

Обзорно-аналитическая информация

ИЗ ИСТОРИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ДЕРЕВЯННЫХ ОБОЛОЧЕК И ИХ ВОЗМОЖНОСТИ В НАСТОЯЩЕМ И БУДУЩЕМ

С.Н. КРИВОШАПКО*, д-р техн. наук, профессор,

К.П. ПЯТИКРЕСТОВСКИЙ**, д-р техн. наук, ст. н. с.

**Российский университет дружбы народов, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6;*

** *ЦНИИСК им. Кучеренко, 109428, Москва, 2-я Институтская ул., д. 6.*

История строительства деревянных оболочек насчитывает несколько столетий. Она начиналась с шатровых покрытий сооружений башенного типа и куполов церквей. Принципиально новые конструкции большепролетных деревянных оболочек появились в 1920-х годах. Начиная с этого периода, и исследуется история строительства деревянных оболочек. Цель настоящей статьи – показать направления развития современной архитектуры деревянных сооружений, направленные как на создание единственных уникальных объектов, так и на формирование потока типовых структур.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:деревянный свод, деревянный купол, клееные деревянные конструкции, большепролетные пространственные деревянные структуры, фанера.

Богатейшие лесные ресурсы нашей страны всегда обуславливали технико-экономическую целесообразность широкого применения дерева в качестве одного из основных строительных материалов. Деревянные конструкции преобладали в русском строительстве с IX до XVIII века, что способствовало выработке конструктивных форм, удовлетворяющих потребности человека и отвечающих производственным возможностям эпохи. Развитие деревянных конструкций в условиях феодального строя с присущим ему ремесленным характером производства при наличии одних и тех же орудий производства и методов деревообработки определило постоянство конструктивных форм этого периода. В жилых и общественных зданиях, в постройках производственного и хозяйственного назначения, в крепостных сооружениях и мостах преобладали конструктивные формы, выполнявшиеся из горизонтально расположенных бревен по принципу сруба. Сочетания основных применявшихся форм образовывали сложные комплексы самобытных, выдающихся по красоте и не имеющих себе равных в рубленых постройках других народов деревянных сооружений.

Применение шатровых покрытий в деревянных сооружениях башенного типа привело к созданию величественных шатровых храмов, которые представляют собой классический образец русского деревянного зодчества, позже нашедший отражение в каменном строительстве. В конструктивном мастерстве и в темпах строительства русские мастера намного превзошли зарубежных строителей.

Существует мнение, что деревянные конструкции недолговечны. Действительно при плохом уходе деревянные конструкции могут очень быстро выйти из строя из-за поражения древесины различными грибами и насекомыми. Основное правило для сохранения деревянных конструкций – создание условий для их вентиляции или проветривания. Важно также обеспечить сушку древесины перед ее применением в строительстве. Улучшение биологической стойкости древесины легко достигается с помощью давно разработанных и освоенных методов пропитки ее различными эффективно действующими антисептиками. Еще чаще возникают возражения против использования древесины по соображениям пожарной безопасности. Однако соблюдение элементарных правил противопожарной безопасности и надзора за сооружениями, а также использование антипиренов, повышающих огнестойкость древесины, позволяет значительно повысить противопожарные свойства древесины.

Главные достоинства деревянных оболочек – минимальный расход дерева и металла, хорошие теплоизолирующие свойства древесины и легкость конструкции.

К недостаткам относят необходимость устройства лесов для придания куполу точной проектной формы, сложность устройства проемов. Правда, есть купола специальной конструкции, возведенные без коренных лесов.

Большепролетные пространственные деревянные структуры и оболочки в эпоху «золотого века тонких оболочек (1922-1965 гг.)» и до 1980 г.

Деревянные купольные дощато-гвоздевые покрытия известны в отечественной практике с 20-х годов прошлого века. Первыми деревянными куполами в 1923 г. были перекрыты манеж и аудитории на Всесоюзной сельскохозяйственной выставке в Москве (рис. 1). Купола оболочки выполнялись из ребер, кольцевых и косых настилов по ребрам, состоящих из 2-3 слоев досок толщиной 20-25 мм. Шаг ребер составлял 1-1,5 м. Ребра выполнялись из 3-4 слоев досок, изогнутых плашмя по меридиональному направлению, или в виде кружальных арок. В обоих случаях доски сшивались гвоздями. Формы первых куполов базировались на конструктивных идеях И.П.Кулибина по созданию многорешетчатых систем.

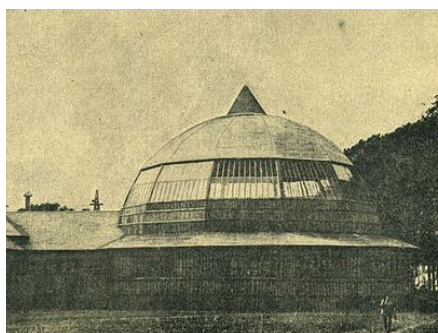


Рис. 1. Первый деревянный купол в России Манеж животноводства на ВСХВ, Москва, 1923 г.



Рис. 2. М. Горький у хлебозавода № 7 (на заднем плане виден деревянный купол)

Тонкостенные деревянные купола для здания газгольдеров на Сталиногорском химкомбинате имели пролеты 33 и 28 м, на московских хлебозаводах №7 (рис. 2) и №8 – 19,5 м. Тонкостенный деревянный купол для здания газгольдеров на Березниковском химкомбинате пролетом 32,5 м и стрелой подъема 7,2 м опирался на железобетонное кольцо, воспринимающее распор. Купол имел форму сферы радиусом 21,75 м. Кровля – рубероидная. Полный вес купола – 56,6 т. Несколько позже был возведен купол Симоновского Дворца культуры в Москве в виде деревянной ребристой оболочки вращения с диаметром в плане 59 м и стрелой подъема 15,3 м. Ребра с наибольшей высотой сечения 1,5 м имеют шаг по опорному кольцу 6 м. Расход дерева на 1 м² плана – 58,3 кг/м², расход металла – 1,71 кг/м².



Рис. 3. Строительство купола цирка в Саратове, 1928 г, окончание 1933 г.



