их в зону монтажа, где путем попарного соединения прогонами получали достаточно жесткие монтажные блоки шириной 6 м и массой 15–20 т. При этом в зоне монтажа работали два гусеничных крана МКГ-25БР с длиной стрелы 23,5 м и гуськом 10 м: один – на доукрупнении, другой – непосредственно на монтаже блоков, а затем и временных (в виде распорок), и постоянных межблочных связей.

Монтажными опорами блоков служили стальные передвижные башни высотой 18 м (рис. 2.12, а) для их изготовления были использованы конструкции инвентарных шахтных лестниц: их две с половиной секции объединили системой вертикальных связей с нижней опорной платформой и верхней рабочей площадкой (на ней были размещены винтовые домкраты для раскручивания блока арок после его окончательного за-

крепления). Это обеспечило удобный и безопасный доступ рабочих к монтажным узлам и экономию металла, составившую около 20 т.

Принятые решения оказались и в целом весьма эффективными. Так, трудозатраты на укрупнительную сборку составили 2 112 чел.-дней (0,287 чел.-дней/м²) при выработке

241 кг/чел.-день, а на монтаж блоков и связей по ним, раскружаливание и передвижку опор – 528 чел.-дней (0,072 чел.-дня/м²) при выработке 1 023 кг/чел.-день.

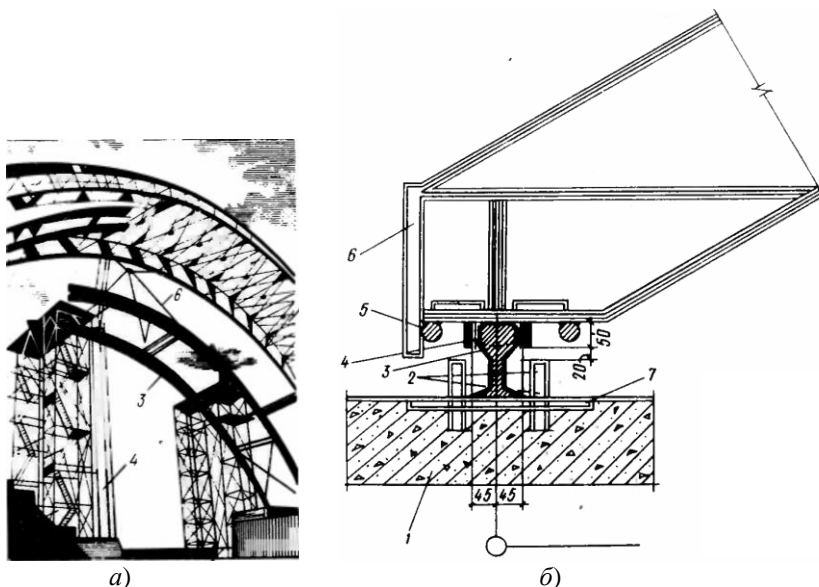


Рис. 2.12. Установка монтажного блока

из спаренных элементов арок на временные опоры (а)
 и решение опорного узла арок при их монтаже надвижкой (б):
 1 – ленточный фундамент; 2 – анкер; 3 – рельс; 4 – ограничитель;
 5 – связи; 6 – торцевой упор; 7 – закладная деталь

Нередки случаи монтажа двухшарнирных арок укрупненными блоками путем надвижки в проектное положение. Именно этот оригинальный метод в связи с высокой степенью стесненности условий производства работ был применен при сооружении арочных укрытий живорыбных садков рыбокомбината в Белгороде, представляющих собой бассейны размерами в плане 39 × 68 и 35,4 × 68 м. Все арки выполнены из двутавра № 45Б2 по ГОСТ 26020–83, имеют полигональное очертание, расположены с шагом 4 м и объединены между собой системой связей.

Отправочные марки укрупняли на площадке складирования в готовые арки, которые затем устанавливали краном МКГ-25БР на пути надвижки с соблюдением про-

ектного шага, временно закрепляя расчалками и монтажными распорками. В качестве путей передвижки использовались постоянные ленточные фундаменты, по которым был уложен рельс типа Р-43 и приварен к заранее предусмотренным в них для этого закладным деталям (рис. 2.12, б). После установки первых трех арок, монтажа по ним связей, в том числе прогонов, полученный жесткий пространственный блок с помощью двух электролебедок грузоподъемностью 8 т перемещали на 8 м в направлении к соответствующим поперечным осям возводимого укрытия, тем самым освобождая участок для доукрупнения надвигаемого блока еще двумя арками (рис. 2.13). Впоследствии блок (уже из пяти арок) перемещали еще на 8 м, после чего цикл работ повторялся.

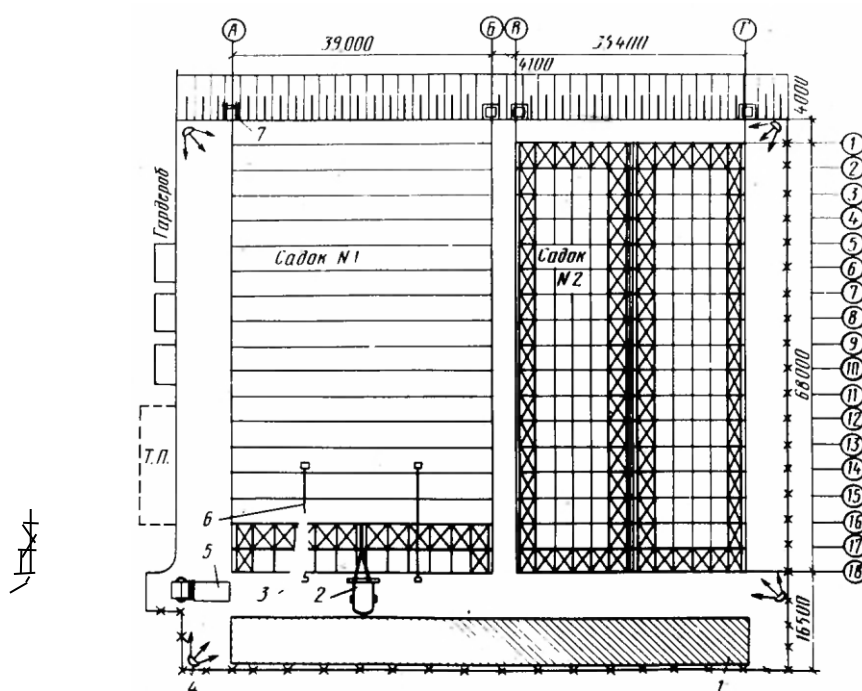


Рис. 2.13. Стройгенплан на период монтажа укрытий живорыбных садков в Белгороде:

