

Д. А. Животов

Теоретические предпосылки и научно-практические экспериментальные исследования применения бруса, клееного из однонаправленного шпона, в плоских балочных фермах. Технологические процессы доставки, сборки, монтажа

Д. А. Животов

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ
И НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ПРИМЕНЕНИЯ БРУСА, КЛЕЕННОГО
ИЗ ОДНОНАПРАВЛЕННОГО ШПОНА,
В ПЛОСКИХ БАЛОЧНЫХ ФЕРМАХ.
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ
ДОСТАВКИ, СБОРКИ, МОНТАЖА**



Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет

Д. А. Животов

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ
И НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ БРУСА, КЛЕЕННОГО
ИЗ ОДНОНАПРАВЛЕННОГО ШПОНА, В ПЛОСКИХ
БАЛОЧНЫХ ФЕРМАХ. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
ПРОЦЕССЫ ДОСТАВКИ, СБОРКИ, МОНТАЖА**

Монография

Санкт-Петербург
2020

УДК 69.057

Рецензенты:

канд. техн. наук, доцент *В. В. Латуца* (СПбГАСУ);
канд. техн. наук *Е. С. Федулов* (ЦЭиПСК, Санкт-Петербург)

Животов, Д. А.

Теоретические предпосылки и научно-практические экспериментальные исследования применения бруса, клеенного из однонаправленного шпона, в плоских балочных фермах. Технологические процессы доставки, сборки, монтажа : монография; Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2020 – 213 с. – Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-9227-1073-2

Рассмотрен брус, клеенный из однонаправленного шпона, в качестве конструктивного материала. Представлены различные марки и сорта, производители и технологии производства.

Приводится обзор существующих конструктивно-технологических решений для создания плоских балочных ферм из различных материалов. Рассматриваются различные конструктивные схемы с целью минимизации усилий, возникающих от действия внешних воздействий на конструкцию.

Представлены графики и фотографии, полученные путем проведения испытаний образцов бруса, клеенного из однонаправленного шпона, для основных производителей России.

Изложены общие сведения технологии и организации работ по возведению зданий и сооружений из деревянных, металлических и железобетонных конструкций, в состав которых входят контроль качества и мероприятия по безопасному производству работ в условиях стройплощадки.

Описана методика и результаты экспериментальных исследований работы конструкций стропильных ферм из бруса, клеенного из однонаправленного шпона. Выполнен сравнительный анализ ферм по технико-экономическим показателям с предложением конструкций разного пролета.

Предназначена для бакалавров всех форм обучения, изучающих дисциплины «Технологические процессы в строительстве» и «Основы технологии возведения зданий и сооружений» по направлению 08.03.01 «Строительство», а также для магистрантов по направлению 08.04.01 и специалистов по направлению 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений» для дисциплины «Основы технологии возведения зданий и специальных сооружений».

Табл. 27. Рис. 74. Библиогр.: 105 назв.

Печатается по решению Научно-технического совета СПбГАСУ

ISBN 978-5-9227-1073-2

© Животов Д. А., 2020

© Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2020

Введение

Дальнейшее развитие деревянных конструкций невозможно без разработки и внедрения новых технологий производства изделий на основе древесины с получением и использованием современных материалов в общепринятых схемах строительной механики (совещание с участием Президента РФ Путина В. В. по вопросу развития лесопромышленного комплекса).

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. Таким образом, существует потребность в разработке и применении современных материалов с различными свойствами, гармонично сочетающимися с традиционной древесиной, для получения продукта с уравновешенным показателем «цена / качество / надежность». Отсутствие отечественного опыта проектирования и высокие специфические свойства материала требуют при разработке конструкций всесторонней опытной проверки отдельных элементов, фрагментов, узловых сопряжений и конструкций в натуральную величину или малого пролета, а также огневых, климатических и технико-экономических исследований с целью систематизации и анализа результатов.

На основании сказанного можно заключить, что задача разработки и предложения бруса, клееного из шпона, в качестве конструктивного материала для большепролетных конструкций является актуальной и своевременной.

Целью диссертационной работы является разработка и исследование 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;
 - 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;

- предложить для составных элементов деревянных конструкций из ЛВЛ 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;

- дать рекомендации для проектирования и 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.

Методика исследований:

- выполнение анализа существующих конструктивных решений деревянных стропильных ферм и их узловых соединений;

- изучение существующих методик расчета несущих элементов деревянных ферм;

- адаптация методик проведения испытаний и определения расчетных сопротивлений слоистой клееной древесины при различных видах одноосного напряженного состояния (сжатие, растяжение и поперечный изгиб);

- проведение натурных исследований.

Научная новизна работы состоит в следующем:

1. На основании экспериментальных исследований автором предложена методика определения расчетной несущей способности нагелей на один шов сплачивания (условный срез) для соединений элементов из ЛВЛ с фасонками из ДСП-В.

2. Экспериментально определены:

- новые данные расчетных сопротивлений ЛВЛ при различных видах одноосного напряженного состояния (сжатие, растяжение и поперечный изгиб), значения расчетного сопротивления ЛВЛ смятию под углом α ;

- несущая способность соединений в зависимости от типа связей, схемы расстановки и их диаметра вдоль, поперек и под углом к волокнам ЛВЛ и ДСП-В.

3. Получены новые значения коэффициентов учета податливости связей в узлах и соединениях в составных элементах из ЛВЛ, которые позволяют оперативно подобрать сечения несущих стержневых элементов плоских балочных ферм.

4. Предложены методики и наработки для создания программного обеспечения по расчету и подбору сечений элементов плоских балочных ферм различного

пролета из ЛВЛ и древесины, направленных на применение унифицированных элементов.

5. Подтверждено применение бруса, клеенного из однонаправленного шпона, в качестве эффективного конструкционного материала для балочных ферм в промышленном и гражданском строительстве, в том числе в зданиях с химически агрессивными средами.

Достоверность результатов работы обеспечена корректным использованием научных положений в области строительной механики, строительных конструкций и технико-экономическим анализом; проведением исследований на современном поверенном измерительном и испытательном оборудовании; 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: Ю. Н. Буслаев, Ю. А. Варфоломеев, И. М. Гринь, А. Б. Губенко, А. Ю. Гурьев, П. А. Дмитриев, В. Ф. Иванов, Ю. М. Иванов, Г. Н. Зубарев, Г. Г. Карлсен, М. Е. Каган, Л. М. Ковальчук, Л. Н. Кондратьева, В. Н. Коченов, Б. В. Лабудин, А. В. Ляшин, Н. Л. Леонтьев, И. М. Линьков, Д. В. Мартинец, Б. В. Миряев, Б. К. Михайлов, Г. Г. Никитин, Ю. В. Пискунов, Н. Д. Постнов, Е. А. Светозарова, Е. Н. Серов, Ю. В. Слицкоухов, М. С. Туполев, С. Б. Турковский, В. М. Хрулев, Б. С. Цейтлин и др.; научная, учебная и методологическая литература, периодические издания, рекламные проспекты, сведения из Интернета.

На защиту выносятся следующие результаты научных исследований:

- намеченные 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;
- 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_{cb});
- результаты натурных испытаний ферм из ЛВЛ пролетом 4,6 м кратковременной нагрузкой;
- предлагаемые конструктивные решения узловых сопряжений;
- результаты теоретических и экспериментальных исследований использования ЛВЛ в качестве конструкционного материала;
- формулы определения значений коэффициента податливости соединений K_c для составных элементов деревянных конструкций из ЛВЛ;
- рекомендации по конструированию и расчету ферм из ЛВЛ.

Практическая значимость. Новые данные, полученные в диссертационном исследовании, могут быть рекомендованы к внедрению в практику проектирования и строительства плоских балочных ферм, поскольку их использование позволяет повысить качество проектирования, эффективность использования строительных материалов и снизить стоимость конечной продукции. Разработаны рекомендации по проектированию стропильных ферм с применением бруса, клеенного из однонаправленного шпона.

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 то же время экологически чистые и эстетичные материалы в интерьерах зданий без дополнительной отделки.

Реализация на практике. ООО «ПКФ „Деревянные конструкции“» (СПб) использовало результаты работы в разработке проектно-сметной документации для строительства склада, расположенного в г. Торжок, Тверская область. Подготовлен материал для отправки в ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко с рядом предложений по включению в разрабатываемые нормы. Результаты работы приняты к использованию в учебном процессе ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» на кафедре «Конструкции из дерева и пластмасс» при курсовом и дипломном проектировании.

Апробация работы. Основные результаты исследований доложены на 60-й и 62-й 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 (27.11.2009, СПбГАСУ); заседаниях кафедры КДиП СПбГАСУ; международной научно-практической конференции «ЛВЛ – новое прогрессивное решение в строительстве» («Талион Клуб», СПб, 17.09.09).

Основные положения диссертационной работы опубликованы в четырех печатных работах, в том числе в одной работе в издании, включенном в перечень ВАК РФ (журнал «Промышленное и гражданское строительство»).

Глава 1. НОВЫЙ ЭФФЕКТИВНЫЙ КОНСТРУКЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ – БРУС, КЛЕЕННЫЙ ИЗ ОДНОНАПРАВЛЕННОГО ШПОНА (ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА, ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ, ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ)

1.1. Современный материал – брус, клеенный из однонаправленного шпона

Брус, клеенный из однонаправленного шпона, – в дальнейшем ЛВЛ (от англ. LVL – Laminated Veneer Lumber) – материал, получаемый путем прессования листов хвойного шпона с предварительным нанесением на них синтетического связующего с параллельным расположением волокон. Чем-то эта технология производства сравнима с технологией производства фанеры. Данный брус был изобретен компанией Weyerhaeuser (США – Канада) в 1960-е годы с целью получения бруса неограниченной длины с высокими и стабильными прочностными показателями. С каждым годом потребление его по всему миру растет не только в области строительства, но и в производстве мебели, лестниц, дверных оконных и дверных блоков, сборных панелей для каркасных домов [22].

Технологический процесс производства ЛВЛ представляют следующие операции:

1. Гидротермическая обработка.

Исходным материалом для производства служат хвойные кряжи длиной 4–6 м. Бревна замачиваются в воде (+45 °С) в течение 24 часов. Размоченные бревна разрезаются на чураки длиной по (1980 ± 10) мм, которые по автоматической конвейерной линии подаются на участок лущения (рис. 1).



Рис. 1. Процесс гидротермической обработки

2. Обработка на линии лущения, рубки и укладки.

Полученные чураки лущатся на шпон толщиной $(3,25 \pm 1)$ мм. Шпон нарезается на листы нужного размера. Отходом процесса являются сердцевинная часть бревна, кора, опилки и обрезки шпона (рис. 2).



Рис. 2. Линии лущения шпона, рубки и укладки

3. Сушка и сортировка.

Сушка шпона производится в четырехэтажной сушилке, обогреваемой термо-маслом. Сырой шпон по два листа загружается в сушилку на четыре этажа, транспортируется между роликами, проходит шестнадцать секций горячей части сушилки. Помимо этого, существуют сушилки, проходящие по всей длине заготовки, что сокращает время твердения клеящего состава шпона (неорганическая смола, наносимая путем ровного распыления по пласти шпона). После горячей части сушилки шпон проходит через три секции холодной части, где остывает и затем подается на сортировку. Далее на установленном влагомере производится отсортировка влажного шпона в отдельный карман (рис. 3).



Рис. 3. Сушка и сортировка

4. Обработка на линии вырубки дефектов и склеивания шпона.

Ребросклеивающий станок С2000 осуществляет прирубку кромок шпона и вырубку дефектов мест, соединение полос шпона с помощью клеевых нитей, пропитанных расплавленным клеем, склеивание полос шпона на продольную кромку термопластичным клеем в виде отдельных точек, обрезку ленты шпона и автоматическое складирование шпона. Подача шпона в станок производится вручную поперек волокон (рис. 4).

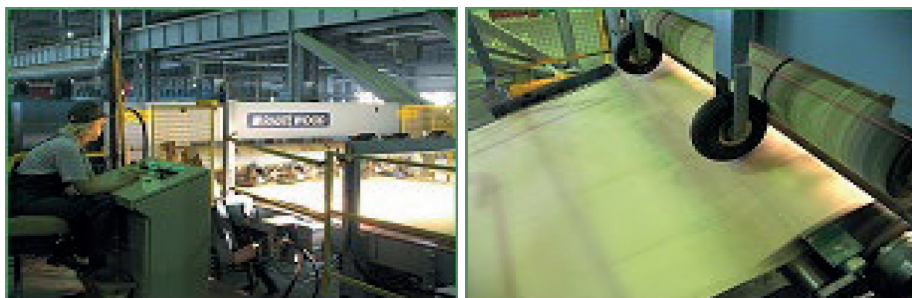


Рис. 4. Линия вырубki дефектов

5. Операции на линии усования.

Усовочный станок предназначен для нарезания уса на кромку шпона с двух сторон шириной (28 ± 2) мм. На усовочном станке также производится подготовка листов шпона для соединения встык. С усовочного станка листы шпона перемещаются через тестер Metrguard, который определяет плотность сухого шпона, посылая на шпон повторяющуюся ультразвуковую волну и измеряя время прохождения ультразвука в шпоне. Чем плотнее шпон, тем быстрее звук проходит через него. Шпон сортируется и укладывается в карманы (рис. 5).



Рис. 5. Линия усования

6. Линия набора и подпрессовки пакетов.

Набор пакетов и подпрессовка бруса производится на автоматизированной линии с помощью фенолоформальдегидного клея. Процесс набора пакетов и подпрессовки включает в себя следующие операции:

- подвоз стоп шпона к линии сборки пакетов и их перемещение к соответствующим карманам;
- подачу листов шпона на участок нанесения клея и набору пакетов;
- нанесение клея на шпон и набор пакетов;
- предварительную подпрессовку пакетов;

- подачу пакетов на узел дробления кромок, где осуществляется зачистка кромки пакетов;
- распиливание пакета на заготовки требуемой длины (рис. 6).



Рис. 6. Линия набора и подпрессовки пакетов

7. Обработка на линии горячего прессования.

С линии набора пакетов выходят заготовки шириной 1,85 м и толщиной 27–75 мм, которые разрезаются на нужную длину (максимум 18 м) и укладываются под горячий пресс при температуре около +140 °С. Время окончательной запрессовки зависит от толщины заготовки, вида используемого клея и составляет в среднем 37 мин для ЛВЛ толщиной 45 мм (рис. 7).

8. Линия обрезки и сортировки.

Процесс обрезки и сортировки бруса состоит из следующих операций:

- подачи необрезного бруса с поперечного конвейера к пиле поперечного раскроя;

- отторцовки бруса одновременным выпиливанием образцов для испытания;
- перемещения бруса разгрузочным роликовым конвейером к многопильному станку;
- обрезки краев бруса дробильными головками и распиливание до требуемой ширины (рис. 8).

Далее пачки бруса подаются по транспортеру для нанесения маркировки.

Подводя итог под разборкой технологического процесса можно отметить, что при производстве бруса, склеенного из шпона, мы избегаем влияния на прочностные характеристики возможных дефектов древесины, таких как свилеватость, гнилые сучки и косослой [2], путем их распределения по всей длине [16].

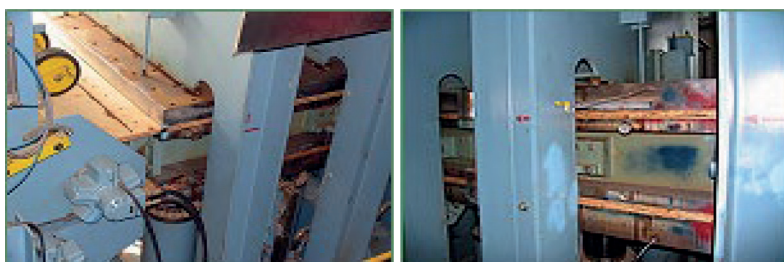


Рис. 7. Фрагмент линии горячего прессования



Рис. 8. Линия обрезки и сортировки

Получаемый продукт, как и любой материал, обладает рядом достоинств и недостатков.

К основным преимуществам ЛВЛ можно отнести:

- широкий размерный ряд (толщина – от 19 до 106 мм, ширина от 200 до 1800 мм, длина от 2,5 до 18 м (оптимальный размер для транспортировки стандарт-

ным автотранспортом) и более до бесконечности (в зависимости от пожеланий заказчика – г. Торжок РФ). На заводе в г. Торжок установлено прессовое оборудование длиной 60 м;

- высокие значения по прочности (более чем в 2 раза по сравнению с древесиной) на растяжение, сжатие, поперечный изгиб;

- стабильность размеров: не подвергается разбуханию-усушке и короблению; является полностью однородным материалом с неизменными качествами по всей длине и обладает постоянными физическими свойствами, которые не зависят от сезонных факторов, в отличие от других пиломатериалов;

- 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 как в заводских условиях, так и на строительной площадке;

- высокую точность сопрягаемых изделий (за счет стабильности линейных размеров) по сравнению с древесиной (разбухание, усушка);

- высокие теплоизоляционные и акустические характеристики;

- исключение «мостиков холода»;

- экологическую чистоту и эстетичность как основное достоинство традиционной древесины;

- малый вес и, как следствие, возможность исключить из технологического процесса использование грузоподъемных машин и механизмов, что позволит ускорить и удешевить строительство [6, 29].

Недостатки ЛВЛ:

- стоимость – на 01.06.2009 равна 31 500 руб./м³ (ОАО «ЛВЛ-Югра») со склада, что обусловлено малыми масштабами внутреннего потребления и производства. Для примера: стоимость бакфанеры – 45 000 руб./м³, пиломатериал – 5000 руб./м³ на 01.06.2009;

- дефицитность – на территории РФ работают два завода (г. Нягань, Ханты-Мансийский АО ($V_{\text{произв}} = \text{до } 120 \text{ тыс. м}^3/\text{год}$) и г. Торжок, Тверская обл. ($V_{\text{произв}} = \text{от } 150 \text{ до } 250 \text{ тыс. м}^3/\text{год}$)). Для примера: в США $V_{\text{произв}} = 1,5\text{--}2 \text{ млн м}^3/\text{год}$ [90];

- проблема огнестойкости решается технологией производства ЛВЛ путем нанесения ровного слоя клея (способом распыления) негорючим связующим (смолой) шпона в процессе прессования, при возникшей необходимости с использованием широкого ряда эффективных противопожарных и специальных составов.

Производятся три основных типа ЛВЛ для применения [16, 29]:

- в балках – все слои имеют параллельное волокнам направление, с повышенной плотностью шпона. Обозначение: Ultralam R (Россия), Kerto S (Финляндия);

- стойках – волокна расположены в продольном направлении, но из более легкого шпона. Обозначение: Ultralam I (Россия), Kerto T (Финляндия);

- панелях – по желанию потребителя при наборке пакета добавляются поперечные слои шпона панелей. Обозначение: Ultralam X (Россия), Kerto Q (Финляндия).

1.2. Древесно-слоистый пластик

Древесные слоистые пластики представляют собой материал, состоящий из тонких листов лущеной древесины (шпона), пропитанных синтетической смолой и склеенных между собой при высокой температуре и под высоким давлением. В зависимости от толщины и назначения эти пластики выпускаются в виде плит и тонких листов [105].

Слоистые пластики на основе древесного шпона, бумаги или ткани значительно прочнее порошковых и волокнистых пластмасс. Поэтому они широко применяются для замены цветных и черных металлов, в качестве конструкционных, электроизоляционных и декоративных материалов, стойких к коррозии [100].

Прочность слоистых пластиков обычно ниже, чем конструкционных металлов, однако удельная их прочность при сжатии или растяжении (предел прочности, отнесенный к плотности материала) выше, чем удельная прочность многих конструкционных металлов.

Для изготовления древесных слоистых пластиков сухой шпон лиственных пород (обычно березовый, иногда из древесины бука и липы) пропитывается спиртовым или водным раствором фенольно-формальдегидных смол, затем высушивается, собирается в пакеты и спрессовывается на плитах гидравлического пресса под давлением около 150 кг/см^2 при температуре $150 \text{ }^\circ\text{C}$. При прессовании древесина уплотняется, объемный вес ее увеличивается примерно в два раза, смола отверждается, переходит в нерастворимое и неплавкое состояние. При этом листы шпона толщиной $0,55 \text{ мм}$ (иногда $0,30$; $0,80$; $1,15 \text{ мм}$ и более) склеиваются, образуя монолитный материал, стабилизация которого достигается за счет отверждения смолы и длительной тепловой обработки, вызывающей химические изменения компонентов древесины [88].

Технические свойства древесных слоистых пластиков и их назначение зависят от конструкции пакетов шпона, подвергаемых пластификации, способов предварительной обработки шпона, технологии производства и других факторов. Древесные слоистые пластики являются анизотропными материалами, что связано с анизотропией древесного шпона. По конструкции пакетов и взаимному расположению волокон древесины в соседних листах шпона различается несколько видов материала.

ДСП-А – пластик с параллельным расположением волокон древесины во всех слоях шпона или пластик, в котором через каждые четыре слоя с параллельным направлением волокон имеется один слой шпона с направлением волокон под углом $20\text{--}25$ градусов к смежным слоям. Этот пластик применяется в тех случаях, когда нужно обеспечить максимальную прочность при растяжении и сжатии в продольном направлении волокон. Применяется в качестве конструкционного и антифрикционного материала, преимущественно в судостроении и на железнодорожном транспорте, для изготовления вкладышей подшипников и накладок изолированного стыка.

ДСП-В – пластик с перекрестным расположением волокон; собирается из листов шпона таким образом, чтобы в смежных слоях волокна имели перпендикулярные

направления. Этот пластик отличается равномерностью в двух осевых направлениях и применяется в тех случаях, когда требуются одинаково высокие показатели прочности при растяжении, сжатии и изгибе как вдоль, так и поперек волокон. Используется в качестве конструкционного и антифрикционного материала в машиностроении, для изготовления ряда электроизоляционных деталей в электропромышленности и на железнодорожном транспорте (рис. 9).

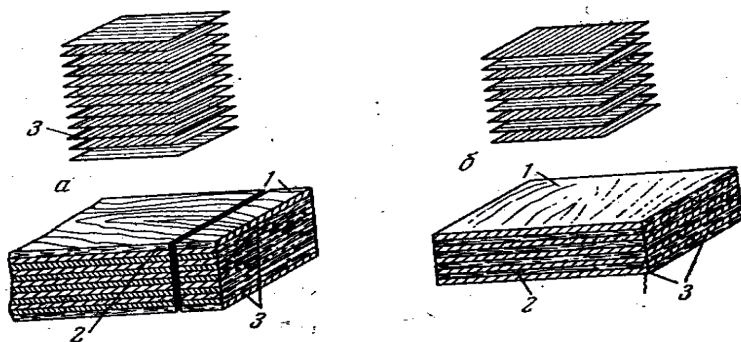


Рис. 9. Схема расположения листов шпона в плитах древесного слоистого пластика: а – марки ДСП-Б; б – марки ДСП-В; 1 – плоскость прессования; 2 – ребро; 3 – торец

ДСП-Б – пластик со смешанным расположением волокон, в которых через каждые 5–20 слоев шпона с параллельным расположением волокон один слой имеет перпендикулярное направление по отношению к смежным слоям. Находит такое же использование, как и ДСП-В; кроме того, применяется в самолетостроении, судостроении, текстильной промышленности и для изготовления матриц для вытяжки и штамповки.

ДСП-Г – пластик со звездообразным направлением волокон, у которого волокна каждого слоя смещены по отношению к волокнам смежных слоев на угол 25–30 градусов. Отличается равномерностью распределения физико-механических свойств и одинаковой износостойкостью во всех направлениях по радиусам окружности. Изготавливается в виде восьмигранных плит с диаметром вписанной окружности до 800–1000 мм. Применяется для изготовления крупных деталей, требующих по характеру эксплуатации равномерной структуры материала по окружности: зубчатых колес, фрикционных шкивов, ступиц [7].

Древесные слоистые пластики выпускаются в виде листов и плит различных размеров. Пластики толщиной менее 15 мм называются тонколистовыми, а толщиной 15–60 мм и более – толстолистовыми.

Объемный вес древесных слоистых пластиков, изготовленных на спирторастворимых смолах, составляет 1,30–1,35 г/см³, а изготовленных на водорастворимых смолах – 1,35–1,40 г/см³. При пропитке шпона раствором водорастворимой смолы, содержащим едкий натр, из оболочек клеток частично выщелачиваются лигнин и гемицеллюлоза, и рас-

твор смолы глубже проникает в древесину, благодаря чему может быть достигнуто большее уплотнение материала. Раствор спирторастворимой смолы проникает при пропитке в основном в капилляры древесины, поэтому уплотнение при пластификации ограничено и объемный вес пластика в этом случае несколько ниже [104].

Водопоглощение, влагопоглощение и разбухание древесных слоистых пластиков зависят от ряда факторов: вида применяемого шпона, его толщины, начальной влажности и технологии пластификации. Линейное разбухание образцов при водопоглощении неодинаково в различных направлениях и достигает наибольшей величины в направлении, обратном направлению прессований. Предельное линейное разбухание при водопоглощении для образцов материала марки ДСП-Б составляет: вдоль волокон 0,02 %, в тангентальном направлении 2,5 %, в радиальном (по направлению производственного прессования) – 20 %.

Оптимальной влажностью древесного шпона, подвергаемого пластификации, следует считать 8–12 %. При влажности шпона менее 5–6 % изменения составных частей древесины при пластификации недостаточны для получения стабильного материала, поэтому водопоглощение и разбухание древесного слоистого пластика, изготовленного из такого шпона, весьма значительно.

Повышение температуры и продолжительности тепловой обработки благоприятно сказывается на стабильности материала, однако воздействие температуры выше 160 °С может вызвать снижение физико-механических свойств древесного слоистого пластика. Оптимальной продолжительностью тепловой обработки следует считать 4–5 мин на 1 мм конечной толщины плиты. Дальнейшее нагревание не улучшает качества материала и может даже вызвать снижение показателей механических свойств при статических и ударных нагрузках.

Влагопоглощение и разбухание древесных слоистых пластиков при повышенной влажности воздуха протекает медленно и зависит от относительной влажности воздуха и температуры.

Равновесная влажность даже на малых образцах размером 15×15×15 мм достигается при относительной влажности воздуха 75 % и температуре 20 °С лишь после трехмесячного выдерживания.

Предел прочности при сжатии вдоль волокон является одним из важнейших показателей механических свойств древесных слоистых пластиков, который тесно связан с объемным весом материала.

При одинаковой технологии пластификации наибольшая прочность при сжатии вдоль волокон наблюдается для плит ДСП-А, несколько уступают им штапы ДСП-Б. Самые низкие показатели прочности при сжатии вдоль волокон характеризуют плиты ДСП-В.

Прочность при растяжении вдоль волокон для древесных слоистых пластиков несколько выше, чем прочность при сжатии.

Прочность древесных слоистых пластиков при скалывании параллельно слоям шпона неодинакова при испытании по древесине и по клеевому шву; предел прочности при скалывании по древесине выше, он достигает значения этого показателя для цельной пластифицированной древесины [95].

Сопrotивление древесных слоистых пластиков ударным нагрузкам при изгибе попе-рек волокон характеризуется удельной ударной вязкостью в кгс · м/см².

Большое влияние на физико-механические свойства древесных слоистых пластиков имеет содержание смолы в шпоне. С увеличением содержания смолы повышается предел прочности при сжатии вдоль волокон примерно до содержания смолы 20–22 %, повышается также и прочность при скальвании.

Другие показатели механических свойств, прочность при статическом изгибе и растяжении вдоль волокон, а также сопротивление ударному изгибу снижаются с повышением содержания смолы. Показатели физических свойств древесных слоистых пластиков – объемный вес, водопоглощение и разбухание – снижаются с увеличением содержания смолы.

Древесные слоистые пластики широко применяются в различных отраслях техники в качестве конструкционного, электроизоляционного и обшивочного материала. Области применения отдельных марок пластиков назначаются с учетом особенностей их конструкций и важнейших физико-механических свойств. Наибольшее значение древесные слоистые пластики приобрели в качестве материала для подшипников и для деталей передач различных машин [107].

При сравнении между собой древесных слоистых пластиков и пластифицированной древесины в качестве антифрикционного материала необходимо отметить ряд преимуществ древесных слоистых пластиков [32]:

а) большие размеры плит, что облегчает раскрой и обеспечивает более рациональную технологию механической обработки;

б) большая водостойкость и стабильность размеров при повышенной влажности воздуха благодаря пропитке смолой;

в) возможность выбора надлежащего типа материала в зависимости от условий работы деталей трения.

Выявлена целесообразность применения древесных пластиков для изготовления деталей трения машин: в прядильном и крутильном производстве – вкладышей цилиндрических стоек; в ткацком производстве – вкладышей поводковых и рамных подшипников ткацких станков; в отделочном производстве – подшипников сушильных барабанов, красильных и отбельных аппаратов [106].

1.3. Применение древесины и материалов на ее основе как конструкционного материала в большепролетных покрытиях

Современный этап строительства характеризуется возрастающим объемом применения конструкций из дерева и пластмасс [66].

Особенно эффективен конструкционный материал в виде клееной древесины. Этот материал обладает малым объемным весом при большой прочности [15].

Использование клееной древесины в конструкциях привело к значительному распространению рациональных покрытий и перекрытий большепролетных промышленных и гражданских зданий, как в нашей стране, так и за рубежом. Наибольший эффект достигается в пространственных стержневых конструкциях [9].

Деревянные клеевые конструкции имеют ряд существенных преимуществ по сравнению, например, с металлическими [1].

Важным обстоятельством является то, что по сопротивляемости огневому воздействию КДК (клееные деревянные конструкции) приближаются к железобетонным конструкциям [27]. Высокая огнестойкость КДК объясняется тем, что гладкая и лишенная трещин поверхность клеевого элемента трудно воспламеняется и при поперечном сечении клеевого элемента, превышающем 350 см², не достигает температуры воспламенения, не поддерживает горение и не служит причиной распространения огня [51]. Вследствие этого на сегодняшний день широкой областью применения пространственных конструкций из ДКК являются спортивные и зрелищные сооружения [42] (концертный зал «Сибелиус» в г. Лахти, Финляндия, Дворец спорта в Архангельске (1980), крытый конькобежный центр в Крылатском (2004), аквапарк в комплексе гостиницы «Прибалтийская» (2006), ряд спортивных объектов в Белоруссии (Гомель, Минск, Витебск, пролет до 50 м, с 1980), терминал для сыпучих материалов в порту Санкт-Петербурга (2003, пролет 62 м), купол Троицкого собора в Санкт-Петербурге (2009, $D = 23,7$ м; реконструкция при восстановлении исторических конструкций XVIII века), купол детского развлекательного центра в Санкт-Петербурге; выставочный павильон в Авиньоне, Франция; купол спортивного зала в Солт-Лейк-Сити, США; покрытие стадиона в городе Флагстафф и др.) [11,89].

Благодаря усилиям отечественных ученых А. Б. Губенко, П. А. Дмитриева, М. Е. Кагана, Г. Г. Карлсена, Л. М. Ковальчука, Б. В. Лабудина, И. М. Линькова, Ю. И. Никифорова, Н. Д. Постнова, Е. Н. Серова, Е. И. Светозаровой и других в области технологии изготовления и проектирования КДК в 1950-е годы началось их серийное изготовление [1].

Развитие инновационных технологий и оборудования позволили обществу шагнуть далеко вперед в области деревопереработки. Следующим этапом станет процесс внедрения и применения материалов на основе древесины в различных направлениях строительной отрасли. Конечно, это потребует времени, но остановить запущенный механизм уже невозможно. Общество само диктует условия инженерам и строителям, согласно которым необходимо стремиться вперед, покорять новые вершины, развиваться, решать все более сложные технические задачи, совмещая традиционные и современные материалы.

Работы по конструированию из ЛВЛ осложняются неизученностью материала и малым количеством литературы. Хотя уже имеются наработки по созданию большепролетных конструкций из этого материала в РФ. Работы в этом направлении проводятся такими проектно-строительными организациями, как ООО «Базальт-Лига», Санкт-Петербург, ООО «ПФК „Деревянные Конструкции“», Санкт-Петербург, промышленно-строительная компания «Росстройинновация», г. Саратов [81]. Область применения ЛВЛ на сегодняшний день ограничена. Проектирование большепролетных конструкций (ферм, рам) ведется с перерасходом материала и, как следствие, завышенным коэффициентом запаса прочности.

Количество направлений, где ЛВЛ на сегодняшний день нашел применение, невелико, а именно:

- в инженерном деревянном строительстве (инженерная древесина), каркасном домостроении (стойки, балки перекрытий, ригели, стропила и пр.);
- конструкции пола, стен, перекрытий;
- в качестве элементов бетонной опалубки для монолитного строительства.

Европейскими инженерами разработан ряд программ по определению поперечного сечения балок перекрытий и стропильной системы. Описание программного обеспечения приведено в приложении № 1.

На сегодняшний день отсутствует единый стандарт производства ЛВЛ, а также общепринятое обозначение (в зависимости от расположения волокон и плотности шпона). Каждый завод изготавливает продукцию согласно собственным техническим условиям (ТУ). Необходимо создание единых требований ГОСТ для производства ЛВЛ с одинаковыми физико-механическими свойствами (учитывая регион произрастания сырья).

Предложение к внедрению в строительную отрасль инновационных, прогрессивных материалов требует проведения полного цикла исследований, связанных в первую очередь с нехваткой информации в научной и технической литературе. Обзор коммерческой литературы показал, что на сегодняшний день фирмы-распространители предлагают различные решения применения ЛВЛ, основываясь на зарубежном опыте и нормах. К сожалению, это не верно. Существуют разногласия между Eurocode (европейские нормы) и СНиП, связанные в первую очередь с методикой расчета и испытаний строительных изделий и конструкций, а также с выбором характера нагружения, сочетания нагрузок и т. д. Безусловно, примеры конструкций, воплощенные в жизнь иностранными учеными и инженерами, заслуживают пристального внимания, вызывают глубокий интерес и восхищение, но есть потребность в развитии собственных традиций, основанных на применении ЛВЛ для строительной области в России.

Ввиду присутствия различий нельзя брать за основу данные, предлагаемые зарубежными партнерами, необходимо провести доскональное исследование ЛВЛ с получением физико-механических характеристик на основании российских норм и стандартов с целью внедрения его в ответственные строительные конструкции.

Основные области применения ДСП-В: в авиационной, космической, судостроительной и машиностроительной промышленности в виде деталей и обшивок.

Несмотря на высокие физико-механические характеристики, широкого применения в строительстве ДСП не получил, что связано в первую очередь с всесоюзным и всероссийским развитием заводов по производству стали и изделий на ее основе.

Вывод. Таким образом, ЛВЛ в России применяется в простейших конструкциях, причем зачастую проектирование ведется с большим запасом, что, в свою очередь, увеличивает стоимость строительства. Необходимо создание единых требований ГОСТ для производства ЛВЛ и его обозначение (в зависимости от расположения волокон и плотности шпона) с одинаковыми физико-механическими свой-

ствами (учитывая регион произрастания сырья). Широкий ряд достоинств позволяет говорить о применении ЛВЛ в более важных, ответственных конструкциях с использованием унифицированных элементов (стойках, фахверках, главных и второстепенных балках, ригелях, поясах и решетке ферм, пространственных конструкциях: куполах, перекрестных системах балок, структурах ребристых плит и т. д.). Применение элементов из ДСП-В позволит решить проблему с эксплуатацией и работой строительных конструкций в химически агрессивных средах. Внедрение ЛВЛ и ДСП-В поможет дальнейшему развитию деревянных конструкций. Это потребует времени. Тем более что физико-механические свойства данного материала еще не изучены. Но тенденции международного признания ЛВЛ в качестве надежного материала очевидны [81, 90].

Для реализации поставленных задач разработана структура выполнения исследования (рис. 10).

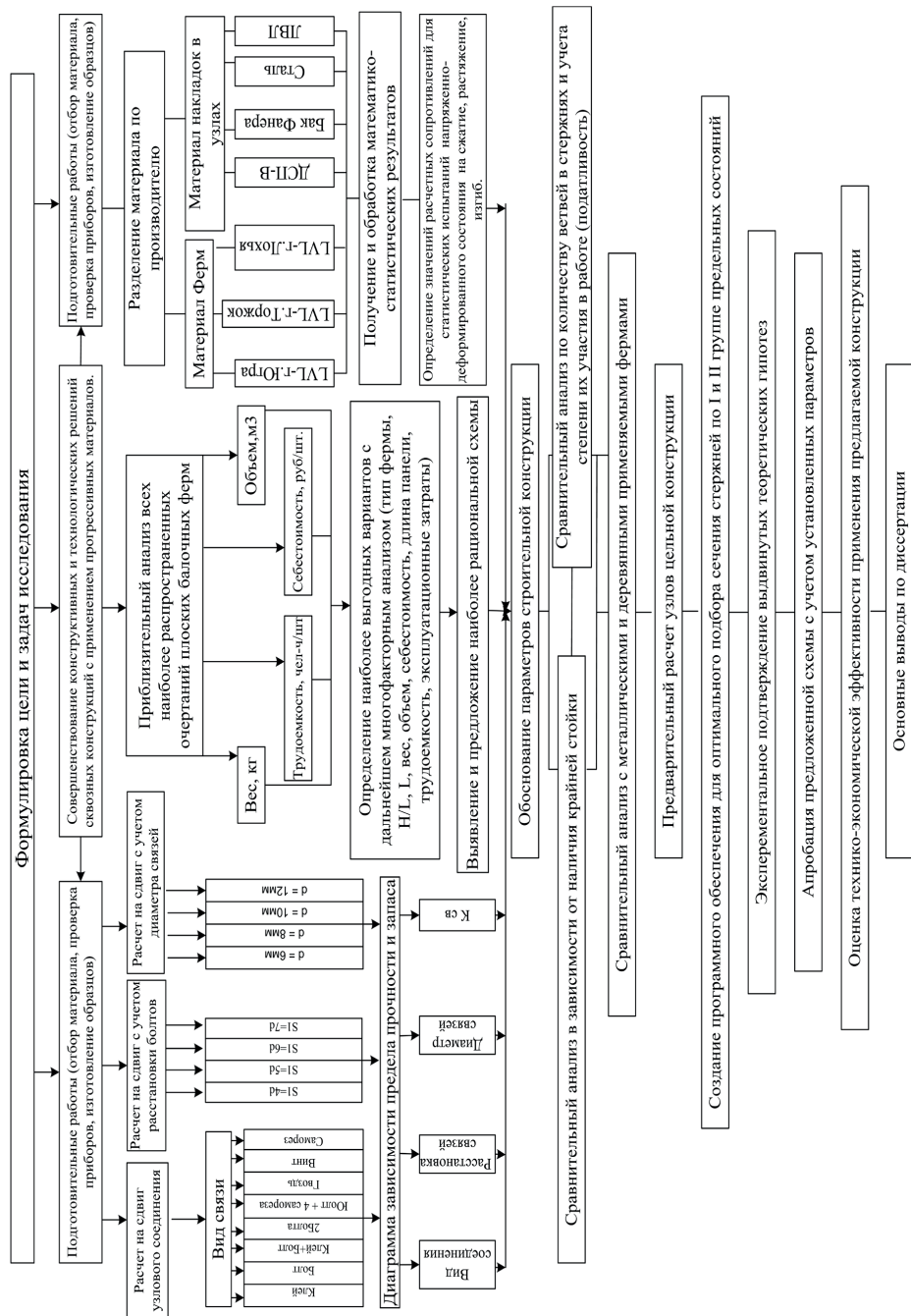


Рис. 10. Структурная схема выполнения научных исследований

Глава 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО ОЧЕРТАНИЯ ПЛОСКОЙ БАЛОЧНОЙ ФЕРМЫ ИЗ ЛВЛ

2.1. Предварительное исследование по укрупненным параметрам основных схем плоских балочных ферм

По внешнему очертанию верхнего пояса нам известны следующие типы ферм: треугольные, прямоугольные, многоугольные и сегментные. Выбор очертания фермы зависит от различных факторов: архитектуры строения, уклона кровли, кровельного материала, вида и величины нагрузки и т. д. Наиболее экономически выгодными являются сегментные и многоугольные фермы в связи с тем, что усилия в смежных поясах близки по значению, а усилия в решетке незначительны. В треугольных фермах значения усилий в поясах и решетке довольно велики. Решетка в фермах применяется треугольная и раскосная. Направление раскосов имеет существенное значение, так как от изменения направления меняется знак усилия, что приводит к различным схемам узлов. Всегда следует учитывать распределение нагрузки на ферму, что зачастую также влияет на знак усилия [18].

Верхний пояс современных большепролетных и крупнопанельных ферм работает на сжатие с изгибом. Для уменьшения влияния изгиба стараются снизить величины изгибающих моментов за счет создания в узлах эксцентриситетов приложения действующих усилий. Кроме того, следует ввести «шпренгельную ячейку», позволяющую уменьшить расстояние между узлами (расчетную длину) в пределах 3–5 м. В нижнем поясе возникают большие растягивающие напряжения, что усложняет центрирование большого количества сходящихся элементов (решетки) с сохранением необходимой для восприятия действующих в них усилий площади контакта [4].

В прил. 2 представлены схемы типовых, рекомендуемых в научной и технической литературе ферм, их основные размеры и технико-экономические показатели.

Наиболее ответственными элементами ферм являются пояса, так как именно в поясах возникают максимальные сжимающие и растягивающие усилия. Поэтому от надежности их работы зависит вся конструкция. Ввиду больших затруднений при подборе высококачественной древесины для растянутых поясов применялся и применяется металлопрокат. В этом случае снижается огнестойкость.

Чтобы обеспечить устойчивость сжатых элементов ферм, а также пространственную неизменяемость, жесткость покрытия и восприятие горизонтальных усилий, к которым относятся ветровые и крановые нагрузки, необходимо применение вертикальных и горизонтальных связей.

При выборе типа ферм необходимо учитывать технико-экономические характеристики конструкций – вес, расход металла, трудоемкость изготовления, транспортировки, монтажа и стоимость.

Как следует из прил. 2, наиболее выгодными являются полигональные фермы, которые по укрупненным параметрам, таким как длина пролета, технико-экономические показатели, являются выгоднее, чем треугольные и трапециевидные.

Основная цель второй главы – провести анализ многих факторов и выяснить наиболее рациональные конструктивные схемы стропильных ферм.

Для решения поставленной задачи были выбраны наиболее часто применяемые конструкции ферм. Кроме типа фермы было решено проанализировать зависимость технико-экономических показателей от угла наклона верхнего пояса в многоугольных и полигональных схемах, отношение высоты к длине пролета. В прил. 3 представлены разновидности плоских балочных ферм. Рассматривались пролеты 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33 и 36 м [76].

Были выбраны наиболее распространенные геометрические схемы плоских балочных ферм.

1. Каждому типу был присвоен свой номер.

Значение каждого номера, например № 3–4–2–21:

– 1-я цифра обозначает тип фермы;

– 2-я цифра обозначает отношение высоты к длине пролета (расшифровка: 1 – 1/7; 2 – 1/6; 3 – 1/5,5; 4 – 1/5);

– 3-я цифра обозначает угол наклона верхнего пояса (расшифровка: 1 – 0°; 2 – 6°; 3 – 12°; 4 – 15°);

– 4-я цифра обозначает длину пролета в метрах.

Исследование проведено на основе пролета 18 м. Полученные результаты для других пролетов будут идентичны.

2. Прил. 4 содержит полный комплект исследуемых конструкций плоских балочных ферм.

3. Для определения усилий в поясах и решетке ферм в каждом узле верхнего пояса прикладывалась сосредоточенная нагрузка, собираемая с грузовой площади кровли из расчета расстановки колонн с шагом 6 м.

Сбор нагрузок (для отдельно стоящего здания в Санкт-Петербург):

- снеговая нагрузка согласно п. 5.2* и обязательному прил. 3* [2] с изменением № 2, утвержденным постановлением Госстроя России от 29 мая 2003 г. № 45, составляет 180 кг/м² (для III снегового района) для угла < 25°, коэффициент приведения $\mu = 1$;

- собственный вес фермы увеличивается с увеличением пролета непропорционально. С учетом плотности ЛВЛ для пролета $L = 15$ м вес (G) предварительно принимается равным 10 кг/м², $L = 18$ м $G = 12$ кг/м², $L = 21$ м $G = 14$ кг/м²;

- вес покрытия принимался равным 50–60 кг/м² (по проектным данным);

- величина давления ветра при угле наклона < 15° не учитывается, согласно п. 6 и прил. 4 [3].

