

ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ УНИКАЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ ИЗ МОНОЛИТНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА В СОВРЕМЕННЫХ ОПАЛУБОЧНЫХ СИСТЕМАХ

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

В работе освещены вопросы технологии возведения монолитных конструкции уникальных сооружений, возводимых в последнее десятилетие в Республике Беларусь. Изложены принципиальные технологические подходы по опалубливанию сложных по форме монолитных конструкций, особенностям крепления опалубочных систем для обеспечения их формоустойчивости в пространстве при бетонировании. Отражены вопросы научного сопровождения строительства сложных и уникальных объектов.

ВВЕДЕНИЕ

Строительство зданий и сооружений из монолитного железобетона за последнее десятилетие перешло на рельсы индустриального развития и повсеместного применения по различным направлениям. Современная технология монолитного бетона на практике доказала свою конкурентоспособность с высокой эффективностью. Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь понимая важность и перспективность нового вида строительства уделяло и продолжает уделять большое внимание технологии монолитного бетона. По заданию нашего министерства РУП "Институт БелНИИС" в рамках научно-исследовательских программ создал конкурентоспособные опалубочные технологии интенсивного возведения каркасных и бескаркасных монолитных зданий, сборно-монолитных зданий, подземных сооружений, сооружений со сложными по форме конструкциями, всепогодные технологии бетонирования с применением модифицированных бетонов, антиадгезионные смазки и другие технологические подходы, обеспечивающие высокие темпы строительства и качество монолитных конструкций. Конкурентоспособными технологиями строительства из монолитного бетона овладели многие строительные организации. Весьма востребованы эти технологии при выездной модели строительства. Опыт строительства нашими организациями в России и Венесуэле подтверждает это. По мере расширения области применения монолитного бетона практика ставит перед специалистами РУП "Институт БелНИИС" всё новые задачи. С каждым днём эти задачи усложняются. Разрабатываются новые опалубочные технологии, современные бетоны и технологии их бетонирования. Строительство сложных и уникальных объектов с повсеместным применением монолитного железобетона относится к высшей категории сложности, носит индивидуальный характер и требует неординарных подходов к конструированию и технологии их возведения. Архитектура, конструкции и технология возведения монолитных конструкций уникальных сооружений взаимосвязаны и накладываются унификации. Поиск оптимальных конструктивно-технологических решений выходит в область научных исследований по многим взаимосвязанным направлениям. Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь поручает РУП "Институт БелНИИС" проводить научное сопровождение строительства важнейших государственных объектов. [1,2,3] В настоящей работе рассматриваются отдельные опалубочные технологии возведения сложных перекрытий храмов, наклонных конструкций сложной формы уникальных сооружений, включая и строительство комплекса "Минск-Арена".

ОПАЛУБОЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗВЕДЕНИЯ МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ХРАМОВ

Научное сопровождение строительства сложных и уникальных объектов является важнейшим направлением обеспечения конкурентоспособности. В результате накопленного нами опыта возведения сложных и уникальных объектов выделено два основных подхода к технологии строительства из монолитного бетона:

- суть первого заключается в сознательном доминировании архитектурной идеи сооружения, ее конструктивной реализации, и, как следствие, возникают технические и технологические сложности реализации проекта. Конечные сроки строительства и его стоимость, безусловно, возрастают.

- второй подход, более прагматичный и характеризуется параллельным взаимоувязанным проектированием самого сооружения с учетом технологии его строительства. Повсеместное применение монолитного бетона, вызывает необходимость разработки специальных опалубочных технологий, которые в данном случае играют ведущую роль.

Монолитный бетон – универсальный и пластичный материал, но его использование предъявляет особые требования непосредственно к самим монолитным конструкциям. Конструкции должны быть технологичными с точки зрения использования современных опалубочных систем для обеспечения высокого качества конечного продукта и снижения стоимости и сроков строительства. Технологичность монолитных конструкций определяют следующие факторы [1 и 2]:

- геометрические формы и параметры монолитных конструкций и их примыканий, обуславливающие возможность их опалубки современными опалубочными системами, с учетом их технических, конструктивных и технологических особенностей;

- возможность устройства технологических швов, а также технологических и конструктивных проемов в стенах и перекрытиях;

- скорость бетонирования;

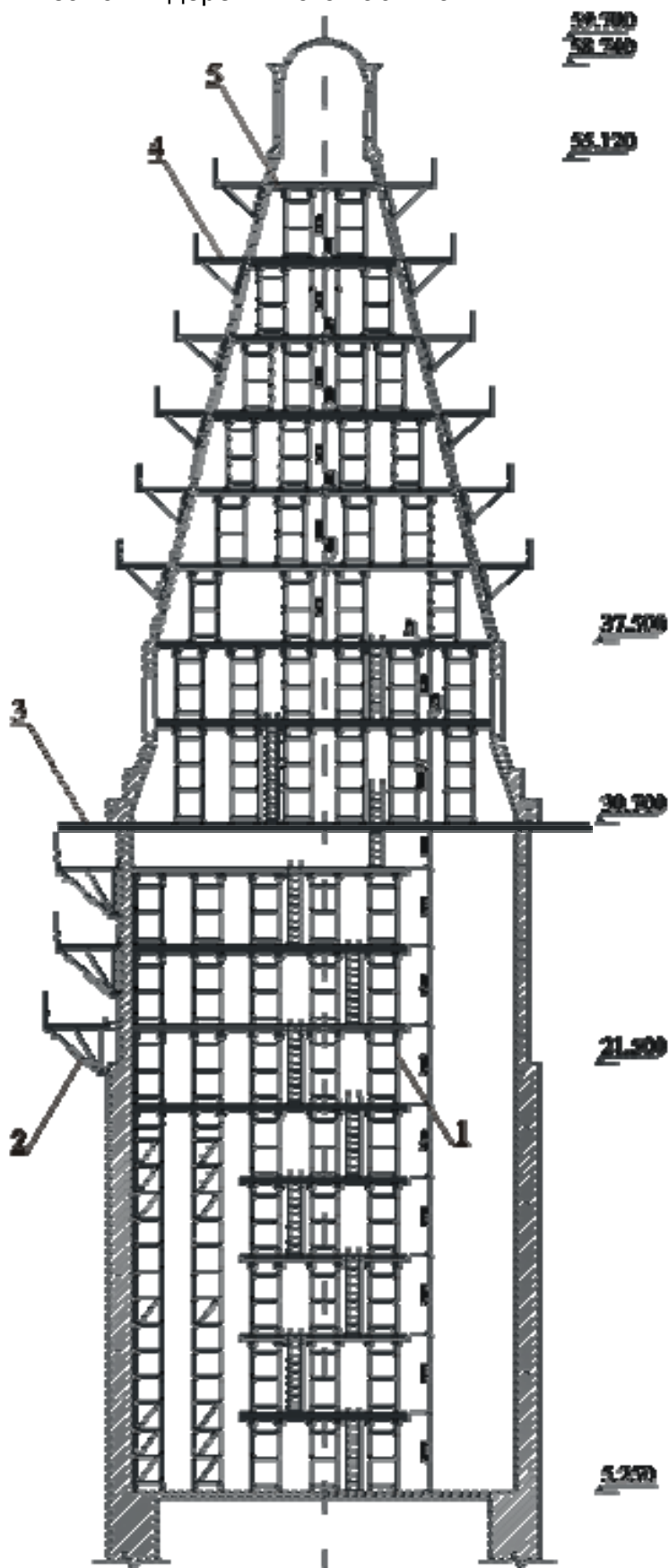
- способы армирования монолитных конструкций и распалубочная прочность бетона;

- эргономические требования по производству опалубочных, арматурных и бетонных работ и др.

Первый подход к технологии строительства из монолитного бетона характерен для сооружений с устоявшимися, классическими архитектурными формами, имеющими символическое значение. В первую очередь это сооружения Храмов, конструктивные особенности которых определяются архитектурой самого сооружения. Технология строительства подобных объектов характеризуется, следующими признаками: значительные размеры самого сооружения по высоте; отсутствие надежных точек опоры для опалубки монолитных конструкций перекрытий и покрытий; сложные геометрические очертания самих монолитных конструкций; При разработке технологий возведения монолитных конструкций Храма в Честь Всех Святых и безвинно убиенных в Отечестве нашем применили принцип поярусного наращивания опорной системы опалубки. Размеры сооружения по высоте впечатляют – 67 метров до основания креста. Последнее перекрытие, которое можно было использовать в качестве основания, находилось на отметке всего лишь +5.250.

