

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ
ЕВРОПЕЙСКИХ СТАНДАРТОВ
В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА**

(г. Минск, БНТУ — 27-28.05.2014)

УДК 693.55

**ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ХРАМОВЫХ СООРУЖЕНИЙ
ИЗ МОНОЛИТНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА В СОВРЕМЕННЫХ
ОПАЛУБОЧНЫХ СИСТЕМАХ**

ОБУХОВ А.Е., ЛЕОНОВИЧ С.Н.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

БУРСОВ Н.Г.

РУП "Институт БелНИИС", Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Современные технологии монолитного бетона давно доказали на практике свою конкурентоспособность и экономическую эффективность. Об этом свидетельствует тот факт, что практически все объекты последнего десятилетия, имеющие государственную важность, были возведены с преимущественным использованием монолитного бетона. Фактически монолитный бетон в настоящее время стал основным строительным материалом, позволяющим возводить яркие, выразительные и запоминающиеся сооружения благодаря использованию новых технологий строительства, современных опалубочных систем, обеспечению комплексной механизации технологических процессов приготовления, доставки, подачи и укладки бе-

тонной смеси, применению ускоренных методов твердения бетона при всесезонном производстве работ.

Расширению области применения монолитного бетона способствовали выполняемые РУП "Институт БелНИИС" по заданию Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь научно-исследовательские работы, направленные на разработку и внедрение интенсивных конкурентоспособных технологий строительства из монолитного бетона с применением современных модифицированных бетонов, энергосберегающих технологий бетонирования, обеспечивающих высокое качество и заданные темпы строительства. В результате строители получили современные технологии, а специалистами отечественной строительной наукой накоплен значительный опыт в области использования опалубочных технологий.

ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ХРАМОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

При разработке технологии строительства монолитных конструкций, как правило, практикуют два принципиально различных подхода. Суть первого заключается в изначальном определении архитектурной идеи, задачи сооружения и разработке соответствующих конструктивных решений, а основной целью технологов является реализация этой идеи. Это так называемая технология "архитектурного" бетона с его высокими сопутствующими издержками, разработкой технологии строительства по готовой и утвержденной проектной документации. Стоимость реализации проекта и сроки его исполнения в данном случае уходят на второй план. По такому пути идут при необходимости реализации ярко выраженного с архитектурной точки зрения проекта с лицевым "архитектурным" бетоном или при возведении монолитных конструкций сооружений с устоявшимися, классическими архитектурными формами, имеющими символическое значение. В первую очередь это культовые сооружения, конструктивные особенности которых (например, различные пространственные тонкостенные конструкции, как правило, двоякой кривизны (своды, купола и пр.)) определяются архитектурой самого сооружения. Подобные конструкции в отличие от плоскостных являются самонесущими и обеспечивают существенное снижение расхода бетона и арматуры – от 25 % до 30 %, но при

этом приходится учитывать существенный рост трудоемкости их возведения. Железобетонные монолитные своды и купола, конструктивные элементы, характерные для культовых сооружений, получают в настоящее время все большее распространение. В действующих нормативных документах приведены надёжные методы расчета и проектирования, но при этом процесс их возведения требует разработки сложных опалубок и опалубочных технологий, стоимость которых соизмерима со стоимостью самой конструкции.

Второй подход является в большей степени прагматичным и заключается в параллельном и взаимоувязанном проектировании самих конструкций и технологий их возведения. Здесь определяющая роль принадлежит именно опалубкам и опалубочным технологиям, а их выбор осуществляют с учетом стоимости, сроков строительства и, особенно, технологичности самих конструкций. При этом, как показывает практический опыт – оптимальные с конструктивной точки зрения проектные решения не всегда являются рациональными с технологических позиций, а игнорирование или нежелание учитывать технологические особенности возведения приводят к росту трудоемкости работ и снижению темпов и удорожанию строительства.

Технологичность монолитных конструкций определяют следующие факторы [2]:

- геометрические формы и параметры монолитных конструкций и их примыканий, обуславливающие возможность их опалубливания инвентарными опалубочными системами с учетом технических, конструктивных и технологических особенностей опалубок;
- возможность устройства технологических швов, а также технологических и конструктивных проемов в стенах и перекрытиях;
- допустимая скорость бетонирования;
- способы армирования монолитных конструкций и значений распалубочной прочности бетона;
- технологические требования к производству опалубочных, арматурных, бетонных работ и других строительно-монтажных работ.

