На правах рукописи

НИКИТИН Вадим Михайлович

КРУПНОРАЗМЕРНЫЕ РЕБРИСТЫЕ ПЛИТЫ С КОМБИНИРОВАННОЙ ОБШИВКОЙ ДЛЯ ПОКРЫТИЙ ЗДАНИЙ

05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук

Красноярск – 2009

Работа выполнена в федеральном государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Инжутов Иван Семенович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Деруга Анатолий Петрович

кандидат технических наук, доцент
Пуртов Вячеслав Васильевич

Ведущая организация: ГУП «Красноярский ПромстройНИИпроект»

Защита состоится « 16 » октября 2009 г. в 16-00 часов на заседании диссертационного совета ДМ 212.099.08 при федеральном государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования "Сибирский федеральный университет" по адресу: 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82, аудитория К-120.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института градостроительства, управления и региональной экономики Сибирского федерального университета

Автореферат разослан « 14 » сентября 2009 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета Пересыпкин Е.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Задачи повышения технического уровня и качества конструкций и сооружений, увеличения эффективности их использования, снижения материалоемкости и стоимости во все времена остается важнейшей целью строительного производства.

Для массового малоэтажного строительства, в том числе и производственных зданий, очевидный интерес представляют крупноразмерные плиты и панели. В Сибирском федеральном округе деревянное домостроение занимает в общей структуре около 14 %.

Дома, здания и сооружения, представляющие собой большепролетную каркасно-панельную конструкцию, с использованием каркаса в составе плит и панелей из клееной древесины, снабженных обшивками из фанеры, древесных плит и т.п., обладают повышенной заводской готовностью. По запасам высокосортной деловой древесины лесной потенциал Нижнего Приангарья, осваиваемого в настоящее время, в два раза превосходит потенциал Швеции и в три раза Финляндии. В ближайшие годы в г. Сосновоборске Красноярского края будет завершено строительство фанерного завода, подобных которому нет ни в России, ни в Европе. Его максимальная мощность составит 500 тыс. куб. м фанеры в год.

Благодаря высокой прочности и относительно малому объемному весу древесины и фанеры оказывается возможным и экономически оправданным перекрывать крупноразмерными плитами достаточно большие пролеты, до 24 м, существенно ускоряя строительство, по сравнению с плоскостными конструкциями (несущими балками, фермами и ограждающими плитами).

Накопленные экспериментальные и теоретические данные о напряженно-деформированном состоянии элементов этих конструкций свидетельствуют о возможности совершенствования их конструкций, в частности, рационально комбинируя в обшивке фанеру с другими материалами, размещаемыми на слабонагруженных участках обшивки. Благодаря такому приему оказывается возможным усилить эффективность крупноразмерных клеефанерных плит. Однако, в нормативной и научно-технической литературе отсутствуют указания и рекомендации по конструированию и расчету ребристых плит, у которых в обшивке комбинируются фанера и другие материалы, например, плоские асбестоцементные листы, OSB, доски и др.

Цель работы.

Разработка и исследование крупноразмерных ребристых плит с комбинированной обшивкой, развитие метода расчета и составление рекомендаций по их проектированию.

Основные задачи исследований:

— обобщить и проанализировать опыт конструкторских разработок в направлении предпринятых автором исследований, сформулировать рабочие гипотезы;

— разработать конструкции крупноразмерных ребристых плит с постоянной и переменной высотой поперечного сечения, в которых в обшивке комбинируется фанера с другими материалами – плоскими асбестоцементными листами, OSB, досками и др.;

— провести численные исследования напряженно-деформированного состояния клеефанерных плит с варьированием геометрических и конструктивных параметров с использованием программных комплексов «SCAD» и «ЛИРА» с целью проверки правильности гипотез, положенных в основу конструкторских разработок;

— провести экспериментальные исследования натурных образцов крупноразмерных ребристых плит на кратковременную и длительную статические нагрузки с целью проверки достоверности численных исследований;

— разработать рекомендации по конструированию и расчету крупноразмерных ребристых плит с комбинированной обшивкой.

Научная новизна работы:

— новые конструктивные решения крупноразмерных ребристых плит с постоянной и переменной высотой поперечного сечения, в которых в обшивке комбинируется фанера с другими материалами;

— форма и минимально необходимые размеры участков, на которых обшивка выполняется из фанеры, вовлеченной в совместную работу с деревянным каркасом на общий изгиб; положение о зависимости эффективности вовлечения элементов обрамления в совместную работу с основными ребрами каркаса от их размещения в поперечном сечении плиты;

— результаты экспериментального изучения НДС плит, в том числе при длительных нагрузках.

Практическое значение диссертационной работы заключается в том, что плиты, предложенной конструкции, обладают рациональным расходом материалов, экономической эффективностью, меньшей трудоемкостью изготовления и могут применяться в малоэтажном, в том числе жилом домостроении.

Практическую ценность имеют:

— новые конструкции крупноразмерных ребристых плит с комбинированной обшивкой, разработанные на стадии альбомов рабочих чертежей;

— технико-экономическая оценка предлагаемых конструкций;

— рекомендации по проектированию крупноразмерных ребристых плит с обшивкой, комбинированной из фанеры и других материалов.

Апробация работы.

Основные положения диссертационной работы представлялись на:

- научно-технических конференциях СФУ, г. Красноярск, 2007-2009 гг.
- научно- технических конференциях НГАСУ (Сибстрин), г. Новосибирск, 2007, 2008гг.;

В законченном виде работа рассмотрена и одобрена на расширенном семинаре кафедры «Строительные конструкции» Сибирского федерального университета, г. Красноярск, 2008г;

Публикации.

Основные положения диссертации опубликованы в 5 работах, в том числе в 2 публикациях в центральных научных журналах, включенных в перечень ВАК РФ. Подано 2 заявки на предполагаемое изобретение.

На защиту выносятся:

— конструктивные решения крупноразмерных ребристых плит пролетом 9…24 м, в которых в обшивке комбинируется фанера с другими материалами;

— результаты теоретических и экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния крупноразмерных клеефанерных плит с обшивкой, приклеенной на части длины конструкции, различающихся по техническим решениям;

— закономерности формы и минимально необходимых размеров участков фанерной обшивки в плитах с постоянной и переменной высотой поперечного сечения, которые вовлечены в совместную работу с деревянным каркасом на общий изгиб; положение о зависимости эффективности вовлечения элементов обрамления в совместную работу с основными ребрами каркаса от их размещения в поперечном сечении плиты.

Структура работы.

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, основных выводов, списка использованных источников из 169 наименований и приложения. Общий объем работы 138 страниц, в том числе 55 рисунков, 12 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы, изложены цели, задачи и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе дан обзор работ, соответствующих теме диссертации, рассмотрены пути совершенствования крупноразмерных плит с каркасами из древесины, фанеры и с обшивками из фанеры, досок и других материалов.