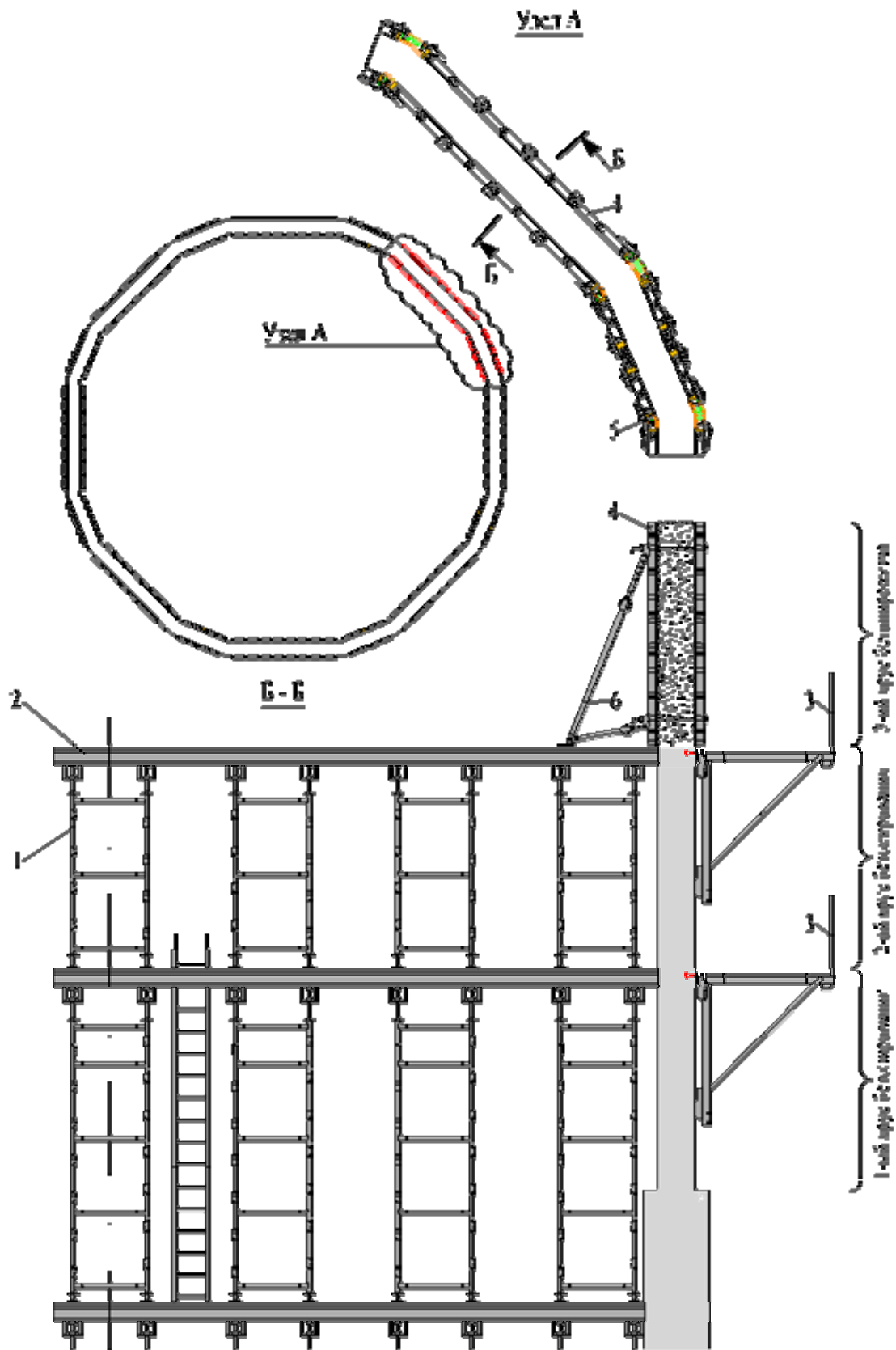
Для устройства подмостей и клетей для размещения лестниц для подъема рабочих использовали опорные башни, которые применяли и для устройства опорной системы опалубки (рис. 1). Небольшой вес отдельных элементов опорных башен позволил в дальнейшем производить ручной монтаж и демонтаж. Для возведения монолитных стен шатра Храма использовалась стандартная щитовая опалубка и индивидуальные доборные щиты, что в совокупности с надежной системой крепежа обеспечило устойчивое положение опалубки в проектном положении. Бетонирование велось поярусно с шагом, равным высоте щитов – 3 м. По мере возведения стен внутри выполнялось поярусное наращивание опорной системы с устройством временных промежуточных площадок, а наружные опорные подмости перевешивались на новый уровень и фиксировались посредством анкерного механизма замоноличенного в стену при ее бетонировании (рис. 2). Для исключения значительных нагрузок на перекрытие на

отметке +5.250 была устроена опорная разгружающая площадка на отметке +30.700, состоящая из стальных балок и деревянного настила.



1 – опорные башни; 2 и 4 – наружные опорные подмости;
3 – опорная разгружающая площадка; 5 – промежуточные временные перекрытия

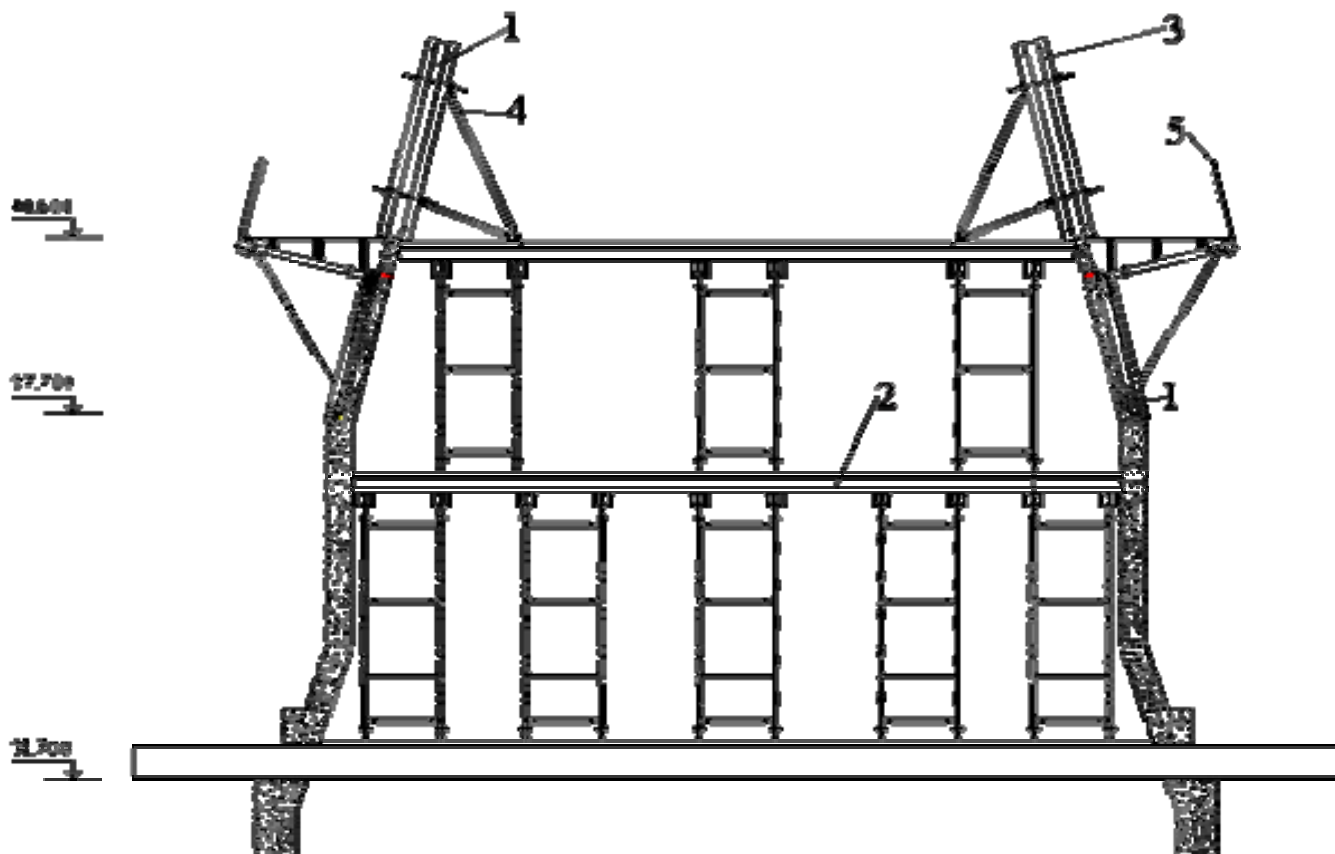
Рисунок 1 – Схема опалубки для возведения монолитных конструкций шатра Храма в Честь Всех Святых и безвинно убиенных в Отечестве нашем (г. Минск)



1 – опорные башни; 2 – промежуточные перекрытия на основе деревянных двутавровых балок; 3 – наружные опорные подмости; 4 – щитовая опалубка; 5 – индивидуальный доборный щит; 6 – регулируемый подкос

Рисунок 2 – Схема опалубки наружных стен Храма

Начиная с отм. +37.500 монолитные стены были запроектированы с углом наклона во внутрь сооружения. Схема опалубки наклонных стен шатра приведена на рис. 3. Монолитные конструкции шатра Храма возведены в сжатые сроки.



