

На правах рукописи

Животов Дмитрий Андреевич

**ПРИМЕНЕНИЕ БРУСА,
КЛЕЕНОГО ИЗ ОДНОНАПРАВЛЕННОГО ШПОНА,
В ПЛОСКИХ БАЛОЧНЫХ ФЕРМАХ**

Специальность 05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург
2009

Работа выполнена на кафедре «Конструкций из дерева и пластмасс» ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет».

Научный руководитель: кандидат технических наук, профессор
Никитин Георгий Георгиевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Лабудин Борис Васильевич

кандидат технических наук, доцент
Шмидт Александр Борисович

Ведущая организация: **ЦНИИСК им. «Кучеренко»**

Защита диссертации состоится «24» декабря 2009 г. в 16 часов на заседании Совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.223.03 при ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» по адресу: 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д.4, аудитория 505А.

Телефакс: (812) 316-58-72

Автореферат диссертации размещен на официальном сайте ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» www.spbgasu.ru

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах, заверенных печатью) просим направлять по адресу: 190005, Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д.4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет».

Автореферат разослан «24» ноября 2009 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
д.т.н., доцент

Л. Н. Кондратьева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Дальнейшее развитие деревянных конструкций связано с разработкой и внедрением инновационных технологий производства изделий на основе древесины (перечень поручений президента РФ Путина В.В. по итогам совещания по вопросу развития лесопромышленного комплекса 6 апреля 2006г.).

Ограниченность в размерах и физико-механические свойства обычной древесины не позволяют создавать большепролетные деревянные конструкции, способные на равных конкурировать с металлическими и железобетонными по себестоимости и скорости монтажа.

На основании сказанного можно заключить, что задача разработки и предложения бруса, клееного из однонаправленного шпона, в качестве конструкционного материала является актуальной и своевременной.

Целью диссертационной работы является разработка и исследование новых плоских балочных ферм с применением эффективного конструкционного бруса, клееного из однонаправленного шпона хвойных пород (далее ЛВЛ).

На основании поставленной цели сформулированы **задачи исследования:**

- выявить рациональное очертание плоской балочной фермы из ЛВЛ, на основании технико-экономических показателей;
- выполнить экспериментальные исследования:
 - по определению основных прочностных характеристик ЛВЛ, и древесно-слоистого пластика марки В (ДСП-В) в связи с отсутствием достоверных данных;
 - узловых сопряжений ЛВЛ при статическом нагружении;
 - по определению зависимости несущей способности соединений ЛВЛ от типа связи, диаметра и схемы расстановки болтов вдоль волокон;
- обосновать эффективность предложенных конструктивных решений устройства фасонки из ДСП-В в узловых соединениях;
- определить значения коэффициента учета связей ($K_{св}$) для накладок из ДСП-В;
- провести экспериментальное исследование предлагаемых конструкций из ЛВЛ при использовании конструкций малого пролета для изучения характера работы нового материала и его узловых сопряжений;
- предложить базовые наработки для создания программного обеспечения по подбору сечения ветвей в плоских балочных фермах из ЛВЛ и древесины, с целью применения унифицированных элементов;
- для составных элементов деревянных конструкций из ЛВЛ предложить формулы определения значений коэффициента податливости соединений K_c ;
- обосновать использование ЛВЛ в сквозных конструкциях, на примере балочных ферм, и провести сравнительный анализ по технико-экономическим параметрам с традиционными материалами (металл, древесина);
- подтвердить целесообразность предложенной конструкции на практике;
- сделать общие выводы по проведенным опытно-конструкторским разработкам и исследованиям.

Объектом исследования считаются стержневые сквозные балочные фермы с устройством в узловых сопряжениях болтов и фасонки, выполненных из ДСП-В.

Методология работы основана на использовании классических положений теории расчета строительных конструкций.

Предмет исследования - напряженно-деформированное состояние (НДС) несущих стержневых элементов сквозных конструкций из бруса, клееного из однонаправленного шпона, с разработкой и предложением узловых соединений.

Научная гипотеза: возможность применения ЛВЛ, как конструкционного материала в большепролетных конструкциях с получением конкурентоспособного продукта для нужд строительной отрасли.

Методика исследований:

- выявление основных изучаемых технико-экономических параметров для определения рационального очертания плоской балочной фермы из ЛВЛ;
- проведение стендовых экспериментальных исследований по определению: несущей способности образцов ЛВЛ, ДСП-В;
- изучение характера разрушения;
- зависимости несущей способности соединений от типа и диаметра связи, схемы расстановки болтов вдоль волокон с характером разрушения;
- напряженно-деформированного состояния модели;
- статистическая обработка полученных экспериментальных данных и установление аналитических зависимостей, характеризующих изменение параметров изучаемых соединений.

Научная новизна работы состоит в следующем:

- поставлена и решена задача по предложению рационального очертания плоской балочной фермы из ЛВЛ, на основании технико-экономических показателей;
- получены новые данные (расчетные сопротивления), необходимые для грамотного применения ЛВЛ в конструкциях плоских балочных ферм;
- теоретически проверены и экспериментально доказаны предложения по расстановке болтов вдоль волокон в накладках из ЛВЛ;
- определены значения $K_{зап}$ при использовании болтов $d.6,8,10,12$ для сопряжения элементов из ЛВЛ;
- поставлена и решена задача эффективного применения в узлах фасонки из ДСП-В с определением коэффициента учета связей ($K_{св}$);
- предложена база для создания программного обеспечения по выполнению расчетов конструкций из ЛВЛ и древесины, направленных на применение унифицированных элементов, с целью сокращения перерасхода материалов и уменьшения затрат по себестоимости конструкций;
- для составных элементов деревянных конструкций из ЛВЛ предложены формулы определения значений коэффициента податливости соединений K_c ;
- с помощью конструкции малого пролета экспериментально подтверждена возможность применения нового материала (ЛВЛ), как конструкционного материала;
- доказана экономическая целесообразность применения плоских балочных ферм из ЛВЛ в строительной отрасли на основании технико-экономических параметров.

Достоверность результатов работы обеспечена корректным использованием научных положений в области строительной механики,

строительных конструкций и технико-экономического анализа; подтверждается использованием метода математического планирования экспериментов с проведением исследований на современном поверенном измерительном и испытательном оборудовании; выполнением статистической обработки полученных экспериментальных данных и установление аналитических зависимостей для расчета параметров строительных конструкций; достоверность сформулированных в диссертации гипотез, выводов и рекомендаций обеспечивается обоснованными упрощениями и корректными допущениями при замене реальных процессов моделями; подтверждение адекватности разработанных моделей, результатами испытаний, проведенных в механической лаборатории СПбГАСУ. Для выполнения расчетов и обработки данных использовалось современное программное обеспечение: SCAD Office 11.0, Microsoft Excel, Curve Expert 1.3.

Теоретические, методологические и информационные основы исследования. Информационную базу исследования составили труды отечественных ученых в области теории и практики расчета деревянных конструкций, таких как: Буслаев Ю.Н., Варфоломеев Ю.А., Гринь И.М., Губенко А.Б., Гурьев А.Ю., Дмитриев П.А., Иванов В.Ф., Иванов Ю.М., Зубарев Г.Н., Карлсен Г.Г., Каган М.Е., Ковальчук Л.М., Кондратьева Л.Н., Коченов В.Н., Лабудин Б.В., Леняшин А.В., Леонтьев Н.Л., Линьков И.М., Мартинец Д.В., Миряев Б.В., Михайлов Б.К., Никитин Г.Г., Пискунов Ю.В., Постнов Н.Д., Светозарова Е.А., Серов Е.Н., Слицкоухов Ю.В., Туполев М.С., Хрулев В.М., Цейтлин Б.С. и других; научная, учебная и методологическая литература, периодические издания, рекламные проспекты, сведения из сети Интернет.

На защиту выносятся следующие результаты научных исследований:

- намечены рациональные схемы ферм из ЛВЛ на основе анализа следующих факторов: типа (очертания), схемы решетки, угла уклона верхнего пояса, L пролета, L/H , размера панели, веса, себестоимости, трудоемкости;
- конструкторские решения плоских балочных ферм из ЛВЛ различного пролета;
- методология исследований материала для получения расчетных характеристик и метода инженерного расчета элементов ферм и узлов, с учетом неравномерности распределения усилий;
- результаты испытаний образцов соединений элементов ферм из ЛВЛ и ДСП-В с определением коэффициента учета связей ($K_{св}$);
- результаты натурных испытаний ферм из ЛВЛ пролетом 4,6м кратковременной нагрузкой;
- предлагаемые конструктивные решения узловых сопряжений;
- результаты теоретических и экспериментальных исследований использования ЛВЛ, в качестве конструкционного материала;
- для составных элементов деревянных конструкций из ЛВЛ предложены формулы определения значений коэффициента податливости соединений K_c ;
- рекомендации по конструированию и расчету ферм из ЛВЛ.

Личный вклад. Разработка программы экспериментальных исследований конструкции ферм на действие статической нагрузки с анализом полученных данных и испытание материала (ЛВЛ, ДСП-В) в узлах на нагелях и фасонках.