Рис. 4. Купол цирка в Иваново, 1933 г. (функционировал без единого капремонта до 1977 г., затем был взорван, чтобы освободить место для нового цирка) [support@ivgorod.ru]

Помимо названных деревянных куполов были построены купола на Московском ипподроме (пролет 20 м, 1931 г.), для цирков в Саратове (диаметр 46 м, рис. 3), в Иваново (диаметр 50 м, кровля из металла, арх. С.А. Минофьев, рис. 4), в Баку (диаметр в основании 67 м, стрела подъема 27 м, шаг арок вдоль круговой опоры 8 м).

Но самым выдающимся инженерным творением 30-х годов прошлого века считается деревянное купольное покрытие Универсального спортивного комплекса «Крылья Советов», построенное в 1931-1934 годах в Москве (рис. 5).

Начиная с 1932 г. сотрудники ЦНИПС Г.Г.Карлсен, Б.В. Большаков, М.Е. Каган, П.Н. Ершов, В.М. Коченов, Б.А. Освенский, М.Ф. Ковальчук, А.В. Леняшин, И.А. Цыпленков, а также замечательные инженеры-исследователи и проектировщики К.П. Кашкаров, Г.В. Свенцицкий, Р.В. Мильвицкий разработали и построили своды и купола-оболочки, куполообразные конструкции из плоских решетчатых ароки прогонов по ним, тонкостенные купола-оболочки из меридиональных ре-

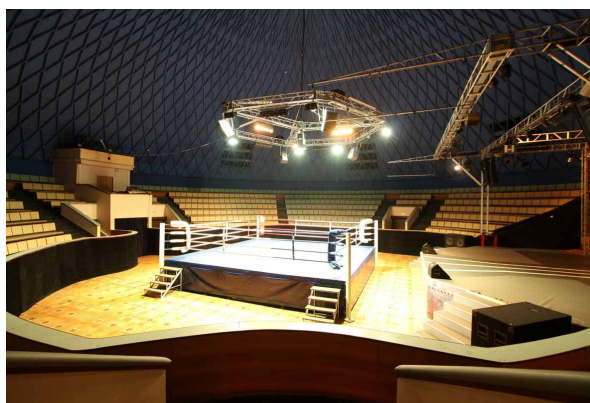


Рис. 5. Большой купольный зал УСК «Крылья Советов», Москва, арх. Л.Л. Лурье, Н.А. Метелин, В.С. Минаков



Рис. 6. Сомкнутый свод архитектора С.И. Песельника

В условиях первой половины XX века, когда древесина была одним из наиболее доступных и распространенных материалов, строительство промышленных объектов из неё позволило решить многие народнохозяйственные проблемы. Были построены большепролетные ангары, покрытия химических предприятий (рис. 7), складские и спортивные здания и многие другие сооружения. Ребристые своды-оболочки пролетом 100 м, разработанные в ЦНИПС, были построены под Москвой в районе Химок. В 1929 году Ю.В. Кондратюком был запроектирован и построен самый крупный для того времени в мире элеватор для зерна.

бер и кольцевых настилов по ним, купола с ребрами составного сечения с фанерной стенкой и кольцевыми связями из парных прогонов и подкосов к ним, кольцеобразные купола, например, ребристый купол Симоновского дворца культуры в Москве (автор Г.В.Свенцицкий), купол цирка-театра в Баку (автор К.П. Кашкаров), купол цирка в Иваново (рис. 4) и др. Известны остроумные по конструкции и выразительные по облику своды арх. С.И. Песельника (рис. 6).



Рис. 7. Здание химического производства

В послевоенные годы в СССР вследствие широкого развития заводского производства сборного железобетона и металлических конструкций, обеспечивавших в тот период наиболее быстрое решение градостроительных задач и задач по восстановлению и дальнейшему развитию индустрии, строительство зданий и сооружений из дерева в крупных городах нашей страны значительно сократилось. Уменьшилось и количество специалистов, занимающихся исследованием и внедрением деревянных конструкций.

Разработанные в МАРХИ под руководством проф. М.С. Туполева деревянные купольные сооружения в форме геодезических сферических поверхностей, аппроксимированных треугольными гранями, нашли применение при строительстве крытого тока (1950 г.) и игрового павильона в пионерлагере «Юность» под Москвой (1961 г.). В тот же период времени (1920-1960-е годы) деревянные купола и своды строились в широких масштабах в зарубежных странах: павильон детских игр (г. Блекпул, США), аудитория Высшей школы (штат Техас, США) с 16 криволинейными меридиональными

ребрами, опирающимися на железобетонные фундаменты, спортзал (штат Монтана, США, 1956 г., авт. О. Берг, Ф. Вильсон) пролетом 91,5 м и высотой 15,3 м с 36 меридиональными клееными ребрами-арками сечением 17,5×50 см; спортзал (штат Юта, г. Солт-Лейк-Сити, США, 1968 г., арх. Янг и Фаулер, рис. 8) в виде решетчатого купола



Рис. 8. Сетчатая оболочка купольного покрытия спортзала, г. Солт-Лейк-Сити, США

диаметром 105 м и высотой 35 м; купольное покрытие стадиона (г. Такома, США) диаметром 256 м с ребрами из клееной древесины и с кровлей из листов алюминиевого сплава и многие другие. К стати, считается, что купол стадиона в г. Такома (США) – самый дешевый купол большого пролета. Из вышеперечисленного видно, что купольные покрытия из арочных клеёных деревянных рёбер и сетчатые деревянные своды, позволяющие перекрывать большие пролёты, чаще всего использовались в строительстве спортивных сооружений. К перечисленным сооружениям можно еще добавить крытые стадионы во Флориде, США, пролёт 90 м, в Ньюкасле-апон-Тайн (рис. 9), Англия, пролёт 62 м; Колизеум колледжа в штате Кентукки, США, пролёт 94 м; каток в Гренобле, Франция.