1 – наклонные стены шатра; 2 – опорная система; 3 – щитовая опалубка;
4 – регулируемые подкосы; 5 – наружные подмости

Рисунок 3 – Схема опалубки наклонных стен шатра Храма

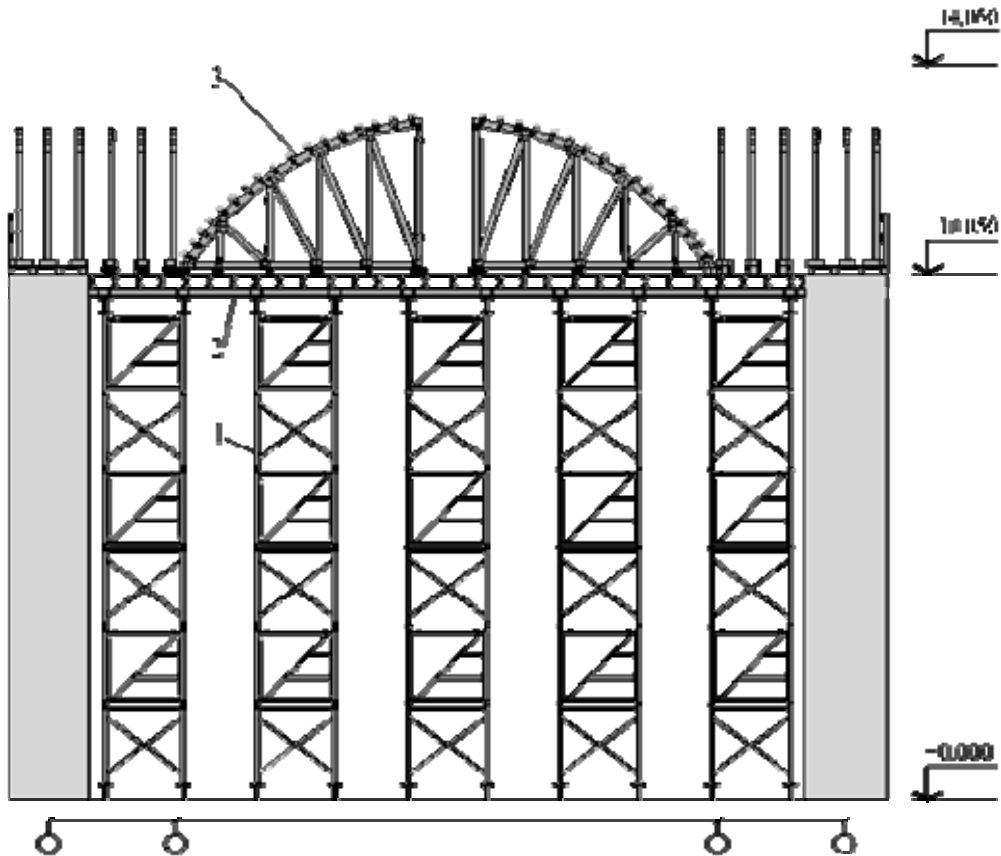
Особого внимания заслуживает технология возведения монолитного железобетонного свода церкви Святого Духа на площади Свободы в г. Минске. Размеры свода:

- длина в плане – более 30 м;
- радиус поперечного сечения – около 6 м.

В состав опалубки свода входят (рис. 4 и 5):

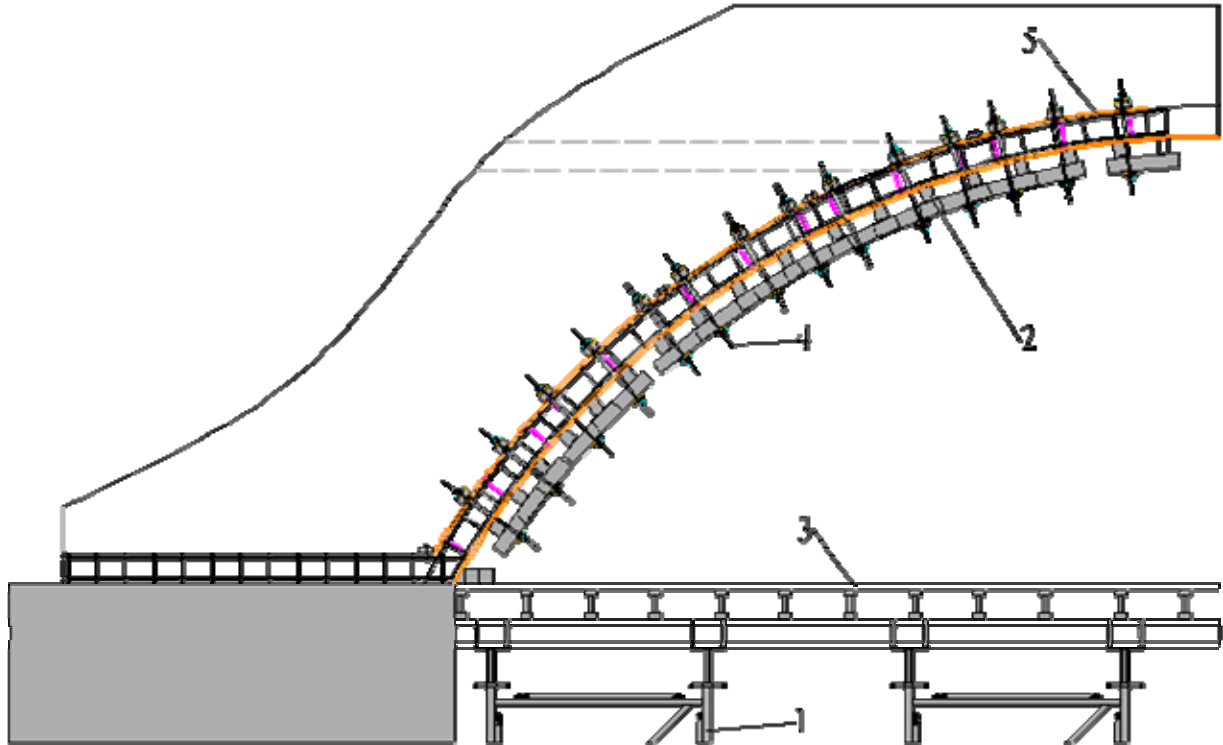
- опорная система опалубки;
- индивидуальные арочные конструкции, с радиусом изгиба монолитных конструкций;
- прогоны;
- внутренняя палуба из водостойкой фанеры толщиной 15 мм;
- щиты наружной опалубки;
- винтовые тяжи с гайками.

Свод бетонировали ярусами, с пошаговой установкой щитов наружной опалубки. Таким образом, предложенные технологии позволили возводить монолитные конструкции сводов с заданными геометрическими параметрами.



1 – опорная башня; 2 – временное перекрытие на основе деревянных двутавровых балок;
3 – индивидуальные фермы

Рисунок 4 – Опорная система железобетонного свода Церкви Святого Духа (г. Минск)



1 – опорная башня; 2 – прогон; 3 – настил;
4 – винтовой тяж с 2-мя гайками; 5 – щит наружной опалубки

Рисунок 5 – Схема опалубки монолитного свода Церкви Святого Духа (г. Минск)

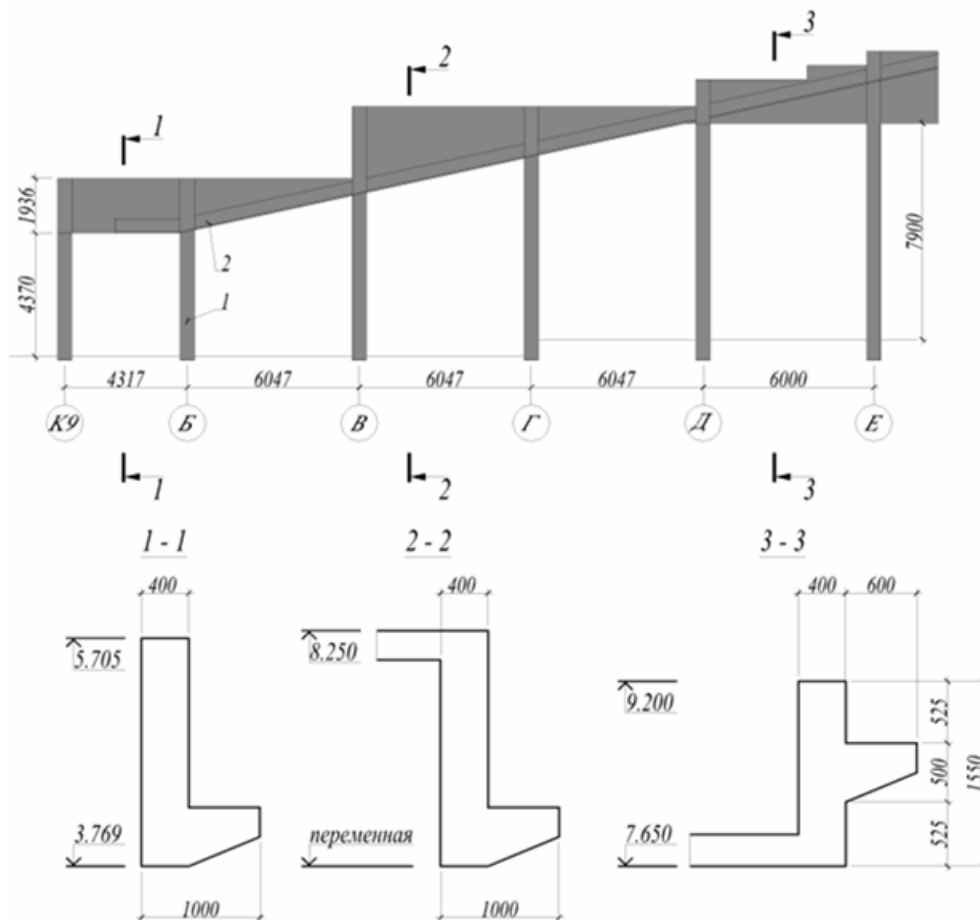
ОПАЛУБОЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗВЕДЕНИЯ МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ СТЕН СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

Строительство подземного центра "Столица" в г. Минске наряду со строительством Национальной библиотеки Беларуси сегодня занимает особое место. Воплощение архитектурных замыслов грандиозных сооружений в монолитных конструкциях является технически и технологически оправданным. Подробно на научном сопровождении и технологиях возведения этих комплексов мы останавливались ранее в ряде публикаций [3 и 4].