- 1 – площадка складирования и укрупнительной сборки арок;
 2 – монтажный кран; 3 – якоря; 4 – прожекторы; 5 – грузовой автотранспорт; 6 – расчалки; 7 – места установки электролебедок

Свои особенности имеет монтаж арок с затяжками. Формирование монтажных блоков происходит путем соединения на сборочном стенде арочных элементов с элементами затяжки с помощью подвесок, причем в целях обеспечения возможности кантовки блока перед подъемом все узлы выполняют жесткими. Монтаж выполняется с использованием временных промежуточных опор (рис. 2.14).

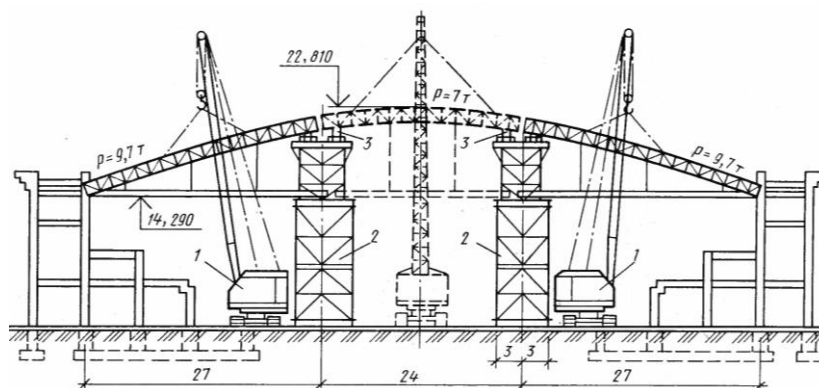


Рис. 2.14. Схема монтажа двухшарнирной арки с затяжкой:

1 – монтажный кран; 2 – временные опоры; 3 – винтовые домкраты

Большепролетные арочные покрытия находят применение при строительстве складов сыпучих материалов. И обычно при этом используют трехшарнирные арки пролетом до 60 м. Так, покрытия типовых складов для хранения карбамида представляют собой системы из трехшарнирных арок пролетом 58,3 м с шагом 10,5 м, опирающихся на сборные железобетонные А-образные контрфорсы высотой 7 м и массой 16 т. Арки состоят из двух прямолинейных ригелей длиной 36 м со ступенчато изменяющимся двутавровым сечением высотой до 1,2 м. Ригели поступают тремя отправочными марками, их стыки выполняют сварными либо на высокопрочных болтах диаметром 20–27 мм. Между собой арки развязаны в стыках частей составляющих их ригелей, а также в местах опирания на контрфорсы и по коньку балками; по верхним поясам ригелей с шагом 2 м предусмотрены прогоны. Кроме того, параллельно основным несущим ригелям в ячейках между ними и поперечными балками соосно вмонтированы части двух второстепенных. Таким образом, каждый скат кровли представляет собой балочную клетку, установленную под углом 37° к горизонту. Здания имеют два температурных отсека со связевыми панелями по торцам. Крестовые связи в этих панелях, а также все связи внутри балочной клетки выполняются на высокопрочных болтах 16–20 мм.

Монтаж покрытия начинают после достижения бетоном замоноличенных стыков фундаментов с контрфорсами прочности, составляющей не менее 50 % от проектной, до того последние оставляют временно закрепленными расчалками и клиньями. Согласно типовым проектам, монтаж ведут полностью готовыми, в том числе прошедшими антикоррозионную обработку, плоскими блоками размером $10,5 \times 36$ м и массой око-

ло 26 т, формируемыми в монтажной зоне на шпальных клетках с использованием гусеничного крана (рис. 2.15). При этом для обеспечения устойчивости блоков при подъеме их дополнительно оснащают системой шпренгелей.

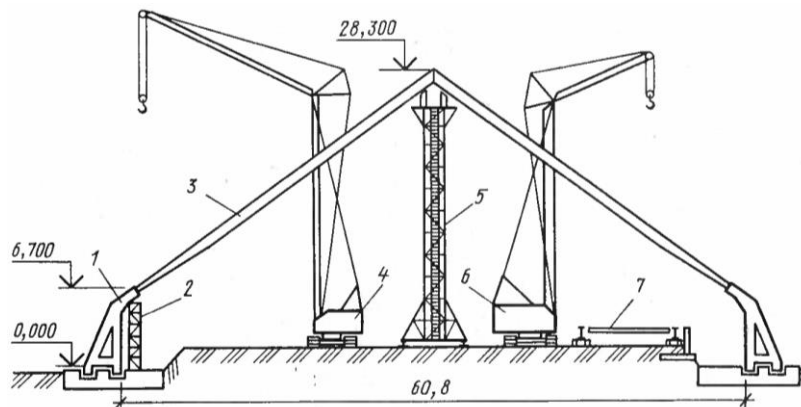


Рис. 2.15. Схема монтажа плоскими блоками
арочного покрытия склада карбомида:

- 1 – железобетонный контрфорс; 2 – переставные подмости; 3 – ригель арки; 4 – гусеничный кран СКГ-40БС; 5 – временная опора;
6 – гусеничный кран СКГ-63БС; 7 – укрупняемый блок

Блоки монтируют парами через одну в направлении от связевых панелей у температурного шва в стороны торцов. Каждый блок поднимают и устанавливают двумя гусеничными кранами СКГ-63БС (со стрелой 25,5 м и гуськом 16,4 м) и СКГ-40БС (со стрелой 25 м и гуськом 20,9 м) при строповке двумя траверсами (по два захвата на каждую). Нижний край блока устанавливают на контрфорсы, верхний – на передвижную временную опору высотой 25 м, сечением 2 × 10,5 м и размером основания 5 × 10,5 м, оборудованную маршевой лестницей и установленную по центральной оси пролета на рельсовых путях. Выверяют блок по высоте парой гидродомкратов ДГО-20, размещенных на верхней рабочей площадке временной опоры. После этого блок временно крепят к ней болтами и переходят к монтажу противоположного блока. Перемещение опоры с одной стоянки на другую осуществляют трактором (например, С-100) либо электролебедкой грузоподъемностью 5 т.