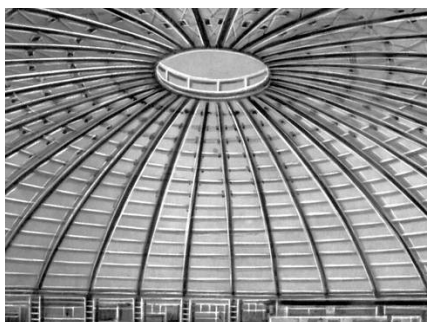


Рис. 9. Спортивное сооружение близ Ньюкасл-апон-Тайн (Newcastle upon Tyne, 1950-1960)

Национальным достоянием США считается ангар № 2, построенный в Калифорнии в 1943 году (рис. 10). Он является одним из самых больших пространственных сооружений, построенных с максимальным применением деревянных конструкций. Размеры ангара: 327,9 м в длину; 90,6 м в ширину и высотой 52,2 м. Ангар покрыт рифленым алюминием по асфальтовой стяжке. Параболическая форма поперечного сечения свода позволила разместить в нем соответствующего размера самолеты. В 1994 году ангар был обследован и признан годным для эксплуата-

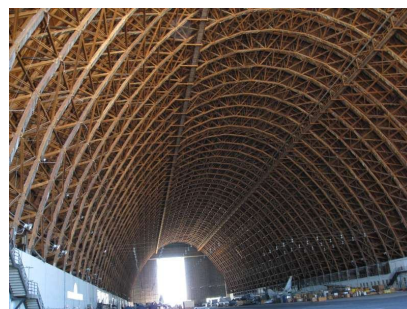


Рис. 10. Ангар № 2 в настоящее время (MoffettField, Калифорния, США)

тации. В настоящее время ангар №2 является одним из двух оставшихся деревянных ангаров на Западном побережье США.

В нашей стране впервые большепролетные деревянные клееные конструкции были применены 25 лет назад при строительстве Дворца спорта в Архангельске (рис. 11), авторы М.Ю. Заполь и В.И. Травуш. Ими примерно в то же время был запроектирован

Дворец спорта в Твери. Первый опыт применения клеевых деревянных арок пролетом показал, что в 1-м случае произошло пересушивание древесины в зоне расположения кондиционеров, что понизило несущую способность арок, а во 2-ом случае не был проведен весь комплекс мероприятий по недопущению гниения[1].

Таким образом, к наиболее заметным достижениям научно-технического прогресса, которые существенно расширили сферу и масштабы применения деревянных оболочек, начиная с 1960-х, следует отнести:

- 1) индустриальное производство клееных деревянных конструкций;
- 2) применение механизированных приспособлений для устройства соединений и освоение их новых типов;
- 3) появление транспортных средств, оборудованных для перевозки крупногабаритных изделий, и грузоподъемных механизмов большой мощности и большого вылета стрелы, существенно меняющих технологию монтажа зданий и сооружений;
- 4) постепенное налаживание выпуска различных плитных материалов на основе древесины, обладающих стабильными механическими характеристиками;
- 5) внедрение новых типов конструктивных решений сводов и куполов.

Эти и некоторые другие достижения обусловили разработку пространственных конструкций из древесины, применение которых стало давать экономический и технический эффект.

Объемно-планировочные и конструктивные решения оболочек из естественной и клееной древесины на примерах сооружений 1980-2013 годов постройки

В предыдущем разделе приведены примеры оболочек, возведенных из древесины в 1920 – 1980-х годах. Если в строительстве большепролетных железобетонных оболочек с 1965 года наметился определенный застой, то строительство деревянных большепролетных сооружений оболочечного типа в мире продолжалось прежними темпами, нельзя сказать, что быстрыми, но постоянными. Применение деревянных оболочек значительно расширилось, когда появились клеевые деревянные конструкции, которые на заводских поточных линиях доски склеивают зубчатыми торцами (рис. 12), превращая



Рис. 11. Дворец спорта в Архангельске, пролет арок – 63 м



а) вертикальное б) горизонтальное в) диагональное
Рис. 12. Зубчатые клеевые соединения

их в длинномерные материалы. Затем доски можно склеить в пакеты и получить принципиально новый строительный материал – клеевую древесину, которая намного превосходит естественную древесину по своим конструктивным свойствам. В клееных изделиях можно использовать низкосортную древесину и маломерные доски, которые благодаря применению высокопрочных клеев и механизированной технологии склейки превращаются в первоклассный строительный материал. Для изготовления несущих клееных деревянных конструкций необходимо использовать пиломатериалы преимущественно 2-го сорта и в небольших объемах 3-го сорта для укладки в среднюю по высоте сечения зону. Использование короткомерных пиломатериалов длиной менее 2 м 3-го и 4-го сортов приводит к росту себестоимости и резкому снижению качества несущих конструкций. Клееная древесина достаточно огнестойка даже без специальной пропитки. Особенно эффективно применение клееной древесины в большепролетных арочных (рис. 13), купольных (рис. 14) и сводчатых (рис. 15) покрытиях зданий и сооружений.

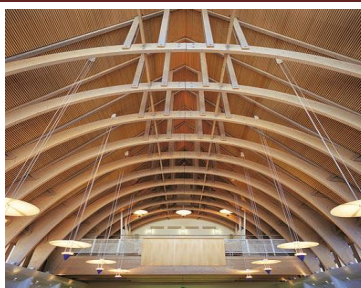


Рис. 13. Арочная оболочка из древесины



Рис. 14. Деревянный купол в процессе строительства



Рис. 15. Деревянный свод арочного типа, спортзал МГСУ, Москва, март 2013 г.

Существует большое количество классификационных признаков, на основании которых можно будет сгруппировать пространственные деревянные структуры. Однако любая классификация будет условной. К классификационным признакам можно отнести материал конструкций, геометрию и принципы формообразования поверхности деревянной оболочки, ее пологость, форму плана, характер работы конструкции под нагрузкой и многое другое. Например, по форме деревянные покрытия, как и покрытия из любого строительного материала, делятся на своды (цилиндрические поверхности) и купола (поверхности вращения или зонтичные поверхности, рис. 14). По конструктивному исполнению оболочки могут быть тонкостенные сплошные (рис. 16), ребристые (рис. 17), сетчатые (рис. 18). Сетчатые деревянные оболочки можно классифицировать по форме составляющих сетку фигур. Деревянные оболочки могут быть выполнены одно-, двух- и трехслойными.

