

Строительные конструкции

УДК 624.011.1/2

© А. Ю. Соломаха, соискатель
© А. Г. Черных, д-р техн. наук, профессор
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: solomakha@inbox.ru, agdom@inbox.ru

© A. Yu. Solomakha, competitor
© A. G. Tchernih, Dr. Sci. Tech., Professor
(Saint-Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)
E-mail: solomakha@inbox.ru, agdom@inbox.ru

ВОССОЗДАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ГЛАВНОГО КУПОЛА ТРОИЦКОГО СОБОРА

RECONSTRUCTION OF DESIGNS OF THE MAIN DOME OF THE TROITSKY CATHEDRAL

Рассматривается применение большепролетных конструкций из клееной древесины при воссоздании объектов культурного наследия на примере главного купола Троицкого (Измайловского) собора в Санкт-Петербурге. Основной акцент сделан на обосновании применения конструкционного материала и расчетной схеме купольной конструкции.

Ключевые слова: клееная древесина, большепролетные конструкции, реконструкция объектов культурного наследия, купольные конструкции.

Application of span structures made of laminated wood for reconstruction of cultural heritage sites is considered on the example of the Troitsky (Izmailovsky) Cathedral in St. Petersburg where the main dome was reconstructed. The main emphasis is on the justification of using the construction material and design scheme of the dome structure.

Key words: glued laminated timber, long-span structures, cultural heritage objects reconstruction, dome structure.

В процессе реставрационных работ на объектах культурного наследия возникает необходимость воссоздания пролетных конструкций с большой либо полной утратой исторических элементов здания. В большинстве исторических зданий пролетные конструкции изготавливали из дерева, чугуна и других материалов, огнестойкость которых, как правило, не достигает существующих ныне норм и стандартов.

Так, в 2004 году в результате пожара были полностью утрачены деревянные пролетные конструкции Московского манежа (1824–1825, арх. А. А. Бетанкур)^{*}, а в 2006 году пожаром был уничтожен главный купол Троицкого (Измайловского) собора в Санкт-Петербурге (1828–1835, арх. В. П. Стасов)^{**}.

^{*} Объект культурного наследия Российской Федерации № 7710453000.

^{**} Объект культурного наследия Российской Федерации № 7810031000.

Собор Пресвятой Троицы лейб-гвардии Измайловского полка, расположенный в Адмиралтейском районе Санкт-Петербурга по адресу Измайловский проспект, 7-а, является одним из крупнейших памятников позднего классицизма. Постановлением Совета Министров РСФСР от 30.08.1960 № 1327, подтвержденным Указом Президента РФ от 20.02.1995 № 176, ему присвоена федеральная категория охраны.

В 2004 году была начата комплексная реставрация здания собора. В ходе реставрационных работ на главном куполе здания 25 августа 2006 г. произошло возгорание неинвентарных деревянных строительных лесов. Благодаря своевременной эвакуации персонала и посетителей собора пострадавших в пожаре не было, однако конструкции собора были сильно повреждены.

Утраченные деревянные конструкции арок купола передавали нагрузку на стены через гори-

горизонтальные деревянные лежни (брусья), уложенные в радиальном направлении. В свою очередь, брусья одним концом были заведены в кирпичную кладку отнесенной стены барабана, а другим — в кладку кирпичного свода, для чего при сооружении храма в кладке стены и свода были оставлены гнезда. Во избежание защемления бруса между кладкой и брусьями был проложен слой войлока.

Основная стена барабана заканчивается на отметке опоры на нее деревянного свода (утраченного при пожаре). На этой же отметке на основную стену барабана опирается сохранившийся кирпичный свод. Отнесенная и основная стены барабана объединены между собой в уровне опирания сводов кирпичной перемычкой.

Нагрузка от деревянных арочных конструкций купола с помощью деревянных брусьев перераспределялась между основной и отнесенной стенами барабана. От опрокидывания деревянный свод был застрахован анкерной опорных брусьев в гнезда кладки. Кроме того, распор арок частично гасился отнесенной стеной барабана благодаря опиранию на нее нижних брусьев, а также наличию горизонтальных опор у арок.