В настоящей работе следует акцентировать внимание на технологических аспектах возведения монолитных стен сложной формы, присутствующих в конструкциях многих объектов.

Главный вход и вестибюль Национальной библиотеки Беларуси запроектированы многосветными с верхним естественным освещением, которое обеспечивается наклонным верхним остеклением, выполненным в виде полуцилиндра. Конструкции остекления опираются на монолитные наклонные ригеля [5]. При выборе типа опалубки и опалубочной технологии строительства наклонных ригелей главными факторами стали (рис. 6):

- опирание конструкций только на круглые колонны;
- сложное очертание поперечного сечения ригелей, что не позволяет использовать инвентарную щитовую опалубку;
- разноуровневое сопряжение примыкающего перекрытия с ригелями;
- наклон нижней грани ригеля;
- обеспечение безопасности работ на высоте;
- сжатые сроки строительства.



1 – колонна; 2 – ригель

Рисунок 6 – Схема монолитных конструкции ригелей главного входа Национальной библиотеки Беларуси

Выбор технологии возведения столь сложных конструкций предполагал разработку опорной системы опалубки, обеспечивающей восприятие всех нагрузок от веса самих конструкций, опалубки и технологических нагрузок. Следовало учитывать, что при бетонировании монолитных конструкций с наклонной нижней гранью на опорную систему опалубки действует не только вертикальные, но и горизонтальные усилия, которые необходимо отводить к надежному основанию. Для боковых граней ригелей были разработаны индивидуальные опалубочные щиты, а боковое давление бетонной смеси воспринималось винтовыми тяжами. В общем случае распределение давления бетонной смеси по высоте опалубки носит характер близкий к гидростатическому:

$$P_6 = K \times \xi \times \gamma \times h, \quad (1)$$

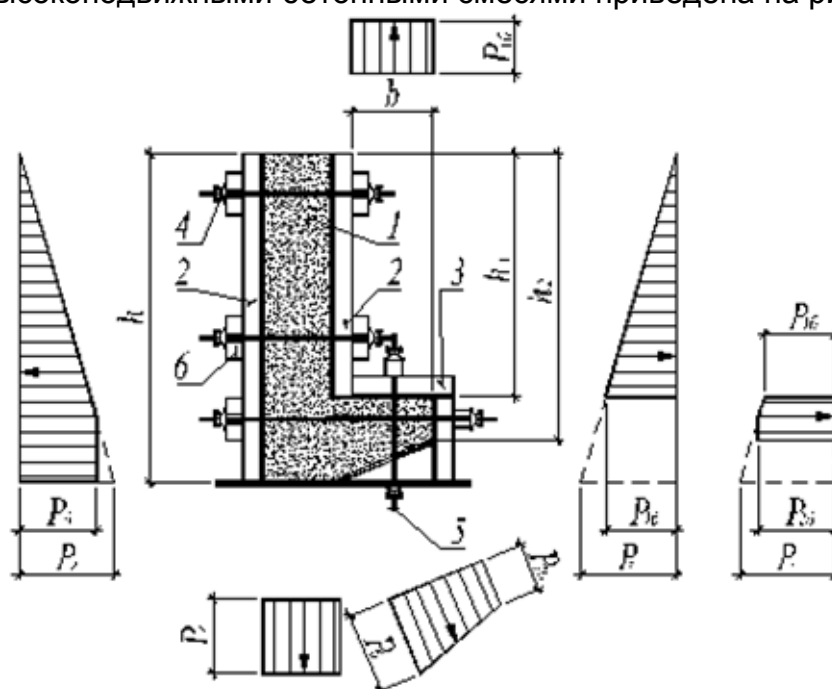
где P_6 – боковое и гидростатическое давление бетонной смеси на опалубку, кПа;

h – высота слоя бетонной смеси, м;

ξ – коэффициент бокового давления бетонной смеси;

K – коэффициент влияния формы опалубки.

Схема распределения давления бетонной смеси на стенки опалубки ригеля при бетонировании высокоподвижными бетонными смесями приведена на рис. 7.



1 – бетонная смесь; 2 – индивидуальный опалубочный щит; 3 – щит – крышка консоли;
4 – винтовой тяж; 5 – анкер; 6 – выравнивающая балка

Рисунок 7 – Схема распределения давления бетонной смеси на стенки опалубки ригеля при бетонировании высокоподвижными бетонными смесями

На днище опалубки действует гидростатическое давление P_g , а на щит–крышку консоли – давление P_{16} , которое приводит к подъему (всплытию) этого элемента опалубки:

$$P_{16} = K \times \xi \times \gamma \times h_1, \quad (2)$$

Поэтому щит–крышку крепят анкерами к днищу опалубки. Количество и шаг установки анкеров определен технологическим расчетом в зависимости от подъемного давления и допускаемых усилий на анкеры и щиты.

Для расчета усилий на опорную систему наклонных ригелей переменного сечения рассмотрим уплотненный свежий бетон как квазитвердое тело, находящиеся на наклонной плоскости с двумя опорами А и С. При наличии торцевого участка опалубки все усилия от бетона и опалубки должны восприниматься реакциями опор H_A ; V_A и Z_C (рис. 8).

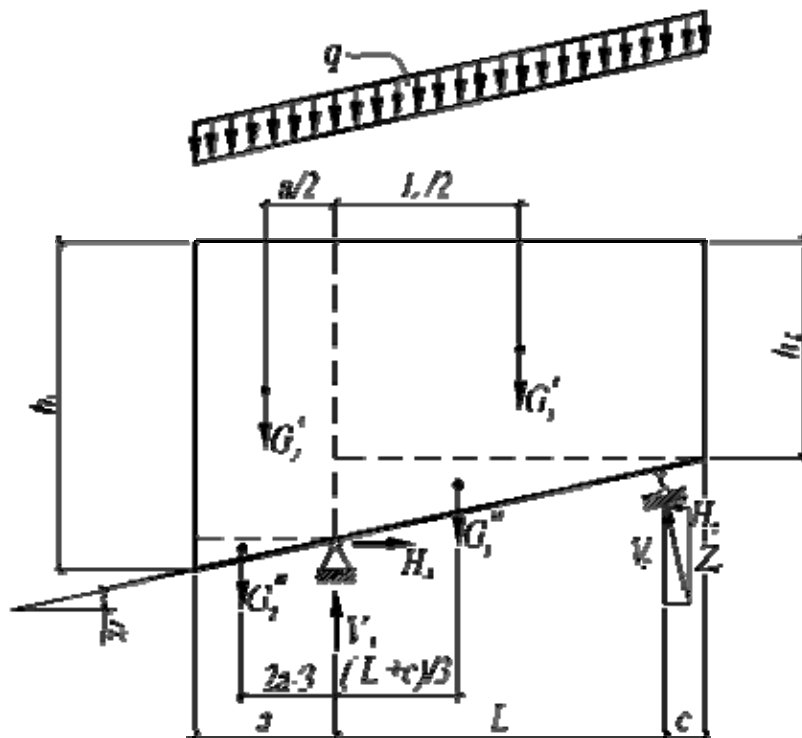


Рисунок 8 – Расчетная схема опалубки наклонного ригеля

На опоры опалубки действует нагрузка от веса бетона и арматуры ригеля, самой опалубки и технологические нагрузки (см. рис. 8). Слева ригеля устраивают торцевую опалубку для предотвращения сползания бетона с наклонной опалубки, а фиксация торцевой и наклонной опалубок между собой обеспечивает формоустойчивость опалубки.