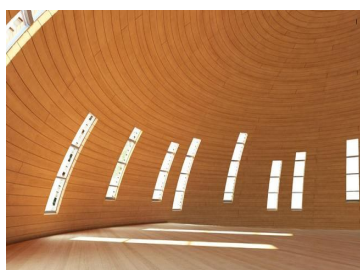


Рис. 16. Тонкостенная сплошная оболочка из бруса (компания «Биоархитектура»)



Рис. 17. Ребристая оболочка из древесины в процессе строительства

Сводчатые покрытия бывают двух типов: безраспорные и распорные своды. Кружально-сетчатый свод представляет собой конструкцию, составленную из коротких стандартных косяков (досок, брусков), расположенных по двум взаимно пересекающимся винтовым линиям (рис. 19). Узловые сопряжения в сетке свода образуются при помощи врубок (рис. 19, в) или стальных креплений (болтов, рис. 20; а иногда и скоб). В ребристо-кольцевых куполах непрерывные кольцевые прогоны, пересекающие меридиональные ребра, работают не только на местный изгиб, но и воспринимают растягивающие кольцевые усилия (рис. 21). Ребра с кольцевыми прогонами соединяются, как правило, шарнирно.

Встречаются также кружально-сетчатые купола из сомкнутых сводов, которые образуются из одинаковых фрагментов сводов, в плане имеют форму правильного многоугольника. Этот вид куполов проиллюстрируем на стандартном примере кружально-



Рис. 18. Сетчатая оболочка покрытия, купол спортивного сооружения в Такоме, США, 1983

сетчатого сомкнутого купола, запроектированного в США для перекрытия стадиона диаметром 257 м (рис. 22).

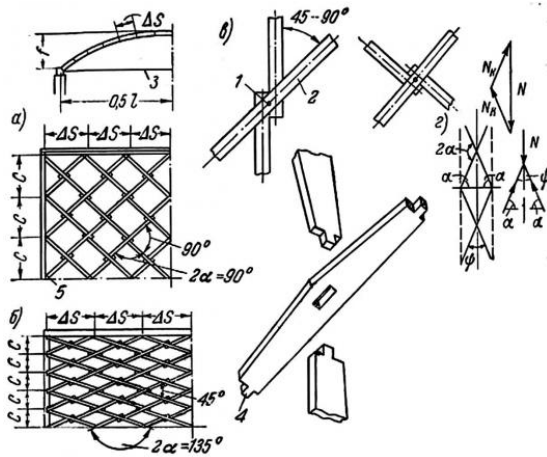


Рис. 19. Разбивка в плане сетки для кругляно-сетчатых сводов: а-прямоугольная; б-ромбическая; в-схемы узлов системы Песельника; г-расчетная схема.

Покажем на примерах, что клееная древесина – материал с прекрасными архитектурными и конструктивными возможностями.

До конца 70-х годов XX века типовые клееные деревянные конструкции применялись, в основном, в сельскохозяйственном строительстве. В силу ряда причин качество этих конструкций было низким из-за массового расслоения клееных элементов. Создавшееся критическое состояние удалось выправить благодаря разработкам С. Б. Турковского (а затем А.А. Погорельцева), применивших наклонно вклеенные арматурные стержни сначала для ремонта аварийных в результате расслоения клееных деревянных конструкций, а затем разработавшего систему сборных клееных деревянных конструкций с новыми узловыми соединениями на наклонно вклеенных стержнях[2]. В результате клееные деревянные конструкции получили новую жизнь. Началось строительство большепролетных покрытий зданий, многие из которых являются уникальными, и их число уже превышает тысячу. Причем многие построенные сооружения по виду напоминают пространственные, хотя проектирование их велось по плоскостной схеме. Такой подход обеспечил надежность покрытий за счет перерасхода материалов, но он не использует возможности повышения живучести и конструктивной безопасности, характерные для пространственных конструкций. Для дальнейшего развития необходим был переход от преимущественно плоскостной схемы работы конструкций к пространственной.

Необходимо отметить, что в ряде зарубежных стран также имеется широкий ассортимент изделий из древесины и приспособлений для их соединения, а также совершенная база для изготовления клееных деревянных конструкций. Разработаны многочисленные стыковые соединения с применением нового поколения самонарезающих винтов и пер-



Рис. 20. Фрагмент кругляно-сетчатого свода с болтовыми креплениями в узлах



Рис. 21. Фрагмент ребристо-кольцевого купола

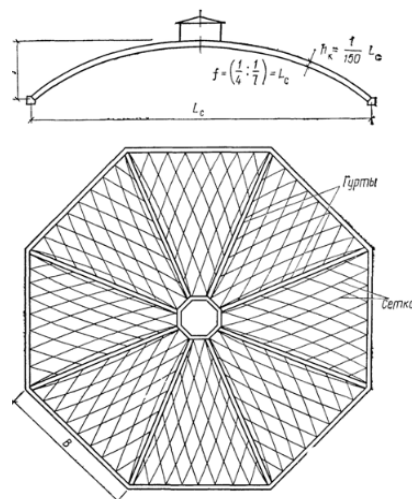


Рис. 22. Схематический план и разрез кругляно-сетчатого купола из сомкнутых сводов

спективные соединения с помощью спиральных стержней, изготавливаемых из высокопрочной проволоки диаметром 4-5мм путем ее холодной прокатки до линзообразного сечения и последующего скручивания в спираль с шагом 15-25 мм. Подробный анализ соединений современных деревянных конструкций выполнен в работах Р.Б. Орловича, З. Гиля и П.А. Дмитриева [3].

В 60-х–70-х годах XX века доктором техн. наук, профессором Я.Ф. Хлебным предложена система создания пространственных конструкций из железобетонных и клееных деревянных элементов массового изготовления: прямолинейные и криволинейные брусья, образующие каркас оболочек и совместно работающие с ним ограждающие панели, настилы или тонкие обшивки. Конструкции монтировались, как правило, без поддерживающих подмостей, иногда с применением отдельных опор. Под руководством Я.Ф.Хлебного, а затем К.П. Пятикрестовского проводились разработки и исследования железобетонных пространственных конструкций, принципы конструирования которых были затем применены при разработке пространственных конструкций из древесины[4], рис. 23–24.