После пожара конструкции собора подверглись комплексному инженерному обследованию. Результаты обследования конструкций главного купола сводились к следующему:

1. Кладка стен подверглась значительному температурному воздействию.

2. Кладка колонн и основной стены барабана пострадала от пожара в меньшей степени и находится в удовлетворительном состоянии.

3. С наружной стороны кладка подверглась воздействию огня в меньшей степени, чем с внутренней. Заметных повреждений на ней не обнаружено. На поверхности кладки имелись многочисленные мелкие трещины, ширина раскрытия от 0,5 до 2 мм. В результате механических воздействий практически полностью утрачен консольный выступ каменного карниза.

4. Наружная поверхность купола пострадала от пожара на глубину до 50 мм. При этом пострадали металлические связевые элементы и внешнее армирование кладки.

5. В результате пожара горизонтальные усилия распора от кирпичного купола

практически не воспринимаются стальными кольцами, как старыми, так и вновь выполненными. В связи с этим на отнесенную стену барабана через радиальные стены и горизонтальную кирпичную диафрагму, расположенную в основании купола барабана, передаются дополнительные усилия распора от кирпичного купола. При этом жесткость и прочность отнесенной стены барабана в связи с утратой карниза, а также другими повреждениями кладки значительно снизились.

6. Полностью уничтожены огнем деревянные несущие конструкции главного купола и барабана в основании креста, а также внутренние ходовые площадки и переходные мостики в межкупольном пространстве.

После разборки сгоревших конструкций были разработаны мероприятия для защиты внутреннего убранства собора и внутреннего свода купола. Для предотвращения промерзания и разрушения кирпича свода был утеплен внутренний свод купола минеральной ватой толщиной 200 мм. Выполнена временная кровля на отметке верхнего обреза барабана главного купола, несущие конструкции — доска и брус с опиранием на внутренний свод и частично на отнесенную стену. По деревянным прогонам была проложена фанера и сделан настил из рулонного материала (типа Унифлекса). Отвод воды обеспечивался за наружную стену барабана главного купола.

При выборе конструктивных материалов для новых несущих конструкций главного купола рассматривалось несколько вариантов:

- деревянные конструкции в историческом варианте;
- несущие конструкции из клееной фанеры;
- несущие металлоконструкции;
- несущие конструкции из клееной древесины.

По совокупности всех факторов, влияющих на выбор конструктивного материала, были выбраны несущие конструкции из клееной древесины.

Клееные деревянные конструкции при реставрации памятников используются не так часто. При реконструкции замка Колдингхус (Ютландия, Дания, арх. Ингер и Йоханнес Эксер) из клееной древесины были изготовлены колонны, собранные в пучки и создававшие своего рода вариацию на тему романо-готических сводов,

не являясь при этом полной имитацией исторического прототипа.

На месте старых деревянных балок были возведены железобетонные балки (лежни), которые объединили между собой железобетонной плитой. Плита выполнена в виде кольца, прилегающего к отнесенной стене барабана (рис. 1).

Расчет плиты выполнен на восприятие распора от вновь возводимых деревянных арок и от кирпичного купола. Армирование кольца подбиралось также с учетом прочности кладки купола на растяжение.

Для исключения передачи горизонтальных усилий с опорных балок на стену барабана и кладку свода, а также предотвращения влияния горизонтальных температурных деформаций балок по их торцам на границе с кладкой выполняются деформационные швы толщиной 10 мм. Для этого перед бетонированием балок по торцам устанавливаются прокладки из пенополистирола. Аналогично выполняются горизонтальные деформационные швы между верхом балок и кладкой и вертикальные швы. Между железобетонным кольцом и кладкой стены барабана также выполняется вертикальный деформационный шов (рис. 2, 3, 4).