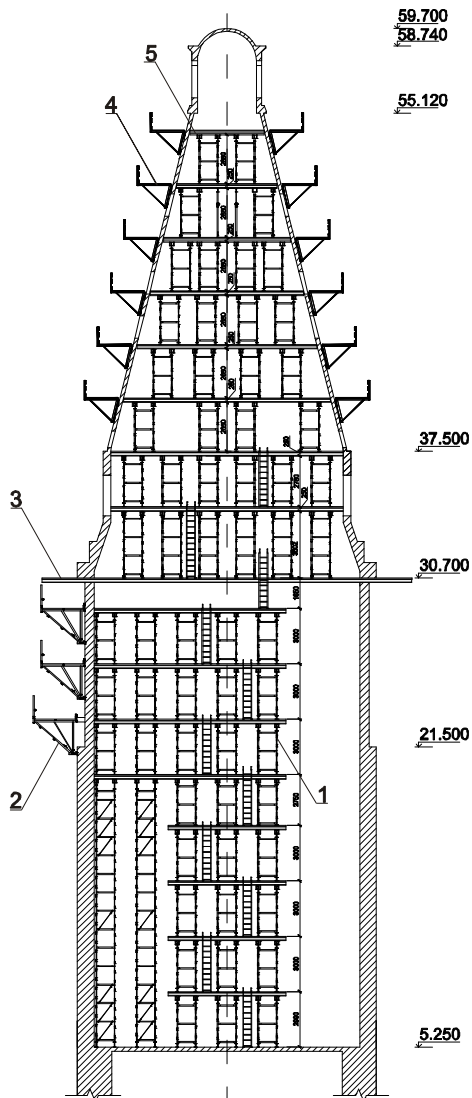
ХРАМ-ПАМЯТНИК В ЧЕСТЬ ВСЕХ СВЯТЫХ В ПАМЯТЬ БЕЗВИННО УБИЕННЫХ ВО ОТЕЧЕСТВЕ НАШЕМ (г. МИНСК, БЕЛАРУСЬ)

Конструктивные особенности данного сооружения обусловили применение технологии поярусного наращивания во внутренней части Храма опорной системы опалубки монолитных конструкций, находящихся на значительной высоте (рис. 1). При этом внутреннюю опорную систему использовали для размещения временных промежуточных площадок, обеспечивающих безопасность работ, а для опирания наружной опалубки стен применяли наружные несущие подмости, которые фиксировались посредством анкерного механизма, замоноличенного в стену при ее бетонировании (рис. 2). Подобное комплексное решение обеспечило необходимые точки опоры опалубки монолитных стен.

Бетонирование стен велось поярусно с шагом, равным высоте щитов – 3 м, а с учетом нестандартной конфигурации стен инвентарная опалубка была дополнена индивидуальными угловыми элементами, конструкция которых допускала использование инвентарных крепежных элементов. Свод Храма также бетонировался ярусами, с пошаговой установкой щитов наружной опалубки.

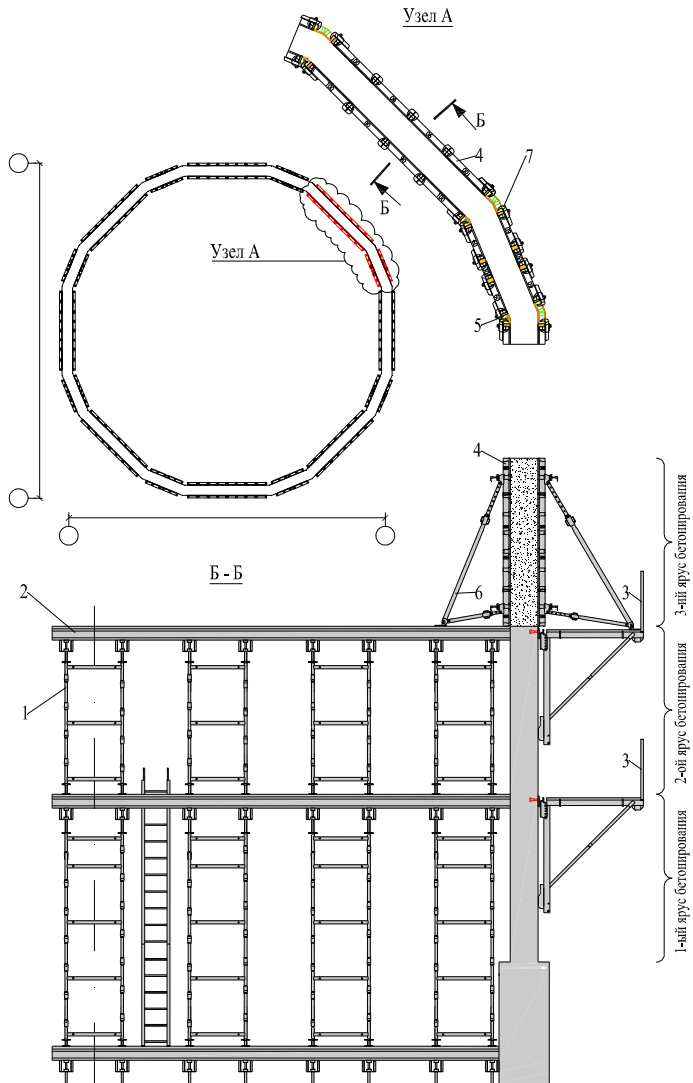
Для исключения значительных нагрузок на перекрытие на отметке +5.250 была устроена опорная разгружающая площадка на отметке +30.700, состоящая из стальных балок и деревянного настила (рис. 1 и 3), которая также использовалась для повышения безопасности производства строительно-монтажных работ.