Все вычисления усилий для ускорения процесса исследования производились в программе SCAD Office 11.0. Для выборочной проверки вычисления усилия машинных результатов применялся метод Максвелла – Кремоны (пример результатов расчета приведен в прил. 5).

Для каждой фермы составлялась таблица с номерами стержней, возникающих в них усилий с определением поперечного сечения.

4. Основными критериями (факторами анализа) сравнения ферм были выбраны:

- стоимость материалов (р./шт.);
- собственный вес конструкции (кг);
- объем применяемых материалов (m^3);
- трудоемкость (чел.-ч/шт.).

Графики сравнения в зависимости от величины пролета приведены в прил. 6.

Определено, что величина пролета прямо пропорциональна схеме конструкции. Дальнейший анализ проводился для пролета 18 м.

2.2. Исследование конкретных конструкций ферм из ЛВЛ по технико-экономическим параметрам

В результате предварительного анализа конструкций ферм выделены восемь вариантов наиболее распространенных и широко применяемых схем (рис. 11). Для выявления наиболее рациональной конструкции выполнен анализ многих факторов, базирующийся на исследовании следующих параметров [4]:

- на схеме решетки;
- размере панели;
- отношении строительной высоты к пролету;
- весе;
- себестоимости (на основе данных на 01.06.2009);
- трудоемкости в изготовлении.

Получены данные, согласно которым построен график (рис. 12).

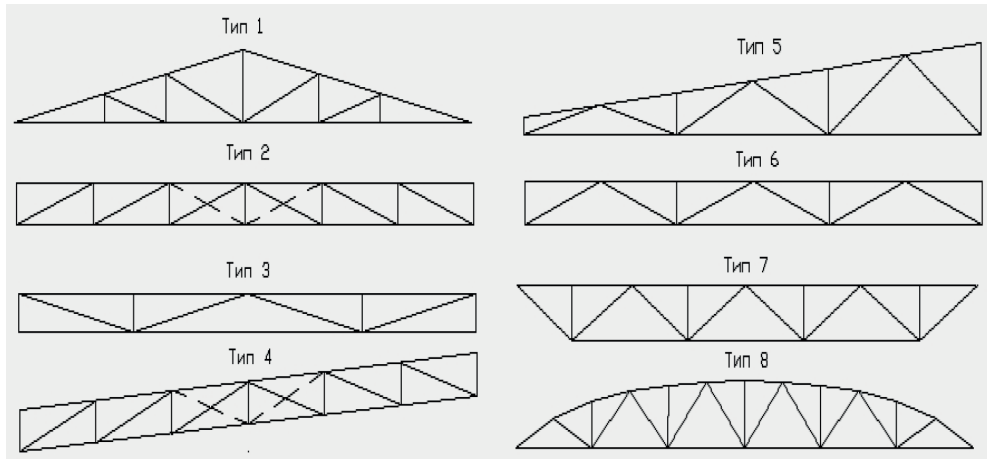


Рис. 11. Наиболее распространенные схемы

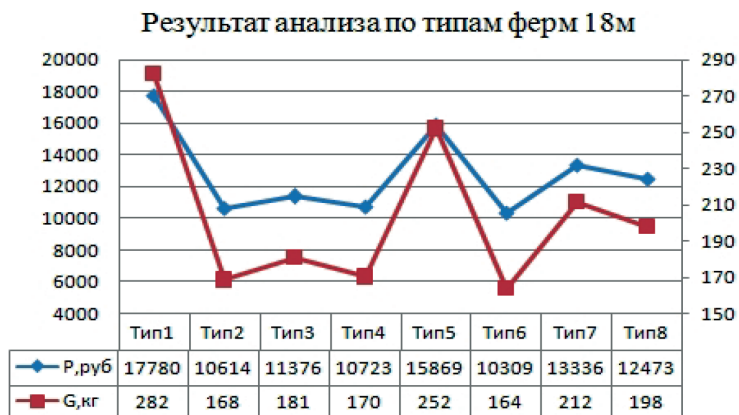


Рис. 12. График сравнения конструктивных схем L 18 м

Из графика видно, что наиболее выгодной является схема 6-го типа (см. рис. 11, 12). Типы 2 и 8, широко применяемые на практике, решено не рассматривать по причине большого количества стержней и узлов. В случае с ЛВЛ такое очертание невыгодно из-за большого количества обрезков и остатков, что само по себе нецелесообразно [26].

2.3. Исследование конструкции ферм из ЛВЛ с целью определения наиболее рационального расположения решетки

Определена зависимость от угла наклона с постоянной высотой конструкции, равной отношению $h/l = 1/8$ (рис. 13). Величина нагрузки (снеговой и веса покрытия), прикладываемой к узлам фермы, зависела от угла наклона и длины стержней верхнего пояса.

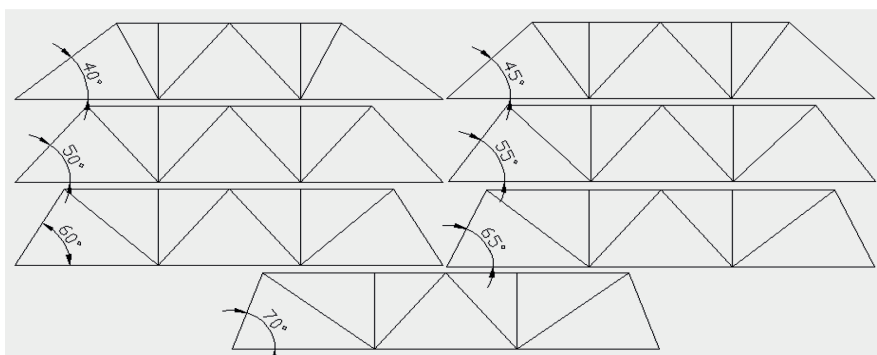


Рис. 13. Тип фермы с различным расположением решетки

Полученные результаты расчета приведены в прил. 7. Построена диаграмма зависимости (рис. 14, 15).

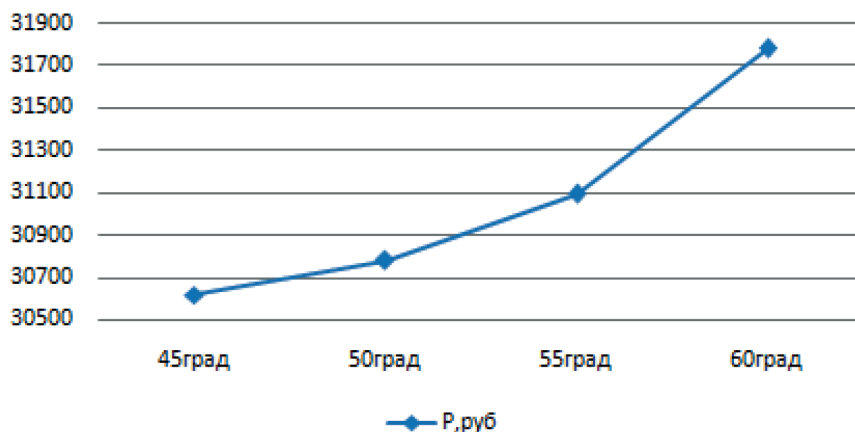


Рис. 14. Стоимость ферм

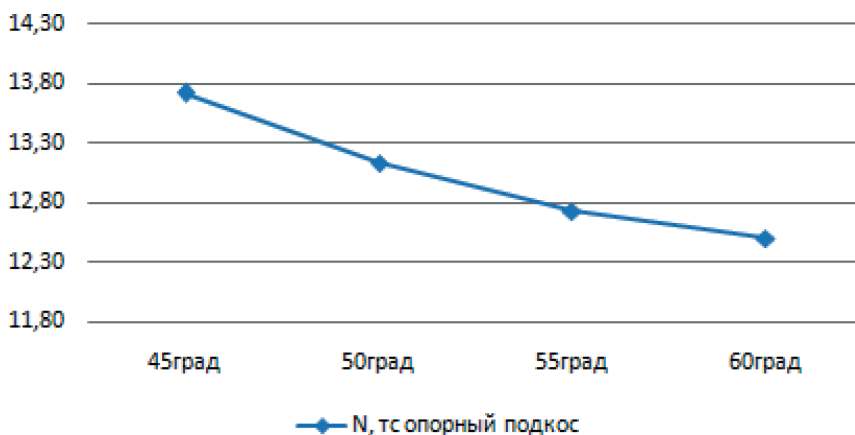


Рис. 15. Усилие в опорном раскосе

Проведенный анализ показал, что рационально задавать расположение стержней в решетке с одинаковым углом наклона (на примере фермы с углом уклона 50° , что соответствует отсутствию снега на опорном раскосе), сохраняя равные величины панелей верхнего пояса с возможностью унификации типов размеров. Это облегчит подготовительные работы, связанные с изготовлением отдельных стержней, и не приведет к путанице при сборке.

2.4. Исследование конструкции ферм из ЛВЛ с целью определения наиболее рационального отношения H/L

Выполнено сравнение схем в зависимости от отношения строительной высоты к пролету (от $H/L = 1/5 \dots 1/10$) с углом наклона верхнего пояса 0° (рис. 16). Полученные результаты расчета приведены в прил. 8. Кроме себестоимости конструкции фермы, учитывались следующие факторы: объем помещения, площадь покрытия (табл. 1). Пример расчета себестоимости приведен в прил. 9. Подбор сечения по возникающим усилиям для определения себестоимости фермы выполнялся укрупненно, без учета сортамента на пиломатериал и ЛВЛ (рис. 17).

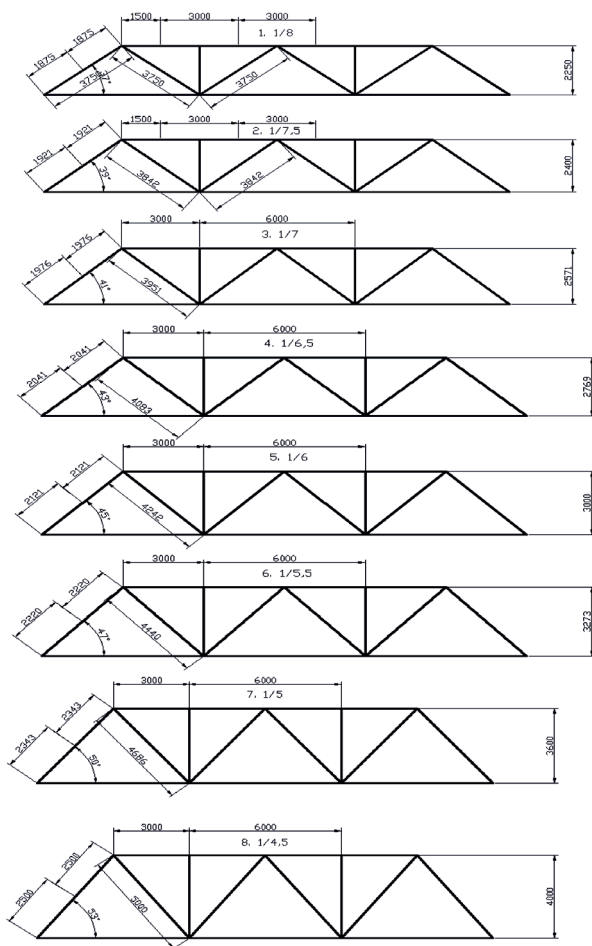


Рис. 16. Фермы с различной высотой

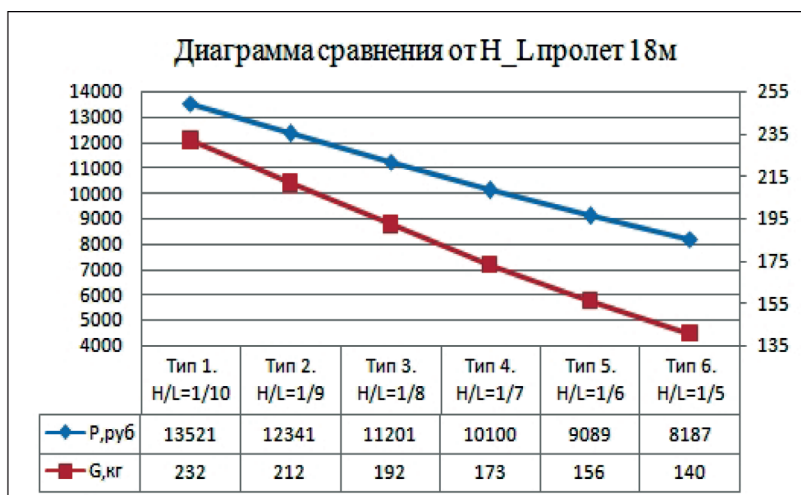


Рис. 17. График сравнения себестоимости и веса конструкций ферм с различным значением H/L для пролета 18 м

Таблица 1

Сравнение ферм разной высоты

Наименование	Тип 1. $H/L = 1/10$	Тип 2. $H/L = 1/8$	Тип 3. $H/L = 1/5$
Себестоимость фермы, р.	13 521	11 201	8187
Стоимость покрытия, р.	171 136,8	175 640,4	192 754,1
Разница стоимости на отопление ферменного пространства по отношению к типу 1, р./год на грузовую площадь 6 м	—	424,27	2036,5
Разница стоимости на вентиляцию ферменного пространства по отношению к типу 1, р./год на грузовую площадь 6 м	—	12 733,5	50 912,4
Общая разница увеличения стоимости по отношению к типу 1, р.	—	15 341,4	69 232,2
Общая разница увеличения стоимости по отношению к типу 1, %	—	8,3 %	37,5 %

Проведенный анализ данных табл. 1 и рис. 17 показал, что существует прямая зависимость между стоимостью фермы и отношением H/L . Чем больше значение H/L , тем меньше значение возникающих усилий в стержнях конструкции, а значит, дешевле ее себестоимость, но тем выше ежегодные эксплуатационные затраты, что

заставляет снижать ее высоту. Ввиду исторически сложившейся практики проектирования целесообразно задавать $H/L = 1/7 \dots 1/8$ (при этом учитывается более высокая прочность материала).

2.5. Исследование конструкции ферм из ЛВЛ с изучением влияния угла наклона на стоимость конструкции

Методом подбора и вычисления напряжений в стержнях рассмотрены основные типы ферм с уклоном верхнего пояса (рис. 18). Построен график, характеризующий себестоимость конструкций (рис. 19).

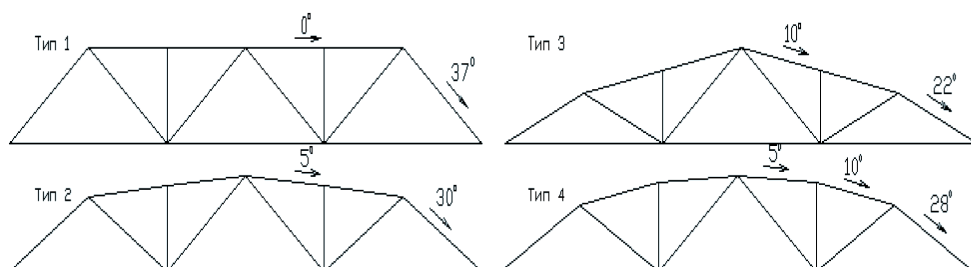


Рис. 18. Типы ферм с различным углом наклона при $H/L = 1/8$ для пролета 18 м

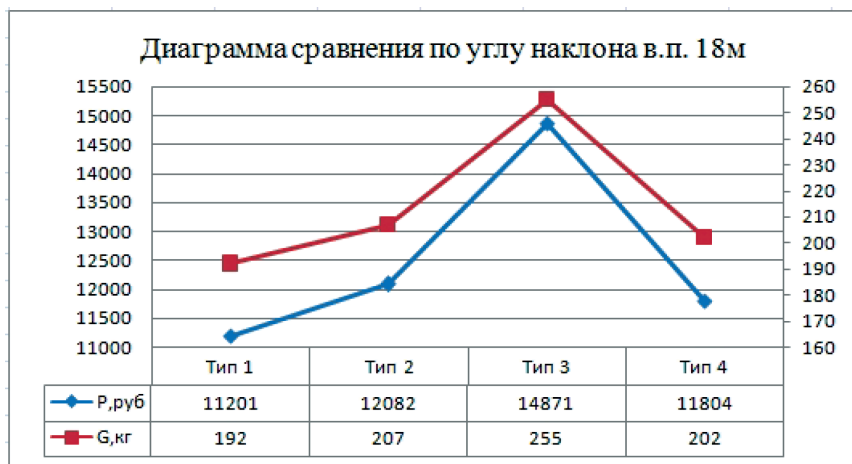


Рис. 19. График сравнения по углу наклона при $H/L = 1/8$ для пролета 18 м

Кроме себестоимости конструкции фермы, учитывались следующие факторы: объем помещения, площадь покрытия (табл. 2). Расчет приведен в прил. 10.

Таблица 2

Сравнение наиболее экономичных типов ферм

Наименование	Тип 1	Тип 4
Себестоимость фермы, р.	11 201	11 804
Разница себестоимости по устройству уклона покрытия, р.	5000	–
Разница стоимости на отопление ферменного пространства по отношению к типу 1, р./год на грузовую площадь 6 м	487	
Разница стоимости на вентиляцию ферменного пространства по отношению к типу 1, р./год на грузовую площадь 6 м	9218	
Общая разница увеличения стоимости, р. за год эксплуатации	14 102	–
Общая разница увеличения стоимости, % за год эксплуатации	214 %	–

Полученные результаты анализа (см. табл. 2) подтверждают тот факт, что ферма типа 1 обойдется в изготовлении дешевле. Но после возведения основного каркаса здания потребуются устройство кровли с применением металлических направляющих для устройства уклона, их крепежа и работы (на площадь покрытия 6×18 м требуется 8 металлических направляющих на сумму 5000 руб.) + эксплуатационные затраты на вентиляцию и отопление. Кроме того, из опыта применения стропильных конструкций в районах с обильным выпадением снежных осадков рекомендуется не применять плоскую кровлю [4].

2.6. Исследование конструкции ферм из ЛВЛ с изучением влияния наличия крайней стойки на стоимость конструкции

Проведение анализа многих факторов требует сравнения схем с наличием крайней стойки с учетом объема внутри ферменного пространства, высоты крайней стойки, площади покрытия, стоимости материалов и работ на 01.02.2009 (табл. 3). Расчет приведен в прил. 11.

Таблица 3

Сравнение ферм

Наименование	С крайней стойкой	Без крайней стойки
Себестоимость фермы, р.	12 011	11 804
Разница себестоимости покрытия, р. на грузовую площадь 6 м	–	6305,1

Наименование	С крайней стойкой	Без крайней стойки
Разница стоимости на утепление крайней стойки, р. на грузовую площадь 6 м	32 400	–
Общая разница увеличения стоимости, р.	26 301,9	–
Общая разница увеличения стоимости, %	223 %	–

По результатам данных, приведенных в табл. 3, конструирование плоских балочных ферм для промышленных зданий без крайней стойки экономически выгодно, не требует дополнительных стержней и узлов. При разработке объемно-планировочных решений мансардных этажей наличие крайней стойки эстетически необходимо.

Вывод. Проведенный анализ многих факторов (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) позволил определить не только экономически выгодное очертание плоской балочной фермы из ЛВЛ (тип 4, рис. 17, $H/L = 1/8$), но и показал возможность сокращения эксплуатационных издержек с затратами на строительные-монтажные работы.

Таким образом, проделанная работа по предложению к исследованию рациональной схемы сквозных балочных конструкций из ЛВЛ помогает увеличить скорость сборки стропильных ферм (узлов, поясов, решетки), позволяет уменьшить количество используемого материала и комплектующих, что, в свою очередь, приведет к сокращению сроков строительства.










Глава 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БРУСА, КЛЕЕННОГО ИЗ ОДНОНАПРАВЛЕННОГО ШПОНА (ЛВЛ), МАРОК ULTRALAM R, KERTO S И ДРЕВЕСНО-СЛОИСТОГО ПЛАСТИКА (ДСП-В)



3.1. Условия хранения материала образцов

Приводим метеорологические показатели Гидрометцентра в период выдерживания образцов в помещении перед испытаниями (табл. 4).

Таблица 4

Фиксация температурно-влажностного режима

Время суток	Температура воздуха, °С	Облачность, осадки	Атмосферное давление, мм рт. ст.	Влажность воздуха	Ветер
Прогноз погоды на сб, 18 апреля 2009 г.					
день	-1 ... +1		753 мм ... 755 мм	81% ... 86%	С-З, 5–9 м/с (18–32 км/ч)
вечер	- ... 0		756 мм ... 758 мм	84% ... 89%	С-З, 5–9 м/с, (18–32 км/ч)
ночь	-3 ... -1		759 мм ... 761 мм	84% ... 89%	С-З, 5–9 м/с, (18–32 км/ч)
Прогноз погоды на вт, 21 апреля 2009 г.					
вечер	-2 ... 0		770 мм ... 772 мм	77% ... 82%	Ю-В, 1–3 м/с (3–10 км/ч)
ночь	-3 ... -1		769 мм ... 771 мм	75% ... 80%	Ю-В, 2–5 м/с (7–18 км/ч)
Прогноз погоды на чт, 23 апреля 2009 г.					
вечер	+4 ... +6		763 мм ... 765 мм	89% ... 94%	С-З, 3–6 м/с, (10–21 км/ч)
ночь	+3 ... +5		765 мм ... 767 мм	84% ... 89%	С-З, 3–6 м/с, (10–21 км/ч)
Прогноз погоды на сб, 25 апреля 2009 г.					
утро	+7 ... +9		763 мм ... 765 мм	63% ... 68%	З, 3–6 м/с, (10–21 км/ч)
день	+13 ... +14		763 мм ... 765 мм	57% ... 59%	З, 4–4 м/с, (14–14 км/ч)

Время суток	Температура воздуха, °С	Облачность, осадки	Атмосферное давление, мм рт. ст.	Влажность воздуха	Ветер
вечер	+9 ... +11		763 мм ... 765 мм	69% ... 74%	3, 2–5 м/с, (7–18 км/ч)
ночь	+5 ... +7		763 мм ... 765 мм	75% ... 80%	Ю-З, 3–6 м/с, (10–21 км/ч)

Показатели табл. 4 позволили получить среднее значение характеристик для исследуемого периода (табл. 5).

Таблица 5

Среднее значение характеристик для исследуемого периода

Погодные условия 18–25 апреля 2009 года			
Время суток	Температура воздуха, °С	Атм. давление, мм р. ст.	Влажность воздуха
день	+5,4	756 мм	73,2 %
вечер	+4,6	764,6 мм	82,8 %
ночь	+2,2	765,2 мм	79,4 %

В помещении, где хранились экспериментальные образцы, поддерживался температурно-влажностный режим при помощи калориферов. Влажностные параметры среды в помещении определены с помощью гигрометра психометрического ВИТ-1 с номером свидетельства 0099326 по ТУ 25-11.1645-84 (табл. 6, рис. 20). Дата поверки: 05.01.2009. Дата очередной поверки – через два года.

Таблица 6

Фиксация влажности

Погодные условия 18–29 апреля 2009 года		
Дата	Температура воздуха, °С	Влажность воздуха
17.04.09	+20,6	64,8 %
18.04.09	+14,3	70,1 %
19.04.09	+13,5	58,2 %
20.04.09	+17,5	63,5 %

Погодные условия 18–29 апреля 2009 года		
Дата	Температура воздуха, °С	Влажность воздуха
21.04.09	+18,5	57,8 %
22.04.09	+21,5	65,9 %
23.04.09	+21,5	65,1 %
24.04.09	+21,7	64,5 %
25.04.09	+22,3	66,1 %
26.04.09	+22,1	67,6 %
27.04.09	+22,2	69,2 %
28.04.09	+21,9	71,2 %
29.04.09	+22,0	73,2 %



Рис. 20. Хранение материала

3.2. Оборудование и механизмы

Проведение испытаний проходило в механической лаборатории Санкт-Петербургского архитектурно-строительного университета, где находятся различные машины, позволяющие осуществлять многие виды испытаний для определения НДС элементов (машины с механическим и гидравлическим приводами).

Полный комплекс испытаний на сжатие, растяжение и поперечный изгиб проводился на универсальной испытательной машине ИМ-50 фирмы Amsler (рис. 21). Свидетельство о поверке № 0121191. Срок поверки – 21.07.2009.

Преимуществом данной установки является ее универсальность, она имеет три режима работы: до 2000 кгс, до 5000 кгс, до 10 000 кгс. Кроме того, имеется возможность для закрепления прогибомера для испытания на продольный изгиб, а также построения диаграмм на миллиметровой бумаге при сжатии и растяжении.



Рис. 21. Гидравлический пресс ИМ-50

3.3. Методика проведения эксперимента

Изучение научной и технической литературы выявило нехватку информации по ЛВЛ. По этой причине было принято решение, основываясь на существующих нормативных документах для древесины и фанеры [6, 101], разработать и провести эксперименты по определению физико-механических свойств ЛВЛ. Пример методики испытания совместно со статистической обработкой результатов приводится в прил. 12.

Древесина и материалы на ее основе обладают по своим физико-механическим показателям большой изменчивостью. Поэтому для получения достоверных данных о свойствах бруса, клеенного из однонаправленного шпона, необходимо проводить большое число испытаний. При этом показатель одного и того же свойства выражается различными значениями. При обработке данных, полученных в ходе эксперимента, некоторые варианты статистического ряда имеют большее или меньшее

отклонение по сравнению со средней величиной показателя прочности. Требуется проверка с целью обнаружения ошибок со стороны лица, проводящего эксперимент, или факторов, способных повлиять на конечный результат.

Подготовительные работы, предшествующие экспериментальным исследованиям, заключались в сортировке материала, проверке стендового оборудования, изготовлении образцов (ЛВЛ и ДСП-В) [4]. Определение значений плотности и влажности производилось в лаборатории Государственной Северо-Западной таможни.

Предложение конструкций из новых, прогрессивных материалов требует проведения полного цикла исследований, связанных в первую очередь с нехваткой информации в научной и технической литературе. По этой причине в ходе выполнения диссертационной работы автором был составлен четкий план работы, включающий теоретические расчеты и экспериментальные испытания с дальнейшей статистической обработкой.

Обзор литературы показал, что на сегодняшний день не существует рекомендаций по разработке конструкций стропильных ферм с применением фасонки из ДСП-В на стальных нагелях, учитывающих работу узлов и их податливость.

Выполненный анализ состояния вопроса позволил сформулировать основные направления исследования, включая программу экспериментов (см. схему на рис. 10).

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. Нягань, Ханты-Мансийский АО, г. Торжок, Тверская обл., г. Лохья, Финляндия);
- установление зависимости между значением прочности и углом приложения сосредоточенной нагрузки к направлению волокон;
- уточнение прочностных характеристик древесно-слоистого пластика марки В, при статическом нагружении на сжатие (производитель ООО «Фанпласт», Санкт-Петербург);
- влияние составности элементов, работы узлов, их деформативности;
- изучение работы узловых сопряжений на нагелях в упругой стадии с определением зависимости прочностных параметров от типа соединения, схемы расстановки и диаметра связей.

Количество образцов для каждого вида испытаний (растяжение вдоль волокон, сжатие вдоль и поперек волокон, статический изгиб вдоль и поперек волокон) составил 51 шт. на каждый тип (три партии по 17 штук) + 4 шт. для пробных испытаний. Производился визуальный осмотр исходного материала с занесением имеющихся дефектов в журнал испытаний. Отбор образцов производился распилом на заготовки, для растяжения и изгиба, с торца вдоль волокон бруса; для сжатия – с торца на всю ширину бруса.

Для определения плотности и влажности применялось оборудование: сушильный шкаф фирмы Bilder, Германия, весы с ценой деления 0,1 г. Выполненные исследования помогли определить следующие характеристики образцов (табл. 7, 8) [20].

Таблица 7

Определение плотности материала

№ п/п	Обозначение	m, г	L, см	b, см	s, см	V, см ³	P = m/V, г/см ³			
							Эксперимент		Данные завода	
							г. Нягань		г. Нягань	г. Торжок
1	I-1-П-100×100-30-Р	183,6	9,92	9,69	3,06	294,14	0,6243	0,6216	0,557	0,550
2	II-2-П-100×100-30-Р	192,1	9,96	9,89	3,00	295,51	0,6501			
3	II-3-П-100×100-30-Р	187,7	10,00	9,94	3,00	298,20	0,6293			
4	III-4-П-100×100-30-Р	195,1	10,60	9,60	3,00	305,28	0,6392			
5	III-5-П-100×100-30-Р	170,1	9,97	9,87	3,06	300,97	0,5651			

Таблица 8

Определение влажности материала

№ п/п	Обозначение	m ₀ , г	m ₁ , г	m ₂ , г	m ₂ , г	W, %
1	I-1-С-Р					8,1
2	II-2-С-Р					7,4
3	II-3-С-Р					7,5
4	III-4-С-Р					7,7
5	III-5-С-Р					7,4
6	I-1-И-Р					7,3
7	II-2-И-Р					7,0
8	II-3-И-Р					7,5
9	III-4-И-Р					7,1
10	III-5-И-Р					7,5

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 [85].

Влияние влажности на прочностные свойства ЛВЛ в диссертационной работе не рассматривалось. Для проверки заявлений заводов-изготовителей о том, что

ЛВЛ не впитывает влагу, в будущем потребуются проведение ряда экспериментов, связанных с изучением поведения материала при прямом попадании воды, длительном хранении во влажной и сухой среде [91].

Во всяком случае, в дальнейшем при испытаниях конструкций не было выявлено колебаний значений влажности материала, который после хранения имел среднее значение влажности 7,5 %, что показало неизменность влагосодержания.

3.4. Определение предела прочности при растяжении ЛВЛ [103]

Метод определения предела прочности основан на вычислении максимальной нагрузки, разрушающей образец при растяжении.

Форма и размеры образцов должны соответствовать рис. 22 и таблице 9.

Таблица 9

Размеры испытываемого образца

Тип образца	Высота образца h , мм	Высота рабочей части h_1 , мм	Длина образца L , мм	Длина рабочей части L_1 , мм	Радиус закругления R	Толщина образца b , мм
I	50	20	400	70	350	30

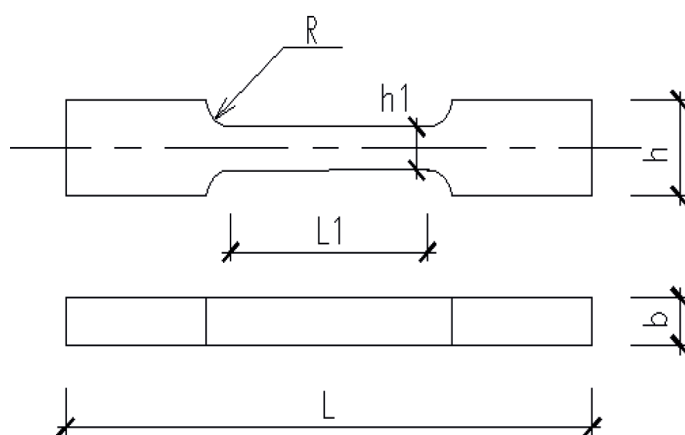


Рис. 22, начало. Изготовление и измерение образцов



Рис. 22, окончание

Подготовка к испытанию. Образец устанавливался в захват машины так, чтобы его продольная ось совпала с осями головок машины, а клиновидные захваты плотно прижали образец до закругленной части. Зажатие захватов осуществлялось вручную (рис. 23).

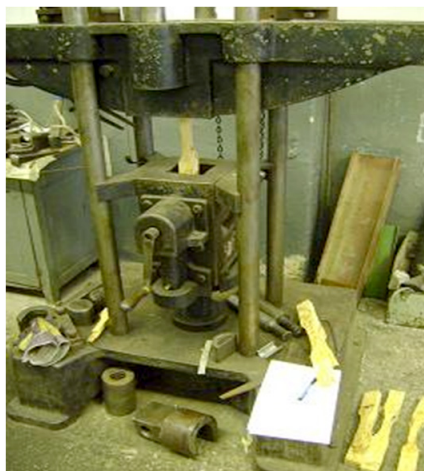


Рис. 23. Установка образца в клиновидные захваты машины ИМ-50

Проведение эксперимента заключалось в жестком фиксировании образца за лопатки. В ходе приложения нагрузки верхняя рабочая часть с помощью поршня начинала подниматься, тем самым создавая растягивающие усилия. Разрушение происходило в зауженной рабочей части [13, 28].

Результаты измерений и расчетов заносились в протокол испытаний (табл. 10).

3.4. Определение предела прочности при растяжении ЛВЛ

Таблица 10

Определение характеристик материала вдоль волокон при растяжении (г. Нягань)

№п/п	t, см	h ^{сп} , см	L1, см	A, см ²	P ^{max} , Н	W, %	σ ^{нр} , МПа	σ ^н для w = 12%, МПа	σ ^{н,сп} для w = 12%, МПа	Отклонения от ср. арифм., МПа	Квадрат отклонения от ср. арифм., МПа	Средн. квадр. отклонения от σ ^{нр} , МПа	Вариант. коэф. V, %	Средняя ошибка m, МПа	Показатель точности P, %	
																Партия № 1
1	3,04	1,95	6,98	5,93	26 400		44,53	41,53		0,5	0,25					
2	3,00	1,90	6,97	5,69	29 600		52,07	48,55		-6,5	42,57					
3	3,02	1,96	6,98	5,92	26 600		44,94	41,91		0,1	0,02					
4	3,04	1,80	6,93	5,47	27 000		49,34	46,01		-4,0	15,87					
5	3,01	1,94	6,95	5,82	32 750		56,23	52,43		-10,4	108,29					
6	3,03	1,98	6,98	6,00	27 000		45,00	41,97		0,1	0,00					
7	3,02	1,95	6,98	5,89	23 700		40,24	37,53		4,5	20,25					
8	3,05	2,09	6,96	6,37	28 200		44,24	41,25		0,8	0,60					
9	3,02	1,99	6,98	5,99	29 300	7,5	48,88	45,58	42,03	-3,5	12,60	5,06	12,03	1,23	2,92	
10	3,07	1,97	6,99	6,05	27 900		46,13	43,02		-1,0	0,98					
11	3,03	2,11	6,98	6,39	23 300		36,44	33,98		8,0	64,70					
12	3,05	1,98	6,95	6,02	24 700		41,00	38,24		3,8	14,37					
13	3,07	1,98	6,94	6,08	27 800		45,73	42,65		-0,6	0,38					
14	3,05	1,93	6,98	5,89	26 800		45,53	42,45		-0,4	0,18					
15	3,00	1,99	7,02	5,97	28 800		48,24	44,98		-3,0	8,74					
16	3,07	2,03	6,98	6,22	27 500		44,24	41,25		0,8	0,61					
17	3,07	1,98	6,98	6,08	20 300		33,40	31,14		10,9	118,51					

Окончание табл. 10

№/П	t, см	h ^{сп} , см	L1, см	A, см ²	P _{max} , Н	W, %	σ _{тп} , МПа	σ _{тп} для W = 12%, МПа	σ _{тп} для W = 12%, МПа	Отклонения от ср. арифм., МПа	Квадрат отклонения от ср. арифм., МПа	Средн. квадр. отклонения от σ _{тп} , МПа	Вариат. коэф. V, %	Средняя ошибка m, МПа	Показатель точности P, %	
																Партия № 2
1	3,06	1,98	6,98	6,05	24 000		39,66	36,98		3,1	9,53					
2	3,05	1,93	6,99	5,87	28 300		48,20	44,95		-4,9	23,77					
3	3,05	2,02	6,98	6,15	24 000		39,05	36,42		3,7	13,37					
4	3,03	1,83	6,95	5,53	21 400		38,70	36,09		4,0	15,88					
5	3,04	1,90	6,94	5,78	23 500		40,69	37,94		2,1	4,55					
6	3,06	1,87	6,98	5,71	28 500		49,94	46,57		-6,5	42,20					
7	3,05	1,89	6,99	5,75	26 700		46,44	43,31		-3,2	10,46					
8	3,07	1,98	6,98	6,08	28 600		47,05	43,87		-3,8	14,46					
9	3,05	2,04	7,03	6,22	30 200	7,5	48,54	45,26	40,07	-5,2	26,93	4,70	11,72	1,14	2,84	
10	3,02	1,96	6,94	5,90	22 200		37,60	35,06		5,0	25,09					
11	3,02	1,95	6,95	5,89	22 000		37,36	34,84		5,2	27,42					
12	3,07	1,99	7,00	6,11	32 200		52,71	49,15		-9,1	82,39					
13	3,05	1,95	6,97	5,95	25 350		42,62	39,75		0,3	0,11					
14	3,04	1,96	6,96	5,96	21 300		35,75	33,33		6,7	45,39					
15	3,02	1,98	7,02	5,98	23 550		39,38	36,73		3,3	11,20					
16	3,02	1,96	6,94	5,90	25 500		43,19	40,27		-0,2	0,04					
17	3,05	1,96	6,98	5,98	26 100		43,66	40,71		-0,6	0,41					

3.4. Определение предела прочности при растяжении ЛВЛ

Партия № 3																
1	3,06	1,98	6,98	6,05	21 800	36,03	33,59	5,2	26,55							
2	3,05	1,93	6,99	5,87	25 500	43,43	40,50	-1,8	3,08							
3	3,05	2,02	6,98	6,15	23 750	38,64	36,04	2,7	7,35							
4	3,02	1,95	6,95	5,89	25 900	43,98	41,01	-2,3	5,13							
5	3,01	2,05	6,97	6,17	31 800	51,54	48,06	-9,3	86,68							
6	3,06	1,90	6,98	5,80	22 800	39,32	36,67	2,1	4,33							
7	3,05	1,89	6,99	5,75	21 200	36,87	34,39	4,4	19,02							
8	3,07	1,98	6,98	6,08	24 300	39,98	37,28	1,5	2,16							
9	3,05	2,04	7,03	6,22	25 700	41,31	38,52	38,75	3,90	10,05	0,94	2,44				
10	3,02	1,96	6,94	5,90	24 300	41,16	38,38	0,4	0,13							
11	3,07	1,98	6,98	6,08	24 800	40,80	38,04	0,7	0,49							
12	3,07	1,99	7,00	6,11	29 800	48,78	45,49	-6,7	45,41							
13	3,05	1,95	6,97	5,95	25 850	43,46	40,53	-1,8	3,18							
14	3,02	1,98	7,02	5,98	23 600	39,47	36,80	1,9	3,78							
15	3,01	1,94	6,96	5,83	22 600	38,75	36,14	2,6	6,81							
16	3,05	1,90	6,98	5,78	21 600	37,37	34,85	3,9	15,19							
17	3,05	1,91	6,98	5,83	26 500	45,49	42,42	-3,7	13,49							

3.5. Определение предела прочности при сжатии ЛВЛ [102]

Метод определения предела прочности основан на определении максимальной нагрузки, разрушающей образец при сжатии.

Образец для испытания изготавливался прямоугольной формы. Ширина заготовки составляла 1,5 толщины (рис. 24).

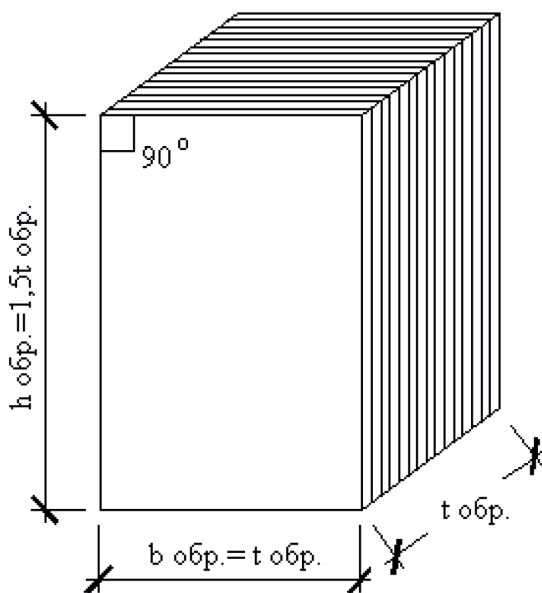


Рис. 24. Изготовление и измерение образцов

Подготовка к испытанию. С помощью гидравлического и механического привода осуществлялось перемещение верхней и нижней рабочих частей (рис. 25). В нижней части при проведении эксперимента устанавливалась база (металлическая пластина толщиной 30 мм). К верхней рабочей части крепился башмак с плоским дном диаметром 100 мм. При установке образца на базу сверху вручную устанавливалась шарнирная опора – в плане 42×42 мм (для того, чтобы в процессе эксперимента сгладить возможные шероховатости и неровности верхних опорных частей образца, допущенные при изготовлении) [28].

Результаты измерений и расчетов заносились в протокол испытаний (табл. 11 и 12). Таблицы с полученными данными предела прочности при сжатии ЛВЛ и ДСП-В под различными углами для материала г. Нягань, Ханты-Мансийский АО, а также вдоль волокон – г. Торжок, Тверская область, и г. Лохья, Финляндия (рис. 26),

приведены в прил. 13. Технические характеристики заводов-изготовителей представлены в прил. 14 (ООО «МЛТ», г. Торжок), 15 (ОАО «ЛВЛ-Югра», г. Нягань), 16 (ООО «Финнфорест», г. Лохья, Финляндия), 17 (ООО «Фанпласт», г. Санкт-Петербург).