Развитие пространственных конструкций, выполняемых с использованием древесины и древесных материалов, и совершенствование методов их расчета нашло отражение в трудах В.Ф. Иванова, М.Е. Кагана, Г.Г. Карлсена, К.П. Кашкарова, М.Ф. Ковальчука, А.Б. Губенко.

Проблемам развития и совершенствования теории проектирования большепролетных конструкций посвящены исследования Н.П. Абовского, Е.И. Беленя, Г.И. Белого, В.В. Бирюлева, П.А. Дмитриева, С.А. Душечкина, Ю.А. Дыховичного, Л.В. Енджиевского, А.А. Журавлева, М.Ю. Заполя, И.С. Инжутова, Н.В. Канчели, В.И. Колчунова, Л.Н. Кондратьева, В.П. Коцегубова, В.В. Кузнецова, Б.В. Лабудина, В.Г. Леннова, И.М. Линькова, В.И. Линькова, Л.С. Ляховича, Б.В. Миряева, Б.К. Михайлова, А.Я. Найчука, Б.В. Накашидзе, Р.Б. Орловича, А.В. Перельмутера, К.П. Пятикрестовского, Е.Н. Серова, В.В. Стоянова, В.И. Травуша, В.И. Трофимова, А.Г. Трущева, С.Б. Турковского, А.К. Фурсова, Я.Ф. Хлебного, P. Dutko, B. Fuler, J. Natterer и др. В наибольшей мере свойства совмещенности и пространственности работы проявляются в конструкциях, в основу формообразования которых положены плиты и панели, составленные из каркасов и обшивок, вовлеченных в совместную с ними работу.

Автор акцентирует внимание на том, что, несмотря на достаточно большое количество конструктивных решений плит (и панелей) на деревянных каркасах, резервы их совершенствования до сих пор далеки от исчерпания.

Критический обзор работ, посвященных исследованию напряженно-деформированного состояния (НДС) ребристых плит с фанерной обшивкой, включенной в совместную с деревянным каркасом работу на поперечный изгиб, подвел автора к следующим умозаключениям.

В ребристых клеефанерных плитах, загруженных, например, равномерно распределенной по их поверхности поперечной нагрузкой, максимальные нормальные напряжения в ребрах увеличиваются от краев конструкции к середине. Нормальные напряжения в обшивках в сечении, где возникает максимальный изгибающий момент, имеют максимум над ребрами и минимум в поле между ними.

Таким образом, на основе проделанного анализа, автор формулирует следующие рабочие гипотезы.

Рабочая гипотеза 1: без заметного уменьшения несущей способности плиты с постоянной высотой поперечного сечения определенная часть слабо нагруженной фанерной обшивки может быть выключена из совместной работы с каркасом на общий изгиб.

Рабочая гипотеза 2: переменность высоты поперечного сечения двускатных плит накладывает особенности на конфигурацию и размеры слабонагруженных участков обшивки, которые могут быть выключены из совместной работы с каркасом.

Рабочая гипотеза 3: Эффективность включения элементов обрамления в совместную работу с основными ребрами каркаса плит на общий изгиб зависит от их размещения по отношению к основным ребрам.

Опытно-конструкторским разработкам (ОКР) крупноразмерных клеефанерных плит с комбинированной обшивкой посвящена **вторая глава** диссертации. Под термином «комбинированная» обшивка автор подразумевает реализацию двух положений: 1) это обшивка, прикрепляемая к каркасу на разных участках разными соединениями – неподатливыми клеевыми (на особо ответственных, наиболее напряженных участках конструкции) и податливыми механическими связями (на слабо напряженных участках конструкции); 2) в обшивке комбинируются фанера (на особо ответственных, наиболее напряженных участках конструкции) и другие, более дешевые материалы – асбестоцементные плоские листы, доски и т.п. (на слабо напряженных участках конструкции).

При выполнении ОКР автор исходил из целесообразности и необходимости: проектировать плиты как пространственные совмещенные пластинчатые конструкции; эффективно использовать свойства применяемых в конструкциях материалов; руководствоваться принципом рациональной конструктивной формы при одновременном уменьшении общей массы конструкции (в сравнении с известными аналогами); обеспечивать универсальность и высокую технологичность изготовления; конструировать систему с учетом требований скоростного монтажа и демонтажа, многократного использования, транспортабельности конструкций и современного крупноблочного монтажа.

Пространственная работа плит обеспечивалась в первую очередь рациональным включением элементов ограждений (обшивок, второстепенных ребер, обрамлений и т. п.) и связей в общую работу системы.

Слабонагруженные участки фанерной обшивки соединяли с элементами каркаса податливыми креплениями – гвоздями, шурупами, саморезами, скобками и т.п. В ряде плит фанерную обшивку на упомянутых участках заменили обшивкой из плоских асбестоцементных листов, низкосортных досок, ориентированных струженных плит (OSB). Тем самым было достигнуто заметное уменьшение стоимости материа-

лов.

Особо обратим внимание на то, что на приопорных участках плит с постоянной высотой поперечного сечения взамен обшивки можно разместить солнечные батареи, тем самым повысить энергоэффективность здания в целом и наделить предлагаемые конструкции новым потребительским качеством. Это может оказаться весьма целесообразным для зданий и сооружений, возводимых в регионах с большим количеством солнечных дней, например, в Хакасии. При необходимости верхнего освещения помещения на указанных участках плит легко устроить светопрозрачное ограждение.

Плиты конструировали с П-образным поперечным сечением, что существенно упрощало изготовление их элементов и последующую сборку.

Проблему обеспечения рациональности конструктивной формы плит увязывали с эксплуатационным назначением конструкций. В ряде случаев использовали ребра сквозной конструкции.

Опытные ребристые плиты с комбинированной обшивкой разработаны на стадии альбомов рабочих чертежей для пролетов 9…24 м при ширине 1,5…2,4 м, обусловленной, главным образом, стремлением обеспечить возможность перевозки автомобильным транспортом (рисунок 1).

Рисунок 1 - Конструктивная схема плиты марки ПФР 9-1,5AIV, с фанерной обшивкой, приклеенной на части длины основных ребер

Плита марки ПФР 9-1,5AIV с размерами в плане 1,5×9,0 м запроектирована под нагрузку 3,0 кПа, что соответствует нагрузкам IV снегового района.

Конструкцию плиты образуют два расположенных в нижней части поперечного сечения продольных клеедощатых ребра, раскрепленных по краям и в середине диафрагмами, прикрепленная к ним сверху комбинированная из фанерных и асбесто-

цементных листов обшивка, подкрепленная каркасом из поперечных дощатых ребер и элементов обрамления из брусков.

Фанерная картина имеет следующие размеры в плане – 1490×4500 мм и приклеена к основным ребрам с отступом от торцов плиты величиной в 2250 мм (четверть пролета).

Аналогичная плита марки ПФР 9-1,5АII с обшивкой крайних зон из низкосортных досок толщиной 16 мм, расположенных в косой ряд и присоединенных к каркасу шурупами, запроектирована под нагрузку, соответствующую II снеговому району.