Для исключения передачи горизонтальных усилий на стену барабана за счет трения опирающиеся балки на стену производится через стальную пластину с уложенным на нее фторопластовым листом. Для предотвращения возможности опрокидывания купола выполняется анкерка опорных балок к кладке стен барабана. Анкера выполняются из стальных шпилек (резьбовых штанг) длиной 600 мм, устанавливаемых на клею в пробуренные в кладке отверстия. После установки анкеров и до заливки бетоном балок на выступающие части шпилек, устанавливаемых

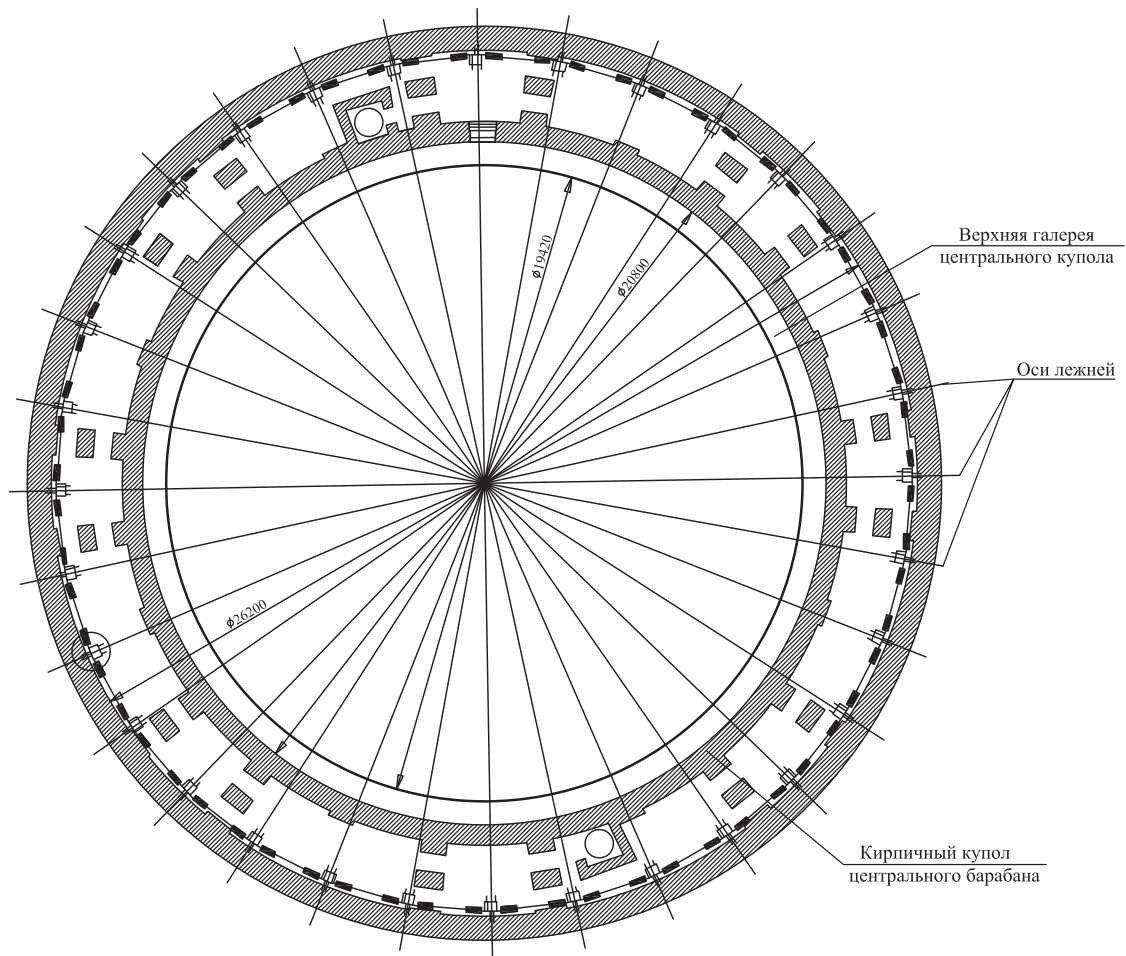