Рис. 25. Установка образца под шарнирную опору на машине ИМ-50



Рис. 26. Пример заводской маркировки

Таблица 11

Определение характеристик материала вдоль волокон при сжатии (г. Нягань)

№/П	t, см	h _{ср} , см	L1, см	A, см ²	P _{max} , Н	W, %	σ _{нр} , МПа	σ _{нр} для w = 12%, МПа	σ _{нр} для w = 12%, МПа	Отклонения от ср. арифм., МПа	Квадрат отклонения от ср. арифм., МПа	Средн. квадр. отклонения от σ _{нр} , МПа	Вариат. коэф. V, %	Средняя ошибка m, МПа	Показатель точности P, %	
																Партия № 1
1	3,025	4,53	2,99	9,04	54 500		60,26	49,41		-1,0	1,07					
2	3,04	4,55	3,01	9,15	55 800		60,98	50,00		-1,6	2,66					
3	3,02	4,54	3,02	9,12	64 000		70,17	57,54		-9,2	84,03					
4	3,02	4,53	2,93	8,85	54 000		61,03	50,04		-1,7	2,78					
5	3,04	4,6	3,05	9,27	57 800		62,34	51,12		-2,7	7,52					
6	3,04	4,56	3,05	9,27	56 000		60,40	49,53		-1,2	1,32					
7	3,05	4,51	2,95	9,00	42 000		46,68	38,28		10,1	101,96					
8	3,02	4,5	2,95	8,91	54 600		61,29	50,25		-1,9	3,54					
9	3,04	4,6	2,93	8,91	54 000	7,5	60,63	49,71	48,37	-1,3	1,79	4,98	10,29	1,21	2,5	
10	3,045	4,63	2,93	8,92	54 300		60,86	49,91		-1,5	2,35					
11	3,025	4,54	3,01	9,11	54 800		60,19	49,35		-1,0	0,95					
12	3,04	4,62	3,03	9,21	55 900		60,69	49,76		-1,4	1,93					
13	3,05	4,55	3,05	9,30	43 900		47,19	38,70		9,7	93,65					
14	3,02	4,53	2,98	9,00	54 500		60,56	49,66		-1,3	1,65					
15	3,02	4,61	2,95	8,91	56 700		63,64	52,19		-3,8	14,54					
16	3,04	4,5	3,02	9,18	44 600		48,58	39,84		8,5	72,92					
17	3,055	4,58	3,01	9,20	52 800		57,42	47,08		1,3	1,67					

3.5. Определение предела прочности при сжатии ЛВЛ

Партия № 2																
1	3,023	4,49	3,05	9,22	51 700	56,07	45,98	0,2		0,03						
2	3,043	4,58	2,98	9,07	45 900	50,62	41,51	4,7		21,69						
3	3,04	4,6	3,00	9,12	43 700	47,92	39,29	6,9		47,22						
4	3,05	4,61	3,02	9,21	53 900	58,52	47,98	-1,8		3,32						
5	3,04	4,57	3,05	9,27	54 500	58,78	48,20	-2,0		4,14						
6	3,04	4,55	3,05	9,27	55 000	59,32	48,64	-2,5		6,14						
7	3,05	4,54	2,95	9,00	43 700	48,57	39,83	6,3		40,15						
8	3,02	4,57	2,95	8,91	48 600	54,55	44,73	1,4		2,05						
9	3,04	4,5	2,93	8,91	54 000	60,63	49,71	46,16		12,60	4,23		9,16		1,03	
10	3,04	4,63	2,93	8,91	54 300	60,96	49,99	-3,8		14,64						
11	3,025	4,56	3,01	9,11	55 300	60,73	49,80	-3,6		13,24						
12	3,04	4,63	3,03	9,21	48 900	53,09	43,53	2,6		6,92						
13	3,05	4,57	3,05	9,30	50 000	53,75	44,07	2,1		4,36						
14	3,02	4,52	2,98	9,00	56 000	62,22	51,02	-4,9		23,63						
15	3,02	4,6	2,95	8,91	55 700	62,52	51,27	-5,1		26,05						
16	3,045	4,52	3,02	9,20	55 900	60,79	49,85	-3,7		13,56						
17	3,045	4,55	3,01	9,17	44 000	48,01	39,37	6,8		46,21						
Партия № 3																
1	3,02	4,54	3,02	9,12	44 900	49,23	40,37	6,2		38,85						
2	3,02	4,5	2,95	8,91	54 600	61,29	50,25	-3,7		13,35						
3	3,04	4,62	3,03	9,21	43 900	47,66	39,08	46,60		56,56	4,34		9,32		1,05	
4	3,05	4,61	3,02	9,21	53 900	58,52	47,98	-1,4		1,91						
5	3,045	4,63	2,93	8,92	54 300	60,86	49,91	-3,3		10,92						

Окончание табл. 11

№/п	t, см	h ^{сп} , см	L1, см	A, см ²	P ^{max} , Н	W, %	σ ^{нп} , МПа	σ ^{нп} для w = 12%, МПа	σ ^{нп,ср} для w = 12%, МПа	Отклонения от ср. арифм., МПа	Квадрат отклонения от ср. арифм., МПа	Средн. квадр. отклонения от σ ^{нп} , МПа	Вариат. коэф. V, %	Средняя ошибка m, МПа	Показатель точности P, %
6	3,05	4,57	3,05	9,30	51 000	7,5	54,82	44,96	46,60	1,6	2,71	4,34	9,32	1,05	2,26
7	3,05	4,54	2,95	9,00	53 700		59,68	48,94		-2,3	5,47				
8	3,02	4,57	2,95	8,91	54 600		61,29	50,25		-3,7	13,35				
9	3,045	4,52	3,02	9,20	55 900		60,79	49,85		-3,2	10,53				
10	3,04	4,5	2,93	8,91	54 000		60,63	49,71		-3,1	9,68				
11	3,025	4,56	3,01	9,11	55 300		60,73	49,80		-3,2	10,24				
12	3,04	4,63	3,03	9,21	42 900		46,57	38,19		8,4	70,75				
13	3,02	4,6	2,95	8,91	55 700		62,52	51,27		-4,7	21,77				
14	3,02	4,52	2,98	9,00	47 000		52,22	42,82		3,8	14,27				
15	3,02	4,53	2,93	8,85	54 000		61,03	50,04		-3,4	11,84				
16	3,045	4,52	3,02	9,20	49 900		54,26	44,50		2,1	4,43				
17	3,04	4,5	3,02	9,18	49 600		54,03	44,30		2,3	5,29				

Таблица 12

Определение характеристик материала при сжатии вдоль волокон ДСП-В (г. Санкт-Петербург)

№/П	l , см	h_{cp} , см	$L1$, см	A , см ²	P_{max} , Н	σ_{lim} , МПа	$\sigma_{иср}$, МПа	Отклонения от ср. арифм., МПа	Квадрат отклонения от ср. арифм., МПа	Средн. квар. отклонения от σ_{lim} , МПа	Вариан. коэф. V , %	Средняя ошибка m , МПа	Показатель точности P , %
<i>Партия № 1</i>													
1	0,560	1,16	0,93	0,52	4750	91,21	89,80	-1,4	1,98				
2	0,570	1,20	0,91	0,52	4650	90,14		-0,3	0,12				
3	0,570	1,22	0,89	0,51	4550	89,69		0,1	0,01				
4	0,570	1,15	0,89	0,50	4650	92,18		-2,4	5,67				
5	0,570	1,10	0,95	0,54	4700	87,26		2,5	6,46				
6	0,570	1,25	0,90	0,51	4700	91,62		-1,8	3,31				
7	0,570	1,13	0,90	0,51	4600	89,67		0,1	0,02				
8	0,570	1,15	0,92	0,52	4500	86,28		3,5	12,36				
9	0,570	1,10	0,91	0,52	4700	90,61		-0,8	0,66	2,10	2,34	0,51	0,57
10	0,570	1,17	0,91	0,52	4500	87,23		2,6	6,57				
11	0,570	1,17	0,92	0,52	4800	92,03		-2,2	5,00				
12	0,570	1,20	0,90	0,51	4500	88,21		1,6	2,52				
13	0,570	1,24	0,91	0,52	4600	89,17		0,6	0,39				
14	0,570	1,20	0,93	0,53	4650	88,19		1,6	2,57				
15	0,570	1,20	0,90	0,51	4700	91,62		-1,8	3,31				
16	0,570	1,18	0,92	0,52	4600	87,72		2,1	4,32				
17	0,560	1,15	0,91	0,51	4750	93,73		-3,9	15,43				

Продолжение табл. 12

№/п	t, см	h _{ср} , см	L ₁ , см	A, см ²	P _{max} , Н	σ _{тп} , МПа	σ _{тср} , МПа	Отклонения от ср. арифм., МПа	Квадрат отклонения от ср. арифм., МПа	Средн. квадр. отклонения от σ _{тп} , МПа	Вариант. коэф. V, %	Средняя ошибка m, МПа	Показатель точности P, %
1	0,570	1,2	0,91	0,52	4700	90,61	90,24	-0,4	0,14				
2	0,570	1,22	0,93	0,53	4550	86,30		3,9	15,56				
3	0,570	1,16	0,90	0,51	4600	89,67		0,6	0,33				
4	0,570	1,19	0,89	0,50	4450	88,21		2,0	4,11				
5	0,570	1,23	0,95	0,54	4650	86,33		3,9	15,32				
6	0,570	1,21	0,91	0,52	4800	93,05		-2,8	7,89				
7	0,570	1,16	0,90	0,51	4750	92,59		-2,4	5,53				
8	0,570	1,11	0,92	0,52	4700	90,12		0,1	0,02				
9	0,570	1,14	0,90	0,51	4600	90,17	90,24	0,1	0,01	2,19	2,43	0,53	0,59
10	0,570	1,19	0,91	0,52	4700	91,11		-0,9	0,76				
11	0,570	1,22	0,90	0,51	4700	91,62		-1,4	1,90				
12	0,570	1,2	0,90	0,51	4600	89,67		0,6	0,33				
13	0,570	1,2	0,90	0,51	4600	89,67		0,6	0,33				
14	0,560	1,2	0,92	0,52	4800	93,17		-2,9	8,56				
15	0,560	1,21	0,91	0,51	4750	93,73		-3,5	12,14				
16	0,560	1,18	0,93	0,52	4650	89,77		0,5	0,22				
17	0,560	1,24	0,93	0,52	4600	88,33		1,9	3,67				

3.5. Определение предела прочности при сжатии ЛВЛ

Партия № 3																
1	0,570	1,17	0,89	0,50	4600	91,19	89,98				-1,2	1,47				
2	0,570	1,24	0,95	0,54	4800	89,11					0,9	0,75				
3	0,570	1,20	0,90	0,51	4700	92,13					-2,2	4,64				
4	0,570	1,15	0,91	0,52	4650	90,14					-0,2	0,03				
5	0,570	1,10	0,91	0,52	4650	89,65					0,3	0,11				
6	0,570	1,2	0,90	0,51	4600	90,17					-0,2	0,04				
7	0,570	1,2	0,91	0,52	4750	92,08					-2,1	4,43				
8	0,570	1,22	0,93	0,53	4700	89,14					0,8	0,70				
9	0,570	1,15	0,90	0,51	4400	85,77	89,98				4,2	17,69	2,15	2,39	0,52	0,58
10	0,570	1,10	0,92	0,52	4550	86,77					3,2	10,31				
11	0,570	1,17	0,92	0,52	4750	91,07					-1,1	1,21				
12	0,570	1,16	0,91	0,52	4750	91,58					-1,6	2,56				
13	0,570	1,20	0,93	0,53	4600	86,78					3,2	10,24				
14	0,570	1,16	0,91	0,52	4550	88,20					1,8	3,14				
15	0,570	1,24	0,91	0,52	4800	92,54					-2,6	6,57				
16	0,570	1,20	0,90	0,51	4600	90,17					-0,2	0,04				
17	0,570	1,20	0,90	0,51	4750	93,11					-3,1	9,82				

3.6. Определение предела прочности и модуля упругости при статическом изгибе [60]

Метод определения предела прочности основан на определении максимальной нагрузки, разрушающей образец при статическом изгибе [45].

Метод определения модуля упругости при статическом изгибе основан на определении стрелы прогиба образца в зависимости от разности верхнего и нижнего пределов нагружения.

Образцы для испытания изготавливались прямоугольной формы (рис. 27).

$$t_{\text{образца}} = 30 \text{ мм}; h_{\text{образца}} = 75 \text{ мм}; L_1 = 780 \text{ мм}$$

Подготовка к испытанию. Для определения прочностных характеристик на поперечный изгиб были изготовлены образцы длиной 780 мм. Расстояние от торца образца до опоры составило 40 мм. База 700 мм. Для эксперимента была установлена опора диаметром 30 мм. Образец помещался на базу. При помощи гидравлического привода прикладывалась сосредоточенная нагрузка в середине пролета (рис. 28) [28]. Нагружение проводилось по квазистатической схеме (ступенями), и для каждой ступени фиксировалось показание прогибомера с целью определения прогиба [73].

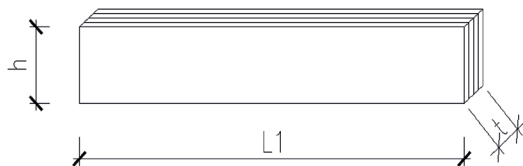


Рис. 27. Образцы для испытаний



Рис. 28. Установка образца на машине ИМ-50

Результаты измерений и расчетов заносились в протокол испытаний (табл. 13 и 14).

Определение модуля упругости при поперечном изгибе вдоль волокон приведено в прил. 18.

3.6. Определение предела прочности и модуля упругости при статическом изгибе

Таблица 13

Определение характеристик материала вдоль волокон при изгибе (г. Нягань)

№/П	l, см	h _{ср} , см	L, см	P _{max} , Н	W, %	σ _{тп} , МПа	σ _{тп} для w = 12%, МПа	σ _{тп} для w = 12%, МПа	σ _{тп} для w = 12%, МПа	Отклонения от ср. арифм., МПа	Квадрат отклонения от ср. арифм., МПа	Средн. квадр. отклонения от σ _{тп} , МПа	Вариан. коэф. V, %	Средняя ошибка m, МПа	Показатель точности P, %	
																Партия № 1
1	3,05	7,55	70	12 300		74,28	60,91			-4,6	20,94					
2	3,05	7,33	70	11 000		70,48	57,79			-1,5	2,12					
3	3,02	7,41	70	10 700		67,75	55,56			0,8	0,61					
4	3,07	7,40	70	10 000		62,46	51,22			5,1	26,24					
5	3,06	7,13	70	10 000		67,50	55,35			1,0	0,98					
6	3,05	7,35	70	10 900		69,46	56,96			-0,6	0,38					
7	3,02	7,25	70	9800		64,82	53,16			3,2	10,13					
8	3,08	7,33	70	11 700		74,24	60,87			-4,5	20,58					
9	3,05	7,35	70	11 500	7,5	73,28	60,09	56,34		-3,8	14,10			3,17	5,62	1,36
10	3,05	7,40	70	9900		62,24	51,04			5,3	28,11					
11	3,02	7,45	70	10 700		67,03	54,96			1,4	1,89					
12	3,02	7,34	70	11 500		74,21	60,86			-4,5	20,41					
13	3,02	7,5	70	11 300		69,85	57,27			-0,9	0,88					
14	3,05	7,52	70	11 300		68,79	56,41			-0,1	0,01					
15	3,05	7,48	70	10 900		67,07	55,00			1,3	1,80					
16	3,06	7,46	70	10 500		64,74	53,09			3,3	10,56					
17	3,05	7,5	70	11 400		69,77	57,21			-0,9	0,76					

Окончание табл. 13

№/п	l, см	h _{сп} , см	L, см	P _{max} , Н	W, %	σ _{тп} , МПа	σ _{тп} для w = 12%, МПа	σ _{тп,ср} для w = 12%, МПа	Отклонения от ср. арифм., МПа	Квадрат отклонения от ср. арифм., МПа	Средн. квадр. отклонения от σ _{тп} , МПа	Вариаци. коэф. V, %	Средняя ошибка m, МПа	Показатель точности P, %
1	3,05	7,5	70	11 300	7,5	69,16	56,71	56,52	-0,2	0,04	4,24	7,50	1,03	1,82
2	3,02	7,45	70	11 500		72,04	59,07		-2,6	6,52				
3	3,06	7,48	70	12 100		74,21	60,85		-4,3	18,77				
4	3,02	7,5	70	11 300		69,85	57,27		-0,8	0,57				
5	3,02	7,5	70	13 200		81,59	66,90		-10,4	107,85				
6	3,06	7,5	70	10 700		65,27	53,52		3,0	8,97				
7	3,02	7,46	70	10 500		65,60	53,79		2,7	7,44				
8	3,05	7,48	70	10 500		64,61	52,98		3,5	12,54				
9	3,06	7,45	70	10 300		63,68	52,22		4,3	18,51				
10	3,02	7,49	70	10 000		61,98	50,82		5,7	32,47				
11	3,02	7,44	70	10 800		67,84	55,63		0,9	0,80				
12	3,02	7,5	70	11 300		69,85	57,27		-0,8	0,57				
13	3,05	7,43	70	11 100		69,22	56,76		-0,2	0,06				
14	3,05	7,47	70	12 300		75,88	62,23		-5,7	32,57				
15	3,02	7,45	70	9800		61,39	50,34		6,2	38,17				
16	3,02	7,47	70	11 100		69,16	56,71		-0,2	0,04				
17	3,02	7,47	70	11 300		70,41	57,73		-1,2	1,48				

3.6. Определение предела прочности и модуля упругости при статическом изгибе

Партия № 3																				
№	3,05	7,48	70	11 500	70,76	58,02											2,83	5,01	0,69	1,22
1	3,02	7,5	70	11 100	68,61	56,26											0,1	0,02		
2	3,02	7,48	70	11 300	70,22	57,58											-1,2	1,41		
3	3,05	7,47	70	12 400	76,50	62,73											-6,3	40,20		
4	3,05	7,5	70	10 700	65,49	53,70											2,7	7,25		
5	3,06	7,49	70	11 500	70,34	57,68											-1,3	1,66		
6	3,02	7,5	70	11 100	68,61	56,26											0,1	0,02		
7	3,02	7,49	70	10 300	63,83	52,34											4,0	16,38		
8	3,05	7,45	70	10 700	66,37	54,42	7,5										2,0	3,88	56,39	
9	3,05	7,5	70	11 300	69,16	56,71											-0,3	0,10		
10	3,02	7,5	70	11 600	71,70	58,79											-2,4	5,77		
11	3,06	7,47	70	10 800	66,41	54,46											1,9	3,74		
12	3,05	7,45	70	11 100	68,85	56,46											-0,1	0,00		
13	3,02	7,5	70	10 900	67,37	55,25											1,1	1,31		
14	3,02	7,5	70	12 100	74,79	61,33											-4,9	24,37		
15	3,06	7,49	70	10 700	65,45	53,67											2,7	7,42		
16	3,02	7,48	70	10 400	64,63	52,99											3,4	11,54		
17																				

Таблица 14

Определение модуля упругости (г. Нягань)

P, H	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Δ (мм)	E (МПа)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
2000	1,00	0,93	1,39	1,41	1,25	1,38	1,29	1,09	1,51	1,35	0,126	11232
4000	2,22	1,96	2,55	2,61	2,60	2,63	2,50	2,43	2,50	2,41	0,244	11596
6000	3,50	3,13	4,07	4,00	4,26	4,12	3,98	3,73	4,03	3,87	0,387	10974
8000	4,81	4,21	5,61	5,38	6,15	5,74	5,55	5,15	5,55	5,65	0,538	10523
10 000	6,35	5,66	7,49	8,08	8,65	7,56		7,00	6,85		0,721	9822
12 000	8,40										0,840	10109
$J, \text{см}^4$	109	100	102	104	92	101	96	101	101	103	100,98	10709

3.7. Проведение испытаний и основные результаты

3.7.1. Сжатие вдоль и под углом к волокнам для ЛВЛ [102]

Образцы на сжатие были представлены партиями, характеризующимися датой изготовления. Непосредственно перед испытаниями все образцы были обмерены при помощи штангенциркуля для каждого сечения в трех точках, впоследствии было получено среднее значение размера для каждого сечения. Проводился визуальный анализ каждого образца – выявлялись его пороки (нарушение усовых соединений, сучки, косослои). Особенности заносились в журнал и учитывались при обработке результатов и статическом анализе. Режим нагружения при непрерывном увеличении нагрузки составлял (60 ± 30) с [17].

На рис. 29 представлены наиболее характерные типы разрушения экспериментальных образцов при сжатии вдоль волокон для бруса, клеенного из однонаправленного шпона.

Разрушение началось в слоях шпона, имеющих более светлую окраску, лущенных из заболонной части бревна. Также отмечалось раскалывание в слоях с сучками и увеличение геометрических размеров образца в месте разрушения волокон. Разрушение произошло по всему объему образца и отличалось хрупким характером с резким падением нагрузки и показаний на циферблате манометра. В сравнении с испытаниями чистой древесины образцы ЛВЛ достигали более высокой прочности. Полученные данные соответствовали значениям, приведенным в европейских нормах. Это объясняется идентичностью технологии производства.

На основании полученных величин предела прочности на сжатие вдоль и под углом к волокнам по методике, изложенной в пособии [5], получены расчетные характеристики прочности ЛВЛ.

Нормативное сопротивление (1) (приведенная к влажности $\omega = 12,0$ %):

$$R_n = R_{вр} \cdot (1 - \eta_n \cdot v). \quad (1)$$

$$R_n^0 = R_{вр} \cdot (1 - \eta_n \cdot v) = 470,5 \cdot (1 - 2,01 \cdot 0,0959) = 379,8 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} \quad (\text{ЛВЛ} - \text{ЮГРА}, t = 30 \text{ мм})$$

$$R_n^{15} = R_{вр} \cdot (1 - \eta_n \cdot v) = 204,7 \cdot (1 - 2,01 \cdot 0,0857) = 169,3 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} \quad (\text{ЛВЛ} - \text{ЮГРА}, t = 30 \text{ мм})$$

$$R_n^{30} = R_{вр} \cdot (1 - \eta_n \cdot v) = 184,1 \cdot (1 - 2,01 \cdot 0,0777) = 155,4 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} \quad (\text{ЛВЛ} - \text{ЮГРА}, t = 30 \text{ мм})$$

$$R_n^{45} = R_{вр} \cdot (1 - \eta_n \cdot v) = 153,1 \cdot (1 - 2,01 \cdot 0,0538) = 136,5 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} \quad (\text{ЛВЛ} - \text{ЮГРА}, t = 30 \text{ мм})$$

$$R_n^{60} = R_{вр} \cdot (1 - \eta_n \cdot v) = 130,5 \cdot (1 - 2,01 \cdot 0,0680) = 112,7 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} \quad (\text{ЛВЛ} - \text{ЮГРА}, t = 30 \text{ мм})$$

$$R_n^{90} = R_{вр} \cdot (1 - \eta_n \cdot v) = 105,6 \cdot (1 - 2,01 \cdot 0,0784) = 89,0 \frac{\text{КГС}}{\text{см}^2} \quad (\text{ЛВЛ - ЮГРА, } t = 30 \text{ мм})$$

$$R_n^0 = R_{вр} \cdot (1 - \eta_n \cdot v) = 474,3 \cdot (1 - 2,01 \cdot 0,0987) = 380,2 \frac{\text{КГС}}{\text{см}^2} \quad (\text{ООО «МЛТ», } t = 51 \text{ мм})$$

$$R_n^0 = R_{вр} \cdot (1 - \eta_n \cdot v) = 455,4 \cdot (1 - 2,01 \cdot 0,0870) = 375,8 \frac{\text{КГС}}{\text{см}^2} \quad (\text{ООО «МЛТ», } t = 63 \text{ мм})$$

$$R_n^0 = R_{вр} \cdot (1 - \eta_n \cdot v) = 400,6 \cdot (1 - 2,01 \cdot 0,0899) = 328,2 \frac{\text{КГС}}{\text{см}^2} \quad (\text{ООО Finforest, } t = 48 \text{ мм})$$

где η – множитель для нормативного и расчетного сопротивления, зависящий от принятого уровня обеспеченности (доверительная вероятность) P .

Расчетное сопротивление (2):

$$R_p = \frac{R_n \cdot m_{дл}}{\gamma_m}, \quad (2)$$

где $m_{дл}$ – коэффициент, характеризующий длительное действие нагрузки = 0,66, γ_m – коэффициент надежности по материалу, учитывающий отклонение (3).

Значение η зависит от числа испытаний и вероятности P (табл. 15) [5].

Таблица 15

Расчет вероятности

$n \setminus P$	0,95 (нормативная)	0,99 (расчетная)
до 10 шт.	2,26–3,18	3,25–5,84
10–40 шт.	2,26–2,02	3,25–2,7
50 шт.	2,01	2,68

$$\gamma_m \geq \frac{(1 - \eta_n v)}{(1 - \eta_p v)} \quad (3)$$

$$\gamma_m^0 \geq \frac{(1 - \eta_n v)}{(1 - \eta_p v)} = \frac{(1 - 2,01 \cdot 0,0959)}{(1 - 2,68 \cdot 0,0959)} = \frac{0,8072}{0,7430} = 1,086 \quad (\text{ЛВЛ - ЮГРА, } t = 30 \text{ мм})$$

$$\gamma_m^{15} \geq \frac{(1 - \eta_n v)}{(1 - \eta_p v)} = \frac{(1 - 2,01 \cdot 0,0857)}{(1 - 2,68 \cdot 0,0857)} = \frac{0,8277}{0,7703} = 1,074 \quad (\text{ЛВЛ - ЮГРА, } t = 30 \text{ мм})$$

$$\gamma_m^{30} \geq \frac{(1 - \eta_n v)}{(1 - \eta_p v)} = \frac{(1 - 2,01 \cdot 0,0777)}{(1 - 2,68 \cdot 0,0777)} = \frac{0,8438}{0,7918} = 1,066 \quad (\text{ЛВЛ - ЮГРА, } t = 30 \text{ мм})$$

Сжатие под углом 30° к волокнам



Сжатие поперек волокон



Сжатие под углом 15° к волокнам



Сжатие под углом 60° к волокнам



Сжатие вдоль волокон



Сжатие под углом 45° к волокнам

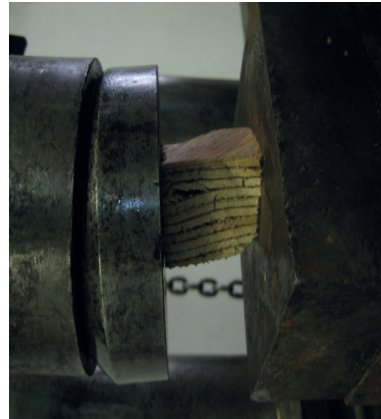


Рис. 29. Характер разрушения образцов

$$\gamma_m^{45} \geq \frac{(1 - \eta_H \nu)}{(1 - \eta_p \nu)} = \frac{(1 - 2,01 \cdot 0,0538)}{(1 - 2,68 \cdot 0,0538)} = \frac{0,8919}{0,8558} = 1,042 \text{ (ЛВЛ – ЮГРА, } t = 30 \text{ мм)}$$

$$\gamma_m^{60} \geq \frac{(1 - \eta_H \nu)}{(1 - \eta_p \nu)} = \frac{(1 - 2,01 \cdot 0,0680)}{(1 - 2,68 \cdot 0,0680)} = \frac{0,8633}{0,8178} = 1,056 \text{ (ЛВЛ – ЮГРА, } t = 30 \text{ мм)}$$

$$\gamma_m^{90} \geq \frac{(1 - \eta_H \nu)}{(1 - \eta_p \nu)} = \frac{(1 - 2,01 \cdot 0,0784)}{(1 - 2,68 \cdot 0,0784)} = \frac{0,8424}{0,7899} = 1,067 \text{ (ЛВЛ – ЮГРА, } t = 30 \text{ мм)}$$

$$\gamma_m^0 \geq \frac{(1 - \eta_H \nu)}{(1 - \eta_p \nu)} = \frac{(1 - 2,01 \cdot 0,0987)}{(1 - 2,68 \cdot 0,0987)} = \frac{0,8016}{0,7355} = 1,090 \text{ (ООО «МЛТ», } t = 51 \text{ мм)}$$

$$\gamma_m^0 \geq \frac{(1 - \eta_H \nu)}{(1 - \eta_p \nu)} = \frac{(1 - 2,01 \cdot 0,0870)}{(1 - 2,68 \cdot 0,0870)} = \frac{0,825}{0,767} = 1,076 \text{ (ООО «МЛТ», } t = 63 \text{ мм)}$$

$$\gamma_m^0 \geq \frac{(1 - \eta_H \nu)}{(1 - \eta_p \nu)} = \frac{(1 - 2,01 \cdot 0,0899)}{(1 - 2,68 \cdot 0,0899)} = \frac{0,8193}{0,7591} = 1,079 \text{ (ООО Finforest, } t = 48 \text{ мм)}$$

Расчетное сопротивление

$$R_p^0 = \frac{R_H \cdot m_{дл}}{\gamma_m \cdot \gamma_n} = \frac{379,8 \cdot 0,66}{1,086} = 230,8 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} \text{ (ЛВЛ – ЮГРА, } t = 30 \text{ мм)}$$

$$R_p^{15} = \frac{R_H \cdot m_{дл}}{\gamma_m \cdot \gamma_n} = \frac{169,3 \cdot 0,66}{1,074} = 104,0 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} \text{ (ЛВЛ – ЮГРА, } t = 30 \text{ мм)}$$

$$R_p^{30} = \frac{R_H \cdot m_{дл}}{\gamma_m \cdot \gamma_n} = \frac{155,4 \cdot 0,66}{1,066} = 96,2 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} \text{ (ЛВЛ – ЮГРА, } t = 30 \text{ мм)}$$

$$R_p^{45} = \frac{R_H \cdot m_{дл}}{\gamma_m \cdot \gamma_n} = \frac{136,5 \cdot 0,66}{1,042} = 86,5 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} \text{ (ЛВЛ – ЮГРА, } t = 30 \text{ мм)}$$

$$R_p^{60} = \frac{R_H \cdot m_{дл}}{\gamma_m \cdot \gamma_n} = \frac{112,7 \cdot 0,66}{1,056} = 70,4 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} \text{ (ЛВЛ – ЮГРА, } t = 30 \text{ мм)}$$

$$R_p^{90} = \frac{R_H \cdot m_{дл}}{\gamma_m \cdot \gamma_n} = \frac{89,0 \cdot 0,66}{1,067} = 55,1 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} \text{ (ЛВЛ – ЮГРА, } t = 30 \text{ мм)}$$

$$R_p^0 = \frac{R_H \cdot m_{дл}}{\gamma_m \cdot \gamma_n} = \frac{380,2 \cdot 0,66}{1,090} = 230,2 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} \text{ (ООО «МЛТ», } t = 51 \text{ мм)}$$

$$R_p^0 = \frac{R_H \cdot m_{дл}}{\gamma_m \cdot \gamma_n} = \frac{375,8 \cdot 0,66}{1,076} = 230,5 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} \text{ (ООО «МЛТ», } t = 63 \text{ мм)}$$

$$R_p^0 = \frac{R_n \cdot m_{дл}}{\gamma_m \cdot \gamma_n} = \frac{328,2 \cdot 0,66}{1,079} = 200,8 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} \text{ (ООО Finforest, } t = 48 \text{ мм)}$$

Полученные величины расчетных сопротивлений носят предварительный и неполный характер, так как коэффициент учета длительности $m_{дл}$ требует дальнейших исследований.

3.7.2. Сжатие вдоль и под углом к волокнам для ДСП-В

Образцы на сжатие были представлены партиями, характеризующимися датой изготовления. Непосредственно перед испытаниями все образцы были обмерены при помощи штангенциркуля для каждого сечения в трех точках, впоследствии было получено среднее значение размера для каждого сечения. Режим нагружения при непрерывном увеличении нагрузки составлял (60 ± 30) с.

На рис. 30 представлены наиболее характерные типы разрушения экспериментальных образцов при сжатии.

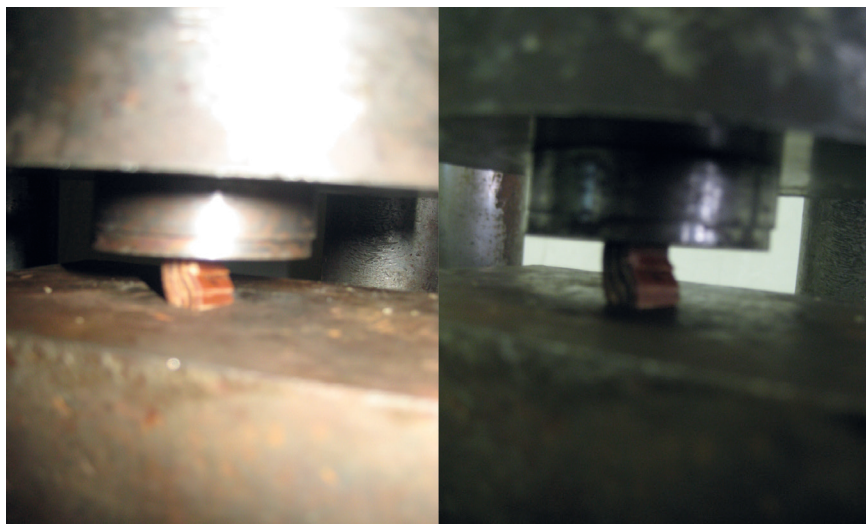


Рис. 30. Характер разрушения ДСП-В

На основании полученных величин предела прочности на сжатие вдоль и под углом к волокнам по методике, изложенной в пособии [70], получены расчетные характеристики прочности ЛВЛ на сжатие (табл. 16).

На основании полученных величин предела прочности на сжатие вдоль и под углом к волокнам по методике, изложенной в пособии [70], получены расчетные характеристики прочности ДСП-В на сжатие.

Таблица 16

Расчетное сопротивление [ДВЛ] при сжатии

№ п/п	Обозначение	Предел прочности / Нормативное сопротивление, $\sigma_{нт} / R_{нт}$, кгс/см ²				Расчетное сопротивление R^c , кгс/см ²								
		из эксперимента		Еврокод 5-EN1995	Данные ЦНИИСК	Данные завода г. Торжок, Россия	из эксперимента		Данные ЦНИИСК					
		станд. влажность $\omega = 12,0\%$					станд. влажность $\omega = 12,0\%$							
1	Сжатие вдоль волокон	$t = 30$ м, г. Югра, Россия 470,5 379,8	$t = 51$ мм, г. Торжок, Россия 474,3 380,2	$t = 63$ мм, г. Торжок, Россия 455,4 375,8	$t = 48$ мм, г. Лохья, Финляндия 400,6 328,2	$t = 90$ мм, г. Югра, Россия 380,0	$t = 75$ мм, г. Югра, Россия 501,5 450,0	$t = 51$ м, г. Торжок, Россия 560,0	$t = 63$ м, г. Торжок, Россия 580,0	$t = 30$ м, г. Югра, Россия 230,8	$t = 51$ мм, г. Торжок, Россия 230,2	$t = 63$ мм, г. Торжок, Россия 230,5	$t = 48$ м, г. Лохья, Финляндия 200,8	$t = 75$ мм, г. Югра, Россия 200,0
2	Сжатие под углом 15°	не определялось		не определялось		не указано		не определялось		не определялось		не указано		
3	Сжатие под углом 30° ⁽⁰⁾	не определялось		не определялось		не указано		не определялось		не определялось		не указано		
4	Сжатие под углом 45°	не определялось		не определялось		не указано		не определялось		не определялось		не указано		
5	Сжатие под углом 60°	не определялось		не определялось		не указано		не определялось		не определялось		не указано		
6	Сжатие поперек волокон	$t = 30$ м, г. Югра, Россия 105,6 89,0	$t = 51$ мм, г. Торжок, Россия 130,5 112,7	$t = 63$ мм, г. Торжок, Россия 184,1 155,4	$t = 48$ мм, г. Лохья, Финляндия 153,1 136,5	$t = 90$ мм, г. Югра, Россия 70,0	$t = 75$ мм, г. Югра, Россия 100,0 80,0	$t = 51$ м, г. Торжок, Россия 86,0	$t = 63$ м, г. Торжок, Россия 78,0	$t = 30$ м, г. Югра, Россия 55,1	$t = 51$ мм, г. Торжок, Россия 55,1	$t = 63$ мм, г. Торжок, Россия 55,1	$t = 48$ м, г. Лохья, Финляндия 55,1	$t = 75$ мм, г. Югра, Россия 50,0

Нормативное сопротивление

$$R_H^0 = R_{\text{вп}} \cdot (1 - \eta_H \cdot v) = 900,1 \cdot (1 - 2,01 \cdot 0,0238) = 857,0 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} \quad (\text{ДСП} - B, t = 5 \text{ мм})$$

$$R_H^{30} = R_{\text{вп}} \cdot (1 - \eta_H \cdot v) = 847,0 \cdot (1 - 2,01 \cdot 0,0303) = 795,4 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} \quad (\text{ДСП} - B, t = 5 \text{ мм})$$

$$R_H^{45} = R_{\text{вп}} \cdot (1 - \eta_H \cdot v) = 782,8 \cdot (1 - 2,01 \cdot 0,0612) = 686,5 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} \quad (\text{ДСП} - B, t = 5 \text{ мм})$$

$$R_H^{60} = R_{\text{вп}} \cdot (1 - \eta_H \cdot v) = 850,1 \cdot (1 - 2,01 \cdot 0,0552) = 755,8 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} \quad (\text{ДСП} - B, t = 5 \text{ мм})$$

$$R_H^{90} = R_{\text{вп}} \cdot (1 - \eta_H \cdot v) = 898,1 \cdot (1 - 2,01 \cdot 0,056) = 797,0 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} \quad (\text{ДСП} - B, t = 5 \text{ мм})$$

$$\gamma_m^0 \geq \frac{(1 - \eta_H v)}{(1 - \eta_p v)} = \frac{(1 - 2,01 \cdot 0,0238)}{(1 - 2,68 \cdot 0,0238)} = \frac{0,8631}{0,8175} = 1,017 \quad (\text{ДСП} - B, t = 5 \text{ мм})$$

$$\gamma_m^{30} \geq \frac{(1 - \eta_H v)}{(1 - \eta_p v)} = \frac{(1 - 2,01 \cdot 0,0303)}{(1 - 2,68 \cdot 0,0303)} = \frac{0,8438}{0,7918} = 1,022 \quad (\text{ДСП} - B, t = 5 \text{ мм})$$

$$\gamma_m^{45} \geq \frac{(1 - \eta_H v)}{(1 - \eta_p v)} = \frac{(1 - 2,01 \cdot 0,0612)}{(1 - 2,68 \cdot 0,0612)} = \frac{0,8919}{0,8558} = 1,049 \quad (\text{ДСП} - B, t = 5 \text{ мм})$$

$$\gamma_m^{60} \geq \frac{(1 - \eta_H v)}{(1 - \eta_p v)} = \frac{(1 - 2,01 \cdot 0,0552)}{(1 - 2,68 \cdot 0,0552)} = \frac{0,8633}{0,8178} = 1,043 \quad (\text{ДСП} - B, t = 5 \text{ мм})$$

$$\gamma_m^{90} \geq \frac{(1 - \eta_H v)}{(1 - \eta_p v)} = \frac{(1 - 2,01 \cdot 0,056)}{(1 - 2,68 \cdot 0,056)} = \frac{0,8424}{0,7899} = 1,044 \quad (\text{ДСП} - B, t = 5 \text{ мм})$$

Расчетное сопротивление

$$R_p^0 = \frac{R_H \cdot m_{\text{дл}}}{\gamma_m \cdot \gamma_n} = \frac{857,0 \cdot 0,66}{1,017} = 556,2 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} \quad (\text{ЛВЛ} - \text{ЮГРА}, t = 30 \text{ мм})$$

$$R_p^{30} = \frac{R_H \cdot m_{\text{дл}}}{\gamma_m \cdot \gamma_n} = \frac{795,4 \cdot 0,66}{1,022} = 513,7 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} \quad (\text{ЛВЛ} - \text{ЮГРА}, t = 30 \text{ мм})$$

$$R_p^{45} = \frac{R_H \cdot m_{\text{дл}}}{\gamma_m \cdot \gamma_n} = \frac{686,5 \cdot 0,66}{1,049} = 431,9 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} \quad (\text{ЛВЛ} - \text{ЮГРА}, t = 30 \text{ мм})$$

$$R_p^{60} = \frac{R_n \cdot m_{дл}}{\gamma_m \cdot \gamma_n} = \frac{755,8 \cdot 0,66}{1,043} = 478,3 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} \text{ (ЛВЛ – ЮГРА, } t = 30 \text{ мм)}$$

$$R_p^{90} = \frac{R_n \cdot m_{дл}}{\gamma_m \cdot \gamma_n} = \frac{797,0 \cdot 0,66}{1,044} = 503,8 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} \text{ (ЛВЛ – ЮГРА, } t = 30 \text{ мм)}$$

3.7.3. Результаты испытаний на растяжение вдоль волокон

Изготовленные [103] образцы имели сечение переменной ширины: более тонкое в средней рабочей части, плавно расширяющееся к торцам (лопатка). Данная форма позволила обеспечить разрыв образца в средней части и более прочно закрепить его в клиновидных деталях-захватах испытательной машины, уменьшив тем самым влияние от смятия торцов. Образцы выпиливались из призм-заготовок, поставленных с завода-изготовителя при помощи ручных пил и фрезеровочного станка в мастерских Санкт-Петербургского архитектурно-строительного университета.

Непосредственно перед испытаниями с точностью до 0,1 мм производились замеры ослабленной части в трех точках поперечного сечения каждого образца и определялся средний размер. После проведения испытания пять образцов из 51 были упакованы в полиэтиленовый мешок и отправлены в Государственную Северо-Западную таможенную лабораторию с целью определения их точной влажности в момент испытания. Проводился визуальный анализ каждого образца – выявлялись его пороки (нарушение усовых соединений, сучки, косослои). Особенности заносились в журнал и учитывались при обработке результатов и статическом анализе. Режим нагружения при непрерывном увеличении нагрузки составлял (60 ± 30) с. Результаты заносились в протокол испытаний и анализировались в журнале работ.

Образцы на растяжение были представлены партиями, характеризующимися датой изготовления. На рис. 31 показаны наиболее характерные типы разрушения экспериментальных образцов при растяжении вдоль волокон для бруса, клеенного из однонаправленного шпона.

Разрушение началось сначала в одном наименее прочном или нескольких слоях шпона, нагрузка падала и потом возрастала до максимальной, когда происходило полное разрушение. Оно протекало послойно и имело вязкий характер с резким падением нагрузки и показаний на циферблате манометра. Образец разрушился от разрыва вдоль волокон в узкой (рабочей) части. Значения предела прочности образцов ЛВЛ выше, чем у традиционной древесины. Стоит заметить, что образцы, имеющие в слоях шпона сучки, находящиеся в месте предполагаемого разрыва, показали примерно такую же прочность. Это значит, что пороки не оказывают значительного влияния на растянутые элементы из ЛВЛ. Наблюдалось местное смятие в местах крепления образцов.

На основании полученных величин предела прочности на растяжение вдоль волокон по методике, изложенной в пособии [103], получены расчетные характеристики.

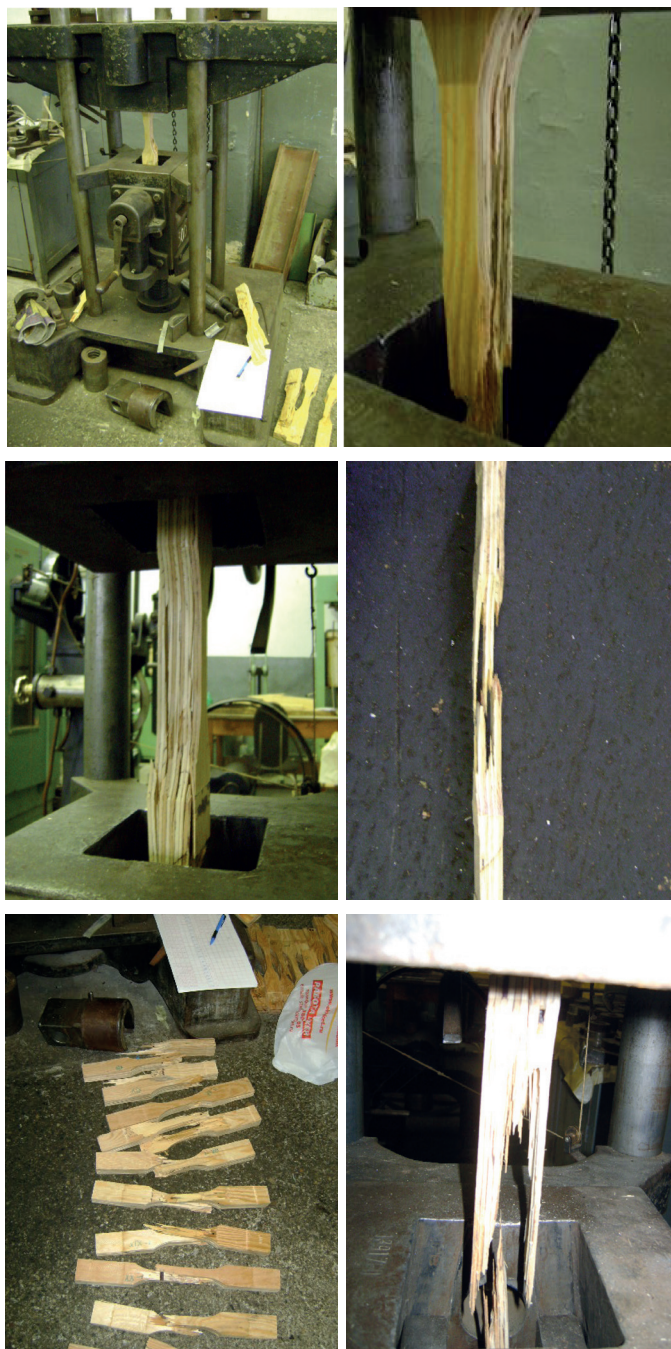


Рис. 31. Характер разрушения образцов

Нормативное сопротивление (приведенное к влажности $\omega = 12,0\%$)

$$\begin{aligned} R_n^0 &= R_{вр} \cdot (1 - \eta_n \cdot v) = 402,8 \cdot (1 - 2,01 \cdot 0,1127) = \\ &= 311,6 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} (\text{ЛВЛ} - \text{ЮГРА}, t = 30 \text{ мм}), \end{aligned}$$

где η – множитель для нормативного и расчетного сопротивления, зависящий от принятого уровня обеспеченности (доверительная вероятность) P , v – коэффициент вариации, для фанеры на растяжение вдоль волокон = 0,17.

Расчетное сопротивление

$$R_p = \frac{R_n \cdot m_{дл}}{\gamma_m \cdot \gamma_n},$$

где $m_{дл}$ – коэффициент, характеризующий длительное действие нагрузки = 0,66, γ_n – коэффициент надежности по назначению (для I группы = 1, для II – 0,95, для III – 0,9), γ_m – коэффициент надежности по материалу, учитывающий отклонение.

