

ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

*Марковский М.Ф., директор РУП "Институт БелНИИС", канд. техн. наук
Туровец Г.А., зав. отделом технологии строительства из монолитного бетона
Бурсов Н.Г., научный сотрудник отдела технологии строительства из монолитного бетона*

ВВЕДЕНИЕ

Накопленный международный опыт застройки современного мегаполиса свидетельствует, что с учетом стоимости земельного участка наиболее оправданными с экономической точки зрения являются здания высотой от 30 до 50 этажей. Здания большей этажности возводят из соображений архитектурно-градостроительной значимости, престижности или значительной стоимости земельного участка [1].

Основным материалом, используемым для строительства каркаса высотных зданий и сооружений, является монолитный железобетон. Хотя бы потому, что самые высокие здания мира уже построены на основе монолитного железобетонного каркаса, в том числе и мировые рекордсмены: башня БУРЖ-ДУБАЙ (высота – 818 м) и небоскребы нефтяного концерна ПЕТРОНАС в Малайзии (высота 432 м). Следует отметить, 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. Более того, монолитный бетон по объему производства и области своего применения превышает другие виды строительных материалов. Например, показатель применения монолитного бетона на душу населения в США составляет 0,75 м³, в Японии – 1,2 м³, Германии – 0,8 м³, Франции – 0,5 м³. Для сравнения в странах СНГ он значительно меньше – от 0,15 до 0,2 м³ [2].

О возможных перспективах строительства высотных зданий в нашей стране еще пару лет назад рассуждали только на научных конференциях. И основными причинами, вызывающими скептическое отношение к этому начинанию были: отсутствие полноценной нормативной базы, опыта у архитекторов и проектировщиков, технологов и строителей. Тем не менее, уже тогда многие специалисты понимали, что именно высотное строительство позволит отечественному строительному комплексу выйти на совершенно новый, высокий научно-технический уровень [3].

1 ТЕХНОЛОГИЯ МОНОЛИТНОГО БЕТОНА

С годами появилось понимание того, что потенциал монолитного бетона как замечательного конструкционного материала, позволяющего возводить яркие и выразительные сооружения, используется не в полной мере. Очевидно, что расширению области применения монолитного бетона в высотном строительстве будет способствовать освоение новых технологий строительства, создание и использование современных опалубочных систем, систем комплексной механизации технологических процессов приготовления, доставки, подачи и укладки бетонной смеси, применение 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 трудоемкости работ и обеспечение требуемого качества конструкций.

Мировая практика показывает, что в основном применяют бетон классов С40 – С60. В последние годы наметилась тенденция к применению высокопрочных бетонов классов С60 – С90. При возведении монолитного каркаса комплекса ФЕДЕРАЦИЯ в г. Москве применен бетон класса С60 и С80 – С90. С конструктивной точки зрения целесообразно использовать класс бетона в соответствии с действующими нагрузками по

высоте здания. Примером рационального использования классов бетона может служить каркас JIN MAO BUILDING W SZANGHAJU (г. Шанхай, Китай) [4]. Мегаколонны на нижних этажах имели сечение 1,5 x 5,0 м с переходом на более высоких этажах – 1,0 x 3,5 м. При этом класс бетона варьировался от С80 до С40 (рис. 1). В 72-этажном здании высотой 264 м "Trump World Tower" (г. Нью-Йорк, США) прочность бетона варьировалась также и по высоте сооружения и по видам конструктивных элементов (рис. 2). В нижних этажах применили класс бетона С85.