Рис. 23. Покрытие цеха изщитового паркета в г.Волоколамске

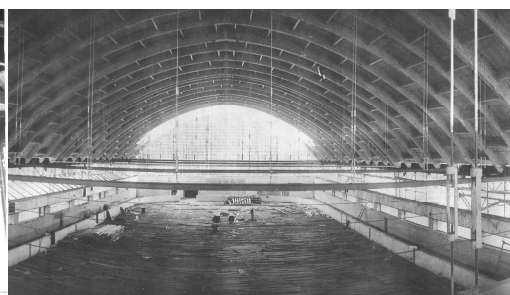


Рис. 24. Покрытие Дворца спорта «Локомотив» (42×79 м) ввремя строительства

В ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко выполнены экспериментальные исследования на крупномасштабных моделях, натуральных пространственных конструкциях, а также теоретические обобщения полученных результатов [5]. При этом производился поиск эффективных соединений элементов деревянных конструкций, обеспечивающих их совместную пространственную работу, а также выявление резервов несущей способности за счет перераспределения внутренних усилий, связанных с многократной статической неопределимостью оболочек. Вопросам нелинейной работы древесины и ее длительного сопротивления, в том числе с учетом изменения влажности и температуры, посвящены труды Ф.П. Белянкина, А.М.Иванова, Ю.М.Иванова, Е.Н. Квасникова, В.П. Коцегубова, В.Г. Леннова, Н.Л. Леонтьева, В.Г. Михайлова, В.Ф. Яценко и др. Проектное объединение обшивок и каркаса в единую многократно статически неопределимую конструкцию позволяет за счет несложных дополнительных мероприятий снизить расход материалов на каркас до 25%, поэтому одной из важных задач продолжает оставаться исследование прочности и местной устойчивости тонких обшивок, находящихся в сложном напряженном состоянии (сжатие и сдвиг)[6].

За рубежом вопросы нелинейного расчета деревянных оболочек также находились в активной разработке [7].

Дальнейшее развитие технологии изготовления новых пространственных конструкций с применением древесины должно дать решение для выполнения надежного закрепления листовых и рулонных материалов собственно оболочки к системе ребер при помощи эффективных клеев, которые бы позволяли производить совместно с металлическими связями-шурупами, дюбелями и т. п. крепление обшивок к ребрам в построечных условиях. Это позволит существенно повысить силовое сопротивление деревянных конструкций и получить экономию материалов до 25% по сравнению с плоскостными конструкциями[6].

Результаты теоретических и экспериментальных исследований пространственных деревянных конструкций, проведенные во второй половине 20-го века, позволили уже сейчас создавать уникальные эргономические здания и сооружения. Рассмотрим еще

несколько пространственных деревянных конструкций, построенных преимущественно за последние 10-20 лет.

12 июня 2012 г. в России официально открылся уникальный многофункциональный ТПК «PITERLAND» (С.-Петербург, побережье Финского залива) с одним из самых больших деревянных куполов в мире диаметром 92 м (рис. 25).



Рис. 25. ТПК «PITERLAND»

На рис. 26 показаны современные возможности конструкций из дерева при создании большепролетных сооружений.

Это стало возможным благодаря появлению клеевых изделий, новых средств для защиты от гниения и возгорания, а также разработке усовершенствованных методик расчета.



а) Wooden Football Hall, Helsinki [POOK Architects' Office]



б) CERN Globe of Science and Innovation in Geneva, 2007, авт. Brücke-Osteuropa



б) Metropol Parasol, Seville, Испания, 2011 (самая большая в мире конструкция из дерева, J.MayerH. Architects, photoby F. Aloda)



з) Odate Jukai Dome, 1997, Akita, Япония (дождевая вода с купола, используется для внутреннего водоснабжения)

Рис. 26

Некоторые компании поставили изготовление деревянных куполов на поток (рис. 27, 28), которые, как оказалось, лучше удовлетворяют требованиям эргономики и именно их предпочитает человек для временного пребывания и отдыха. *Эргономика* – это наука о приспособлении рабочих мест, предметов и объектов труда, для наиболее безопасного и эффективного труда работника, исходя из физических и психических особенностей человеческого организма.



Рис. 27. Геодезический купол с деревянным каркасом из бруса



Рис. 28. Сборка деревянного каркаса геодезического купола

Часто архитекторы для самовыражения проектируют небольшие, но запоминающиеся сооружения оболочечного типа, используя дерево в качестве строительного материала. Благодаря их произведениям, чувствуешь, насколько пластичным материалом может быть древесина. Для иллюстрации приведем несколько фотографий (рис. 29).



а) Деревянный экологический дом
[eco-driving.ru]



б) Деревянный купол, собранный из модулей, theBurningManFestival, 2010
[cameronannemason.com]



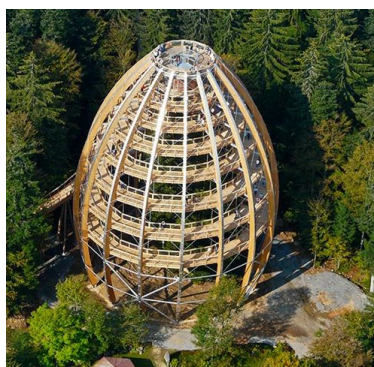
в) Геодезический купол, 130 м²



г) Купол из клееной фанеры, покрытый деревянным гонтом, 1960 г., Нью-Хармони, США [8]

Рис. 29

Предложения и фантазии архитекторов не имеют предела. А если эти фантазии совпадают с реальными потребностями или желаниями человека, то сооружение становится уникальным. Например, любопытная башня «Tree Top Walk» («Прогулка по вершинам деревьев») находится в Национальном парке «Баварский лес» (рис. 30, а). Высота башни 44 метра, а длина спиральной деревянной дорожки с уклоном 6% составляет около 500 м. Такой уклон дорожки позволяет беспрепятственное движение по ней даже людям



а) дорожка над вершинами деревьев б) фрагмент спиральной дорожки

Рис. 30. Башня «Tree Top Walk», Бавария [baumwipfelpfad.by/bwp_en/index.php]

с ограниченными возможностями. Внутри башни растут три гигантские 38-метровые ели. Посетители могут двигаться вверх, начиная с уровня земли, и заканчивать свой путь у верхушек деревьев, одновременно обеспечивая себе 360-градусный обзор самих деревьев и охраняемого лесного ландшафта, простирающегося вдаль на сто километров и более. Легкая башня выполнена из клееного бруса и стянута металлическими тросами (рис. 30, б).

Из больших сооружений, выполненных из дерева, которые наиболее часто попадают в различные справочники и путеводители можно указать на деревянный купол ста-

диона Северо-Мичиганского университета (Marquette, США), который принят в эксплуатацию в 1991 году и на то время был самым большим деревянным куполом в мире с диаметром 163,4 м (рис. 31). По конструкции – это геодезический купол с 781 деревянной балкой. Купол запроектирован на снеговую нагрузку в 2,87 КПа и скорость ветра в 130 км/час.

