На правах рукописи

ДЕРИГЛАЗОВ Олег Юрьевич

РАЗРАБОТКА, КОНСТРУИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕРЕВЯННОГО РЕБРИСТО-КОЛЬЦЕВОГО КУПОЛА С БЛОКАМИ ЖЕСТКОСТИ И СБОРНО-РАЗБОРНЫМИ УЗЛАМИ

05.23.01 - Строительные конструкции, здания и сооружения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

003159549

ООЗ15Э54Э

Томск-2007

2 Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования Томском государственном архитек¬турно-строительном университете (ГОУ ВПО ТГАСУ)

Научный руководитель: доктор технически наук, профессор,

Инжутов Иван Семенович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор,

Картопольцев Владимир Михайлович кандидат технических наук, доцент, Пуртов Вячеслав Васильевич.

Ведущая организация: ОАО «ЦНИИПромзданий»

Защита состоится «02» ноября 2007 г. в 1400 часов на заседании диссертаци-онного совета Д 212.265.01 при ГОУ ВПО Томском государственном архитектурно-строительном университете по адресу: 634003 г, Томск, ил. Соляная, 2. 307/5.

Факс: (3822) 65-03-17, e-mail: tsuab@sibmail.com

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ГОУ ВПО Том-ского государственного архитектурно-строительного университета.

Автореферат разослан «££'» сентября 2007 г.

Ученый секретарь диссертационного совета

Скрипиикова Н.К.

з

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Общеизвестно, что пространственные конст-рукции на основе древесины более эффективны по сравнению с плоскостны-ми Они конкурентоспособны и по сравнению с аналогичными конструкция-ми одного класса из других традиционных материалов Легкость конструк-ций из дерева дает возможность (при равенстве суммарного веса) перевезти их в пятнадцать раз больше по сравнению с металлическими, а, следователь¬но, в пятнадцать раз сократить расходы на эти цели

Одними из наиболее распространенных пространственных конструк-ций с применением древесины являются ребристо-кольцевые купола Ку-польные покрытия из сборных деревянных элементов удачно сочетают в себе архитектурную выразительность и эффективность пространственных конст¬рукций с технологичностью арочных Между тем, широкое внедрение купо¬лов сдерживается отсутствием или недостаточной проработкой в норматив¬ной, научно-технической и справочной литературе указаний и рекомендаций по конструированию и расчету таких конструкций Также не имеется обстоя¬тельных исследований куполов с учетом изменения физико-механических свойств древесины в процессе эксплуатации, обусловленных существенной податливостью в узловых соединениях конструкций, изменчивостью прочно¬сти и деформативности древесины в зависимости от длительности действия нагрузки, физической нелинейностью древесины

Задачи повышения надежности, прочности и долговечности конструк¬ций и сооружений, эффективного их использования, снижения материалоем¬кости и стоимости во все времена остаются важнейшей целью строительной отрасли

Поэтому разработка, исследование и совершенствование купольных конструкций на основе древесины не только актуальны, но и определяют но¬визну

Объект исследования: деревянный ребристо-кольцевой купол с бло-ками жесткости

Предмет исследования: конструкторские особенности и напряженно-деформированное состояние деревянного ребристо-кольцевого купола

Цель работы: разработка, конструирование и исследование деревян-ного ребристо-кольцевого купола с блоками жесткости и сборно-разборными узлами, отвечающими требованиям быстрого монтажа и демонтажа, оценка влияния податливости узлового соединения, длительности действия нагрузки и физической нелинейности древесины

Задачи исследования:

- обобщить и проанализировать опыт конструкторских разработок в направлении предпринятых автором исследований,

- разработать новую конструктивную форму ребристо-кольцевого ку-пола с блоками жесткости,

4

- разработать новые технические решения узлов для полученной кон-структивной формы купола, обладающие надежностью, экономичностью, отвечающие требованиям быстрого монтажа и демонтажа,

- провести численный эксперимент для исследования напряженно-деформируемого состояния ребристо-кольцевого купола с использованием программных комплексов «SCAD» и «ЛИРА»,

- провести физический эксперимент по исследованию пролетного узла ребристо-кольцевого купола, выполненного в натуральную величину, с це¬лью изучения характера его работы и проверки достоверности численного эксперимента,

- разработать рекомендации по расчету, конструированию и изготов-лению деревянных ребристо-кольцевых куполов с блоками жесткости и сборно-разборными узлами,

- осуществить внедрение результатов исследований в практику проек¬тирования и строительства

Методология работы.