После монтажа пары блоков кран СКГ-63БС используют на сборке блоков следующей пары, а кран СКГ-40БС, как правило, на монтаже конструкций межблочного

пространства, в котором назначается и место стоянки данного крана.

Бесшарнирные арки пролетом 168 м применены в конструкции покрытия велотрека в Крылатском (Москва), построенного к открытию XXII летних Олимпийских игр (рис. 2.16).

Покрытие в плане имеет форму эллипса с длинами малой и большой осей 132 и 168 м соответственно и содержит четыре несущие арки: две внутренние и две наружные. Все арки выполнены из низколегированной листовой стали толщиной 20–40 мм и имеют замкнутое коробчатое сечение 2×3 м. Секции арок состыкованы через фрезерованные стальные прокладки с обваркой торцов по контуру стыков. И наружные, и внутренние арки опираются на массивные железобетонные устои. При этом наружные наклонены на 14° к горизонту и поддерживаются также конструкциями трибун; внутренние – большепролетные – не имеют промежуточных опор, наклонены к горизонту на 56° и объединены системой ферм с параллельными поясами пролетом 5,3–25,3 м, установленных с шагом 6,3 м. Распор арок воспринимают две железобетонные затяжки, расположенные ниже уровня чистого пола.

К монтажу внутренних арок приступили после набора бетоном устоев и затяжек установленной проектом прочности. Каждая арка поступала на объект 17 отправочными марками (секциями) длиной до 12,3 м и массой до 40 т. Секции монтировали поочередно в направлении от устоев к середине пролета на решетчатых стальных временных опорах сечением 2×3 м, используя при этом два гусеничных крана СКГ-100БС со стрелами по 35 м и гуськами по 10 м (рис. 2.17). Базы опор заземлялись в железобетонных фундаментах, а верхние части имели рабочие площадки с подставками, служившими для установки, выверки и временного крепления и раскручивания секций арок. Расход металла на изготовление временных опор составил 460 т. Фермы и прочие связи монтировали параллельным потоком с отставанием от монтажа арок на одну секцию.



Рис. 2.16. Крытый велотрек в Крылатском (Москва)

После установки всех секций, кроме центральных (замыкающих), измеряли расстояние между торцами смонтированных полуарок по каждому из четырех ребер и по результатам этих замеров выполняли подрезку замыкающих секций, заранее изготовленных с припуском по длине, что, в конечном счете, обеспечило совпадение сопрягаемых полуарок. Тем не менее из-за возможных вариаций монтажного зазора, в том числе в связи с колебаниями температуры окружающей среды, замыкающие стыки выполняли сваркой с накладками.

Технология монтажа наружных арок была аналогичной. Временные опоры, расположенные под монтажными стыками, были установлены непосредственно на наклонные балки верхнего яруса трибун, опирающиеся на колонны.

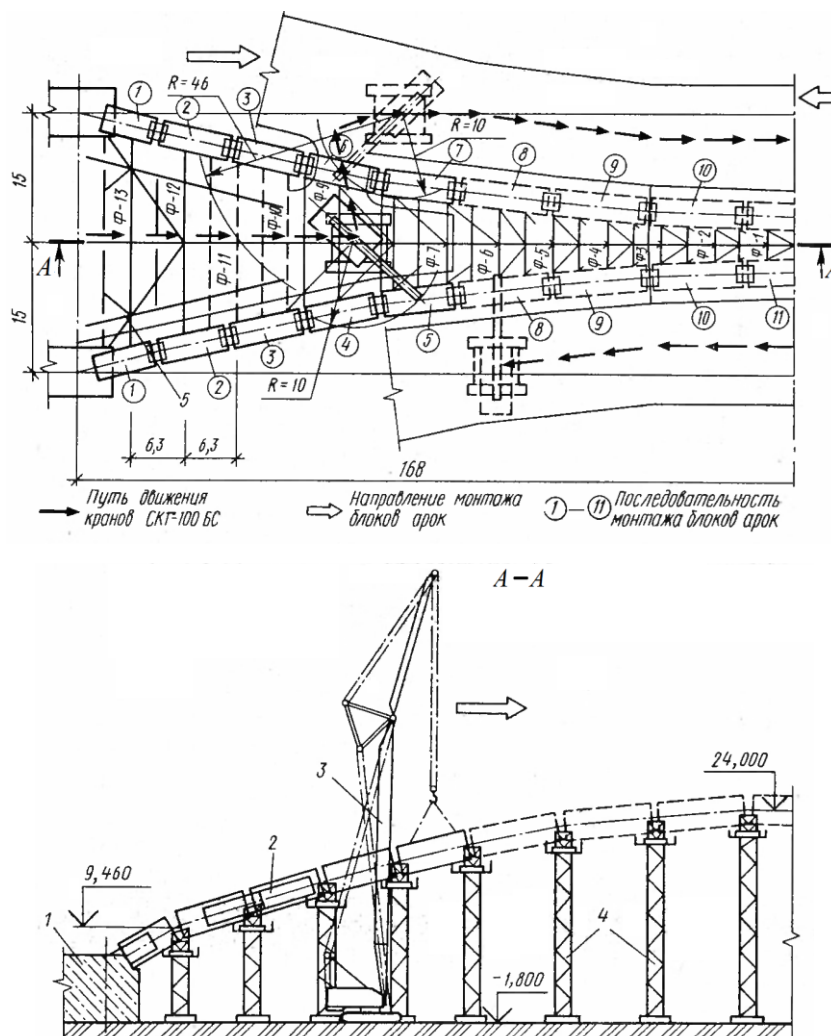


Рис. 2.17. Схема монтажа внутренних арок покрытия велотрека:

- 1 – железобетонный устой; 2 – блок арки; 3 – кран СКГ-100БС;
 4 – временные опоры; 5 – фермы

По окончании монтажа арок производили их раскружаливание. Для наружных арок этот процесс не представлял затруднений, так как деформации арок в вертикальном направлении были незначительны. Работы по одновременному раскружаливанию двух внутренних арок выполняли поэтапно в направлении от их центров к устоям: на каждом этапе на четырех противоположных временных опорах по обе стороны от большой оси устанавливали ручные гидродомкраты грузоподъемностью 100 т, с их помощью образовывали зазор в 1 мм под монтажными стыками секций арок и после удаления опорных подкладок вводили соответствующие участки смонтированных конструкций в работу.