Для снижения материалоемкости конструкции представляется целесообразным в качестве основных ребер использовать балки сквозной конструкции. В частности, для небольших пролетов (до 12 м) достаточно эффективны балки с прерывистой стенкой из вертикально расположенных досок, присоединяемых к брусчатым поясам с помощью клеевого зубчатого соединения (рисунок 2). Идея этого технического решения высказана в свое время А.Ф. Михайловым.

Рисунок 2 – Конструктивная схема плиты с наклонными диафрагмами и с основными ребрами в виде двутавровых балок с прерывистой стенкой из вертикально поставленных досок

С целью выравнять усилия в стойках автор применил наклонные диафрагмы, взамен ортогональных. Наклонные диафрагмы в этом случая совмещают функцию восходящих раскосов.

Хорошими техническими характеристиками обладает плита пролетом 12×1,5 м с основными ребрами в виде балок коробчатого сечения с прерывистыми фанерными стенками. В этой конструкции обшивка в крайних зонах плиты длиной по 3 м запроектирована в виде косого настила из досок сечением 16×100 мм.

Для пролетов до 18 м рекомендуется плита (рисунок 3), основные ребра которой выполнены в виде комбинированной балки со стенкой из раскосов и приопорных фанерных стенок (предложение на отечественном рынке от Mitek и APA).

Особенность исполнения решетки заключается в рациональном сочетании деревянного раскоса с металлическими V-образными накладками, имеющими штампованные зубья. Повысить несущую способность раскосов можно, применяя зубья из дюбелей-гвоздей, забиваемых (запрессовываемых) в заранее просверленные в полосах отверстия (предложения проф., д.т.н. П.А. Дмитриева и доцента, к.т.н. В.В. Пуртова)

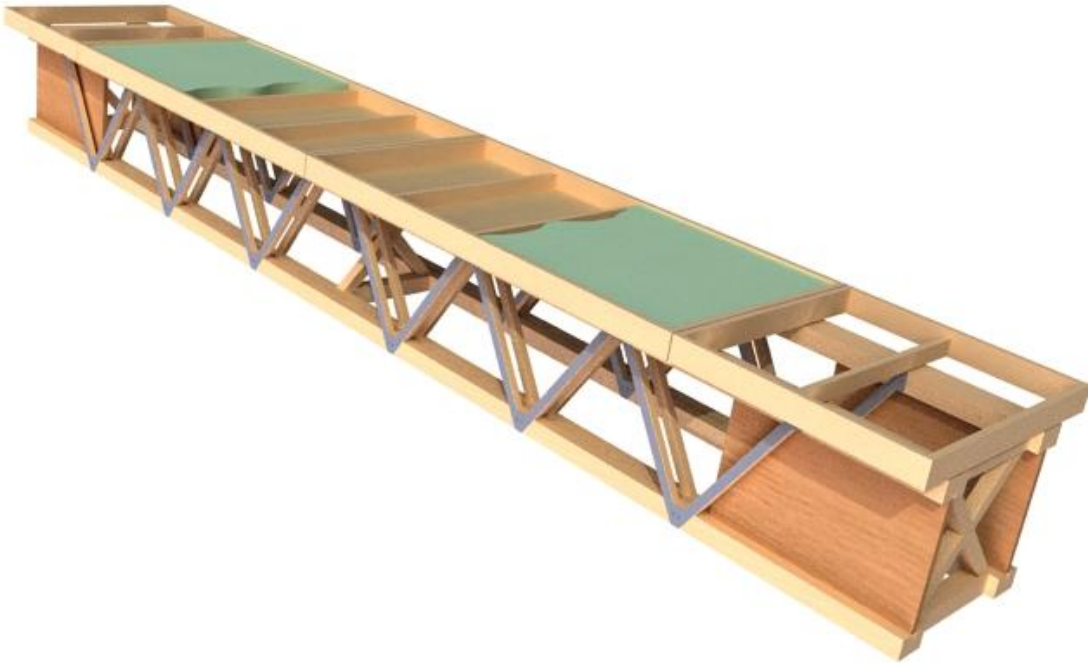

Рисунок 3 – Конструктивная схема плиты пролетом 18 м с основными ребрами в виде комбинированной балки

Плиты с переменной по их длине высотой поперечного сечения, в большей или меньшей мере повторяющие очертание эпюры изгибающих моментов, экономичнее по расходу материалов, по сравнению с плитами с постоянной высотой сечения.

Однако особенности напряженного состояния в таких плитах - несовпадение сечения с максимальными нормальными напряжениями с сечением, где возникают наибольшие изгибающие моменты для наиболее распространенного случая равномерно распределенной нагрузки, обусловливают отличие выполнения обшивки, приклеенной на части длины.

На рисунке 4 приведена конструктивная схема двускатной ребристой плиты пролетом 18 м и шириной 2,4 м, запроектированная под нагрузки, соответствующие III снеговому району.

Конструкцию образуют: два двускатных ребра коробчатого сечения с прерывистой фанерной стенкой, блокирующие их деревянные диафрагмы, поставленные с шагом 4,5 м вдоль длины; шесть щитов, расположенных в верхней части поперечного сечения плиты. Плита имеет сечение в виде «два Т» с консольными свесами по 0,6 м.

Приопорные щиты с размерами в плане 2,4×1,8 м включают в себя каркас из досок с сечением 52×144 мм, которому приклеены по краям два фанерных листа толщиной 9 мм с треугольным планом, а в середине присоединен шурупами лист OSB также с треугольным планом.

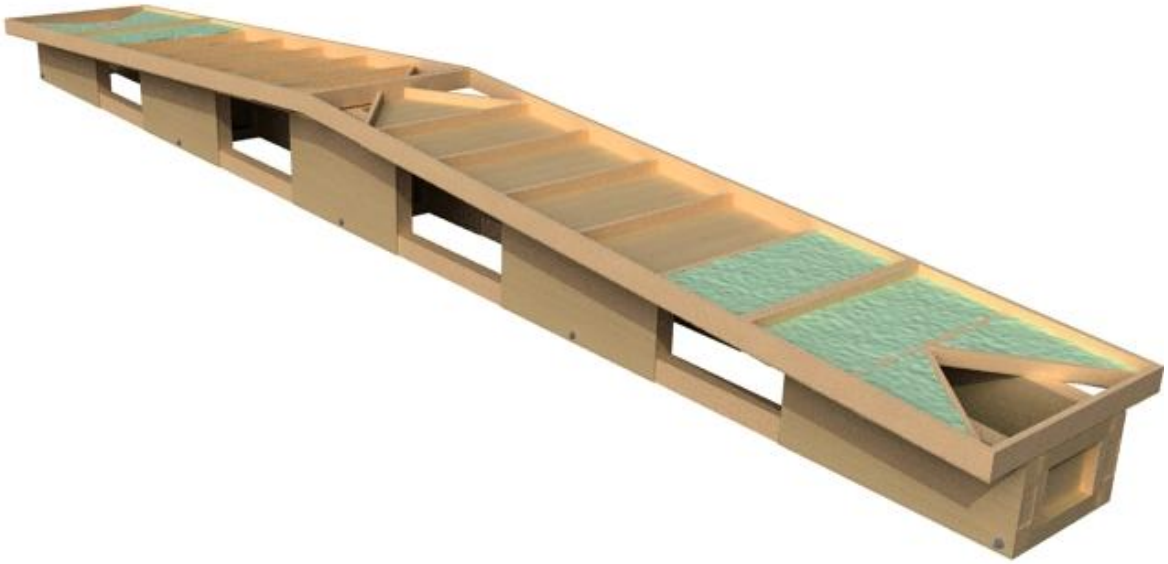

Рисунок 4 – Двускатная плита с фанерной обшивкой, приклеенной на части длины каркаса