Физический эксперимент выполнялся с использованием современного аттестованного измерительно-вычислительного оборудования в лаборатории деревянных конструкций при Томском государственном архитектурно-строительном университете и в лаборатории испытания строительных конст¬рукций Института архитектуры и строительства Сибирского федерального университета, что обеспечило необходимую достоверность полученных ре¬зультатов

Научная новизна работы:

- обоснована и исследована новая конструктивная форма ребристо-кольцевого купола с блоками жесткости (новизна подтверждена патентом РФ на изобретение № 2298618),

- предложены и исследованы новые варианты узловых соединений ку¬пола,

- разработана расчетная модель конструкции ребристо-кольцевого купола с блоками жесткости,

- оценены влияния податливости узлового соединения, длительности действия нагрузки и физической нелинейности древесины на напряженно-деформированное состояние ребристо-кольцевого купола с блоками жестко-сти

Практическая значимость работы: разработаны до стадии альбомов рабочих чертежей конструкции ребристо-кольцевых куполов с блоками же¬сткости, выполненных из цельной древесины для пролетов от 9 до 36 м, об¬ладающие прочностью, надежностью и долговечностью, а также мобильно¬стью и малой массой, применяемые для быстровозводимых зданий Предло¬жены рекомендации по формообразованию, конструированию, расчету, изго¬товлению, сборке и монтажу ребристо-кольцевых куполов, позволяющие

5

снизить материалоемкость, трудоемкость изготовления и стоимость «в деле» по сравнению с известными типовыми решениями

Достоверность теоретических положений, расчетных и физических моделей, обоснованность выводов обеспечивается корректностью поставлен¬ных задач и использованием общепринятых в механике твердого деформиро¬ванного тела и строительной механике гипотез и допущений Сравнение ре¬зультатов численного эксперимента, выполненного посредством ВК «ЛИРА, лицензия № 521821425» и «SCAD, лицензия № 2E2DDBFB», подтверждают¬ся хорошим согласованием с данными, полученными в ходе физического эксперимента

Реализация результатов диссертационной работы:

Результаты исследований использованы при проектировании реальных конструкций разработанного ребристо-кольцевого купола в Красноярском «Гражданпроекте», ОАО «Томскводпроекте», ООО СП «Рекон» (г Томск), ООО «Сибирской строительной компании - ТМ» (г Томск)

Личный вклад диссертанта состоит

- в разработке конструктивной формы ребристо-кольцевого купола с блоками жесткости,

- в разработке технических решений сборно-разборных узлов купола,

- в разработке методики и проведении численного эксперимента реб-ристо-кольцевого купола с блоками жесткости,

- в разработке методики и проведении численного и физического экс-периментов пролетного узла ребристо-кольцевого купола

На защиту выносятся:

- Разработанное автором конструктивное решение ребристо-кольце-вого купола с блоками жесткости и сборно-разборными узлами,

- методика и результаты численных экспериментов по исследованию НДС разработанного купола с учетом влияния податливости узлового соеди¬нения, длительности действия нагрузки и физической нелинейности древеси¬ны,

- результаты натурного испытания пролетного узла ребристо-кольце-вого купола пролетом 12 м,

- рекомендации по проектированию, изготовлению, сборке и монтажу деревянных ребристо-кольцевых куполов с блоками жесткости,

Апробация работы.

Материалы диссертации были доложены, обсуждены и получили по-ложительную оценку на научно-технических конференциях НГАСУ (Ново-сибирск, 2005-2006 г г), на региональных научно-технических конференциях «Проблемы строительства и архитектуры» (Красноярск, 2005-2007 г г), на Международном симпозиуме «Современные строительные конструкции из металла, дерева и пластмасс» (Одесса, 2006 г), на Международной научно-технической конференции молодых ученых (аспирантов, докторантов) «Ак¬туальные проблемы современного строительства» (Санкт-Петербург, 2007 г )

6

Публикации.

По материалам диссертационных исследований получен 1 патент РФ на изобретение, опубликованы 1 авторская (3 стр ) и 1 соавторская (8 стр) статьи в журналах, входящих в перечень ВАК РФ Всего по теме диссертации опубликовано 8 печатных работ

Объем и структура диссертации.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, рекоменда-ций, общих выводов, списка литературы из 171 наименования, в том числе 25 наименований на иностранных языках Общий объем работы 183 страницы, 84 рисунка, 9 таблиц

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность проводимых исследований, дана краткая характеристика состояния вопроса, сформулирована цель рабо¬ты, раскрыта ее научная новизна и практическая ценность полученных ре¬зультатов

Отмечается, что проблемами совершенствования конструкторских ре-шений, расчетами и исследованиями различных видов соединений элементов посвящены работы многих ученых В А Большакова, П А Дмитриева, А А Журавлева, Е М Знаменского, Г Н Зубарева, В Ф Иванова, И С Инжутова, Г Г Карлсена, М Е Когана, В Г Котлова, В М Коченова, Л Р Куправа, Б В Лабудина, Б К Михайлова, В А Освенского, В В Пуртова, К П Пятикре-стовского, Ю В Слицкоухова, В В Стоянова, А В Туркова и др Вопросы изучения изменения физико-механических свойств древесины в процессе эксплуатации и длительности действия нагрузки рассмотрены в трудах В В Быкова, С М Ванина, Е Н Квасникова, Р Б Орловича, Е М Панюжева, Л М Перелыгина, А В Прыгункова, Е Н Серова, В А Цепаева, В В Фурсова и др