2.5. Возведение купольных покрытий

Большепролетные ребристые купола монтируют поэлементно, укрупненными блоками (чаще всего) и в целом виде. При этом в первых двух случаях монтаж ведется с использованием временной стационарной опоры, устанавливаемой в центре возводимого здания или сооружения (рис. 2.18), либо навесным способом.

При использовании мачты с опорным кольцом в качестве центральной опоры (рис. 2.18, а) монтаж начинают с ее сборки и оснащения подмостями и расчалками. Затем с помощью одного или двух самоходных кранов производят ее установку, выверку и временное закрепление, после чего монтируют верхнее опорное кольцо купола. Монтаж укрупненных на земле ребер купола ведут попарно с двух диаметрально противоположных сторон: ребра опирают на нижнее и верхнее опорные кольца и соединяют между собой кольцевыми прогонами.

Именно так были смонтированы стальные конструкции купольного покрытия цирка в Кисловодске. Здание состоит из круглой в плане зрительной части, перекрытой куполом диаметром 45 м, и примыкающих к ней вспомогательных помещений. В свою очередь, сам купол состоит из 16 полурам, сходящихся в центре у верхнего опорного кольца диаметром 10,5 м. Устойчивость покрытия обеспечивается связевыми секторами, расположенными в плане крестом, а также кольцевыми распорками и прочими связями, предусмотренными в остальных секторах и образующими вместе с полурамами жесткую пространственную каркасную систему.

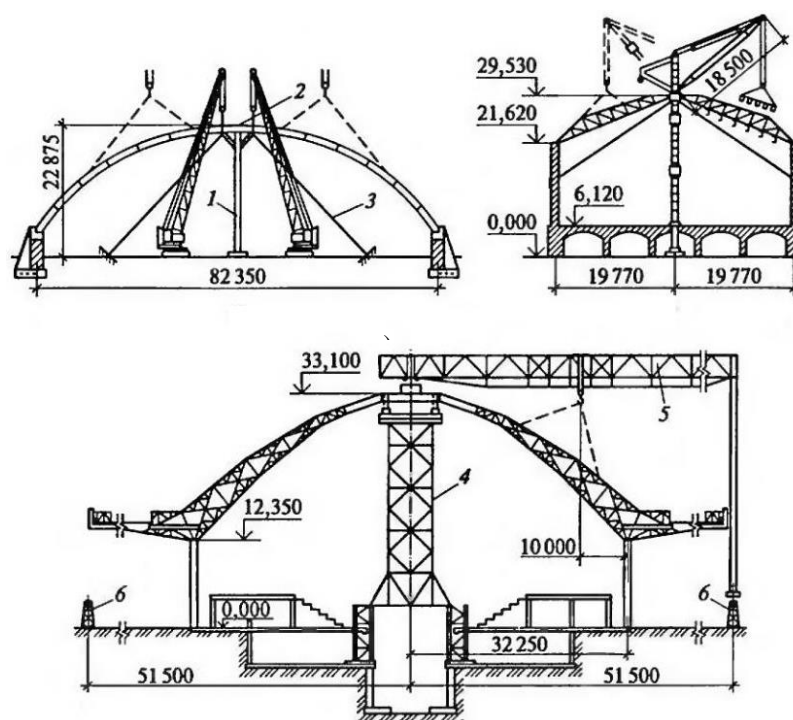


Рис. 2.18. Схемы монтажа куполов

при использовании в качестве центральной опоры

мачты с опорным кольцом (*a*), кран мачты (*b*), башни с радиально-поворотным грузоподъемным устройством (*в*); 1 – мачта; 2 – верхнее опорное кольцо купола; 3 – расчалка; 4 – башня; 5 – радиально-поворотное грузоподъемное устройство; 6 – подкрановая эстакада

Центральная временная опора высотой 26 м и грузоподъемностью 50 т была запроектирована в виде трубчатой мачты диаметром 500 мм на расчалках (верхних и нижних) с двумя полиспастами грузоподъемностью по 15 т для подъема монтажного блока массой 20 т, включающего верхнее опорное кольцо и колосниковую решетку, диаметр центрального кольца которой составлял 1 м для свободного размещения в нем мачтовой опоры. В ее оголовке и башмаке расположены проушины для крепления грузовых полиспастов и расчалок. На монтаже покрытия был использован кран МКГ-25БР с башней высотой 23,5 м и стрелами длиной 15 и 20 м.

Временную опору подали краном внутрь здания и оперли башмаком на направляющие, а оголовком – на стену. Затем, передвинув электролебедкой низ опоры на шпальную клетку, выложенную в центре манежа цирка, приподняли краном верх опоры на максимально возможный угол и поворотом вокруг башмака довели ее электро-

лебедкой до вертикального положения, временно закрепив (рис. 2.19). Затем укрупнили и подняли на проектную отметку верхнее опорное кольцо с колосниковой решеткой, четырьмя верхними расчалками закрепив его к оголовку временной опоры, а четырьмя нижними – к ее башмаку.