Начиная с отм. +37.500 монолитные стены были запроектированы с углом наклона во внутрь сооружения (рис. 4 и 5). При возведении наклонных стен, с целью обеспечения формоустойчивости опалубки, необходимо ограничивать максимальную скорость бетонирования, определяемую в зависимости от характера распределения давления бетонной смеси на опалубку. При этом в действующих отечественных и зарубежных нормативных документах пространственное расположение опалубки при определении бокового давления бетонной смеси не учитывается. Например, методика расчета бокового давления бетонной смеси на опалубку, приведенная в DIN 18218 "Смесь бетонная свежеприготовленная. Давление на вертикальную опалубку", справедлива только для опалубок, максимальное значение угла наклона которых не более $\pm 5^{\circ}$.



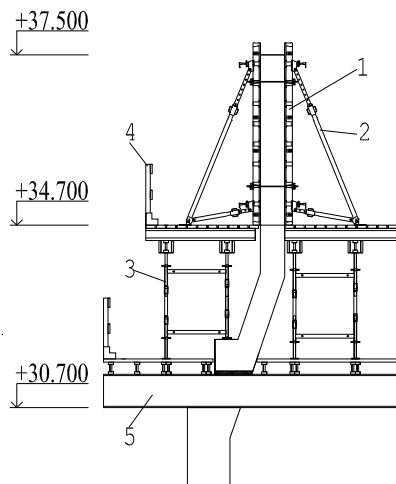
1 – опорные башни; 2 и 4 – наружные опорные подмости; 3 – опорная разгружающая площадка; 5 – промежуточные временные перекрытия.

Рис. 1. Технологическая последовательность установки опалубки монолитных конструкций шатра Храма в Честь Всех Святых



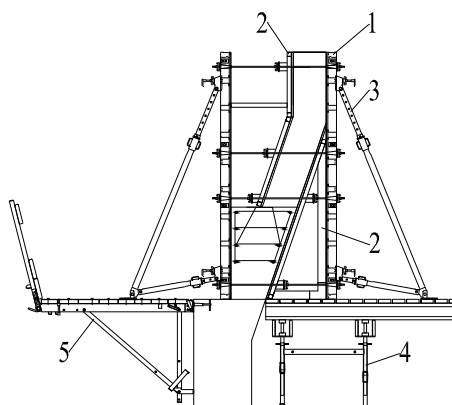
1 – опорные башни; 2 – промежуточные перекрытия на основе деревянных двутавровых балок; 3 – наружные опорные подмости; 4 – щитовая опалубка; 5 – индивидуальный доборный щит; 6 – регулируемый подкос

Рис. 2. Схема опалубки наружных стен Храма в Честь Всех Святых



1 – щитовая опалубка; 2 – регулируемый подкос; 3 – опорная башня; 4 – защитное ограждение; 5 – опорная разгружающая площадка.

Рис. 3. Схема устройства разгружающей площадки на отм. +30.700



1 – щитовая опалубка; 2 – индивидуальная опалубка; 3 – регулируемый подкос; 4 – опорная башня; 5 – наружные опорные подмости.