Практическая значимость. Разработана конструкция плоской балочной фермы из ЛВЛ с определением данных, необходимых для проектирования.

Применение в строительстве полученных результатов позволит:

1. Повысить скорость строительства и сократить издержки на привлечение тяжелой механизации при монтаже;
2. Уменьшить себестоимость ферм из древесины и материалов на ее основе;
3. Применять надежные, но в тоже время экологически чистые и эстетичные материалы в интерьерах зданий без дополнительной отделки.

Реализация на практике. ООО «ПКФ Деревянные конструкции» использовала результаты работы в разработке проектно-сметной документации для строительства склада, расположенного в г. Торжок, Тверская область. Кроме того, подготовлен материал для отправки в ЦНИИСК им. «Кучеренко» с рядом предложений по включению в разрабатываемые нормы.

Апробация работы. Основные результаты исследований доложены на 60 и 62-ой международных научно-технических конференциях молодых ученых, аспирантов и докторантов (СПбГАСУ); 64, 65 и 66-й научных конференциях профессоров, преподавателей и научных работников (СПбГАСУ); III съезде ассоциации деревянного домостроения (СПбГАСУ); заседаниях кафедры КДиП СПбГАСУ; участие в международной научно-практической конференции «ЛВЛ-новое прогрессивное решение в строительстве» («Талион Клуб», СПб 17.09.09г.).

Основные положения диссертационной работы опубликованы в 4 печатных работах, в т.ч. 1 работа в издании, включенном в перечень ВАК РФ (Журнал «Промышленное и гражданское строительство»).

Диссертационная работа изложена на 145 стр., состоит из введения, 6 глав, рекомендаций по проектированию, основных выводов, списка использованной литературы. В работе представлено 69 рисунков, 43 таблицы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы и дается общая характеристика работы, формулируется цель, задачи и методика исследований, научная новизна и практическая ценность работы. Для реализации намеченных путей разработана структурная схема выполнения научных исследований (рис. 1).

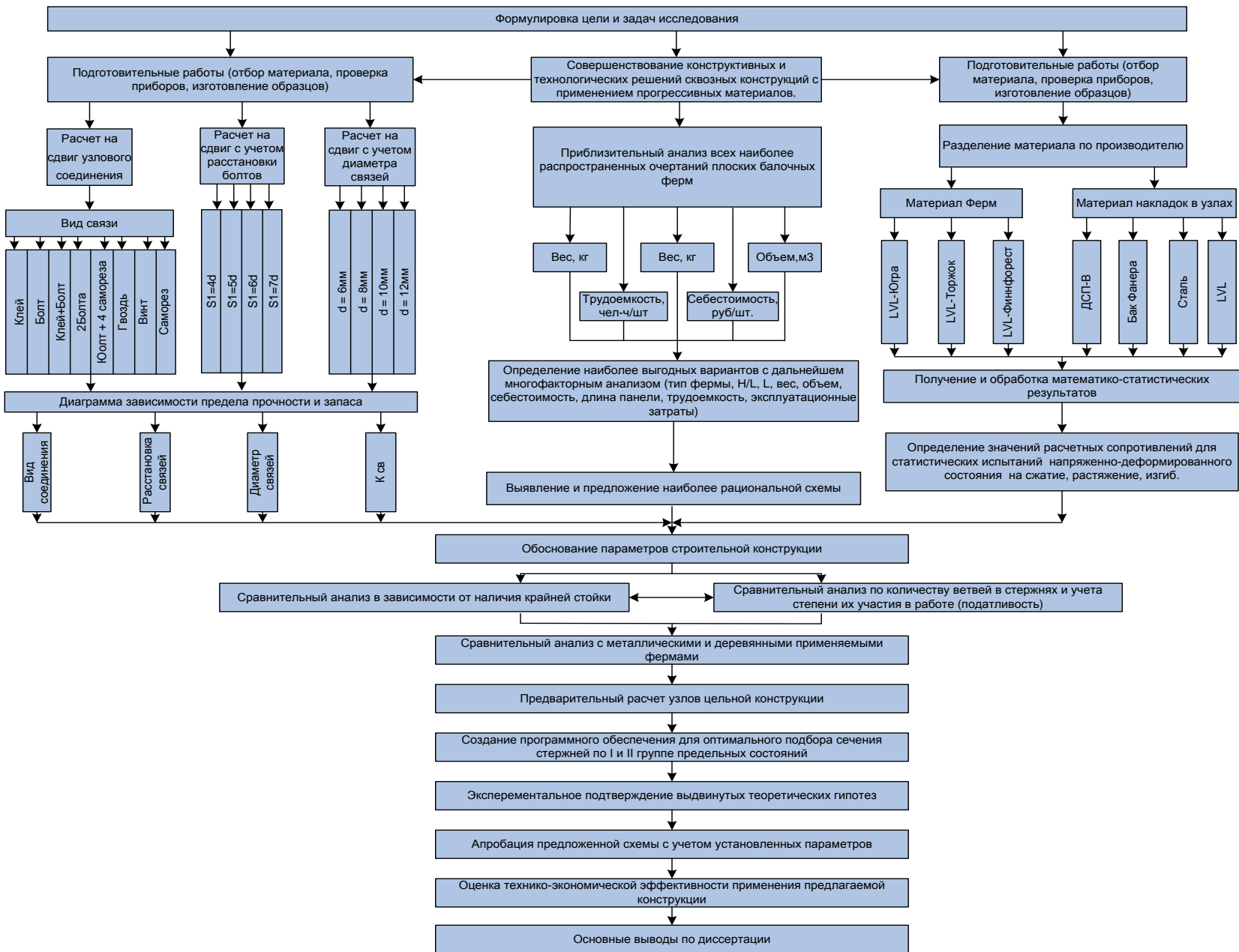


Рис. 1. Структурная схема выполнения научных исследований.

В первой главе приводится краткий обзор работ по материалам ЛВЛ и ДСП-В, анализ литературы с исторической и информационной справкой (технология производства, достоинства и недостатки, области применения).

Брус, клееный из шпона – в дальнейшем ЛВЛ (от англ. LVL – Laminated Veneer Lumber) – материал, получаемый путем прессования листов хвойного шпона, с предварительным нанесением на них синтетического связующего.

Преимущества ЛВЛ: широкий размерный ряд; высокие значения по прочности; стабильность размеров, не подвергается разбуханию-усушке и короблению; благодаря послойному склеиванию шпона в продольном направлении образуется однородный конструктивный материал (брус) без природных дефектов (сучки, косослой, свилеватость); хорошо гвоздится (не растрескивается от гвоздей), легко обрабатывается с помощью традиционных инструментов; огнестойкость; экологическая чистота и эстетичность; малый вес.

Недостатки ЛВЛ – стоимость 31500 руб/м³ на 01.06.2009 г., что обусловлено малыми масштабами внутреннего потребления и производства. Для примера, стоимость бакфанеры – 45000 руб/м³, пиломатериал – 5000 руб/м³ на 01.06.2009. Дефицитность - на территории РФ работает 2 завода (г. Югра, Ханты-Мансийский АО $V_{\text{произв}} = \text{до } 100 \text{ тыс. м}^3/\text{год}$ и г. Торжок, Тверская обл., $V_{\text{произв}} = \text{до } 250 \text{ тыс. м}^3/\text{год}$). Для примера в США $V_{\text{произв}} = 2-2,5 \text{ млн. м}^3/\text{год}$. На сегодняшний день производятся 3 типа ЛВЛ – для балок, стоек и обшивок, в зависимости от плотности и расположения применяемого шпона. В диссертационной работе исследовался только ЛВЛ с однонаправленным расположением листов шпона.

Рассматриваются предпосылки применения ЛВЛ, как конструкционного материала в большепролетных конструкциях.

Вторая глава посвящена теоретическим предпосылкам в проведении многофакторного анализа, с целью выявления наиболее рационального очертания плоской балочной фермы из ЛВЛ.

При выполнении исследований в качестве теоретических обоснований разработанных научных положений в части расчета деревянных конструкций использовались труды Буслаева Ю.Н., Варфоломеева Ю.А., Гриня И.М., Губенко А.Б., Дмитриева П.А., Иванова В.Ф., Иванова Ю.М., Зубарева Г.Н., Карлсена Г.Г., Ковальчука Л.М., Кондратьевой Л.Н., Коченова В.Н., Ляшина А.В., Линькова И.М., Никитина Г.Г., Пискунова Ю.В., Постнов Н.Д., Светозаровой Е.А., Серова Е.Н., J.Natterer, W.Mönck. На базе указанных теоретических положений автором выполнен предварительный анализ плоских балочных ферм из ЛВЛ, с учетом следующих параметров: (тип схемы (очертание), Н/Л от 1/10 до 1/4, L величина пролета, угол наклона верхнего пояса, вид решетки) по укрупненным коэффициентам на примере пролета 18м.