Реакции опор Z_g , H_a и V_a от собственного веса бетона определяют по следующим зависимостям:

$$Z_g = \cos \alpha \left[G_1' \frac{(1+K_2)}{2} + G_1'' \frac{(1+K_2)}{3} - G_2' \frac{K_1}{2} - G_2'' \frac{2K_1}{3} \right], \quad (3)$$

$$H_A^g = Z \times \sin \alpha, \quad (4)$$

$$V_A^g = G_1' + G_1'' + G_2' + G_2'' - Z \cos \alpha, \quad (5)$$

$$\left. \begin{aligned} G_1' &= (L+c) \times h_2 \times B \times \gamma, \\ G_1'' &= \frac{L+c}{3} \times (h_1 - h_2 - a \times \operatorname{tg} \alpha) \times B \times \gamma, \\ G_2' &= (h_1 - a \times \operatorname{tg} \alpha) \times a \times B \times \gamma, \\ G_2'' &= \frac{a^2 \times \operatorname{tg} \alpha}{3} \times B \times \gamma, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

$$\text{где } K_1 = \frac{a}{L}; \quad K_2 = \frac{c}{L}; \quad (7)$$

$$h_1 = \frac{F_1}{B}; \quad h_2 = \frac{F_2}{B} \quad (8)$$

L – расстояние между опорами, м;

F_1, F_2 – фактическая площадь сечения ригеля, м^2 ;

B – толщина стенки ригеля, м;

a, c – свес балки, м.

Реакции опор Z_q ; V_A^q ; H_A^q от действия равномерно-распределенной нагрузки на опалубку рассчитывают по формулам 9 – 11:

$$Z_q = q \times B_1 \times L \times [(1 + K_2)^2 - K_1^2], \quad (9)$$

$$V_A^q = 2 \times q \times \frac{B_1 \times L \times (1 + K_1 + K_2)}{\cos \alpha} - Z_q \times \cos \alpha, \quad (10)$$

$$H_A^q = Z_q \times \sin \alpha, \quad (11)$$

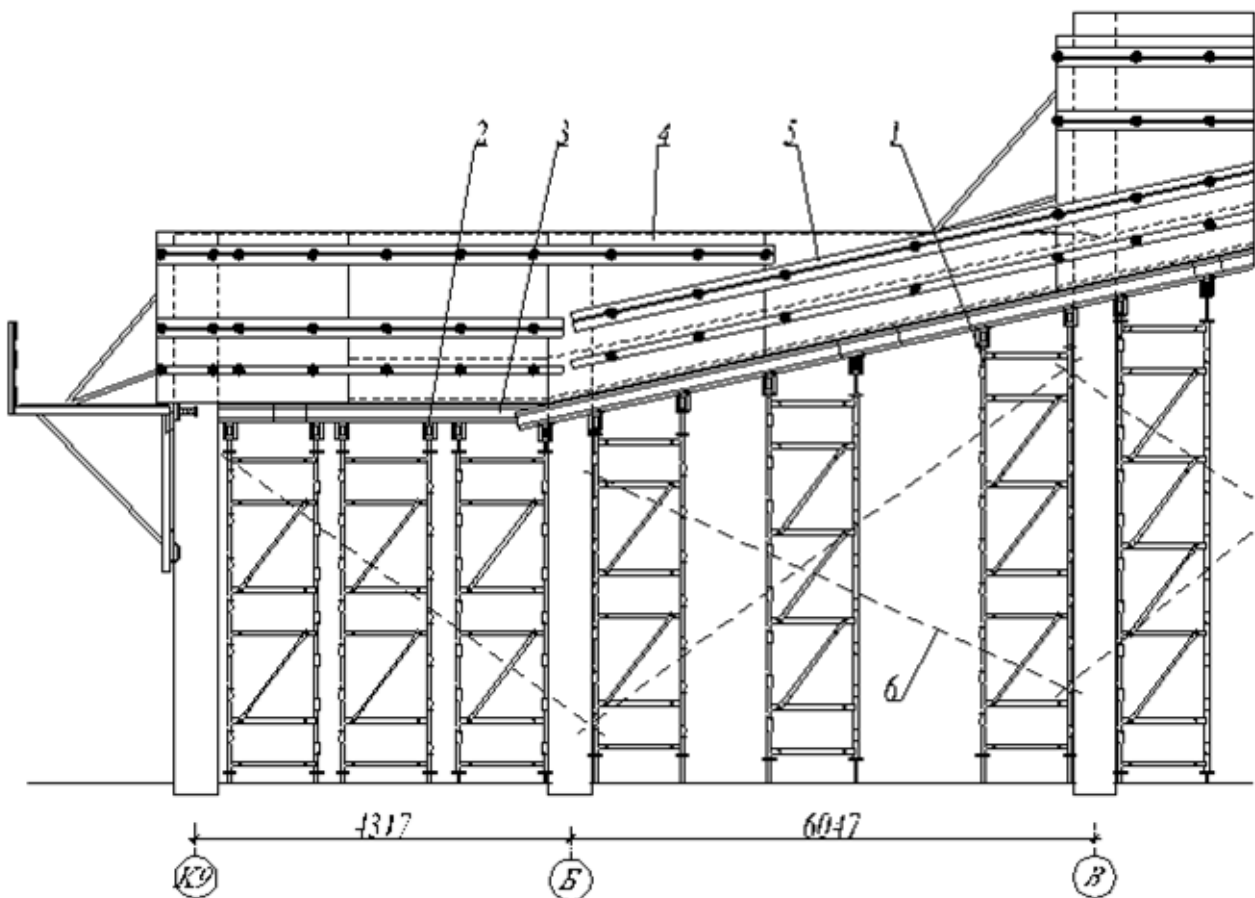
где B_1 – ширина участка воздействия равномерно-распределенной технологической нагрузки на опалубку (см. рис. 8).

Суммарные нагрузки на опоры от действия собственного веса бетона и распределенной технологической нагрузки q , равны:

$$\left. \begin{aligned} Z &= Z_g + Z_q \\ H_A &= H_A^g + H_A^q \\ V_A &= V_A^g + V_A^q \end{aligned} \right\}, \quad (12)$$

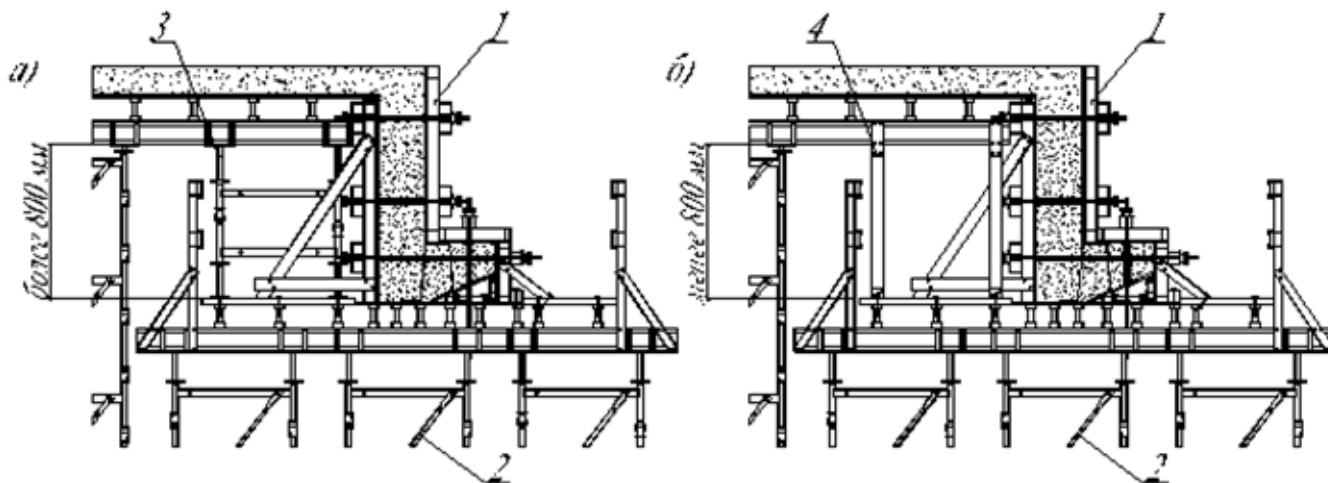
Полученные зависимости позволяют рассчитывать реакции опор опалубки и по ним запроектировать несущие опорные системы, которые обеспечивают отведение усилий к основанию. В качестве опорной системы приняты опорные башни (рис. 9). Горизонтальные усилия воспринимались опорными башнями с дополнительными наклонными связями и установленными временными связями между башнями и ранее возведенными монолитными колоннами.

Бетонирование монолитного ригеля было разбито на ряд технологических захваток. Это было вызвано сопряжением ригеля с перекрытиями, а также его сложным поперечным сечением. В ряде случаев опорная система опалубки ригеля использовалась в качестве дополнительной опоры для опалубки примыкающего монолитного перекрытия (рис. 10).



1 – опорные башни; 2 – несущие двутавровые балки; 3 – распределительные двутавровые балки; 4 – опалубка ригеля; 5 – выравнивающая балка; 6 – связь

Рисунок 9 – Опорная система опалубки ригеля



1 – опалубка ригеля; 2 – опорная система;
3 – инвентарная опорная система; 4 – индивидуальная опорная система

Рисунок 10 – Схема опалубки монолитного перекрытия с ригелем
а – опалубка монолитного перекрытия с использованием опорных башен;
б – индивидуальная опалубка монолитного перекрытия

ОПАЛУБОЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗВЕДЕНИЯ МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ КОМПЛЕКСА МИНСК-АРЕНА

Многопрофильный культурно-массовый комплекс Минск-Арена состоит из четырех самостоятельных сооружений:

- центральной арены, рассчитанной на 15 000 зрителей;
- конькобежного стадиона;
- велодрома;
- паркинга.

Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь поручило вести научное сопровождение строительства специалистам РУП "Институт БелНИИС". Учитывая сжатые сроки строительства и то, что конструкций были запроектированы из монолитного железобетона, были определены следующие основные задачи научного сопровождения:

– разработка и внедрение опалубочных технологий интенсивного возведения монолитных конструкций. Научное сопровождение работ по данной тематике выполнял научно-исследовательский отдел технологии строительства из монолитного бетона (научный руководитель – канд. техн. наук Марковский М.Ф.);

– разработка и внедрение технологий модифицированного бетона на основе нового поколения химических добавок. Научное сопровождение работ по данной тематике выполнял научно-исследовательский отдел технологии бетонов и растворов (научный руководитель – докт. техн. наук, профессор Блещик Н.П.).

Рассматривая процесс строительства комплекса Минск-Арена, сразу следует оговориться, что в данном случае имел место второй, более прагматичный подход – монолитные конструкции проектировались с учетом технологических и конструктивных особенностей применяемой опалубки, то есть при проектировании конструкций учитывалась их технологичность. Такой подход обеспечивает высокие темпы строительства при высоком качестве конструкций. А монолитные конструкции комплекса отличаются сложностью:

- переменная высота этажей;
- круглые и квадратные колонны с капителями и без (капители имели различную форму);

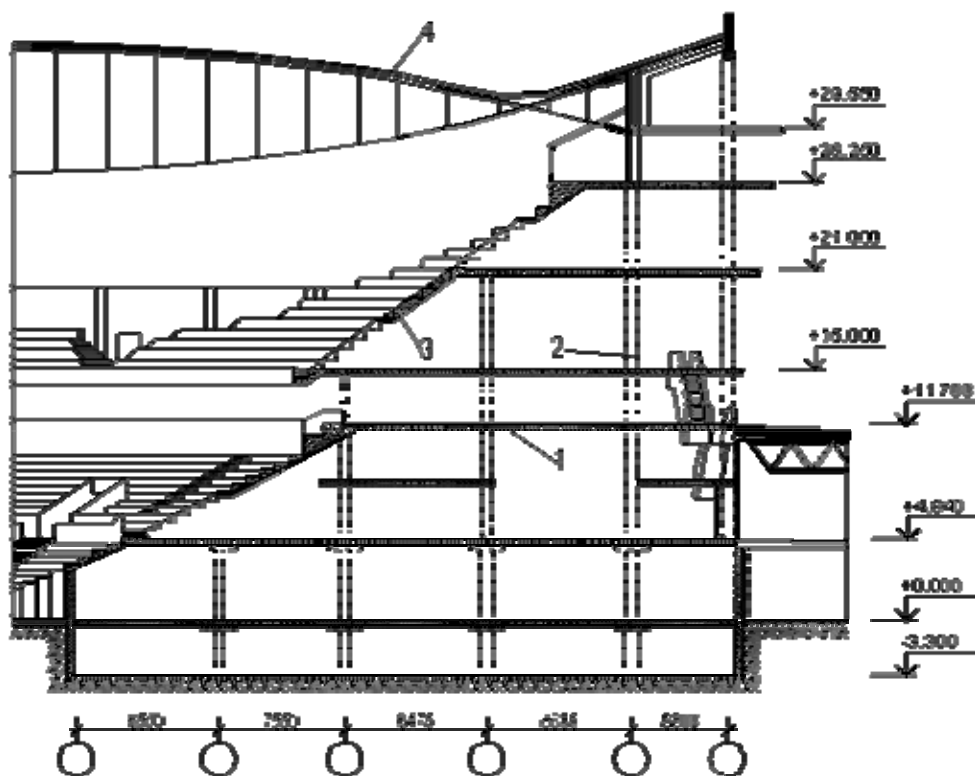
- перекрытия и стены криволинейного в плане очертания;
- контурные балки, выступающие из перекрытия, включая балки криволинейного очертания в плане;
- наклонные конструкции (перекрытия, пандусы, трибуны с криволинейным очертанием в плане ступеней и т. п.);
- лестнично-лифтовые блоки и т. п.

Одним из факторов, определяющих темп строительства и в значительной степени влияющий на экономические показатели, стал выбор типов опалубочных систем и их комплектов. Основные положения опалубочных технологий заключаются в следующем [6]:

- монолитный каркас возводится параллельно по всем секторам. Технологические захваты ограничиваются температурно-осадочными швами;
- используются как поточные, так и каскадные технологии строительства;
- разрабатываются и внедряются новая технология возведения наклонных и криволинейных в плане монолитных конструкций трибун;
- технологии опалубки конструкций должны обеспечить снижение трудозатрат и машинного времени.

Монолитный железобетонный каркас центральной арены был запроектирован с переменной высотой этажей (3300; 3600; 4800; 6000 и 6600 мм), что существенно повлияло на разработку опалубочной технологии и выбор опалубочной системы (рис. 11).

Тип опалубки применяемой для возведения монолитных колонн определяется поперечным сечением самой колонны. Для колонн прямоугольного поперечного сечения использовали стандартную веерную опалубку колонн, которая позволила опалубить колонны практически любого поперечного сечения (с шагом 50 мм). Тип опалубки круглых колонн был определен на основании технико-экономического анализа: для колонн диаметром 600 мм целесообразно использовать инвентарную съемную опалубку, а колонны диаметром 700 мм следует бетонировать в несъемной опалубке из стальных труб (рис. 12).



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

Рисунок 11 – Схема монолитного каркаса центральной арены

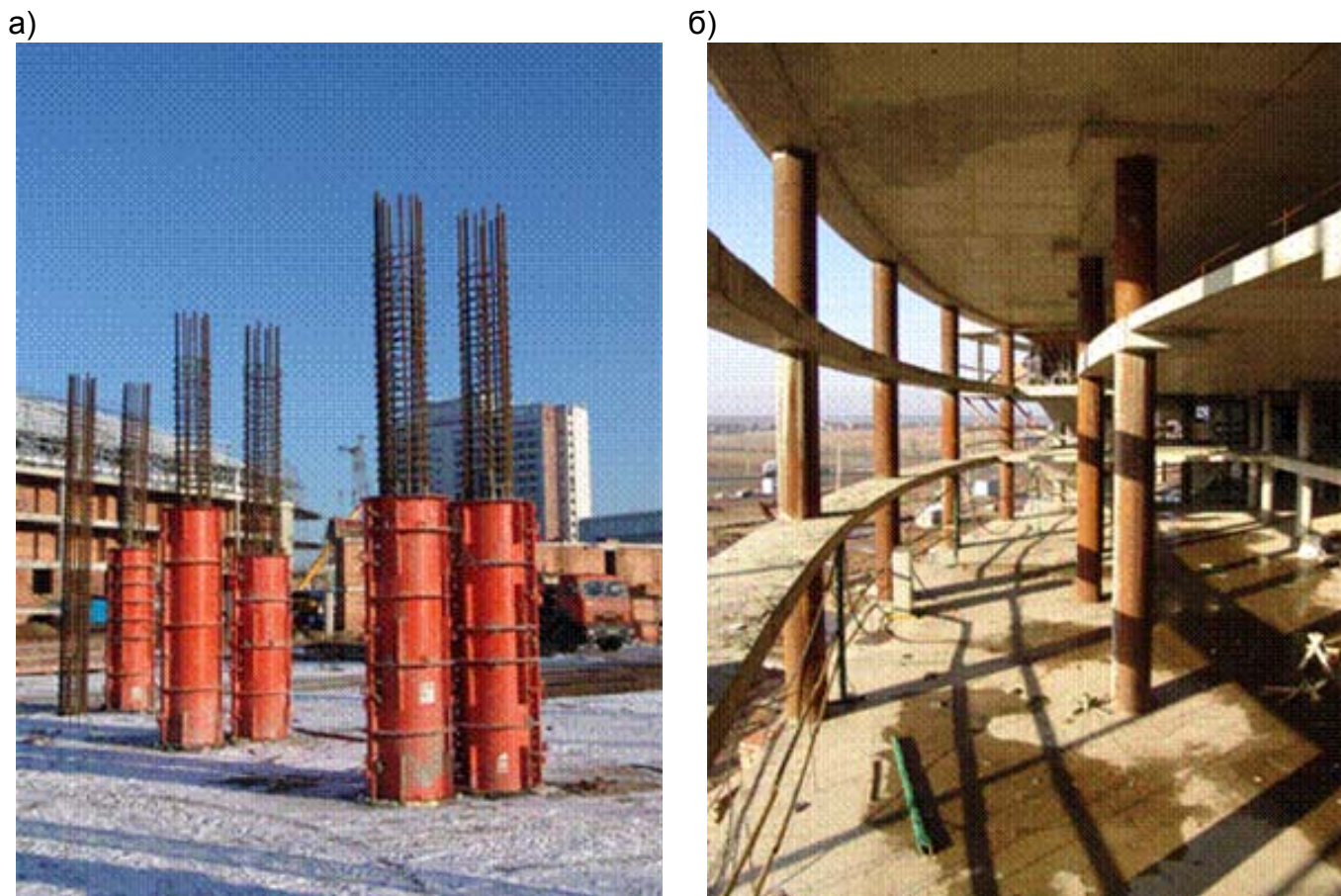


Рисунок 15 – Возведение монолитных колонн:
 а) в специализированной опалубке; б) в несъемной опалубке