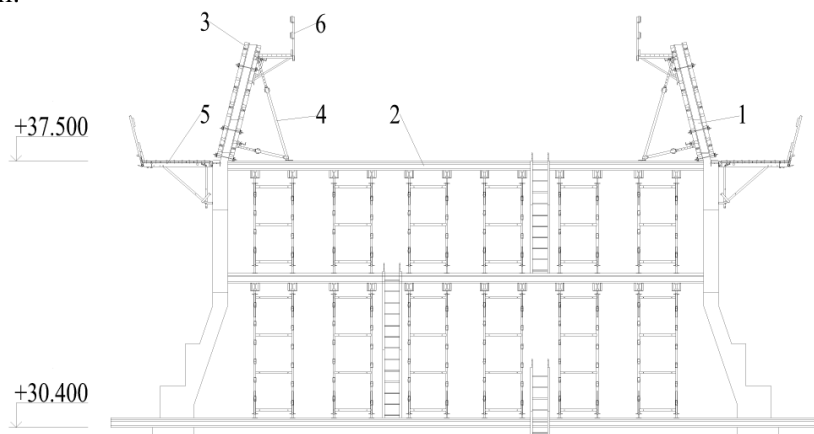
Рис. 4. Схема опалубки наклонных стен шатра храма

Расчетная модель наклонной опалубки базировалась на реологическом подходе, использованном при исследовании распределения бокового давления бетонной смеси на вертикальную опалубку стен [3]. При этом боковое давление бетонной смеси на опалубку зависит не только от реологических параметров самой смеси, геометри-

ческих параметров опалубки, но и от угла ее наклона. Исходя из предпосылок и допущений, изложенных в [4], дифференциальное уравнение равновесия элементарного слоя бетонной смеси толщиной dx (рис. 8) имеет следующий вид:

$$\frac{d\sigma_x}{dx} = \gamma_{cm} \cdot \sin \alpha - \tau \cdot \frac{P}{S}, \quad (1)$$

где σ_x – вертикальное давление; γ_{cm} – средняя плотность бетонной смеси; τ – напряжение сдвига; P – периметр опалубки; S – площадь горизонтального сечения опалубки; α – угол наклона опалубки.



1 – наклонные стены шатра; 2 – промежуточные перекрытия на основе деревянных двутавровых балок; 3 – щитовая опалубка; 4 – регулируемые подкосы; 5 – наружные опорные подмости.

Рис. 5. Схема опалубки наклонных стен шатра Храма

Общее решение дифференциального уравнения при граничных условиях имеет вид:

$$\sigma_y = \xi_0 \cdot \left(\gamma_{cm} - \frac{\tau_{o.n.c}}{\sin \alpha} \cdot \frac{P}{S} \right) \cdot H, \quad (2)$$

где $\xi_0 = \sigma_y / \sigma_x$ – коэффициент бокового давления бетонной смеси; $\tau_{o.n.c}$ – предельное напряжение сдвига бетонной смеси в пристенном слое в начальный период укладки; H – высота уложенного слоя бетона.

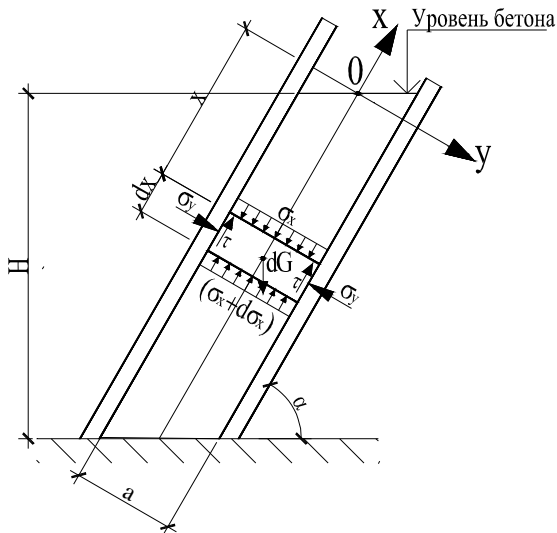


Рис. 6. Расчетная схема определения давления бетонной смеси на наклонную опалубку

Боковое давление бетонной смеси на наклонную опалубку стены определяли по следующей формуле:

$$\sigma_y = \xi_0 \cdot \left(\gamma_{cm} - \frac{2 \cdot \tau_{o.n.c}}{\alpha \cdot \sin \alpha} \right) \cdot H. \quad (3)$$

При рассмотрении влияния скорости укладки бетонной смеси на распределение бокового давления смеси в наклонной опалубке, исходя из предпосылок, изложенных в [3], была принята скорость укладки V_x вдоль оси опалубки x (см. рис. 6). Дифференциальное уравнение равновесия элементарного слоя смеси в опалубке приняло следующий вид:

$$d\sigma_y = \xi(t) \cdot \left[\gamma_{cm} \cdot \sin \alpha - \left(\tau_{o.n.c} + \frac{\alpha_t \cdot t}{t_E} \right) \cdot \frac{P}{S} \right] \cdot V_x \cdot dt, \quad (4)$$

где $\xi(t) = d\sigma_y / d\sigma_x$.