Значения нагрузки для СПб – $S^{\text{снег}} = 1,8 \text{ кН/м}^2$ [3], $G_{\text{покр}} = 0,5 \text{ кН/м}^2$ (рис.2а,б).

Выполнен многофакторный анализ сравнения по Н/Л от 1/5...1/10, углу наклона верхнего пояса и наличию крайней стойки для ЛВЛ с учетом эксплуатационных затрат.

Проделанная работа позволила определить экономически выгодное очертание плоской балочной фермы из ЛВЛ (рис.3 тип 4 с $H/L \approx 1/8$).

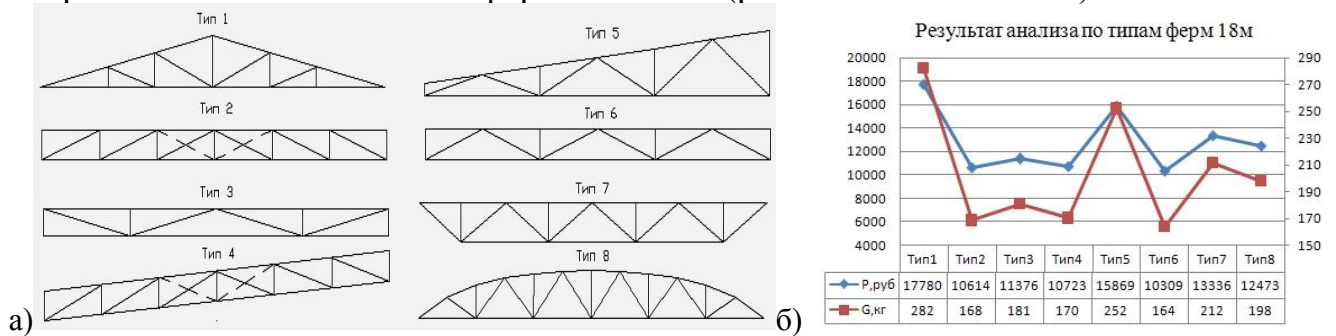


Рис.2а,б. Основные типы сквозных балочных конструкций.

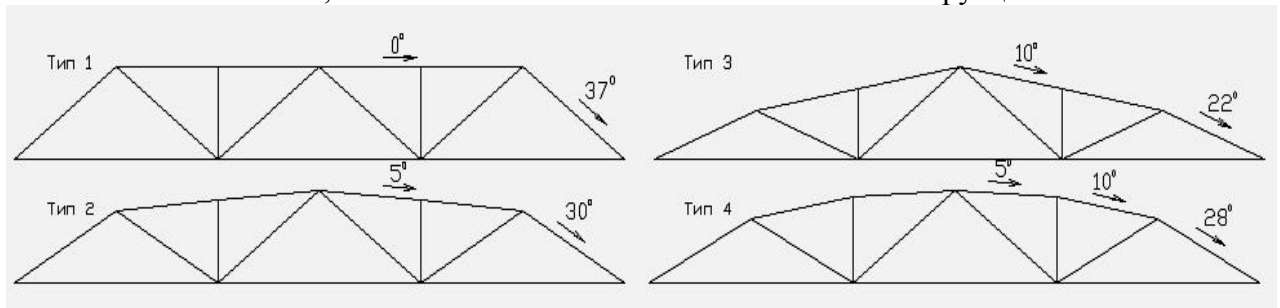


Рис.3. Типы ферм с различным углом наклона в.п. при $H/L=1/8$ для 18м

Третья глава отражает методiku и результаты выполненных экспериментальных исследований образцов.

Предложение конструкций из новых, прогрессивных материалов требует проведения полного цикла исследований, связанных в первую очередь с нехваткой информации в научной и технической литературе.

Экспериментальные исследования были направлены на:

- определение прочностных характеристик бруса, клееного из однонаправленного шпона, при статическом нагружении на сжатие, растяжение и поперечный изгиб для ближайших производителей (ЛВЛ – г. Югра Ханты-Мансийский АО, г.Торжок Тверская обл., г. Лохья Финляндия);
- уточнение прочностных характеристик ДСП-В при сжатии;
- построение графиков зависимости расчетных сопротивлений образцов от угла наклона приложения нагрузки к слоям ЛВЛ и ДСП-В.
- проверку правомерности применения формулы определения расчетного сопротивления древесины смятию под углом α к направлению волокон (1) для ЛВЛ и ДСП-В.

$$R_{с\ \alpha} = \frac{R_{с\ м}}{1 + \left(\frac{R_{с\ м}}{R_{с\ \emptyset 0}} - 1 \right) \sin^3 \alpha} \quad (1)$$

Большой вклад в развитие нагельных соединений внесли такие ученые, как Гестеши Т., Граф О., Дмитриев П.А., Жаксон А., Иванов В.Ф., Иванов Ю.М., Инжутов И.С., Карлсен Г.Г., Каган М.Н., Коченов В.Н., Мальцев В.Н., Мартинаец Д.В., Никитин Г.Г., Пискунов Ю.Н., Слицкоухов Ю.В., Туркин В.П., и

др. За границей в последнее время имеются интересные работы, положенные в основу европейских норм ЕС 5 (Kessel M.-H., Mönck W., Rug W., Breyer D.).

Определены значения плотности и влажности испытываемых образцов в лаборатории Государственной Северо-Западной таможни на приборах: сушильный шкаф фирмы «Bilder» Германия; весы с ценой деления 0,1г (табл.1):

Таблица 1

Определение плотности ρ , г/см³ и влажности W, % ЛВЛ

№ п/п	Обозначение	m, г	L, см	b, см	t, см	V, см ³	ρ , г/см ³			W, %	
							эксперимент		Данные завода		
							г.Югра		г.Югра		г.Торжок
1	I-7-П-100x100-30-Р	183,62	9,925	9,685	3,06	294,13	0,6243	0,6216	0,557	0,550	7,4
2	II-10-П-100x100-30-Р	192,10	9,960	9,890	3,00	295,51	0,6501				7,5
3	II-5-П-100x100-30-С	187,67	10,00	9,940	3,00	298,20	0,6293				7,7
4	III-4-П-100x100-30-И	195,12	10,60	9,600	3,00	305,28	0,6392				7,4
5	III-17-П-100x100-30-И	170,09	9,965	9,870	3,06	300,96	0,5651				7,3

Проведенные исследования показали, что плотность ЛВЛ зависит от качества сырья (количества ранних и поздних годовых слоев), и именно по значению плотности листов шпона идет сортировка на заводах.

Влияние влажности на прочностные свойства ЛВЛ в диссертационной работе не рассматривалось, но утверждения заводов-изготовителей о том, что ЛВЛ не впитывает влагу из воздуха или при прямом попадании требуют проверки.

Полный комплекс испытаний на сжатие, растяжение и поперечный изгиб проводился на универсальной испытательной машине ИМ-50 фирма «Amsler» (рис.4). Свидетельство о поверке №0121191. Срок поверки – 21.07.2009 г. Количество образцов на каждый вид испытаний составило 50 шт.



Рис.4. Испытательная машина.

Значения пределов прочности приведены к стандартной влажности 12% (2)

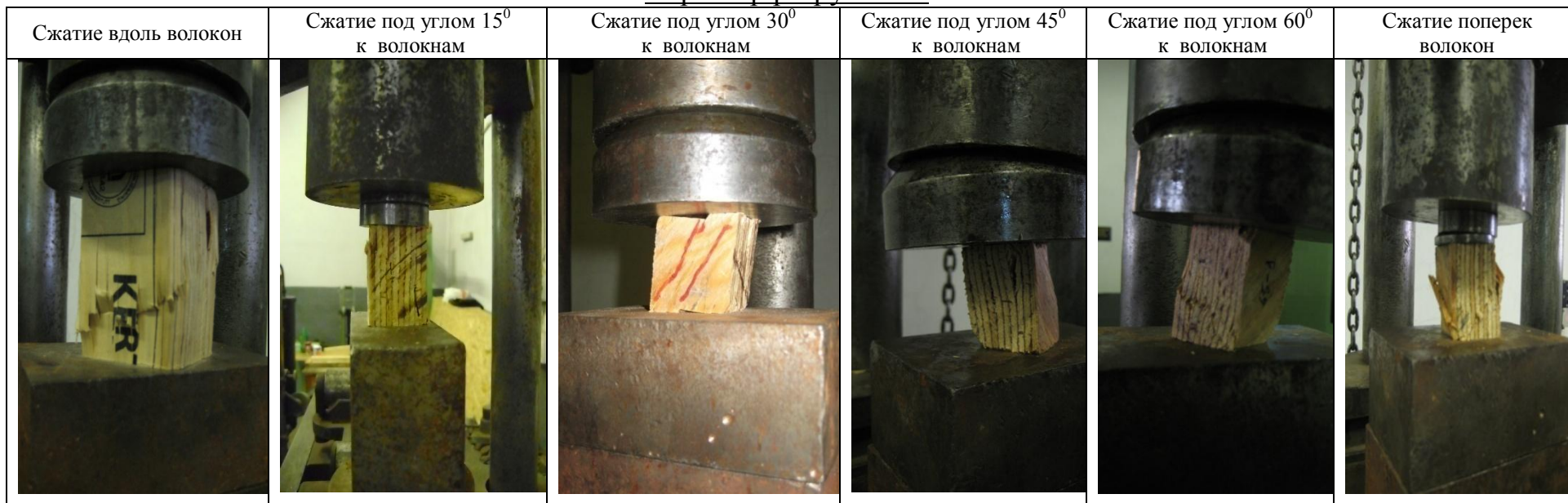
$$q_{12} = q_{\omega} [1 + \alpha(\omega - 12)], \quad (2)$$

где α – поправочный коэффициент: сжатие и изгиб = 0,04, при растяжении = 0,015.