В первой главе приведен краткий исторический обзор развития ку-польных конструкций в мировой и отечественной практике Автором отмеча-ется какие величайшие купольные конструкции были построены Из них вы-деляется купол Пантеона, это самый большой купол в мире XIX века, его диаметр 43,5 м Среди сооружений новейшего времени, особенно замеча-тельными по своей величине, искусной конструкции и изяществу являются купола московского храма Христа Спасителя и петербургского Исаакиевско-го собора

Анализ современных конструктивных решений купольных покрытий с применением древесины показывает, что наиболее широкое распространение в гражданском и промышленном строительстве получили ребристо-кольцевые купола Конструктивные решения таких куполов можно предста¬вить следующими примерами Спортивный зал с деревянным куполом в Монтана (США), пролет которого 91,5 м, высота 15,3, основными несущими элементами которого являются меридиональные арки - ребра Уникальное

7

здание Олимпийского тренировочного комплекса в Такома (США) с дере-вянным куполом диаметром 256 м является самым крупным в мире по разме-ру пролета из клееной древесины

Также в первой главе приводятся области рационального применения сборных деревянных куполов, и дается обзор методов расчета ребристо-кольцевых куполов

Во второй главе приведен анализ формообразования, приведен при-мер реализации положений в разработке ребристо-кольцевого купола проле¬том 12 м с различными конструктивными решениями узловых сопряжений

При разработке опытной конструкции автор исходил из целесообраз-ности, необходимости и возможности использовать рациональную конст-руктивную форму, эффективно использовать свойства применяемых в конст-рукциях материалов, руководствоваться принципом упрощения конструк-тивной формы при одновременном уменьшении общей массы конструкции; создать сборно-разборную конструкцию с отсутствием врубок, подтесок и т п, конструировать узлы с учетом требований скоростного монтажа и де-монтажа, многократного использования, транспортабельности конструкций, мобильности, наделить конструкцию высокими эстетическими качествами, простотой устройства проемов - ворот, дверей, окон, выполнения конструк-ции и из других современных материалов и изделий, обеспечения простран-ственной работы купольной конструкции постановкой системы связей

Обоснованию выбора геометрической схемы купола автор уделил осо¬бое внимание, поскольку именно от этого зависят число типоразмеров эле¬ментов, конструкция узлов сопряжения, способы изготовления и монтажа элементов и, в конечном итоге, эффективность и надежность конструкции.

Предложенная новая (патент РФ на изобретение № 2298618) конструк¬тивная форма купола, которая базируется на синтезе наилучших свойств двух систем разрезки, меридионально-кольцевой и звездчатой

Рис 1 Меридионально-кольцевая разрезка (а) и разрезка сферы двумя

пучками меридиональных плоскостей с взаимно перпендикулярны¬ми осями (б)

Суть меридионально-кольцевой системы разрезки заключается в чле-нении поверхности вращения меридиональными и параллельными плоско-стями на треугольные (у полюса) и трапециевидные элементы (рис 1)

8

К достоинствам этой системы, по мнению автора, следует отнести простоту формы и исполнения узловых сопряжений элементов К очевидным недостаткам можно отнести неэффективность работы при воздействии не-симметричных нагрузок, что может быть устранено в многосвязной системе, например, в системе звездчатого типа

При выполнении звездчатой системы разрезки (рис 2) на сферический сегмент наносится сеть меридианов Каждый полученный участок делится четырехугольными ячейками таким образом, чтобы два противоположных узла ячейки располагались на одном меридиане, а два других - на одной па-раллели

Рис 2 Звездчатая система

а - на основе сети Чебышева, б - на основе сети локсодромий

К недостаткам звездчатой системы можно отнести достаточно боль-шое количество стержней, сходящихся в узле, что приводит к существенному усложнению конструкции узловых элементов

Предложенная автором шахматная система разрезки (рис 3) устраняет основной недостаток звездчатой системы - сгущения сетки, и в тоже время, обладает прочностью и жесткостью при действии несимметричных нагруз¬ках Жесткость конструкции придают раскосы, образующие ромб (блок же¬сткости), который располагается в плоскости трапециевидных секций купола и раскрепляет их своими вершинами середины длин, тем самым разгружая сходимость элементов в узле и уменьшая расчетную длину меридиональных и кольцевых стержней

Рис 3 Шахматная система разрезки

Использование адресной установки блоков жесткости позволяет, в первую очередь, исключить из общей работы большое количество малона-груженных связей, достичь экономии материала на изготовление купола, а также снизить его массу, что является весьма актуальным, в частности, для сейсмоопасных районов Помимо этого значительно снижается трудоем-кость, т к чем меньше связей, тем проще возвести купол

9

В качестве примера реализации шахматной системы разрезки купола автором был разработан до стадии альбома рабочих чертежей деревянный ребристо-кольцевой купол с блоками жесткости, расставленными в шахмат-ном порядке (рис. 4).