При определении давления учитывали изменение во времени коэффициента бокового давления бетонной смеси по [5] и реологических параметров только пристенного слоя. Параметр t , определяю-

щий влияние времени, был принят исходя из условия достижения нуля за период времени t_E . В результате было установлено, что максимальное значение бокового давления бетонной смеси на опалубку устанавливается при $t=t_E$:

$$\sigma_y^{\max} = \xi_0 \cdot V_x \cdot \left(\gamma_{cm} \cdot \sin \alpha - \frac{P}{S} \cdot \tau_{o.n.c} \right) \times \left[\frac{t_E}{2} - \frac{\alpha_t \cdot t_E}{6 \cdot \left(\gamma_{cm} \cdot \frac{S}{P} \cdot \sin \alpha - \tau_{o.n.c} \right)} \right], \quad (5)$$

Пересчет на вертикальную скорость укладки (V), привычную для вертикальной опалубки, следует производить по следующей зависимости:

$$V_x = \frac{V}{\sin \alpha}. \quad (6)$$

ЦЕРКОВЬ СВЯТОГО ДУХА (г. МИНСК, БЕЛАРУСЬ)

Церковь Святого Духа, воссозданная в 2011 году, с конструктивной точки зрения соответствовала своему барочному облику XVII века, то есть имела многочисленные своды, купола, арки и пр. конструкции, которые в современном прочтении были запроектированы из монолитного бетона.

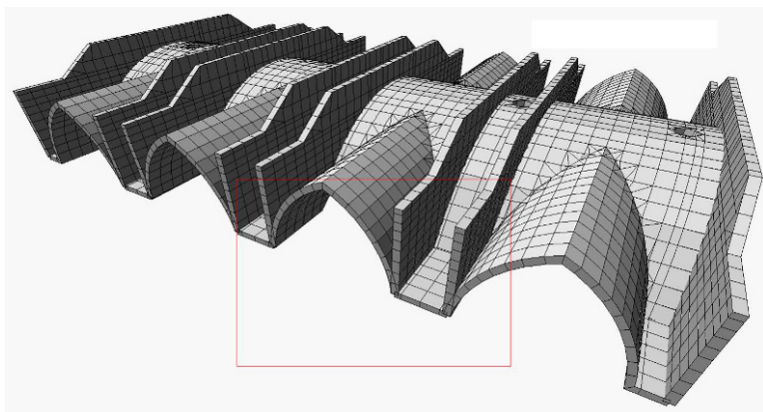
Размеры свода в осях 1-5/Г-И (рис.7, а):

- длина в плане, м – 25,0;
- радиус поперечного сечения, м – 6,1;
- толщина перекрытия, м – 0,2.

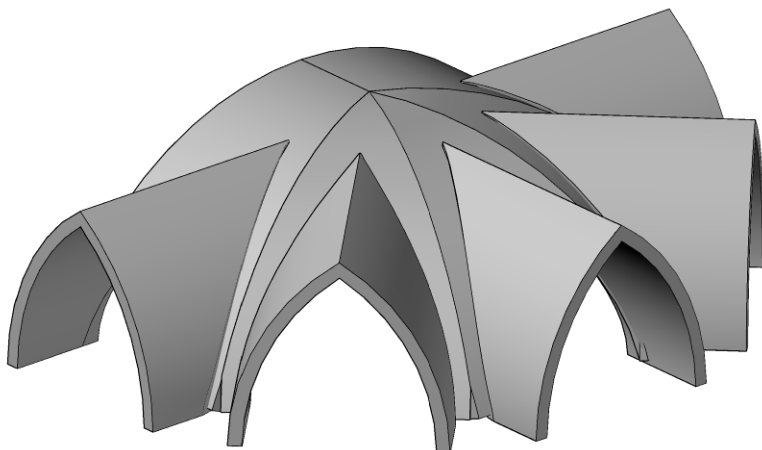
Размеры монолитного железобетонного свода в осях 5-6/Д-Е (рис. 7, б):

- размеры в плане, м – 7,0 x 11,1;
- радиус поперечного сечения, м – 4,7;
- толщина перекрытия, м – 0,2.