Определены прочностные характеристики ЛВЛ при сжатии

№ п/п	Обозначение	Предел прочности / Нормативное сопротивление, $\sigma_{пч}/ R^H$, кгс/см ²								Расчетное сопротивление R^p , кгс/см ²					
		из эксперимента				Еврокод 5-EN1995	Данные ЦНИИСК	Данные завода г.Торжок		из эксперимента				Данные ЦНИИСК	
		станд. влажность $\omega=12,0\%$						станд. влажность $\omega=12,0\%$							
		t=30м, Югра	t=51мм, г.Торжок	t=63мм г.Торжок	t=48мм, г.Лохья	t=от 21, до 90 мм	t=75мм, г.Югра	t=51м,	t=63м,	t=30мм Югра	t=51мм г.Торжок	t=63мм, гТоржок	t=48м, г.Лохья	t=75мм, г.Югра	
1	Сжатие вдоль волокон	<u>470,5</u> 379,8	<u>445,5</u> 357,1	<u>415,2</u> 339,3	<u>400,6</u> 328,2	<u>380,0</u> -	<u>501,5</u> 450,0	<u>560,0</u> -	<u>580,0</u> -	230,8	216,2	208,2	200,8	200,0	
2	Сжатие под углом 15°	<u>204,7</u> 169,3	не определялось				не указано			104,0	не определялось			не указано	
3	Сжатие под углом 30°	<u>184,1</u> 155,4	не определялось				не указано			96,2	не определялось			не указано	
4	Сжатие под углом 45°	<u>153,1</u> 136,5	не определялось				не указано			86,5	не определялось			не указано	
5	Сжатие под углом 60°	<u>130,5</u> 112,7	не определялось				не указано			70,4	не определялось			не указано	
6	Сжатие поперек волокон	<u>105,6</u> 89,0	не определялось				<u>70,0</u> -	<u>100,0</u> 80,0	<u>86,0</u> -	<u>78,0</u> -	55,1	не определялось			50,0

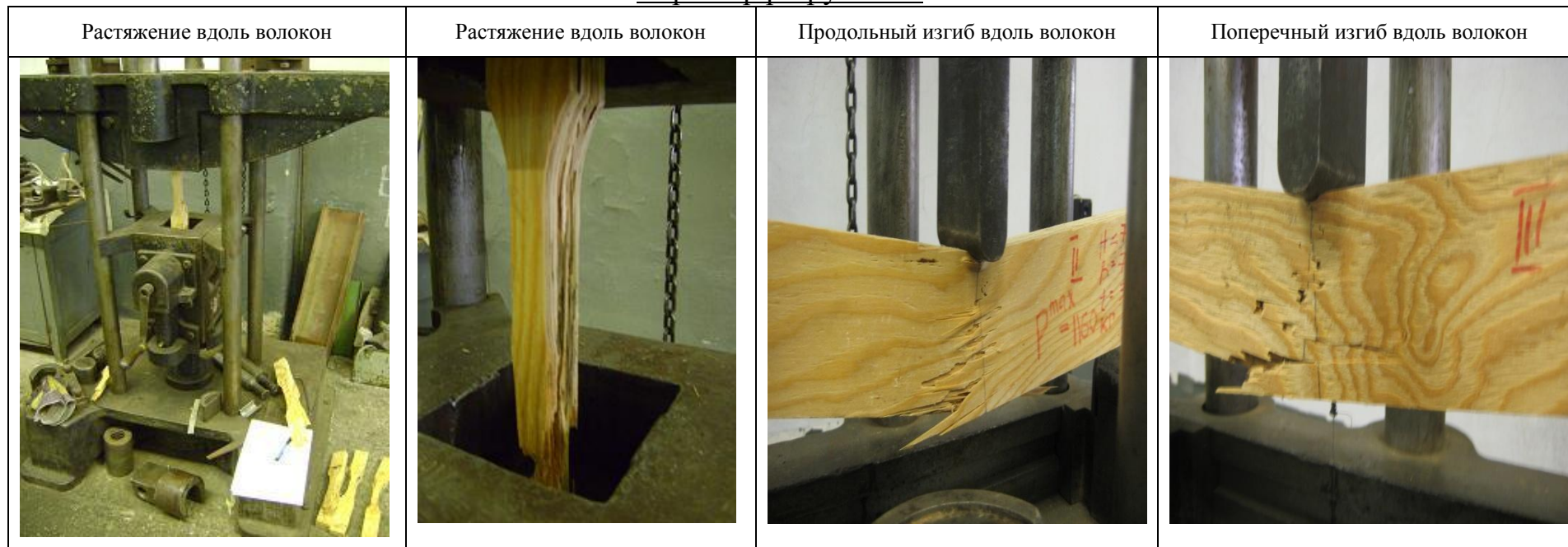
Характер разрушения



Определены прочностные характеристики ЛВЛ при растяжении и продольном изгибе.

№ п/п	Обозначение	Предел прочности / Нормативное сопротивление, $\sigma_{пч} / R^H$, кгс/см ²							Расчетное сопротивление R^p , кгс/см ²		
		из эксперимента		Еврокод 5-EN1995	Данные ЦНИИСК	Данные завода			из эксперимента		Данные ЦНИИСК
		$\omega=7,5\%$	$\omega=12\%$			$t=30\text{мм}$ г.Югра	$t=51\text{мм}$ г.Торжок	$t=63\text{мм}$ г.Торжок	$t=33\text{мм}$ г.Югра	$\omega=7,5\%$	
1	Растяжение вдоль волокон	<u>432,0</u> 334,1	<u>402,8</u> 311,6	<u>380,0</u> -	<u>400,0</u> 300,0	<u>430,0</u> -	<u>420,0</u> -	-	199,0	185,6	180,0
2	Поперечный изгиб вдоль волокон	<u>690,0</u> 632,3	<u>564,0</u> 525,3	<u>480,0</u> -	<u>680,0</u> 560,0	<u>690,0</u> -	<u>650,0</u> -	<u>480,0</u> -	404,8	338,2	340,0
3	Модуль упругости при изгибе	107090		104000	100000	205000	190000	100000			

Характер разрушения



Определены прочностные характеристики ДСП-В при сжатии и растяжении

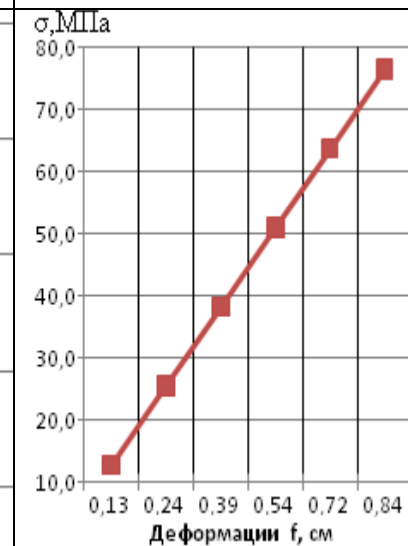
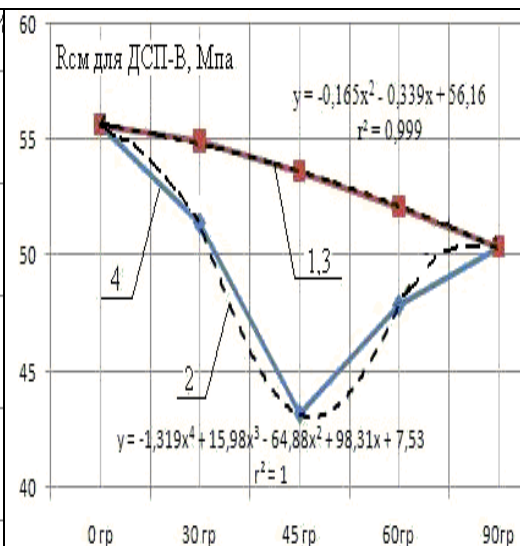
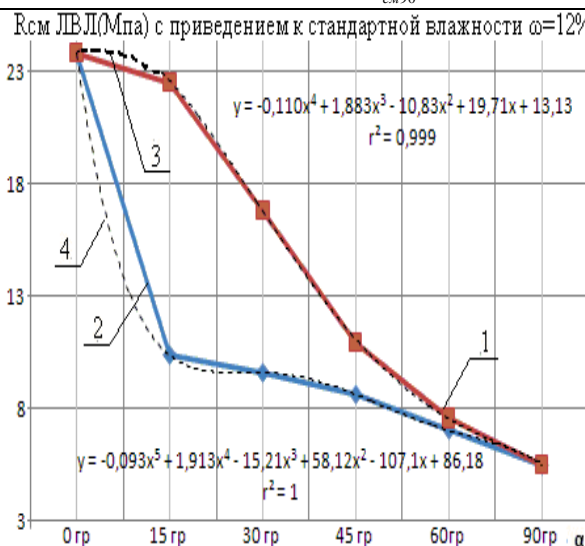
№ п/п	Обозначение	Предел прочности / Нормативное сопротивление, $\sigma_{пч} / R^H$, кгс/см ²				Расчетное сопротивление R^p , кгс/см ²		
		из эксперимента	Данные ГОСТ 13913-78	Данные завода Фанпласт		из эксперимента	Данные ГОСТ 13913-78	Данные завода Фанпласт
		t=5мм Фанпласт	t=5мм	t=5мм	t=7мм	t=5мм Фанпласт	-	
1	Сжатие вдоль волокон	$\frac{90,01}{85,7}$	-	-	-	55,6	-	-
2	Сжатие под углом 30° к волокнам	$\frac{85,01}{79,5}$	-	-	-	51,4	-	-
3	Сжатие под углом 45° к волокнам	$\frac{78,28}{68,6}$	-	-	-	43,2	-	-
4	Сжатие под углом 60° к волокнам	$\frac{85,01}{75,6}$	-	-	-	47,8	-	-
5	Сжатие поперек волокон	$\frac{89,81}{79,7}$	-	-	-	50,4	-	-
6	Растяжение вдоль волокон	-	$\frac{137,0}{-}$	$\frac{147,0}{-}$	$\frac{150,0}{-}$	-	-	-

