

## **ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕНСИВНОГО ВОЗВЕДЕНИЯ МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ КОМПЛЕКСА "МИНСК-АРЕНА". НАУЧНОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ**

*Михаил Филиппович Марковский, директор РУП "Институт БелНИИС", канд. техн. наук*

*Владимир Сергеевич Нехай, генеральный директор ОАО "Минскпромстрой"*

*Михаил Леонидович Ашмян, технический директор ОАО "Минскпромстрой"*

*Григорий Александрович Туровец, зав. отделом, РУП "Институт БелНИИС"*

*Николай Генрихович Бурсов, научный сотрудник, РУП "Институт БелНИИС"*

Монолитный бетон – гибкий и архитектурно пластичный материал, стал панацеей для решения множества градостроительных задач. По мере расширения области его применения ответом на запросы строителей становится разработка современных технологий и с применением новых опалубочных систем. Рост объемов строительства в Республике Беларусь, именно из монолитного бетона, говорит о том, что он занимает подобающее место.

В новых экономических условиях становятся востребованными новые технологии, ориентированные на высокие темпы возведения зданий строительства, высокое качество, снижение себестоимости и адаптацию к выездным моделям строительства, что и определяет конкурентоспособность любой строительной организации. ОАО "Минскпромстрой" является убежденным сторонником и лидером в технологии монолитного бетона уже многие годы. Творческий, многолетний союз со строительной наукой Института БелНИИС дает свои результаты.

### **1. НАУЧНОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ВОЗВЕДЕНИЯ УНИКАЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ ИЗ МОНОЛИТНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА В г. МИНСКЕ**

Научное сопровождение строительства сложных и уникальных объектов общепринятая практика в западноевропейских странах, этим, как правило, занимаются ведущие научно-исследовательские организации и крупные фирмы, занимающиеся технологиями строительства с применением современных опалубочных систем [1]. При этом практикуют два принципиально различных подхода к выбору технологий строительства. Суть первого – заключается в том, что во главу угла ставят архитектурную идею и соответственно ей конструктивное решение, а задача технологов состоит в реализации этой идеи, независимо от конечной стоимости строительного процесса. Поэтому стоимость реализации проекта и сроки его исполнения уходят на второй план, это так называемая технология "архитектурного" бетона с его высокими сопутствующими издержками. По такому пути идут, как правило, в том случае, если реализуется ярко выраженный с архитектурной точки зрения проект с лицевым "архитектурным" бетоном. При этом разработка технологии строительства ведется по уже готовой проектной документации.

Второй, более прагматичный подход, заключается в параллельном и взаимоувязанном проектировании самих конструкций и технологий их возведения, а также на учете технологичности монолитных конструкций. И здесь определяющая роль принадлежит опалубочным технологиям.

На выбор той или иной технологии строительства, которая влияет на стоимость и качество конечного продукта и сроки строительства основное влияние оказывает технологичность возводимых монолитных конструкций. Как показывает практический опыт – оптимальные с конструктивной точки зрения решения не всегда являются рациональными с позиций технологии их строительства. При этом игнорирование или нежелание учитывать технологические особенности возведения монолитных конструкций приводят к высокой трудоемкости работ и снижению темпов и удорожанию строительства.

Технологичность монолитных конструкций определяют следующие факторы [2 и 3]:

- геометрические формы конструкций и возможность их опалубки современными опалубочными системами;

- технологические особенности опалубочных систем;
- геометрические формы примыканий стеновых конструкций и перекрытий;
- типоразмеры высот стеновых конструкций и колонн;
- возможность устройства технологических швов;
- распалубочная прочность бетона монолитных конструкций;
- технологические и конструктивные проемы в стенах и перекрытиях;
- способы армирования;
- эргономические требования по производству опалубочных и арматурных работ и др.

Как верно выражение, что теория без практики мертва, так и справедлива фраза, что практика без теории слепа. Именно совместная творческая работа РУП "Институт БелНИИС" с ОАО "Минскпромстрой" во время строительства подземного общественно-торгового центра на пл. Независимости в г. Минске подтвердила, что союз науки и производства позволяет решать самые смелые конструктивно-технологические задачи.

За последние десятилетие в Республике Беларусь возвели ряд общественных сооружений государственной важности, которые смело можно отнести к уникальным объектам. При этом расширяется область применения монолитного бетона. Новые уникальные объекты все более изобилуют сложными формами и криволинейными поверхностями, которые решаются в монолитных конструкциях. Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь поручает вести научное сопровождение строительства этих объектов специалистам РУП "Институт БелНИИС". В нашем понимании научное сопровождение строительства не ограничивается функциями контроля качества материалов и работ, а наоборот упор делается на разработку и внедрение новых технологий строительства из монолитного железобетона и активное продвижение принципов технологичности конструкций в реальную практику.

В этом смысле поучителен опыт научного сопровождения строительства Национальной библиотеки Беларуси [3, 4 и 5]. Специалистами нашего института была разработана и реализована концепция возведения монолитных конструкций здания, включающая более 20 различных опалубочных технологий, ряд которых не имеют аналогов в мире. Технология монолитного бетона с применением современных опалубочных систем и модифицированных бетонов раскрыла все возможности строительства в сжатые сроки в летних и зимних условиях.

Строительство подземного центра наряду со строительством Национальной библиотеки Беларуси занимает особое место. Воплощение архитектурной идеи подземного центра в монолитных конструкциях явилось логичным и оправданным по многим причинам технического и экономического плана [6].

На этом сложном объекте применен вариант параллельного проектирования и строительства, что потребовало координации и синхронности в работе проектировщиков, технологов и самих строителей. Впервые строительство такого сложного подземного сооружения было поручено ОАО "Минскпромстрой", имеющего огромный опыт в надземном строительстве, но не специализирующегося на подземном строительстве. Цель такого эксперимента очевидна – привлечь современные технологии в подземное строительство с высокими темпами строительства при обеспечении качества монолитных конструкций, тем самым подтвердить высокую эффективность монолитного бетона и в этой области.

Определяющим параметром при выборе той или иной технологии, технологического оборудования и опалубки явились сроки строительства подземного комплекса - 29 месяцев при нормативном сроке – 39 месяцев. Общий объем уложенного бетона достиг 66 тыс. м<sup>3</sup>. Разработанные и реализованные интенсивные технологии возведения монолитных конструкций в стесненных условиях городской застройки позволил в сжатые сроки завершить строительство очередного знакового объекта в г. Минске. Монолитные конструкции и технология монолитного бетона показали высокую эффективность и технологичность, обеспечивающие высокие темпы круглогодичного строительства. Научное сопровождение специалистами РУП "Института БелНИИС" еще

раз подтвердило, что строительная наука является производительной силой современного строительства. Эксперимент удался и накопленный опыт пригодится для реализации других масштабных проектов.

## **2. ОПАЛУБОЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗВЕДЕНИЯ МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ КОМПЛЕКСА "МИНСК-АРЕНА"**

### **2.1. Опалубочные системы**

По заданию Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь научное сопровождение строительства объекта было поручено РУП "Институт БелНИИС", имеющего большой опыт в этом направлении. Достиженные успехи в деле освоения современной технологии монолитного бетона не остались незамеченными. ОАО "Минскпромстрой" приступило к еще одному грандиозному строительству многопрофильного спортивно-культурного комплекса "Минск-Арена". Монолитные железобетонные конструкции совместно с большепролетными вантовыми покрытиями призваны решить все архитектурные замыслы. Сжатые сроки строительства комплекса потребовали и здесь применять весь арсенал интенсивных технологий монолитного бетона, начиная с опалубочных систем и повсеместного применения технологии модифицированного бетона.

Основными целями научного сопровождения возведения монолитных конструкций многопрофильного комплекса "Минск-Арена" стали:

- разработка и внедрение прогрессивных опалубочных технологий возведения монолитных конструкций, в том числе и сложных по форме. Работу выполнил научно-исследовательский отдел технологии строительства из монолитного бетона (науч. руководитель, канд. техн. наук Марковский М.Ф.);
- разработка и внедрение технологий модифицированного бетона на основе нового поколения химических добавок. Исполнитель работ – научно-исследовательский отдел технологии бетонов и растворов (науч. руководитель, д-р техн. наук., профессор Блещик Н.П.).