Рис. 4. Деревянный ребристо-кольцевой купол с блоками жесткости, расставленными в шахматном порядке

Ребристо-кольцевой купол имеет вид сегмента, вписанного в сферу радиусом 12 м и высотой 4 м. Отношение стрелы подъема к пролету купола составляет 1:3. Площадь купола составляет 113 м~. Объем внутреннего про-странства составляет 235 м3. Купол образован двенадцатью меридиональны¬ми ребрами (каждое ребро образовано тремя панелями), тремя кольцами про¬гонов, сорока восьмью раскосами. В целях унификации панели всех мери¬диональных ребер имеют длину в осях 2,5 м. Меридиональные ребра распо¬лагаются на сфере с углом поворота 30 .

Соединение меридиональных ребер в верхней точки купола происхо-дит при помощи верхнего опорного кольца (рис. 5, а). Верхнее опорное коль-цо принято металлическим, состоящим из трубы и усилено приваренным листом железа. Диаметр верхнего опорного кольца принимался конструктив¬но минимальным, равным 450 мм.

Труїм

УіЛийніі

'І. I

Рис. 5. Опорные элементы:

а - верхнее опорное кольцо; б - нижний опорный элемент

1(1

Опирание нижнего опорного кольца и меридиональных ребер на ни-жележащие конструкции происходит с использованием нижнего опорного элемента (рис. 5, б), который в рассматриваемом случае состоит из опорной металлической площадки, на которую опирается отрезок трубы.

Покрытие купола предусмотрено из сборных утепленных панелей с креплением в узлах каркаса купола.

С точки зрения автора, одной из основных технических задач при кон¬струировании узловых сопряжений куполов является создание наконечников, которые бы обеспечивали простоту соединения деревянных стержней с узло¬выми элементами и были бы способны воспринимать усилия сжатия и рас¬тяжения, возникающие от внешних нагрузок. Гак как задачей является созда¬ние сборно-разборных конструкций, то в качестве наконечников деревянных стержней рационально использовать изделия из металла.

Анализ научно-технической литературы свидетельствует о том, что до настоящего времени проблема поиска эффективных решений сопряжения стержней многоугольных ребристо-кольцевых куполов остается актуальной.

Ниже изображено одно из ряда разработанных автором решений нако¬нечника стержней, представляющее наибольший технический интерес. Дан¬ный наконечник (РКК-12-СРДЗ) служит для образования сборно-разборных узлов деревянного ребристо-кольцевого купола пролетом 12 м (рис. 6).

Рис. 6. Техническое решение наконечника РКК-12-СРДЗ: 1 - узловой эле-мент; 2 — шаровая опора; 3 - деревянный стержень; 4 - болт; 5 - упорное кольцо; 6 - Г-образная пластина; 7 - шпилька; 8 - хомут

В представленном техническом решении наконечника РКК-12-СРДЗ обеспечена возможность регулировки длины элемента в осях при сборке и в

11

период эксплуатации, вкручивая или выкручивая болт (4) Так же данное ре-шение наконечника позволяет исключить возможность возникновения изги-бающих моментов UX, UY, UZ в стержне за счет использования шаровых опор (2), что для пространственных стержневых конструкций является весь-ма важным

Предлагаемая конструкция ребристо-кольцевого купола применяется в зданиях различного назначения, в том числе в сельской местности - в куль-турно-бытовых, производственных, складских одноэтажных зданиях и со-оружениях В гражданском строительстве целесообразно применение разра-ботанного деревянного ребристо-кольцевого купола в покрытии залов, обще¬ственных зданий, выставочных павильонов, рынков, зданий физкультурно-оздоровительных комплексов, в малоэтажном домостроении В промышлен¬ном строительстве деревянные ребристо-кольцевые купола могут применять¬ся в одноэтажных отапливаемых и неотапливаемых зданиях

Таблица 1

Показатели расхода основных материалов ребристо-кольцевых куполов с

различными конструктивными решениями меридиональных арок

Схема и тип купола

Расход материалов на купол/на 1м2

Древесина, м Сталь, кг

Многоугольный из цельных брусьев

1080 9,5

970 8,6

1.96 0,017

РКК-12-СРД1

952 8,4

РКК-12-СРД2 РКК-12-СРДЗ

Конический из прямо¬линейных клееных балок

2,61 0,023

881

7,8

Сферический из гну-токлееных балок

2.52 0,022

881 7,8

В табл 1 приведены данные по расходу основных материалов разрабо¬танного купола пролетом 12 м с тремя различными видами наконечников, а