Сжатие ДСП-В, с потерей устойчивости волокон

Построены графики зависимости $R_{см}^{расч}$ ЛВЛ и ДСП-В от угла. 1-кривая теоретических значений по (1); 2- кривая фактических значений по точкам; 3,4 - аппроксимирующие кривые кривых соответственно 1,2; r – коэффициент корреляции.

$$R_{см\alpha} = \frac{R_{см}}{1 + \left(\frac{R_{см}}{R_{см90}} - 1\right) * \sin^3 \alpha} \text{ - формула для древесины}$$

Построен график зависимости действующих напряжений σ от деформаций - работа материала в упругой стадии



Глава четвертая отражает методику и результаты выполненных экспериментальных исследований соединений.

Обзор литературы показал, что на сегодняшний день есть наработки применения металлических и фанерных накладок, но отсутствуют рекомендаций по разработке конструкций стропильных ферм с использованием фасонок из ДСП-В на стальных нагелях, учитывающих работу узлов и их податливость.

Изучение работы узловых сопряжений на нагелях смоделировано при углах 0° и 90° градусов (рис.5).

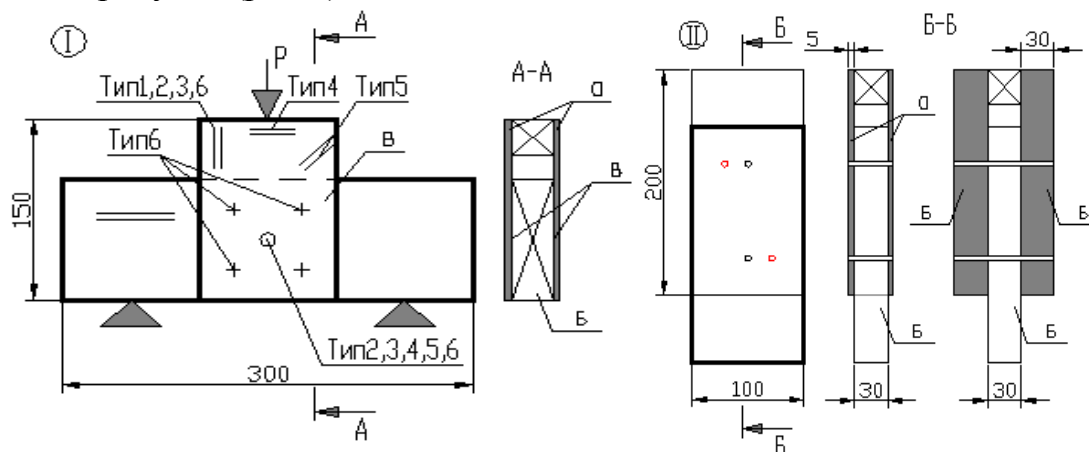


Рис.5. Примеры сопряжения элементов в узлах. I – соединение элементов под 90° ; II – соединение элементов вдоль волокон; а – ДСП-В; б – ЛВЛ; в – клей; = направление волокон.

Использование фасонок из тонколистового материала (бакфанера, ДСП-В) позволяет получать равнопрочное узловое соединение при любом количестве ветвей. Перечисленные материалы обладают анизотропными свойствами, что следует принимать во внимание при конструировании с учетом принципов: дробности и вязкости. Первый позволяет избежать (значительно уменьшить) скалывание древесины, путем увеличения числа площадок скалывания, т.е. расстановка большего количества связей меньшей несущей способности (табл.2) - предложены значения коэффициента учета связей ($K_{св}$) для накладок из ДСП-В. Вязкость соединения обеспечивается тягучей работой древесины гнезд на смятие.

Таблица 2

n	1	2	3	4	6	8	10	20
$K_{св}$	0,498	0,665	0,749	0,799	0,856	0,888	0,908	0,952

По рис.5-I построены зависимости P_{max} и $K_{зап}$ от типа связи (рис.6).

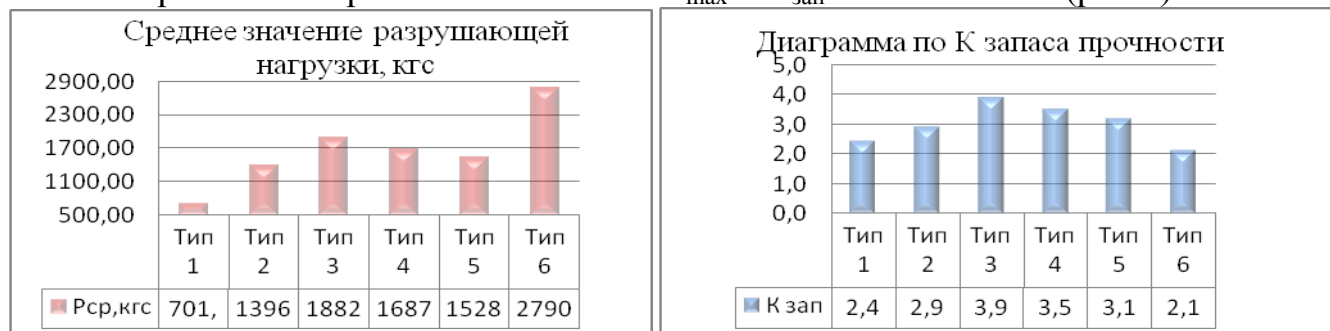


Рис.6. Диаграммы зависимости разрушающей нагрузки P_{max} и коэффициента запаса $K_{зап}$ от типа связи. Нагрузка для всех типов приложена поперек ЛВЛ(рис.5); тип1- соединение на клею «Акзонобель ULTRA S». Вдоль волокон ДСП-В; тип2 - соединение на глухаре $d=1.2$ см. Вдоль ДСП-В; тип3 - соединение на клею+глухарь $d=1.2$ см. Вдоль ДСП-В; тип4 - соединение на клею+ глухарь $d=1.2$ см. Поперек волокон ДСП-В; тип5 - соединение на клею+ глухарь $d=1.2$ см. 45 град к волокнам ДСП-В; тип6 - соединение на клею+ глухарь $d=1.2$ см+4 самореза $d=0.38$ см. Вдоль волокон ДСП-В.

Проведена серия экспериментов по определению зависимости несущей способности соединений ЛВЛ от схемы расстановки болтов $d.6$ мм вдоль волокон с устройством преднапряженного болта, путем натяжения гайки. Цель эксперимента заключалась в создании теоретических предпосылок относительно увеличения прочности соединения при устройстве распора для ЛВЛ (рис.7).