В настоящей работе мы ограничиваемся рассмотрением только наиболее интересных и принципиальных технологических решений с применением современных опалубочных систем.

Весь комплекс состоит из четырех самостоятельных сооружений выполненных из монолитного железобетона:

- центральной арены на 15 тыс. зрителей;
- конькобежного стадиона;
- велодрома;
- паркинга.

Следует сразу оговорить, что без применения современных технологий интенсивного строительства монолитных конструкций построить объект в сжатые сроки и качественно немислимо и нереально. Поэтому авторы рассматривали опалубочные технологии, требования к оборудованию строительной площадки и особое внимание обращали на технологичность конструктивных решений. При разработке технологий возведения монолитных конструкций рациональное использование опалубки и оптимизированные технологические процессы имеют такое же значение, как и сами железобетонные конструкции. Как отмечалось ранее, очень важен вопрос технологичности монолитных конструкций, обеспечивающий высокие темпы возведения и качество лицевых поверхностей бетона.

В каждом из четырех самостоятельных сооружений присутствуют такие монолитные конструкции, как: перекрытия; колонны; стеновые конструкции; лестничные блоки с маршами; рамные конструкции и т.п.

Архитектура на этом спортивном объекте не смогла не отразиться на формах и очертаниях монолитных конструкций. Из сложных монолитных конструкций можно составить целую коллекцию:

- круглые и квадратные колонны с капителями и без них. При этом капители имеют различную форму;
- конструкции перекрытия криволинейного в плане очертания;
- переменная высота этажей;
- выступающие из перекрытия контурные балки, включая и балки криволинейного очертания;
- наклонные перекрытия и пандусы;
- лифтовые блоки;
- наклонные рамные конструкции;
- стены криволинейного очертания;
- наклонные трибуны с криволинейным очертанием в плане ступеней и т.д.

С учетом того, что на этом объекте велось параллельное проектирование и строительство со своими достоинствами и недостатками, выбор опалубочных систем и технологий выполнялся по архитектурным чертежам конструкций. Как показал предыдущий практический опыт при строительстве подобных сооружений, процессы возведений однотипных конструкций целесообразно выделять в специализированные, относительно независимые потоки, что и было сделано на строительстве комплекса:

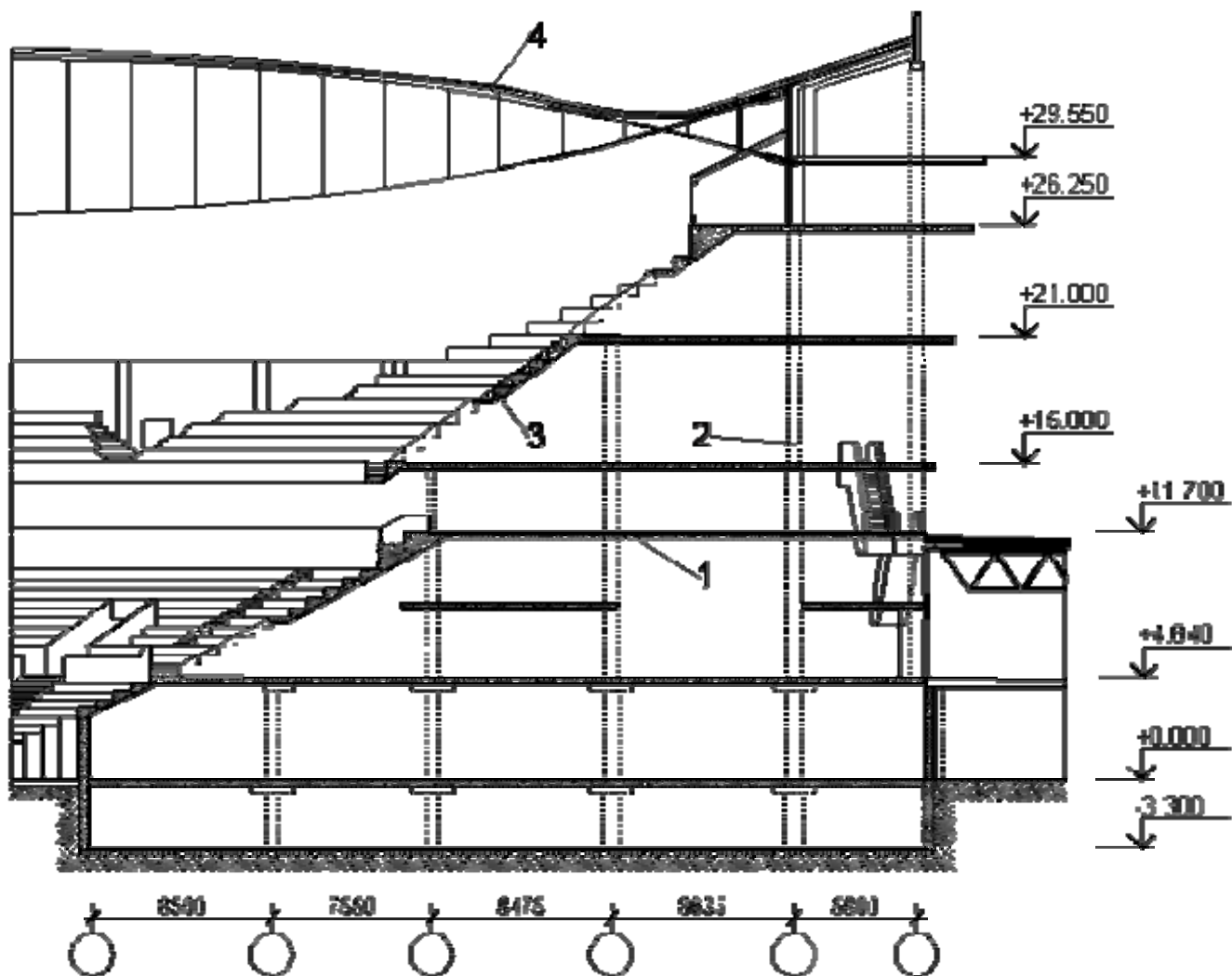
- возведение колонн;
- возведение монолитных стен и лестнично-лифтовых блоков;
- возведение монолитных лестниц;
- возведение монолитных перекрытий;
- возведение наклонных трибун.

Выбор типов опалубочных систем, их комплектов является основным технологическим вопросом, определяющим темпы возведения монолитных конструкций и в немалой степени влияющий на экономические показатели. В выборе рациональных комплектов опалубки и разработке предложений по технологичности монолитных конструкций принимал участие также заместитель технического директора Моралин С.В. (ОАО "Минскпромстрой"). При поточном или параллельном строительстве отдельных объектов главенствующим технологическим потоком всего комплекса становится возведение монолитных конструкций арены. На этом же объекте как раз изобилуют конструкции сложной формы. Поэтому подбор опалубочной техники выполнен для арены, как ведущего технологического потока.

Для возведения колонн необходимо применять два типа опалубки:

- веерную опалубку прямоугольных и квадратных колонн;
- опалубку круглых колонн.

Если первая опалубка универсальная и позволяет варьировать сечение колонны с шагом 50 мм, то вторая опалубка носит индивидуальный характер под конкретный диаметр колонн. Техничко-экономический анализ применения опалубки круглых колонн на рассматриваемом объекте позволил рекомендовать применение только одного типа опалубки диаметром 600 мм. Для колонн диаметром 700 мм применение опалубки не целесообразно по экономическим показателям. Предложено технологическое решение по бетонированию колонн диаметром 700 мм в несъемной опалубке из стальных труб, что было заложено в окончательном проектом решении. Монолитный железобетонный каркас арены выполнен с переменной высотой этажей: 3300; 3600; 4800; 6000 и 6600 мм (рис. 1).



1 – монолитное перекрытие; 2 – колонны;  
3 – монолитные конструкции наклонных трибун; 4 – вантовое покрытие

**Рисунок 1** – Фрагмент схемы монолитного каркаса "Минск-Арены"

Переменная высота этажей оказывает существенное влияние на опалубкивание стен и устройство опорной системы опалубки перекрытия. Для возведения стен применена щитовая модульная опалубка, обеспечивающая возможность наращивания по высоте и воспринимающая повышенное боковое давление бетонной смеси.