Отмечается, что предлагаемые конструкции крупноразмерных ребристых плит с фанерной обшивкой, приклеенной к основным ребрам каркаса на части длины, могут применяться в зданиях различного назначения, в том числе в сельской местности - в культурно-бытовых, производственных, складских одноэтажных зданиях и сооружениях. В гражданском строительстве целесообразно применение разработанных плит в покрытиях залов, общественных зданий, выставочных павильонов, рынков, зданий физкультурно-оздоровительных комплексов, в малоэтажном домостроении.

Новое конструктивное качество удачно сочетается с повышением технологии изготовления плит за счет использования малогабаритных сборочных единиц верхней части поперечного сечения.

В третьей главе приведены результаты численных исследований напряженно-деформированного состояния, выполненных с целью проверки сформулированных выше гипотез: установления минимально необходимых размеров фанерной обшивки, работающей совместно с основными продольными ребрами каркаса, оценки эффективности размещения элементов обрамления.

Для достижения поставленной цели, необходимо было решить следующие взаимосвязанные задачи: с использованием программных комплексов «SCAD» (лицензия № 2E2DDFB) и ЛИРА-9.2» (лицензия № 521821425) исследовать НДС крупноразмерных плит с комбинированной обшивкой; определить долю участия фанер-

ных обшивок в работе этих плит, установить слабонагруженные участки обшивки; установить форму и минимально необходимые для сохранения несущей способности плиты размеры участков обшивки, которые должны быть вовлечены в совместную работу с каркасом на общий изгиб; оценить влияние расположения элементов обрамления на несущую способность и жесткость плит.

Объектом исследования в численных экспериментах являлись крупноразмерные ребристые плиты с П-образным поперечным сечением шириной 1,5 м, имеющие одно и то же конструктивное решение (ПФР 9-1,5AIV): конструкцию исследуемых плит составляли основные несущие деревянные ребра, расположенные в нижней части поперечного сечения, присоединенная к ним сверху жестко обшивка из фанерных листов толщиной 8 мм, которую подкрепляли поперечные ребра, расположенные в верхней части поперечного сечения и расставленные по длине конструкции с шагом 0,75 м.

В расчетах варьировали длину плит в диапазоне 6…18 м. При фиксированных значениях длин в расчетах уменьшали обшивку от коротких сторон к середине плиты с интервалом 0,5 м.

На расчетной схеме основные элементы плит моделировали 4-х угольными оболочечными конечными элементами (рисунок 5). Для исключения влияния элементов обрамления на НДС плиты их моделировали в расчетах стержнями, шарнирно присоединенными к поперечным ребрам в верхней части сечения.

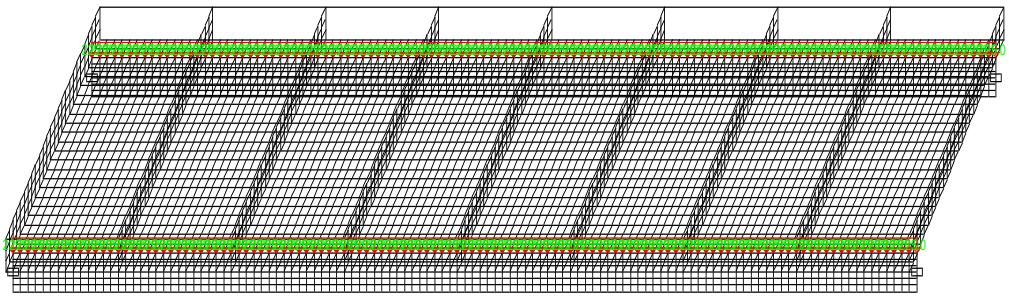

Рисунок 5 - Конечно-элементная модель плиты

Напряженно-деформированное состояние плит изучали при поперечном изгибе от равномерно распределенной нагрузки интенсивностью q=2,7×0,75 кН/м, приложенной по линии основных ребер (0,75 м – ширина грузовой площади, приходящейся на основное ребро плиты). Собственный вес элементов плиты в программном комплексе задавался автоматически. Опорные связи в плите были поставлены так, что при виде на любую сторону модели по концам имелось две вертикальные и одна горизонтальная линейные связи. Упругие характеристики материалов были приняты согласно СНиП II-25-80: модуль упругости вдоль волокон рубашек фанеры $E_{Ф0}$ =9000

МПа, поперек волокон $E_{Ф90}$ =6000 МПа; модуль упругости древесины вдоль волокон $E_Д$=10000 МПа.

Степень влияния длины выключаемых из работы участков обшивки на напряженно-деформированное состояние плиты оценивали при помощи редукционного коэффициента, который вычисляли по формуле:

$$K_{red} = \frac{\sigma_{cp}}{\sigma_{\max}}, \qquad (1)$$

где K_{red} – коэффициент неравномерности распределения нормальных напряжений по ширине обшивки (редукционный коэффициент),

σ_{cp} – среднее значения нормальных напряжений в обшивке,

σ_{max} – максимальное значение нормальных напряжений в обшивке.

По результатам расчетов для поперечных сечений с максимальным изгибающим моментом были построены эпюры нормальных сжимающих напряжений в обшивке и вычислены соответствующие значения редукционного коэффициента. Для обеспечения удобства сопоставления результатов построены графики зависимости величины редукционного коэффициента K_{red} от отношения длины обшивки к длине плиты L_o/L; при фиксированной длине плиты.

Графики свидетельствуют о том, что при уменьшении длины приклеиваемого участка обшивки L_o величиной более половины длины плиты величина редукционного коэффициента начинает уменьшаться достаточно интенсивно (рисунок 6).