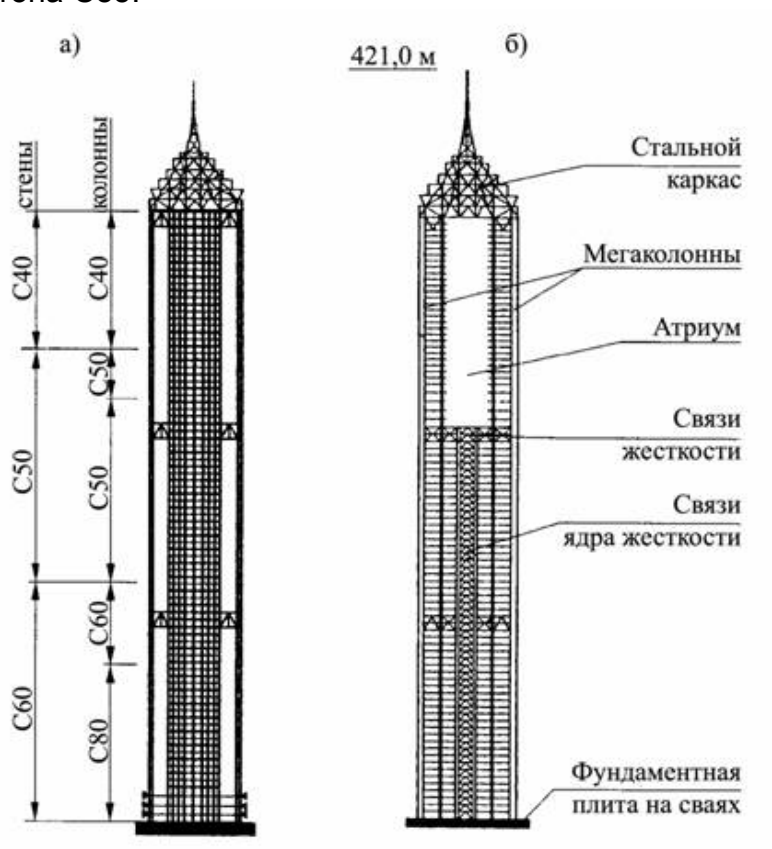


Рисунок 1 – Распределение прочности бетона по высоте (а) и схема конструкции (б) башни "Jin Mao Building w Szanghaju" (г. Шанхай, Китай)

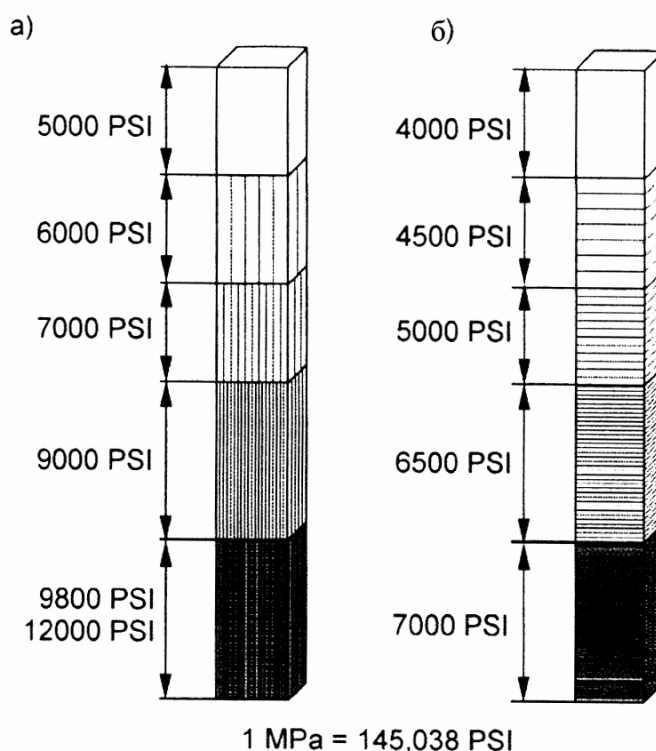


Рисунок 2 – Распределение прочности бетона по высоте здания в колонных (а) и связях (б)

В соответствии с поручением Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь специалистами РУП "Институт БелНИИС" с привлечением других организаций разработан нормативный документ по технологии строительства высотных зданий из монолитного железобетона [5], в котором изложены принципиальные подходы к технологии возведения монолитных конструкции на высоте, аккумулирующие отечественный и зарубежный опыт. На необходимость тщательной проработки технологии уже на стадии проектирования монолитных каркасов обращается внимание уже при разработке специальных технических условий на проектирование высоток [6].

Требования к бетону как конструкционному строительному материалу для высотных зданий 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.

Причем требуется непрерывное производство бетона в больших количествах и подача его на большие расстояния, как по горизонтали, так и по вертикали без изменения его 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;
- применяют приобъектный автоматизированный бетонный узел, обеспечивающий приготовление модифицированных бетонных смесей.