а)



б)



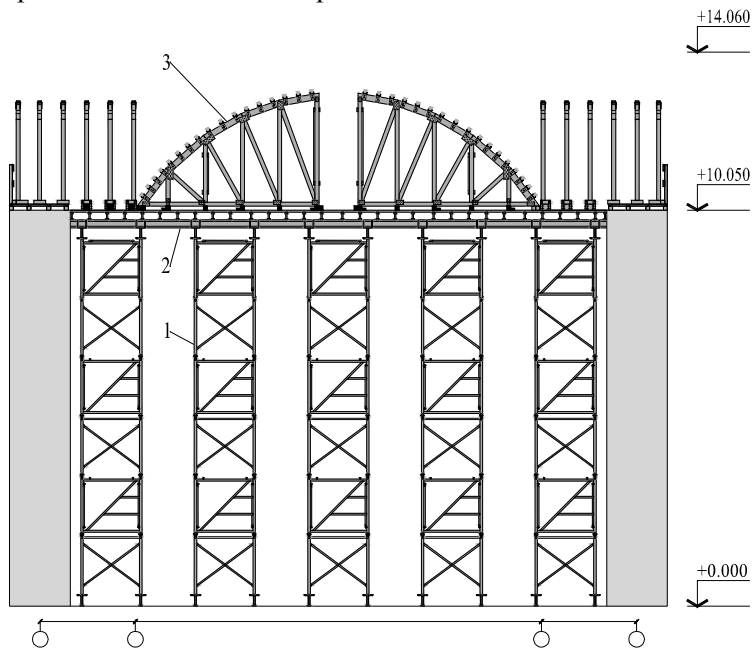
а – схема монолитного железобетонного свода в осях 1-5/Г-И, б – схема монолитного железобетонного свода в осях 5-6/Д-Е

Рис. 7. Схемы монолитных железобетонных сводов церкви Святого Духа

Для непосредственного монтажа опалубки монолитных сводов на первом этапе строительства был устроен вспомогательный рабочий настил, состоящий из стандартных опорных башен, двутавровых деревянных балок и непосредственно самого настила, выполненного из досок толщиной 100 мм. Высота настила – около 10 м, а его общая площадь – 360 м².

В качестве основных несущих элементов опалубки монолитных сводов были использованы (рис. 8 и 9):

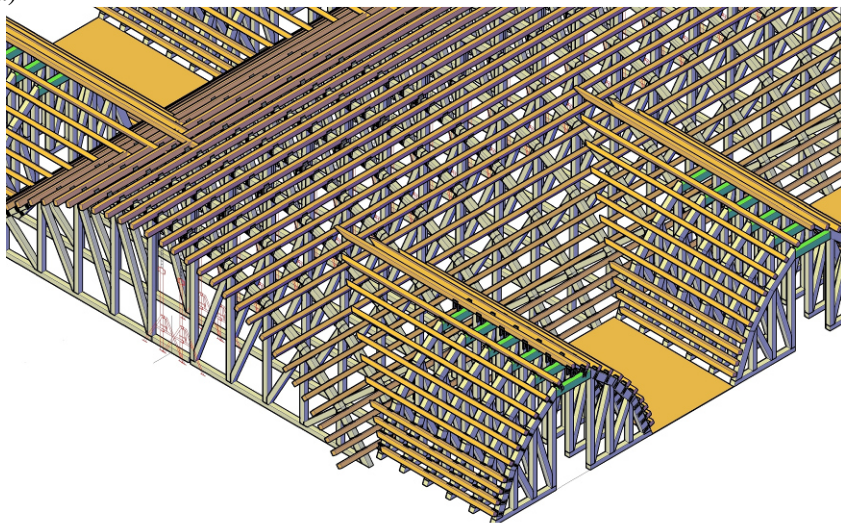
- индивидуальные арочные конструкции, радиус изгиба которых соответствовал радиусу изгиба монолитных конструкций;
- универсальные опорные башни;
- внутренняя палуба из водостойкой фанеры (толщина 15 мм);
- щиты наружной опалубки;
- крепежные элементы и пр.