Рис. 1. Схема железобетонного распределительного кольца

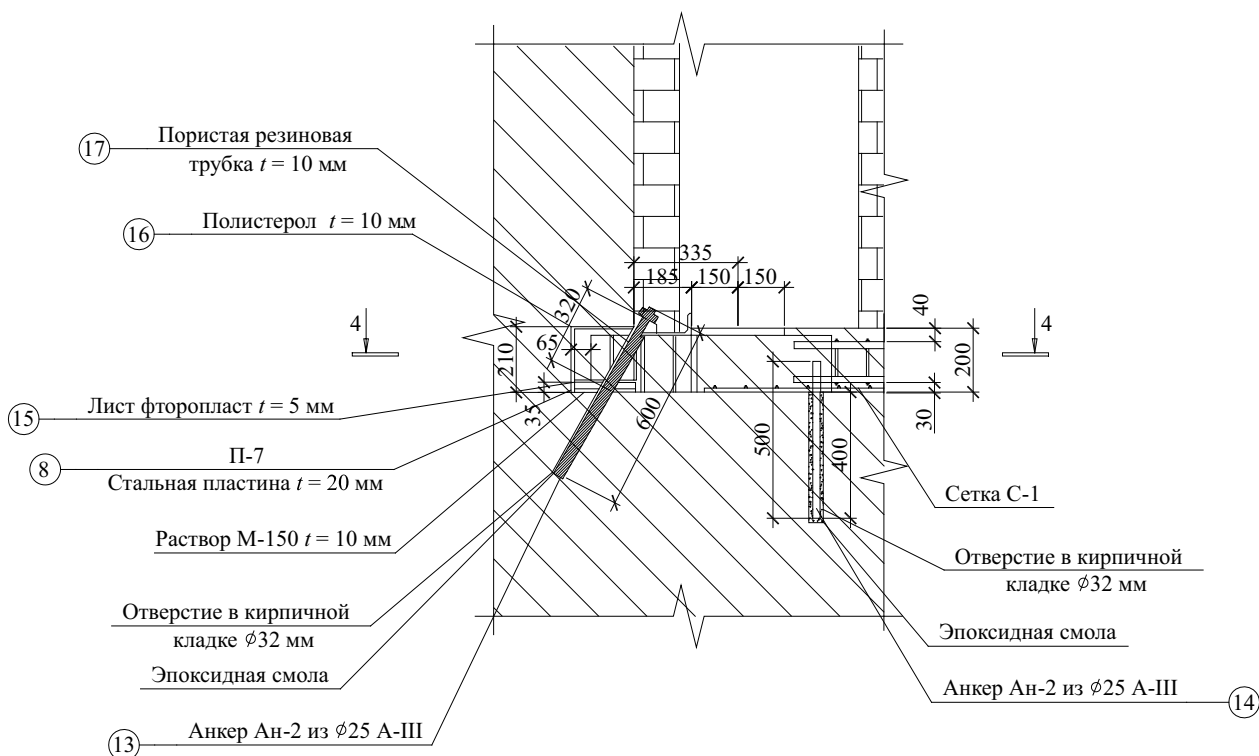


Рис. 2. Узел анкерки балок монолитного пояса



Рис. 3. Узел анкерки монолитного пояса в гнездо кладки отнесенной стены, продувка наклонного шпура для монтажа химического анкера



Рис. 4. Узел анкерки монолитного пояса в гнездо кладки отнесенной стены, монтаж пенополистирола и фторопласта

на концах балок, надеваются трубки из мягкой резины с толщиной стенки 5 мм, что обеспечивает свободные перемещения балок по горизонтали без передачи горизонтальных усилий на кладку.