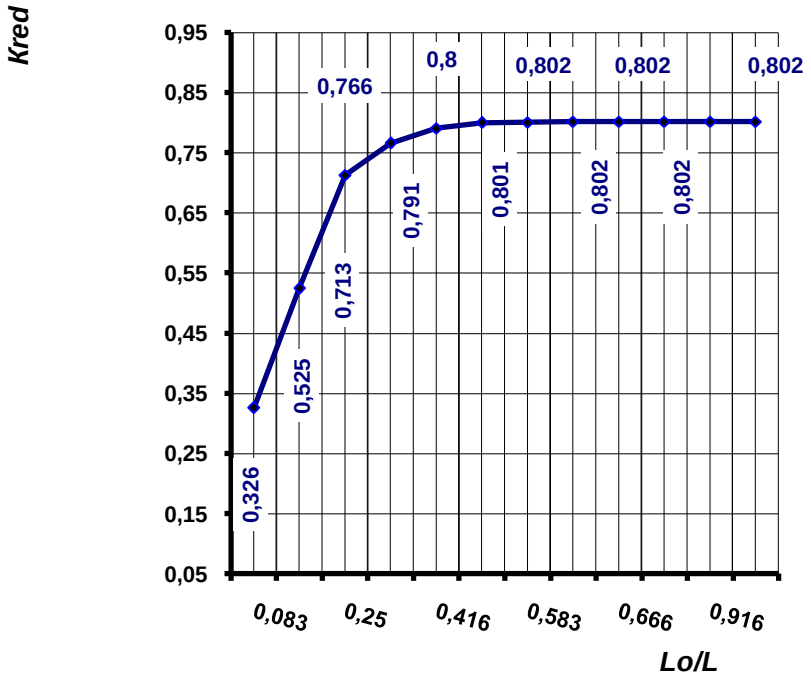

Рисунок 6 – Пример диаграммы изменения редукционного коэффициента фанерной обшивки в расчетном сечении плиты пролетом 12 м в зависимости от длины приклеиваемой обшивки

Таким образом, без заметной потери несущей способности плиты фанерную обшивку на участках от торцов (коротких сторон) до 0,25 длины плиты можно не приклеивать к основным ребрам каркаса, и, более того, заменить на обшивку из менее дорогого материала. Уменьшение длины обшивки, приклеиваемой к основным ребрам каркаса, в большей степени влияет на изменение прогибов, чем на величину нормальных напряжений, что нужно учитывать при проектировании введением повышающего коэффициента k_f в формулу вычисления прогибов. Следует заметить также, что с увеличением пролета конструкции уменьшение длины приклеиваемой обшивки в меньшей степени сказывается на изменении прогиба плиты.

Задачей численных исследований двускатных плит являлось, прежде всего, выявление конфигурации и размеров слабонагруженных участков обшивки, которые можно выключить из совместной с продольными ребрами работы на поперечный изгиб. Конечно-элементая модель плиты с полной обшивкой показана на рисунке 7.

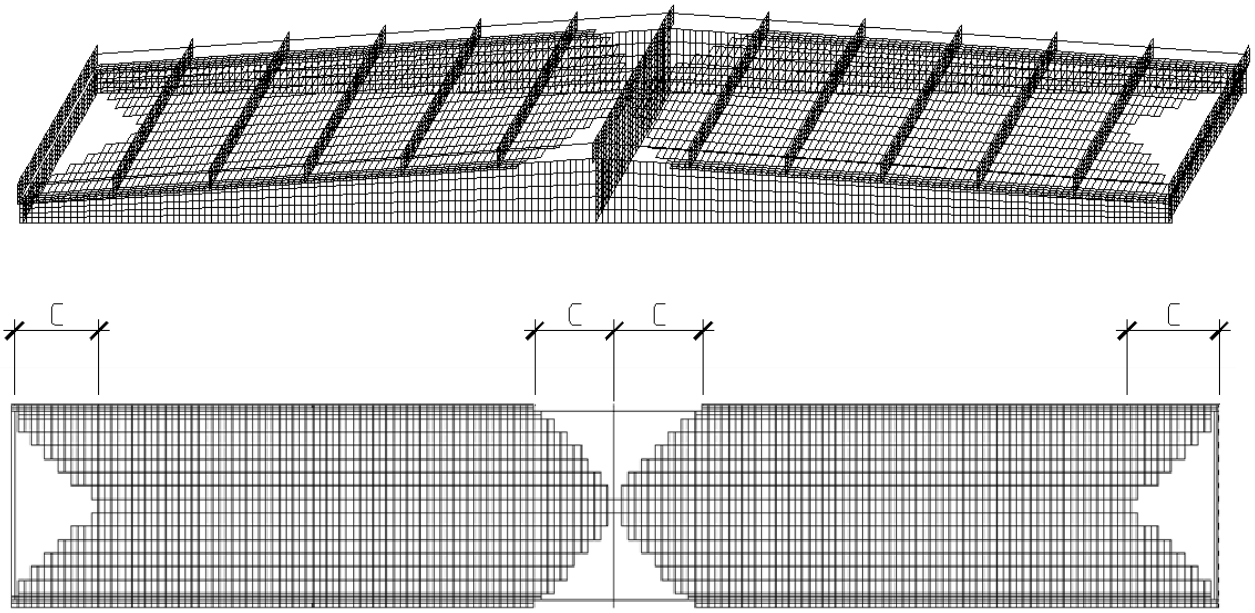

Рисунок 7 – Конечно-элементная модель двускатной плиты с участками фанерной обшивки, выключенными из совместной работы с основными ребрами

По результатам статических расчетов вычислены редукционные коэффициенты фанерной обшивки для расчетного сечения, расположенного на расстоянии

$$x = \frac{L \cdot h_{on}}{2 \cdot h_{cp}}, \qquad (2)$$

где L – пролет плиты (9 м), h_{on} – высота основного ребра на опоре; h_{cp} – высота основного ребра в середине пролета.

Эпюры нормальных напряжений в расчетном сечении обшивки свидетельствуют, что с увеличением размеров вырезаемых участков обшивки неравномерность

распределения нормальных напряжений усиливается при неизменном качестве. Для выявления закономерностей в тенденции усиления неравномерности распределения напряжений поострен график редукционного коэффициента обшивки, являющийся инструментом количественной оценки (рисунок 8).