Значение η зависит от числа испытаний и вероятности P (см. табл. 15).

$$\gamma_m \geq \frac{(1 - \eta_n v)}{(1 - \eta_p v)} = \frac{(1 - 2,01 \cdot 0,1127)}{(1 - 2,68 \cdot 0,1127)} = \frac{0,7735}{0,6980} = 1,108 (\text{ЛВЛ} - \text{ЮГРА}, t = 30 \text{ мм})$$

$$R_p^0 = \frac{R_n \cdot m_{дл}}{\gamma_m \cdot \gamma_n} = \frac{311,6 \cdot 0,66}{1,108 \cdot 1} = 185,6 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} (\text{ЛВЛ} - \text{ЮГРА}, t = 30 \text{ мм})$$

Полученные величины расчетных сопротивлений носят предварительный и неполный характер, так как коэффициент учета длительности $m_{дл}$ требует дальнейших исследований.

3.7.4. Результаты на поперечный изгиб вдоль волокон [60]

Непосредственно перед испытаниями с точностью до 0,1 мм производились замеры рабочего сечения в трех точках каждого образца и определялся средний размер. После проведения испытания пять образцов из 51 были упакованы в полиэтиленовый мешок и отправлены в Северо-Западную таможенную лабораторию с целью определения их точной влажности в момент испытания. Проводился визуальный анализ каждого образца – выявлялись его пороки (нарушение усовых соединений, сучки, косослои). Особенности заносились в журнал и учитывались при обработке результатов и статическом анализе. Режим нагружения при непрерыв-

ном увеличении нагрузки составлял (60 ± 30) с. Результаты заносились в протокол испытаний и анализировались в журнале работ.

Образцы на продольный изгиб были представлены партиями, характеризующимися датой изготовления. На рис. 32 показаны наиболее характерные типы разрушения экспериментальных образцов при продольном изгибе вдоль волокон в плоскости для бруса, клеенного из однонаправленного шпона.



Рис. 32. Характер разрушения

Разрушение началось сначала в одном наименее прочном или нескольких слоях шпона, нагрузка падала и потом возрастала до максимальной, когда происходило полное разрушение. Оно протекало послойно и имело вязкий характер с резким падением нагрузки и показаний на циферблате манометра. Образец разрушился хрупко от одновременного разрыва волокон в нижнем поясе и смятия в верхнем при достижении критической нагрузки P_{\max} в средней, наиболее нагруженной части. В нижней части образца образовались горизонтальные и одна вертикальная трещины от скалывания волокон. Результаты занесены в табл. 17, 18.

На основании полученных величин предела прочности на продольный изгиб вдоль волокон по методике, изложенной в пособии [72], получены расчетные характеристики прочности бруса, клеенного из однонаправленного шпона, на статический изгиб при влажности $\omega = 7,5\%$.

Нормативное сопротивление

$$R_n^0 = R_{вр} \cdot (1 - \eta_n \cdot \nu) = 690 \cdot (1 - 2,01 \cdot 0,0416) = 632,3 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2},$$

где η – множитель для нормативного и расчетного сопротивления, зависящий от принятого уровня обеспеченности (доверительная вероятность) P , ν – коэффициент вариации, для фанеры на изгиб вдоль волокон = 0,15.

Таблица 17

Расчетные сопротивления ЛВЛ при растяжении и поперечном изгибе

№ п/п	Обозначение	Предел прочности / Нормативное сопротивление, $\sigma_{\text{нп}} / R^u$, кгс/см ²				Расчетное сопротивление R^u , кгс/см ²			
		из эксперимента		Еврокод 5-EN1995	Данные ЦНИИСК	Данные завода			
		$\Omega = 7,5\%$	$\omega = 12\%$			$\omega = 7,5\%$	из эксперимента	Данные ЦНИИСК	
		$t = 30$ мм, г. Югра	$t = 75$ мм, г. Югра	$t = 51$ мм, г. Торжок	$t = 63$ мм, г. Торжок	$t = 33$ мм, г. Югра	$t = 30$ мм, г. Югра	$t = \text{от } 15$ до 19 мм, г. Югра	
1	Растяжение вдоль волокон	$\frac{432,0}{334,1}$	$\frac{402,8}{311,6}$	$\frac{380,0}{-}$	$\frac{400,0}{300,0}$	$\frac{430,0}{-}$	$\frac{420,0}{-}$	$\frac{199,0}{185,6}$	180,0
2	Поперечный изгиб вдоль волокон	$\frac{690,0}{632,3}$	$\frac{564,0}{525,3}$	$\frac{480,0}{-}$	$\frac{680,0}{560,0}$	$\frac{690,0}{-}$	$\frac{650,0}{-}$	$\frac{404,8}{338,2}$	340,0
3	Модуль упругости при изгибе	107 090		104 000	100 000	205 000	190 000		

Таблица 18

Расчетные сопротивления ДСП-В при сжатии и растяжении

№ п/п	Обозначение	Предел прочности / Нормативное сопротивление, $\sigma_{\text{нп}} / R^u$, 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»	
		$t = 5$ мм, «Фанпласт»	$t = 5$ мм	$t = 5$ мм	$t = 5$ мм	$t = 5$ мм, «Фанпласт»			
1	Сжатие вдоль волокон	90,01 85,7	–	–	–	55,6	–	–	–
2	Сжатие под углом 30° к волокнам	85,01 79,5	–	–	–	51,4	–	–	–
3	Сжатие под углом 45° к волокнам	78,28 68,6	–	–	–	43,2	–	–	–
4	Сжатие под углом 60° к волокнам	85,01 75,6	–	–	–	47,8	–	–	–
5	Сжатие поперек волокон	89,81 79,7	–	–	–	50,4	–	–	–
6	Растяжение вдоль волокон	–	137,0	147,0	150,0	–	–	–	–

Расчетное сопротивление

$$R_p = \frac{R_n \cdot m_{дл}}{\gamma_m \cdot \gamma_n},$$

где $m_{дл}$ – коэффициент характеризующий длительное действие нагрузки = 0,66, γ_n – коэффициент надежности по назначению (для I группы = 1, для II – 0,95, для III – 0,9), γ_m – коэффициент надежности по материалу, учитывающий отклонение.

Значение η зависит от числа испытаний и вероятности P (см. табл. 15).

$$\gamma_m \geq \frac{(1 - \eta_n \cdot v)}{(1 - \eta_p \cdot v)} = \frac{(1 - 2,01 \cdot 0,0416)}{(1 - 2,68 \cdot 0,0416)} = \frac{0,9164}{0,8885} = 1,031$$

$$R_p^0 = \frac{R_n \cdot m_{дл}}{\gamma_m} = \frac{632,3 \cdot 0,66}{1,031} = 404,8 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$$

При пересчете на стандартную влажность древесины $\omega = 12 \%$.

Нормативное сопротивление

$$R_n^0 = R_{вр} \cdot (1 - \eta_n \cdot v) = 564 \cdot (1 - 2,01 \cdot 0,0341) = 525,3 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$$

Расчетное сопротивление

$$\gamma_m \geq \frac{(1 - \eta_n \cdot v)}{(1 - \eta_p \cdot v)} = \frac{(1 - 2,01 \cdot 0,0341)}{(1 - 2,68 \cdot 0,0341)} = \frac{0,9315}{0,9086} = 1,025$$

$$R_p^0 = \frac{R_n \cdot m_{дл}}{\gamma_m} = \frac{525,3 \cdot 0,66}{1,025} = 338,2 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$$

Полученные величины расчетных сопротивлений носят предварительный и неполный характер, так как коэффициент учета длительности $m_{дл}$ требует дальнейших исследований.

Построен график зависимости действующих напряжений σ от деформаций при поперечном изгибе, подтверждающий работу материала в упругой стадии (рис. 33).

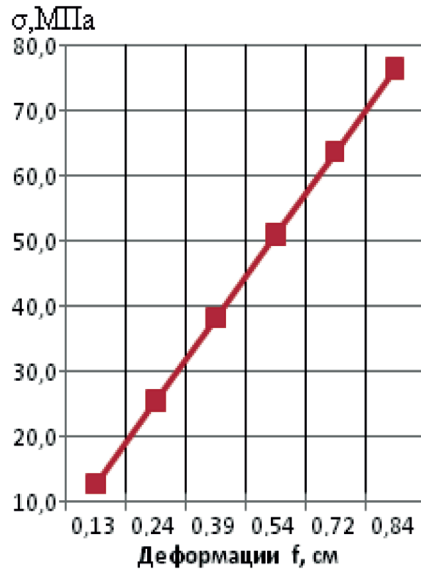
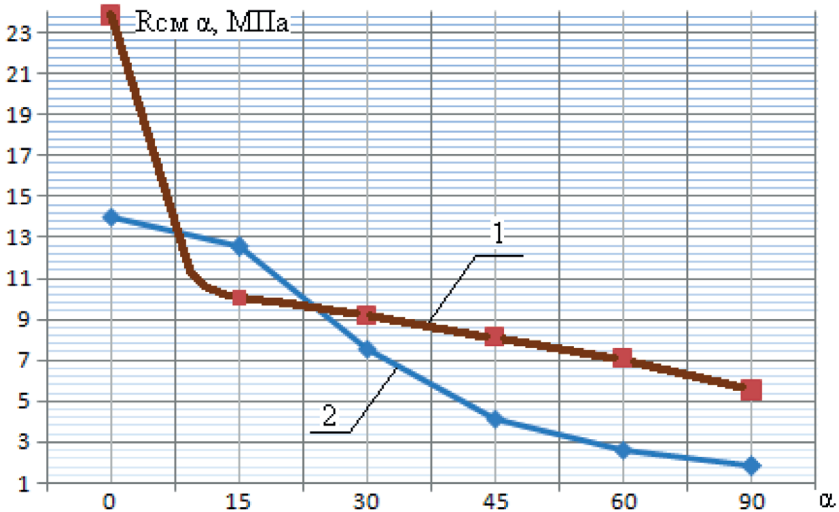


Рис. 33. График зависимости деформаций от усилий

Полученные результаты позволили построить графики зависимости расчетных сопротивлений ЛВЛ и ДСП-В смятию под углом α к направлению волокон (рис. 34–36).

Рис. 34. График сравнения значений расчетных сопротивлений смятию под углом α для ЛВЛ (1) и древесины I сорта (2)

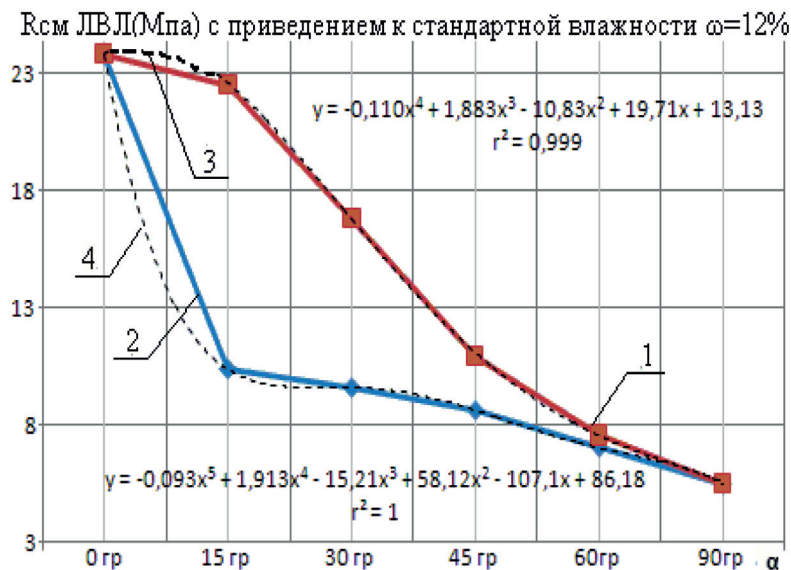


Рис. 35. График для ЛВЛ: 1 – кривая теоретических значений по (4); 2 – кривая фактических значений по точкам; 3, 4 – аппроксимирующие кривые кривых соответственно 1, 2; r – коэффициент корреляции

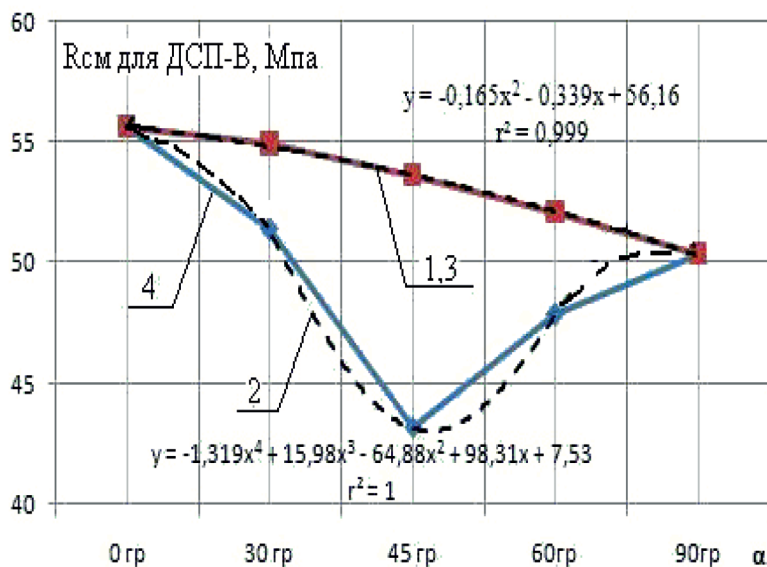


Рис. 36. График для ДСП-В: 1 – кривая теоретических значений по (4); 2 – кривая фактических значений по точкам; 3, 4 – аппроксимирующие кривые кривых соответственно 1, 2; r – коэффициент корреляции

Из графиков видна неправомерность применения формулы определения расчетного сопротивления древесины смятию под углом α к направлению волокон (4) для ЛВЛ и ДСП-В [37]:

$$R_{-\alpha} = \frac{R_{-}^{\circ}}{1 + \left(\frac{R_{-}^{\circ}}{R_{-90}^{\circ}} - 1 \right) \sin^3 \alpha} \quad (4)$$

Для нахождения влияния угла расчетного сопротивления ЛВЛ смятию под углом α к направлению волокон предложен график (рис. 37) и табл. 19.

Таблица 19

Сопротивление под углом

α	$R_{\text{см}}^{\text{ЛВЛ}}, \alpha$	α	$R_{\text{см}}^{\text{ЛВЛ}}, \alpha$	α	$R_{\text{см}}^{\text{ЛВЛ}}, \alpha$	α	$R_{\text{см}}^{\text{ЛВЛ}}, \alpha$
0	23,8	23	9,6	46	8,03	69	6,6
1	18,2	24	9,5	47	7,96	70	6,55
2	15	25	9,45	48	7,89	71	6,5
3	13	26	9,4	49	7,82	72	6,45
4	12	27	9,35	50	7,75	73	6,4
5	11,6	28	9,3	51	7,68	74	6,35
6	11,4	29	9,19	52	7,61	75	6,3
7	11,2	30	9,13	53	7,54	76	6,25
8	11,0	31	9,07	54	7,47	77	6,2
9	10,83	32	9,01	55	7,4	78	6,15
10	10,74	33	8,94	56	7,33	79	6,1
11	10,63	34	8,87	57	7,26	80	6,05
12	10,55	35	8,8	58	7,19	81	6
13	10,5	36	8,73	59	7,12	82	5,95
14	10,4	37	8,66	60	7,05	83	5,9
15	10,3	38	8,59	61	7,0	84	5,85
16	10,2	39	8,52	62	6,95	85	5,8
17	10,1	40	8,45	63	6,9	86	5,75
18	10,0	41	8,38	64	6,85	87	5,7
19	9,92	42	8,31	65	6,8	88	5,65
20	9,86	43	8,24	66	6,75	89	5,6
21	9,74	44	8,17	67	6,7	90	5,55
22	9,65	45	8,1	68	6,65		

Вывод. Выполненные экспериментальные исследования позволили:

- установить прочностные характеристики ЛВЛ и ДСП-В (табл. 20–22);
- изучить работу узловых сопряжений ЛВЛ в упругой стадии и характер разрушения материалов при статическом нагружении.

Полученные данные являются предварительными, так как коэффициент учета длительности $m_{дл}$ требует дальнейших исследований для НДС (сжатие, растяжение, изгиб). Однако в связи с величинами расчетных сопротивлений рекомендуется создавать на первое время некоторый запас прочности, с которым и возможно последующее проектирование конструкций с применением ЛВЛ.

Экспериментально установлено, что формула по определению расчетного сопротивления древесины смятию под углом α к направлению волокон (4) для ЛВЛ и ДСП-В не работает [36]. Для нахождения расчетного сопротивления ЛВЛ смятию под углом α к направлению волокон предложен график (см. рис. 37) и табл. 19.

Полученные результаты подтверждают более высокие прочностные характеристики ЛВЛ по сравнению с сортовой древесиной и березовой фанерой, что указывает на возможность применения этого материала в строительных конструкциях и рекомендациях по проектированию. Однако рекомендуется снизить значения расчетных сопротивлений ЛВЛ в связи с неизученностью влияния времени, характера нагружения.

Таблица 20

Прочностные характеристики для ЛВЛ

Вид испытаний	Предел прочности	Коэффициент вариации
Сжатие вдоль волокон в плоскости листа, $\sigma_{сж}$, МПа (г. Нягань, $t = 30$ мм)	47,05	9,59
Сжатие под углом $\alpha = 15^\circ$ к волокнам в плоскости листа, $\sigma_{сж}$, МПа (г. Нягань, $t = 30$ мм)	20,47	8,77
Сжатие под углом $\alpha = 30^\circ$ к волокнам в плоскости листа, $\sigma_{сж}$, МПа (г. Нягань, $t = 30$ мм)	18,41	7,77
Сжатие под углом $\alpha = 45^\circ$ к волокнам в плоскости листа, $\sigma_{сж}$, МПа (г. Нягань, $t = 30$ мм)	15,31	5,38
Сжатие под углом $\alpha = 60^\circ$ к волокнам в плоскости листа, $\sigma_{сж}$, МПа (г. Нягань, $t = 30$ мм)	13,05	6,8
Сжатие поперек волокон в плоскости листа, $\sigma_{сж}$, МПа (г. Нягань, $t = 30$ мм)	10,56	7,84
Сжатие вдоль волокон в плоскости листа, $\sigma_{сж}$, МПа (г. Торжок, $t = 51$ мм)	47,43	9,87
Сжатие вдоль волокон в плоскости листа, $\sigma_{сж}$, МПа (г. Торжок, $t = 63$ мм)	45,54	8,7

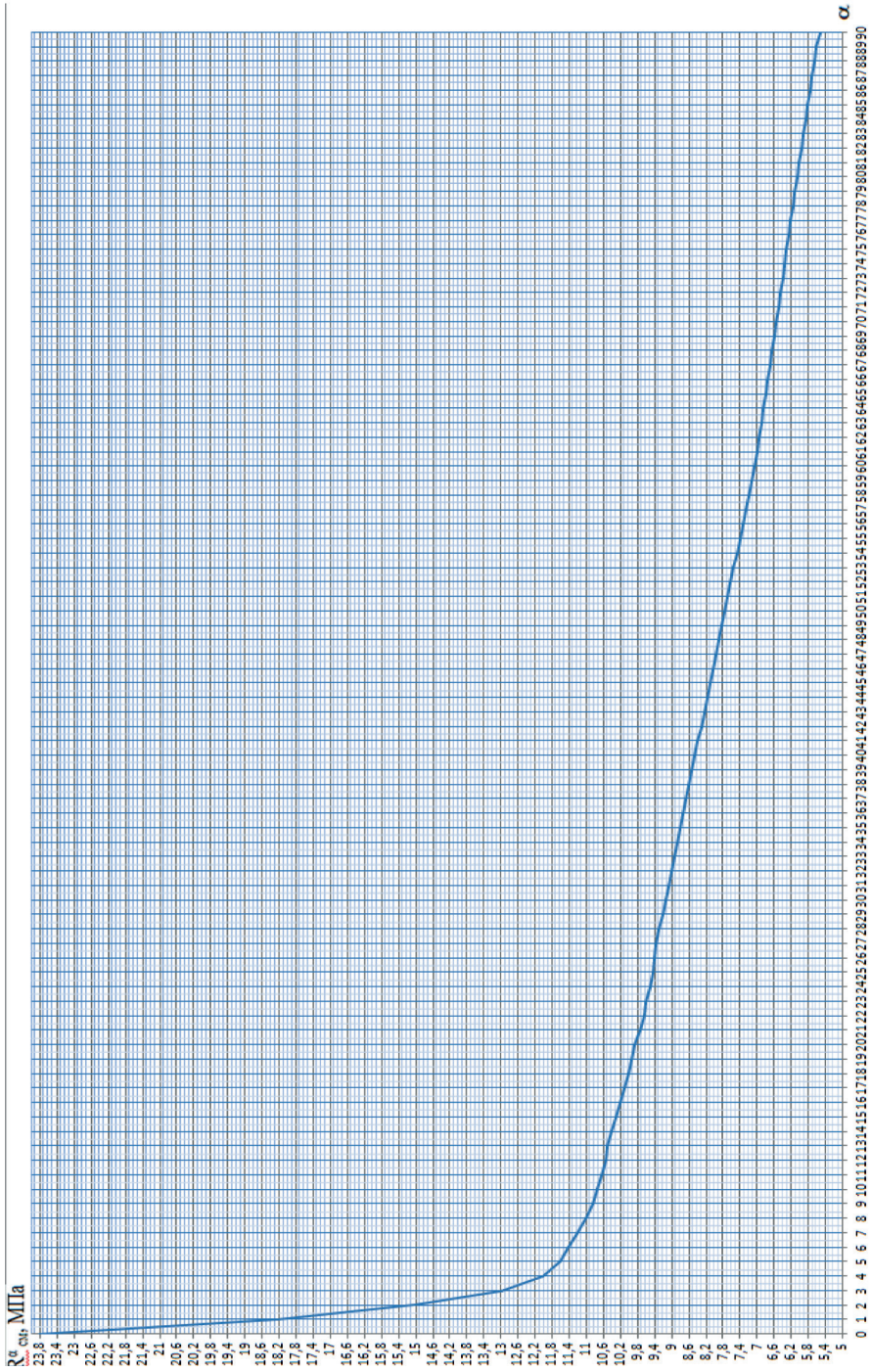


Рис. 37. График для определения расчетного сопротивления ЛВЛ смятию под углом α

Вид испытаний	Предел прочности	Коэффициент вариации
Сжатие вдоль волокон в плоскости листа, $\sigma_{сж}$, МПа (г. Лохья, $t = 48$ мм)	40,06	8,99
Растяжение вдоль волокон в плоскости листа, σ_p , МПа (г. Нягань, $t = 30$ мм)	40,28	11,27
Изгиб вдоль волокон в плоскости листа, $\sigma_{изг}$, МПа (г. Нягань, $t = 30$ мм)	69	1,89

Полученные значения пределов прочности образцов при экспериментальных исследованиях для удобства сведены в общую табл. 20.

Таблица 21

Расчетное сопротивление ЛВЛ

Вид напряженно-деформированного состояния (НДС)	Расчетное сопротивление, приведенное к влажности $\omega = 12\%$
Сжатие вдоль волокон в плоскости листа, $R_{сж}$, МПа (г. Нягань, $t = 30$ мм)	23,08
Сжатие под углом $\alpha = 15^\circ$ к волокнам в плоскости листа, $R_{сж}$, МПа (г. Нягань, $t = 30$ мм)	10,40
Сжатие под углом $\alpha = 30^\circ$ к волокнам в плоскости листа, $R_{сж}$, МПа (г. Нягань, $t = 30$ мм)	9,62
Сжатие под углом $\alpha = 45^\circ$ к волокнам в плоскости листа, $R_{сж}$, МПа (г. Нягань, $t = 30$ мм)	8,65
Сжатие под углом $\alpha = 60^\circ$ к волокнам в плоскости листа, $R_{сж}$, МПа (г. Нягань, $t = 30$ мм)	7,04
Сжатие поперек волокон в плоскости листа, $R_{сж}$, МПа (г. Нягань, $t = 30$ мм)	5,51
Сжатие вдоль волокон в плоскости листа, $R_{сж}$, МПа (г. Торжок, $t = 51$ мм)	23,02
Сжатие вдоль волокон в плоскости листа, $R_{сж}$, МПа (г. Торжок, $t = 63$ мм)	23,05
Сжатие вдоль волокон в плоскости листа, $R_{сж}$, МПа (г. Лохья, $t = 48$ мм)	20,08
Растяжение вдоль волокон в плоскости листа, R_p , МПа (г. Нягань, $t = 30$ мм)	18,56
Изгиб вдоль волокон в плоскости листа, $R_{изг}$, МПа (г. Нягань, $t = 30$ мм)	33,82

Прочностные характеристики для ДСП-В

Вид напряженно-деформированного состояния (НДС)	Расчетное сопротивление, МПа
Сжатие вдоль волокон в плоскости листа, $R_{сж}$, МПа (ООО «Фанпласт», СПб, $t = 5$ мм)	55,62
Сжатие под углом $\alpha = 30^\circ$ к волокнам в плоскости листа, $R_{сж}$, МПа (ООО «Фанпласт», СПб, $t = 5$ мм)	51,37
Сжатие под углом $\alpha = 45^\circ$ к волокнам в плоскости листа, $R_{сж}$, МПа (ООО «Фанпласт», СПб, $t = 5$ мм)	43,19
Сжатие под углом $\alpha = 60^\circ$ к волокнам в плоскости листа, $R_{сж}$, МПа (ООО «Фанпласт», СПб, $t = 5$ мм)	47,83
Сжатие поперек волокон в плоскости листа, $R_{сж}$, МПа (ООО «Фанпласт», СПб, $t = 5$ мм)	50,38

Глава 4. ИССЛЕДОВАНИЕ УЗЛОВЫХ СОПРЯЖЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ЛВЛ МАРОК ULTRALAM R, KERTO S C ПРИМЕНЕНИЕМ ТОНКОЛИСТОВЫХ ФАСОНОК ИЗ ДСП-В И МЕХАНИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ ТИПА НАГЕЛЕЙ

4.1. Виды связей для сопряжения деревянных элементов в нормативной литературе

На сегодняшний день в деревянных конструкциях сплачивание в поперечном направлении, сращивание в продольном, а также все узловые соединения осуществляются на специальных металлических, деревянных или полимерных связях. В зависимости от вида работы связей различают следующие виды соединений:

а) соединения на врубках – работают без специальных связей. В них отсутствует распор. Данные соединения являются весьма трудоемкими в изготовлении и не всегда обеспечивают требуемую надежность из-за последовательного скалывания зубьев;

б) соединения на шпонках – также являются весьма устарелым способом сплачивания. Шпонки в основном работают на сжатие, а распор, который в них возникает, воспринимается растянутыми поперечными связями: болтами, хомутами и т. п.;

в) соединения на нагелях, работающие на изгиб. Соединения безраспорные, требуются лишь монтажные и вспомогательные связи;

г) соединения на металлических зубчатых пластинах (МЗП) – работают на сдвиг. Усилия передаются на пластину через металлические зубья, впрессованные снаружи в соединяемые элементы. Применяются для сборки ферм, рам пролетом до 18 м, а также элементов ограждающих конструкций;

д) соединения на пластинах с цилиндрическими нагелями – также работают на сдвиг и производятся путем вдавливания этих нагелей в соединяемые элементы. Применяются в узлах ферм, при продольном сращивании элементов и т. д.;

е) соединения на вклеенных стержнях – обладают значительным запасом надежности и возможностью их изготовления на строительной площадке.

Все эти типы соединений применялись в деревянных конструкциях в нашей стране в течение многих лет, поэтому имеется большой опыт как при их конструировании, так и при изготовлении, выявлены многие достоинства и недостатки их работы.

ЛВЛ является принципиально новым материалом на отечественном рынке. Для предложения ЛВЛ в качестве конструкционного материала необходимо провести дальнейшее изучение работы данного материала в нагельных соединениях.

Нагель – это стержень в основном круглого сечения, соединяющий элементы. Он препятствует их взаимному сдвигу, работая на изгиб. В соединениях подобного типа не появляется распор, так как отсутствуют поперечные усилия. Чаще всего нагели изготавливаются из стали, из твердых пород древесины (дуба) или по-

лимеров [14]. К ним также относятся болты, винты, глухары, шурупы и гвозди. Соединения могут быть симметричными и несимметричными. В сжатых элементах рекомендуется применять симметричные двухсрезные соединения. Если расчетную способность нагеля привести к одному срезу (сдвигу), т. е. отнести к одному рабочему шву, то расчетное количество нагелей можно найти по следующей формуле:

$$n_n \geq \frac{N}{n_{cp} \cdot T_n}, \quad (5)$$

где N – расчетное усилие, действующее в растянутом стыке, N (тс), n_{cp} – количество срезов нагеля, т. е. количество швов, которое он пересекает, T_n – наименьшая расчетная способность одного среза нагеля, N (тс).

НДС нагельного соединения имеет сложную форму и характеризуется изгибом нагеля, смятием древесины нагельного гнезда, скалыванием древесины между гнездами, раскалыванием древесины.

Несущая способность одного среза нагеля должна быть определена из всех указанных четырех условий напряженного состояния соединения, а в формулу (5) для определения количества нагелей необходимо вводить наименьшую несущую способность, полученную из этих четырех условий. Несущая способность нагеля по скалыванию и раскалыванию древесины зависит от расстояний между нагелями. Существуют такие минимальные расстояния, при соблюдении которых расчетная способность нагеля по его изгибу будет всегда превышать несущую способность нагеля по его изгибу и смятию древесины нагельного гнезда. Расчетная способность нагеля по его изгибу меньше разрушающей силы и ограничивается размером его предельной деформации, принимаемой 2 мм на основании накопленного практического опыта.

Расчетную несущую способность T на один шов сплачивания (условный срез) (кН) для соединений элементов из ЛВЛ с фасонками из ДСП-В предлагается определять:

- для симметричных соединений расчет несущей способности крайних элементов толщиной a на смятие под нагелем:

$$T_{cm}^a = 0,8 \cdot a \cdot d \cdot \frac{R_c^{ДСП-В}}{R_c^{др}}, \quad (6)$$

- для симметричных соединений расчет несущей способности среднего элемента толщиной c на смятие под нагелем:

$$T_{cm}^c = 0,5 \cdot a \cdot d \cdot \frac{R_c^{ЛВЛ}}{R_c^{др}}. \quad (7)$$

Ясно, что при небольших толщинах элементов из ЛВЛ для гнезда можно с достаточной точностью записать $R_{cm} = R_c$.

Как известно, расчетную несущую способность из условия изгиба нагеля определяют по [91] и данным из табл. 23.

$$T_{изг} = 0,41 \cdot d^2 \cdot \sqrt{R_{изг}^{ст} \cdot R_{сма\alpha}} \quad (8)$$

Тогда при $\alpha = 0^\circ$ $T_{изг} = 0,41 \cdot d^2 \cdot \sqrt{21,0 \cdot 2,0} = 2,7d^2$;
 при $\alpha = 30^\circ$ $T_{изг} = 0,41 \cdot d^2 \cdot \sqrt{21,0 \cdot 0,913} = 1,8d^2$;
 при $\alpha = 45^\circ$ $T_{изг} = 0,41 \cdot d^2 \cdot \sqrt{21,0 \cdot 0,81} = 1,7d^2$;
 при $\alpha = 60^\circ$ $T_{изг} = 0,41 \cdot d^2 \cdot \sqrt{21,0 \cdot 0,705} = 1,6d^2$;
 при $\alpha = 90^\circ$ $T_{изг} = 0,41 \cdot d^2 \cdot \sqrt{21,0 \cdot 0,551} = 1,4d^2$.

Таблица 23

Расчет связей под углом

α	0°	30°	45°	60°	90°
$T_{изг}$	$2,7d^2$	$1,8d^2$	$1,7d^2$	$1,6d^2$	$1,4d^2$

Минимальные расстояния между осями нагелей определяются видом нагелей и выражаются в диаметрах.

Минимальное расстояние от торца до оси нагеля и между осями нагелей вдоль волокон должно быть равным или превышать $7d_n$.

Поперек волокон минимальное расстояние между осями нагелей должно быть $\geq 3,5d_n$, а расстояние от кромки до оси нагеля – $\geq 3d_n$.

При соблюдении данных параметров несущая способность нагельного соединения определяется из условий смятия древесины в гнезде и изгиба нагеля.

Соединения деревянных конструкций подразделяются на две группы по виду зависимости упругой деформации от усилия и характеру работы под нагрузкой. В I группу входят соединения с линейной зависимостью деформаций от усилия, а во II группу – с нелинейной. К первой группе относятся соединения на врубках, на различных шпонках, на деревянных цилиндрических и пластинчатых нагелях, а также клеевые соединения различных видов. Ко II группе относят соединения на металлических и пластмассовых круглых нагелях, на гвоздях, зубчатых шайбах, пластинах и т. д.

Испытания нагельных соединений ЛВЛ II группы необходимы для выяснения главных параметров их работы под нагрузкой с помощью определения разрушающего усилия (несущей способности образцов) и характера деформации разрушения. Необходимо установить верхний предел области упругой работы соединения под нагрузкой по диаграммам измеренных в ходе испытания деформаций, определить величины самих деформаций (взаимного смещения частей образцов друг относительно друга) при различной величине действующего усилия. Также необходимы

испытания для оценки длительной несущей способности испытанного соединения по найденной в ходе испытания величине разрушающей нагрузки [30].

Большой вклад в развитие нагельных соединений внесли такие ученые, как Т. Гестеши, О. Граф, П. А. Дмитриев, А. Жаксон, В. Ф. Иванов, Ю. М. Иванов, И. С. Инжутов, Г. Г. Карлсен, М. Н. Каган, В. Н. Коченов, В. Н. Мальцев, Д. В. Мартинец, Г. Г. Никитин, Ю. Н. Пискунов, Ю. В. Слицкоухов, В. П. Туркин и др. За границей в последнее время имеются интересные работы, положенные в основу европейских норм EC 5 (Kessel M.-H., Mönck W., Rug W., Breyer D.).

4.2. Получение коэффициента учета связей ($K_{св}$) для накладок из ДСП-В и стали

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

Использование фасонок из тонколистового материала (ДСП-В, бакфанера, стали) 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) их скалывание путем увеличения числа площадок скалывания, т. е. расстановка большего количества связей меньшей несущей способности при большом количестве связей с учетом неравномерности распределения действующих на них усилий (рис. 38, а–в), следует учитывать это обстоятельство введением коэффициента учета связей ($K_{св}$) для накладок из ДСП-В. Вязкость соединения ЛВЛ и ДСП-В обеспечивается тягучей работой гнезд на смятие.

Учитывая, что при проектировании плоских балочных ферм из древесины и материалов на ее основе возникает необходимость в сращивании элементов поясов по длине с применением накладок и прокладок, необходимы исследования многорядовых нагельных соединений. Исследования в данном направлении проводились такими учеными, как В. Ф. Иванов, Ю. М. Иванов, В. И. Ушаков. Получены данные, свидетельствующие о том, что усилия между отдельными нагельями в продольном ряду распределяются неравномерно и к моменту разрушения не выравниваются [78]. Установлено, что многорядовые соединения имеют по сравнению с соединениями на одиночных нагельях меньшие запасы прочности, при этом особенно неравномерно распределяются усилия между нагельями в соединениях, работающих по односторонней схеме. Например, для соединений из шести поставленных в продольный ряд нагелей усилия в наиболее и наименее нагруженных нагельях диаметром 12 мм различаются в 1,7 раза.

Исследование сопряжения элементов при двусторонних накладках с сопротивлением выдергиванию соединительных стержней можно производить по схеме на рис. 38.

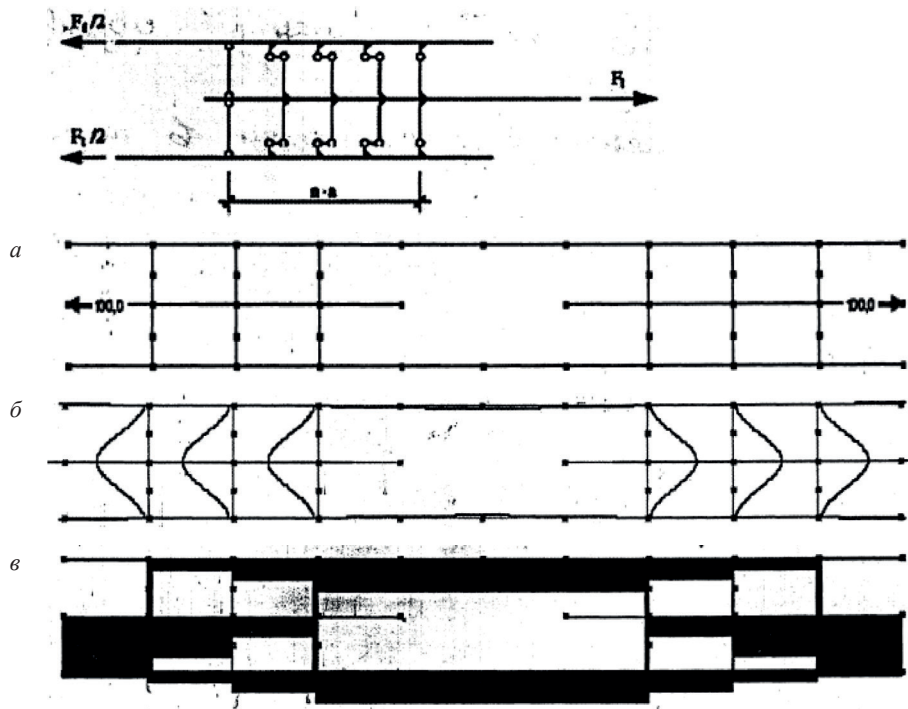


Рис. 38. Схема приложения нагрузки, возникающих деформаций и нормальных сил:
 а – схема приложения сил; б – деформации; в – эпюры усилий

Напряжения в накладке от растяжения (9):

$$\sigma_N = \frac{N}{2 \cdot A} = \frac{N}{2 \cdot (b-d) \cdot t}. \quad (9)$$

Изгибающий момент в накладке при числе связей $n = 3$ (10):

$$M_{изг} = \frac{N \cdot e}{2} = \frac{N \cdot t}{4 \cdot n}. \quad (10)$$

Напряжение в накладке от ее изгиба (11):

$$\sigma_M = \frac{M}{W_{НАКЛ}} = \frac{6N}{4 \cdot n \cdot b \cdot t}. \quad (11)$$

Суммарное напряжение в накладке (12):

$$\sigma_{сум} = \frac{\sigma_N}{R_p} + \frac{\sigma_M}{R_{и}} \leq 1 \text{ или } \sigma_{сум} = \sigma_N + \sigma_M \frac{R_{НАКЛ}^P}{R_{НАКЛ}^и} \leq R_p; \quad (12)$$

4.2. Получение коэффициента учета связей ($K_{св}$) для накладок из ДСП-В и стали

$$\sigma_{сум} = \frac{\sigma_N^{НАКЛ}}{R_p^{НАКЛ}} \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot R_p^{НАКЛ}}{n \cdot R_{И}^{НАКЛ}}\right) = \frac{N}{2(b - d_{св}) \cdot t \cdot R_p^{НАКЛ}} \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot R_p^{НАКЛ}}{n \cdot R_{И}^{НАКЛ}}\right) = \frac{N}{2(b - d_{св})t \cdot R_p^{НАКЛ} \cdot m_o \cdot K_c},$$

где $K_c = \frac{1}{\left(1 + \frac{3 \cdot R_p^{НАКЛ}}{n \cdot R_{И}^{НАКЛ}}\right)}$, m_o – коэффициент, учитывающий влияние концентрации

напряжений для ДСП-В $m_o = 0,9$, для стали не учитывается.

$\frac{R_p^{НАКЛ}}{R_{И}^{НАКЛ}}$ усиливает роль влияния особенностей древесных материалов и учитывает влияние на показатели длительного действия нагрузки и свойств материала.

Проверка предельного состояния накладок (13):

$$\frac{\sigma_p^{НАКЛ}}{K_c \cdot R_p^{НАКЛ}} \leq 1. \quad (13)$$

Прочностные характеристики ДСП-В $t = 3 - 12$ мм [1]:

$$R_p^{НАКЛ} = 5,6 \text{ кН/см}^2;$$

$$R_{И}^{НАКЛ} = 7,6 \text{ кН/см}^2;$$

$$R_{И}^{НАКЛ} = \frac{R_{И}^{НАКЛ} \cdot \gamma_m}{m_{дл}} = \frac{7,6 \cdot 1,17}{0,533} = 16,68 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

При $n = 3$

$$K_c = \frac{1}{\left(1 + \frac{3 \cdot R_p^{НАКЛ}}{n \cdot R_{И}^{НАКЛ}}\right)} = \frac{1}{\left(1 + \frac{3 \cdot 5,60}{3 \cdot 16,68}\right)} = 0,749.$$

Приведенная формула позволяет получить значения для коэффициента учета работы связи ($K_{св}$) для накладок из ДСП-В (табл. 24).

Таблица 24

Коэффициент учета работы связи

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

Коэффициент учета работы связи ($K_{св}$) для накладок из сталей: высокой прочности с $\sigma_T > 38,0$ кН/см² (табл. 25) и обычной прочности с $\sigma_T < 38,0$ кН/см² (табл. 26).

$$K_C = \frac{1}{\left(1 + \frac{3 \cdot R_P^{\text{НАКЛ}}}{n \cdot R_{II}^{\text{НАКЛ}}}\right)} = \frac{1}{\left(1 + \frac{3 \cdot R_Y}{n \cdot R_{Yn}}\right)} = \frac{1}{\left(1 + \frac{3 \cdot R_{Ym}}{n \cdot R_{Ym} \cdot \gamma_M}\right)} = \frac{1}{\left(1 + \frac{3}{n \cdot \gamma_M}\right)}$$

Таблица 25

Коэффициент учета работы связи для накладок из сталей высокой прочности

n	1	2	3	4	6	8	10	20
K_{CB}	0,268	0,423	0,524	0,595	0,688	0,746	0,786	0,880

Таблица 26

Коэффициент учета работы связи для накладок из сталей обычной прочности

n	1	2	3	4	6	8	10	20
K_{CB}	0,259	0,412	0,512	0,583	0,677	0,737	0,778	0,875

Древесина и материалы на ее основе значительно лучше, чем сталь, бетон и кирпич, сопротивляется действию различных агрессивных сред, таких как кислые, щелочные, солевые. Использование высокопрочных пластмасс и других синтетических материалов для замены некоррозионностойких металлических элементов в конструкциях зданий с химически агрессивными средами является резервом повышения их долговечности и надежности. Поэтому предложение по применению накладок из ДСП-В в ответственных строительных конструкциях является актуальным и целесообразным.

Полученные данные табл. 20–22 указаны в перечне рекомендаций по проектированию, а также входят в подготовленный материал с целью отправки в ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко для включения в нормативную литературу.

4.3. Методика испытаний узловых сопряжений

Толщина соединяемых элементов ЛВЛ = 30 мм и обрезной доски = 25 мм. Волокна в испытываемых образцах располагались параллельно друг другу. Влажность древесины соединяемых элементов в образцах была определена перед изготовлением и повторно после испытаний и соответствовала 11–13 %. Элементы образцов соединений изготавливались в соответствии с рабочими чертежами при отклонении размеров не более чем на 0,5 мм. Была обеспечена строгая параллельность боковых граней и перпендикулярность торцевых плоскостей. Все эти данные были занесены в журнал испытаний и использовались в дальнейшем для анализа полученных результатов.

Подготовка к испытанию. С помощью гидравлического и механического привода осуществлялось перемещение верхней и нижней рабочих частей. В нижней части при проведении эксперимента устанавливалась база (металлическая пластина толщиной 30 мм) с нанесением тонкого слоя порошка для ухода от неровностей пятки образцов. К верхней рабочей части крепился башмак с плоским дном диаметром 100 мм. При установке образца на базу сверху вручную устанавливалась шарнирная опора – в плане 42×42 мм (для того, чтобы в процессе эксперимента сгладить возможные шероховатости и неровности верхней части образца, допущенные при изготовлении).

Результаты измерений заносились в протокол испытаний для материала ЛВЛ $t = 30$ мм (г. Нягань, Ханты-Мансийский АО), а также ДСП-В (ООО «Фанпласт», Санкт-Петербург). Обработка результатов и поверочные расчеты приведены в прил. 19–21.

Эксперимент № 1. Исследование работы элементов в нагельных соединениях выполнялось по схеме (рис. 39) [34].