Второй вариант предпочтительней, поскольку позволяет оперативно управлять процессом корректировки состава бетонной смеси и сводит к минимуму изменение реологических свойств смеси во времени от начала приготовления до укладки смеси 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 бесперебойную подачу бетонной смеси на всю высоту здания. Распределение и подачу смеси в конструкции выполняют гидравлической распределительной стрелой, монтируемой на технологической захватке на ранее возведенных монолитных конструкциях (рис. 3). Башенным краном отводится роль вспомогательного средства подачи бетонной смеси в бадьях на высоту здания.



Рисунок 3 – Укладка бетонной смеси с использованием распределительной стрелы (г. Чикаго, США, 2010 г.)

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. Поэтому рекомендуется применять для стыка арматуры соединительные муфты или технологию вязки арматуры в построечных условиях, например, с использованием специального ручного пистолета.

2 ОПАЛУБОЧНЫЕ СИСТЕМЫ

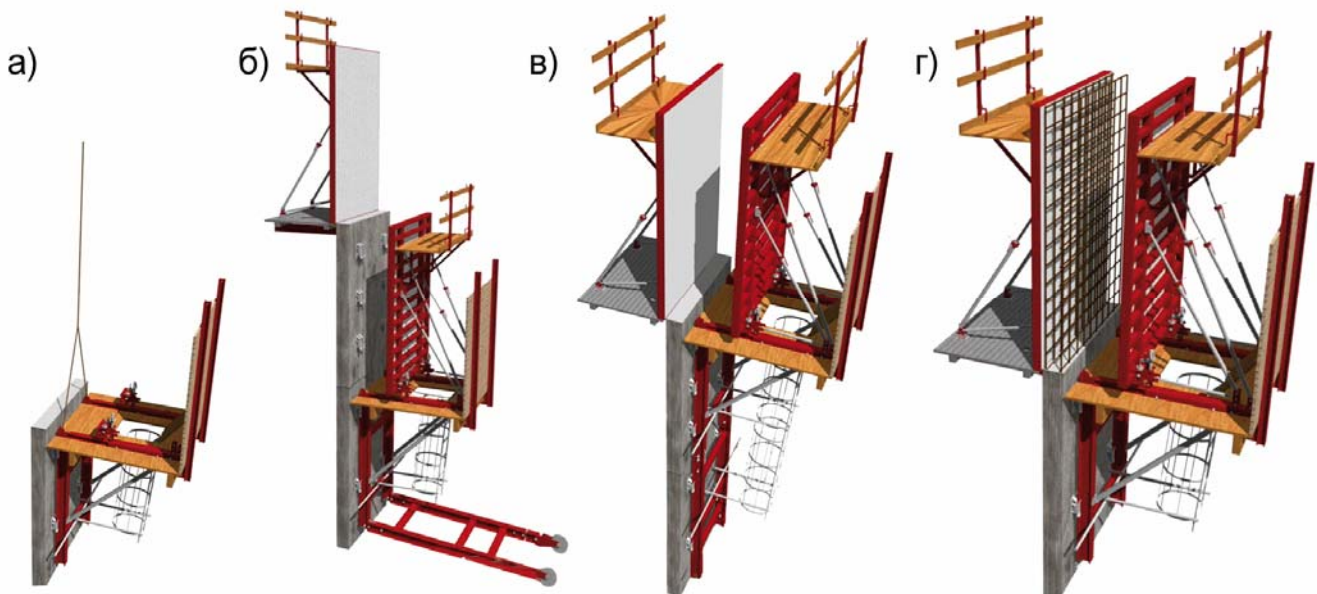
Опалубочные системы и опалубочные технологии в основном определяют темпы строительства и трудоемкость работ на бетонных работах. Следует учитывать, что на высоте более 100 м из-за ветров и туманов краны не всегда могут полноценно работать, и использовать их можно максимум 4 – 5 дней в неделю, а строить за это время нужно не менее этажа [7]. Поэтому на высоте должны применяться в основном самоподъемные на гидравлическом приводе опалубочные системы. При возведении зданий высотой 20 – 30 этажей можно применять разработанные опалубочные технологии возведения монолитного каркаса с применением традиционных опалубочных систем (рис. 4).