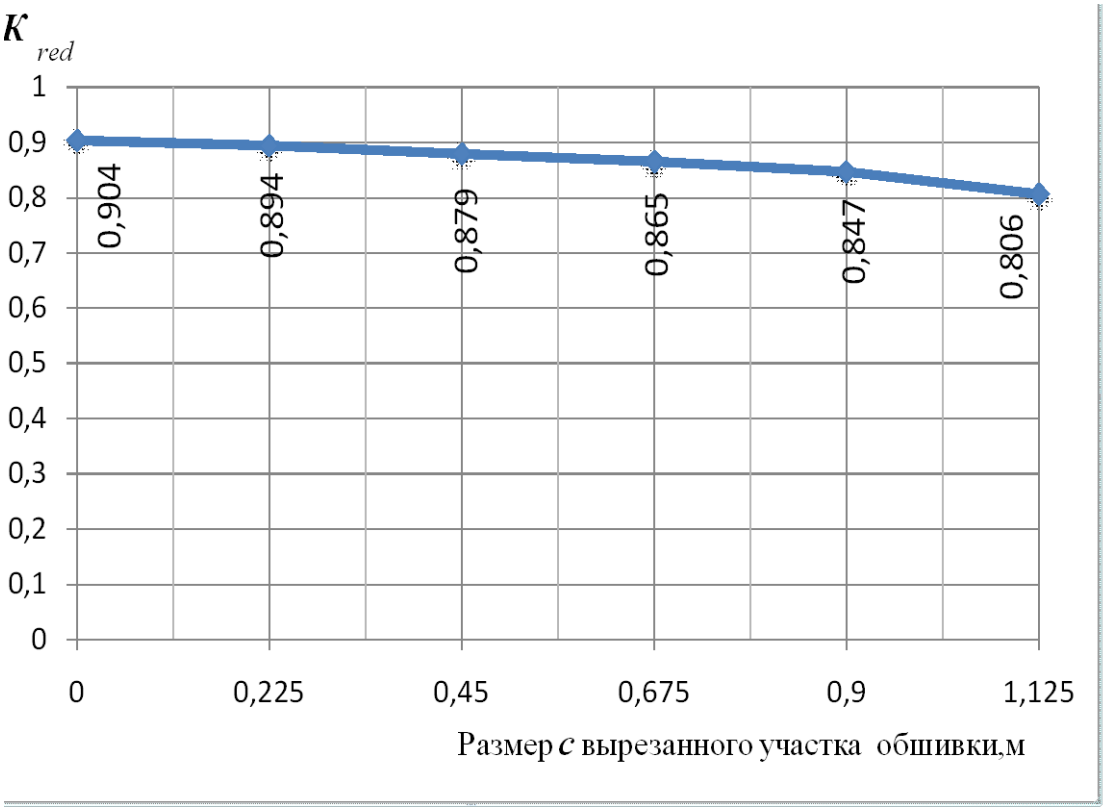

Рисунок 8 – Диаграмма изменения редукционного коэффициента обшивки в двускатной плите

При изменении размера *c* вырезаемого участка обшивки от 0 до 1,125 м (до *L*/8) значение редукционного коэффициента K_{red} меняется от 0,904 до 0,806, что составляет 10,8 %, при *c*=0,9 м (L/10) K_{red}=0,847 – 6,3 %. Очевидно, с учетом изменчивости свойств фанеры, величину *c*=*L*/10 можно считать пороговой, до которой удаление обшивки незначительно влияет на напряженное состояние плиты. Аналогичные результаты получены и для плиты с пролетом 15 м.

Влияние размещения элементов обрамления на НДС плиты исследовали по вышеприведенным методикам. Объектом исследований являлись плиты 1,5×9,0 м и 1,5×15,0 м. В расчетах варьировали расстояние между основным ребром и элементом обрамления, то есть при постоянной ширине плиты сдвигали основные ребра к середине поперечного сечения, изменяя расстояние *a* - 1400,1300,1200,1100,1000,900 мм. Вид сечения менялся от П-образного к «два Т». При этом размеры сечений и нагрузка для каждой плиты были постоянными.

В результате численных исследований установлено, что элементы обрамления целесообразно включать в работу на общий изгиб путем приклеивания к фанерной обшивке в тех случаях, когда необходимо обеспечить выполнение условия второй группы предельных состояний. Приклеивание обрамления к фанерной обшивке над основным ребром неэффективно по двум причинам: 1) обшивка в этом случае располагается ближе к нейтральной оси, что негативно сказывается на значении цилиндрической жесткости поперечного сечения в целом; 2) в волокнах верхней кромки обрамления возникают достаточно большие по величине сжимающие напряжения, определяющие, в конечном счете, невыполнение условия прочности при поперечном изгибе

Описание методики экспериментальных исследований приведено **в четвертой главе**. Исследования проведены на двух плитах, выполненных в натуральную величину, с размерами 1,5×9,0 м. В целях идеализации работы плиты с фанерной обшивкой, приклеенной на части длины основных ребер, на крайних участках длиной по 2,25 м обшивку из асбестоцементных листов не устраивали (рисунок 9). Программа экспериментов предусматривала кратковременные и длительные испытания статической нагрузкой.

Рисунок 9 – Натурный образец клеефанерной плиты пролетом 9 м

Для обеспечения соответствия статической работы плиты проектной схеме ее опирали по коротким сторонам в четырех узлах следующим образом: одна опора – неподвижная, одна – продольно-подвижная, две – свободно-подвижные.

Для регистрации статических перемещений плиты использовали прогибомеры 6ПАО-ЛИСИ с ценой деления 0,01 мм. Деформации в соединениях измеряли при помощи индикаторов часового типа ИЧ–10 с ценой деления 0,01 мм. Относительные деформации древесины и фанеры в эксперименте регистрировали с использованием

проволочных тензорезисторов типа ПКБ с базой 20 мм и регистрирующего устройства. Номинальное сопротивление и коэффициент тензочувствительности тензорезисторов с базой 20 мм R = 201 Ом, γ = 2,13. В качестве регистрирующего устройства использовали многопроцессорную многоканальную тензометрическую станцию ММТС-64.01.

В экспериментах отсчеты по приборам брали непосредственно перед приложением нагрузки и тотчас после нагружения. Продолжительность отсчетов составляла 5…8 мин. Отсчеты снимали всегда в одной и той же последовательности от середины пролета к опорам.

При проведении кратковременных испытаний соблюдали следующие условия:

- нагрузку прикладывали ступенями в равные промежутки времени, составляющие 10...15 мин; - испытываемую плиту выдерживали после приложения нагрузки в течение трехкратного времени загружения.

При проведении длительных испытаний конструкцию нагружали непрерывно до расчетной нагрузки. Отсчеты с приборов брали с интервалом в 1 час. (первые трое суток); в последующие недели - через 24 часа в одно и то же время.

Испытываемые плиты загружали тарированными по весу бетонными блоками (масса одного составляет в среднем 55 кг). Блоки устанавливали на доски настила в месте сопряжения поперечных ребер и элементов обрамления.

В пятой главе дан анализ результатов экспериментальных исследований. Для достижения корректности в сопоставлении результатов испытаний с теоретическими данными были выполнены статические расчеты исследуемой плиты с помощью программного комплекса SCAD.

Разница экспериментального и теоретического прогибов при нормативной нагрузке (0,61 кН/м) составила 20%. При этом прогиб исследуемой плиты больше теоретического прогиба в 1, 2 раза, и больше прогиба плиты, имеющей обшивку на всей длине, почти в 1,35 раза. Это достаточно большое расхождение объясняется, прежде всего нарушением технологии изготовления клеедощатых основных ребер: сращивание ламелей было осуществлено в стык с перевязкой в слоях, а не зубчатым соединением.

При расчетном значении нагрузки максимальное нормальное напряжение в обшивке оказалось равным 8,75 МПа, а соответствующее эпюре значение редукционного коэффициента фанерной обшивки оказалось равным 0,644. Расхождение между экспериментальным значением редукционного коэффициента и теоретическим значением составляет для 7 ступени 10,5%, что, учитывая неоднородность и анизотропию древесины и фанеры, можно считать удовлетворительным. При этом разница между значениями редукционного коэффициента фанерной обшивки в плите, где

обшивка приклеена по всей длине ребер каркаса, и в исследуемой плите по результатам расчетов НДС с помощью SCAD оказалась равной 8,2% (рисунок 10).