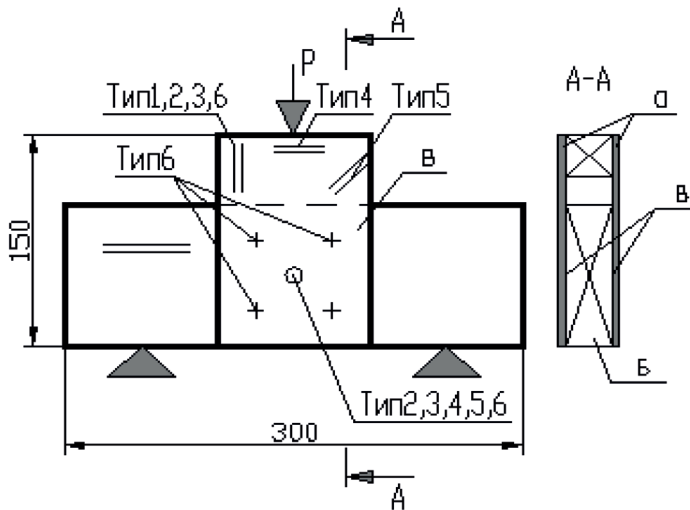


Рис. 39. Схема сопряжения элементов под углом 90°:
а – ДСП-В; б – ЛВЛ; в – клей, продольное направление волокон

Целью эксперимента являлось исследование влияния типа связи на несущую способность соединения. Количество образцов для каждого типа составляло 10 шт. (рис. 40).

В ходе эксперимента рассматривались типы связей:

- тип 1 – на клею фирмы «Акзонобель» *Casco S9 Super* по всей пластине $S = 10$ см². Расположение соединительных элементов: ЛВЛ – поперек волокон (горизонтальный), ДСП-В – вдоль волокон (вертикальный);

- тип 2 – соединение на глухарях $d = 1,2$ см. Расположение соединительных элементов: ЛВЛ – поперек волокон (горизонтальный), ДСП-В – вдоль волокон (вертикальный);

- тип 3 – на клею + глухарь $d = 1,2$ см. Расположение соединительных элементов: ЛВЛ – поперек волокон (горизонтальный), ДСП-В – вдоль волокон (вертикальный);

- тип 4 – на клею + глухарь $d = 1,2$ см. Расположение соединительных элементов: ЛВЛ – поперек волокон (горизонтальный), ДСП-В – поперек волокон (вертикальный);

- тип 5 – на клею + глухарь $d = 1,2$ см. Расположение соединительных элементов: ЛВЛ – поперек волокон (горизонтальный), ДСП-В – под углом 45° к волокнам ДСП-В (вертикальный);

- тип 6 – на клею + глухарь $d = 1,2$ см + 4 самореза $d = 0,38$ см. Расположение соединительных элементов: ЛВЛ – поперек волокон (горизонтальный), ДСП-В – вдоль волокон (вертикальный).

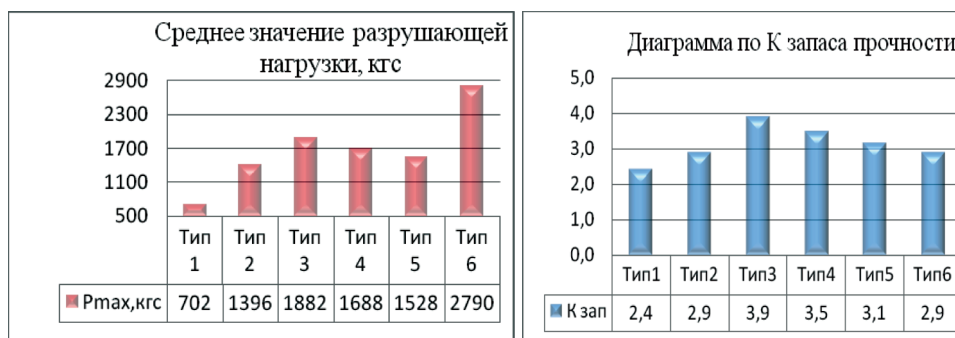


Рис. 40. Диаграммы зависимости разрушающей нагрузки P_{max} и коэффициента запаса $K_{зап}$ от типа связи

Из построенных диаграмм можно вывести следующее:

1. При сравнении типов 1, 2 и 3 разрушающая нагрузка для соединения:

- на клею = 701 кгс;
- на глухаре $d = 12$ мм = 1396 кгс;
- на клею + глухарь $d = 12$ мм = 1882 кгс.

Проведенное исследование дает возможность сделать предположение, что дополнительная обработка соединений из ЛВЛ и ДСП-В клеевым составом увеличивает несущую способность соединения в запас. Даже несмотря на то, что нормами [2,5] при расчете деревянных конструкций регламентируется проводить расчет либо по клею, либо по нагелю, основным является расчет нагельного соединения. Кроме того, нанесение клея позволит упростить и ускорить процесс сборки и монтажа элементов конструкции.

2. При сравнении типов 3, 4 и 5 разрушающая нагрузка для соединения в зависимости от расположения волокон в элементах накладок составила:

- тип 3: накладки из ДСП-В с расположением волокон вдоль оси приложения нагрузки – 1882 кгс (клей + глухарь d 12 мм);
- тип 4: накладки из ДСП-В с расположением волокон поперек оси приложения нагрузки – 1687 кгс (клей + глухарь d 12 мм);
- тип 5: накладки из ДСП-В с расположением волокон под углом 45° к оси приложения нагрузки – 1528 кгс (клей + глухарь d 12 мм).

Вывод. Проведенное исследование дает возможность предположить, что расположение волокон в элементах из ДСП-В влияет на несущую способность соединения и соответствует прочностным характеристикам этого материала (см. рис. 31).

Эксперимент № 2. Исследование работы элементов в нагельных соединениях выполнялось по схеме (рис. 41).

Целью эксперимента являлось исследование влияния расстановки связей на несущую способность соединения для болта d 6 мм. Количество образцов для каждого изучаемого значения расстояния составляло 5 шт.

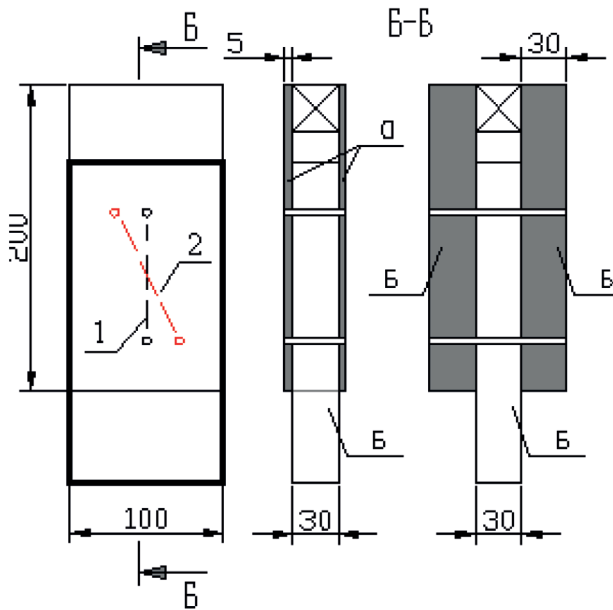


Рис. 41. Схема сопряжения элементов вдоль волокон:
 a – ДСП-В; b – ЛВЛ; 1 – болты расставлены по одной оси; 2 – в шахматном порядке

Проведено исследование работы преднапряженного нагеля, путем закручивания с двух сторон гаек с шайбами. Цель эксперимента заключалась в исследовании

теоретических предпосылок относительно увеличения прочности соединения при устройстве предварительного напряжения – распора (рис. 42), что, вероятно, возможно за счет снижения температурно-влажностных деформаций ЛВЛ.

Чтобы избежать кручения элементов образцы изготавливались двухсрезными симметричными. Нагели – болты d 6 мм из стали 8,8 устанавливались с различным расстоянием вдоль волокон S_1 . Расстояние от вертикальной оси нагеля до кромки было более $3d$ и составило 50 мм. Перед проведением испытаний на образцы устанавливались индикаторы часового типа (ИЧ) для измерения деформаций с ценой деления 0,01 мм и величиной хода 10 мм. Величина ступени возрастания усилия принималась равной $0,1P_{max}$.

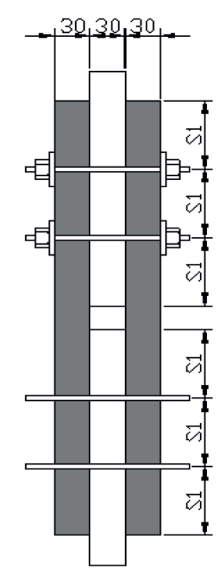


Рис. 42. Схема расстановки связей

Расчет несущей способности нагельного соединения проводился по формулам:

- симметричные соединения – смятие в средних элементах $T_{см}^c$ (6);
- симметричные соединения – смятие в крайних элементах $T_{см}^a$ (7);
- симметричные соединения – изгиб нагеля из стали С38/23 $T_{изг}$ (8).

Из условия скалывания $T_{ск} = R_{ск}^{cp} \times F_{ск}$ (14).

$$R_{ск}^{cp} = \frac{R_{ск}}{1 + \beta \frac{1}{e}} \quad (15)$$

$$T_{см}^c \text{ (ЛВЛ)} = 0,5 \cdot c \cdot d \cdot R_{см(ЛВЛ)} / R_{см,др} = 0,5 \cdot 3,0 \cdot 0,6 \cdot 2,3 / 1,4 = 1,48 \text{ кН}$$

$$T_{\text{см}}^a (\text{ЛВЛ}) = 0,8 \cdot a \cdot d \cdot R_{\text{см}, (\text{ЛВЛ})} / R = 0,8 \cdot 3,0 \cdot 0,6 \cdot 2,3 / 1,4 = 2,37 \text{ кН.}$$

$$T_{\text{изг}} = 2,7d^2 = 0,972 \text{ кН}$$

$$T_{\text{ск}} = R_{\text{ск}}^{\text{сп}} \cdot F_{\text{ск}} = 0,189 \cdot 3,0 \cdot 2,4 = 1,36 \text{ кН}$$

$$R_{\text{ск}(\text{ЛВЛ})}^{\text{сп}} = R_{\text{ск}(\text{ЛВЛ})} / (1 + \beta \cdot (l_{\text{ск}} / e)) = 0,24 / (1 + 0,25((4 \cdot 0,6) / (0,25(3,0 + 3,0 + 3,0)))) = 0,189 \text{ кН}$$

Коэффициент запаса ($K_{\text{зап}}$) определялся по формуле (16)

$$K_{\text{зап}} = \frac{P_{\text{max}} \cdot m_{\text{дл}}}{T_{\text{н}}}. \quad (16)$$

Таким образом, расчетная несущая способность всего соединения составила $4 \cdot 97,2 = 389$ кгс. Величина ступени нагружения принята 150 кгс.

Испытания проводились на гидравлическом прессе ИМ-50 с измерением остаточной деформации. Скорость нагружения и разгрузки была постоянной на протяжении всего испытания. В процессе проведения испытаний производился визуальный осмотр с фиксацией в журнале испытаний. После этого изучался характер разрушения образцов, проводилась фотофиксация (рис. 43). Построен график зависимости деформаций от нагрузки (рис. 44).

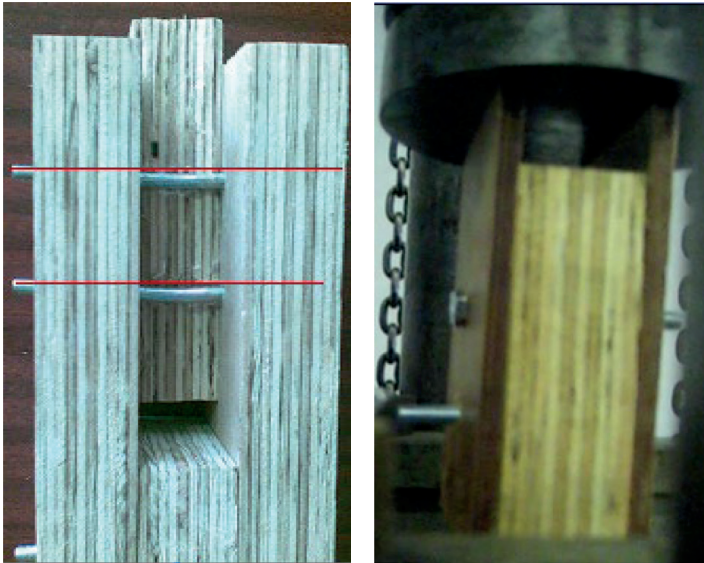


Рис. 43. Разрушенный образец

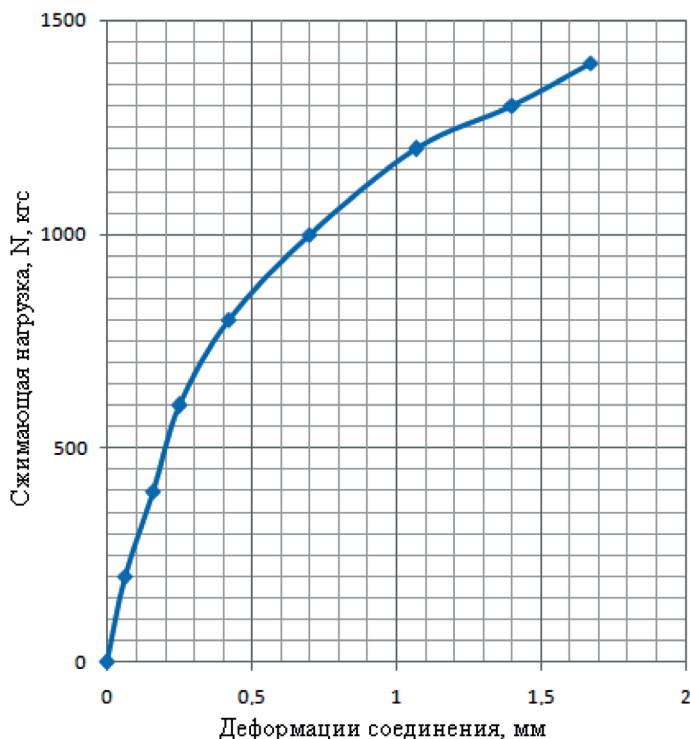


Рис. 44. График зависимости деформаций от нагрузки

Результаты измерений заносились в протокол испытаний для материала ЛВЛ ($t = 30$ мм, г. Нягань, Ханты-Мансийский АО). Обработка результатов и поверочные расчеты приведены в прил. 20.

Полученные данные позволили построить диаграмму (рис. 45).

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 [30], анализа состояния узлов эксплуатируемых конструкций по прошествии нескольких сезонов (осень, весна) [24]. Это связано с влиянием влажности на прочностные свойства ЛВЛ (на сегодняшний день данные по этому вопросу отсутствуют), но утверждения заводов-изготовителей о том, что ЛВЛ не впитывает влагу из воздуха или при прямом попадании, требуют проверки.

Эксперимент № 3. Определение несущей способности элементов при использовании нагелей различного диаметра (рис. 46).

Целью эксперимента являлось исследование влияния диаметра связи на несущую способность соединения. Количество образцов для каждого изучаемого значения расстояния составляло 10 шт.

Среднее значение R_{max} , кгс в соединениях с накладками из ЛВЛ и ДСП-В для $d_{св}=6\text{мм}$

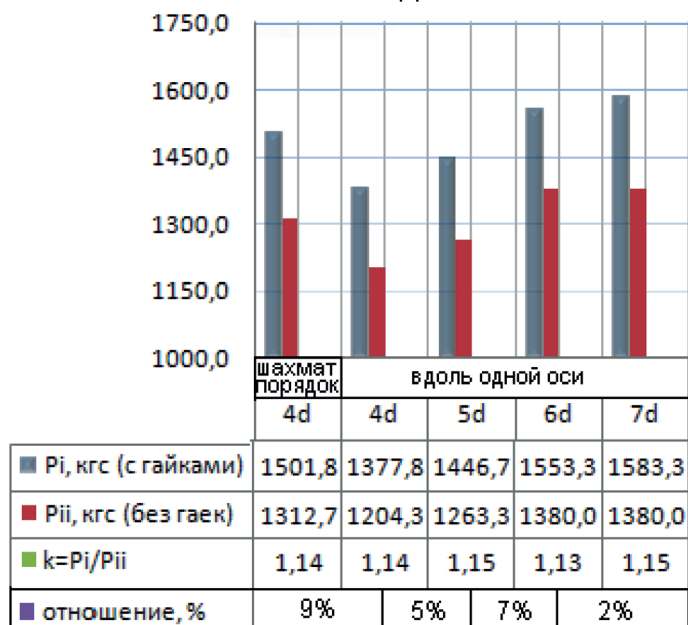


Рис. 45. Диаграмма зависимости несущей способности соединения от схемы расстановки связей

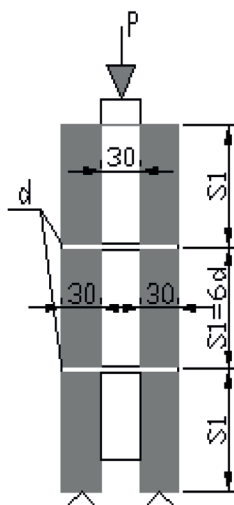


Рис. 46. Схема нагружения образца

Испытания проводились на гидравлическом прессе ИМ-50 с измерением остаточной деформации. Скорость нагружения и разгружения была постоянной на протяжении всего испытания. В процессе проведения испытаний производился визуальный осмотр с фиксацией в журнале испытаний. После разрушения изучался характер разрушения образцов, проводилась фотофиксация.

Расчет несущей способности нагельного соединения проводился по формулам (6–8, 14, 15).

Результаты измерений заносились в протокол испытаний для материала ЛВЛ ($t = 30$ мм, г. Нягань, Ханты-Мансийский АО). Обработка результатов и поверочные расчеты приведены в прил. 21.

Полученные данные позволили построить диаграмму (рис. 47).

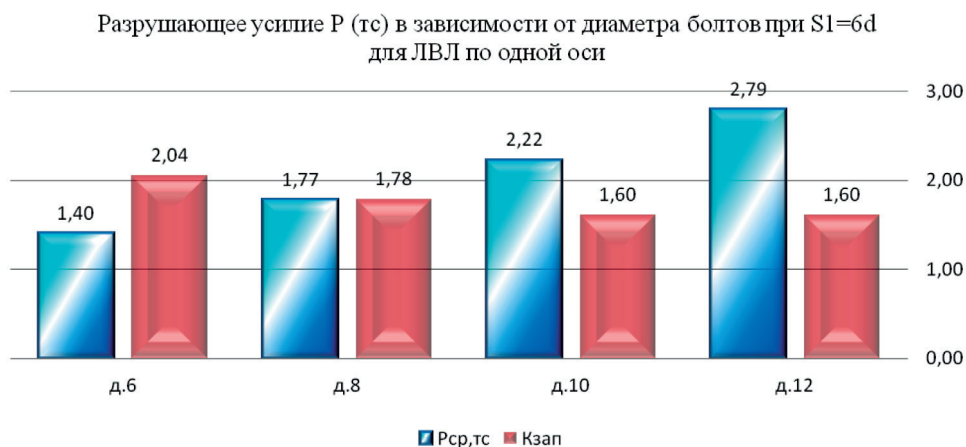


Рис. 47. Диаграмма зависимости разрушающей нагрузки P_{max} и коэффициента запаса K_{zap} от диаметра связи

Вывод. Анализируя результаты эксперимента (см. рис. 39 и 41) можно предположить, что несущая способность при расстановке болтов d 6 и 8 мм с шагом $S_1 = 6d$ вдоль волокон наиболее оправданна – потеря несущей способности соединения произошла от изгиба нагеля. Однако при $S_1 = 6d$ для болтов d 10 и 12 мм произошло раскалывание среднего образца, что свидетельствует о необходимости увеличения расстояния между связями. Поэтому можно сделать предположение, что в соединениях из ЛВЛ для связей d 6 и 8 мм стоит принимать величину $S_1 = 6,5d$, а для больших диаметров оставить $S_1 = 7d$, как для древесины [2]. Тем более что физико-механические свойства ЛВЛ лучше, чем у сортовой древесины, что дополнительно пойдет в запас несущей способности соединения.

Вывод. Экспериментальные исследования позволили определить несущую способность нагельных соединений на болтах для проведения дальнейшего исследования.

При воздействии различных агрессивных сред, таких как кислые, щелочные, солевые, предлагается использование ДСП-В в качестве образца для отправки в ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко, для включения в нормы.

Сделано предположение, что дополнительная обработка соединений из ЛВЛ и ДСП-В клеевым составом увеличивает несущую способность соединения в запас. Кроме того, нанесение клея позволит упростить и ускорить процесс сборки и монтажа элементов конструкции.

Также мы предположили, что в соединениях из ЛВЛ для связей d 6 и 8 мм стоит принимать величину $S_1 = 6,5d$, а для больших диаметров оставить $S_1 = 7d$, как для древесины.

Стоит заметить, что в будущем необходимо провести испытания большого количества образцов для получения достоверных данных с доверительной вероятностью в пределах одного. Полученные результаты носят предварительный характер, поскольку не получен коэффициент длительной прочности для этого вида напряженно-деформированного состояния ввиду сжатых сроков кандидатской работы.

В следующей главе приводится методика и результаты выполненных экспериментальных исследований по анализу работы конструкции малого пролета из ЛВЛ и ДСП-В.

Глава 5. МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОТЫ ПРЕДЛАГАЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ СТРОПИЛЬНЫХ ФЕРМ ИЗ ЛВЛ МАРОК ULTRALAM R, KERTO S И ДСП-В

Анализ существующей научной и технической литературы показал недостаток опыта проектирования и полное отсутствие исследований конструкций из ЛВЛ.

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 $L = 4,56$ м.

Методика конструирования. Конструкция испытываемой фермы представлена на рис. 48.

Конструирование и проектирование конструкции фермы велось из расчета равнопрочности узлов и элементов в несколько этапов [98]:

1. С помощью программного обеспечения выполнялся статический расчет для получения значений усилий в элементах.

2. На основании полученных данных (главы III и IV) рассчитывалось поперечное сечение стержней (поясов, решетки).

3. Производился расчет узловых соединений на болтах d 6 мм.

4. Согласно полученным данным производилась сборка ферм.

Технология сборки. Для проведения сборочных работ в механической лаборатории СПБГАСУ проводилась расчистка территории с подготовкой ровной поверхности. С помощью программы AutoCad 2009 выполнялись замеры будущей конструкции. Проводился визуальный осмотр образцов с целью сортировки материала к применению в сжатых или растянутых элементах. Делались контрольные замеры с отметками для наиболее экономичного раскроя. Материал – ЛВЛ-брус, 30×100 , $L = 3000$ мм, г. Нягань, Ханты-Мансийский АО. Производилась заготовка составных элементов. Использовался ручной электролобзик для выпиливания фасонки из ДСП-В $t = 7$ мм.

Процесс сборки начинался с того, что на ровной поверхности отмечались габариты конструкции – очертание поясов (рис. 49). После установки заготовленных элементов поясов к ним с помощью клея марки «Акзонобель» *Casco S9 Super* прикреплялись фасонки. Для удобства монтажа и создания давления применялись ручные тиски и струбицы. Направление волокон под углом 0° и 90° в фасонках из ДСП-В устанавливалось параллельно наибольшим усилиям в поясах (рис. 50). Следующим этапом производилось устройство решетки. Процесс шел последовательно. Сначала монтировался растянутый стержень (вниз сходящий раскос). Затем монтировался сжатый средний раскос. И лишь затем с плотной подгонкой по месту производился монтаж сжатой стойки (рис. 51). Выдерживание каждого клеящего элемента составляло один час. По завершении монтажа ветвей с одной стороны

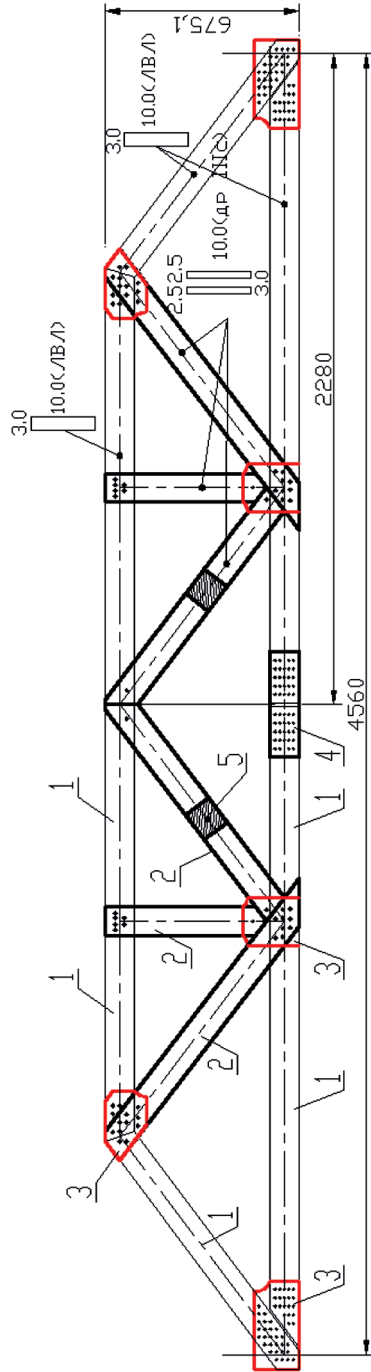


Рис. 48. Схема конструкции малого пролета $L = 4,6$ м.
1 – ЛВЛ 30×100 ; 2 – 2 доски 25×100 ; 3 – фасонки из ДСП-В; 4 – накладки из ЛВЛ; 5 – прокладки из древесины

конструкция кантовалась и процесс сборки повторялся с получением единой половины фермы (рис. 52). В качестве материала поясов применялся ЛВЛ-брус, для менее нагруженных элементов решетки применялась древесина III сорта.



Рис. 49. Начало сборки



Рис. 50. Монтаж решетки



Рис. 51. Склеивание узлов



Рис. 52. Половина конструкции фермы

Готовые половинки фермы стыковались в середине пролета (рис. 53). От идеи использования в качестве накладок ДСП-В было решено отказаться ввиду его большей стоимости, а также по причине гармоничного сочетания накладок с двух сторон из ЛВЛ той же ширины, что и нижний пояс [10]. Стык верхнего пояса воспринимает лобовой упор и поэтому требует только монтажной накладки с одним болтом. Для просверливания отверстий под связи применялась ручная дрель со сверлом по дереву. Для каждого узла был выполнен шаблон (рис. 54), что ускорило и упростило процесс сборки. В качестве связей применялись металлические болты d 6мм класса 8,8 с шайбами и гайками (рис. 55). Примеры решения основных узлов конструкции представлены на рис. 56 и 57. Расстояние между осями цилиндрических нагелей вдоль волокон древесины S_1 , поперек волокон S_2 и от кромки элемента S_3 принималось $S_1 = 5d$, $S_2 = 3,5d$; $S_3 = 3d$. Величина строительного подъема составила $1/200$ от пролета фермы.



Рис. 53. Стыковка частей фермы

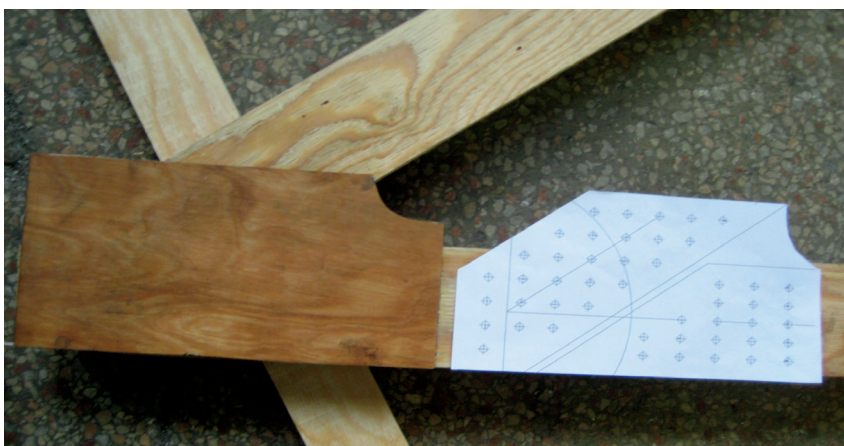


Рис. 54. Просверливание отверстий в узлах с применением шаблонов



Рис. 55. Подготовка конструкции к испытанию



Рис. 56. Узел сопряжения верхнего пояса и опорного раскоса

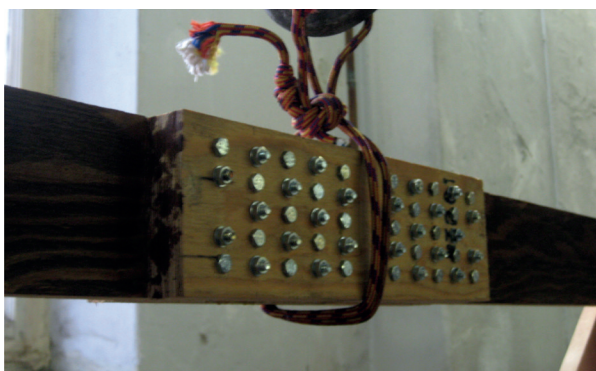


Рис. 57. Стыковочный узел нижнего пояса

Процесс монтажа. Готовая конструкция (рис. 58) монтировалась при помощи кран-балки с лебедкой и трособлочной системы, что очень облегчало погрузочно-разгрузочные работы, если принимать во внимание габариты помещения лаборатории и демонтаж учебного образца (рис. 59). При установке конструкции на опоры использовался ручной нивелир для выравнивания конструкции по горизонтали и вертикали. Это связано с желанием избежать дополнительных напряжений возникающих при выкручивании конструкции из плоскости. Для этого при помощи рычагов производилось поднятие или опускание опор (рис. 60). Так как прикладываемая нагрузка создавалась при помощи гидравлических поршней, конструкция фермы монтировалась с переворотом на 180° (рис. 61). Центрирование узловых шарниров производилось с помощью металлических шариков и пластин.



Рис. 58. Готовая конструкция в сборе

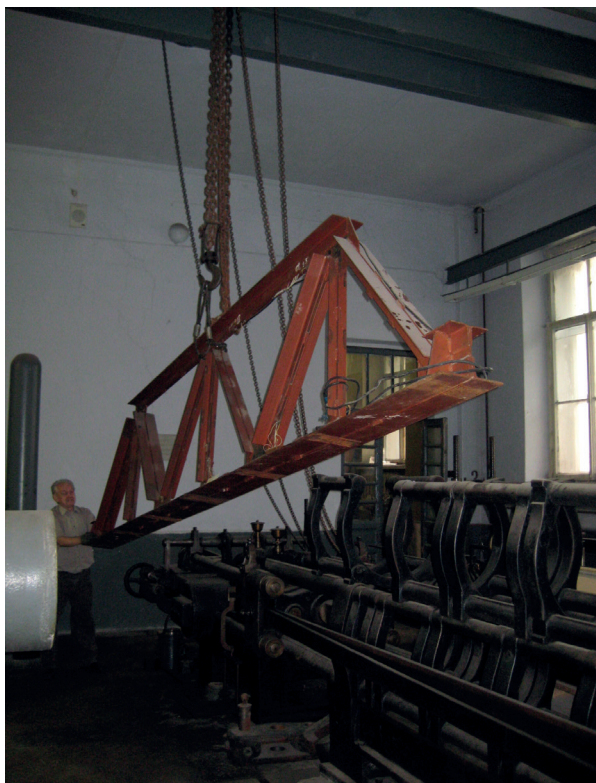


Рис. 59. Подъемный механизм

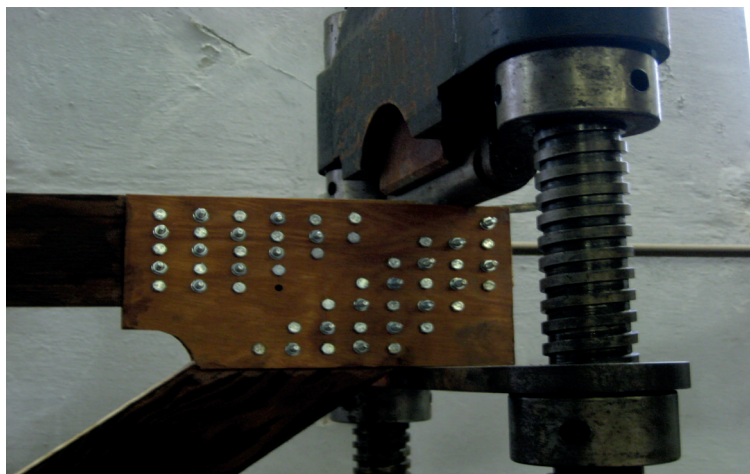


Рис. 60. Решение опорных узлов

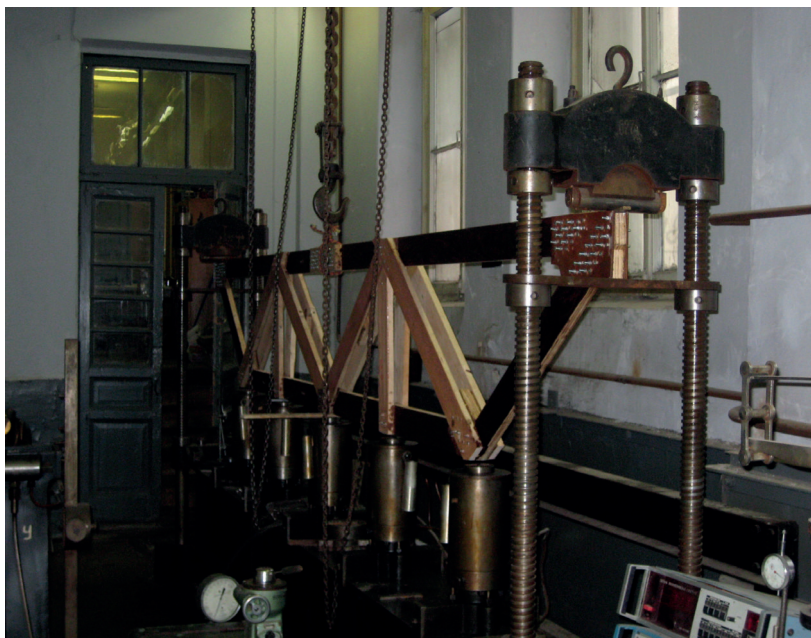


Рис. 61. Подготовленная к испытаниям конструкция

Нагружение фермы при кратковременном приложении нагрузки в узлах осуществлялось на испытательной семиштемпельной гидравлической машине фирмы Amsler. 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 (рис. 62), а также в узлах и на опорах устанавливались прогибомеры. При каждом шаге увеличения нагрузки производилось регистрирование результатов с последующей статистической обработкой. Все полученные данные заносились в протокол испытаний [33].

Эксперимент состоял из двух видов исследования:

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

1. *Нагружение конструкции без раскрепления верхнего сжатого пояса фермы.* Схема конструкции и нагружения, возникающие усилия и расчеты по подбору поперечного сечения приведены в прил. 22. Пример раскрепления верхнего пояса показан на рис. 63 и 64. Крепление связей выполнено шарнирно.

Выполненные расчеты показали, что потеря устойчивости (рис. 65, 66) произойдет при расчетной нагрузке $P_{\text{расч}} = 1820 \text{ Н/м}^2$.

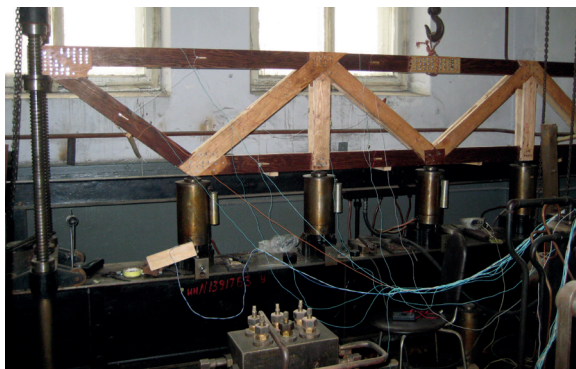


Рис. 62. Схема подключения цепи тензометрической машины с запаиванием контактов датчиков



Рис. 63. Раскрепление верхнего пояса



Рис. 64. Раскрепление конструкции

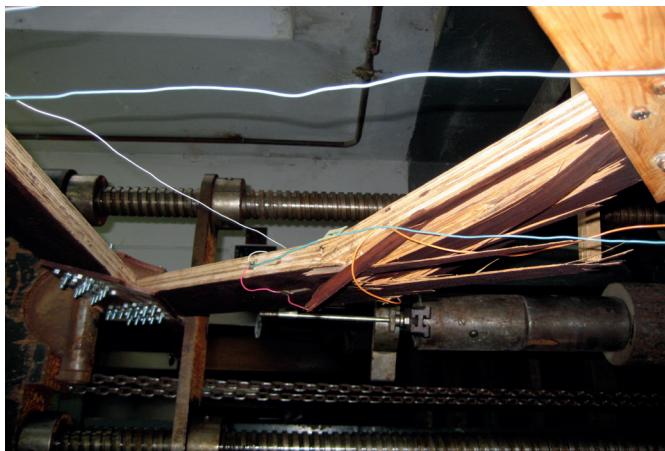


Рис. 65. Разрушение огорного раскоса



Рис. 66. Разрушение верхнего пояса

Эксперимент доказал важную роль влияния раскрепления ответственных сжатых элементов из плоскости на работу всей конструкции. Разрушающая нагрузка, приложенная в узлах, составила $P_{\text{факт}}^{\text{max}} = 0,7 - 0,85$ тс. Без учета коэффициента длительности $K_{\text{ан}} = 2,059 - 2,5$.

II. *Приложение нагрузки до появления необратимых деформаций.* Статический расчет проводился на воздействие расчетной нагрузки $P_{\text{расч}} = 3630$ Н/м² (рис. 67, 68). Схема загрузжения, возникающие усилия и расчеты по подбору поперечного сечения приведены в прил. 23.

Результаты натурных испытаний представлены на рис. 69. Протоколы испытаний приведены в прил. 24. Несущая способность элементов не была исчерпана полностью из-за разрушения нагельного соединения нижнего пояса, где расстояние между связями составляло $S1 = 5d$. Разрушающая нагрузка, приложенная в узлах, составила $P_{\text{факт}}^{\text{max}} = 1,4 - 1,6$ тс. Без учета коэффициента длительности $K_{\text{зан}} = 1,65 - 1,88$. Изучение характера разрушения (скалывание) позволило предположить, что для увеличения несущей способности стыка из ЛВЛ необходимо принимать расстояние между нагельями d 6 и 8 мм вдоль волокон не менее ($S1 = 6,5d$), что подтверждается результатами экспериментов в 4-й главе. Кроме того, при осмотре соединения выявлены неточности в процессе сборки (угол наклона отверстий изменялся по толщине пакета, что объясняется ручным сверлением, и это приводило в ряде случаев к расстоянию $S_1 = 4d$). 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.

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

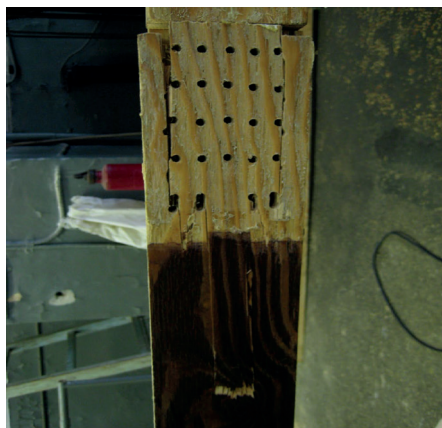
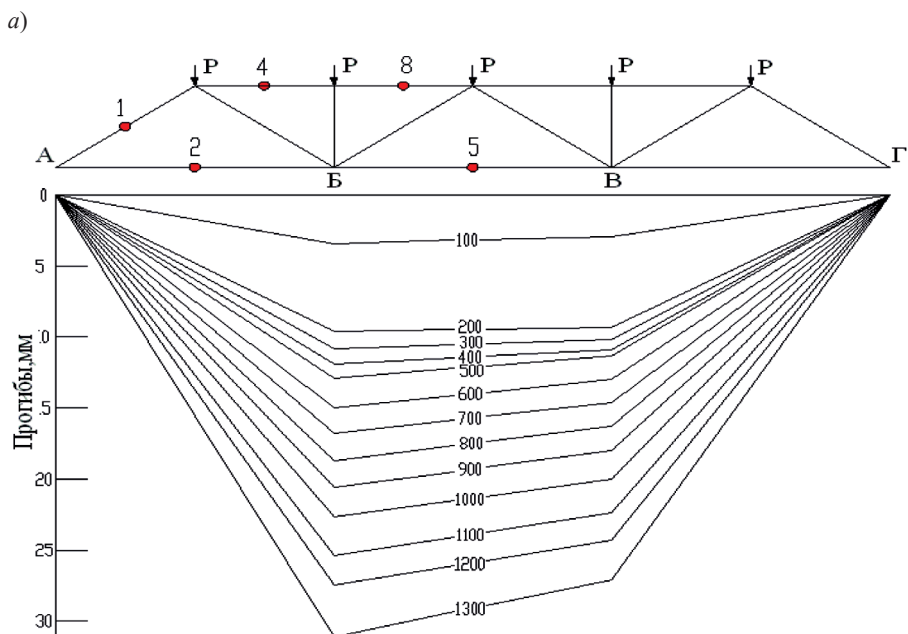


Рис. 67. Разрушение конструкции в накладках нижнего пояса от скальвания



Рис. 68. Разрушение узла нижнего пояса от скальвания



б)

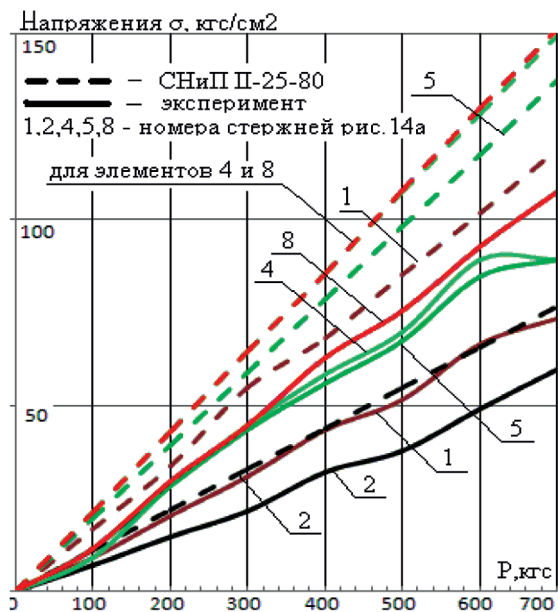


Рис. 69. Графики прогибов (а) и напряжений в стержнях (б) испытываемой фермы

Глава 6. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФЕРМ ПО ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ С ПРЕДЛОЖЕНИЕМ КОНСТРУКЦИЙ РАЗНОГО ПРОЛЕТА

6.1. Предложение конструктивных решений для ферм разного пролета

В процессе написания диссертации осуществлены наработки для создания программного обеспечения по расчету плоских балочных ферм (прил. 25), на основании которых выполнен подбор типа материала и сечения стержней для ферм пролетом 18, 21, 24, 27, 30 и 36 м. Сбор нагрузок, схема нагружения, определение возникающих усилий, подбор сечения, расчет узлов приведены в прил. 26.

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.

6.2. Предложение по учету коэффициента податливости соединений из ЛВЛ для составных элементов

Помимо одноветвевых для большепролетных конструкций целесообразно применять составные пояса (2-, 3-, 4-ветвевые). Гибкость составных элементов $\lambda_{\text{прив}}$ из ЛВЛ следует определять с учетом податливости соединений по (17):

$$\lambda_{\text{прив}} = \sqrt{(\mu \cdot \lambda_y)^2 + \lambda_1^2}, \quad (17)$$

μ_y – коэффициент приведения гибкости определяется по формуле (18):

$$\mu_y = \sqrt{1 + k_c \frac{bhn_{\text{ш}}}{I_0^2 n_c}}, \quad (18)$$

k_c – коэффициент податливости соединений из ЛВЛ предлагается определять по табл. 27.