12

также в качестве сравнительного примера представлен расход древесины и стали ребристо-кольцевых куполов с традиционными конструктивными ре-шениями меридиональных арок на 1 м2 плана (для IV снегового района) Из данных табл 1 следует, что в куполах с многоугольными ребрами расход древесины меньше на 28-33 % при перерасходе металла на 8 % Однако, сле-дует иметь в виду, что стоимость прямолинейных клееных элементов в 5-6 раз дороже неклееной древесины, а стоимость криволинейных клееных эле-ментов на 30 % выше, чем прямолинейных клееных

В третьей главе приведены результаты численного эксперимента и оценка напряженно-деформированного состояния разработанного ребристо-кольцевого купола с блоками жесткости с учетом влияния податливости уз¬лового соединения, длительности действия нагрузки и физической нелиней¬ности древесины

Задачи численного эксперимента являлись следующее изучить с ис-пользованием вычислительных комплексов «SCAD» и «Лира» НДС деревян-ный ребристо-кольцевой купол с блоками жесткости с учетом влияния по-датливости узлового соединения, исследовать влияние схемы расстановки блоков жесткости на НДС куполов с контрастными схемами, выявить зави-симость деформаций и усилий исследуемого купола при длительных нагруз-ках, выявить зависимость деформаций и усилий исследуемого купола с уче-том физической нелинейности древесины

Объектом численного эксперимента являлся деревянный ребристо-кольцевой купол с блоками жесткости, расставленными в шахматном поряд-ке пролетом 24,0 и высотой 6,0 м, образованный шестнадцатью меридио-нальными ребрами, пятью кольцами прогонов, тридцатью двумя раскосами Панели меридиональных ребер имели длину 2,73 м Сечения всех элементов равны d = 120 мм

Элементы расчетной схемы моделировались для признака схемы № 5 (шесть степеней свободы в узле) В качестве конечного элемента был выбран универсальный пространственный стержень КЭ-10, имеющий возможность располагаться в плоскости произвольно Узлы ребристо-кольцевого купола в расчетной схеме принимались шарнирными

Напряженно-деформированное состояние ребристо-кольцевого купола изучалось по пространственной схеме от действия сосредоточенных сил, приложенных в узлы сходимости меридиональных и кольцевых элементов Расчет выполнялся для двух схем загружения

- полная нагрузка (снеговая для IV района и постоянная) приложена симметрично к куполу,

- постоянная нагрузка приложена симметрично по всей поверхности купола, а снеговая - несимметрично

Заметим, что наибольшие значения несимметричных снеговых нагру-зок прикладывались в четверти пролета купола

13

Расчет узловых соединений конструкций на основе древесины прово-дили по деформируемой схеме с использованием условного модуля деформа¬тивности Еу

Условный модуль деформативности вычислялся в соответствии с ме-тодикой, разработанной И С Инжутовым, А Ф Рожковым по формуле

Е Е

где Е - исходный модуль упругости, 5 - расчетное предельное значение де-формаций податливости, принимаемое в зависимости от предельной дефор-мации узлового соединения (на лобовых врубках и торец в торец - 1,5 мм, на нагелях всех видов - 2,0 мм, в примыканиях поперек волокон - 3,0 мм), 1 - длина стержня, м, к,ф - коэффициент учитывающий кратковременность действия нагрузки, при кратковременной нагрузке k,,, = 0,5, при длительной -ккр = 1, Rc„ - расчетное сопротивление древесины местному смятию.

Заметим, что в этом методе условный модуль деформативности стержня не зависит от величины продольного усилия и площади поперечного сечения элемента

Длительный модуль упругости, зависящий от влажности древесины и длительности эксплуатации конструкций с учетом развития деформаций по-следействия, рассчитывался в соответствии с методикой, разработанной В А Цепаевым по формуле

EOT(c») = E» т(т,ш), (2)

где ЕЦ(со) - кратковременный модуль упругости, определяемый для древеси-ны хвойных пород с влажностью ю (%), т(т,ю)- коэффициент длительной

деформативности при действии неизменной нагрузки в течение всего срока службы конструкций

Учет в расчетах неупругих деформаций древесины позволяет выявить дополнительные резервы несущей способности конструкции В основу со-временных расчетов строительных конструкций положены диаграммы де-формирования конструкционных материалов

Автором были проведены экспериментальные исследования стандарт¬ных образцов древесины сосны при растяжении и сжатии Всего испытано по 10 образцов для каждого вида напряженного состояния Эксперименты про¬ведены в разрывной машине Р-5 на действие статической нагрузки Дефор¬мации образцов измерялись посредством тензометрических преобразовате¬лей Измерения проведены в реальном масштабе времени расчетно-измерительным комплексом

14

Результаты экспериментов представлены в виде диаграмм растяжения и сжатия на рис 7

МПа А

1 • растяжение -

> ч"

"» \*\*А Сжатие

, .-: Рор PZP .