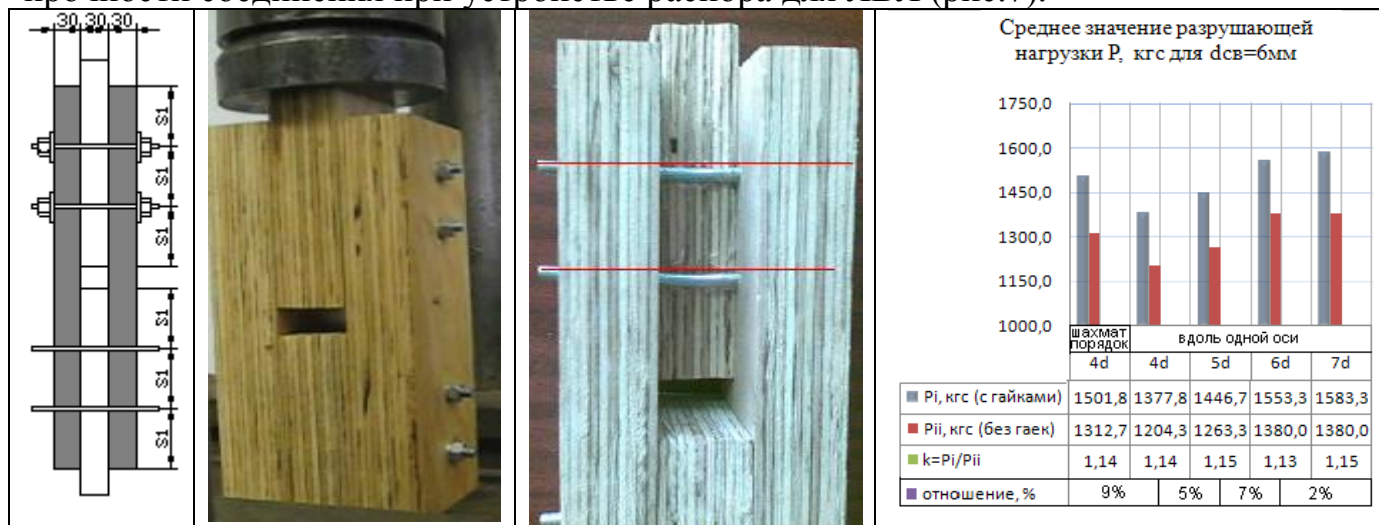


Рис.7. Схема и диаграмма зависимости разрушающей нагрузки P_{max} от типа и способа расстановки связей при сопряжении элементов ЛВЛ.

Эксперимент показал, что в случае заземления прочность соединения ЛВЛ увеличивается на 15%. Однако предложение по включению данной теории в нормативную литературу потребует проведения длительных испытаний, анализа состояния узлов эксплуатируемых конструкций по прошествии нескольких сезонов (осень, весна). Анализируя (рис.7) можно предположить, что несущая способность при расстановке болтов $\varnothing 6$ мм с шагом $S_1=6d$ вдоль волокон наиболее оправдана.

Исследованы соединения на болтах $\varnothing 6, 8, 10, 12$ мм вдоль волокон (рис.8).



Рис.8. Диаграмма зависимости разрушающей нагрузки P_{max} и коэффициента запаса $K_{зап}$ от диаметра болта.

Экспериментальные исследования позволили уточнить расчетные характеристики материалов (ЛВЛ, ДСП-В, болтов). Стоит заметить, что в будущем необходимо провести испытания большого количества образцов, для получения достоверных данных с доверительной вероятностью в пределах 1. Полученные результаты носят предварительный характер, поскольку не получен коэффициент длительной прочности для этого вида напряженно-деформированного состояния в виду сжатых сроков кандидатской работы.

Пятая глава отражает методику и результаты выполненных экспериментальных исследований.

С целью определения общего коэффициента запаса и деформативности, изучения действительной работы узловых сопряжений ферм из ЛВЛ и ДСП-В запроектированы, изготовлены и испытаны пять натуральных конструкций малого пролета $L=4,56\text{м}$. Узловая нагрузка установлена с учетом шага ферм – 3м. Стыки нижнего и верхнего пояса ферм совмещены с узлами крепления элементов решетки и выполнены на стальных болтах $\varnothing 6\text{мм}$ с помощью парных накладок из ДСП-В. Величина строительного подъема составила $1/200$ от пролета фермы.

Эксперимент состоял из 2-х видов исследования:

- изучение влияния потери устойчивости основных элементов из плоскости на работу всей конструкции фермы (без раскрепления верхнего пояса).
- определение несущей способности узлов и элементов фермы с исследованием характера работы конструкции.

Нагружение фермы при кратковременном приложении нагрузки осуществлялось на испытательной 7-ми штемпельной гидравлической машине фирмы «Amsler»(рис.9). Ступени загрузки были приняты равными 0,1 от расчетной нагрузки. На каждой ступени ферма выдерживалась под нагрузкой в течение 15 мин. Для получения достоверных результатов эксперимента по деформированию стержней использовались тензодатчики, а также в узлах и на опорах устанавливались прогибомеры. При каждом шаге увеличения нагрузки производилось регистрирование результатов с последующей математико-статической обработкой.



Рис.9. Натурная конструкция фермы малого пролета.

1. Исследование влияния потери устойчивости основных элементов из плоскости на работу всей конструкции фермы (без раскрепления верхнего пояса). Статический расчет проводился на воздействие расчетной нагрузки $P_{расч}=1820Н/м^2$ (рис.10,11).



Рис.10. Фото-фиксация разрушения опорного подкоса.

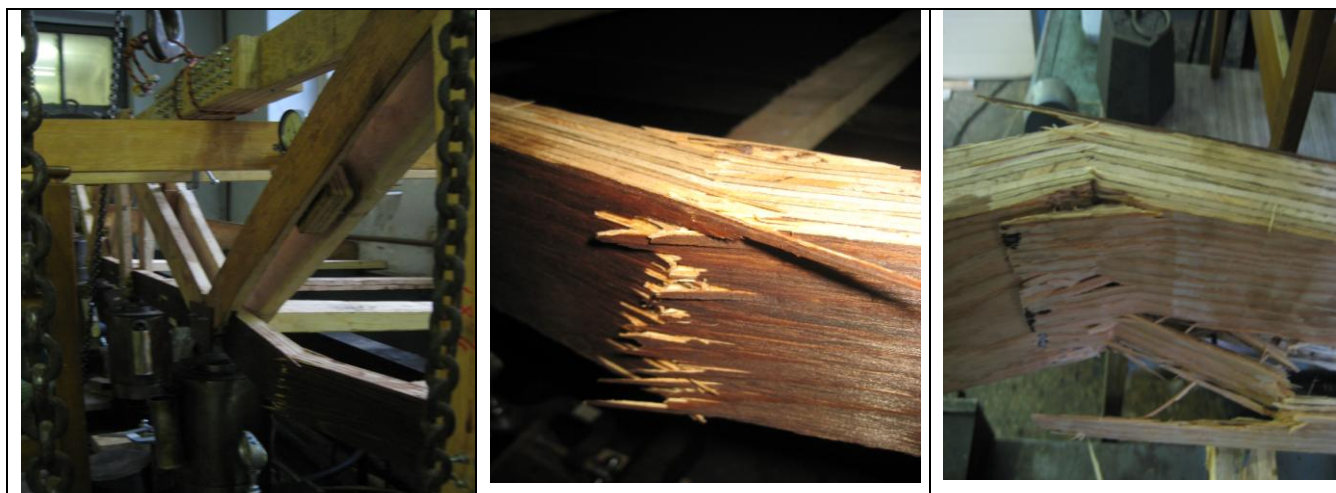


Рис.11. Фото-фиксация разрушения верхнего пояса.

Эксперимент доказал важную роль влияния раскрепления ответственных сжатых элементов из плоскости на работу всей конструкции. Разрушающая нагрузка в узлах составила $P_{факт}^{BP}=1,3-1,4тс$. Коэффициент запаса $K_{зап}=2,04-2,20$.

2. Приложение нагрузки до появления необратимых деформаций. Статический расчет проводился на воздействие расчетной нагрузки $P_{расч}=3630Н/м^2$ (рис.12,13).

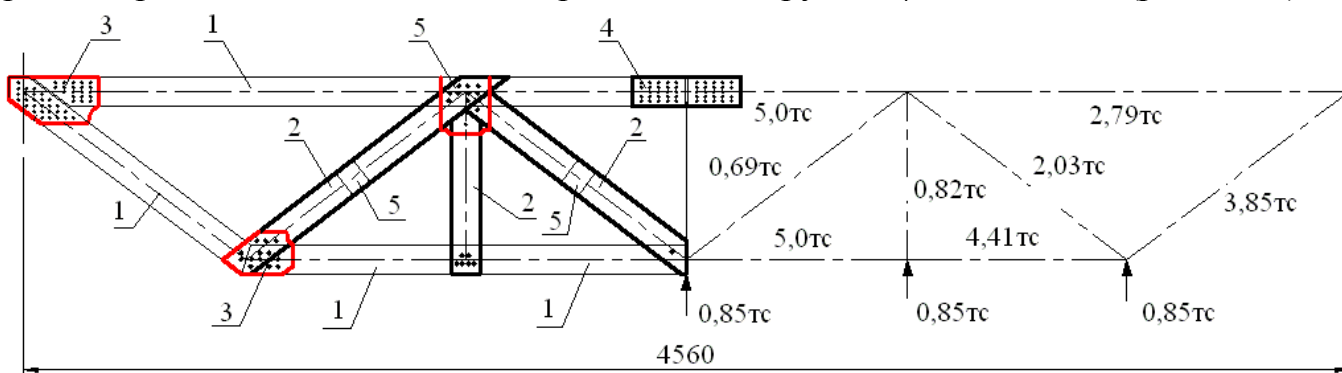


Рис.12. Схема конструкции малого пролета $L=4,6м$.