Армирование опорного кольца назначается вначале из расчета кирпичного купола, совместно работающего с опорным кольцом. Нагрузки (собственный вес кладки и временная нагрузка)

приложены только к кирпичному куполу. При этом горизонтальные напряжения не должны превышать прочности кладки на растяжение, что позволяет ограничить ширину раскрытия радиальных трещин в кладке. Таким образом, после подбора армирования кольца производится проверка его прочности на действие суммарных усилий, полученных из предыдущего расчета и усилий от распора деревянного купола,

приложенных к опорному кольцу. При расчете купола принимается во внимание только опорное кольцо без влияния кирпичного купола. Это обосновывается тем, что шов между кирпичной кладкой купола и опорным кольцом запроектирован работающим только на сжатие.

При разработке проектной документации деформационные и прочностные характеристики материалов задавались по соответствующим главам СНиП II-22-83*, армирование кольца определялось исходя из трещиностойкости кирпичного купола.

Поверочным расчетом было установлено, что максимальные величины растягивающих напряжений в кладке купола составили 0,65 МПа, что

не превышает прочности кладки на растяжение по перевязанному сечению.

Конструктивная схема деревянных конструкций купола ребристо-кольцевая. Распорные усилия от меридиональных ребер внизу передаются на железобетонное распределительное кольцо диаметром около 26 м, конструкция которого рассмотрена выше. Сжимающие усилия от ребер передаются на верхнее сжатое стальное кольцо высотой около 0,8 м и диаметром около 2,5 м (рис. 5).

Кольцо сварное двутаврового сечения с ребрами жесткости в местах опирания меридиональных ребер, которые жестко крепятся к полкам кольца на сварке через закладные детали арок.