,•"' : , Ъ

S-10

4 8 12 16 20 24 283236404443523660

Рис 7 Диаграмма а-е для стандартных образцов древесины сосны при растяжении и сжатии вдоль волокон

Предел пропорциональности при сжатии составил pDP =15 МПа Соот-ветствующие деформации єс= 15 10"4 Сжатые образцы разрушены напряже-нием сс max = 32,3 МПа При растяжении упругие деформации не превысили Єр = 35 К)-4

ЕС1 = 0,005xf +0,514xj +14,24 , -0,001х\*+0,473х,+34,49

Полученные диаграммы работы образцов были аппроксимированы и представлены в виде уравнений

сжатие

(3)

растяжение £р, = -u,vv IXj + и,473х2 + 34,4У (4)

Неизвестными X] и х2 приняты значения точек аппроксимации, распо-ложенных по оси абсцисс, Е0 и єр - соответствующие им полученные дефор-мации для сжатия и растяжения

Физическую нелинейность учитывали предложенным автором коэф-фициентом относительных напряжений к, отражающим запас несущей спо-собности конструкции при возможном увеличении временной нагрузки или при уменьшении расчетного сечения стержней

R '

(5)

где а, - значения сжимающих напряжений, для сжатых и растянутых стерж-ней, RB - нормативное значение расчетного сопротивления

Физически нелинейный модуль упругости Еф, определяемый для об-ласти неупругих деформаций вследствие учета коэффициента относительных напряжений к, определялся по формулам

15

-сжатие Ефс =-ЇІ = —->—, (6)

в., Ф F євІ

о N

- растяжение Еф = -^ = —-J—, (7)

8Р, F «V где Ос,,, ор>1 - значения сжимающего напряжения в і-точке кривой диаграммы о-е для сжатых и растянутых стержней соответственно, sCj„ £p>t -деформации для 1-точки кривой диаграммы о-є для сжатых и растянутых стержней соот¬ветственно, N, - возникающее в стержнях купола продольное усилие, ср -коэффициент продольного изгиба, F - площадь поперечного сечения элемен¬та с учетом его ослабления

Результаты исследования показали, что при действии симметричной статической нагрузки напряженно-деформированное состояние панелей ме-ридиональных ребер не зависит от количества и месторасположения блоков жесткости

При исходном модуле упругости и несимметричном статическом на-гружении купола наибольшие расчетные значения перемещений узлов соста¬вили 1/900 диаметра купола

Учет податливости узловых соединений приводит к увеличению рас-четных значений перемещений узлов до 1/760 диаметра купола

Учет длительности действия нагрузки приводит к дальнейшему увели¬чению расчетных значений перемещений узлов до 1/580 диаметра купола

Учет коэффициента относительных напряжений, который в нашем случае принимался равный k = 2,15, и физически нелинейного модуля упру-гости позволяют увеличивать расчетные значения перемещения узлов до 1/330 диаметра купола

Сопоставляя картину деформирования куполов с контрастными схе-мами расстановки блоков жесткости (блоки жесткости отсутствуют РК-1, блоки жесткости расположены в шахматном порядке по поверхности полу-сферы РК-2, блоки жесткости расположены по всей поверхности полусферы РК-3), установлено, что разница значений нормальных усилий для всех трех схем куполов находится в пределах 13 % При установке блоков жесткости во все ярусы и секции купола (схема РК-3) расчетные значения перемещений узлов достигают 1/2600 диаметра, при схеме РК-2 - 1/760 диаметра, при схе¬ме РК-1 - 1/40 диаметра купола

В четвертой главе приведена методика численного и физического экспериментов по исследованию НДС пролетного узла ребристо-кольцевого купола, выполненного в натуральную величину, с техническим решением наконечника РКК-12-СРДЗ

Для проведения физического эксперимента была разработана и ис-пользована установка, предназначенная для испытания пролетного узла реб-

16

ристо-кольцевого купола в лабораторных условиях на усилия сжатия и рас-тяжения (рис. S).

Рис. 8. Схема обозначения основных элементов испытательной установки:

] - силовой пол; 2 - швеллер №1; 3 - швеллер №2; 4 - панель мери-дионального элемента; 5 - панель кольцевого элемента; 6 - домкрат;

7 - силоизмерительный датчик (динамометр); 8 - опорный башмак

(для сжатых элементов); 9 - опорный башмак (для растянутых элемен¬

тов); 10 - узловой элемент

Конструкция была подвергнута испытаниям статической нагрузкой. Интенсивность нормативной нагрузки, сосредоточенно приложенной вдоль оси стержней меридиональных элементов, составляет 20 кН. Нагрузку созда¬вали при помощи механических 5 т домкратов и контролировали ее силоиз-мерительными датчиками (рис. 9, а).

Перед основным испытанием конструкции проводилось пробное за-гружение, принимаемое 10 % от нормативной нагрузки, которое позволяло проверить правильность установки приборов и их способность измерять де-формации, удобство осуществления загрузки конструкции, согласованность работы членов испытательной бригады.