Определение коэффициента податливости

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	$\frac{1}{ad}$	$\frac{2}{ad}$

6.3. Сравнительный анализ ферм по технико-экономическим показателям

Проведен сравнительный анализ стоимости стропильной фермы как готового продукта при учете стоимости материала, заготовки элементов, сборки и обработки поверхности с нанесением противопожарных составов. Исследования были направлены на обоснование экономической эффективности применения бруса, клееного из шпона, в большепролетных конструкциях, для чего произведен сравнительный анализ затрат на производство ферм, выполненных в металле (тр. кв. сечения) (рис. 65), брус (рис. 70) и ЛВЛ (рис. 71) [8].

Определение возникающих усилий, подбор сечения, расчет стоимости приведены в прил. 27.

Конструкция фермы длиной 18 м представлена на рис. 72.

По результатам технико-экономического анализа построена диаграмма (рис. 73).

Вывод. Проведя анализ полученных данных, можно утверждать, что при равной себестоимости конструкций ферм из ЛВЛ, металла и пиломатериала себестоимость можно уменьшать за счет унификации и типизации размеров используемых элементов, что позволит сократить издержки на сборку конструкций. Фермы из ЛВЛ легче, чем из металла, в 1,8 раза, из пиленого бруса – в 1,66 раза. Проведенное исследование подтвердило возможность применения ЛВЛ в большепролетных конструкциях на основании технико-экономического анализа.

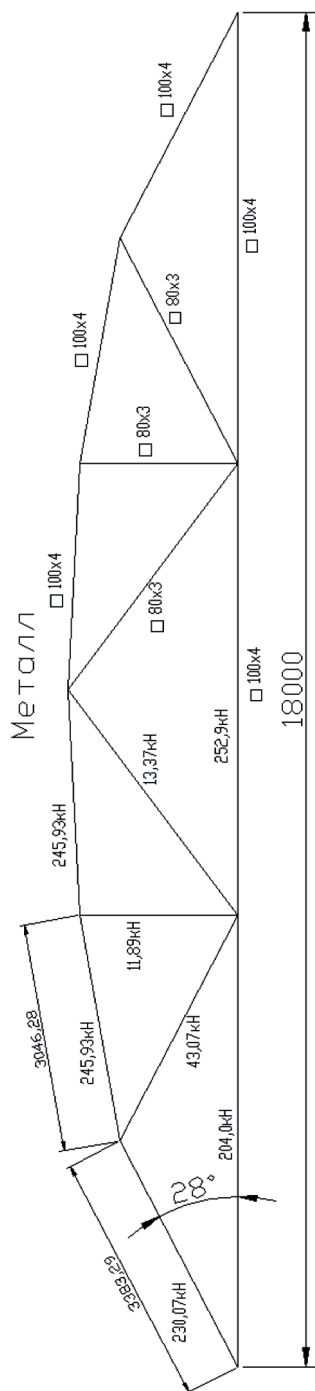


Рис. 70. Конструкция металлической фермы пролетом 18 м

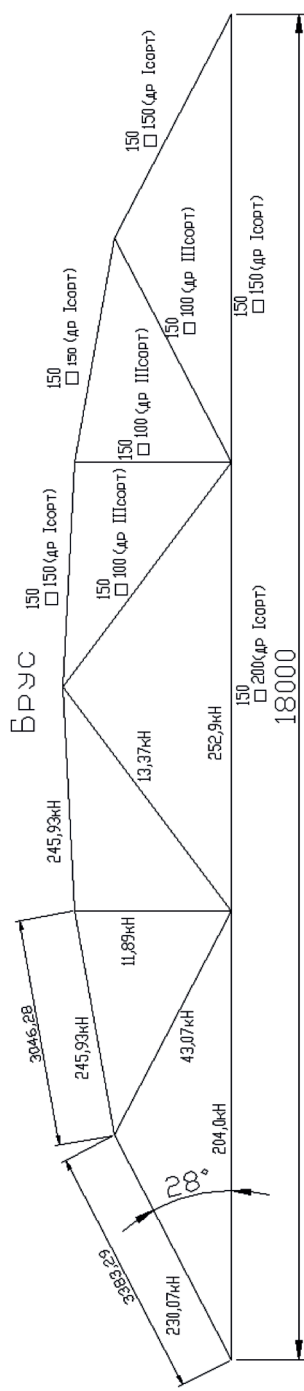


Рис. 71. Конструкция деревянной фермы пролетом 18 м из древесины (пиломатериал)

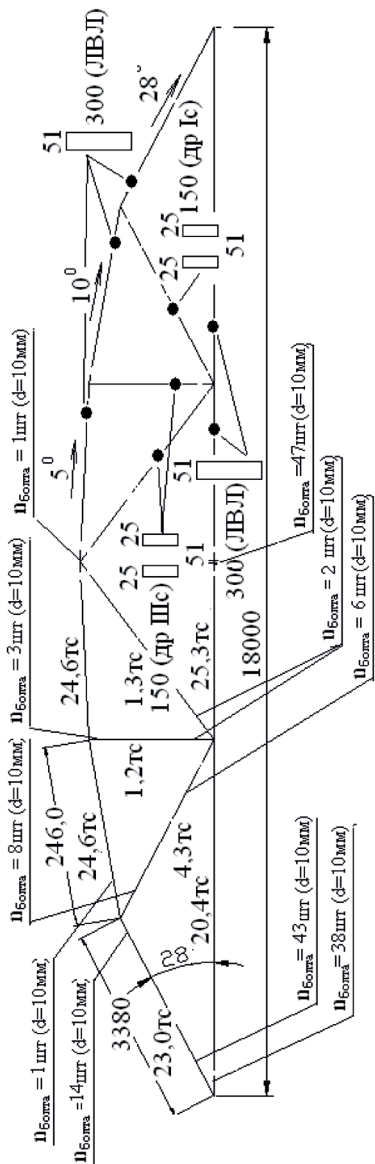


Рис. 72. Предлагаемая конструкция фермы отдельно стоящего здания пролетом 18 м из ЛВЛ и древесины в Санкт-Петербурге

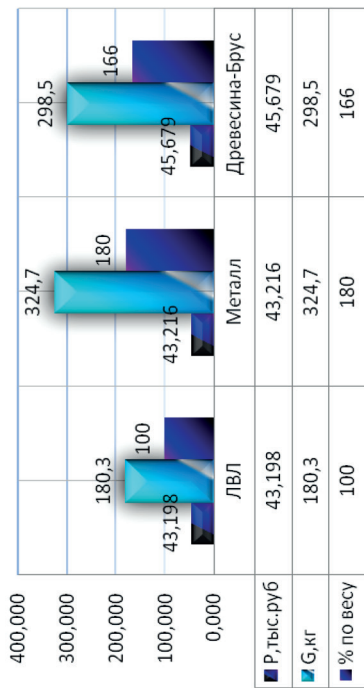


Рис. 73. Сравнительная диаграмма по себестоимости P , тыс. руб., и собственному весу G , кг, ферм

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для достижения поставленных целей и задач в настоящей диссертационной работе представлена методика проведения исследования по применению современного материала ЛВЛ в качестве эффективного конструкционного материала, подтвержденная теоретически и экспериментально.

Анализ результатов проделанной работы помог сделать ряд рекомендаций по проектированию.

Рекомендации по проектированию

1. Стропильные фермы из ЛВЛ отдельно стоящего здания рекомендуется применять согласно рис. 67, исходя из анализа многих факторов.

2. При больших пролетах целесообразны многоветвевые (2-, 3-, 4-) стержни с короткими прокладками из древесины.

3. Малонапряженные элементы решетки рекомендуется выполнять из пиломатериалов.

4. Узловые сопряжения следует проектировать из фасонок тонкого листового материала (древесно-слоистый пластик (ДСП-В), бакелизированная фанера, сталь) с отверстиями под связи, которые нужно сверлить по накладкам (шаблонам) диаметром, равным диаметру резьбы или гладких стержней.

5. В накладках располагать ДСП-В под углом 0° или 90° вдоль наибольшего усилия.

6. При проектировании узлов на стальных нагелях с накладками из ДСП-В и стали необходимо включать значения коэффициента учета связей ($K_{св}$) (см. табл. 20–22).

7. Расстояние между осями цилиндрических нагелей d 6 и 8 мм вдоль волокон ЛВЛ принимать $S_1 = 6,5d$; для $d > 8$ мм – поперек волокон S_2 и от кромки элемента S_3 как для древесины (п. 5.18 [2]).

8. Применять связи нагельного типа – нагели, дюбели, винты, глухарь, гладкие, с резьбой, различными шляпками, головками диаметром 6–20 мм. В конструкциях, эксплуатируемых в агрессивных к металлу средах, допускается применять нагели или болты из нержавеющей стали или стеклопластиковые стержни.

9. Расчетную несущую способность T на один шов сплачивания (условный срез) (кН) для соединения элементов из ЛВЛ с фасонками из ДСП-В предлагается определять:

• для симметричных соединений расчет несущей способности крайних элементов толщиной a на смятие под нагелем:

$$\text{для ДСП-В } T_{см}^a = 0,8 \cdot a \cdot d \cdot \frac{R_c^{\text{ДСП-В}}}{R_c^{\text{ЛР}}};$$

$$\text{для ЛВЛ } T_{см}^a = 0,8 \cdot a \cdot d \cdot \frac{R_c^{\text{ЛВЛ}}}{R_c^{\text{ЛР}}};$$

• для симметричных соединений расчет несущей способности среднего элемента толщиной s на смятие под нагелем:

$$T_{см}^c = 0,5 \cdot a \cdot d \cdot \frac{R_c^{ЛВЛ}}{R_c^{др}};$$

• для симметричных соединений расчетную несущую способность из условия изгиба нагеля под углом α определять по табл. 19.

10. 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)).

11. Для удобства монтажа и увеличения надежности дополнительно применять клеевые составы, рекомендуемые для древесины и фанеры (например, РФ-12). Клеевое соединение (шов) выравнивает распределение концентраций напряжений.

12. 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.

13. Сжатые стержни многоветвевых ферм следует рассчитывать, как составные элементы по приведенной гибкости (см. табл. 17, 18), с учетом коэффициента связей K_c для ЛВЛ (см. табл. 23) – сжатие с изгибом для верхнего пояса, сжатие для решетки.

14. В плоских балочных фермах из ЛВЛ, как показал эксперимент, следует предусматривать строительный подъем $f_{стр}$ не менее $\frac{1}{200}L$.

15. 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.

16. 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. При проектировании несущих конструкций необходимо ориентироваться на их полную заводскую готовность, учитывать условия их транспортировки, транспортные габариты.

Основные выводы

1. Проведенный в ходе диссертационной работы обзор научно-технической литературы показал, что на сегодняшний день отсутствует единое общепринятое обозначение марок ЛВЛ (в зависимости от расположения волокон и плотности шпона), а также стандарт его производства. Каждый завод изготавливает продукцию согласно собственным ТУ. Необходимо создание единых требований ГОСТ для производ-

ства ЛВЛ с одинаковыми физико-механическими свойствами с разделением на марки (учитывая регион произрастания сырья).

2. Предложена к применению рациональная схема плоской балочной фермы из ЛВЛ исходя из проведенного анализа многих факторов: тип схемы (очертание), H/L от 1/10 до 1/4, величина пролета L , угол наклона верхнего пояса, вид решетки, стоимость, объем материала, вес, трудоемкость.

3. Выполненные экспериментальные исследования позволили:

- установить расчетные 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.

4. Экспериментально установлено, что формула для определения расчетного сопротивления древесины смятию под углом α к направлению волокон (4) для ЛВЛ не работает.

5. Предложены формулы для расчета соединений элементов из ЛВЛ с фасонками из ДСП-В и накладками из ЛВЛ.

6. Выявлены закономерности, отражающие влияние разрушающей нагрузки P_{max} от типа, диаметра и способа расстановки связей в сопряжениях элементов из ЛВЛ.

7. Изготовлены и испытаны конструкции малого пролета $L = 4,6$ м с определением НДС:

- 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.

Результаты проведенных экспериментов позволили определить реальную прочность и жесткость конструкции при кратковременном действии нагрузки.

8. Предложено новое конструктивное решение узлов. Проверенные на реальных конструкциях статические испытания подтвердили эффективность предложенных конструктивных решений устройства фасонки из ДСП-В при воздействии различных агрессивных сред [39].

9. 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.

10. Предложено использование ЛВЛ в сквозных конструкциях на примере балочных ферм с разработкой сравнительного анализа по технико-экономическим параметрам для традиционных конструктивных материалов (металл, древесина).

11. 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.

12. 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.

13. Подтверждена целесообразность применения предложенной конструкции из ЛВЛ на практике.

14. Предлагаются конструкции ферм отдельно стоящих зданий пролетом 18, 21, 24, 27, 30, 36 м для Санкт-Петербурга.

15. Однонаправленный шпон может быть использован при изготовлении ферм сегментного очертания, гнutoклеенных рам, арок и купольных конструкций (рис. 74).

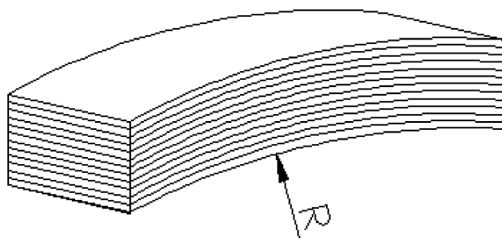


Рис. 74. Гнутый элемент

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

Библиографический список

1. Карлсен Г. Г. «Конструкции из дерева и пластмасс» Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1975.
2. СНиП II-25–80. Нормы проектирования. Деревянные конструкции. – М.: Стройиздат, 1982. – 65 с.
3. Барашков Ю. А. Деревянные клееные конструкции. – М: Знание, 1982. – С. 64.
4. Зубарев Г. Н. Конструкции из дерева и пластмасс. – М.: Высшая школа, 2004.
5. Пособие по проектированию деревянных конструкций (к СНиП II-25-80). – М.: Стройиздат, 1986.
6. ГОСТ 3916.2-96. Фанера общего назначения с наружными слоями из шпона хвойных пород. Технические условия. – Минск, 1996.
7. Шулепов И. А., Доронин Ю. Г. Древесно-слоистые пластики. – М.: Лесная промышленность, 1956.
8. Стрелецкий Н. С. Металлические конструкции. – М.: Стройиздат, 1961.
9. Лубо Л. Н. Легкие металлические пространственные конструкции для общественных зданий: ЦНГИГСА. Вып. 3. – М., 1981. – С. 44.
10. Инжутов И. С. Сборно-разборные складывающиеся конструкции на базе древесины для мобильных зданий // Наука, инновации, подготовка кадров в строительстве: Тезисы докладов Междунар. конф.-выставки по результатам реализации в 2003 г. межотраслевой программы сотрудничества Минобразования РФ и Спецстроя РФ на 2001–2005 гг., 3–4 декабря 2003 г. – М.: МГСУ, 2003. – С. 14–19.
11. Haring Christoph Hermann. Grosskuppel bauten als Holznetzschalen // Bauen mit Holz. – 1983. – № 9. – S. 547 – 550.
12. Kreibich Roland E. Spionweite 162 m Scheitelhohe 48 m // Bauen mit Holz. – 1983. № 1. – S. 22–23.
13. Кассиров В. П. Разработка и экспериментальное обоснование конструкции узловых соединений растянутых элементов из клееной древесины: Автореф. дисс. к. т. н. – М., 1987. – С. 18.
14. Белова А. Н. Жесткие узловые соединения сжато-изгибаемых деревянных конструкций с вклееными связями: Автореф. дисс. к. т. н. – М. 1981. – С. 38.
15. Осетинский Ю. В. Легкие строительные конструкции зданий. – Ростов-на-Д., 1988. – С. 107.
16. Информационные проспекты ОАО «ЛВЛ-Югра». – М.: Лесная промышленность, 2006.
17. Леонтьев Н. Л. Техника испытаний древесины. – М.: Лесная промышленность, 1970.
18. Животов Д. А. и др. Совершенствование деревянных ферм путем применения современных материалов / Д. А. Животов, Г. Г. Никитин, Л. Р. Куправа // Сборник докладов 65-й научной конференции профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета. – СПб.: СПбГАСУ, 2008. – С. 77–80.
19. Кузнецов В. В. Металлические конструкции. Том 2. Стальные конструкции зданий и сооружений // Справочник проектировщика. – М.: АСВ, 1998. – С. 512.
20. ГОСТ 9621-72*. Древесина слоистая клееная. Методы определения физических свойств. – М.: Изд-во стандартов, 1999. – 5 с.
21. ГОСТ 16483.1 – 84. Древесина. Метод определения плотности. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 4 с.
22. Информационные проспекты ООО «СТОД» завод «Талион-Терра». – М.: Лесная промышленность, 2008.
23. Лабудин Б. В. Конструирование и расчет современных пространственных ДКК. Перекрестные балки и купола: Учебное пособие. – Л., 1984. – С. 62.

24. Вдовин В. М. и др. К оценке прочности древесины клееных конструкций, находящихся длительное время в эксплуатации. // Актуальные проблемы современного строительства, строительные материалы и конструкции. – Пенза, 2005. – С. 47–49.
25. Ермолов В. В. Инженерные конструкции. – М., 1991.
26. Животов Д. А. Плоские балочные фермы с применением ЛВЛ // Промышленное и гражданское строительство. – СПб., 2009. – № 8. – С. 52–53.
27. Байков В. Н., Сигалов Э. Е. Железобетонные конструкции. Общий курс. – М., 1991.
28. Уголев Б. Н. Испытания древесины и древесных материалов. – М.: Лесная промышленность, 1965.
29. Информационные проспекты ООО «Финнфорест». – М.: Лесная промышленность, 2007.
30. Леонтьев Н. Л. Длительное сопротивление древесины. – М.: Гослесбумиздат, 1957.
31. Калашиников Б. В. Исследование напряженно-деформированного состояния узлов тонкостенных конструкций: Автореф. канд. дисс. – М., 1983. – С. 23.
32. Дмитриев П. А., Ушаков В. И., Стрижаков Ю. Д. Применение стеклопластиков в креплениях элементов деревянных конструкций: Тез. докл. Международного симпозиума по проектированию, изготовлению и применению деревянных конструкций в строительстве. – Киев, 1976.
33. Палкина Л. В. Исследование напряженно-деформированного состояния сжато-изгибаемых клееных деревянных элементов: Автореф. канд. дисс. – М., 1980. – С. 21.
34. Стрижакова Ю. Д., Ушаков В. И., Дмитриев П. А. Исследование прочности стеклопластика при смятии в отверстиях. – М.: Известия вузов. Строительство и архитектура, 1978.
35. Санжаровский Р. С., Веселов А. А. Теория расчета строительных конструкций на устойчивость и современные нормы. – СПб.; М.: АСВ, 2002. – 127 с.
36. Ашкенази Е. К. Анизотропия древесины и древесных материалов. – М.: Лесная промышленность, 1978. – 223 с.
37. Вдовин В. М., Ишкин В. Л., Мухаев А. И. Работа соединений на клеескольцевых шпонках при передаче усилий под углом к волокнам древесины // III Международная научно-техническая конференция. Эффективные строительные конструкции: теория и практика. – Пенза, 2004. – С. 191–203.
38. Денеш Н. Д. К расчету деревянных сжато-изгибаемых элементов конструкций // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1991. – № 3. – С. 13–17.
39. Калугин А. В., Антипов Р. С. Проблема прогнозирования долговечности клееных деревянных конструкций, эксплуатируемых в агрессивной среде калийных предприятий. // IV Международная конференция. Эффективные строительные конструкции. – Пенза, 2005, С. 201–204.
40. ГОСТ 16483.0–89. Древесина. Общие требования к физико-механическим испытаниям – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 15 с.
41. Воронков А. Г., Ярцев В. П. Эпоксидный полимер-раствор для реконструкции и восстановления элементов деревянных конструкций зданий // II Международная научно-техническая конференция. Эффективные строительные конструкции. – Пенза, 2003. – С. 194–196.
42. Серов Е. Н., Санников Ю. Д. Проектирование клееных деревянных конструкций. Часть II. – СПб., 1998. – С. 132.
43. Сморгачев А. А., Щедрин А. Н., Сморгачев Д. А. К расчету изгибаемых элементов из клееной древесины на сдвиг // Актуальные проблемы современного строительства. Строительные материалы и конструкции. – Пенза, 2005. – С. 82–86.
44. Белянкин Ф. П., Яценко В. Ф. Деформативность и сопротивляемость древесины как упруго-вязко-пластического тела. – Киев: Из-во АН УССР, 1957. – 200 с.
45. Губенко А. Б., Шишкин В. Е. Исследование несущей способности и жесткости деревянных элементов при поперечном изгибе // Исследования по деревянным конструкциям: Сб. ЦНИПС. – М.: Стройиздат, 1950. – С. 94–118.

46. *Иванов Ю. М.* Предел пластического течения древесины. 2-е изд. – М., 1948. – С. 198.
47. *Свенцицкий Г. В.* О пределе пластического течения при поперечном изгибе и при сжатии с изгибом // Вопросы прочности и изготовления деревянных конструкций: Сб. ЦНИПС. – М.: Стройиздат, 1952. – С. 80–84.
48. *Лукаш Г. А.* Основы нелинейной строительной механики. – М.: Стройиздат, 1978. – С. 208.
49. *Леонтьев Н. Л.* Упругие деформации древесины. – М.; Л.: Гослесбумиздат, 1952. – 120 с.
50. *Свенцицкий Г. В.* Устойчивость внецентренно сжатых деревянных стержней // Исследование прочности и устойчивости деревянных стержней: Сб. ЦНИПС. – М.: Стройиздат 1940. – С. 14–55.
51. *Мартынов К. Я.* Комплексная защита древесины в строительных изделиях и конструкциях / ред. В. М. Хрулев. – Новосибирск: Наука, 1996. – 127 с.
52. *Коченов В. М.* Расчет деревянных конструкций по предельным состояниям / Под. ред. д. т. н., проф. Г. Г. Карлсена. – М.: Стройиздат, 1955.
53. *Prager W.* Uber die Querschnittbemessung und zweigurstieger Holzholme // Z.F.M., № 19. 14 Oktober 1933.
54. *Белянкин Ф. П.* Пластические деформации дерева при изгибе. – М.: Изд. и тип. Центра аэрогидродинамического ин-та им. Проф. Жуковского, 1936. – С. 49.
55. *Коченов В. М.* Несущая способность элементов и соединений деревянных конструкций. – М.: Стройиздат, 1953. – С. 320.
56. *Дыбенко Г. И.* Предельное состояние деревянной балки при изгибе со сжатием // Сб. тр. Киевского ИСИ. – Киев, 1959. – Вып. 12.
57. *Губенко А. Б.* Устойчивость центрально-сжатых цельных деревянных стержней // Исследование прочности и устойчивости деревянных стержней: Сб. ЦНИПС. – М.: Стройиздат, 1940. – С. 3–13.
58. *Рафаилов А. Г.* Оценка концентрации напряжений с помощью аппроксимации кривой деформирования материала // Пространственные конструкции в Красноярском крае: Межвузовский сб. – Красноярск, 1985. – С. 108–113.
59. *Сипаренко В. Г., Шапошников В. Н., Ушаков В. И.* Определение усилий в многорядовых центрально-нагруженных нагельных соединениях // Изв. вузов. Строительство и архитектура, 1981.
60. ГОСТ 9625-87. Древесина слоистая клееная. Методы определения предела прочности и модуля упругости при статическом изгибе. – М.: Изд-во стандартов, 1998. – 9 с.
61. *Иванов Ю. М.* Деформация древесины под действием повторной статической нагрузки при сжатии вдоль волокон // Вопросы прочности и изготовления деревянных конструкций: Сб. ЦНИПС. – М.: Стройиздат, 1952. – С. 7–47.
62. *Иванов А. И.* Руководство по изготовлению образцов из древесины. – М.: Лесная промышленность, 1968. – С. 212.
63. *Завриев К. С.* Расчетные формулы прочности в особых случаях. – М.: Гостехиздат, 1935. – С. 88.
64. *Киселева О. А.* Физические основы работоспособности строительных материалов из древесины: монография / О. А. Киселева, В. П. Ярцев; Рос. акад. архит. и строит. наук. – Тамбов: Изд-во Першина, 2007. – 236 с.
65. *Завриев К. С.* Пересмотр формул расчета на одновременное действие изгиба и сжатия // Проект и стандарт. – М.: Строительный эксперт, 1984. – С. 2–7.
66. *Шляпин В. А.* Устойчивость внецентренно-сжатых деревянных стержней из плоскости изгиба: Автореф. дисс. канд. техн. наук. – Свердловск, 1966.
67. *Уголев Б. Н.* Деформативность древесины и напряжения при сушке. – М.: Лесная промышленность, 1977. – С. 174.
68. *Трущев А. Г.* Пространственные металлические конструкции. – М.: Стройиздат, 1983. – 215 с.

69. *Стрелецкий Н. С.* Металлические конструкции. – М., 1961.
70. Рекомендации по испытаниям клеевых соединений деревянных строительных конструкций. – М., 2003.
71. Металлические конструкции. В 3 т. Т. 2. Стальные конструкции зданий и сооружений. (Справочник проектировщика) / под общ. ред. В. В. Кузнецова (ЦНИИПроектстальконструкция им. Н. П. Мельникова). – М.: изд-во АСВ, 1998. – 512 с.
72. Исследование узловых соединений *LVL*, разработка рекомендаций по применению конструкций на основе *LVL*: Научно-технический отчет / С. Б. Турковский, А. А. Погорельцев, А. В. Федченко, А. Н. Воротков. – М.: ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко. Филиал ФГУП НИЦ «Строительство», 2005. – 114 с.
73. *Леонтьев Н. Л.* Упругие деформации древесины. – М.; Л.: ГЛБИ, 1952. – 117 с.
74. *Ковальчук Л. М.* Эксплуатационная надежность деревянных клееных конструкций. – М.: Строительный эксперт, 2004.
75. *Гётц К.-Г.* и др. Атлас деревянных конструкций. – М.: Стройиздат, 1985. – С. 272.
76. *Слицкоухов Ю. В., Буданов В. Д.* Конструкции из дерева и пластмасс. – М., 1986.
77. *Mönck W.* Holzbau-8, bearb. Aufl.-Berlin: VEB Verlag für Bauwesen, 1982. – 352 s.
78. *Ушаков В. И.* Безметалльные деревянные фермы с крепежными элементами из стеклопластиков: Автореф. канд. дисс. – Новосибирск, 1989. – С. 17.
79. *Gluys T. J., Hobbs S. C.* Connector assembly, EP 1640520 A2, 2006.
80. *Шмидт А. Б., Дмитриев П. А.* Атлас строительных конструкций из клееной древесины и водостойкой фанеры. – М.: Изд-во Ассоц. строит. вузов, 2002. – 291 с.
81. III съезд ассоциации деревянного домостроения (2009, СПбГАСУ).
82. *Товстик П. Е., Шеховцов А. С.* Нелинейный изгиб балки из разномодульного материала // Вестник СПбГУ. – 2007. – № 4.
83. *Белова А. Н.* Жесткие узловые соединения сжато-изгибаемых деревянных конструкций с вклеенными связями: Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. к. т. н. – М., 1961.
84. *Турковский С. Б., Фролов В. И., Белова А. Н.* Экспериментальные исследования карнизного узла на вклеенных стержнях сборной деревянной рамы // Разработка и совершенствование деревянных конструкций. Сб. научн. Тр. / ЦНИИСК. – М., 1989. – С. 147–160.
85. *Животов Д. А.* 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>.
86. *Кассиров В. П.* Разработка и экспериментальное обоснование конструкции узловых соединений растянутых элементов из клееной древесины: Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. к. т. н. – М., 1987. – С. 20.
87. *Арленинов Д. К., Буслаев Ю. Н., Игнатьев В. П.* Деревянные конструкции. Примеры расчета и конструирования: Уч. пос. – М.: Изд-во АСВ, 2006. – 246 с.
88. *Шалун Г. Б., Сурженко Е. М.* Слоистые пластики. – Л.: Химия, 1978. – 232 с.
89. *Берковская Д. А., Касабян Л. В.* Клееные деревянные конструкции в зарубежном и отечественном строительстве: Обзор. – М.: ЦНИИС, 1975. – 107 с.
90. Международная научно-практической конференция «ЛВЛ – новое прогрессивное решение в строительстве». – СПб., 2009.
91. *Животов Д. А.* Определение прочностных характеристик LVL // 62-я международная научно-техническая конференция молодых ученых (аспирантов, докторантов) и студентов. – СПб.: СПбГАСУ, 2009. – С. 55–56.
92. *Светозарова Е. И., Серов Е. Н.* Конструктивные решения клефанерных рам сельскохозяйственных производственных зданий, разработанные ЛИСИ, и вопросы их расчета // Конструкции с применением пластических масс: Докл. к XXIV науч. конф. ЛИСИ / ЛИСИ. – Л., 1966. – С. 53–56.

93. *Романов Н. Т.* Технология древесных пластиков и плит. – М.: Лесная промышленность, 1965. – 500 с.
94. *Светозарова Е. И., Серов Е. Н.* Экспериментальное исследование узлов клеефанерных рам, разработанных в ЛИСИ // ЛИСИ. – Л., 1984. – С. 56–58.
95. *Никитин Г. Г.* Вопросы применения и расчета нагельных соединений из пластмасс // Клееные и клеефанерные конструкции с применением пластических масс: Сб. науч. тр. – Л.: ЛИСИ, 1961. – С. 78–117.
96. *Mönck W.* Grundlagen für die Bemessung in Holzbau, Band 1. Leipzig, 1959. – 370 s.
97. *Аустов Н. Н.* Испытание статической нагрузкой строительных конструкций, их элементов и моделей. – М.: Изд-во Наркомхоза РСФСР, 1938. – 230 с.
98. *Поляков Л. П., Файнбурд В. М.* Моделирование строительных конструкций. – Киев: Будівельник, 1975. – 160 с.
99. *Поздняков А. А.* Прочность и упругость композиционных древесных материалов. – М.: Лесная промышленность, 1988. – 134 с.
100. *Шевченко В. А.* Слоистые пластики. – Киев: Техника, 1964. – 216 с.
101. ГОСТ 16483.0-89. Древесина. Общие требования к физико-механическим испытаниям. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 13 с.
102. ГОСТ 9623-87. Древесина слоистая клееная. Методы определения предела прочности и модуля упругости при растяжении. – М.: Изд-во стандартов, 1998. – 8 с.
103. ГОСТ 9622-87. Древесина слоистая клееная. Методы определения предела прочности и модуля упругости при растяжении. – М.: Изд-во стандартов, 1998. – 9 с.
104. *Генель С. В.* Древесные пластики в технике. – М.: Акад. наук СССР, 1959. – 86 с.
105. *Нысенко Н. Т.* Древесные пластмассы. Технология, свойства и применение. – М.: Лесная промышленность, 1964. – 106 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Описание программного обеспечения, предлагаемого компанией ООО «Финнфорест»

«Финнфорест» создал удобное программное обеспечение «Финнвуд» для определения размеров напольных и кровельных балок и опор из материалов производства бруса, клеенного из однонаправленного шпона (рис. П1.1). «Финнвуд» позволяет определить оптимальные размеры балок и опор для любых конструктивных моделей и нагрузок, указанных клиентом. Определение размеров осуществляется в соответствии с Еврокодом-5 (ЕС 5) и национальными приложениями к нему.

«Финнвуд» – это однопользовательский вариант программного обеспечения для конструктивных расчетов деревянных элементов, таких как балки для перекрытий, крыш и колонн. Он разработан компанией Metsäliitto Cooperative Finforest для партнеров и клиентов компании и является ее собственностью.

Программа даст заказчикам следующие возможности:

- определить модель конструкции (промежуточные расстояния, длину опор);
- проверить нагрузки и комбинации нагрузок на отдельные элементы;
- проверить и задать настройки для проверки конструкции в целом;
- выбрать материал, его класс по способу использования и класс надежности;
- применить автоматический поиск подходящих поперечных сечений, найти оптимальные промежутки между балками;
- просмотреть готовый проект и диаграммы;
- сохранить расчеты для последующего редактирования;
- печатать результатов проектирования в файл .pdf.

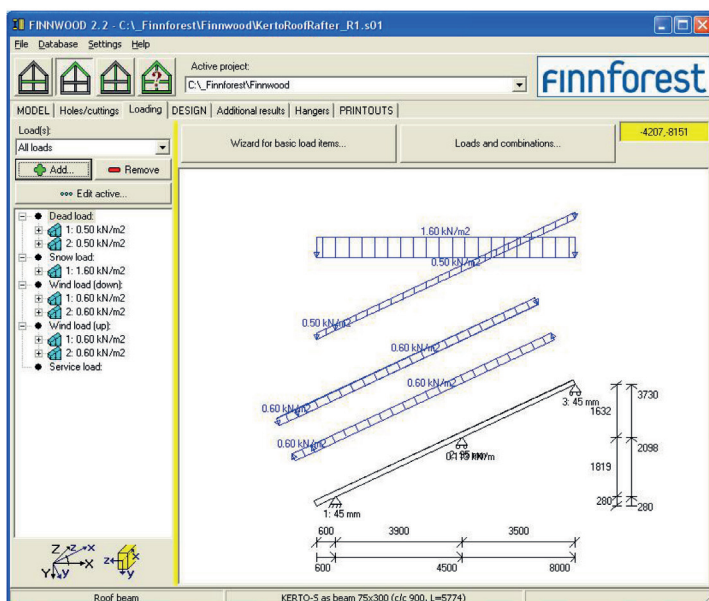


Рис. П1.1. Расчет балки

Балки в перекрытиях пола и крыши

«Керто» предназначены для несущих балок как для деревянного каркаса, так и для опорных балок в домах из камня. Балки «Керто» применяются в качестве балок перекрытий пола, междуэтажных, кровельных перекрытий и опорных балок (рис. П1.2).

В балках «Керто-S» объединены лучшие свойства древесины, такие как прочность, легкость и удобство обработки. Высокая прочность балки «Керто» в течение длительного времени препятствует появлению нежелательной вибрации в полу и междуэтажном перекрытии. С архитектурной точки зрения «Керто-S» является передовым материалом в открытых кровельных конструкциях.

В частных домах из балок «Керто-S» можно легко создавать комнаты с высокими потолками и большими пролетами, окна большой площади, эркеры, ярусы и балконы.

«Керто» подходит для балок самых разных типов по следующим причинам.

- Выпускается широкий ассортимент балок стандартных сечений, и возможно также производство балок нестандартных сечений по заказу клиента.
- По форме балки «Керто» имеют большую высоту и малую ширину, поэтому их применение позволяет улучшить энергосберегающие свойства стен и уменьшить потери тепла в конструкциях перекрытия и кровли.
- Подбор оптимального сечения снижает материалозатраты.
- Высокий коэффициент упругости и жесткость при изгибе помогает ограничивать деформации.
- Материал и схемы расчета нагрузок протестированы также для балок с отверстиями и выемками.
- Использование собственной программы «Финнфореста» – Finnwood повышает скорость и точность проектирования.

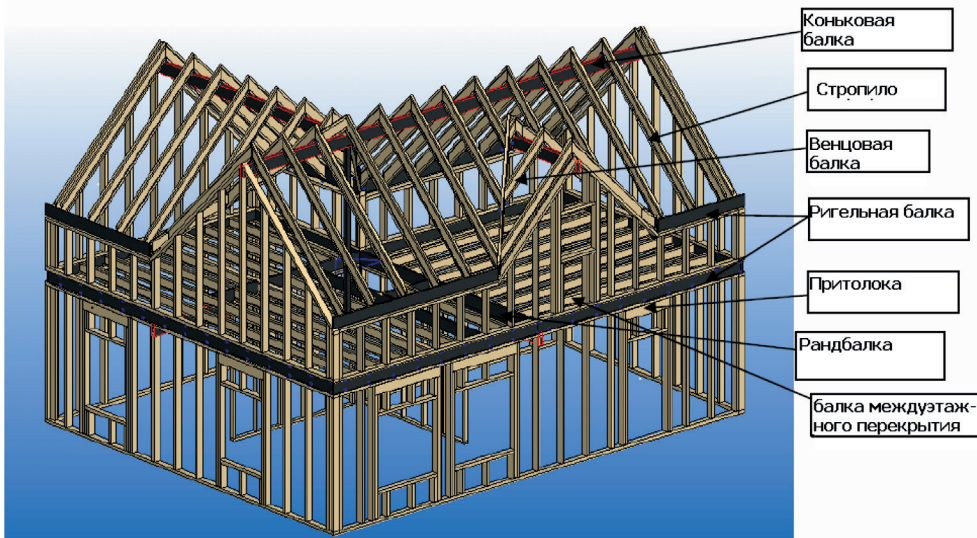


Рис. П1.2. Применение балок «Керто»

Расчеты

Расчеты строительных элементов из «Керто» проводятся в Финляндии по стандартам Еврокода-5 и инструкциям в национальном приложении к этим стандартам.

На рисунках представлены максимальные значения расстояний (шага) для балок полов и потолков и расчетные таблицы для несущих балок полов и потолков – для стандартных сечений балок «Керто-S». Большой выбор стандартных сечений балок «Керто» позволяет выбрать оптимальный вариант и для больших пролетов.

Сравнение прочностных характеристик «Керто-S», клееного бруса класса L40 и пиломатериала класса T24 представлено на рис. П1.3.

Свойства:	Kerto-S	L40	T24
Сгибание	37	31	20
Растяжение в направлении волокон	32	21	13
Сжатие в направлении волокон	30	30	19
Сжатие перпендикулярно волокнам	7,0	4,3	3,1
Разрыв	3,5	2,4	2,0
Модуль упругости	10 400	8500	6500

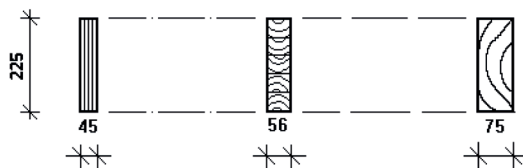


Рис. П1.3. Сечение балок

Также необходимо обратить внимание на соотношение объема материала при одинаковых прочностных характеристиках.

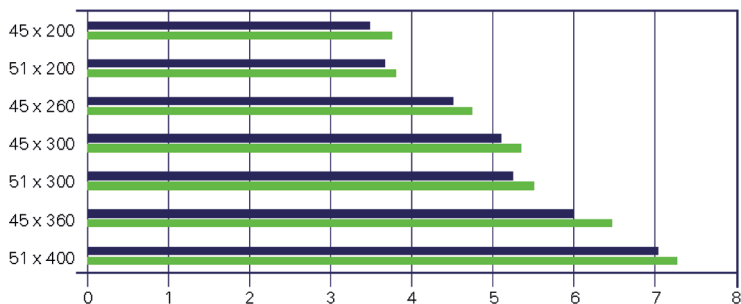


Рис. П1.4. Зависимость сечения балки от пролета

Максимальный пролет для «Керто-S» в метрах в перекрытиях пола деревянного дома показан на рис. П1.4.

Размеры рассчитаны согласно Еврокоду и национальным правилам его применения RIL 205-1-2007. Собственный вес конструкции составляет $0,6 \text{ кН/м}^2$, полезная нагрузка $2,0 \text{ кН/м}^2$, шаг балок $k \leq 400 \text{ мм}$. Для расчета вибрации взяты следующие данные: *верхняя стружечная плита 22 мм без воздействия соединения*, одна линия жесткости в середине балок и комната квадратной формы, в которой опоры пола расположены по периметру.

Размеры рассчитаны согласно Еврокоду и национальным правилам его применения RIL 205-1-2007. Собственный вес конструкции составляет $0,6 \text{ кН/м}^2$, полезная нагрузка $2,0 \text{ кН/м}^2$, шаг балок $k \leq 400 \text{ мм}$. Для расчета вибрации взяты следующие данные: *верхняя стружечная плита 22 мм, склеенная на стройплощадке*, одна линия жесткости в середине балок и комната квадратной формы, в которой опоры пола расположены по периметру.

Нижеследующие расчеты сделаны также по Еврокоду-5. Доля собственного веса 20 %. Ширина опоры 120 мм. Конечный изгиб $w_{fin} \leq L/300$, начальный изгиб $w_{inst} \leq L/400$.

Максимальная удельная нагрузка на несущие балки «Керто-S» в полах представлена на рис. П1.5, а в стропилах (для наибольших стандартных сечений) – на рис. П1.6.

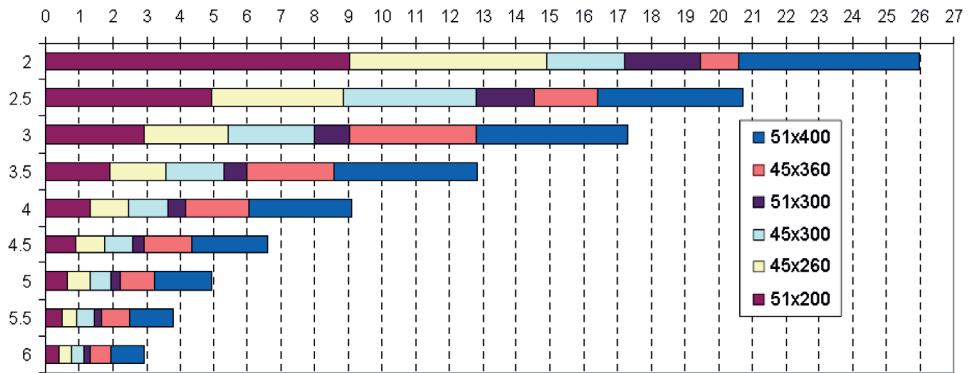


Рис. П1.5. Зависимость сечения балки от пролета в перекрытии

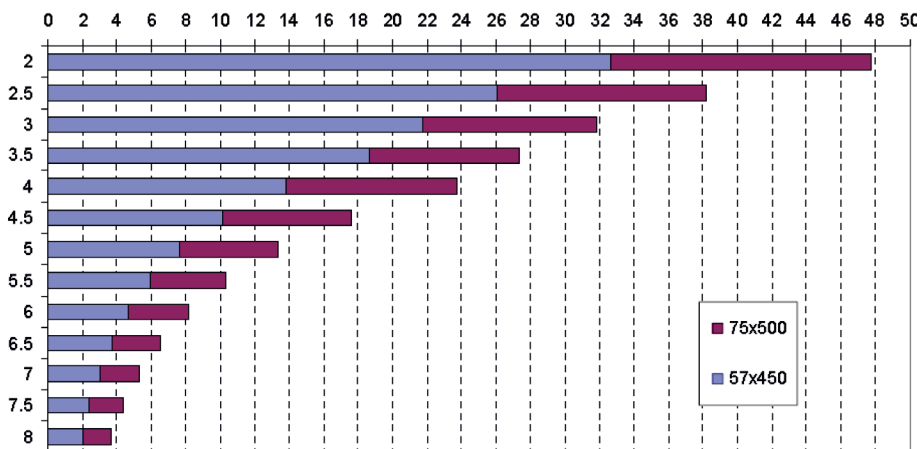


Рис. П1.6. Зависимость сечения стропил от пролета

Основные типы ферм, представленные в современной научной литературе

№ пп.	Схемы	Сечения поясов	n, шт d, м	Пролет l, м	h l	Технико-экономические показатели		Назначение
						k _{с.р.}	k _{м.}	
I. Фермы бревенчатые и брусовые на лобовых врубках								
1			n = 4-8 d = 1,5-2,5	9-18	1/5	4,5-6,0	15-20	Построечное
2			n = 4-10 d = 1,5-2,5	12-24	1/6	4,0-5,5	15-20	
3			n = 4-10 d = 1,5-2,5	9-18	1/6	4,5-6,0	15-20	
II. Металлодеревянные фермы ЦНИИСК с брусовым верхним поясом								
4			n = 4-6 d = 1,5-3,0	9-18	1/5 - 1/6	3,5-5,0	25-30	Заводское
5			n = 4-10 d = 1,5-3,0	9-24	1/6 - 1/7	3-4,0	25-35	
6			n = 4-6 d = 1,5-3,0	9-18	1/6 - 1/7	3-4,0	25-35	
7			n = 8-12 d = 1,5-2,5	12-36	1/6 - 1/7	3-4	25-35	
III. Металлодеревянные крупнопанельные фермы с составным верхним поясом из клееных блоков								
8			n = 2 d = 4-6	9-12	1/6 - 1/8	3,5-4	20-30	Заводское
9			n = 4 d = 3-6	12-24	1/6 - 1/7	3,5-4	25-35	
10			n = 4 d = 3-6	12-24	1/8 - 1/7	3-4	25-35	
11			n = 4 d = 3-6	12-24	1/6 - 1/7	3-4	25-35	

Рис. П2.1. Основные типы ферм. Начало

№ пп.	Схемы	Сечения поясов	n, шт d, м	Пролет l, м	h T	Технико-экономические показатели		Изготовление
						k _{с.р.}	k _{м.}	
<i>IV. Металлодеревянные сегментные фермы с клееным верхним поясом</i>								
12			n = 3 → 7 d = 3 → 5	12—36	$\frac{1}{6} - \frac{1}{7}$	2,5—3	30—35	Заводское
<i>V. Фермы из фанерных и стеклопластиковых труб</i>								
13			n = 6 → 12 d = 1,5 → 2	12—24	$\frac{1}{8}$	2,5—3,5	—	Заводское
14			n = 6 → 12 d = 1,5 → 2	12—24	$\frac{1}{6}$	2,5—3,5	—	
<i>VI. Фермы дощитые сегментные на гвоздях</i>								
15			n = 8 d = 1,5 → 2	12—15	$\frac{1}{6}$	2,5—3,5	9—12	Построечное

n — количество панелей по верхнему поясу.