Возведение монолитных шахт лифтов следует выполнять в специализированной опалубке на основе модульных щитов с элементами распалубкивания. Комплект опалубки дополнительно должен включать площадку опирания и проеомообразователи инвентарные или индивидуальные. Опалубка должна обеспечивать высокие требования по отклонениям монолитных конструкций шахт лифтов в плане и по высоте самой шахты.

Технологический анализ вариантов устройства опалубки перекрытий показывает, что при переменной высоте этажа целесообразно применять несколько типов опалубки. Современные телескопические стойки позволяют устраивать опалубку перекрытия до 5,0 м высоты. С эргономической точки зрения будет оправданным уже при высоте опоры опалубки свыше 3,8 – 4 м воспользоваться другими системами опалубки перекрытия. Работа со стойками высотой более 4,0 м из-за своего веса – не такое уж приятное занятие. Поэтому при диапазоне высот более 4,0 м рекомендуется применять опорные леса опалубки и опорные башни, с которыми проще и, прежде всего, легче обращаться.

Возведение наклонных перекрытий и наклонных трибун необходимо выполнять с применением опорных систем опалубки, обеспечивающих восприятие вертикальных и горизонтальных нагрузок при бетонировании. Этим условиям удовлетворяют опорные леса опалубки и опорные башни. Такой выбор позволяет технологически совместить

процесс возведения горизонтальных перекрытий каркаса и наклонных перекрытий трибуны.

Выбор опалубочных систем является весьма серьезным и ответственным решением, влияющим на многие параметры:

- стоимость опалубки;
- амортизационные отчисления на опалубку;
- сроки строительства;
- трудоемкость работ;
- перспективы повторного применения;
- нормативная оборачиваемость и т.д.

При строительстве рассматриваемого объекта в первую очередь задействован свободный парк отечественной опалубочной системы, имеющейся у ОАО "Минскпромстрой":

- стеновая опалубка;
- опалубка перекрытий;
- опорные башни;
- клееные опалубочные балки собственного производства;
- ламинированная водостойкая фанерная палуба опалубки перекрытия рекомендована импортного российского или латвийского производства.

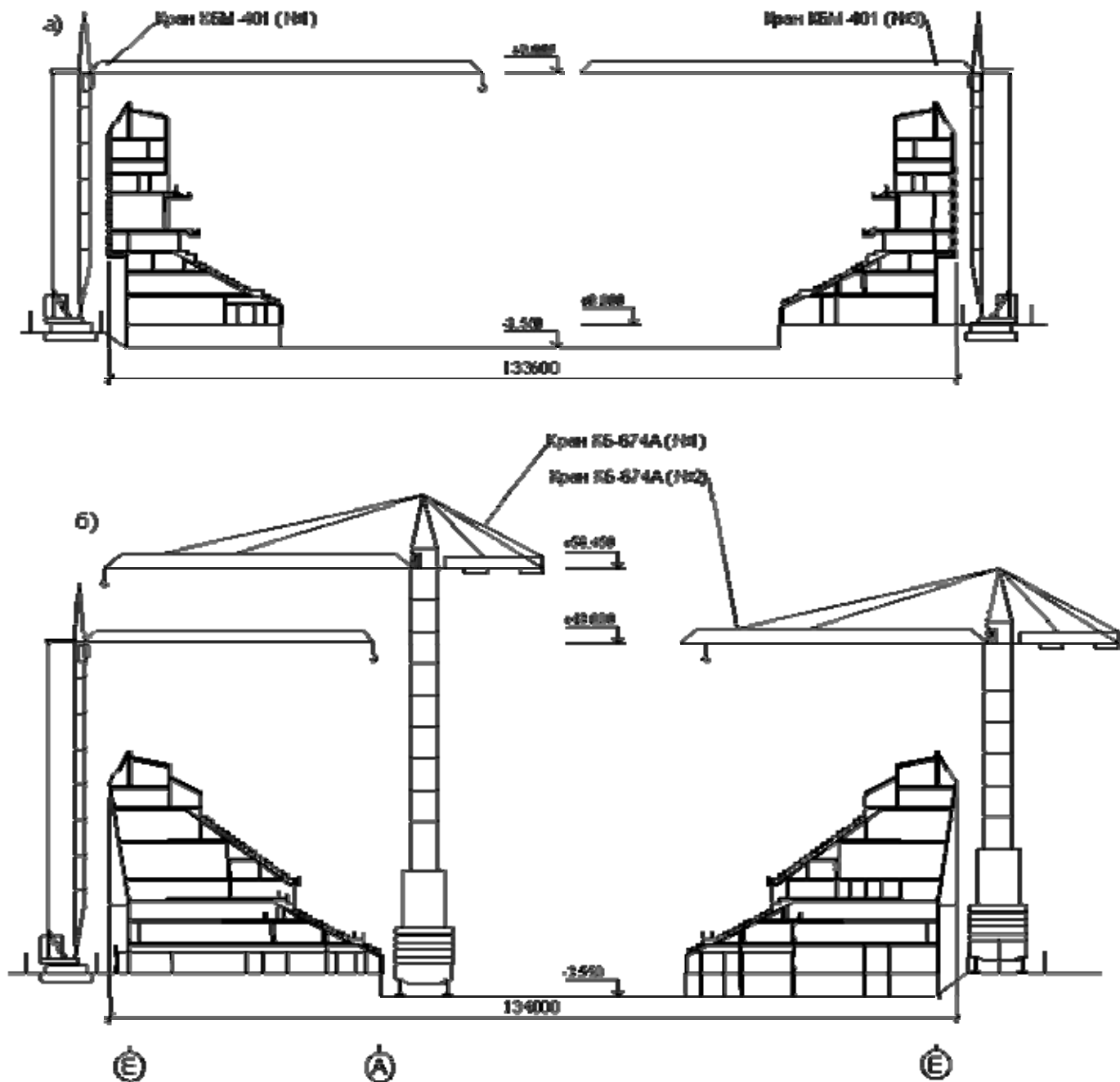
Дверные проеомобразователи, опалубка сложных монолитных конструкций и узлов выполнялись в индивидуальной опалубке по техническим и технологическим решениям специалистов РУП "Институт БелНИИС", заложенным в технологических картах. Изготовление индивидуальных опалубочных элементов выполнялось на собственном производстве ОАО "Минскпромстрой".

## **2.2 Технология возведения монолитных конструкций велодрома**

Основу интенсивных технологий составляют:

- принципы поточного строительства;
- рациональные технологии опалубливания различных конструкций;
- технологические схемы опалубливания и распалубки конструкций сложной формы;
- каскадная технология возведения монолитного каркаса;
- технология ранней распалубки монолитных перекрытий с применением страховочных элементов;
- параметры бетонирований конструкций;
- технологии прогрева и ухода за бетоном в зимних условиях;
- технология вязки арматуры в построечных условиях;
- обеспечение ритмичной доставки и укладки бетонной смеси в опалубку и др.

Учитывая сложные геометрические формы железобетонных конструкций и их размеры в плане, особенно актуальным становится выбор башенных кранов и их расстановка на различных стадиях строительства. Рабочие зоны кранов должны охватывать все участки монолитных конструкций. В качестве примера на рис. 2 приведены схемы установки монтажных кранов при возведении монолитных конструкций велодрома и центральной арены.



**Рисунок 2** – Схема установки монтажных кранов при возведении монолитных конструкций велодрома (а) и центральной арены (б)

Ведущим технологическим потоком при строительстве каркаса здания является возведение монолитного перекрытия, требующего большого количества опалубки ручной сборки. Кроме этого, технологический цикл на монолитном перекрытии удлинится из-за времени набора распалубочной прочности бетона. Для каждого из самостоятельных потоков разрабатывался комплект опалубки. Эта технология хорошо освоена в ОАО "Минскпромстрой" во время строительства различных объектов.

Цокольный этаж зданий представлял собой комбинацию колонн, стен и перекрытий. Соответственно выстраивались и технологические потоки (рис. 3).