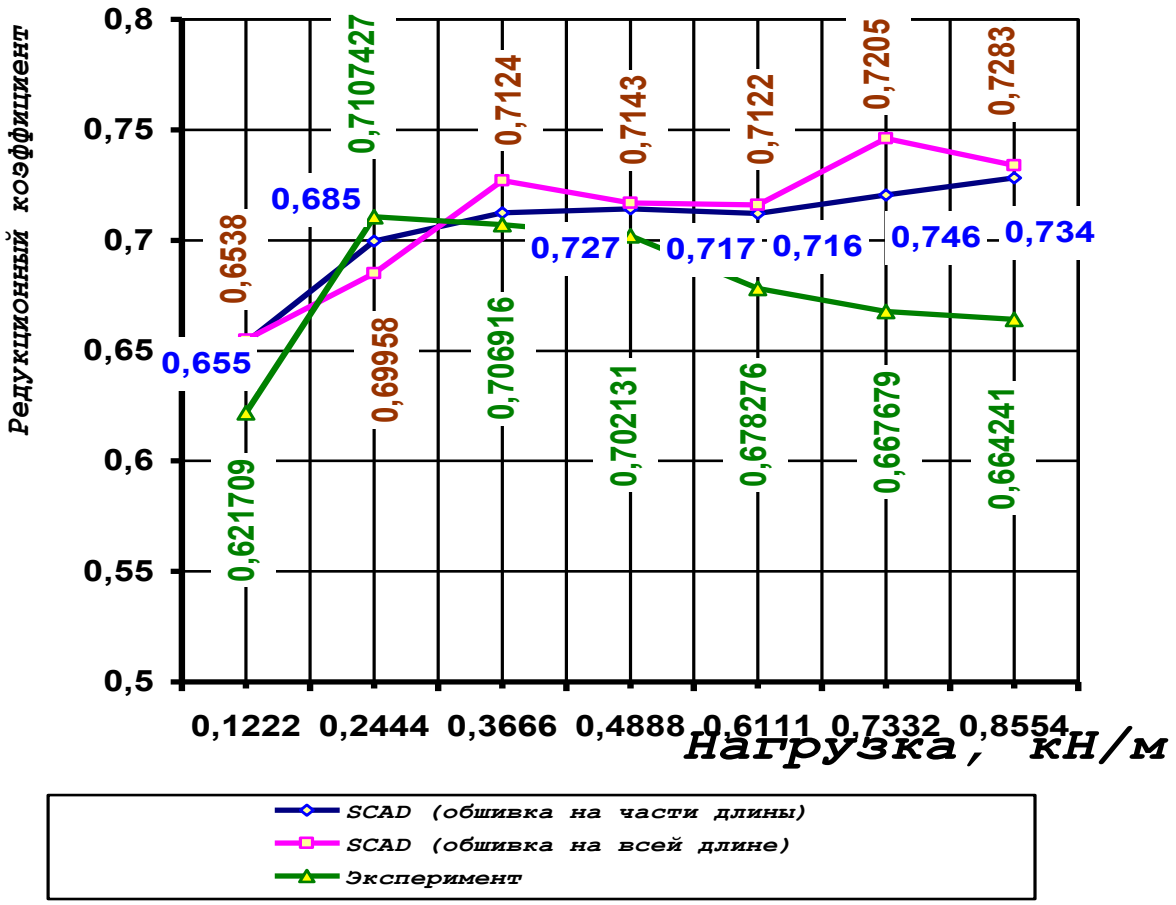

Рисунок 10 - Диаграммы изменения редукционных коэффициентов, установленных численными исследованиями и натурным экспериментом

Таким образом, физическим и численным экспериментами подтверждена гипотеза о возможности уменьшения длины фанерной обшивки в совместную работу с продольными ребрами каркаса изгибаемых плит с П-образным поперечным сечением без снижения несущей способности конструкции. Оптимальная длина уменьшения равна половине длины (пролета) плиты при равномерно распределенной нагрузке.

Вторая плита была подвергнута испытаниям длительной действующей расчетной нагрузкой. При расчетной нагрузке максимальные нормальные напряжения в обшивке составили σ_{max} = 7,11 МПа против 8,75 МПа в первой плите. Редукционный коэффициент ширины обшивки оказался равным K_{red} = 0,621 против 0,664 в предыдущих испытаниях. Таким образом, совпадение результатов вполне удовлетворительное.

Разрушение конструкции произошло на седьмые сутки испытаний. Причиной явился брак в сращивании ламелей основного ребра.

Для оценки напряженного состояния конструкции в период разрушения были произведены расчеты с помощью «SCAD» с последовательным моделированием процесса разрушения основного ребра.

С некоторой степенью условности в процессе разрушения ребра можно выделить три стадии.

На первой стадии произошло раскрытие стыка ламелей в крайнем нижнем слое. Это обусловило перераспределение нормальных изгибных напряжений в рабочей части поперечного сечения основного ребра. Значение максимального напряжения в растянутой зоне оказалось равным 19, 5 МПа, а в сжатой – 5,1 МПа. Редукционный коэффициент составил K_{red} = 0,775.

Вторая стадия характеризовалась раскрытием клеевого шва между слоями с развитием в сторону середины пролета плиты до стыка ламелей во втором снизу слое основного ребра. Заканчивается эта стадия раскрытием указанного стыка. Эпюра нормальных напряжений в обшивке на этой стадии претерпевает существенные качественные и количественные изменения: нормальные напряжения над вторым основным ребром практически выравниваются с напряжениями в поле обшивки и составляют 3,61 МПа. Обшивка в меньшей степени включается в совместную работу с разрушающимся основным ребром, о чем свидетельствует значение редукционного коэффициента обшивки K_{red} =0,572.

Максимальные изгибные напряжения в растянутой зоне ребра 28,17 МПа, а в сжатой – 9,0 МПа.

На третьей стадии продолжение раскрытия клеевого шва между вторым и третьим слоями и раскрытия стыка ламелей в третьем слое. Максимальное изгибное напряжение в растянутой зоне поперечного сечения основного ребра достигло значения 40,56 МПа, в сжатой – 13,02 МПа. Редукционный коэффициент обшивки снизился до величины K_{red} = 0,399. Плита исчерпала несущую способность и легла на страховочные леса.

В шестой главе изложены рекомендации по конструированию и расчету крупноразмерных ребристых плит постоянной и переменной высотой поперечного сечения, в которых в обшивке комбинируется фанера, приклеенная к основным ребрам каркаса, и другие материалы (например, плоские асбестоцементные листы, OSB, доски), прикрепляемые к каркасу податливыми связями. В качестве базовой методики рекомендовано использовать методику расчета клеефанерных плит, предложенную проф., д.т.н. И.С. Инжутовым. При этом автор предлагает при расчете прогибов плит с комбинированной обшивкой вводить поправочный повышающий коэффициент k_f=1,35.