Рис. П2.1. Окончание

Типы ферм

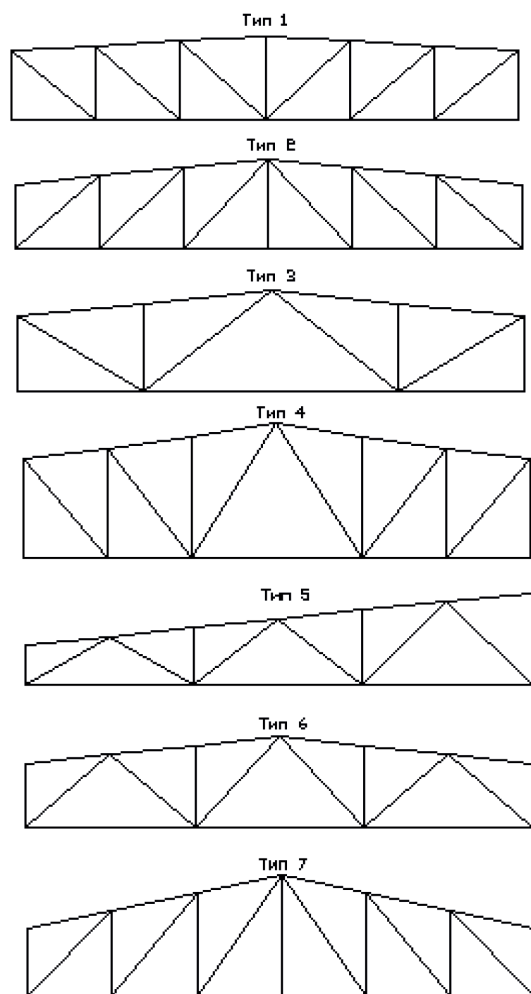


Рис. ПЗ.1. Разные типы ферм

Типы ферм на примере 18 м

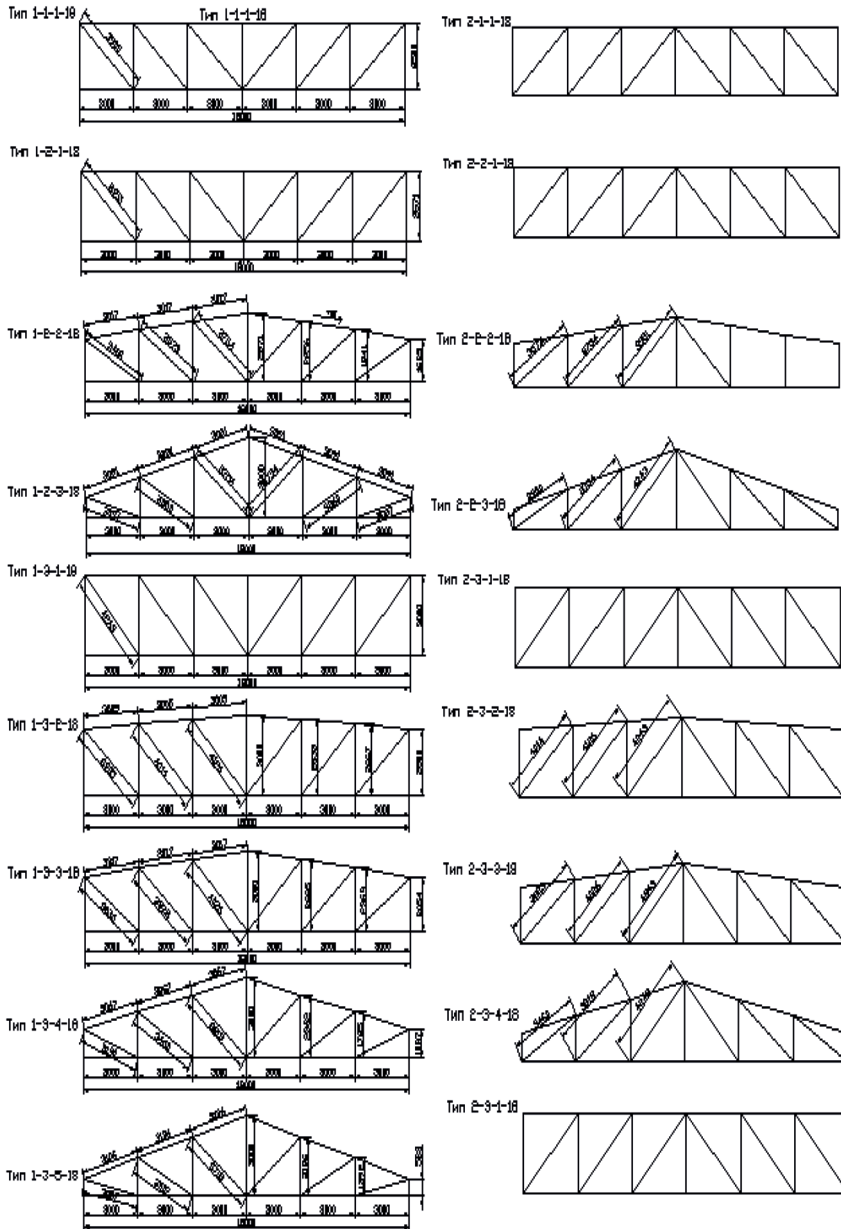


Рис. П4.1. Типы ферм пролетом 18 м. Начало

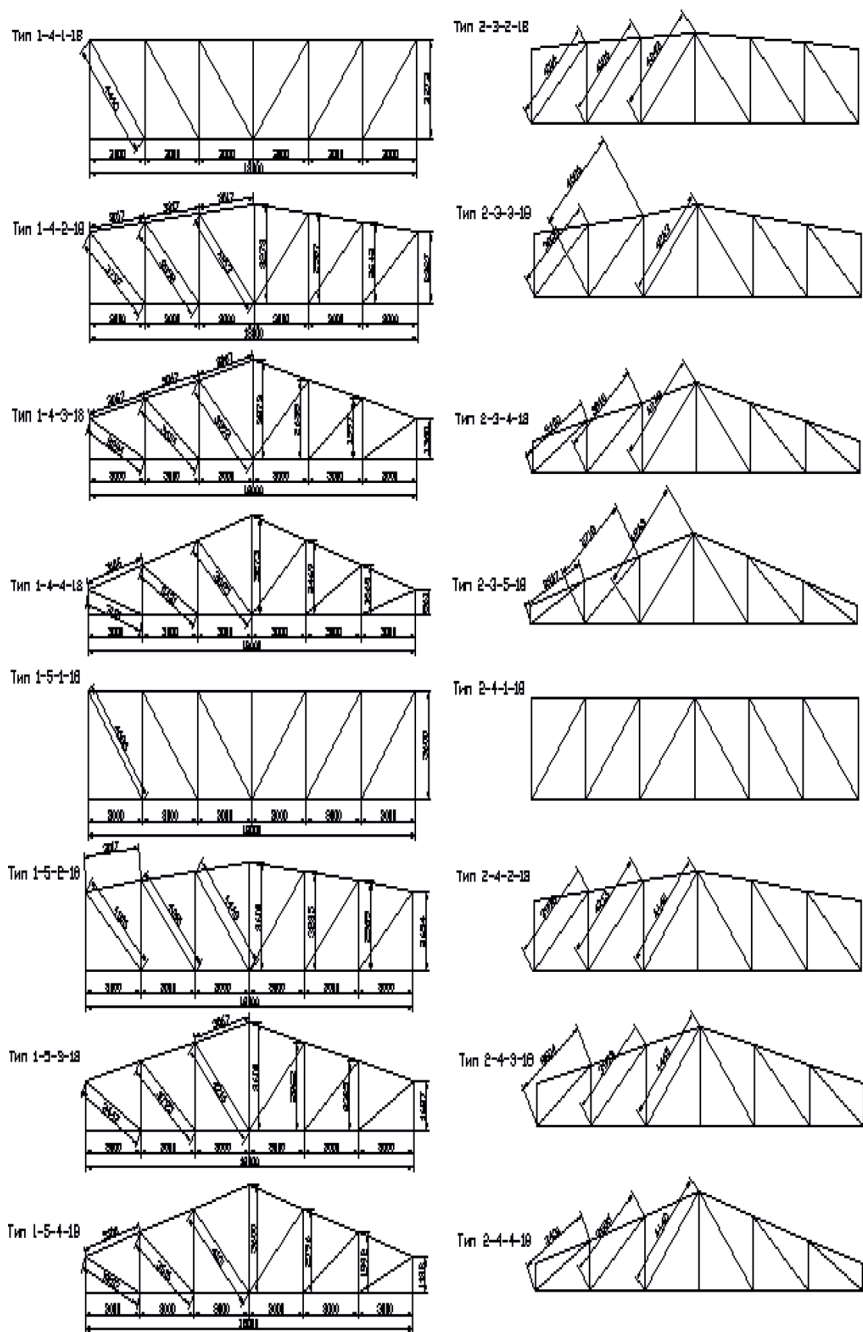


Рис. П4.1. Продолжение

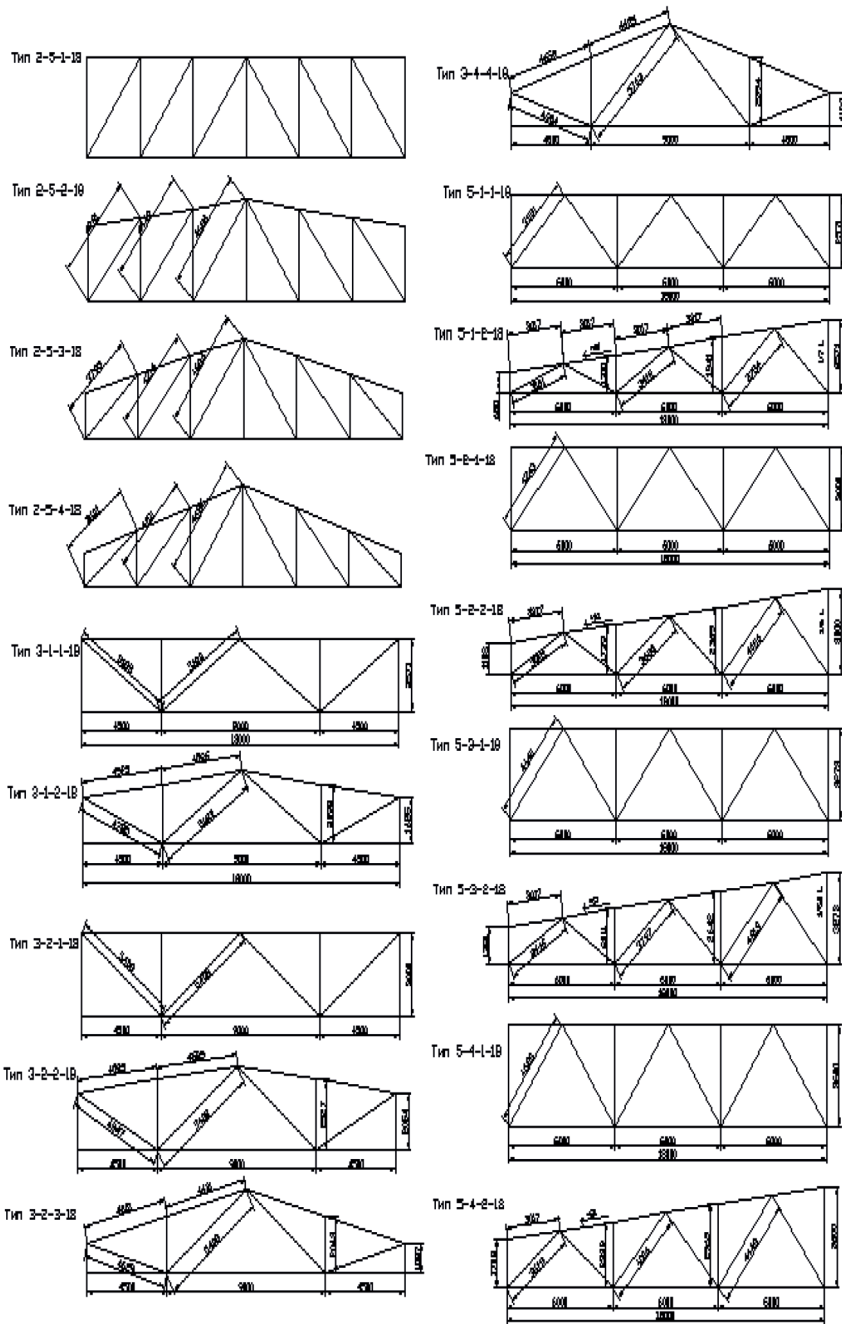


Рис. П4.1. Продолжение

Приложение 6

Расчет технико-экономических показателей ферм

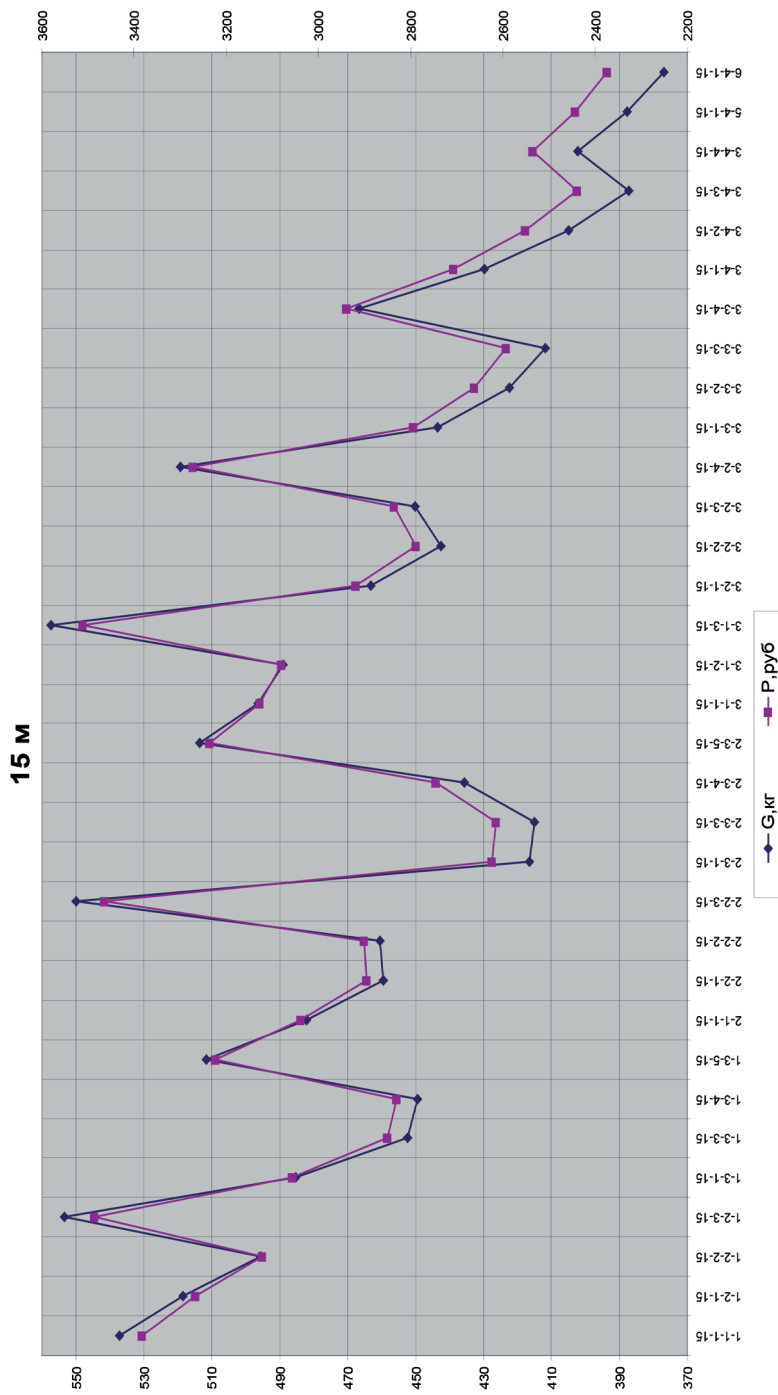


Рис. Пб.1. Зависимость веса и стоимости от типа фермы

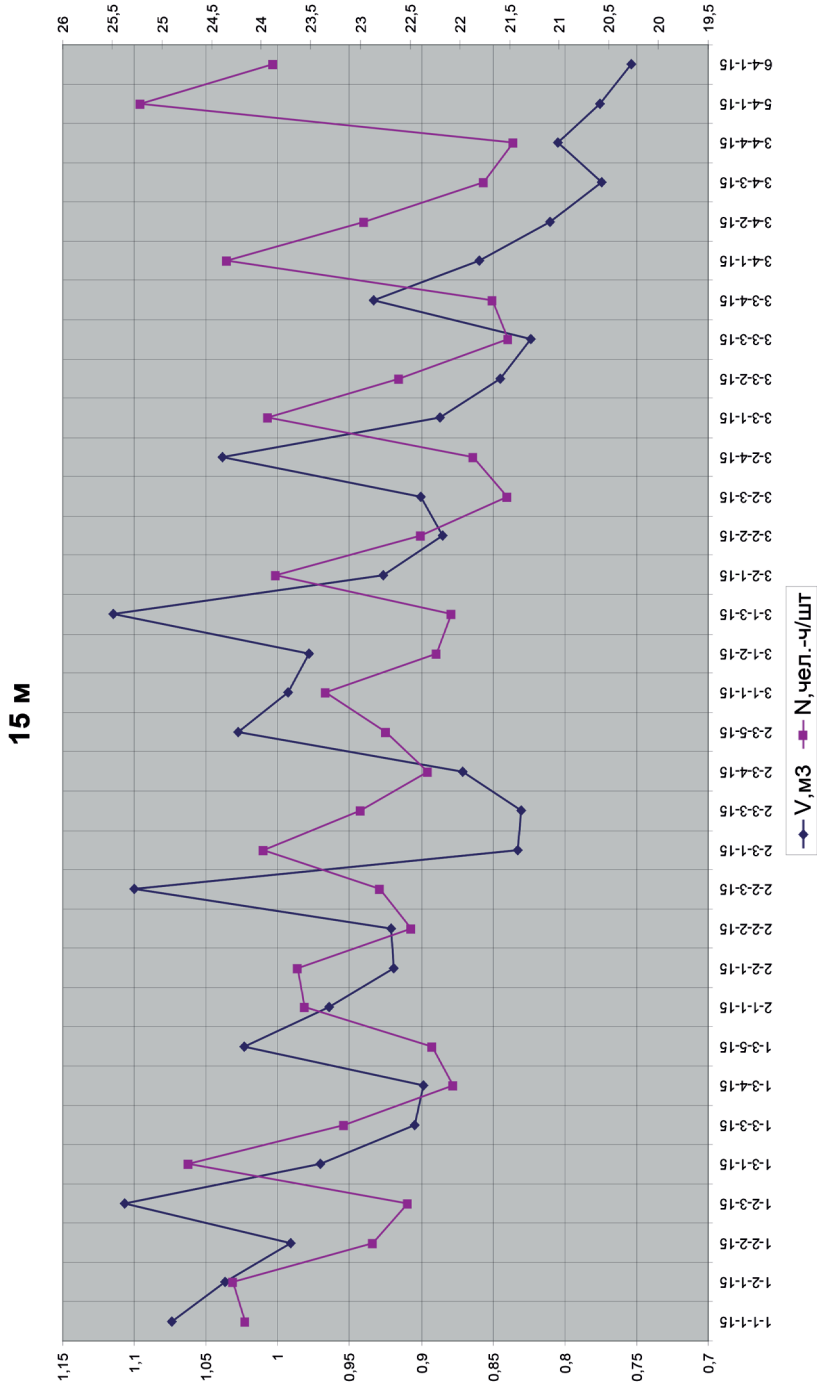


Рис. Пб.2. Диаграмма зависимости V , m^3 и N , чел.-ч/шт., для пролета 15 м

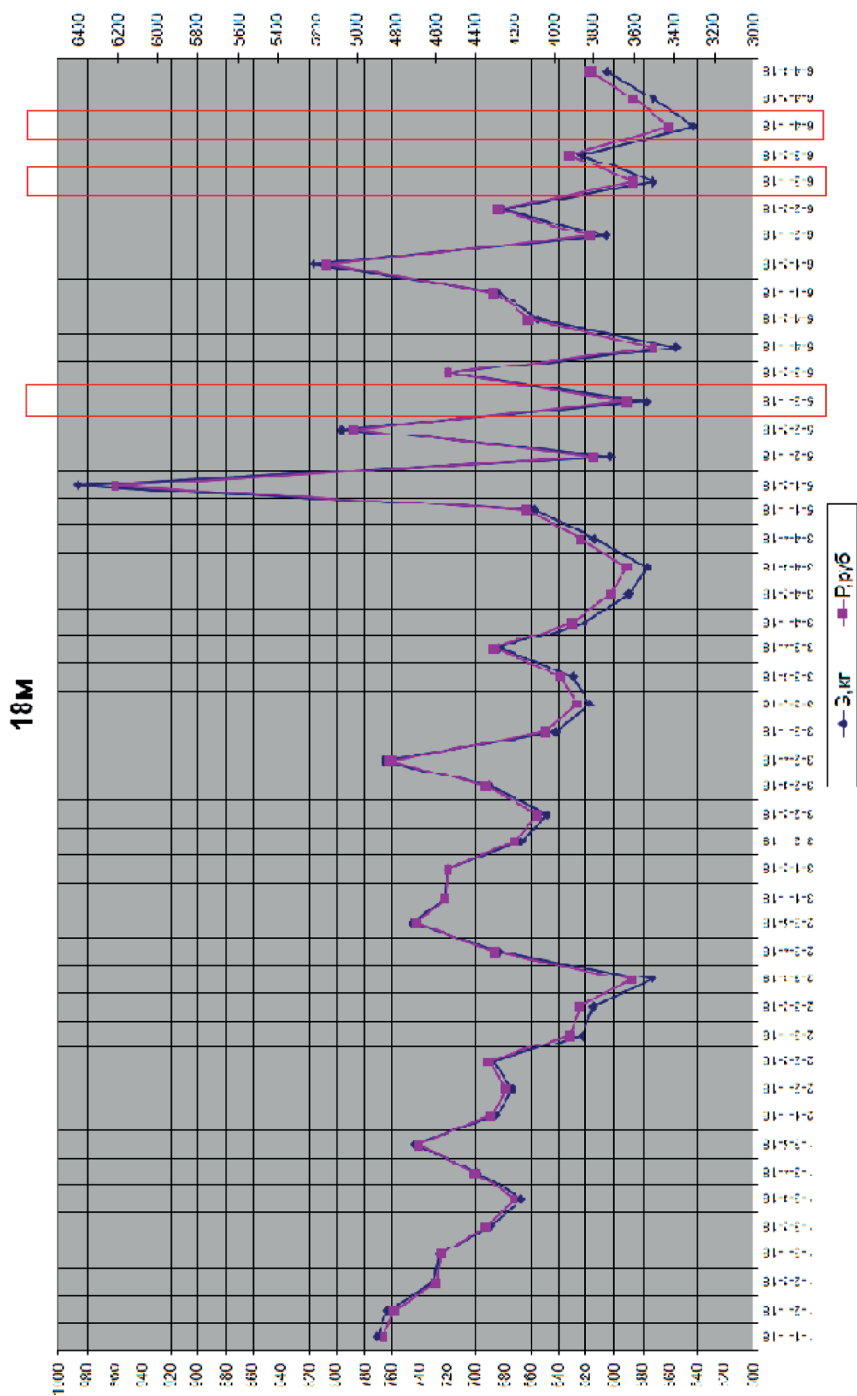


Рис. Пб.3. Диаграмма зависимости по G, кг, и P, p/s, для пролета 18 м

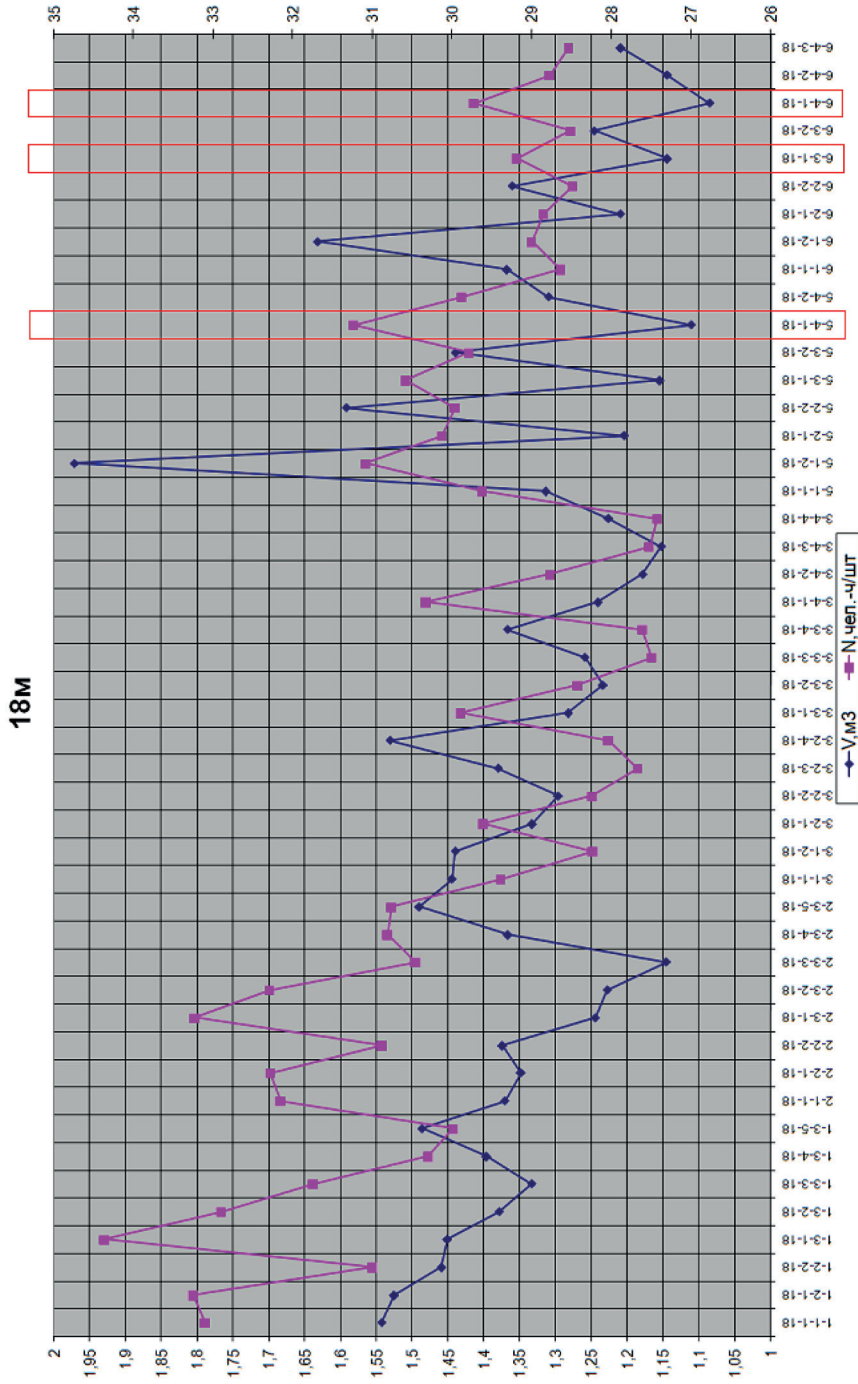


Рис. Пб.4. Диаграмма зависимости V , м³, и N , чеп./шт., для пролета 18 м

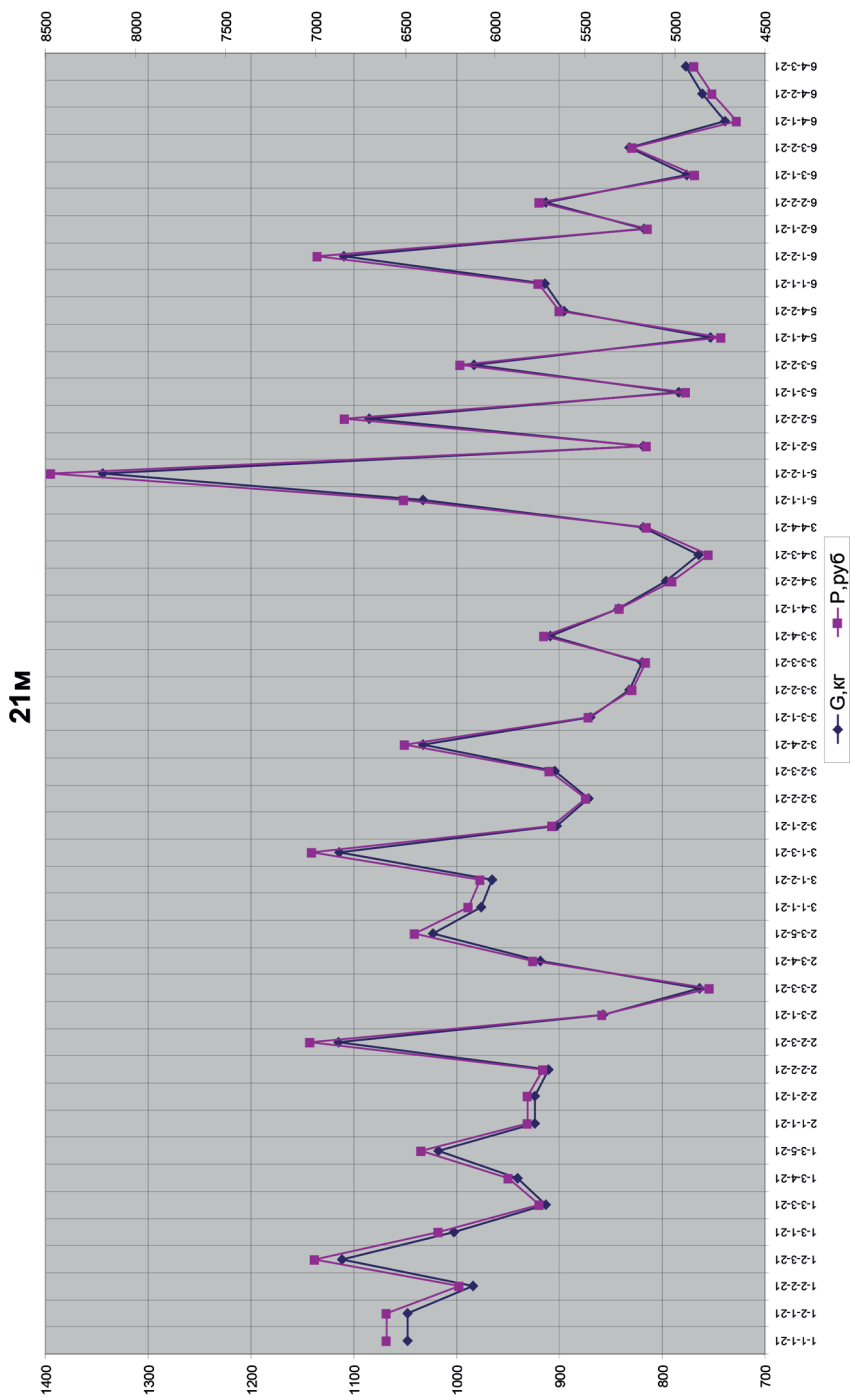


Рис. Пб.5. Диаграмма зависимости по G, кг, и P, руб, для пролета 21 м

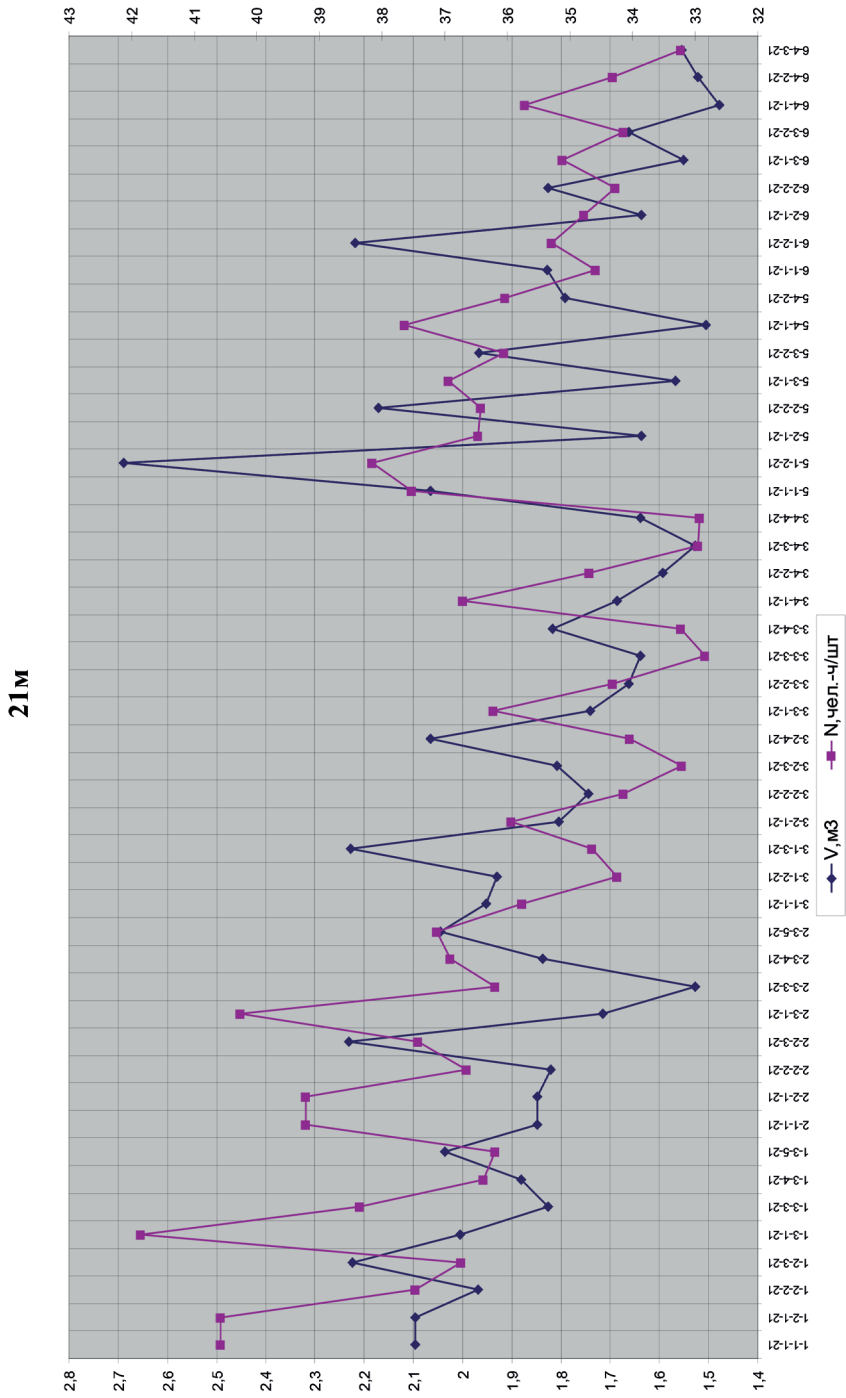


Рис. Пб.6. Диаграмма зависимости V, m^3 , и N , чел.-ч/штг., для пролета 21 м

24м

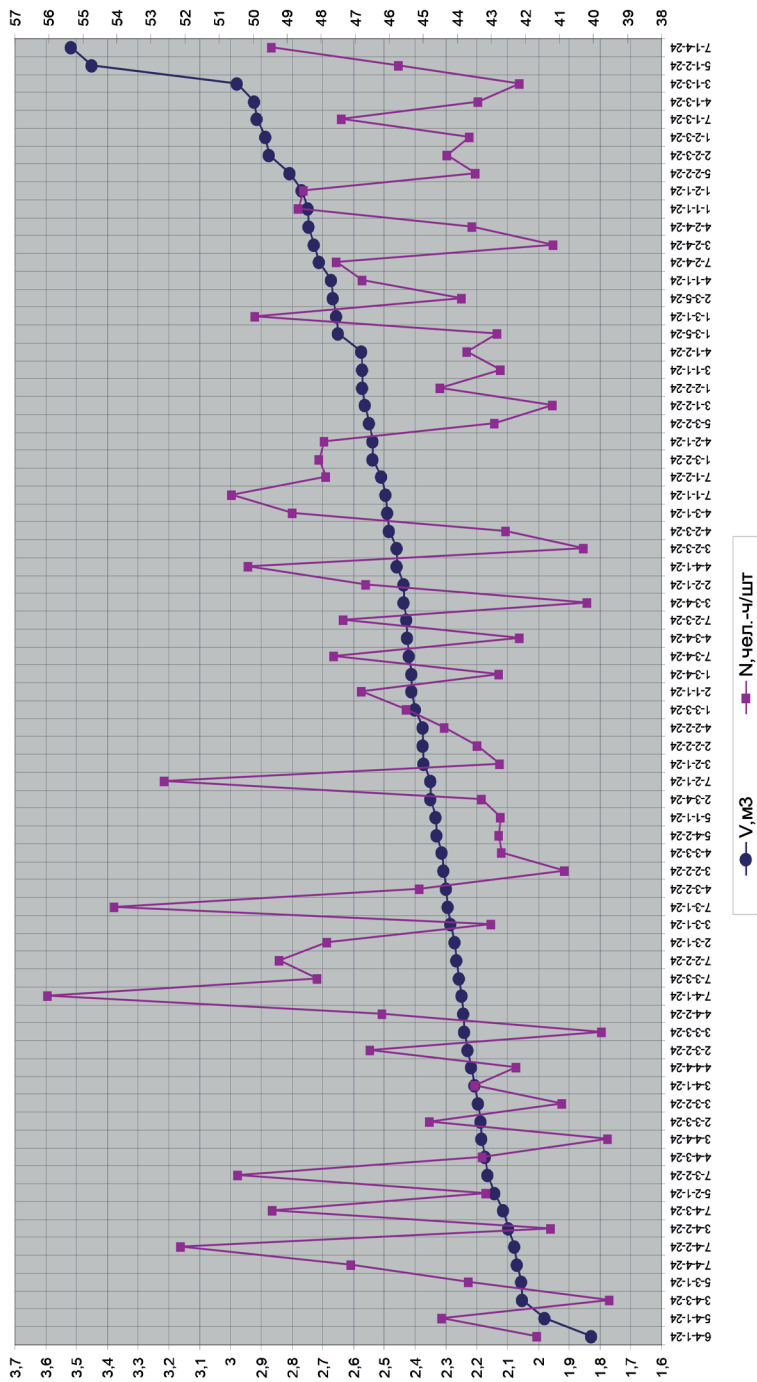


Рис. Пб.7. Диаграмма зависимости V , m^3 и N , чел.-ч/шт., для пролета 24 м

24М

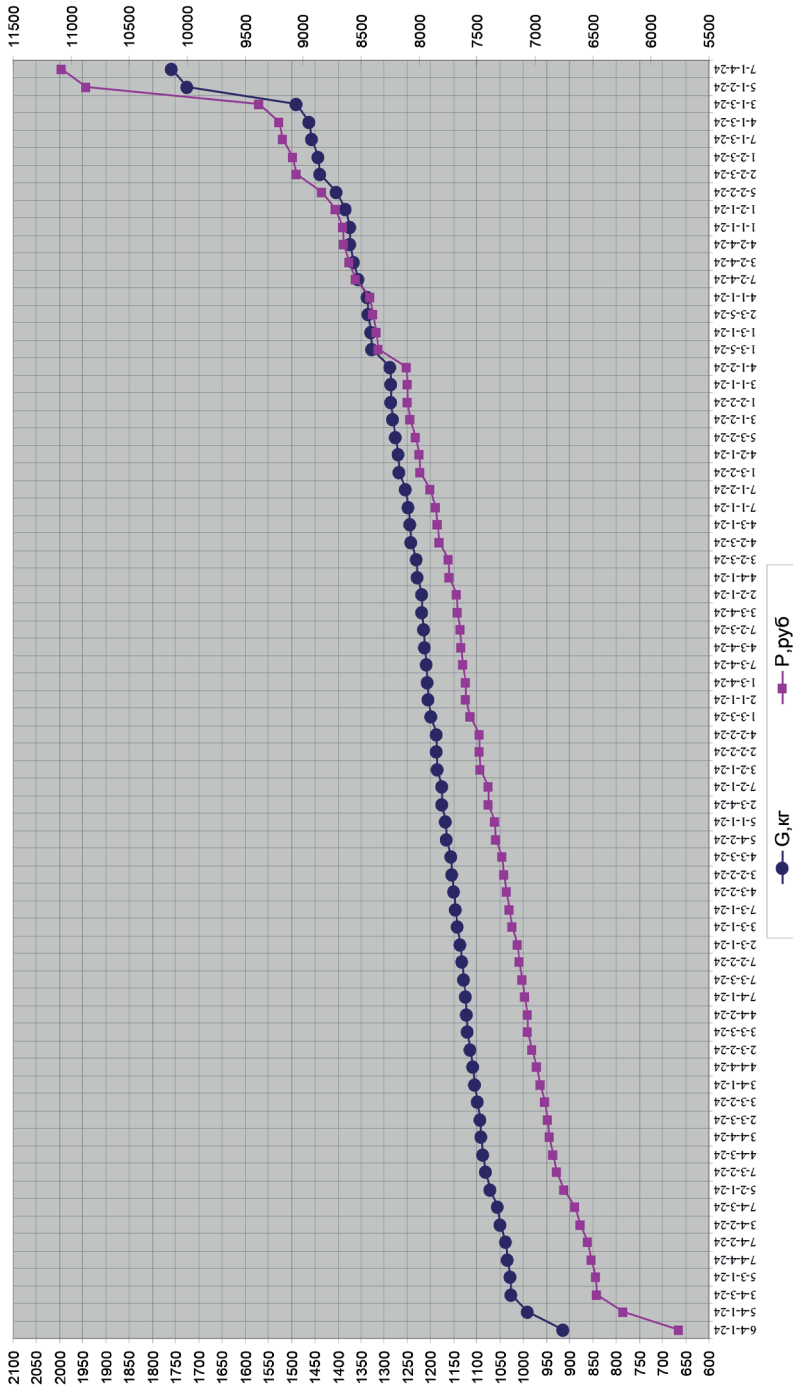


Рис. Пб.8. Диаграмма зависимости по G , кг, и P , руб., для пролета 24 м

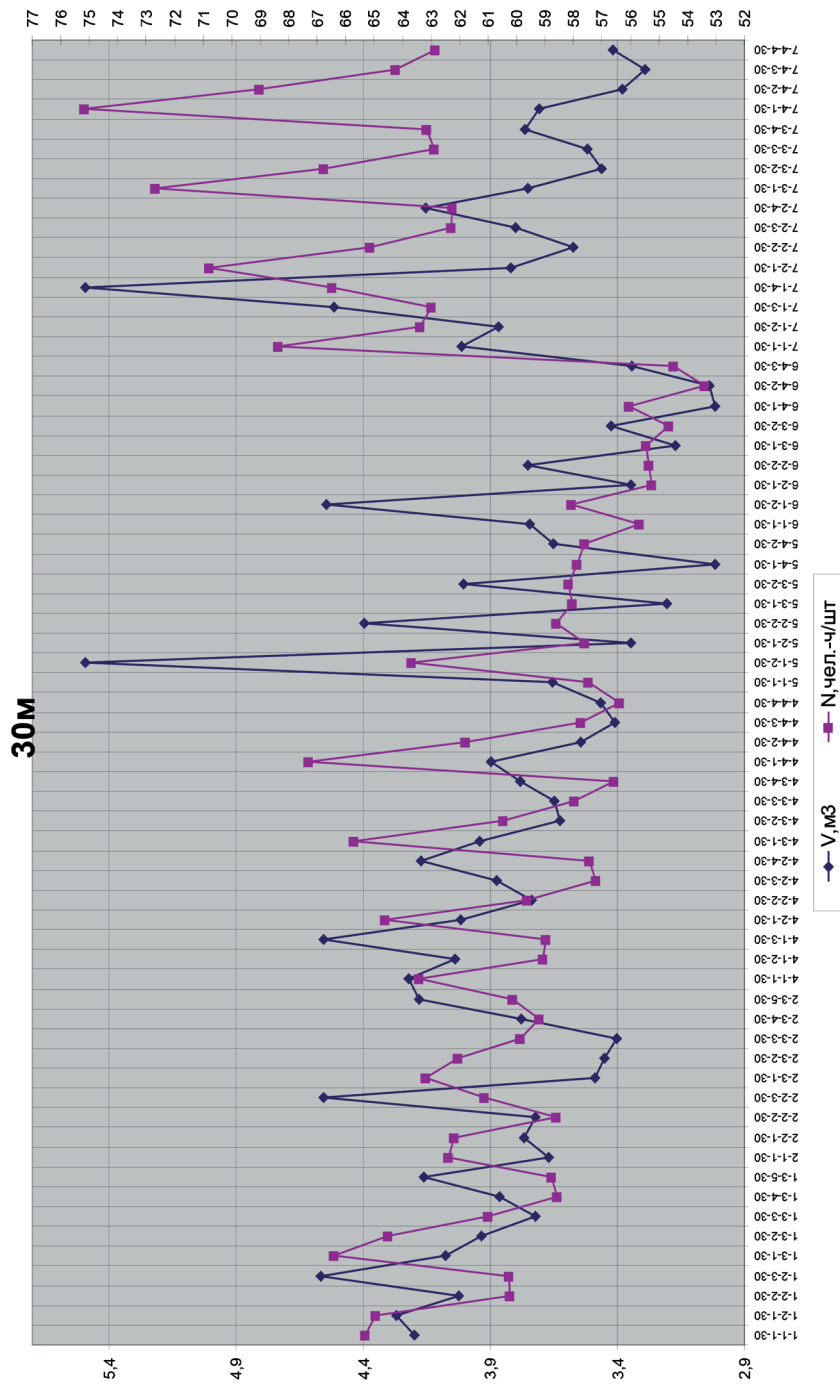
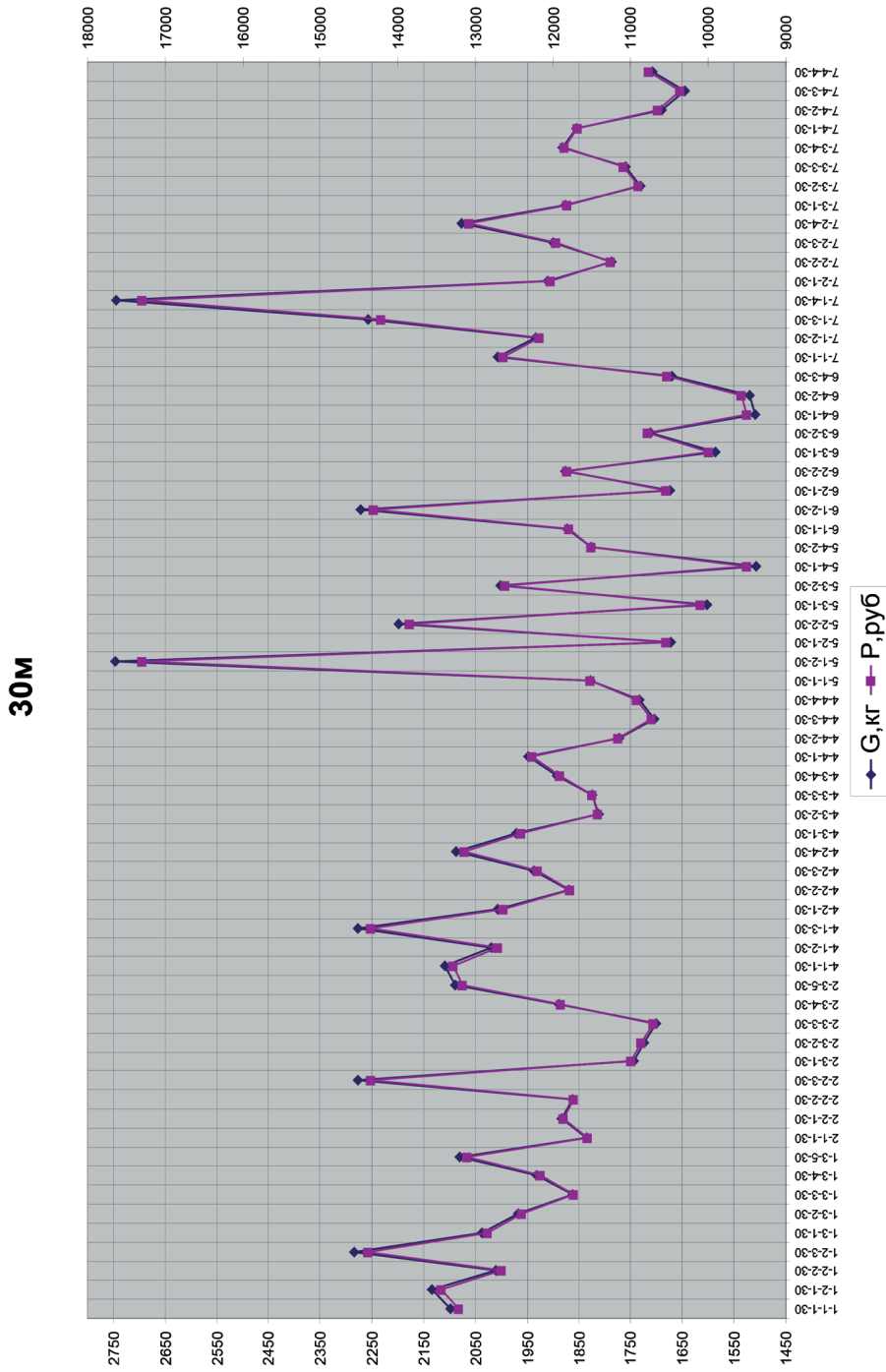