Для возведения перекрытий переменной высоты, как показал технологический анализ, целесообразно применять опалубки с различными опорными системами. При этом следовало учитывать, что использование телескопических стоек, в качестве опорной системы оправдано для опалубки высотой не более четырех метров. При большей высоте целесообразно использовать другие типы опалубок (например, опорные башни или объемные леса), при этом опалубка наклонных конструкций должна обеспечить восприятие как вертикальных, так и горизонтальных усилий возникающих при бетонировании. Принято решение использовать опорные башни для возведения горизонтальных наклонных перекрытий и трибун. Кроме того, выбранный тип опалубки позволил технологически совместить оба этих процесса. Таким образом, на строительстве комплекса Минск-Арена использовались следующие опалубки:

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

Обе системы собираются вручную из унифицированных элементов (опорные леса – из стоек и раскосов, а опорные башни – из рам и раскосов). Точная настройка рабочей высоты осуществлялась домкратами (рис. 13). Для каждого типа опалубки был произведен технологический расчет, учитывающие геометрические характеристики возводимой монолитной конструкции. Монолитные конструкции цокольных этажей комплекса возводились по поточной технологии строительства – работы разбивались по конструкциям на отдельные этапы и возводились последовательно, обеспечивая минимальное расстояние перемещение опалубки и синхронность работ (рис. 14).



Рисунок 13 – Возведение монолитного перекрытия с применением опорных башен ПОРТАЛ



Рисунок 14 – Поточная технология возведения каркаса велодрома

Возведение вышележащих этажей комплекса осуществляли по каскадной технологии строительства, позволяющей значительно сократить сроки строительства – непосредственно опалубка перекрытия и страховочные элементы располагаются одновременно на 3 – 4 этажах по вертикали (рис. 15).



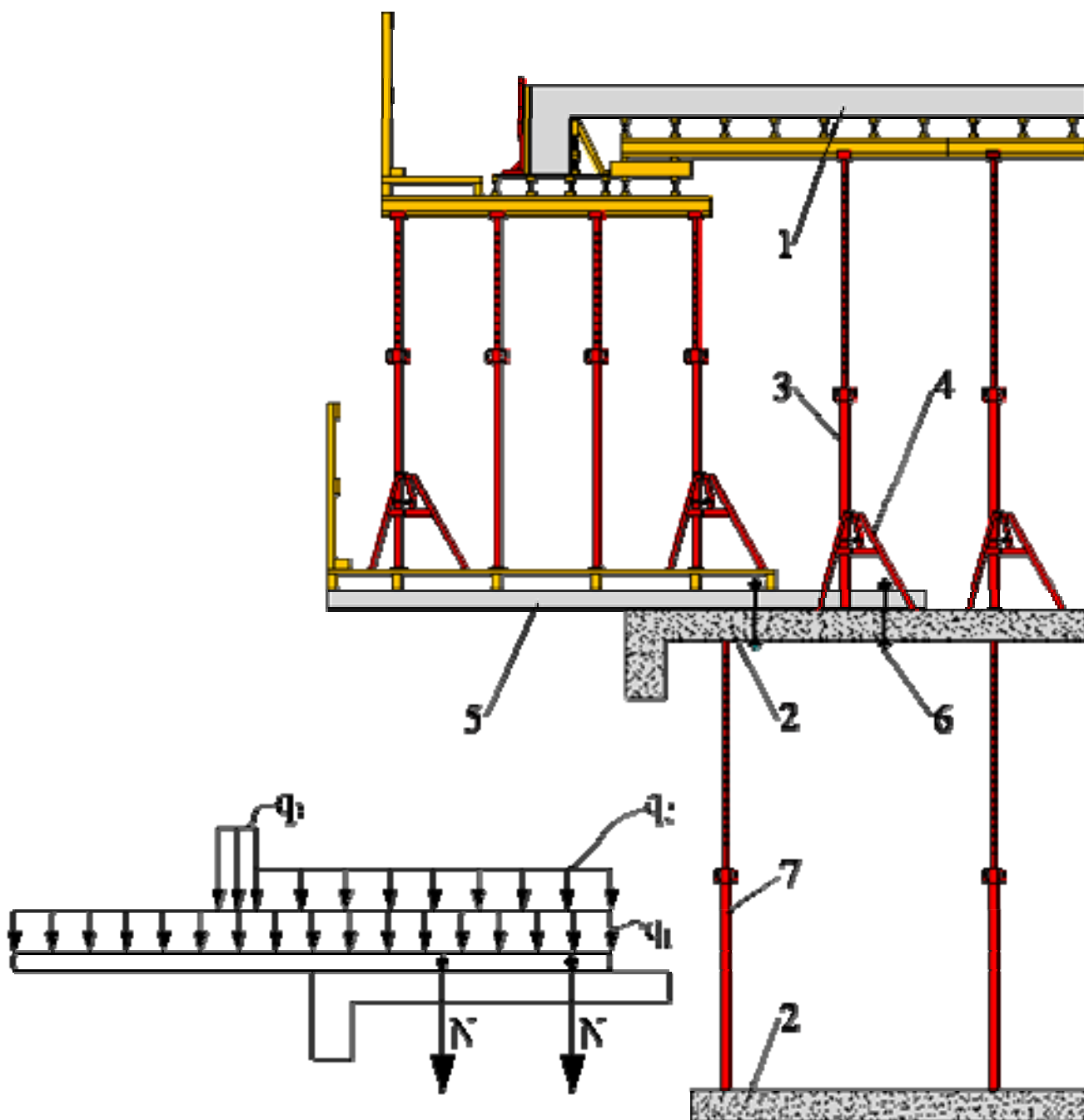
Рисунок 15 – Каскадная технология возведения каркаса велодрома

Основные принципы каскадной технологии строительства:

- возводится нижележащее перекрытие;
- после набора бетоном перекрытия минимальной прочности монтируют в проектное положение опалубку колон и вышележащего перекрытия. При этом опалубку нижележащего перекрытия не демонтируют;
- опалубки демонтируют после набора монолитными конструкциями распалубочной прочности.

Технология возведения монолитных криволинейных перекрытий выступающих за наружный контур нижерасположенных перекрытий основана на использовании временных консольных площадок в качестве опоры опалубки (рис. 16). Площадки были выполнены из стальных балок, фиксируемых к нижележащему перекрытию винтовыми анкерами. Шаг расстановки стальных балок и их типоразмеры, анкерное крепление определялись технологическим расчетом, а при необходимости нижние, ранее забетонированные перекрытия, дополнительно подпирались страховочными стойками.