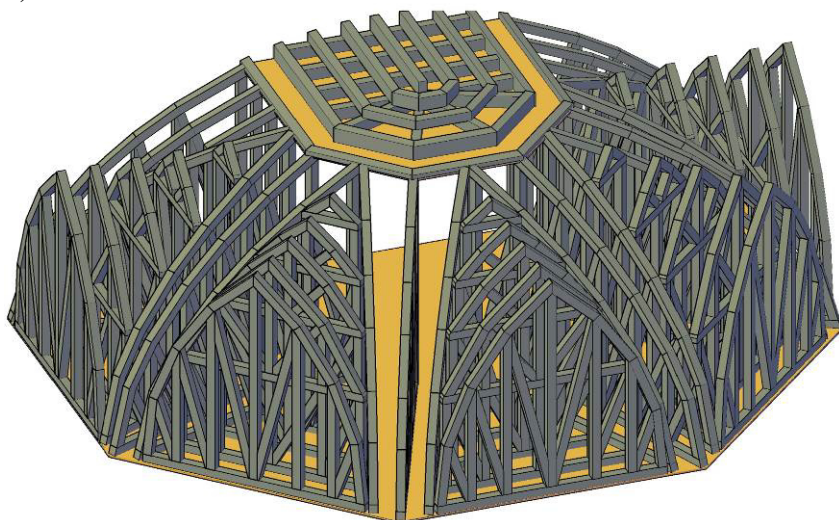
1 – опорная башня; 2 – временное перекрытие на основе деревянных двутавровых балок; 3 – индивидуальные фермы

Рис. 8. Опорная система монолитного железобетонного свода церкви Святого Духа

а)



б)



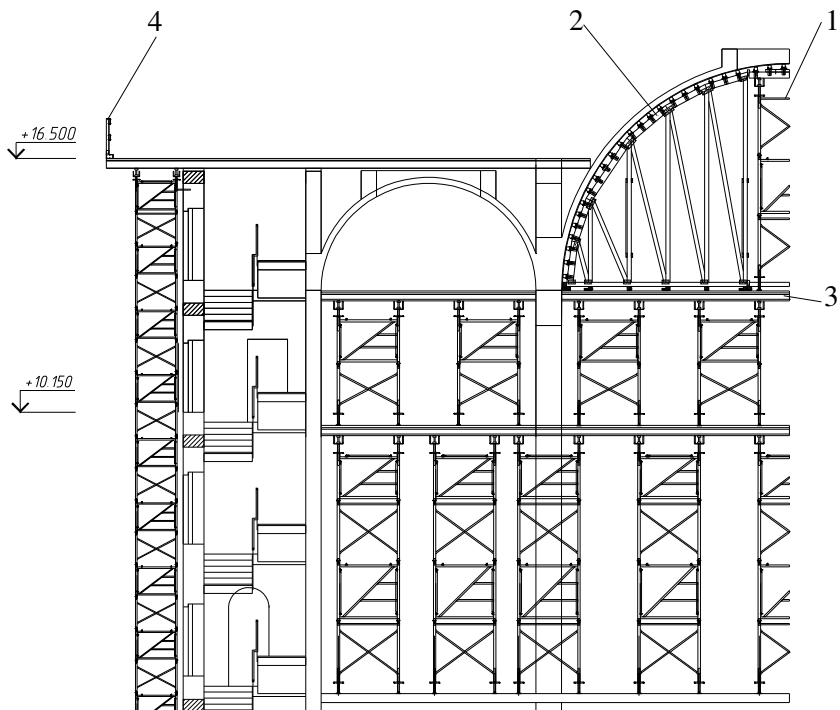
а – схема опалубки монолитного железобетонного свода в осях 1-5/Г-И, б – схема опалубки монолитного железобетонного свода в осях 5-6/Д-Е
Рис. 9. Схемы опорной системы монолитных железобетонных сводов церкви Святого Духа

При возведении монолитного ж/б свода в осях 1-5/Г-И было принято решение возводить его поэтапно, разделив на две равные захватки, что позволило сократить нормоконспект опалубки в два раза. Непосредственно сам свод бетонировали ярусами, с поэтапной установкой щитов наружной опалубки. Подобная технология позволила избежать оползания бетонной смеси. Щиты наружной опалубки каждого последующего яруса устанавливали в проектное положение после схватывания бетонной смеси предыдущего яруса (ориентировочно через два часа после укладки бетонной смеси). Для вибрирования бетонной смеси в щитах наружной опалубки были предусмотрены технологические проемы для пропуска вибратора.