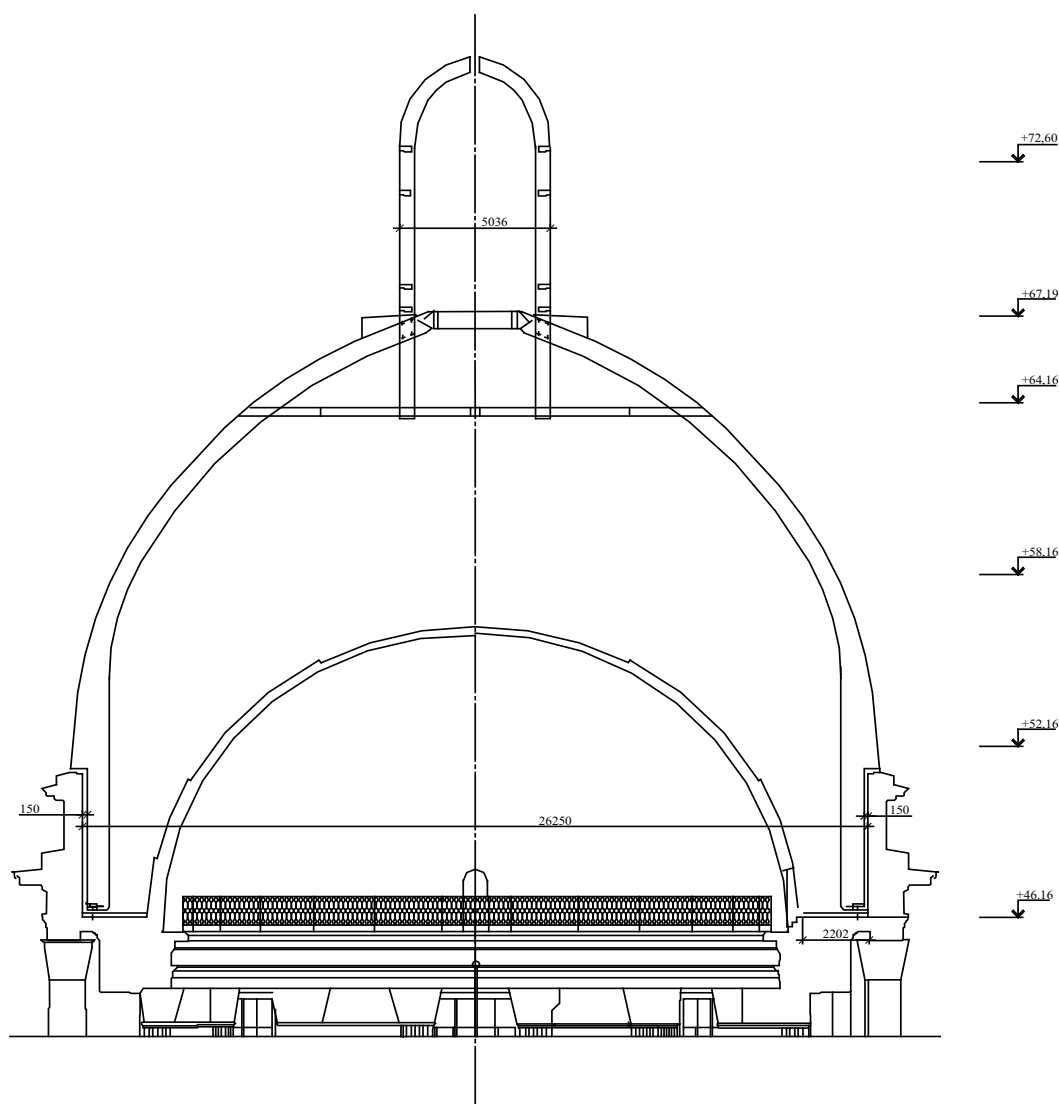


Рис. 5. Схема каркаса купола

Основу купола составляют меридиональные гнутоклееные ребра, согнутые по радиусу (≈ 15 м) и длиной около 24 м. Стрела подъема ребра около 6 м, длина превышает транспортный габарит и поэтому ребра изготавливаются составными по длине с жестким соединением на монтаже. Соединение элементов осуществляется жестким стыком на строительной площадке на специальном стенде (стапеле). Сечение меридиональных ребер по конструктивным соображениям составляет около 140×750 мм.

Количество ребер по числу исторических принято 32 шт. с шагом внизу около 2,6 м. Дополнительные меридиональные гнутоклееные ребра устанавливаются между основными ребрами с опорой на кольцевые гнутоклееные элементы.

Кольцевые ребра устраиваются через 6 м по высоте и свариваются между собой и с меридиональными ребрами с помощью стальных закладных деталей так, чтобы они воспринимали усилия как растяжения, так и сжатия.

Гурты (ребра) на поверхности купола устраиваются путем закрепления к меридиональным

ребрам после устройства обшивки криволинейных клееных элементов с более редким шагом на нагелях или глухарях. Доски обшивки (ламели) толщиной 32 мм имеют огнезащитное покрытие.

Опорные узлы меридиональных ребер выполнены на вклеенных стержнях путем шарнирного присоединения опорных башмаков к пластинкам нижнего кольца в местах переломов. Узлы крепления меридиональных ребер к верхнему кольцу выполнены жесткими на сварке закладных ребер к полкам кольца. Устойчивость купола обеспечена связями в секторах и устройством двойного перекрестного дощатого настила.

Стойки фонаря установлены на меридиональные гнутоклееные ребра, в которых предусмотрены специальные закладные детали на вклеенных стержнях, обеспечивающие необходимую жесткость каркасу барабана без дополнительных связей.

Расчет конструкций выполнен в соответствии с архитектурно-реставрационным заданием по СНиП II-25-80 «Деревянные конструкции», СНиП 2.01.07-85* «Нагрузки и



Рис. 6. Монтажный кондуктор (вид со стрелы башенного крана)



Рис. 7. Монтажный кондуктор (узел опирания ребра)