Рисунок 4 – Возведение здания высотой 20 этажей с применением традиционных опалубочных систем (г. Дубай, 2008 г.)

Однако темпы возведения сооружений в таких опалубочных системах не могут превышать 3 – 4 этажа в месяц и потребуют разработки специальных технологий по опалубочным работам и обеспечению безопасных условий труда. Применение традиционных опалубочных технологий возведения монолитного каркаса практикуют в Украине. При строительстве зданий высотой более 30 этажей необходимо применять переставные самоподъемные опалубки с гидравлическим приводом.

Переставная опалубка для наружных стен представляет собой совокупность модуля опалубки, состоящего из наружной и внутренней опалубочной панели, несущих рабочих подмостей и анкеров, для крепления опалубки к зданию (рис. 5).



а – монтаж рабочих несущих подмостей;
б – подъем внутренней опалубочной панели на рабочий горизонт;
в – подъем наружной опалубочной панели на рабочий горизонт;
г – установка арматуры

Рисунок 5 – Схема монтажа переставной опалубки

Конструкция переставной опалубки позволяет безопасно перемещать весь блок краном. Эффективность применения скользящей опалубки для строительства высотных зданий обусловлена увеличением темпа строительства, снижению трудоемкости опалубочных работ. Также опалубка позволяет обеспечить требуемое качество выполнения работ.

Самоподъемные опалубки в комплексе решают вопросы опалубливания и механической распалубки конструкций, механического перемещения опалубки по высоте, обеспечение безопасных условий производства работ и максимальную защиту от ветра (рис. 6). Опалубка носит индивидуальный характер, проектируется и изготавливается 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.



Рисунок 6 – Самоподъемная опалубка при строительстве небоскреба в г. Москва (Россия, 2008 г.)

3 ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНОЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ВЫСОТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Традиционные башенные краны целесообразно применять при возведении зданий высотой не более 70-80 м, при большей высоте соотношение основных параметров крана (безопасность работ, грузоподъемность, масса поднимаемого груза и стоимость работ) становится неоптимальным. Для обеспечения производства работ на высоте до 130-140 м следует использовать приставные башенные краны, прикрепляемые к возведенным конструкциям строящегося здания. Рекомендуемая технологическая схема строительства здания высотой до 130: для возведения конструкций на высоте 60 м и менее следует использовать традиционный башенный кран, а для возведения конструкций на высоте 130 м и менее – приставной кран (рис. 7). При большей высоте оптимальность использования приставного башенного крана исчерпывается, поэтому для возведения сооружений большей высоты используются 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 (рис. 8). Как правило, после окончания работ самоподъемные краны демонтируют и по частям опускают вниз с помощью лебедок. Однако за рубежом практикуют приемы, когда подобные краны консервируют и оставляют на кровле здания с целью их последующего использования, например, при текущем или капитальном ремонте здания [8].



Рисунок 7 – Крепление приставного башенного крана к каркасу здания (г. Варшава, Польша, 2007 г.)



Рисунок 8 – Возведение монолитных конструкций с использованием самоподъемного крана (г. Москва, Россия, 2008 г.)

При строительстве высотных зданий к традиционной проблеме подъема мелких грузов на стадии отделочных работ добавляется вопрос безопасного подъема рабочих. Для этих целей, как правило, используют специальные грузопассажирские подъемники (рис. 9) 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.



Рисунок 9 – Грузопассажирские подъемники (г. Варшава, Польша)

Очень важен вопрос темпов строительства высоток, а это уже, образно говоря, дело техники и технологии. Высотное здание, как правило, возводится темпами не ниже 4 – 5 этажей в месяц. При этом максимально задействуют 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 (рис. 10).

Сравнительно самостоятельными техническими элементами являются средства обеспечения работ по устройству ограждающих конструкций наружных стен или отделке фасада. Имеется в виду рабочие площадки, предназначенные для размещения рабочих и специализированного оборудования по внешнему контуру здания на значительной высоте (рис 11). При возведении зданий высотой менее 75 м, для этих целей традиционно применяют леса или навесные подмости разных типов. При этом, следует учитывать, что большинство существующих в настоящее время лесов применимо при возведении конструкций на высоте не более 100 м. Таким образом, для безопасного ведения работ на фасаде высотных зданий следует использовать специальные фасадные платформы.