8 ходе эксперимента величину испытательной нагрузки делили на де¬

сять частей. Величину ступени нагрузки принимали равной 10 % или 2 кН от

нормативной. После приложения каждой ступени нагружения конструкция

выдерживалась под нагрузкой 10 мин, время контролировалось секундоме¬

ром.

В ходе эксперимента измеряли: - вертикальные перемещения узла при помощи датчика перемещений с тензорезистивной схемой измерения (рис. 9, б);

17

- горизонтальные перемещения узла при помощи отвеса и жестко за-крепленных на основании стенда миллиметровых линеек по направлению X иУ;

- напряжения в элементах с помощью проволочных тензорезисторов типа КФ с базой 20 мм и 10 мм (для деревянных и стальных элементов соот-ветственно). В качестве регистрирующего устройства использовали измери-тельно-вычислительный комплекс (ИБК) М1С-400, заводской № 40104, кото¬рый имеет сертификат об утверждении типа средств измерений RU.C.34.010.A № 9569 ГОССТАНДАРТа России.

Рис. 9. Измерительные датчики: а) силоизмерительный; б) перемещений

Силоизмерительные датчики и датчики перемещений разработаны в лаборатории автоматизации эксперимента при кафедре ЖБиКК ТГАСУ.

Всего в испытании узлз было использовано: тензорезисторов - 20, датчиков вертикальных перемещений - 1, отвесов - 5, силоизмерительных датчиков - 2.

Для построения расчетной модели с действительными упругими меха¬ническими характеристиками цельной древесины были произведены испыта¬ния стандартных образцов. В результате эксперимента были определены зна¬чения модулей упругости, которые составили; вдоль волокон - 9820 МПа; поперек волокон - 385 МПа.

Численный эксперимент по определению НДС пролетного узла ребри¬сто-кольцевого купола выполнялся с учетом полученных действительных механических характеристик древесины и податливости соединений посред¬ством вычислительных комплексов «SCAD» и «Лира».

В численном эксперименте автор счел необходимым учесть возмож-ные неблагоприятные факторы, которые могут возникать вследствие техно-логических допусков. Неблагоприятные факторы (эксцентриситеты, возни-кающие в результате расцентровки осей стержней в узле) моделировались в расчетной схеме жесткими вставками. Величина жесткой вставки принима-лась равной 4 мм по ГОСТ 21779-82 для 6 класса точности.

Жесткостные характеристики для древесины в расчетной схеме были приняты следующие: условный модуль деформативности, полученный по

18

формуле (1), значение которого составило Еу = 5557 МПа, коэффициент Пу-ассона принимался ц = 0,5, плотность древесины р = 5,5 кН/м3

В пятой главе изложен анализ результатов численного и физического экспериментов Дана оценка технологичности изготовления натурной конст-рукции Выполнена оценка несущей способности и деформативности разра-ботанного пролетного узла ребристо-кольцевого для купола пролетом 12 м с учетом неблагоприятных факторов

Изготовление, сборка и монтаж пролетного узла купола выполненного в натуральную величину подтвердили технологичность принятого конструк¬тивного решения и соответствие конструкции скоростному монтажу и де¬монтажу

Выполненный численный эксперимент пролетного узла ребристо-кольцевого купола позволил выявить, что начальные эксцентриситеты влия-ют на значения расчетных перемещений не более 1-2 % Наибольший выгиб узла составил 1/478 диаметра купола, наибольшее усилие в стержнях - 20 кН

Физический эксперимент показал, что опытная конструкция характе-ризуется малой деформативностью при нормативной нагрузке наибольший выгиб узла составил 1/438 диметра купола

Разработанная конструкция пролетного узла купола обладает доста-точной прочностью, жесткостью и надежностью с коэффициентом безопас-ности 1,2, и может быть рекомендована для использования ее в составе ку-польного покрытия, а разработанная конструктивная форма ребристо-кольцевого купола - к применению в строительстве

В конце диссертации приводятся рекомендации по конструированию, расчету и изготовлению деревянных ребристо-кольцевых куполов с блоками жесткости Указана технология изготовления, сборка и монтаж разработан¬ной конструкции, а также представлена огне-биозащита древесины и метал¬ла

Произведена сравнительная оценка экономической эффективности ребристо-кольцевых куполов с контрастными конструктивными схемами (рис 10)

^ П (руб/м )

і

РХК-12-СРДЗ

- Шмс

1000 900 800 700 600 500

0 0,1 0,2 0,¾ 04 0S Об О,"\* 0,8 0 9 10

Рис 10 Изменение приведенных затрат

19

Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю -доктору технических наук, профессору Ивану Семеновичу Инжутову, докто¬ру технических наук, профессору Петру Андреевичу Дмитриеву за ценные консультации во время работы над диссертацией, а также коллективам ка¬федр «МиДК» ТГАСУ и «СК» ИАС СФУ за внимание, помощь и критиче¬ские замечания, сделанные в процессе подготовки диссертационной работы