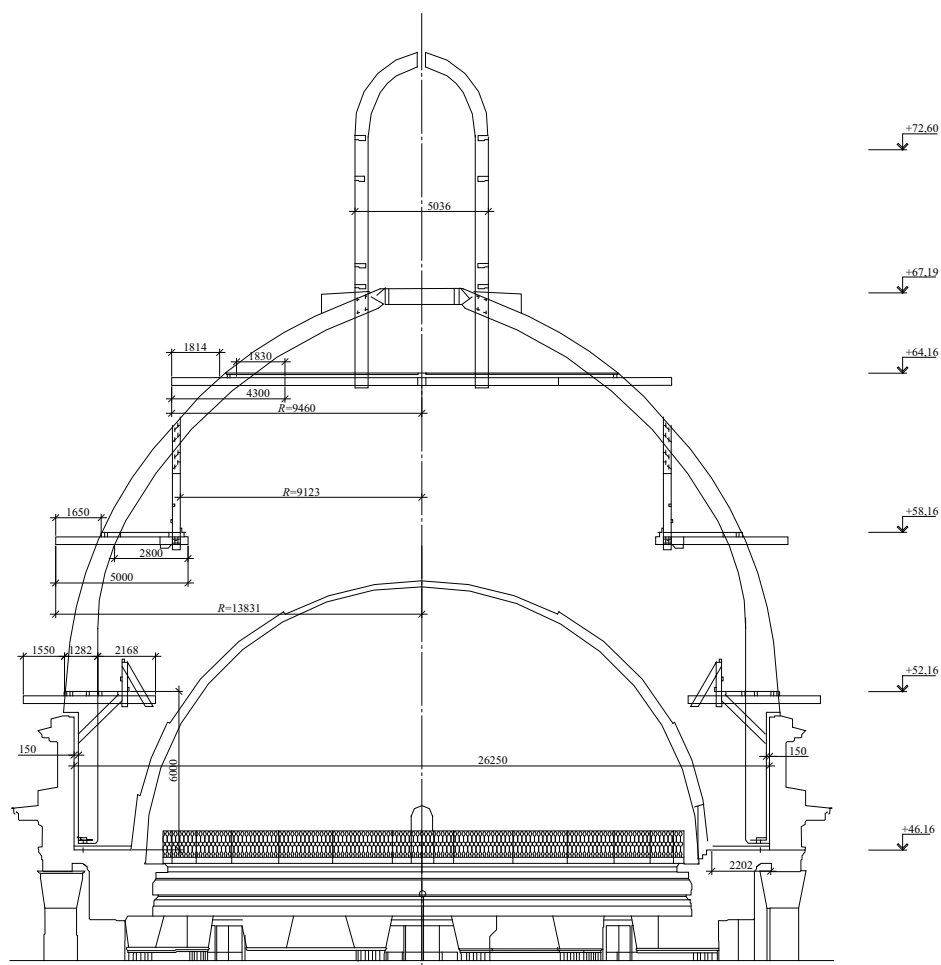


Рис. 8. Схема опорных конструкций лесов и площадок

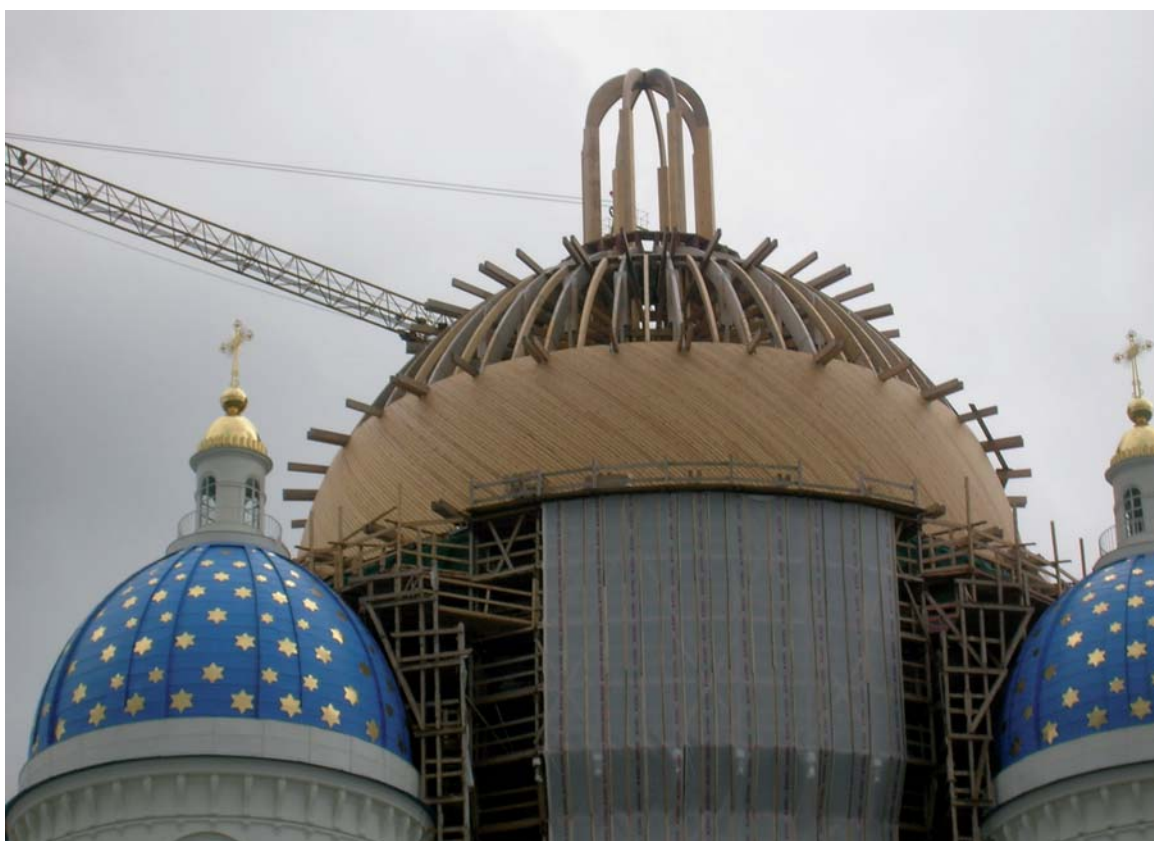


Рис. 9. Консоли кольцевых лесов



Рис. 10. Кольцевые леса

воздействия». Проектная документация прошла государственную вневедомственную экспертизу, согласованную в КГИОП и Росохранкультуры.

Изготовление конструкций проводилось по специально разработанному в ЦНИИСК технологическому регламенту и техническим условиям. Качество изготовления обеспечивалось независимым контролем, авторским надзором и мониторингом. Строительно-монтажные работы проходили без остановки работы храма с учетом требований техники безопасности

Укрупнительная сборка деревянных конструкций производилась на двух стапелях на строительной площадке. Для восприятия монтажных нагрузок и предварительного крепления ребер деревянных конструкций был запроектирован и смонтирован кондуктор из 16 колонн (связанных между собой горизонтальными и наклонными связями) высотой 11 м с площадкой (настилом) по верху колонн. На колонны кондуктора производилось опирание ребер купола при монтаже (рис. 6, 7). С настила кондуктора производился монтаж верхнего опорного кольца и креста. После сборки несущих конструкций купола кондуктор был демонтирован.

Для монтажа обшивки купола (ламелей) и гуртов были смонтированы кольцевые неинвентарные леса и консоли, которые после окончания работ были демонтированы (рис. 8, 9, 10).

Для удобства нанесения огнезащитного состава на деревянные конструкции и обслуживания внутрикупольного пространства в период эксплуатации сооружения были смонтированы три яруса внутренних площадок и ходовые лестницы. Огнезащита деревянных конструкций производилась составом «ПРОТЕРМВУД» (ТУ 2316-004-28942052-00).

Воссоздание пролетных конструкций Троицкого собора из клееной древесины позволяет рекомендовать использование данного материала и методов расчета в ходе реставрационных работ на подобных объектах.

Список литературы

1. *Коккинаки, И.* Деревяноклееные конструкции. К состоянию вопроса / И. Коккинаки // *Архитектурный вестник*. — 2006. — № 5 (92). — С. 14–18.
2. *Серов, Е. Н.* Большой купол Троицкого собора: Конструкция. Состояние. Проблемы воссоздания / Е. Н. Серов, И. Л. Воинова, А. Е. Серов // *Вестник гражданских инженеров*. — 2007. — № 2 (11). — С. 42–51.