Компания «WesternWoodStructures. INC», работающая в области проектирования ребристо-кольцевых деревянных куполов, впервые построила в Японии купол серии «VARAXdome», рассчитанный на восприятие очень больших снеговых нагрузок и сейсмических воздействий (рис. 32). Ограждающие конструкции купола диаметром 36,6 м покоятся на 3-х системах ребер.



Рис. 32. Вид изнутри на купол «Gymnasium Dome Ashiro» компании «Western Wood Structures. INC»

клефанерные своды из клефанерных полотнищ, в основном, имеют стрельчатое или круглое очертание с затяжкой или с передачей распора непосредственно опорам. Криволинейные плиты покрытия с фанерными обшивками могут быть изготовлены в заводских условиях. Их используют в зданиях с наружным отводом воды с кровли, в отапливаемых зданиях при относительной влажности воздуха в помещениях до 75% и в неотапливаемых зданиях при расчетной температуре наружного воздуха не ниже $t = -5^{\circ}\text{C}$. Целесообразность применения клефанерных плит определяется малым весом при высокой несущей способности, т.к. они выполняют одновременно функции прогонов и настила, а также обеспечивают теплозащиту сооружения. Для их изготовления используют фанеру повышенной водостойкости марки ФСФ, толщиной не менее 8мм, состоящую из нечетного числа слоев шпона хвойных пород сосны и лиственницы, а также комбинированную из березового шпона. В качестве утеплителя применяют негорючие и биостойкие теплоизоляционные материалы: полимерные плиты из пенопласта, пенополиуретана, стекломаты или минераловатные жесткие и полужесткие плиты на синтетическом связующем. Под утеплителем устраивают пленочную или обмазочную пароизоляцию.

Иногда фанерные листы после специальной обработки непосредственно используются как несущий и ограждающий материал [10]. Правда, это возможно для определенных погодных условий. Сооружение, представленное на рис. 33, собрано из фанерных листов $1,2 \times 1,2$ м за 8 дней силами трех рабочих.



Рис. 31. Деревянный купол «Superior Dome», North Michigan University, Marquette, США

Один из самых больших деревянных куполов мира расположен в г. Одате (Япония). Его размеры в плане – 178×157 м в главных осях, высота – 52 м (рис. 26, з). Он больше чем купол в Такоме (рис. 18) длиной 160 м вдоль одной из осей и больше купола над стадионом в Мичигане, США, длиной 163,4 м (рис. 31). Купол в Одате запроектирован архитекторами ToyoItō & Associates, а построен крывает купол сверху. Купол используется как спортивное сооружение и как место проведения многолюдных мероприятий.

Выше вскользь была упомянута оболочка из клееной фанеры (рис. 29, з). Тонкостенные клефанерные своды из клефанерных полотнищ, в основном, имеют стрельчатое или круглое очертание с затяжкой или с передачей распора непосредственно опорам. Криволинейные плиты покрытия с фанерными обшивками могут быть изготовлены в заводских условиях. Их используют в зданиях с наружным отводом воды с кровли, в отапливаемых зданиях при относительной влажности воздуха в помещениях до 75% и в неотапливаемых зданиях при расчетной температуре наружного воздуха не ниже $t = -5^{\circ}\text{C}$. Целесообразность применения клефанерных плит определяется малым весом при высокой несущей способности, т.к. они выполняют одновременно функции прогонов и настила, а также обеспечивают теплозащиту сооружения. Для их изготовления используют фанеру повышенной водостойкости марки ФСФ, толщиной не менее 8мм, состоящую из нечетного числа слоев шпона хвойных пород сосны и лиственницы, а также комбинированную из березового шпона. В качестве утеплителя применяют негорючие и биостойкие теплоизоляционные материалы: полимерные плиты из пенопласта, пенополиуретана, стекломаты или минераловатные жесткие и полужесткие плиты на синтетическом связующем. Под утеплителем устраивают пленочную или обмазочную пароизоляцию.



Рис. 33. Помещение для работы с фанерной крышей [9]

Из вышеперечисленного видно, что купольные покрытия из арочных клеёных деревянных рёбер и сетчатые деревянные своды, позволяющие перекрывать большие пролёты, чаще всего используются для общественных зрелищных и спортивных сооружений. Иногда находят применение оболочки других форм: гипары, оболочки сложных (рис. 34), составных форм и произвольной формы, не поддающиеся математическому описанию (рис. 35).



Рис. 34. Макет деревянной оболочки сложной формы (Savill Garden Gridshell, 25×90 м, высота от 4,5 м до 8,5 м [11])

да их возведения они обладают выразительным архитектурным обликом.

И, наконец, рассмотрим деревянный дом из отесанных вручную бревен, который опирается на монолитный ленточный фундамент, облицованный валунами (рис. 36). Крыша его выполнена в форме гиперболического параболоида. Дощатое покрытие уложено на прямые стропила, которые совпадают с прямыми образующими гипара. Контур крыши также совпадает



Рис. 36. Дом архитектора И. Фирсова (г. Приморск, Финский залив)

элементами оболочек, на опорные конструкции, в обеспечении пространственной устойчивости оболочки. Узлов и сопряжений предложено, разработано и запатентовано огромное множество. Выше уже приведены некоторые сведения о соединении деревянных элементов (рис. 12, 19, 20, 21, 28). Соединение меридиональных ребер верхней точки купола происходит при помощи верхнего опорного кольца. Верхнее опорное кольцо можно принять металлическим, состоящим из трубы с приваренными ребрами. Диаметр верхнего опорного кольца принимается конструктивно. Опирающие нижнее опорное кольцо и меридиональных ребер на нижележащие конструкции происходит с использованием нижнего опорного элемента. Одной из основных технических задач при конструировании узловых сопряжений куполов является создание наконечников, которые бы обеспечивали простоту соединения деревянных стержней с узловыми элементами и были бы способны воспринимать усилия сжатия и растяжения, возникающие от внешних нагрузок. Так как задачей является создание сборно-разборных конструкций, то в качестве наконечников деревянных стержней рационально использовать изделия из металла, например, наконечники, разработанные О.Ю. Дериглазовым [13], слу-

Эффективные дощатые конструкции гиперболических оболочек разработаны Таллиннским политехническим институтом и внедрены на 20 объектах Эстонии. Наряду с простотой конструкций и мето-



Рис. 35. Сетчатая оболочка из дерева. Hannover Expo-2000, Германия

с прямыми образующими гипара. Сверху крыша покрыта дерном. Архитектор И. Фирсов вписал этот дом в окружающую среду, не срубив лишнего дерева [12]. Этот стиль в архитектуре называют *стилем естественной экологии*. Его цели совпадают с целями ноосферной архитектуры.