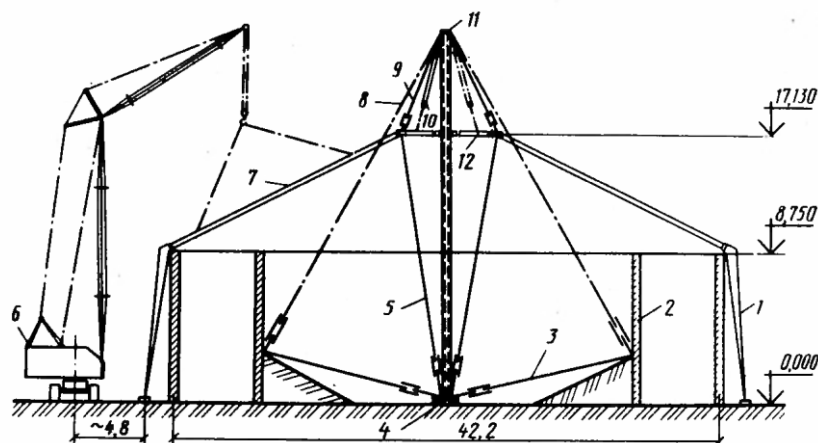


Рис. 2.19. Схема монтажа купольного покрытия цирка в Кисловодске:

- 1 – V-образная стойка полурамы; 2 – кирпичная стена;
- 3 – нижняя расчалка временной опоры; 4 – шпальная клетка;
- 5 – нижняя расчалка опорного кольца; 6 – кран МКГ-25БР;
- 7 – ригель полурамы; 8 – верхняя расчалка временной опоры;
- 9 – верхняя расчалка опорного кольца; 10 – полиспаст;
- 11 – центральная временная опора; 12 – верхнее опорное кольцо

При монтаже V-образных стоек полурам по периметру здания, ригелей, распорок и связей в связевых секторах купола длина стрелы составляла 15 м, при монтаже колосниковой надстройки и связей вблизи верхнего опорного кольца – 20 м. В качестве подмостей использовали типовые навесные лестницы с люльками и специально спроектированную передвижную площадку, которую перемещали по верхним поясам ригелей ручными лебедками, установленными на самой площадке и колосниковой решетке.

На последней были также устроены кольцевые подмости для регулирования натяжения винтовых стяжек расчалок и приема ригелей.

Для обеспечения возможности демонтажа временной опоры ее впоследствии разрезали на две части. В процессе их опускания вовнутрь здания использовался гру-

зовой полиспаст, закрепленный за верхнее опорное кольцо купола. Пологие купола пролетом 40–50 м рекомендуется монтировать кран-мачтами, одновременно используя их в качестве центральных временных опор (см. рис. 2.18, б).

При этом после установки и закрепления ребер купола их раскружаливание выполняют путем ослабления клиньев в опорной клетке под основанием мачты. При демонтаже мачты ее сначала, как правило, разрезают ниже и выше верхнего опорного кольца, свободные отрезанные части затем удаляют, а вваренная в опорное кольцо третья часть остается элементом конструкции купола.

При использовании в качестве центральной опоры башни с грузоподъемным радиально-поворотным устройством, скомплектованным из элементов козлового крана (путем замены одной его передвижной опоры на поворотную) и предназначенным для укрупнительной сборки и монтажа блоков покрытия, работы начинают с подготовки монолитного основания под башню и устройства кольцевых рельсовых путей на металлической эстакаде вокруг купола.

Подобным образом был выполнен монтаж стальных конструкций купольного покрытия Большого Московского цирка пролетом 64,5 м. В центре здания была смонтирована временная стальная опора высотой 34 м, опиравшаяся на монолитное бетонное основание манежа. На верхней площадке опоры было установлено опорное кольцо, на котором с возможностью вращения был закреплен ригель радиально-поворотного устройства грузоподъемностью 30 т, смонтированного с помощью портала высотой 55 м и грузоподъемностью 100 т. Другая, подвижная, опора радиально-поворотного устройства могла перемещаться по рельсовому пути, уложенному на кольцевой эстакаде высотой 4,5 м и радиусом 51,5 м (см. рис. 2.18, в).

Поступавшие на объект конструкции купола при помощи гусеничного стрелового крана укрупняли в блоки массой до 15 т и подавали в зону действия радиально-поворотного устройства, где на геодезически выверенных стендах-кондукторах собирали купольные секторы длиной 32,3 м и массой 30 т. Затем каждый из них устанавливали радиально-поворотным устройством на проектные опоры. Ранее этим устройством были установлены 24 трубчатые колонны – нижние опоры купола (по две на каждый сектор). Все монтажные соединения первоначально выполняли на болтах, а после окончательной выверки дополнительно проваривали.

Навесным способом, чаще всего, монтируют тяжелые железобетонные панели сборных купольных покрытий. Для временной поддержки панелей до их соединения с

тягами, закрепленными к инвентарным монтажным стойкам, используют передвижные стальные фермы-шаблоны. Каждую панель укладывают нижними углами на постоянные опоры, а верхними – на установочные винты фермы-шаблона. После соединения панелей

с тягами винты опускают на 110–115 мм и перемещают ферму-шаблон на позицию монтажа следующей панели. Сборка соответствующих кольцевых ярусов покрытия выполняется

последовательно в направлении снизу вверх. При этом обычно используется башенный кран, который для большей жесткости раскрепляют с четырех сторон расчалками (рис. 2.20).

Данный способ применялся при монтаже сборного железобетонного купольного покрытия рынка в Донецке диаметром 37,12 м, состоящего из 15 кольцевых ярусов, каждый из которых собирали из однотипных панелей толщиной 4 см с окаймляющими ребрами высотой 27 см. Высота всех панелей, кроме замыкающих, составляла 129 см, тогда как ширина в направлении от нижнего яруса к верхнему ступенчато уменьшалась. Подъем и установка панелей осуществлялись размещенным в центре здания башенным краном, временное крепление – инвентарным приспособлением в виде стойки с оттяжками и стяжной муфтой. По проекту было предусмотрено соединять смежные панели между собой болтами. Швы между панелями замоноличивали цементно-песчаным раствором, по верхней кромке панелей каждого яруса устраивали монолитный железобетонный пояс. Работы велись с наружных инвентарных подвесных подмостей, которые перемещали в процессе монтажа по месту. После того как раствор в швах и бетон монолитного пояса приобретали прочность, равную 70 % от проектной, стойки с оттяжками снимали и аналогичным образом начинали монтировать следующий ярус.