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1 Сформулированы принципы формообразования и конструирования реб-ристо-кольцевого купола со связями с применением калиброванного, в том числе тонкомерного бревна, для зданий различного функционально¬го назначения Предложена новая конструктивная форма ребристо-кольцевого купола, техническая новизна которой подтверждена патентом РФ на изобретение

2 Проведен конструкторский поиск рациональных узловых сопряжений деревянного ребристо-кольцевого купола Разработано три варианта тех¬нических решений узлов сопряжения элементов купола Установлено, что наименее металлоемким является узел, основанный на наконечнике РКК-12-СРДЗ

3 В результате численного эксперимента установлено, что учет податли-вости узловых соединений приводит к увеличению расчетных значений перемещений узлов до 1/760 диаметра купола, учет длительности дейст¬вия нагрузки приводит к дальнейшему увеличению расчетных значений перемещений узлов до 1/580 диаметра купола, учет коэффициента отно¬сительных напряжений к = 2Д5 и физически нелинейного модуля упру¬гости увеличивает расчетные значения перемещения узлов до 1/330 диа¬метра купола

4 Анализ результатов численного и физического экспериментов пролетно-го узла ребристо-кольцевого купола позволил установить, что опытная конструкция характеризуется малой деформативностью, технологично-стью принятого конструктивного решения и высокой скоростью монтажу и демонтажу Показано, что начальные эксцентриситеты узловых сопря¬жений стержней влияют на значения перемещений узла не более, чем на 2 %

5 Значения перемещения пролетного узла купола составили 1/478 диаметра купола при численном эксперименте и 1/438 диаметра купола при физи¬ческом эксперименте

6 Разработанная конструкция пролетного узла купола обладает достаточ¬ной прочностью, жесткостью и надежностью с коэффициентом безопас¬ности по нагрузке 1,2

20

7 Сравнительная оценка экономической эффективности ребристо-кольце¬вых куполов с различными конструктивными схемами показывает, что предлагаемая конструкция является конкурентоспособной

Публикации по теме диссертации Статьи в журналах, включенных в перечень ВАК

1 Инжутов, И С Ребристо-кольцевой купол со сборно-разборными узлами / И С Инжутов, П А Дмитриев, О.Ю. Дериглазов // Изв вузов Строи-тельство 2007 - № 4 (доля автора 50 %)

2 Дериглазов, О.Ю. Экспериментальное обоснование модуля упругости в численных расчетах конструкций из древесины сосны / О Ю Дериглазов // Вестник ТГАСУ 2007 - № 3 (доля автора 80 %)

Статьи в других печатных изданиях

3 Дериглазов, О.Ю. Ребристо-кольцевой купол с расставленными в шах-матном порядке раскосами / О Ю Дериглазов, Д Г Копаница, И С Ин-жутов, П.А Дмитриев // Современные строительные конструкции из ме-талла и древесины сб науч тр - Одесса ОГАСА, ВАК Украины 2006 -С 58-62 (доля автора50%)

4 Дериглазов, О.Ю. Информационный листок «Пространственно-стерж-невой купол диаметром 12 м» опубликован в БД «Промышленные инно-вации» Томского ЦНТИ под № 72-060-05,2005 -2 с (доля автора 80 %)

5 Дериглазов, О.Ю. Деревянные купольные здания базы отдыха «Даур-ское» КрасГАСА / О Ю Дериглазов, Д А Куклина, В А Колесников // Проблемы строительства и архитектуры сб материалов XXIV регион научно - технич конф -Красноярск КрасГАСА 2006 -С 56-58 (доля автора 50 %)

6 Дериглазов, О.Ю. Опыт изготовления деревянного геодезического ку-пола диаметром 9 м / О Ю Дериглазов, А В Баранов, С А Чибирьков, М И. Хасанов // Проблемы строительства и архитектуры сб материалов XXV регион научно - технич конф - Красноярск ИАС СФУ, 2007 -С 34-36 (доля автора 50 %)

7 Дериглазов, О.Ю. Опытно-конструкторская разработка ребристо-кольцевого купола / О Ю Дериглазов // Актуальные проблемы совре-менного строительства сб материалов 60-й междунар научно - технич конф - СПб СПбГАСУ, 2007 (доля автора 80 %)

Патент

8 Пат 2298618 Российская Федерация, МПК7 Е 04 В 7/08, Е 04 В 1/32

Ребристый купол / И С Инжутов, П А Дмитриев, В И Жаданов, О.Ю.

Дериглазов , заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «ТГАСУ» -

№2005132118 заявл 17 102005, опубл 10 05 2007 -7 с (доля автора

25 %)

21

Подписано в печать 27 09 О7. Формат 60x90/16 Бумага офсет Гарнитура Тайме, печать офсет Уч -изд л 1 Тираж 100 экз Заказ К°££"9

Изд-во ТГАСУ, 634003, г Томск, пл Соляная, 2

Отпечатано с оригинал - макета в ООП ТГАСУ

634003, г Томск, ул Партизанская, 15