Рисунок 10 – Совмещение работ по устройству каркаса и фасада здания (г. Москва, Россия, 2008 г.)

Специфика возведения высотных зданий предполагает использование дополнительных технических средств, обеспечивающих безопасность и приемлемые климатические условия наружных строительных работ: ветровые ограждения и защитные укрытия. Постоянная ветровая нагрузка на высоте оказывает серьезное воздействие на безопасность монтажных работ. Проведенные исследования показывают, что при производстве работ на высоте более 50 м на боковой поверхности строящегося здания возникают локальные, случайно направленные, вертикальные ветровые потоки. Следует учитывать возникающие в уровне верхнего обреза здания локальные горизонтальные ветровые потоки значительные силы, существенно осложняющие монтаж элементов большой площади (опалубочные панели и пр.) и оказывающие негативное физиологическое воздействие на рабочих. Все это усугубляется низкими температурами воздуха при производстве работ в зимнее время.



Рисунок 11 – Технологические площадки фасадов высоток (г. Дубай, 2008 г.)

Исходя из вышесказанного, при производстве наружных работ следует предусмотреть следующие мероприятия (рис. 12):

- установка ветрозащитных ограждений рабочей зоны, в том числе и при производстве наружных отделочных работ;

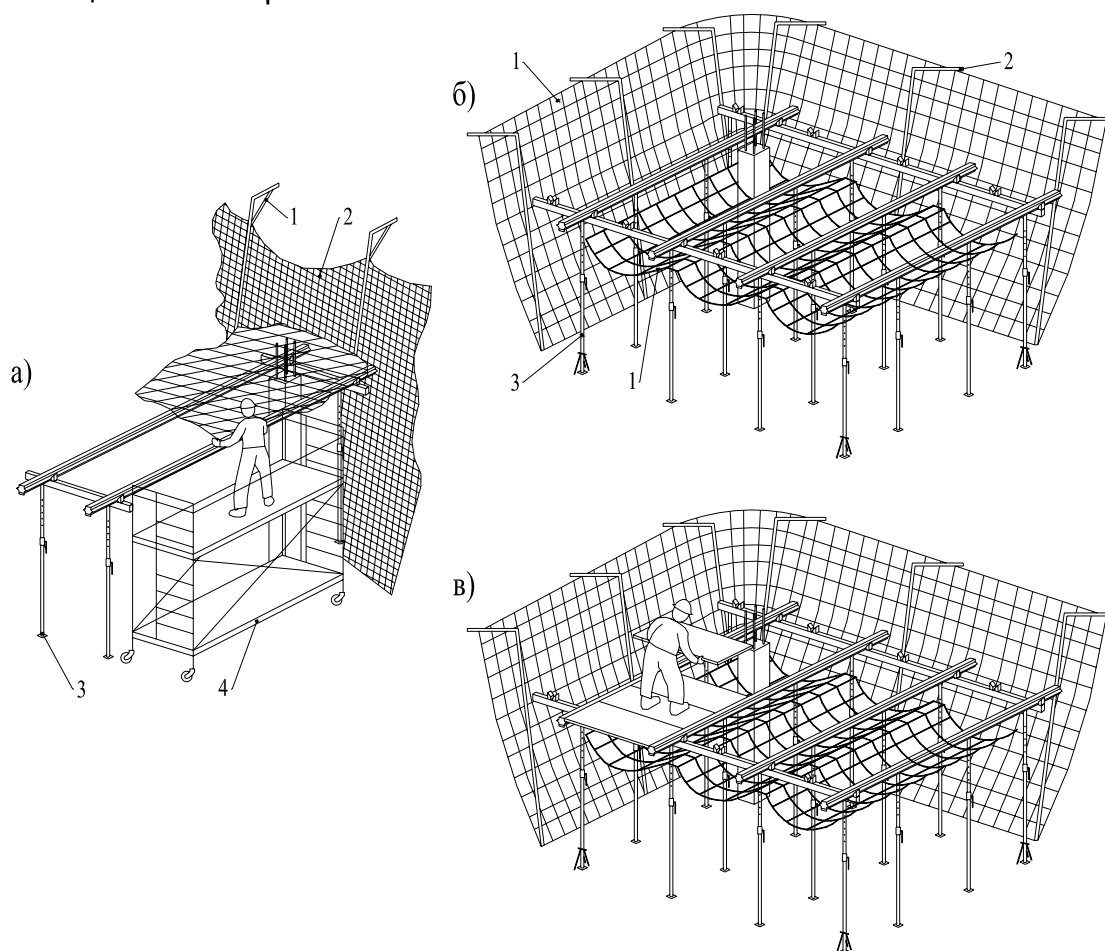
- формирование на фасаде здания в зоне производства работ тепляков, конструктивно совмещенных со средствами подмащивания и обеспечивающих приемлемые условия труда. Для устройства теплоизоляционного ограждения следует использовать сетки специального назначения, тканевые завесы и пр.