**Рисунок 3 – Возведение монолитных конструкций цокольного этажа велодрома**

Бетонная плита пола способствует разворачиванию скоростного строительства каркаса здания. При этом возможно обеспечение качества возводимых конструкций при минимальных трудозатратах на арматурных и опалубочных работах. С возведением первых конструкций каркаса велодрома началась великая стройка из монолитного бетона. Поточная технология предусматривает последовательное возведение колонн и перекрытий каркаса, обеспечивая тем самым минимальное расстояние перемещения опалубки и синхронность работы по захваткам. Как правило, в каркасных зданиях технологические захваты располагаются ступенчато (рис. 4).

С целью увеличения темпов возведения каркасных зданий применяют каскадную технологию. Впервые в отечественной практике эта технология была освещена в нормативном документе ТКП 45-5.03-20-2006 [7], разработанном авторами настоящей публикации.

Суть технологии заключается в следующем: возводится нижележащее перекрытие; после набора бетоном перекрытия минимальной прочности приступают к устройству опалубки колонн и перекрытий вышерасположенного этажа. При этом опалубка ранее возведенного перекрытия не снимается. Распалубку перекрытий производят после набора бетоном распалубочной прочности. По этой технологии опалубку перекрытий и страховочные элементы могут занимать одновременно по вертикали 3 – 4 этажа и более (рис. 5). Это наиболее прогрессивная технология при скоростном строительстве. Однако она требует большого объема опалубки перекрытия по сравнению с поточной технологией.

Наклонные железобетонные элементы каркаса требуют разработки индивидуальной опалубки и соответствующей технологии бетонирования (рис. 6). Необходимо обеспечить пространственную формоустойчивость опалубки на всех стадиях возведения, включая и непосредственно бетонирование конструкций. Бетонирование наклонных ригелей производят снизу-вверх для исключения образования наплывов бетонной смеси по верхней грани конструкции.



**Рисунок 4 – Поточная технология возведения каркаса велодрома**



**Рисунок 5 – Каскадная технология возведения каркаса велодрома**



**Рисунок 6 – Возведение наклонных ригелей каркаса велодрома в индивидуальной опалубке**

### **2.3 Технология возведения монолитных конструкций каркаса Арены**

С целью обеспечения производства бетонных работ по всему фронту Арены в основу концепции скоростного строительства положены следующие подходы:

- параллельное возведение каркаса здания по всем секторам, ограничивая технологические захваты в границах температурно-осадочных швов;
- применение поточной и каскадной технологий;
- разработка и внедрение новых опалубочных технологий при возведении наклонных монолитных перекрытий и трибун;
- разработка индивидуальных технологий опалубливания криволинейных в плане стен, трибун и ригелей;
- опалубочные технологии должны обеспечивать пространственную формоустойчивость опалубки на всех стадиях возведения монолитных конструкций;
- опалубочные технологии должны учитывать эргономические требования и особенно вопросы безопасности производства работ;
- технология возведения монолитных конструкций и сама организация работ на строительной площадке должны быть нацелены на снижение трудозатрат и машинного времени, что отвечает требованиям по сокращению сроков строительства.

Выбор и комплектация арены опалубочной техникой выполнено с учетом концептуального подхода скоростного строительства, вида монолитных конструкций и их количественного соотношения. Опалубочная техника включает:

- опалубка круглых колонн;
- опалубка прямоугольных колонн;
- опалубка стен;
- опалубка лифтовых блоков;
- опалубка перекрытий на основе телескопических стоек;
- опорная система опалубки для наклонных трибун;
- опорные башни для перекрытий большой высоты;

- индивидуальные проеμοобразователи;
- индивидуальная опалубка для сложных по форме конструкций и т. п.

Опалубка круглых колонн носит индивидуальный характер и предназначена для возведения колонн лишь одного диаметра (рис. 7).

а)



б)



**Рисунок 7 – Возведение монолитных колонн:**

а) в специализированной опалубке; б) в несъемной опалубке

По мере расширения области применения монолитного бетона часто возникают вопросы об оценке качества лицевых поверхностей бетона. В зарубежной практике качество лицевых поверхностей бетона, в основном, оценивают по прямолинейности бетонных поверхностей. Так, в Германии используют пять, а в США - три класса [8]. От этого показателя зависит необходимость выполнения дополнительного процесса выравнивания и отделки бетонной поверхности. В отечественной нормативной литературе ГОСТ 13015.0-83 [9] распространяется только на конструкции и изделия бетонные и железобетонные сборные и который регламентирует качество поверхности и внешний вид конструкции по 7 категориям. В основу положены такие показатели, как диаметр и количество раковин и пор, околы ребер и высота местного наплыва и т. п.

Этот норматив не относится к монолитным конструкциям и по нему некорректно оценивать качество поверхности конструкции, поскольку в нем отсутствует основной показатель - допуск прямолинейности бетонной конструкции.

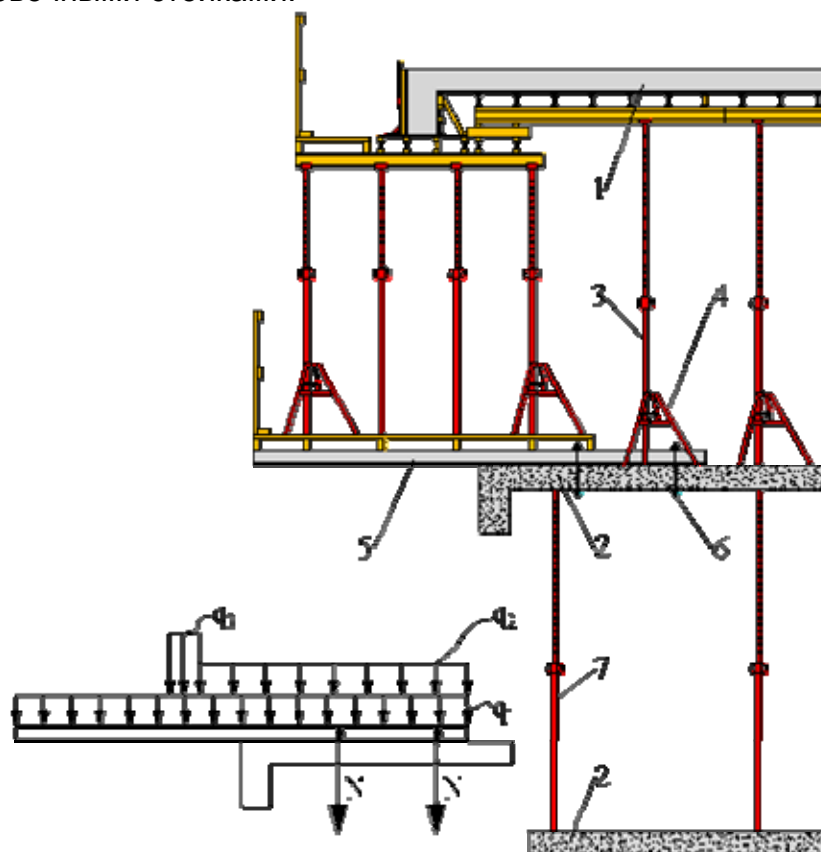
В настоящее время введен в действия ТКП 45-5.03-131 [10], в котором ликвидирован данный пробел и введено 4 класса поверхности монолитного бетона. Наивысший класс А соответствует лицевым поверхностям стен, колонн и нижним поверхностям перекрытий с повышенными требованиями, где особенно важен внешний вид. Для поверхностей класса Б требуются дополнительные операции по шпатлеванию, заделке отверстий от тяжелой опалубки, частичное шлифование с последующей окраской или декоративной отделкой на основе сухих смесей и т.п.

Следует оговорить, что из условия скоростного возведения всех монолитных конструкций, комплектация опалубки для стен и колонн выполнена из условия обеспечения бетонных поверхностей класса Б. Опалубка перекрытий может обеспечить

получение бетонных поверхностей классов А и Б. Для поверхности класса А следует применять фанеру с оборачиваемостью не более 2-3 циклов.

Наличие современной опалубки еще не решает проблему получения высококачественных бетонных поверхностей. Приготовление качественной бетонной смеси необходимо выполнять на современных мобильных бетонных узлах с точной дозировкой компонентов смеси, особенно, химических добавок. Климатические условия производства бетонных работ на объекте играют также не последнюю роль. Снег, наледи, мороз не способствуют этому процессу. Поэтому рекомендуется обрабатывать и применять технологию высококачественного бетона в теплый период года.