ХРИСТОРОЖДЕСТВЕНСКИЙ СОБОР (г. СОЛИГОРСК, БЕЛАРУСЬ)

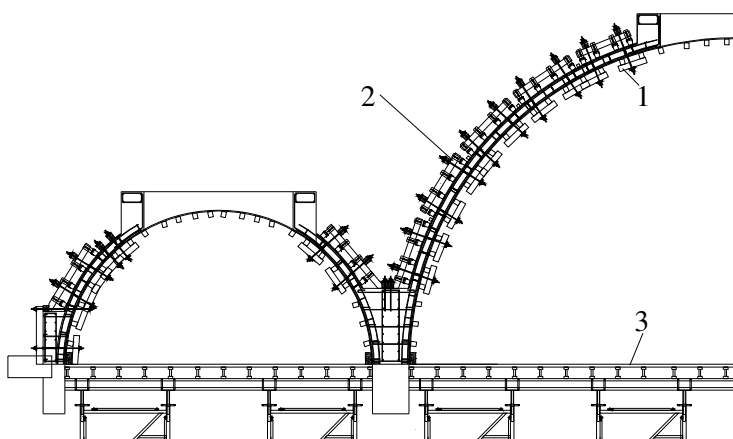
Центром композиции собора является пятикупольный Храм, квадратное в плане строение, увенчанное барабаном с куполом. Общая площадь Храма составляет 4 000 м². При реализации данного проекта использовались те же принципиальные технологические решения, ставшие уже традиционными:

- переопирание опалубки вышележащих конструкций на нижележащие перекрытия с учетом технологических нагрузок и несущей способности самих перекрытий (рис. 10);
- использование индивидуальных деревянных ферм с наружной опалубкой, устанавливаемой поэтапно, по мере бетонирования монолитных сводов (рис. 11);
- возведение монолитного барабана купола в индивидуальной дерево-фанерной опалубке (рис. 12).

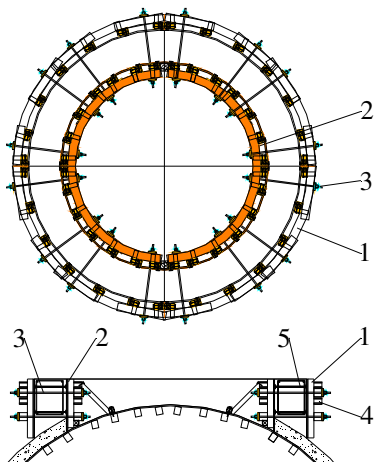


1 – опорная башня; 2 – индивидуальные фермы; 3 – временное перекрытие на основе деревянных двутавровых балок; 4 – защитное ограждение.

Рис. 10. Опорная система опалубки монолитных конструкций Христорождественского собора



1 – внутренняя опалубка монолитного свода; 2 – наружная опалубка монолитного свода; 3 – временное перекрытие на основе деревянных двутавровых балок.
 Рис. 11. Опалубка монолитных сводов Христорождественского Собора¹⁾



1 – наружная опалубка монолитного барабана; 2 – внутренняя опалубка монолитного свода; 3 – винтовой тяз с гайками; 4 – балка; 5 – арматурный фиксатор точной установки щитов опалубки

Рис. 12. Опалубка монолитного барабана купола в индивидуальной деревофанерной опалубке¹⁾

¹⁾ Опорная система опалубки монолитных сводов условно не показана.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1 Разработаны новые эффективные опалубочные технологии возведения монолитных конструкций сложных и уникальных объектов, обеспечивающие оптимизацию процесса производства строительно-монтажных работ, высокие темпы строительства, качество работ и, в конечном итоге, снижение стоимости объекта.

2 Разработана методика определения бокового давления бетонной смеси на наклонную опалубку стен.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hinrichs, B. Entwicklungen und Tendenzen Schalungssysteme / B.Hinrichs // Beton. – 2001. – № 8. – P. 436–441.

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

3. Markouski, M.F. Technology of Cast-in-Situ Inclined Outer Walls Erection. In Proceedings / M.F. Markouski, R.A. Turavets // 2nd International Conference on Advanced Construction. Lithuania: Kaunas University of Technology. – 2010. – P. 177–182.

4. Марковский, М.Ф. Распределение давления бетонной смеси на вертикальную опалубку в процессе безвибрационной укладки / М.Ф. Марковский // Сб. тр. XVI Междунар. науч.-метод. семинара "Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь". – Брест, 2009. – С. 85–90.

5. Specht, M. Druck des Frischbetons gegen eine geneigte Boden- oder Wandschalung / M. Specht // Beton- und Stahlbetonbau. – 1975. – № 11.