Приведены результаты оценки технико-экономической эффективности. разработанных плит. В качестве базового варианта принято типовое покрытие, состоящее

из клеефанерных плит размером 1,5×6,0м (серия ПКД–01-04. вып.I, Гипролеспром, ЦНИИСК, 1968 г.), опертых на клеедощатые балки КДБ-12-12. Для перекрытия секции требуется 1 балка пролетом 12 м и 8 плит 1,5×6,0 м. В качестве аналога приняты клеефанерные плиты на пролет, разработанные доцентом, к.т.н В.И. Жадановым.

Разработанные совмещенные ребристые плиты с комбинированной обшивкой, по сравнению с базовым вариантом, более экономичны в рассматриваемых условиях и позволяют снизить приведенные затраты на 12,6 % на каждый квадратный метр эксплуатируемого покрытия. По сравнению с плитой-аналогом (разработка к.т.н., доцента В.И. Жаданова) предлагаемое техническое решение дает возможность сократить дорогостоящие материалы - фанеру и клей - на 25%. Следует заметить, что при этом возрастает расход пиломатериалов приблизительно на 1 %.

Основные выводы по диссертации

На основании результатов проведенных опытно-конструкторских разработок и исследований автором сформулированы общие выводы:

1. На основании анализа отечественных и зарубежных конструктивных систем крупноразмерных плит, имеющих деревянные каркасы и обшивки из фанеры, досок или других листовых материалов:

- выявлены тенденции и резервы их совершенствования;
- сформулированы рабочие гипотезы о возможности выключения слабонагруженных участков фанерной обшивки из совместной работы с деревянным каркасом на общий изгиб без заметного снижения несущей способности плиты (1), о зависимости минимально необходимых размеров и формы указанных участков от вида плиты – с постоянной или переменной высотой поперечного сечения по длине конструкции (2), о зависимости эффективности включения элементов обрамления в совместную работу с основными ребрами каркаса от размещения по отношению к основным ребрам (3);

2. На основе указанных гипотез разработаны на стадии альбомов рабочих чертежей новые крупноразмерные ребристые плиты с обшивкой из фанеры, комбинируемой с другими материалами, на пролеты 9…24 м с постоянной и переменной (двускатные) высотой поперечного сечения, характеризующиеся экономичностью расхода основных материалов и пониженной стоимостью;

3. Проведенные численные исследования напряженно деформированного состояния плит подтвердили правомочность рабочих гипотез:

- без снижения несущей способности в клеефанерных крупноразмерных плитах с постоянной высотой сечения по длине конструкции, нагруженных равномерно распределенной по длине нагрузкой, на приопорных участках прямоугольной формы длиной $c \leq L/4$ допускается фанерную обшивку не приклеивать или заменять на обшивку из менее дорогого материала, например, OSB, плоских асбестоцементных листов, других листовых материалов, присоединяемых к основным ребрам податливыми связями (шурупами, саморезами по дереву, гвоздями, скребками и т.п.). При этом конфигурация упомянутых участков прямоугольная;
- без снижения несущей способности в клеефанерных крупноразмерных двускатных плитах, нагруженных равномерно распределенной по длине нагрузкой, на приопорных участках длиной $c \leq L/10$ и на участках по обе стороны от середины длиной $c \leq L/10$ допускается фанерную обшивку не приклеивать или заменять на обшивку из менее дорогого материала, например, OSB, плоских асбестоцементных листов, других листовых материалов, присоединяемых к основным ребрам податливыми связями (шурупами, саморезами по дереву, гвоздями, скобками и т.п.). При этом конфигурация упомянутых участков треугольная;
- уменьшение длины обшивки, приклеиваемой к основным ребрам каркасов плит с постоянной высотой поперечного сечения нужно учитывать при проектировании введением повышающего коэффициента $k_f=1,35$ к значению максимального прогиба;
- элементы обрамления целесообразно включать в работу на общий изгиб путем приклеивания к фанерной обшивке в тех случаях, когда необходимо обеспечить выполнение условия второй группы предельных состояний;

4. Достоверность численных исследований подтверждена хорошей сходимостью результатов с данными натурных испытаний плит кратковременной и длительной статическими нагрузками.

Основные положения диссертации изложены в печатных работах:

1. Никитин, В.М. Одноэтажные крупнопанельные жилые дома с чердачным перекрытием из совмещенных клеефанерных плит [Текст] / В.М. Никитин // Проблемы строительства и архитектуры: сб. материалов XXV региональной научно-технический конференции. Красноярск: Сибирский федеральный университет; Институт архитектуры и строительства, 2007. – С. 30-32.
2. Инжутов, И.С. К проблеме малоэтажного домостроения в Сибири / И.С. Инжутов, А.Ф. Рожков, В.М. Никитин [Текст] // Вестник ТГАСУ, № 1 - 2007. - С. 75-81.
3. Енджиевский, Л.В. Комбинированные из стали, бетона, дерева пространственные конструкции блочного типа [Текст] / Л.В. Енджиевский, И.С. Инжутов, П.А. Дмитриев, В.В. Стоянов, В.И. Жаданов, С.В. Деордиев, М.А. Плясунова, В.М. Никитин // Учеб. пособие. – Красноярск: СФУ, ИПК ОГУ, 2008. – 331 с.
4. Инжутов, И.С. Исследование напряженно-деформированного состояния крупноразмерной ребристой плиты с обшивкой, приклеенной на части длины конструкции [Текст] / И.С. Инжутов, В.И. Жаданов, В.М. Никитин // Изв. ВУЗов «Строительство», 2008. – № 7 – С. 4 – 10.
5. Инжутов, И.С. Натурные испытания плиты с фанерной обшивкой, приклеенной на части длины конструкции [Текст] / И.С. Инжутов, В.И. Жаданов, В.М. Никитин, В.Н. Дорохов, А.Г. Казанцева // Современные строительные конструкции из металла и древесины. - Одесса, ООО "Внешрекламсервис", 2008. - С.127-134.
6. Инжутов И.С. Крупноразмерные ребристые плиты с комбинированной обшивкой [Текст] / И.С. Инжутов, В.И. Жаданов, В.М. Никитин, А.Ф. Рожков //Современные металлические и деревянные конструкции (нормирование, проектирование и строительство): Сб. науч. тр. Междунар. Симпозиума, г.Брест, 15-18 июня 2009г. /Ред. Колл.: А.Я. Найчук (гл. ред.) и др. – Брест: ОАО «Брестская типография», 2009. – С. 98-101.

Никитин Вадим Михайлович

КРУПНОРАЗМЕРНЫЕ РЕБРИСТЫЕ ПЛИТЫ С КОМБИНИРОВАННОЙ ОБШИВКОЙ ДЛЯ ПОКРЫТИЙ ЗДАНИЙ

АВТОРЕФЕРАТ

Подписано в печать __.__.09. Формат 60х84 1/16.
Бумага офсетная. Печать плоская. Усл.-печ.л. 1,1.
Тираж 100 экз. Заказ №___.
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82.

Отпечатано на ризографе ИГУиРЭ.
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82.