Возведение монолитных конструкций криволинейных перекрытий, выступающих за наружный контур нижерасположенных перекрытий, требует тщательной технологической разработки. Возникает необходимость установки опалубки перекрытия на надежное основание, которое позволяет отводить нагрузку при бетонировании перекрытия к ранее возведенным монолитным конструкциям. На данном объекте предложена и реализована технология устройства консольных площадок в качестве временной опоры опалубки перекрытия (рис. 8). Консольные площадки выполнены из стальных прокатных двутавров, прикрепляемых винтовыми анкерами к монолитному перекрытию. Шаг расстановки двутавровых балок, анкерное крепление и их типоразмеры определялись технологическим расчетом. По стальным балкам устраивали рабочий настил из деревянных балок и досок. Рабочие зоны площадки ограждаются перилами. При необходимости нижние, ранее забетонированные перекрытия, дополнительно подпирают страховочными стойками.



- 1 – возводимое перекрытие; 2 – ранее забетонированное перекрытие;  
3 – телескопическая стойка; 4 – тренога; 5 – стальная балка площадки;  
6 – винтовой анкер с гайками; 7 – страховочная стойка

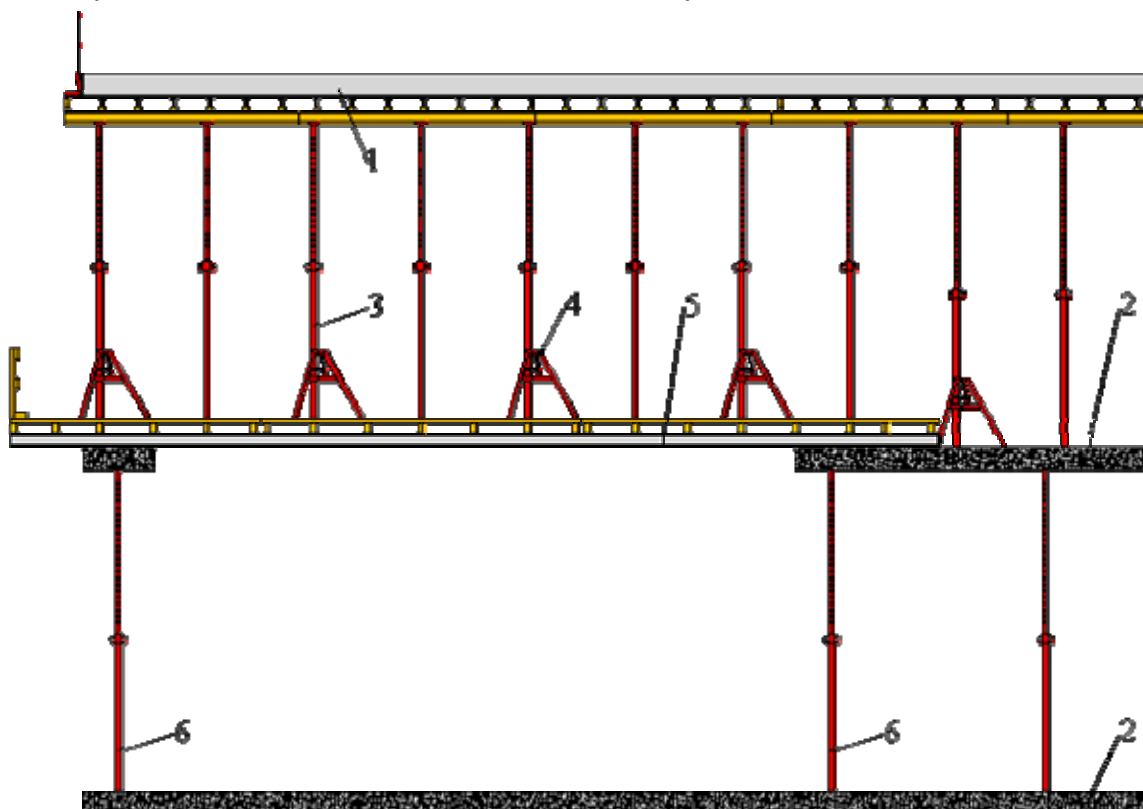
**Рисунок 8** – Схема устройства консольной площадки для опалубки перекрытия:

- $q_1$  – собственный вес стальной балки настила + полезная нагрузка;  
 $q_2$  – нагрузка от перекрытия;  $q_3$  – нагрузка от ригеля

Аналогичная технологическая задача возникает при разработке технологии опалубки в зоне расположения проемов перекрытия. На рис. 9 представлена схема устройства опалубки перекрытия над проемом. Применение стальных балок временно настила оказалось в данном случае наиболее рациональным техническим решением с точки зрения опалубки и обладающего минимальными трудозатратами (рис. 10).

Как отмечалось ранее при высоте телескопических стоек более 4 метров целесообразно переходить на другую опорную систему опалубки перекрытия. На строительстве Арены применены два вида опорных систем опалубки:

- опорные леса импортного производства;
- опорные башни ПОРТАЛ отечественного производства.



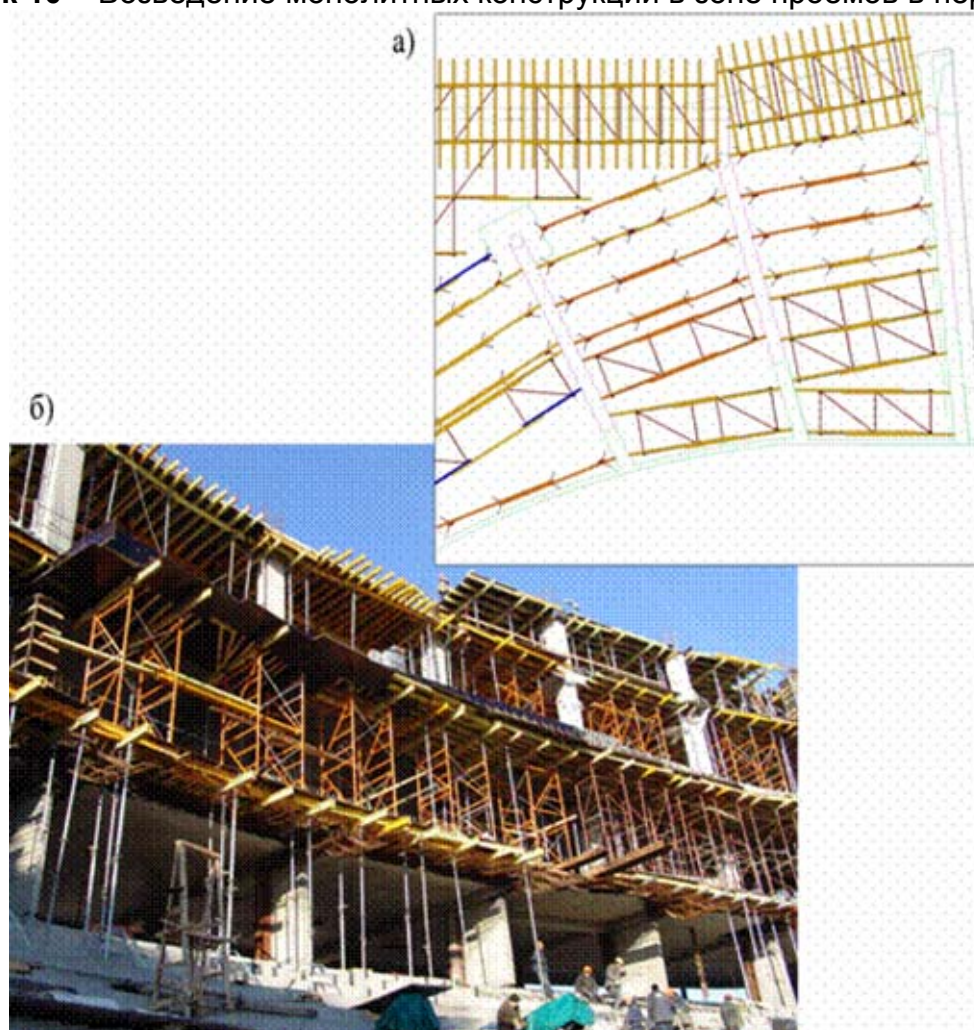
1 – возводимое перекрытие; 2 – ранее забетонированное перекрытие; 3 – телескопическая стойка; 4 – тренога; 5 – стальная балка настила; 6 – страховочная стойка

**Рисунок 9** – Схема устройства опалубки в зоне проемов перекрытия

Обе системы собираются вручную из унифицированных элементов: опорные леса – из стоек и раскосов; опорные башни – из рам и раскосов. Регулирование по высоте производят домкратами снизу и сверху башен. Шаг расстановки опорных башен определяли технологическим расчетом для каждого конкретного случая, и, он зависит от геометрических характеристик возводимого объекта. Опорные башни обеспечивают безопасность опалубочных работ на стадиях монтажа и демонтажа. В оголовки опорных башен укладывают систему несущих и распределительных балок, поверх которых монтируют палубу из водостойкой фанеры (рис. 11).