Узлы, сопряжения и детали деревянных оболочек

Узлы и сопряжения деталей деревянных оболочек играют важную роль в передаче внешних нагрузок на несущие

жашке для образования сборно-разборных узлов деревянного ребристо-кольцевого купола пролетом 12 м. В его техническом решении наконечника обеспечена возможность регулировки длины элемента в осях при сборке и в период эксплуатации.

Если отрезки брусьев геодезического купола точно подогнаны, то можно использовать соединение, показанное на рис. 37.

Рассмотрим некоторые этапы возведения ребристо-кольцевого купола из отдельных досок, соединяемых не на клею, а с помощью болтов. Меридиональные ребра здесь состоят из отдельных досок. Придав доске проектный радиус кривизны, строители фиксировали ее в этом положении. Затем сверху укладывали вторую доску, затем третью и т.д. После все доски меридионального ребра стягивались между собой болтами (рис. 38) и образовывали единую жесткую криволинейную конструкцию. Кольцевые элементы выполнялись из коротких досок, соединяемых гвоздями (рис. 39).



Рис. 37. Узловое соединение геодезического купола



Рис. 38. Меридиональные и кольцевые-ребра ребристо-кольцевого купола из отдельных досок



Рис. 39. Фрагмент ребристо-кольцевого купола [<http://newkarkas.ru/?p=95>]

Некоторые кольцевые доски проходят через меридиональные ребра, не прерываясь (рис. 38). После окончательной сборки на узлы накладывались металлические затяжки (рис. 40) и оформлялись полностью опорные узлы. На рис. 38-40 показан процесс восстановления купола реального исторического объекта.

На рис. 41 хорошо просматривается конструкция деревянного свода с несущими двухъярусными арками со стойками и раскосами, составленными из коротких досок, которые соединены в местах стыковки металлическими зубчатыми пластинами-накладками. Арки опираются непосредственно на железобетонное плоское перекрытие. Такое конструктивное решение возможно при небольших габаритных размерах свода. Для более мощных арок необходим опорный узел с затяжкой. В этом случае на опорный элемент будет передаваться только вертикальная нагрузка, а распор будет восприниматься деревянной затяжкой.

Важное значение придается защите от огня стальных деталей узлов деревянных конструкций. Накладки, защищающие от непосредственного воздействия огня на стальные детали, могут выполняться из досок толщиной 33-35 мм, подвергнутых глубокой пропитке антипиренами, и гипсоволокнистых листов, которые крепятся к деревянным элементам гвоздями.



Рис. 40. Законченный каркас купола

Для предотвращения интенсивного обугливания древесины под стальными соединительными элементами, в узлах между стальной пластиной и древесиной, можно использовать прокладки из трудногораемых и негораемых материалов. Если в узлах исполь-



Рис. 41. Несущий каркас ребристого деревянного свода, ООО "МиТекИндастрисРу"

зуются соединительные элементы в виде накладок из цельной или клееной древесины, то они должны быть подвергнуты огнезащитной обработке. Защита опорных и конькового узлов в распорных конструкциях выполняется с помощью огнезащитных чехлов. Используя зарубежный опыт огнезащиты узлов в деревянных конструкциях, рекомендуется устанавливать стальные элементы узлов в шлицах деревянных элементов. Однако, такой способ защиты усложняет изготовление конструкции за счет повышения требований к точности при сверлении отверстий под нагели и выполнении шлица, а также уменьшает размеры расчетного сечения деревянного элемента в зоне узла. Термостойкость клеев, применяемых при изготовлении деревянных клееных конструкций, может быть повышена за счет введения в их состав различных добавок типа: асбеста, тикола, вибромолотого песка, а для увеличения термостойкости клеев на эпоксидной основе возможна модификация эпоксидной смолы кремнеорганическими соединениями. При разработке мероприятий, направленных на снижение пожарной опасности деревянных конструкций, необходимо уделять особое внимание огнезащите связей, обеспечивающих устойчивость как отдельных несущих конструкций и их элементов, так и пространственную жесткость всего здания.

Заключение

Исследования и усовершенствования конструкций оболочек из естественной и клееной древесины не прерывались ни на один день. Как итог, сейчас мы имеем мощную научную, производственную и архитектурную базу для расширенного внедрения этих оболочечных сооружений в промышленное, складское, гражданское, сельскохозяйственное строительство, в строительство спортивных и культовых сооружений. Возможности значительно расширились после 1960-х годов в связи с появлением клееных деревянных конструкций. Появилось большое количество мелких и крупных фирм и организаций, специализирующихся на проектировании и строительстве деревянных большепролетных структур и оболочек, причем практически каждая строительная фирма имеет свое «ноу- хау», подтвержденное патентами. Необходимо отметить, что клееные деревянные конструкции требуют к себе более бережного отношения, чем традиционные конструкции из железобетона и стали, и на сегодняшний день они еще не стали типовыми конструкциями массового изготовления [14, 15].

Уследить за новейшей информацией, посвященной результатам исследования и усовершенствования конструкций оболочек из естественной и клееной древесины очень трудно, если не заниматься этим профессионально.