1– ЛВЛ 30x100; 2 – 2 доски 25x100; 3- фасонки из ДСП-В; 4 – накладки из ЛВЛ; 5 – прокладки

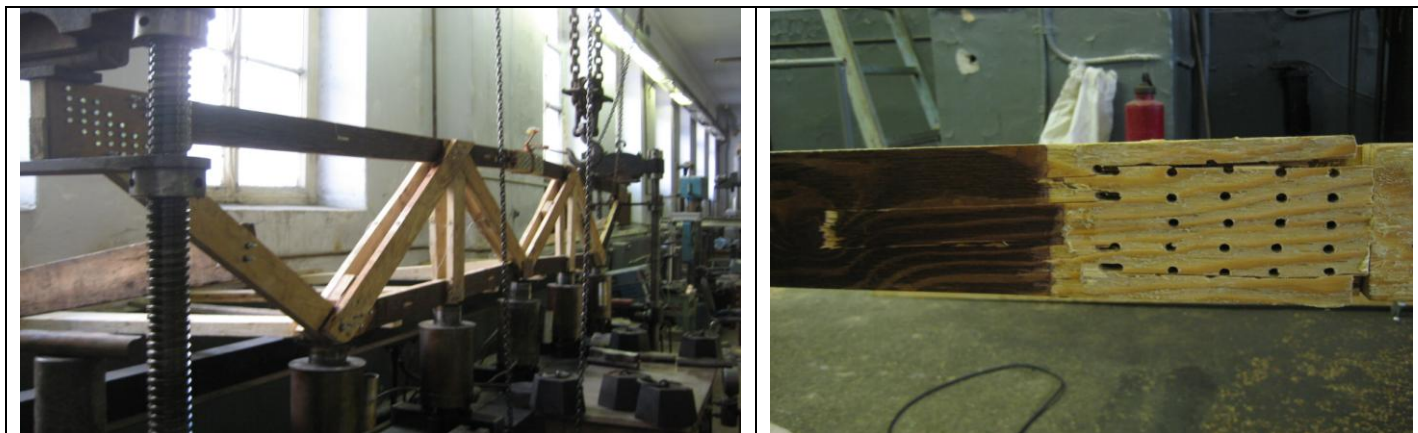


Рис.13. Разрушение модели.

Результаты натуральных испытаний представлены на рис.14. Несущая способность элементов не была исчерпана полностью из-за разрушения нагельного соединения нижнего пояса, где расстояние между связями составляло $S1=5d$. Разрушающая нагрузка $P_{факт}^{BP}=2,3тс$ - коэффициент запаса $K_{зап}=1,79$. Изучение характера разрушения (скалывание) позволило предположить, что для увеличения несущей способности стыка из ЛВЛ необходимо принимать расстояние между нагельми вдоль волокон не менее ($S1=6d$). Испытания указанной фермы показали ее достаточную жесткость. В частности, при расчетной нагрузке величины относительных прогибов для узлов нижнего пояса равнялись $1/250$ от пролета фермы.

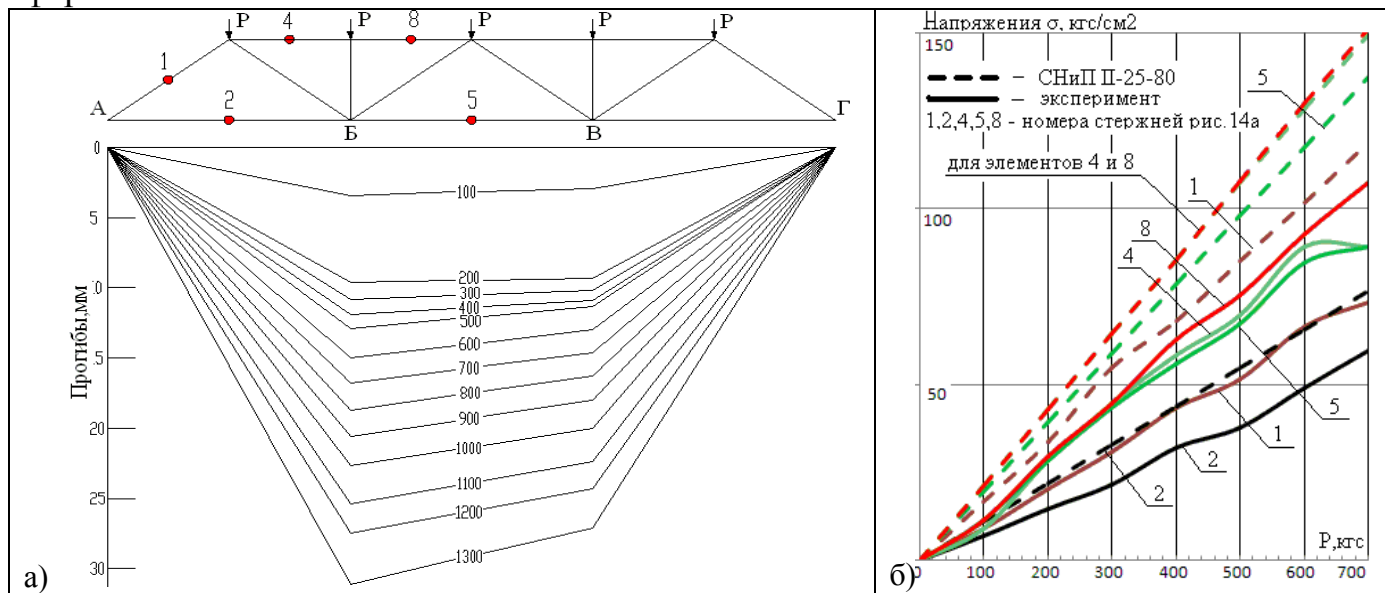


Рис.14. Графики прогибов (а) и напряжений в стержнях (б) испытываемой фермы.

Полученные результаты доказывают обоснованность применения ЛВЛ, как конструкционного материала, в большепролетных конструкциях.

В шестой главе рассмотрены данные практической апробации результатов исследований и оценены технико-экономические показатели их практического использования. Выполнен подбор типа материала и сечения стержней для ферм пролетом 18,21,24,27,30,36,42м с предложением наработок для создания программного обеспечения по расчету плоских балочных ферм большого пролета (рис.15) на примере Санкт-Петербурга.

- При выполнении опытно-конструкторских разработок преследовались цели:
- эффективно использовать свойства применяемых в конструкциях материалов;
 - уменьшить трудоемкость изготовления;
 - предусмотреть возможность сборки ферм из предварительно заготовленных элементов ЛВЛ и ДСП-В на строительной площадке.

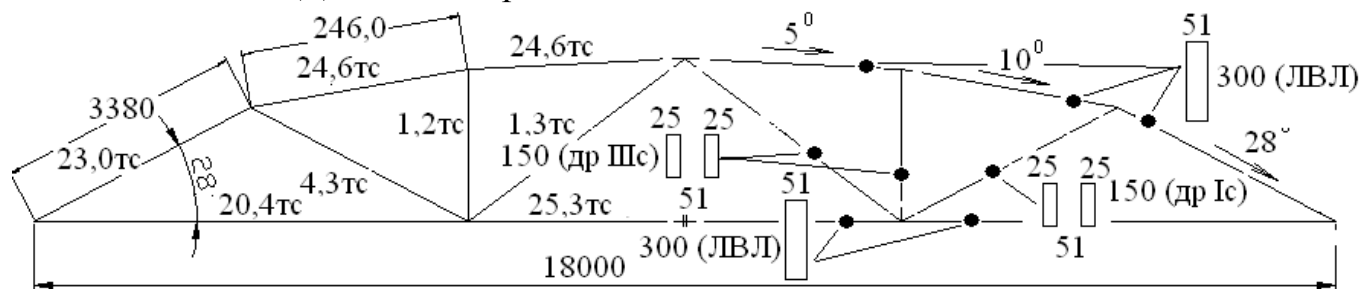


Рис. 15. Ферма из ЛВЛ 18м (2 варианта сборки нижнего пояса – цельный брус или стык в узле Е).

Помимо одной ветви для большепролетных конструкций целесообразно применять составные пояса (2х,3х,4х). Гибкость составных элементов λ из ЛВЛ следует определять с учетом податливости соединений по формуле (3):

$$\lambda = \sqrt{(\mu_y \lambda_y)^2 + \lambda_1^2} \quad (3)$$

μ_y – коэффициент приведения гибкости, определяемый по формуле (4)

$$\mu_y = \sqrt{1 + k_c \frac{b h n_{ш}}{l_0^2 n_c}} \quad (4)$$

k_c – коэффициент податливости соединений, предлагается определять по таблице 3:

Таблица 3

Вид связи	Коэффициент k_c при	
	центральном сжатии	сжатии с изгибом
Гвозди	$\frac{1}{12d^2}$	$\frac{1}{6d^2}$
Цилиндрические нагели диаметром \leq наименьшей толщины a (см) соединяемых элементов	$\frac{1}{7d^2}$	$\frac{1}{3,5d^2}$
Цилиндрические нагели диаметром $>$ наименьшей толщины a (см) соединяемых элементов	$\frac{1}{ad}$	$\frac{2}{ad}$

Приводится обоснование экономической эффективности применения ЛВЛ в большепролетных конструкциях, с построением диаграммы сравнения по затратам на производство в металле (тр.кв.сечения), брус и ЛВЛ (рис. 16).