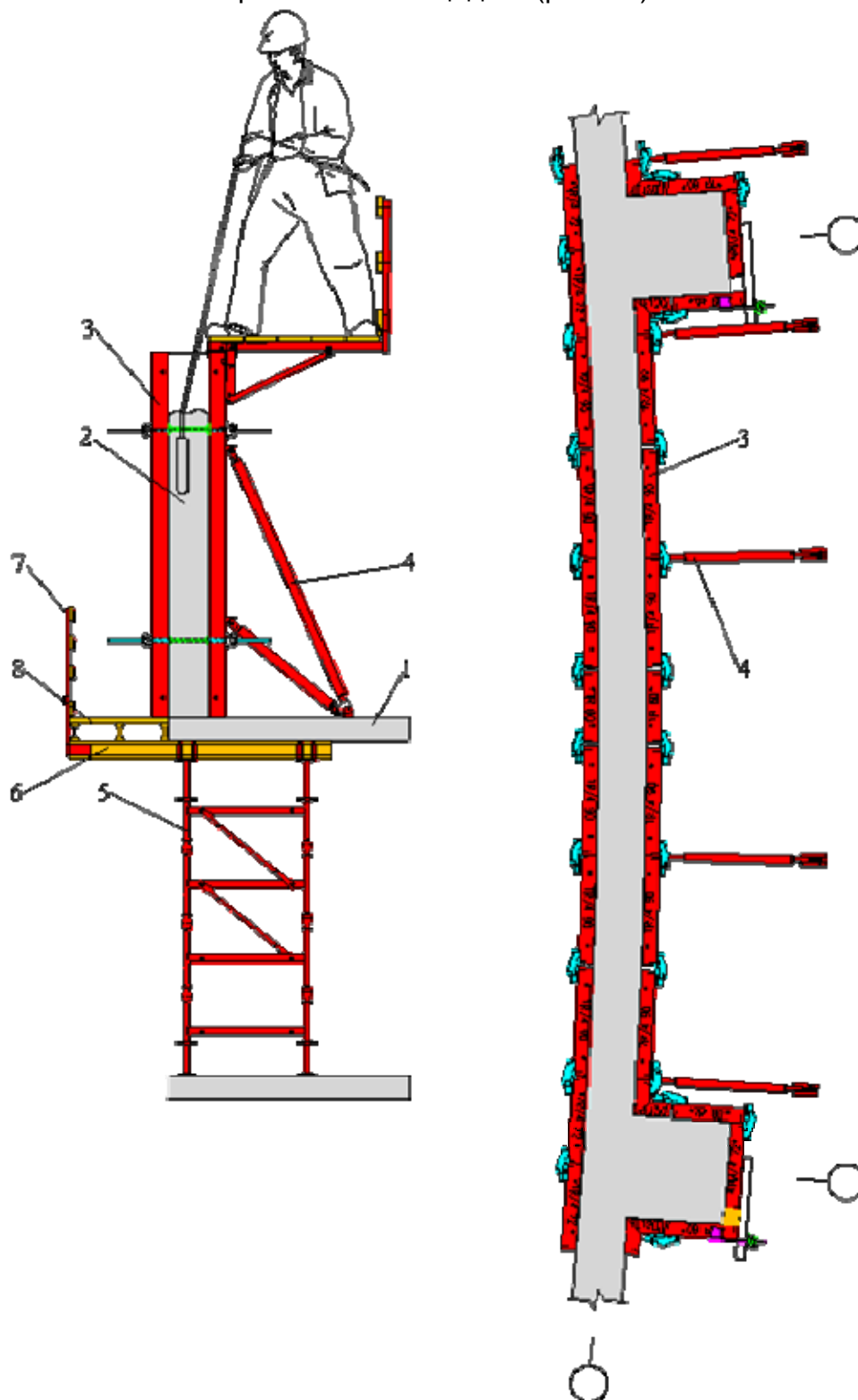


**Рисунок 10** – Возведение монолитных конструкций в зоне проемов в перекрытии



**Рисунок 11** – Возведение монолитных каркаса с применением опорных башен ПОРТАЛ:  
а) фрагмент схемы расстановки опалубки перекрытия; б) общий вид опалубки

Возведение криволинейных стен в ряде случаев было сопряжено с необходимостью обеспечения безопасности рабочей зоны при монтаже опалубки. На рис. 12 приведена схема устройства опалубки, где рабочие площадки выполнили из консольных опалубочных балок, плотно прижатых опорными башнями к бетонному перекрытию. Деревянный настил укладывали по опалубочным балкам. Рабочая зона обязательно подлежит ограждению. Производство арматурных работ и монтаж щитовой опалубки выполняли на этих временных площадках (рис. 13).



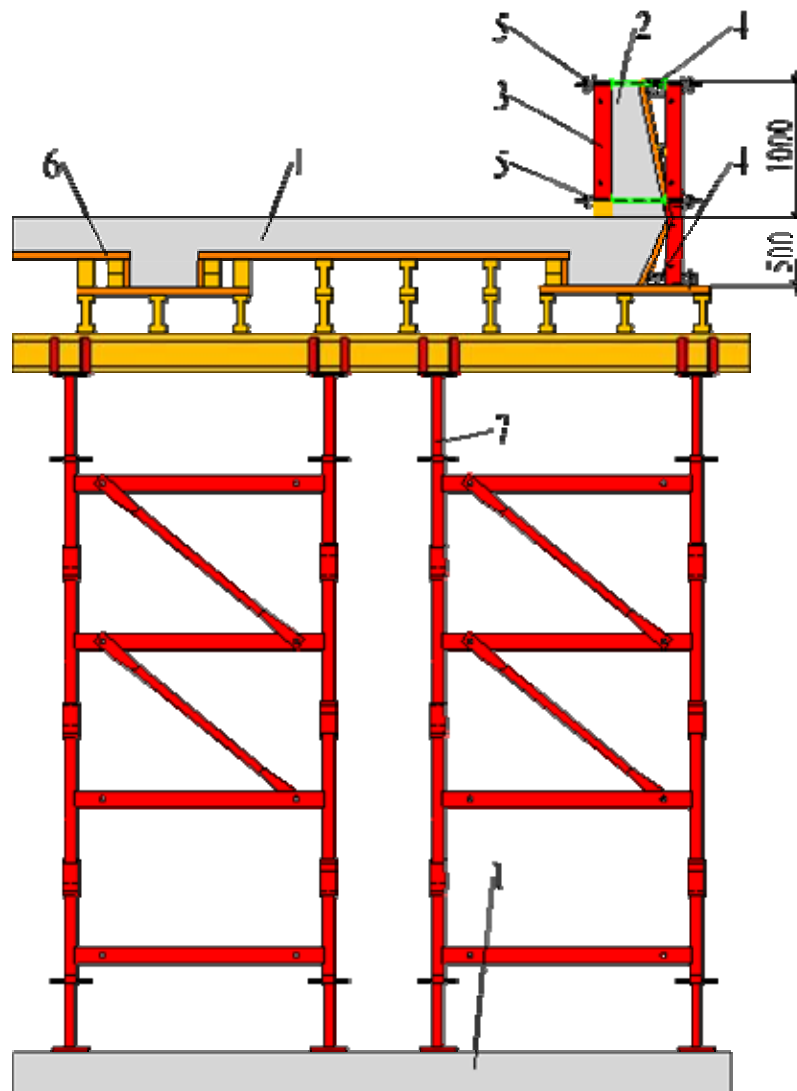
1 – перекрытие; 2 – стена; 3 – опалубка; 4 – подкосы; 5 – опорная система;  
6 – опорные балки; 7 – ограждение; 8 – настил

**Рисунок 12** – Схема опалубки стен опорного кольца



**Рисунок 13** – Возведение стен опорного кольца с применением консольных площадок

Возведение контурной балки сложной формы монолитного перекрытия потребовало тщательной разработки технологии опалубки (рис. 14).