Рисунок 12 – Установка ветрозащитных ограждений на фасаде высотного здания (г. Москва, Россия, 2007 г.)

При производстве работ на высоте особое внимание следует уделить обеспечению безопасности труда. Анализ существующих в настоящий момент систем коллективной безопасности при работе на высоте, в зависимости от их конструктивных особенностей, позволяет выделить следующие типы систем коллективной защиты (рис. 13 и 14):

- защитно-улавливающая система;
- универсальная улавливающая система;
- улавливающая система;
- ограждения предохранительные;
- сетчатое ограждение;
- защитные козырьки.



1 – кронштейн; 2 – защитная сетка;
3 – опалубка перекрытия; 4 – передвижные подмости

Рисунок 13 – Пример использования вертикальной защитной системы при монтаже опалубки монолитного перекрытия

Специалисты РУП "Институт БелНИИС" в рамках ведения договора о научном сопровождении строительства первого небоскреба в г. Минске такого как "Административно-торговый центр по проспекту Победителей 7" разработали ППР и технологические схемы устройства защитных ограждений по наружному контуру при возведении монолитного каркаса. Разработано две технологические системы устройства защиты наружного контура. Защитно-улавливающая система (ЗУС) состоит из закрепленных по контуру перекрытий кронштейнов, по которым навешиваются улавливающие сетки (рис. 15). ЗУС применяется как дополнительное средство защиты работающего в случае его падения с высоты 6-7 м непосредственно на сетку, а также его защиты от падающих строительных отходов в процессе возведения каркаса здания.



Рисунок 14 – Устройство защитного ограждения при строительстве высотного здания

Предохранительные ограждения металлические (ПОМ) разработаны для создания безопасных условий труда при возведении монолитных каркасов высоток (рис. 16). Ограждения оснащены сетчатыми экранами. ПОМ решают следующие задачи:

- предохранение от падения за наружный край перекрытия работников, выполняющих работы по монтажу опалубки перекрытия на вышележащем этаже;
- предохранение от падения за наружный край перекрытия работников, выполняющих работы по армированию и бетонированию перекрытия на вышележащем этаже;
- предохранение от падения за наружный край перекрытия работников, выполняющих работы по полному комплексу работ 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 падения в опасную зону строящегося здания инструмента, элементов опалубки, строительных материалов, отходов.

Мы остановились лишь на отдельных элементах технологии возведения высоток и их особенностях. РУП "Институт БелНИИС" уже наработал новые технологии и подходы к строительству таких сооружений и внедряет их на реальных объектах.