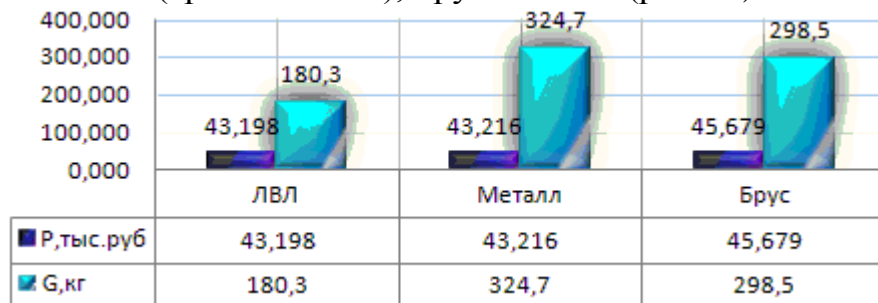


Рис.16. Диаграмма сравнения по себестоимости Р, тыс.руб., и собственному весу G, кг.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ

1. Стропильные фермы из ЛВЛ, отдельно стоящего здания, рекомендуется применять по схеме 4 рис.3, исходя из технико-экономического анализа.
2. При больших пролетах целесообразны многоветвевые (2-х,3-х,4-х) стержни с короткими прокладками из древесины.
3. Малонапряженные элементы решетки выполнять из пиломатериалов.
4. Узловые сопряжения проектировать из фасонки тонкого листового материала (древесно-слоистый пластик (ДСП-В), бакелизированная фанера, сталь) с отверстиями под связи, которые сверлить по накладкам (шаблонам) диаметром = диаметру резьбы или гладких стержней.
5. В накладках располагать ДСП-В под углом 0^0 или 90^0 вдоль наибольшего усилия.
6. При проектировании узлов на стальных нагелях с накладками из ДСП-В включать значения коэффициента учета связей ($K_{св}$) (табл.2).
7. Расстояние между осями цилиндрических нагелей вдоль волокон ЛВЛ принимать $S_1=6d$, поперек волокон S_2 и от кромки элемента S_3 как для древесины п. 5.18 СНиП II-25-80.
8. Применять типы связей – нагели, дюбеля, винты, глухарь, гладкие, с резьбой, различными шляпками, головками диаметром 6-20мм.
9. В узлах и стыках ферм целесообразно применять болты с шайбами и гайками (обоснование увеличения несущей способности соединения за счет устройства распора для ЛВЛ, возможно только после проведения длительных испытаний, анализа состояния узлов эксплуатируемых конструкций по прошествии нескольких сезонов (осень, весна)).
10. Для удобства монтажа и увеличения надежности дополнительно применять клеевые составы, рекомендуемые для древесины и фанеры (напр., РФ-12).
11. Применение принципа дробности позволит избежать (значительно уменьшить) скалывание и раскалывание древесины, путем увеличения числа площадок скалывания, т.е. расстановка большего количества связей меньшей несущей способности.
12. Сжатые стержни многоветвевых ферм следует рассчитывать, как составные элементы по приведенной гибкости (3,4) с учетом коэффициента связей K_c для ЛВЛ (табл.3) – сжатие с изгибом для верхнего пояса, сжатие для решетки.
13. В плоских балочных фермах из ЛВЛ, как показал эксперимент, следует предусматривать строительный подъем $f_{стр}$ не менее $\frac{1}{200}L$.
14. Отношение H/L для ферм из ЛВЛ возможно принимать $\frac{1}{7,5} - \frac{1}{8}L$, что связано в первую очередь с эксплуатационными затратами.
15. Для увеличения скорости сборки ферм на строительной площадке, уменьшения трудоемкости и удобства транспортировки предлагается стыковать предварительно заготовленные элементы ЛВЛ и ДСП-В в середине нижнего пояса (рис.12).

ВЫВОДЫ

1. Предложена к применению рациональная схема плоской балочной фермы из ЛВЛ, исходя из проведенного многофакторного анализа, с учетом следующих параметров: тип схемы (очертание), H/L от 1/10 до 1/4, L величина пролета, угол наклона верхнего пояса, вид решетки, стоимость, объем материала, вес, трудоемкость;
2. Выполненные экспериментальные исследования позволили:
 - установить прочностные характеристики ЛВЛ и ДСП-В;
 - изучить работу узловых сопряжений ЛВЛ в упругой стадии и характер разрушения материалов при статическом нагружении;
 - определить зависимости несущей способности соединений от типа связей, схемы расстановки и их диаметра вдоль волокон ЛВЛ;Полученные данные являются предварительными, так как коэффициент учета длительности $m_{дл}$ требует дальнейших исследований.
3. Экспериментально получено неправомерное использование формулы по определению расчетного сопротивления древесины смятию под углом α к направлению волокон (1) для ЛВЛ;
4. Выявлены закономерности, отражающие влияние разрушающей нагрузки R_{max} от типа, диаметра и способа расстановки связей в сопряжениях элементов из ЛВЛ;
5. Изготовлены и испытаны конструкции малого пролета $L=4,6$ м из 2-х видов исследования:
 - рассмотрено влияние потери устойчивости основных элементов из плоскости на работу всей конструкции фермы (без раскрепления верхнего пояса).
 - определен предел прочности узлов и элементов фермы с исследованием характера работы всей конструкции;
6. Проверенные на реальных конструкциях статические испытания подтвердили эффективность предложенных конструктивных решений устройства фасонки из ДСП-В в сравнении с бакелизированной фанерой;
7. Разработаны базисные наработки по созданию программного обеспечения для выполнения расчетов, направленных на применение унифицированных элементов, с целью сокращения расхода материалов и уменьшения затрат по себестоимости конструкций;
8. Предложено использование ЛВЛ в сквозных конструкциях на примере балочных ферм, с разработкой сравнительного анализа по технико-экономическим параметрам для традиционных конструктивных материалов (металл, древесина);
9. Анализ существующих способов и типовых решений по конструкциям ферм из пиломатериалов показал ряд существенных недостатков, таких как отсутствие решения по устройству быстрого монтажа прямо на строительной площадке, значительная трудоемкость при выполнении всего комплекса строительных процессов. Предложен способ сборки ферм из предварительно заготовленных элементов ЛВЛ на строительной площадке.

10. Экспериментально доказана возможность на основе нового предложенного конструктивного решения ферм упростить и комплексно облегчить механизированные процессы возведения покрытия при помощи простейших подъемных механизмов без использования тяжелой грузоподъемной техники;
11. Подтверждена целесообразность применения предложенной конструкции из ЛВЛ на практике;
12. Предлагаются конструкции ферм отдельно стоящих зданий пролетом 18,21,24,27,30,36,42м для Санкт-Петербурга.
13. Однонаправленный шпон может быть использован при изготовлении ферм сегментного очертания, гнуто-клееных рам, арок и купольных конструкций (рис.17).

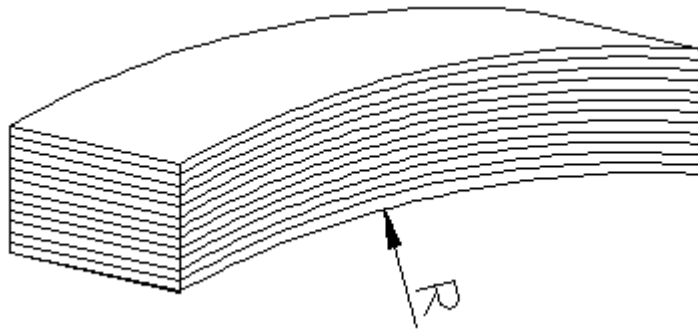


Рис.17. Гнутый элемент.

14. Результаты проведенной в лабораторных условиях апробации показали, широкие горизонты в использовании нового материала ЛВЛ в строительной отрасли.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах автора:

1. Совершенствование деревянных ферм путем применения современных материалов // Сборник докладов 65-ой научной конференции профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета-СПбГАСУ, 2008. – С. 77 –80.

2. Плоские балочные фермы с применением ЛВЛ. // Ж. «Промышленное и гражданское строительство». «Издательство ПГС», – 2009. – № 8. – С. 52–53.
Из перечня ВАК.

3. Определение прочностных характеристик LVL // 62-я международная научно-техническая конференция молодых ученых (аспирантов, докторантов) и студентов. – СПбГАСУ, 2009. – С.55 –56.

4. О материале ЛВЛ и его физико-механических свойствах // Ассоциация деревянного домостроения. -СПб., -2009. Интернет портал.-
<http://www.npadd.ru/index.php?a=article&id=36>