1 – монолитное перекрытие; 2 – монолитная контурная балка; 3 – щитовая опалубка; 4 – индивидуальные вставки; 5 – тяжи; 6 – палуба перекрытия; 7 – опорная система опалубки

**Рисунок 14** – Схема опалубки монолитного перекрытия сложной формы

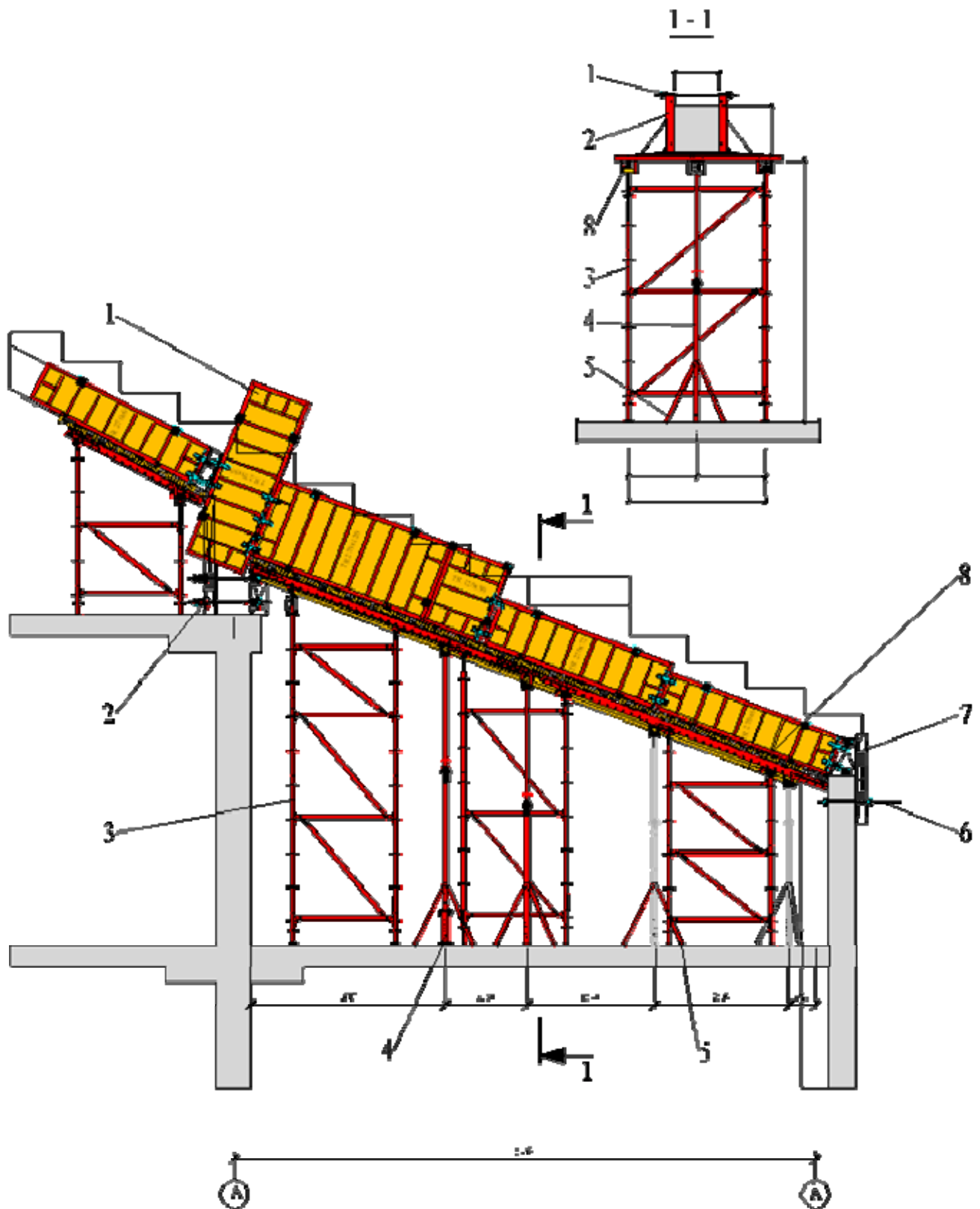
О масштабах строительства монолитного каркаса Арены можно судить по фотографии приведенной на рис. 15.



**Рисунок 15 – Возведение монолитного каркаса Арены**

#### **2.4 Технология возведения монолитных конструкций наклонных трибун Арены**

Специалистами института разработано около 20 опалубочных технологий. Среди них особого внимания заслуживает технология возведения монолитных конструкций наклонных балок трибун и самих трибун. Первоочередного решения в данном случае требовала организация надежной опоры всей опалубки с восприятием всех нагрузок от веса самих конструкций, опалубки и технологических нагрузок. При бетонировании монолитных конструкций с наклонным днищем на опорную систему опалубки действует не только вертикальные, но и горизонтальные нагрузки, которые необходимо отводить к надежному основанию. На рис. 16 приведена схема опалубки наклонных балок и опорной системы. Опорные леса выполняют роль пространственной системы, воспринимающей все виды нагрузок и обеспечивающей формоустойчивость опалубки на всех стадиях возведения монолитных конструкций. Дополнительно роль опорных элементов опалубки в горизонтальном направлении выполняли ранее забетонированные конструкции стен и колонн. Бетонирование наклонных балок необходимо выполнять снизу-вверх (рис. 17).



1 – щиты опалубки; 2 – тяжи; 3 – опорная система; 4 – телескопическая стойка;  
 5 – тренога; 6 – гайка; 7 – индивидуальный щит; 8 – балки