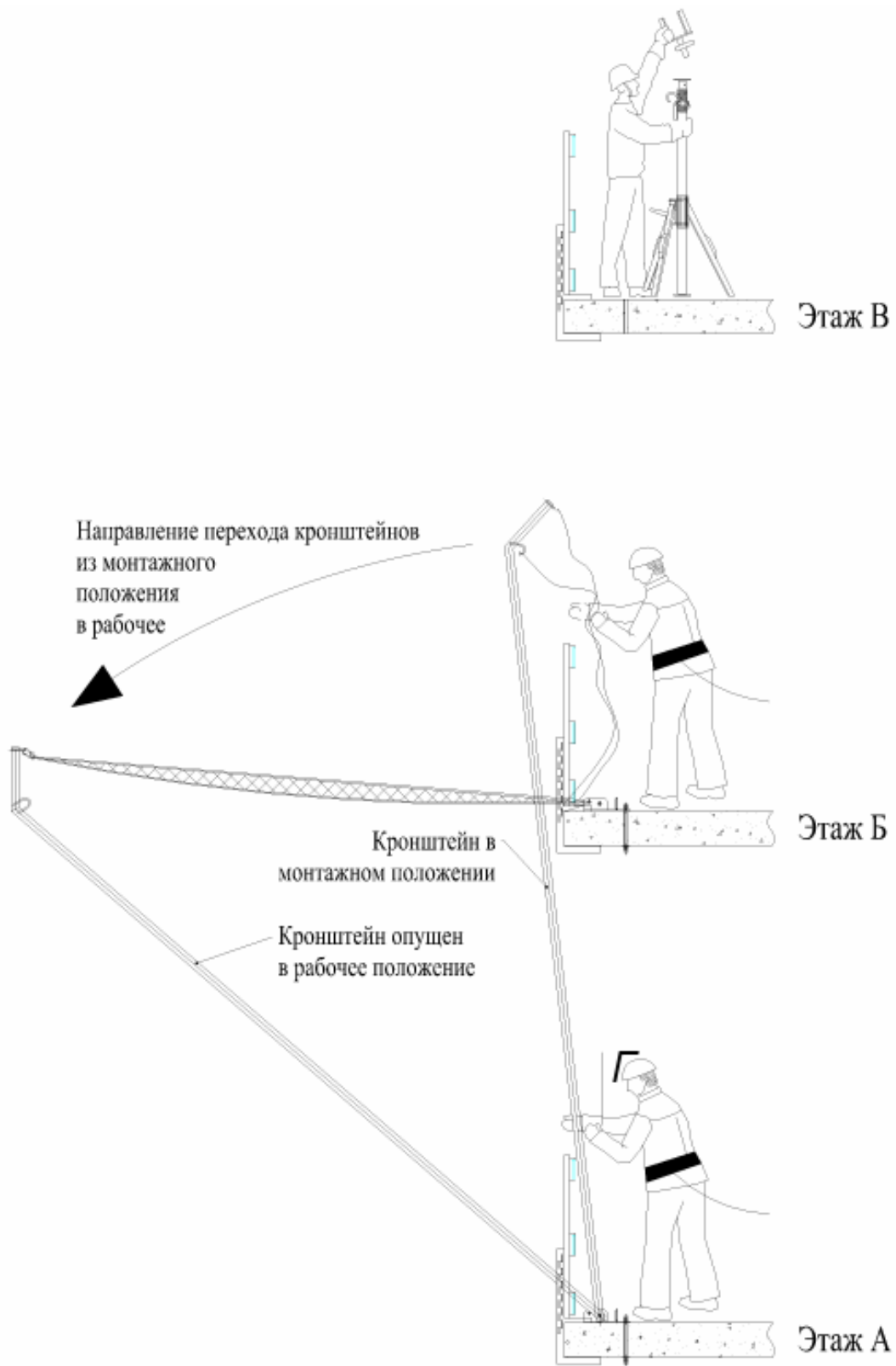


Рисунок 15 – Технологическая схема защитно-улавливающей системы (ЗУС)