Литература

1. Ковальчук Л.М. Деревянные конструкции в прошлом и будущем// ЭЛСТРОЙ, www.elstroy.ru/articles

2. Турковский С.Б., Погорельцев А.А., Преображенская И.П. Клееные деревянные конструкции с узлами на клееных стержнях в современном строительстве (Система ЦНИИСК). – Москва: РИФ «Стройматериалы», 2013г. – 308 с.
3. Орлович Р.Б., Гиль З., Дмитриев П.А. Тенденции в развитии соединений деревянных конструкций в строительстве за рубежом// Изв. вузов. Строительство. – 2004. – №11. – С. 4-9.
4. Хлебной Я.Ф., Пятикрестовский К.П., Турковский С.Б. Натурные экспериментальные исследования сборной оболочки из клееной древесины//Сб.: «Пространственные конструкции в Красноярском крае». – Вып. XIII, Красноярск, 1980г.
5. Пятикрестовский К.П., Соловьёв И.Н. Экспериментально-теоретические исследования коротких цилиндрических оболочек из клеёной древесины на крупномасштабной модели. Часть I// Строительная механика и расчёт сооружений. – 2006. – №2. – С.39-45.
6. Пятикрестовский К.П., Черных О.Г. Исследования совместной работы обшивок и каркаса замкнутой цилиндрической оболочки из клееной древесины и фанеры// Строительная механика и расчёт сооружений. –2007. – №6. –С.73-80.
7. Mackenzie-Helnwein, P., Müllner, H.W., Eberhardsteiner, J. & Mang, H.A. Analysis of layered wooden shells using an orthotropic elasto-plastic model for multiaxial loading of clear spruce wood// Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. – 2005. –194. –PP. 2661-2685
8. Johnson Ph. Roofless Church// Synthart's Journal. – January, 2011. - P.513.
9. Henderson Ch.E. Conic Shelter: thin-shell architecture based on multiConic geometry:
10. Henderson Ch.E. Fascinating habitats// TJCD. – 2006. – May. – P. 48-51.
11. Harris, R., Haskins, S. and Roynon, J. The Savill Garden gridshell: design and construction// The Structural Engineer. – 2008. – 86 (17). –PP. 27-34.
12. Гиндина Е. Параболоид архитектора Фирсова// Идеи вашего дома. – 2005. – № 2(81).
13. Пат. 2298618 Российская Федерация, Ребристый купол / И.С. Инжутов, П.А. Дмитриев, В.И. Жаданов, О.Ю. Дериглазов; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «ТГАСУ» – № 2005132118 заявл. 17.10.2005; опубл. 10.05.2007. – 7 с.
14. Зубарев Г.Н., Бойтемиров Ф.А., Головина В.М., Ковликов В.И., Улицкая Э.М. Конструкции из дерева и пластмасс. – М.: Изд. Центр «Академия», 2003. – 304с.
15. Калугин А.В. Клееные деревянные конструкции в современном строительстве// Промышленное и гражданское строительство. – 2011. – № 7(2). – С. 32-37.

References

1. Kovalchuk, L.M. Wooden structures in the past and future, ELST STROY, www.elstroy.ru/articles
2. Turkovskiy, S.B., Pogoreltzev, A.A., Preobrazhenskaya, I.P. (2013). *Adhesive wooden structures with the units with glue bars in the modern building (the TzNIISK system)*, Moscow: RIF "Stroymaterialy", 308 p.
3. Orlovich, R.B., Gil, Z., Dmitriev, P.A. (2004). Tendencies in the development of units of wooden structures in the building abroad, *Izv. vuzov, Stroitelstvo*, №11, pp. 4-9.
4. Hlebnoy, Ya.F., Pyatikrestovskiy, K.P., Turkovskiy, S.B., (1980). Natural experimental researches of the prefabricated shell made of adhesive wood, *Prostranstv. Konstruktzii v Krasnoyarskom-Krae*, Iss. XIII, Krasnoyarsk.
5. Pyatikrestovskiy, K.P., Solov'yev, I.N. (2006). *Experimental researches of short cylindrical shells made of adhesive wood on the large-scale model*, Part 1, *Stroit. Mekhanikai Raschet Sooruzheniy*, №2, pp.39-45.
6. Pyatikrestovskiy, K.P., Chernykh, O.G. (2007). The investigation of joint work of sheath and frame of a closed cylindrical shell made of adhesive wood and plywood, *Stroit. Mekhanikai Raschet Sooruzheniy*, № 6, pp.73-80.
7. Mackenzie-Helnwein, P., Müllner, H.W., Eberhardsteiner, J. & Mang, H.A. (2005). Analysis of layered wooden shells using an orthotropic elasto-plastic model for multiaxial loading of clear spruce wood, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 194, pp. 2661-2685.
8. Johnson, Ph. (2011). Roofless Church, *Synthart's Journal*, January, 2011, p. 513.
9. Henderson C.E. Conic Shelter: thin-shell architecture based on multi Conic geometry (Internet).
10. Henderson Ch.E. (2006). Fascinating habitats, *TJCD*, May, p. 48-51.

11. Harris, R., Haskins, S. and Roynon, J. (2008). The Savill Garden gridshell: design and construction, *The Structural Engineer*, 86 (17), pp. 27-34.
12. Gindina, E. (2005). Hyperboloid of architect Firsov, *Ideivashagodoma*, № 2 (81).
13. Patent 2298618, Russian Federation, "Ribbed dome", authors *Inzhutov, I.S., Dmitriev, P.A., Zhdanov, V.I., Deriglazov, O.Yu.* (2007). GOU VPO "TGASU", № 2005132118, October 17, 2005; published on May 10, 2007, 7 p.
14. Zubarev, G.N., Boytemirov, F.A., Golovina, V.M., Kovlikov, V.I., Ulitskaya, E.M. (2003). *Structures Made of Timbers and Plastics*, Moscow: «Akademiya», 304 p.
15. Kalugin, A.V. (2011). Adhesive wooden structures in modern building, *Prom. i Grazhdanskoe Stroitelstvo*, № 7(2), pp. 32-37.

**ON HISTORY OF BUILDING OF WOODEN SHELLS AND
THEIR OPPORTUNITIES AT PRESENT AND IN THE FUTURE**

S.N. Krivoshapko* and K.P. Pyatikrestovskiy**

*Peoples Friendship University of Russia, **TzNIISKim. Kucherenko, Moscow

The history of building of wooden shells numbers several centuries. It begins after hipped roofs of tower buildings and church domes. Principally new structures of large-span wooden shells appeared in the 1920th. After this period, the history of building of wooden shells is researched in the manuscript. Review of the ways of development of modern architecture of wooden structures which is directed both towards the creation of the sole unique objects and towards the forming of standard structures, is the aim of this manuscript.

KEY WORDS: wooden vault, wooden dome, adhesivewooden structures, large-span space wooden structures, plywood.