**Рисунок 16** – Схема опалубки наклонной балки трибуны

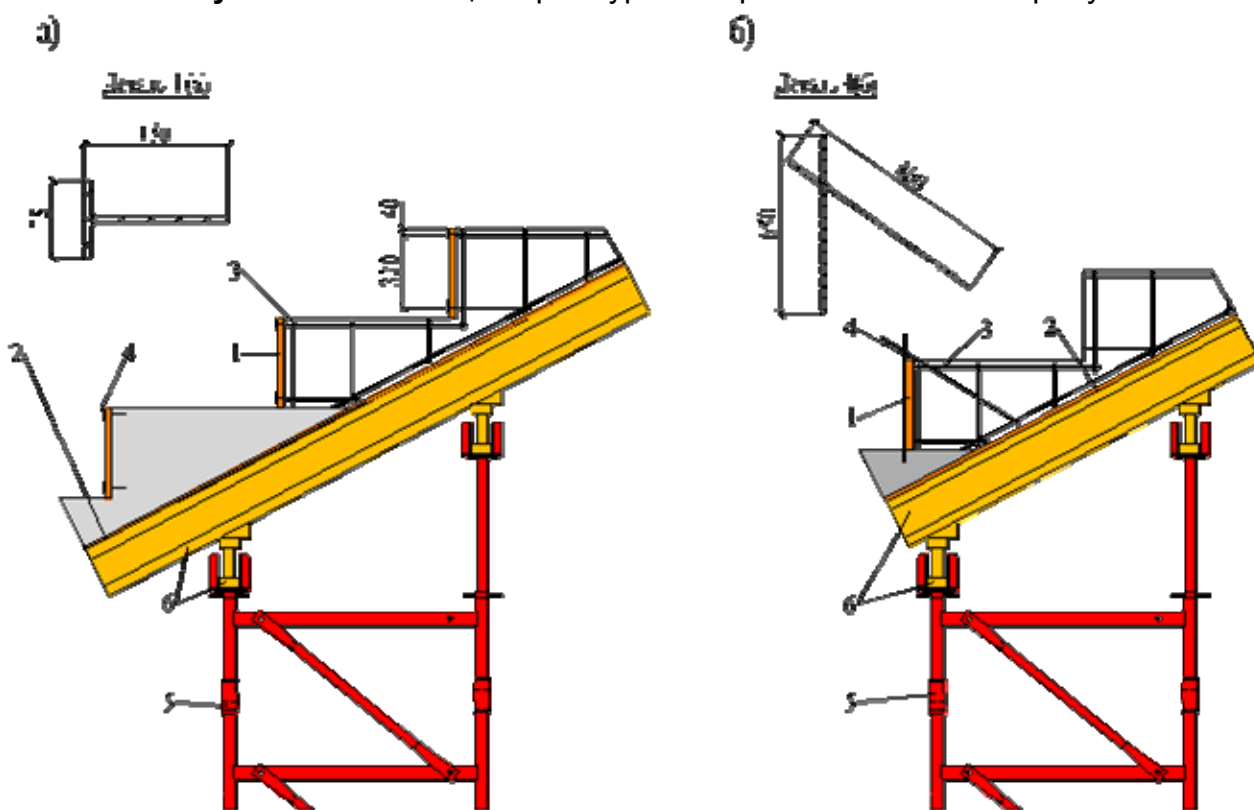


**Рисунок 17** – Возведение монолитных балок наклонных трибун

Следующим важным технологическим этапом является возведение наклонных трибун, имеющих, к тому же, криволинейное очертание в плане. Опалубку наклонного перекрытия выполняли из опалубочных балок, укладываемых в оголовки опорных лесов. Палубу из водостойкой фанеры крепили к опалубочным балкам. Технология опалубочных, арматурных и бетонных работ основывалась на строительстве снизу-вверх. Установка арматурных каркасов на наклонной палубе также требует фиксации их в проектом положении (рис. 18). Забетонированная нижняя ступень становилась надежной опорой при выполнении всех работ, проводившихся выше. Предложено два варианта крепления опалубки ступени к арматурным каркасам и бетону (рис. 19). Крепежные элементы опалубки выполняют из арматурных прутков, диаметром 10 мм, прикрепляемых к арматурному каркасу монолитных конструкций. На участках с закруглением трибун в качестве бортовой опалубки применяли водостойкую фанеру, на прямолинейных участках трибун – щитовую опалубку. Общий вид возведенных монолитных конструкций трибун приведен на рис. 20. Несмотря на сложные формы центральной Арены удалось, с применением современной опалубочной техники, возвести монолитные конструкции в сжатые сроки и передать фронт работ смежникам по отделку и устройство инженерных систем. Это в немалой степени способствовало досрочной сдаче всего комплекса в срок.



Рисунок 18 – Фиксация арматурных каркасов наклонных трибун

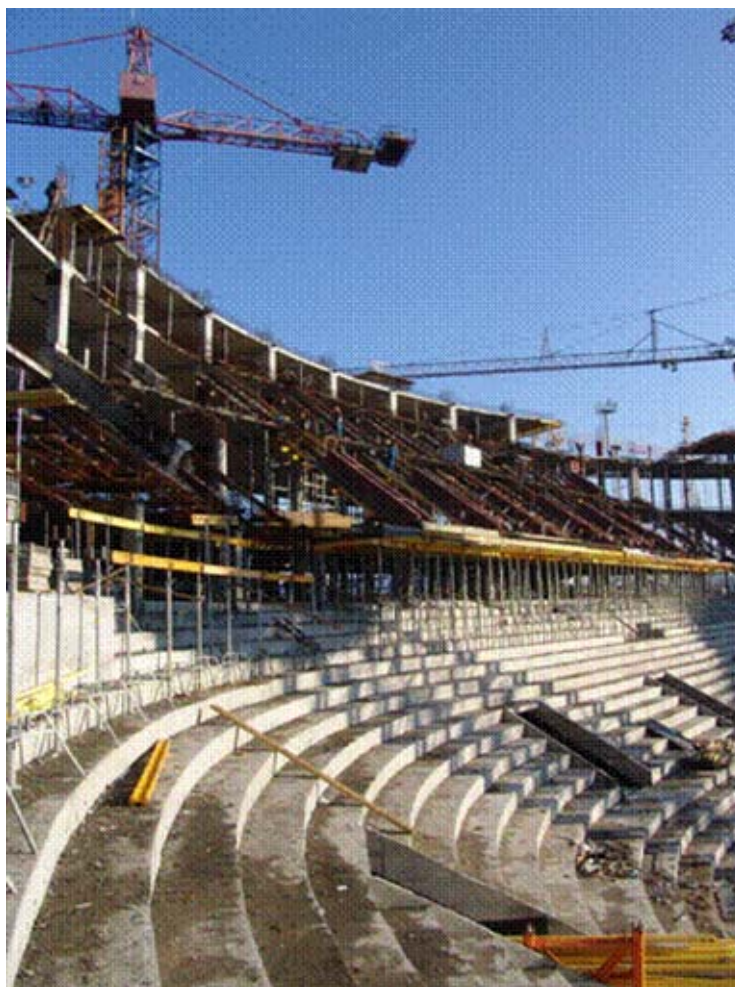


1 – бортовая опалубка; 2 – палуба; 3 – арматурный каркас;  
4 – крепежный элемент; 5 – опорные леса; 6 – опалубочная балка

Рисунок 19 – Схема устройства бортовой опалубки ступени наклонных трибун:

- а) крепление опалубки ступени к арматурному каркасу;  
б) крепление опалубки ступени к арматурному каркасу и бетону

а)



б)



**Рисунок 20** – Возведение монолитных конструкций наклонных трибун:  
а) нижнего яруса; б) верхнего яруса

## **Заключение**

1 При строительстве сложных комплексов на основе монолитных конструкций необходимо уделять самое пристальное внимание технологичности монолитных конструкций и выбору опалубочной техники.

2 Разработаны и реализованы концептуальные подходы к технологии скоростного строительства монолитных конструкций при круглогодичном производстве работ. При разработке опалубочных технологий применены поточная и каскадная технологии возведения каркаса и технология ранней распалубки перекрытий.

3 Разработана и внедрена технология опалубливания с применением вспомогательных консольных площадок, как по контуру здания, так и внутри здания в зоне расположения проемов в перекрытии.

4 Разработана и реализована на практике технология возведения наклонных балок и трибун с применением опорных лесов и опорных башен, обеспечивающих пространственную формоустойчивость опалубки на всех стадиях возведения монолитных конструкций.

5 Творческий союз строительной науки РУП "Институт БелНИИС" и строителей ОАО "Минскпромстрой" еще раз подтверждает, что им по плечу становится реализация в сжатые сроки крупномасштабных объектов, выполненных из монолитного железобетона. Прикладная строительная наука становится производительной силой в современных условиях.

## **Список использованных источников**

1 Hinrichs B. Entwicklungen und Tendenzen Schalungssysteme // Beton - 2001. -№ 8.- S. 436-441.

2 Schmitt R. Schaffungstechnik. Systeme, Einsatz und Logistik. - Berlin, 2001. -681 s.

3 Абрамчук М., Марковский М. Национальная библиотека Беларуси. Технология интенсивного строительства // Архитектура и строительство. 2003. - № 2. - С. 36-37.

4 Абрамчук М., Марковский, М. Новые опалубочные технологии возведения монолитных конструкций Национальной библиотеки Беларуси // Архитектура и строительство. - 2005. - № 1. - С. 98 - 100.

5 Курочкин, Г.Ф., Марковский, М.Ф. Технология возведения монолитных конструкций Национальной библиотеки Беларуси // Строительная наука и техника. -2006. -№2. -С. 3-11.

6 Марковский М.Ф., Нехай В.С., Ашмян М.А. Опалубочные интенсивные технологии возведения монолитных конструкций подземного общественно-торгового центра на площади Независимости в г. Минске // Строительная наука и техника. -2006. - №4(7). -С. 4-23.

7 ТКП 45-5.03-20-2006 (02250) Монолитные каркасные здания. Правила возведения.

8 Марковский М.Ф., Копылов Ю.Б., Бурсов Н.Г. Технология бездефектного возведения монолитных железобетонных конструкций из товарного бетона // Строительные материалы. -2008. -№3. -С. 14-17.

9 ГОСТ 13015.0-83 Конструкции и изделия бетонные и железобетонные сборные. Общие технические требования.

10 ТКП 45-5.03-131-2009 (02250) Монолитные бетонные и железобетонные конструкции. Правила возведения