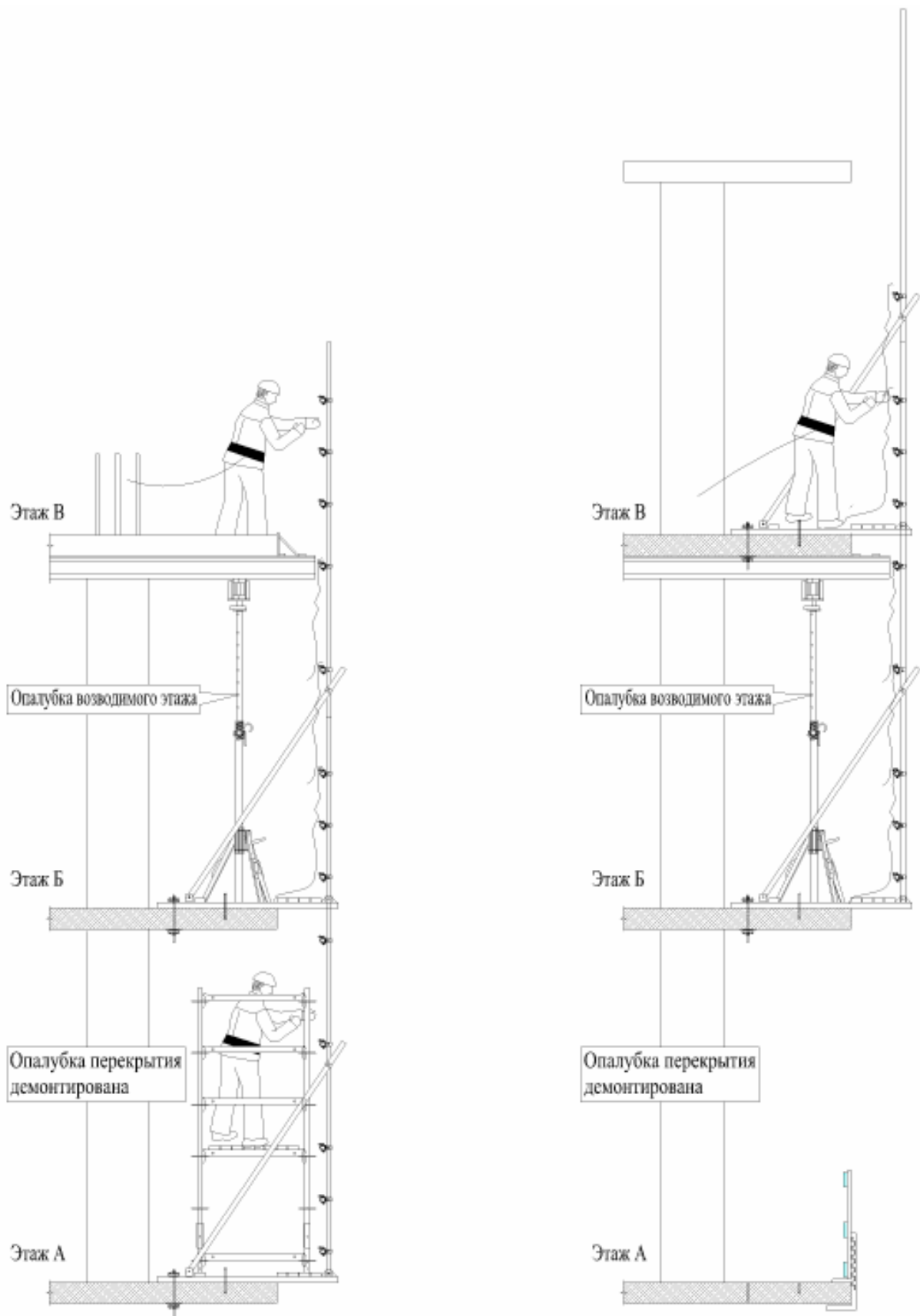


Рисунок 16 – Технологическая схема устройства ограждения

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Mir, V. Ali. Evolution of Concrete Skyscrapers: from Ingalls to Jin mao // Electronic Journal of Structural Engineering. – 2001.-Vol. 1. – №1. p. 2-14.
2. Волков, Ю.С., Монолитное строительство возможно даже на Луне. Зарубежный опыт строительства монолитных зданий // Строительный эксперт. – 2003. – №14.
3. Марковский, М.Ф. Высотное домостроение. Без права на ошибку // Архитектура и строительство – 2007. – №1.
4. Марковский, М.Ф. и др. Технологии бездефектного возведения монолитных железобетонных конструкций из товарного бетона // Материалы 1-ой международной научно-практической конференции "Товарный бетон. Новые возможности в строительных технологиях". – Харьков, 2008.
5. ТКП 45-1.03-109-2008 Высотные здания из монолитного железобетона. Правила возведения.
6. Марковский, М. Высотное строительство из монолитного железобетона // Архитектура и строительство – 2011. – № .
7. Тур. В., Марковский, М., Щербач А. Новое в строительстве высотных зданий из железобетона // Архитектура и строительство – 2008. – №2. с. 72 – 81.
8. Теличенко, В. и др. Технологические особенности возведения высотных зданий. // Высотное строительство. – 2008. – №2.