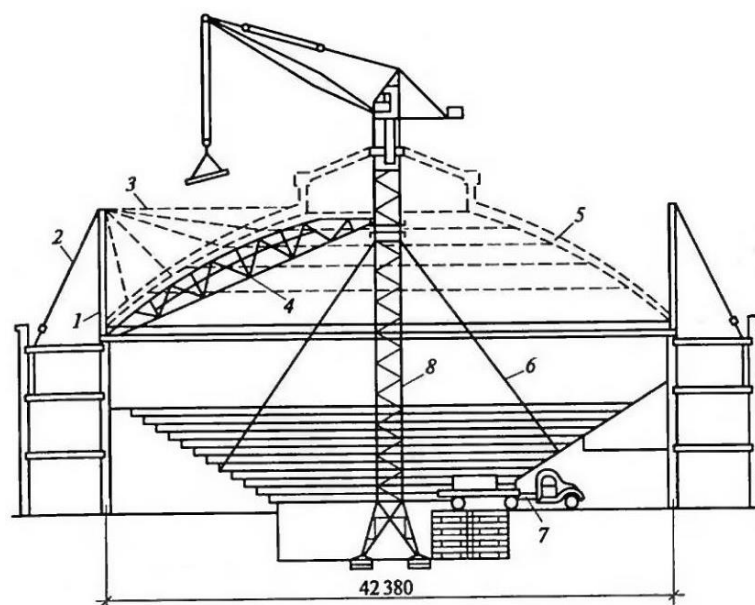


Рис. 2.20. Схема монтажа панелей

сборного купольного покрытия навесным способом:

- 1 – инвентарная монтажная стойка; 2 – расчалка стойки;
- 3 – тяга; 4 – передвижная ферма-шаблон; 5 – купол;
- 6 – расчалка башни крана; 7 – панелевоз; 8 – башенный кран

Также навесным способом был смонтирован купол крытого рынка в Сиди-Бель-Аббесе (Алжир) диаметром 41 м, состоящий из 14 кольцевых ярусов, содержащих в общей сложности 648 трапециевидных кессонных сборных железобетонных панелей (24–48 на ярус), которые до замоноличивания удерживали временными съемными противовесами. На монтаж каждого яруса уходило около 8 ч.

К числу знаковых объектов, при возведении которых был применен навесной способ, относится и крытый стадион «Louisiana Superdome» в Новом Орлеане (США) на 80–100 тыс. зрителей с выдвигаемыми трибунами на уровне игрового поля. Покрытие стадиона спроектировано в виде купола диаметром 207 м со стрелой подъема 32,2 м, образованного частью сферы радиусом 184 м (рис. 2.21).



Рис. 2.21. Крытый стадион «Louisiana Superdome»
 в Новом Орлеане (США)

Монтаж куполов в целом виде крайне сложен и в связи с этим широкого распространения в практике большепролетного строительства не получил.

При строительстве сетчатых куполов нет установившихся схем монтажа в связи с большим разнообразием их конструктивных решений. И поэтому каждый соответствующий проект производства работ в своем роде уникален. Так, например, на рис. 2.22 показана схема монтажа сетчатого купола высотой 114 и диаметром около 230 м, состоящего из нескольких рядов решетчатых пространственных блоков ромбической формы массой до 10 т с длиной по ребру около 9 м и расстоянием между наружной и внутренней плоскостями (толщиной купола) 2,5 м. При этом предусматривается, что каркас каждого блока включает в себя шесть плоских трубчатых ферм высотой 2,5 м (четыре наружных и две спаренных внутренних по центральной оси блока). Также предполагается, что к наружным поясам ферм приварена предварительно-напряженная обшивка (мембрана) из рулонной коррозионно-стойкой стали толщиной 1,5 мм, в то время как с внутренней стороны к поясам каркаса прикреплены трехслойные металлические панели с утеплителем. Соединения блоков – фланцевые на высокопрочных болтах.

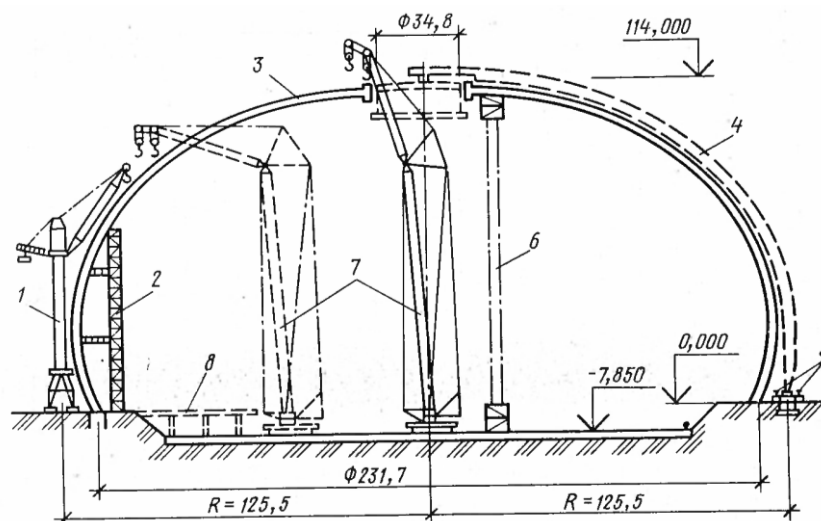
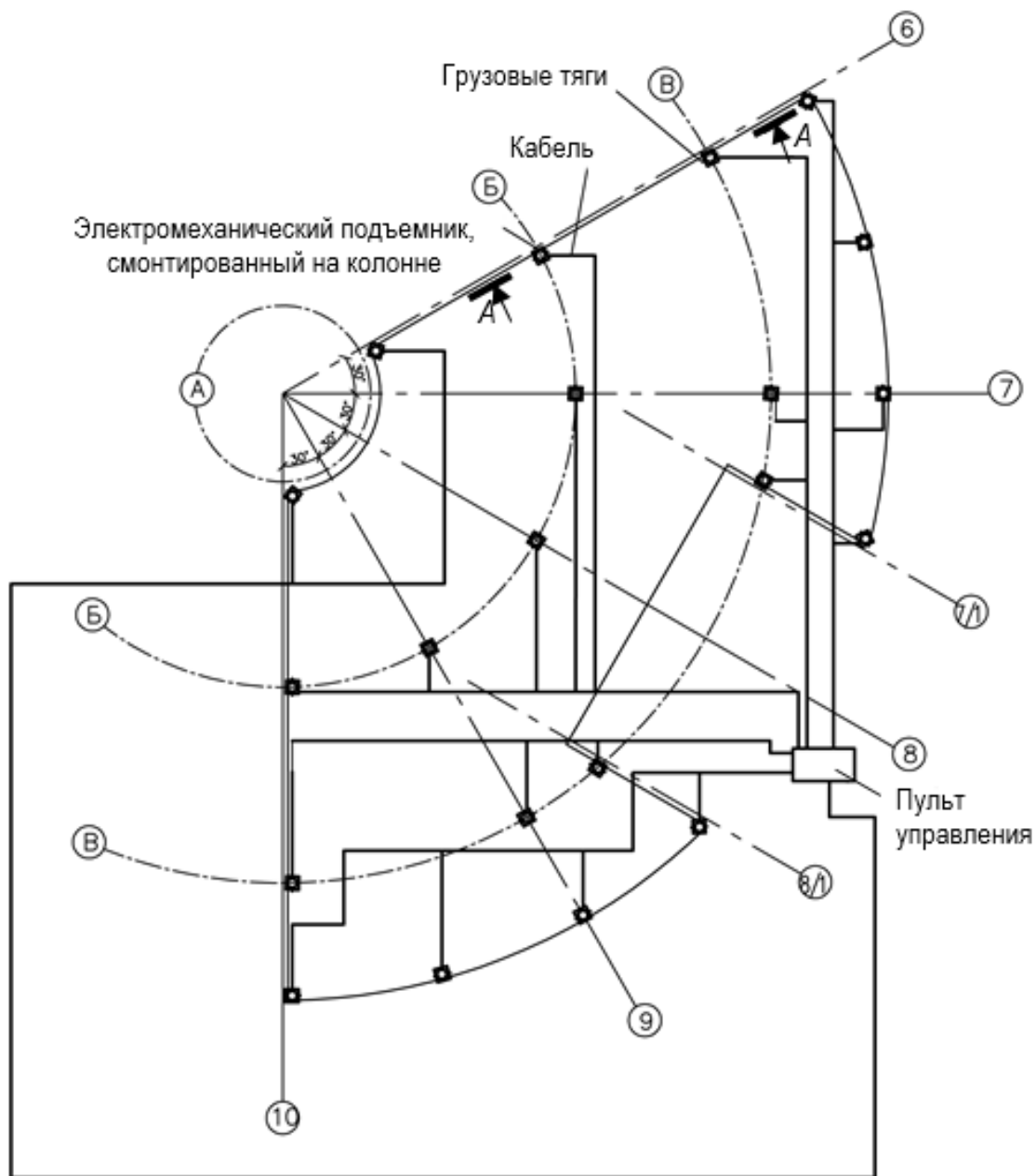