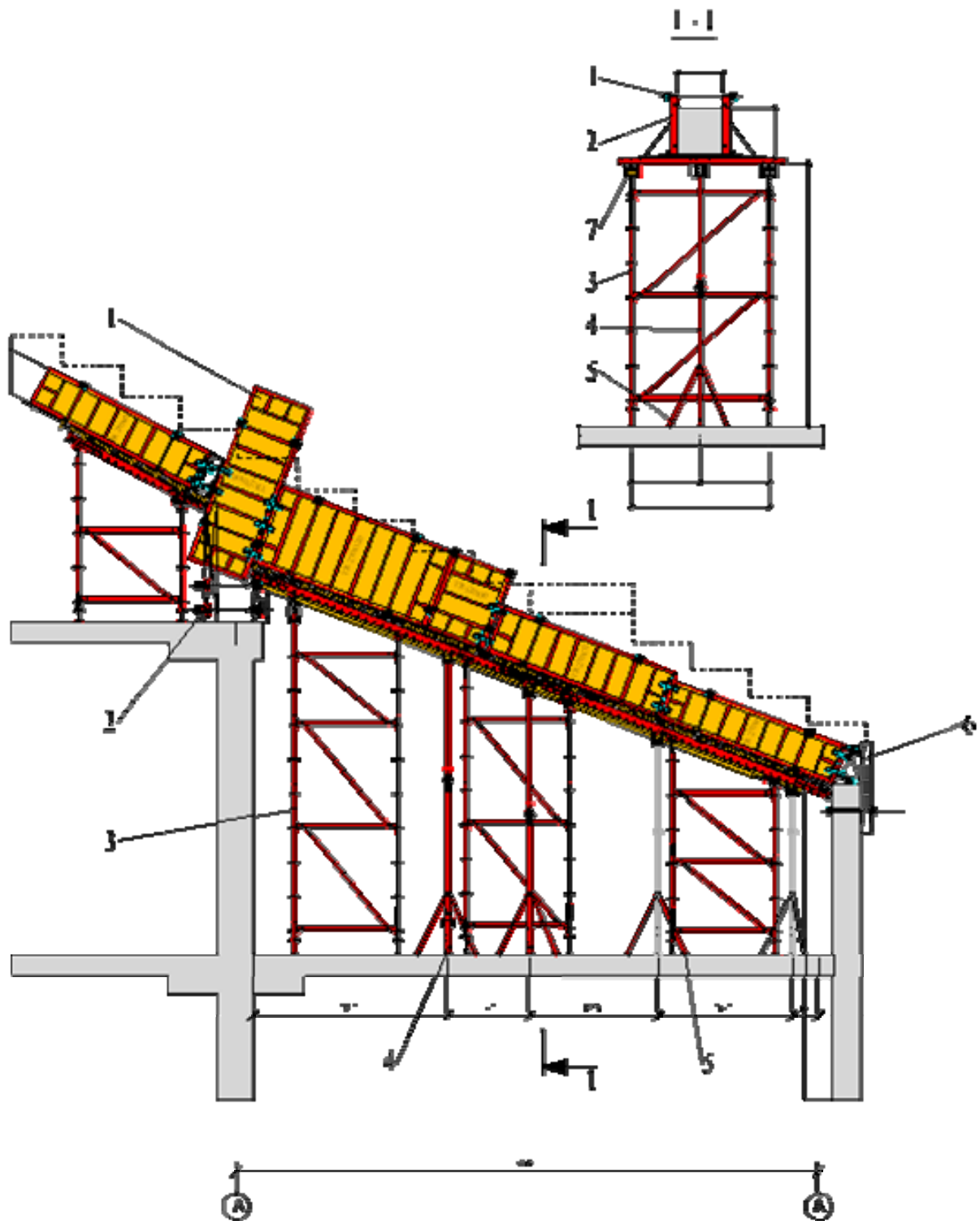
Как было сказано ранее, при проектировании опалубочной технологии возведения наклонных конструкций необходимо учитывать, что опалубка должна воспринимать не только вертикальные, но и горизонтальные усилия и отводить их к основанию (нижележащему перекрытию). Поэтому особое внимание здесь требуется уделить выбору и технологическому расчету опорной системы опалубки. Технологическая схема опалубки наклонных балок трибун приведена на рис. 17.



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

Рисунок 16 – 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

Бетонирование наклонных балок велось снизу-вверх (рис. 18). Наклонные трибуны криволинейного очертания возводили после бетонирования наклонных балок. Особые проблемы вызвала фиксация арматурных каркасов в проектном положении.



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

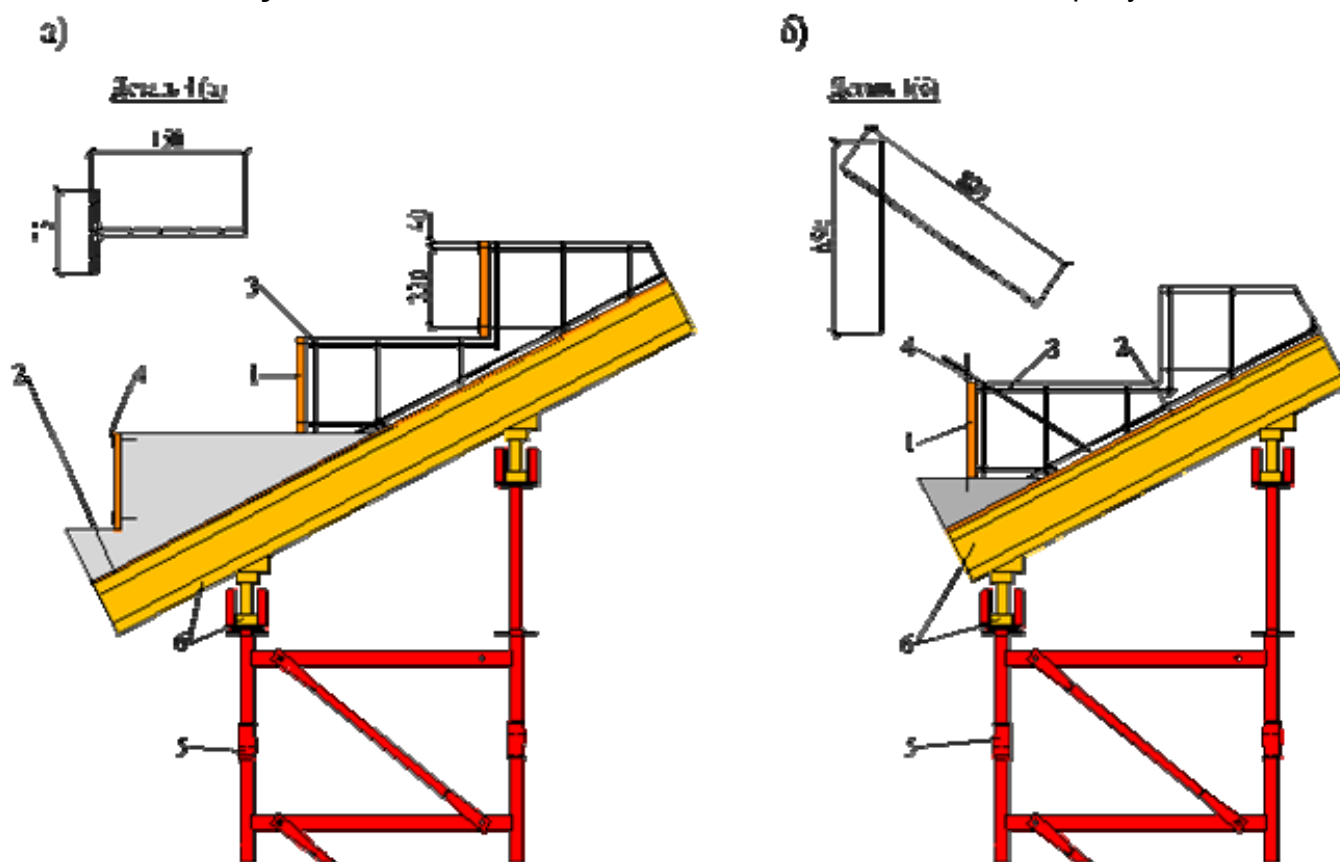
Рисунок 17 – Схема опалубки наклонной балки трибуны

Поскольку бетонирование конструкций вели снизу-вверх, каждая ранее забетонированная нижняя ступень становилась надежной опорой при выполнении всех работ, проводившихся выше. Было разработано два варианта крепления опалубки ступени (рис. 19):

- к арматурному каркасу;
- к арматурному каркасу и монолитной конструкции.



Рисунок 18 – Возведение монолитных балок 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 ступеней наклонных трибун:
а) крепление опалубки ступени к арматурному каркасу;
б) крепление опалубки ступени к арматурному каркасу и монолитной конструкции

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.



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

Несмотря на сложные формы центральной арены с применением современной опалубочной техники удалось возвести монолитные конструкции в сжатые сроки и передать фронт работ смежникам под отделку и устройство инженерных систем. Это в немалой степени способствовало досрочной сдаче всего комплекса в срок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1 Научное сопровождение строительства сложных и уникальных объектов позволяет разрабатывать и внедрять новые эффективные технологии строительства, осуществлять поиск оптимальных технологических решений, обеспечивающих высокие темпы строительства, качество работ и, в конечном итоге, снижение стоимости объекта.

2 Технологичность конструктивных решений монолитных конструкций существенно влияет на темпы строительства и качество самих конструкций. Учет технологичности конструкций на стадии их проектирования является действенным механизмом индустриализации строительства.

3 Научное сопровождение, выполняемое РУП "Институт БелНИИС", при строительстве важнейших государственных объектов, позволяет поднять уровень опалубочной технологии монолитного бетона, подтверждая то, что прикладная наука является производительной силой.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

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

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

3 Марковский М.Ф., Шпак С.В., Туровец Г.А., Бурсов Н.Г., Копылов Ю.Б. Научное сопровождение и новые опалубочные технологии строительства уникальных сооружений // Строительная наука и техника. 2007. №5 (14). – С. 11-23.

4 Нехай В.С., Марковский М.Ф., Ашмян М.Л. Опалубочные системы и интенсивные технологии монолитного бетона в ОАО "Минскпрромстрой" // Строительная наука и техника. 2007. №5 (14). – С. 33-42.

5 Виноградов М., Крамаренко В., Шохина Л., Пецольд Т. Архитектурно-конструктивные решения уникального здания Национальной библиотеки Беларуси // Строительная наука и техника. 2005. № 1 – с. 8 – 13.

6 Марковский М., Нехай В., Ашмян М., Туровец Г., Бурсов Н. Интенсивное возведение монолитных конструкций комплекса "Минск-Арена": научное сопровождение и технологии // Архитектура и строительство. 2010. - № 3. - С. 68-79.

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