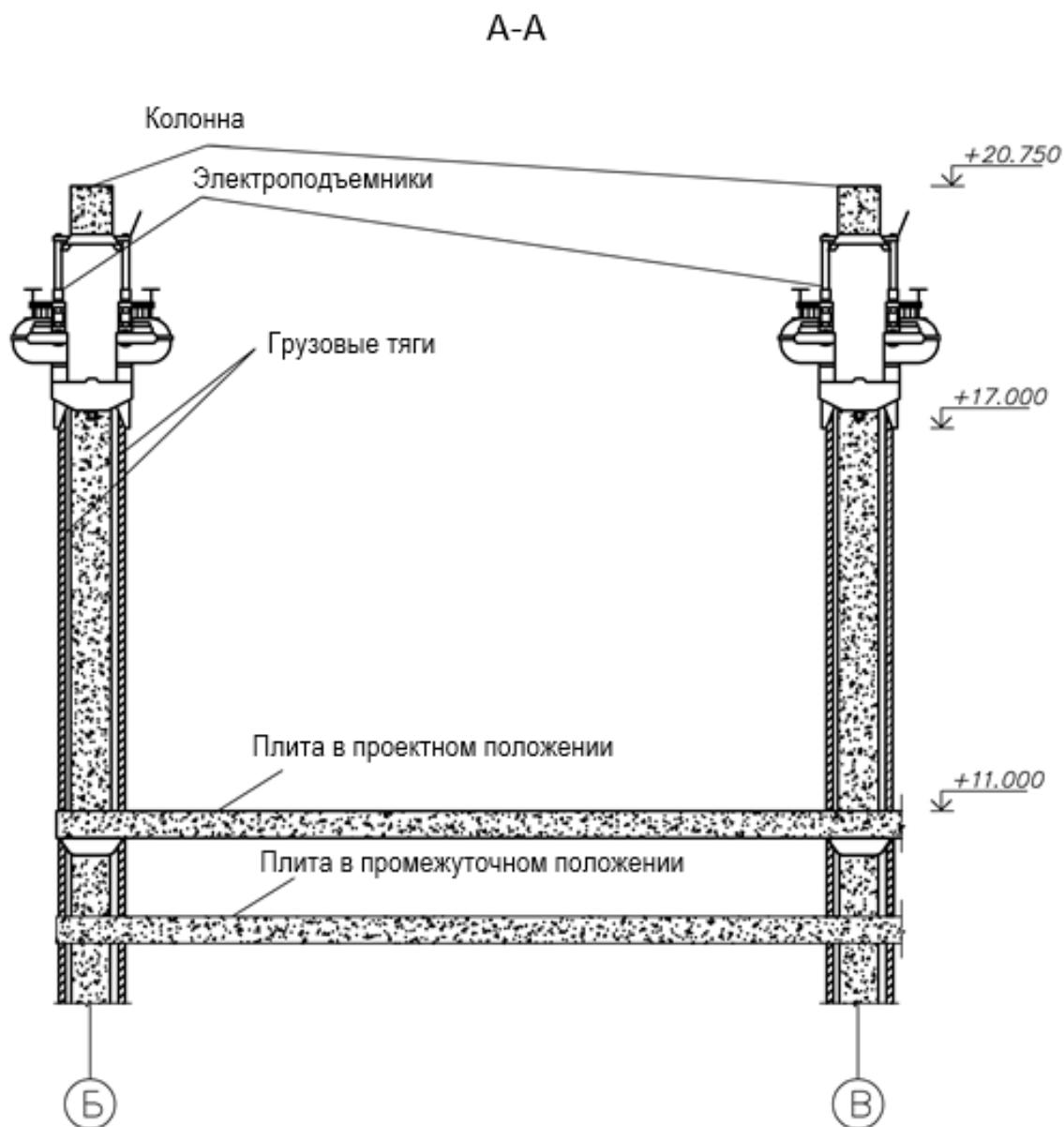
Рис. 2.22. Пример схемы монтажа сетчатого купола:
 1 – башенный кран БК-300В; 2 – подъемник ПГС-800;
 3 – купол; 4 – арка обслуживания; 5 – кольцевые пути
 для крана БК-300В; 6 – подъемник на канатных направляющих;
 7 – рельсовый кран СКР-2200; 8 – конструкции подвала

При реализации представленной схемы сборка блоков может осуществляться в специально оборудованных закрытых помещениях, откуда полностью собранные и окрашенные блоки подаются на тележке по рельсовым путям на монтаж. Конструкции купола до отметки +70,00 м поднимаются и устанавливаются в проектное положение поярусно двумя башенными кранами на рельсовом ходу БК-300В, перемещающимися снаружи купола по кольцевым путям радиусом 125,5 м. Такое расположение кранов позволяет одновременно с монтажом конструкций купола выполнять работы по возведению конструкций подвала здания и в то же время обеспечивает установку и работу рельсового крана СКР-2200 на отметке -7,85 м, который предусматривается к использованию при монтаже остальной части купола.

ПРИЛОЖЕНИЕ



Принципиальная схема расстановки подъемного оборудования
(начало)



Окончание

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Афонин И.А. Технология и организация монтажа специальных сооружений : учебное пособие / И.А. Афонин, Г.И. Евстратов, Т.М. Штоль. – М. : Высшая школа, 1986. – 368 с.
2. Барон Р.И. Производство монтажных работ с помощью вертолетов / Р.И. Барон, К.Н. Макаров. – М. : Стройиздат, 1984. – 124 с.
3. Броверман Г.Б. Строительство мачтовых и башенных сооружений / Г.Б. Броверман. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1984. – 256 с.
4. Генералов В.П. Особенности проектирования высотных зданий : учебное пособие / В.П. Генералов ; Самарский гос. архитектур.-строит. ун-т. – Самара : СГАСУ, 2009. – 296 с.
5. Диамант М.И. Технология возведения сложных сооружений : учебное пособие / М.И. Диамант, Е.М. Белова. – Кемерово : КузГТУ, 2007. – 198 с.
6. Зюлько Е. Монтаж стальных конструкций / Е. Зюлько, Г. Орлик ; пер. с пол. М.Л. Мозгалевой ; под ред. М.В. Предтеченского. – М. : Стройиздат, 1984. – 284 с.
7. Кикин А.И. Конструкции из стальных труб, заполненных бетоном / А.И. Кикин, Р.С. Санжаровский, В.А. Трулль. – М. : Стройиздат, 1974. – 144 с.
8. Клименко Ф.Е. Листовая арматура периодического профиля для железобетонных конструкций с внешним армированием / Ф.Е. Клименко, В.М. Барабаш // Бетон и железобетон. – 1999. – № 7. – С. 19–22.
9. Конструкции высотных зданий / Ю. Козак ; пер. с чеш. Г.А. Казиной ; под ред. [и с предисл.] Ю.А. Дыховичного. – М. : Стройиздат, 1986. – 306 с.
10. Мартиросов Г.М. Трубобетонные элементы из бетона на напрягающем цементе / Г.М. Мартиросов, А.И. Шахворостов // Бетон и железобетон. – 2001. – № 4. – С. 32–33.
11. Материалы совещания по проблеме «Разработка, исследование и внедрение конструкций с внешним армированием» : тезисы сообщений. – М., 2005. – 45 с.
12. МДС 53–1.2001. Рекомендации по монтажу стальных строительных конструкций / ОАО «Стальконструкция», ОАО «НИПИПромстальконструкция», АОЗТ «ЦНИИ-Проектстальконструкция им. Н.П. Мельникова». – М. : ГУП ЦПП Госстроя РФ, 2002. – 42 с.
13. Павловский В.Ф. Стальные башни: проектирование и монтаж / В.Ф. Павловский, М.П. Кондра. – Киев : Будівельник, 1979. – 200 с.

14. Персион А.А. Справочник по монтажу специальных сооружений / А.А. Персион, Ю.И. Седых, Ю.Н. Маркман. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев : Будівельник, 1981. – 272 с.
15. Саакян А.О. Возведение зданий и сооружений методом подъема (исследования, проектирование, строительство) / А.О. Саакян, Р.О. Саакян, С.Х. Шахназарян. – М. : Стройиздат, 1982. – 551 с.
16. Семченков А.С. Научно-технические решения многоэтажных зданий / А.С. Семченков // Строительный эксперт. – 2006. – № 16 (227). – С. 4–8.
17. Снарский В.И. Технология возведения большепролетных конструкций : учебное пособие / В.И. Снарский, С.В. Снарский. – Саратов : СГТУ, 2009. – 167 с.
18. Современное высотное строительство : монография / под ред. М.Н. Щукиной. – М. : ИТЦ Москомархитектуры, 2007. – 440 с.
19. Соколов Г.К. Технология возведения специальных зданий и сооружений : учебное пособие / Г.К. Соколов, А.А. Гончаров. – М. : Академия, 2005. – 352 с.
20. Технология возведения высотных монолитных железобетонных зданий : учебное пособие / Н.И. Доркин, С.В. Зубанов ; Самарский гос. архитектур.-строит. ун-т. – Самара : СГАСУ, 2012. – 226 с.
21. Торкатюк В.И. Монтаж конструкций большепролетных зданий / В.И. Торкатюк – М. : Стройиздат, 1985. – 170 с.
22. Харитонов В.А. Проектирование, строительство и эксплуатация высотных зданий : монография / В.А. Харитонов. – М. : АСБ, 2014. – 352 с.
23. Швиденко В.И. Монтаж строительных конструкций : учебное пособие / В.И. Швиденко. – М. : Высшая школа, 1987. – 423 с.
24. Ярмаковский В.Н. Композиционные вяжущие для легких бетонов с высокими показателями теплотехнического качества / В.Н. Ярмаковский // Наука и технология силикатных материалов – настоящее и будущее : междунар. конф. – 2003. – Т. IV. – С. 300–308.
25. Ярмаковский В.Н. Легкий бетон: настоящее и будущее / В.Н. Ярмаковский, Т.У. Бремнер // Строительный эксперт. – 2005. – № 20, 21. – С. 5–8.