Рис. Пб.11. Диаграмма зависимости V , m^3 , и N , чел.-ч/шт., для пролета 30 м



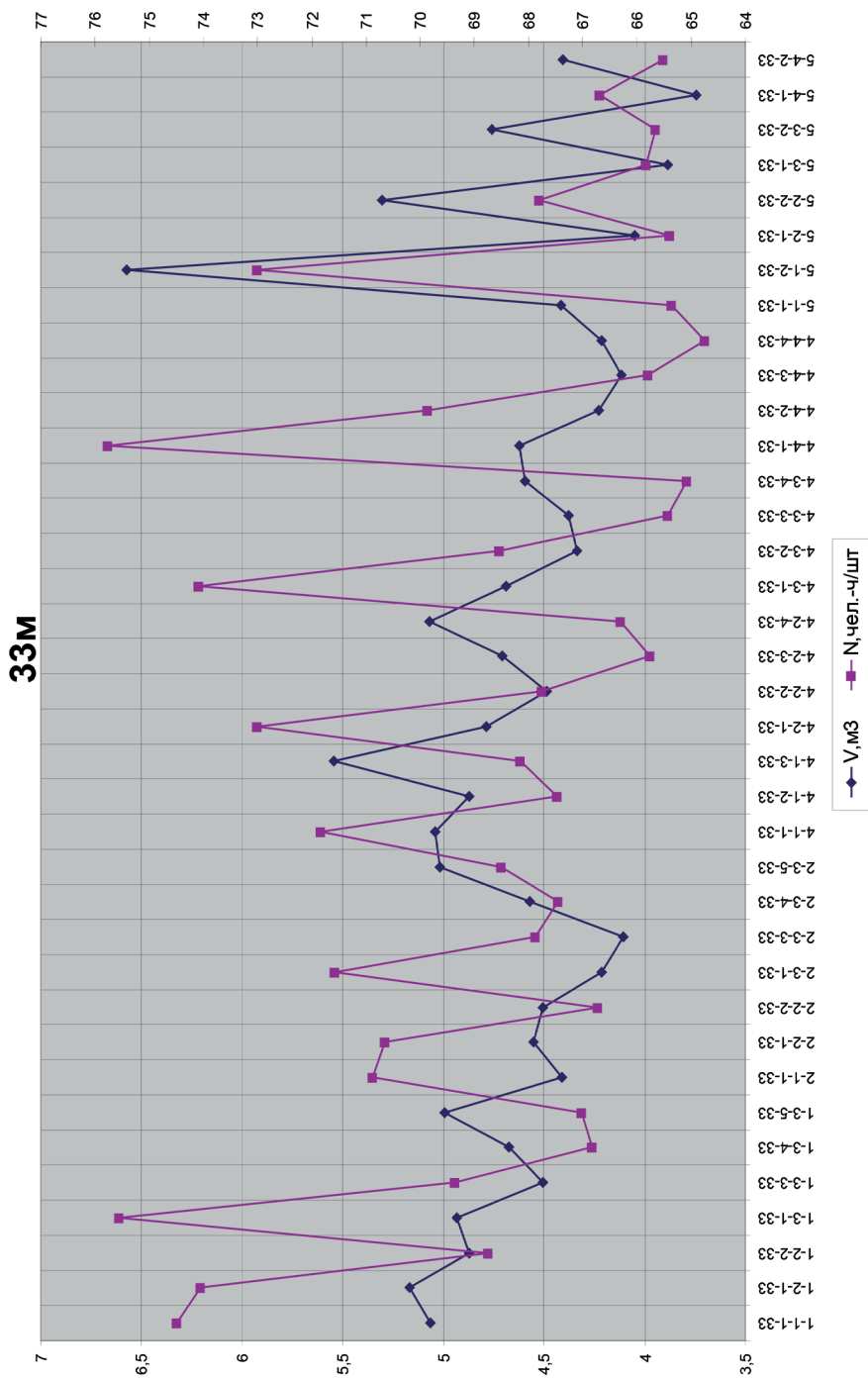


Рис. Пб.13. Диаграмма зависимости V , m^3 , и N , чел.-ч/шт., для пролета 33 м

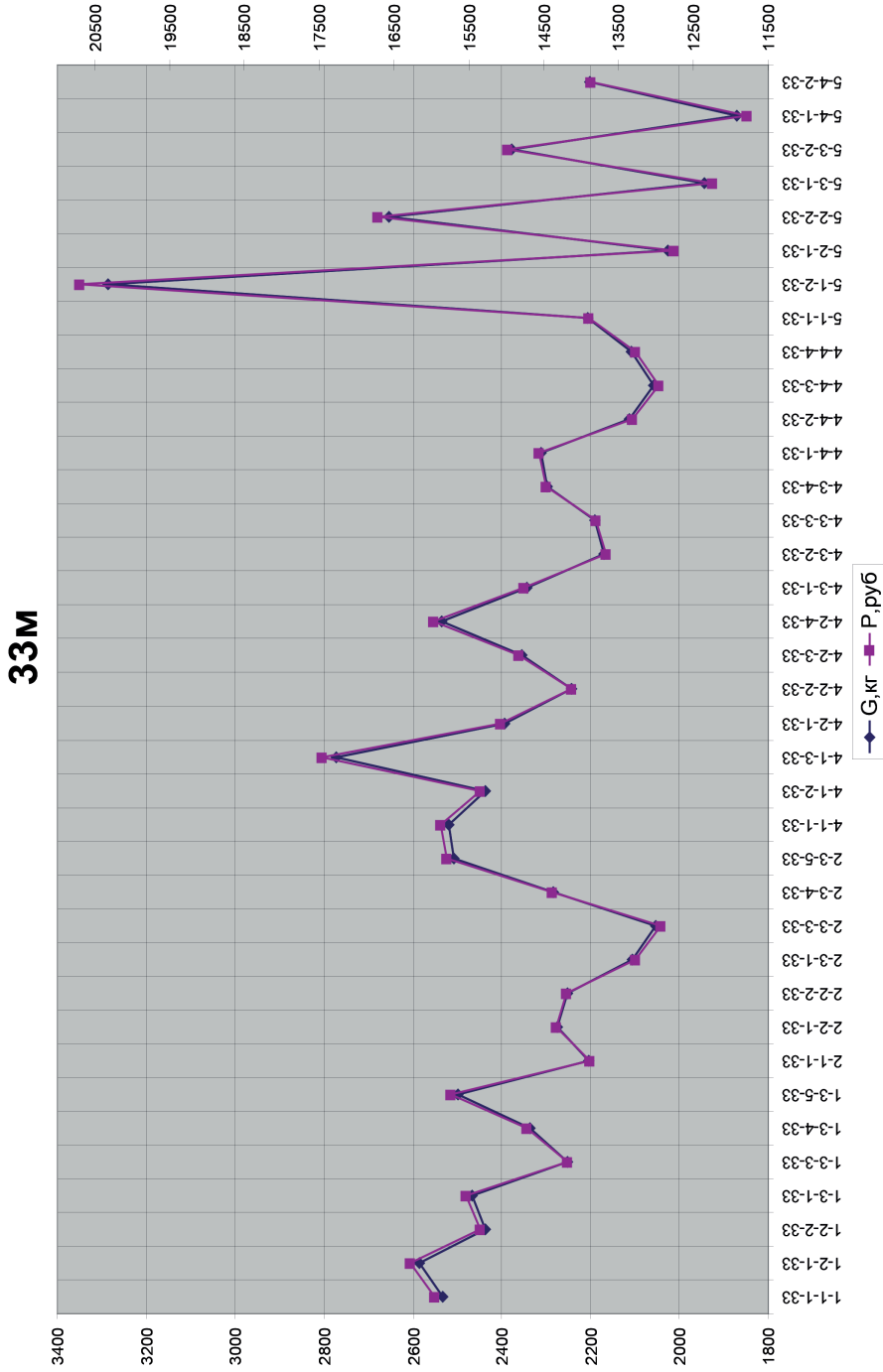


Рис. Пб.14. Диаграмма зависимости по G, кг, и P, руб., для пролета 33 м

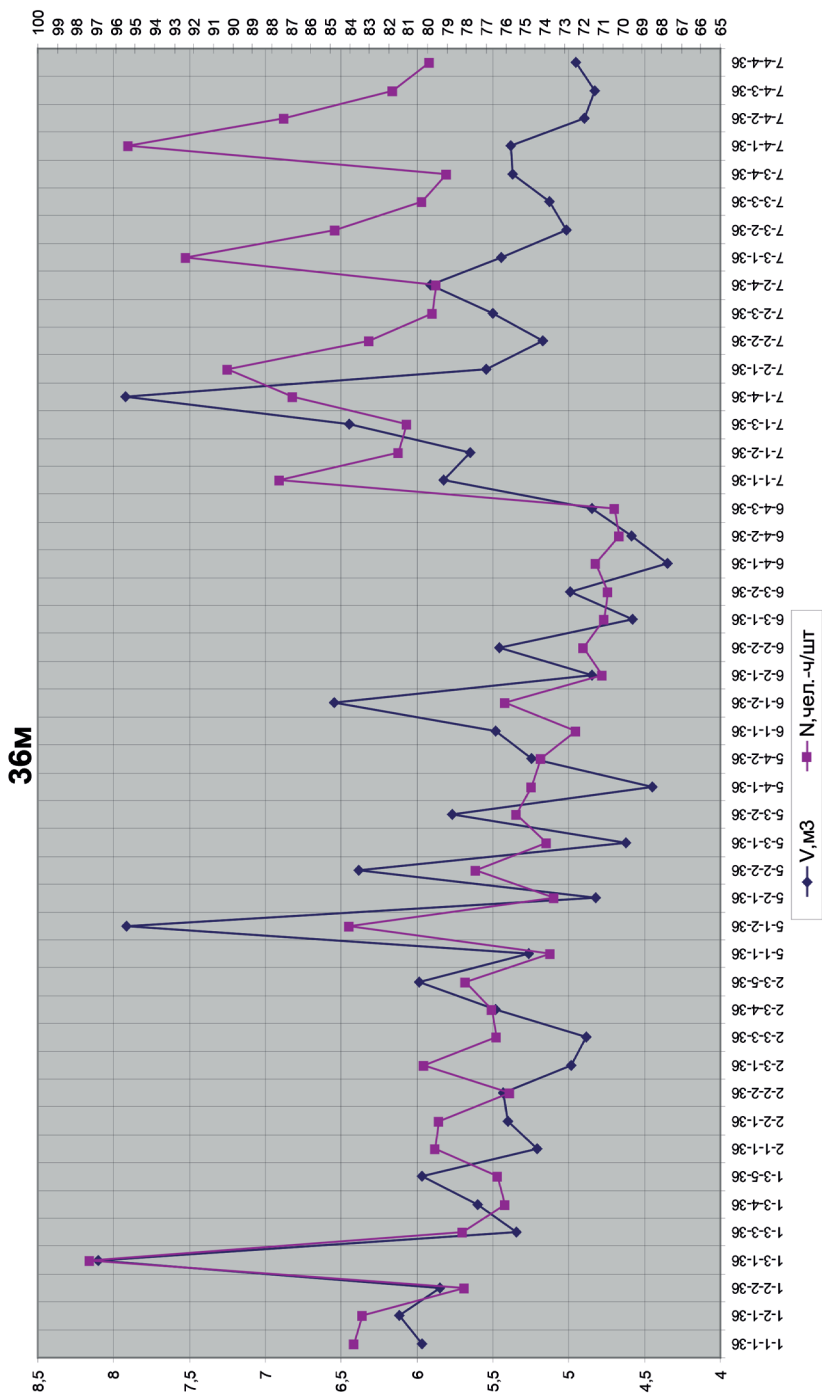


Рис. П6.15. Диаграмма зависимости V, m^3 , и $N, \text{чел.-ч/шт.}$, для пролета 36 м

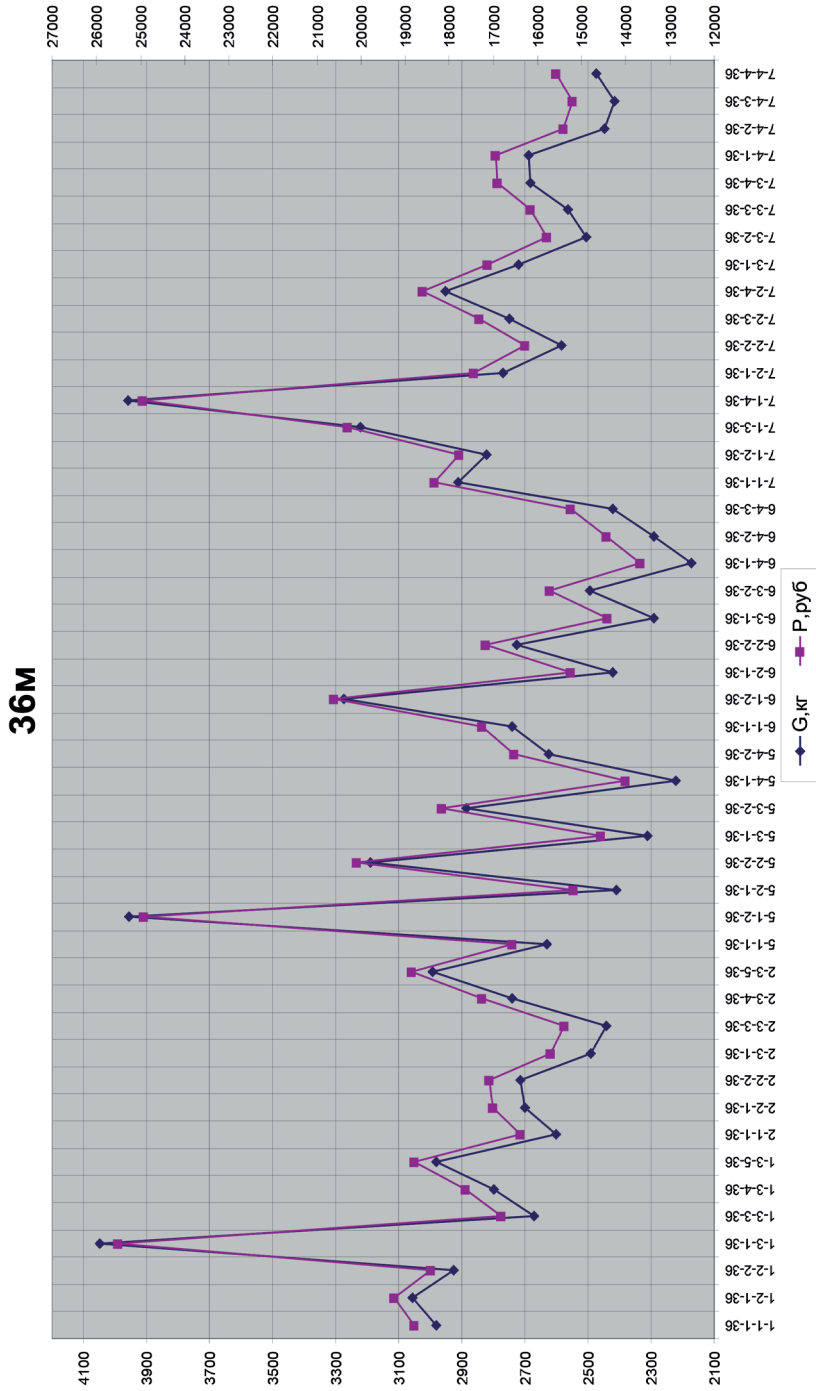


Рис. Пб.16. Диаграмма зависимости по G, кг, и P, р., для пролета 36 м

Определение усилий в фермах при наличии опорного подкоса с разным углом наклона

Таблица П7.1

Усилия в ферме

6-1/8-0-18	V , м ³	G , кг	P , р.	N , чел.-ч/шт.	N , тс (в опорном подкосе)
45 град.	0,97	486,00	30618	25,91	-13,72
50 град.	0,98	488,60	30782	26,28	-13,14
55 град.	0,99	493,55	31094	26,64	-12,73
60 град.	1,0	504,5	31781	27,1	-12,5

Определение усилий в фермах при наличии опорного подкоса

Таблица П8.1

Усилия в ферме

6-...-1-18	V , м ³	G , кг	P , р.	N , чел.-ч/шт.	N , тс (в опорном подкосе)
6-1-1-18	1,30	650	40926	25,39	-17,18
6-2-1-18	1,24	619	38993	25,32	-16,42
6-3-1-18	1,18	590	37143	25,31	-15,70
6-4-1-18	1,12	562	35384	25,38	-15,02
6-5-1-18	1,07	535	33731	25,55	-14,36
6-6-1-18	1,02	512	32227	25,85	-13,77
6-7-1-18	0,98	489	30793	26,29	-13,14
6-8-1-18	0,94	469	29570	26,92	-12,58

Сравнение конструкций ферм 1/10 и 1/5

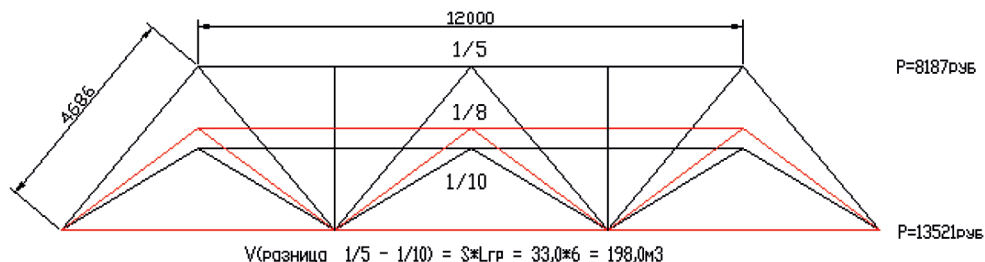


Рис. П9.1. Сравнение ферм

1. Площадь покрытия:

$$S1 (1/10) = L \times 6 \text{ м} = 21,4 \cdot 6 = 128,4 \text{ м}^2;$$

$$S2 (1/5) = L \times 6 \text{ м} = (3,5 + 12 + 3,5) \cdot 6 = 114 \text{ м}^2;$$

$$S_{\text{разн}} = S1 - S2 = 14,4 \text{ м}^2.$$

Стоимость материалов и работ по покрытию на 26.05.09.

Пирог покрытия состоит:

- из ПВХ-мембраны «Алькорплан», $P = 12 \text{ евро/м}^2 = 522 \text{ р./м}^2 + \text{ работа } 50 \text{ р./м}^2 = 572 \text{ р./м}^2;$
- пароизоляции п/э пленкой 200 мкр, $P = 11 \text{ р.} + \text{ работа } 9 \text{ р./м}^2 = 20 \text{ р./м}^2;$
- минеральной ваты Rockwool «Руф Батс» Н-110 мм, $P = 484 \text{ р./м}^3 + \text{ работа } 90 \text{ р./м}^2 = 574 \text{ р./м}^2;$
- минеральной ваты Rockwool «Руф Батс» В-20 мм, $P = 154 \text{ р./м}^3 + \text{ работа } 90 \text{ р./м}^2 = 244 \text{ р./м}^2;$
- гидроизоляции «Техноэласт» ХПП-3,0 (2 слоя), $P = 91,2 \text{ р./м}^2 \text{ с работой.}$

Итого на площадь $S = 14,4 \text{ м}^2$ требуется затрат = $1501,2 \text{ р./м}^2 = 21 \text{ 617,3 р.}$

2. Затраты на отопление через кровлю:

$$Q_{\text{ч}} = k \cdot F \cdot t = 0,3 \cdot 14,4 \cdot (18 - (-24)) = 190 \text{ Вт/ч};$$

k – коэффициент теплопередачи кровли = $1/R_{\text{тсop}}$;

R – для кровли промздания в Санкт-Петербурге = $3,34 \text{ м}^2 \times \text{град. С/Вт};$

$$Q_{\text{год}} = 0,19 \cdot 24 \cdot 220 = 1003,2 \text{ кВт/год.}$$

Стоимость кВт для предприятий Санкт-Петербурга, потребляющих более 100 кВт, на 03.06.2009 составляет 2,03 р./кВт · ч.

Ежегодные затраты на отопление составит 2036,5 р. с грузовой площади 6 м.

3. Затраты на вентиляцию через кровлю:

$$Q_{\text{вент}} = \frac{L \cdot \Delta}{3} = \frac{324 \cdot (18 - (-24))}{3} = 4,75 \text{ кВт/ч};$$

ΔV на грузовую площадь 6 м для ферм 1/10 и 1/5 разница составит $162 \text{ м}^3;$

k – кратность воздухообмена принимается в среднем = 2;

$$L = \Delta V \times k = 162 \cdot 2 = 324 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$Q_{\text{год}} = 4,75 \cdot 24 \cdot 220 = 25 \text{ 080 кВт/год.}$$

Стоимость кВт для предприятий Санкт-Петербурга потребляющих более 100 кВт, на 03.06.2009 составляет 2,03 р./кВт · ч.

Ежегодные затраты на вентиляцию составят – 50 912,4 р. с грузовой площади 6 м.

Кровля

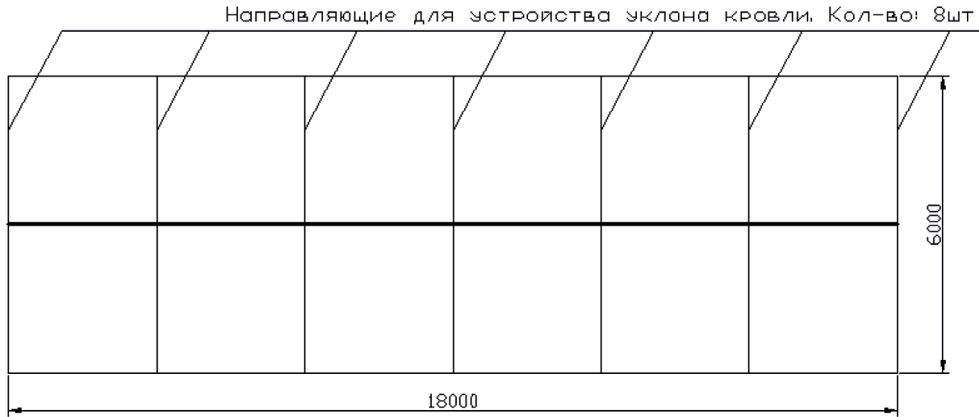


Рис. П10.1. Схема кровли

Расчет:

1. На площадь 18×6 м количество направляющих = 8 шт. принимаем швеллер 5П с площадью $A = 6,16 \text{ см}^2$. $V = 0,000616 \cdot 6 \cdot 8 = 0,0296 \text{ м}^3$. Вес $P = 0,0296 \cdot 7850 = 232 \text{ кг}$.
 Стоимость металлопроката в Санкт-Петербурге = 40 000 р.
 Цена разуклонки без учета крепежа и пластин швеллеров = 46 460 р.

2. Затраты на отопление через кровлю:

$$Q_{\text{ч}} = k \cdot F \cdot t = 0,3 \cdot 3,6 \cdot (18 - (-24)) = 45,4 \text{ Вт/ч};$$

k – коэффициент теплопередачи кровли = $1/R_{\text{гсоп}}$;

R – для кровли промздания в Санкт-Петербурге = $3,34 \text{ м}^2 \times \text{град. С/Вт}$;

$$Q_{\text{год}} = 0,0454 \cdot 24 \cdot 220 = 240 \text{ кВт/год.}$$

Стоимость кВт для предприятий Санкт-Петербурга, потребляющих более 100 кВт, составляет 2,03 р./кВт · ч.

Ежегодные затраты на отопление составят 4870 р. с площади 6 м^2 .

3. Затраты на вентиляцию через кровлю:

$$Q_{\text{вент}} = \frac{L \cdot \Delta}{3} = \frac{61,2 \cdot (18 - (-24))}{3} = 0,86 \text{ кВт/ч};$$

ΔV на грузовую площадь 6 м для ферм 1/10 и 1/5 разница составит $30,6 \text{ м}^3$;

k – кратность воздухообмена принимается в среднем = 2;

$$L = \Delta V \times k = 30,6 \cdot 2 = 61,2 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$Q_{\text{год}} = 0,86 \cdot 24 \cdot 220 = 4540 \text{ кВт/год.}$$

Стоимость кВт для предприятий Санкт-Петербурга, потребляющих более 100 кВт, составляет 2,03 р./кВт · ч.

Ежегодные затраты на вентиляцию составят – 9218 р. с площади 6 м^2 .

Пример оформленного теплотехнического расчета

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ						
(по данным СНиП 23 - 01 - 99, СНиП 23-2-2003)						
Регион: С. -Петербурга						
Расчетная температура внутреннего воздуха, гр. С					$t_{в} =$	18
Средняя температура, гр. С					$t_{от.пер.} =$	-1,8
Продолжительность периода со средней суточной температурой воздуха ниже или равной 8 гр. С, сут.					$Z_{от.пер.} =$	220
(по данным СНиП 23-01-99, табл. "Температура наружного воздуха")						
					$GCOП = (t_{в} - t_{от.пер.}) Z_{от.пер.} =$	4356
Приведенное сопротивление теплопередаче R_0^{TP} , м ² С/Вт						
(по данным СНиП II - 3 - 79*, табл. 16)						
Здания и помещения	Градусо-сутки отопительного периода, град.С/сут.	Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций, R_0^{TP} , м ² град.С/Вт				
		стен	покрытий и перекрытий над проездами	перекрытий чердачных, над холодными подпольями и подвалами	окон и балконных дверей	фонарей
Жилые	4356	2,92	4,38	3,86	0,41	0,31
Расчет толщины теплоизоляции выполняется по формуле:						
$R_0^{TP} = 1/\alpha_n + \delta_1/\lambda_1 + \dots + \delta_n/\lambda_n + 1/\alpha_w$						
где	δ - толщина слоя, м.					
	λ - коэффициент теплопроводности, Вт/м.С					
	α_n и α_w - коэффициенты теплоотдачи, Вт/м.С					
	(по данным СНиП II - 3 - 79*, табл. 4 и 6)					
Тип конструкции:	Стена					
Тип здания:	Жилые					
(по данным СНиП II - 3 - 79*, приложение 3*)						
Характеристики теплоизоляции не вошедшей в СНиП II - 3 - 79*, Приложение 3*						
Название теплоизоляции:		СЭНДВИЧ БАТТС Ктм ROCKWOOL				
Тип теплоизоляции:		Минеральная вата				
Плотность, γ_0 , кг/м ³ :		155				
Теплопроводность, λ , Вт/м С:		0,048				
$\alpha_n =$	23	Слой			$R_{с\text{лоя}}$	
		δ , м.	λ , Вт/м.С			
		Минераловатный утеплитель Rockwool	0,150	0,048	3,13	
$\alpha_w =$	8,7				0,11	
					$\Sigma R_{10 \text{ слоев}} =$	3,28
					(см. табл. выше) $R_0^{TP} =$	2,92
Конструкция соответствует теплоизоляционным нормам.						

Рис. П.11.1. Теплотехнический расчет

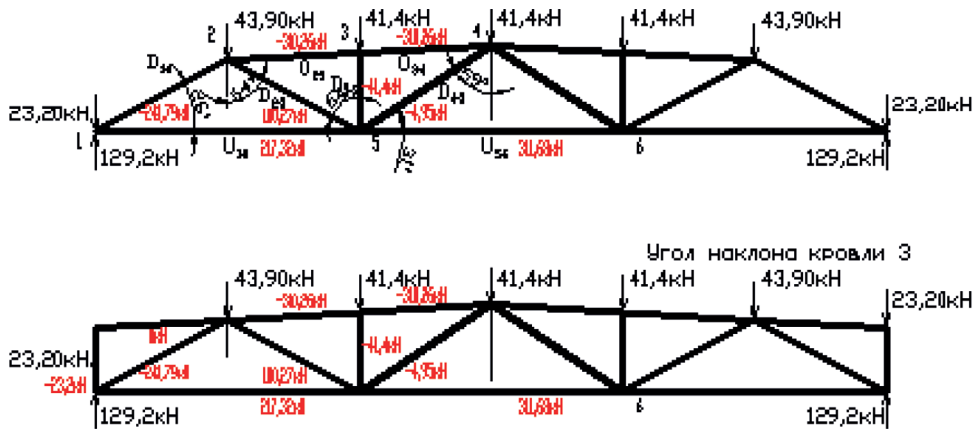


Рис. П.11.2. Усилия в фермах

Стоимость фермы без крайней стойки:

1. Себестоимость: $P = 11\,804$ р.
2. Стоимость покрытия опорного подкоса:

площадь покрытия на опорном подкосе $= L \times 6 \text{ м} = 3,36 \cdot 6 = 20,16 \text{ м}^2$ с двух сторон здания
 $S = 20,16 \cdot 2 = 40,32 \text{ м}^2$.

Стоимость материалов и работ по покрытию на 26.05.2009.

Пирог покрытия состоит:

- из ПВХ-мембраны «Алькорплан», $P = 12$ евро/м² = 522 р./м² + работа 50 р./м² = 572 р./м²;
- пароизоляции п/э пленкой 200 мкр, $P = 11$ р. + работа 9 р./м² = 20 р./м²;
- минеральной ваты Rockwool «Руф Батс» Н-110 мм, $P = 484$ р./м³ + работа 90 р./м² = 574 р./м²;
- минеральной ваты Rockwool «Руф Батс» В-20 мм, $P = 154$ р./м³ + работа 90 р./м² = 244 р./м²;
- гидроизоляции «Техноэласт» ХПП-3,0 (2 слоя), $P = 91,2$ р./м² с работой.

Итого на площадь $S = 40,32 \text{ м}^2$ требуется затрат = $1501,2 \text{ р./м}^2 = 60\,528,4$ р.

Стоимость фермы с наличием крайней стойки:

1. Себестоимость: $P = 12\,011$ р.
2. Стоимость ограждающих сэндвич-панелей:
 - площадь дополнительной сэндвич-панели $H \times 6 = 1,35 \cdot 6 = 8,1 \text{ м}^2$;
 - с двух сторон здания $S = 8,1 \cdot 2 = 16,2 \text{ м}^2$;
 - стоимость сэндвич-панели = $1800 \text{ м}^2 +$ монтаж $200 \text{ м}^2 = 2000 \text{ р./м}^2$ на 26.05.2009;
 - сэндвич-панель = $2000 \cdot 16,2 = 32\,400$ р.
3. Стоимость покрытия:
 - площадь покрытия на опорном подкосе $= L \times 6 \text{ м} = 3,01 \cdot 6 = 18,06 \text{ м}^2$;
 - с двух сторон здания $S = 18,06 \cdot 2 = 36,12 \text{ м}^2$;
 - покрытие опорного подкоса = $36,12 \cdot 1501,2 = 54\,223,3$ р.

Обработка результатов

Статистическая обработка результатов

При испытаниях цельной древесины это может быть влияние косослоя, сучков в образцах. Для бруса, клеенного из однонаправленного шпона, их влияние сводится к минимуму. После проведения эксперимента необходимо привести все значения полученных пределов прочности к одинаковой влажности. В настоящее время для показателей физико-механических испытаний принята стандартная влажность 12 %:

$$q_{12} = q_w [1 + \alpha(w - 12)],$$

где q_{12} – искомый предел прочности при влажности 12 %, w – влажность в момент испытаний, q_w – предел прочности при влажности w в момент испытаний, α – поправочный коэффициент.

Бывают случаи, когда не удастся установить причину значительного увеличения или уменьшения величины того или иного результата. Тогда производится проверка на принадлежность результата данному статическому ряду:

$$\lim V_{\max} = M + K \cdot (V_{\max} - V_{\min}); \quad \lim V_{\min} = M - K \cdot (V_{\max} - V_{\min}),$$

где $\lim V_{\max}$ и $\lim V_{\min}$ – соответственно предельно возможные максимальные и минимальные значения результата в исследуемом ряду, M – среднее арифметическое ряда, вычисленное без подозреваемой в грубости результата, V_{\max} и V_{\min} – максимальное и минимальное значения результата в обрабатываемом ряду, K – коэффициент, зависящий от числа наблюдений.

Закончив проверку принадлежности отдельных результатов данному ряду, вычисляются основные статистические характеристики.

По ГОСТ 11485–65 при испытаниях необходимо вычислить следующие статистические величины:

- среднее арифметическое:

$$M = \frac{\sum V}{n},$$

где $\sum V$ – сумма всех результатов, n – число наблюдений (результатов);

- среднее квадратичное отклонение. Эта величина характеризует среднюю изменчивость изучаемого свойства и определяется по формуле

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum x^2}{n-1}},$$

где $\sum x^2$ – сумма квадратов отклонений всех результатов V от среднего арифметического, n – число наблюдений (результатов).

Знак «±» показывает, что отклонение от среднего арифметического может быть как в большую, так и в меньшую сторону. При помощи среднего квадратичного отклонения можно судить о принадлежности результата данному статистическому ряду;

- вариационный коэффициент. Данная величина характеризует относительную изменчивость какого-либо свойства вещества. Вариационный коэффициент обозначают буквой V и вычисляют по формуле

$$v = \pm \frac{100 \cdot \sigma}{M} \%,$$

• средняя ошибка. Средняя ошибка среднего арифметического – величина, позволяющая по частному значению среднего арифметического судить об общей величине среднего арифметического изучаемого нами свойства. Обозначают буквой m и вычисляют по формуле

$$m = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}},$$

где среднее квадратичное отклонение n – число наблюдений (результатов).

Среднюю ошибку выражают в единицах того же типа, что и среднее арифметическое и среднее квадратичное отклонение. Зная среднее арифметическое и среднюю ошибку, можно судить о надежности средней величины изучаемого признака;

• показатель точности. Величина, выражающая в процентах среднюю ошибку от среднего арифметического, называется показателем точности. Его обозначают буквой P и вычисляют по формуле

$$P = \pm \frac{100 \cdot m}{M}.$$

Показатель надежности характеризует надежность результатов опытов. Чем он меньше, тем более достоверны результаты. При изучении физико-механических свойств древесины принято, что достаточная надежность эксперимента будет обеспечена, если показатель точности не превышает 5 % (ГОСТ 11484–65).

Требования к образцам, их форма и количество

Брус, клеенный из шпона, – довольно новый материал, ГОСТа, описывающего процесс проведения испытаний по данному материалу, на сегодняшний день нет, но было принято решение, основываясь на существующих ГОСТах для дерева и фанеры, разработать методику по определению его прочностных характеристик.

После исследования имеющейся литературы были выделены пять основных этапов для анализа данного материала:

- отбор образцов бруса, клеенного из шпона марки S , и общие требования при испытании;
- методы определения физических свойств бруса, клеенного из шпона марки S ;
- методы определения прочности бруса, клеенного из шпона марки S , при растяжении;
- методы определения прочности бруса, клеенного из шпона марки S , при сжатии;
- методы определения прочности бруса, клеенного из шпона марки S , при статическом изгибе.

Отбор образцов бруса, клеенного из шпона марки S (составлено на основании ГОСТ 9620–94)

Обзор образцов. Количество материала (бруса), из которого будут отобраны образцы для физико-механических испытаний, должно составлять 50 шт.

От каждого бруса, отобранного для физико-механических испытаний, обрезают полосы вдоль волокон наружных слоев с целью получения заготовок равной толщины.

Мы подготавливаем образцы с толщиной образца $t_{\text{образца}} = 30$ мм.

Отбор образцов для каждого вида испытаний (растяжение вдоль волокон, сжатие вдоль и поперек волокон, статический изгиб вдоль и поперек волокон) составит 51 шт. на каждый тип (3 партии по 17 шт.) + 4 шт. для пробных испытаний.

Образцы должны быть изготовлены с гладкими параллельными и взаимно перпендикулярными кромками и не должны иметь в наружных слоях пороков или дефектов обработки.

Форма и размеры образцов для каждого вида испытаний указаны в стандарте для данного вида испытания.

Отклонения от номинальных размеров по длине и ширине образца из бруса, клеенного из шпона, не должны превышать 0,5 мм. Отклонения по длине образца более 100 мм не должны быть более 1 мм. Если толщина образца равна толщине продукции, то отклонение образцов по толщине не должно превышать допускаемых отклонений по толщине продукции.

До проведения испытаний образцов их кондиционируют до нормализованной влажности при влажности воздуха (65 ± 5) % и температуре (20 ± 2) °С. Окончание кондиционирования устанавливают по изменению массы двух-трех контрольных образцов повторными взвешиваниями через каждые 24 часа. Кондиционирование прекращают, когда разница между последовательными взвешиваниями будет не более 0,1 % массы образца. Влажность образцов в момент испытаний должна соответствовать нормализованной или установленной в нормативно-технической документации на конкретную продукцию.

Взвешивание и измерение образцов для каждого вида испытаний смотри в методике, установленной для каждого вида испытаний (в разделах 3.2.1.3–5).

Все образцы пронумерованы согласно своим типам.

Аппаратура. Для измерения толщины образцов применялись микрометры по ГОСТ 6507, толщиномеры – по ГОСТ 11358 с точностью измерения не менее 0,10 мм или приборы с неподвижной базовой поверхностью, площадь соприкосновения которой с образцом должна составлять ($2,00 \pm 0,04$) см², и с подвижной измерительной головкой с радиусом закругления 6,0 мм. Прижим подвижной головки к образцу производился с равномерным усилием, не превышающим 2 Н. Шкала прибора позволяла производить отсчет с точностью не менее 0,1 мм. Измерение толщины образца производилось трехточечным толщиномером с тремя опорными поверхностями, расположенными по углам равностороннего треугольника и с трехточечной измерительной головкой, закрепленной на циферблатном индикаторе. Поверхности соприкосновения головок и опор должны быть закругленными с радиусом закругления 6,0 мм. Усилие прижима в точках измерения составляло ($0,75 \pm 0,25$)Н. Толщина образцов измерялась с погрешностью не менее 0,1 мм.

Длина, толщина и ширина образцов измерялась штангенциркулем по ГОСТ 166 с точностью до 0,1 мм. Количество и места расположения точек, в которых производится измерение образцов, смотри на каждый метод испытаний.

Механические испытания образцов производились на испытательных машинах с точностью измерения нагрузки не менее 1 %.

Максимальная нагрузка при испытании отсчитывалась с погрешностью не более: 10 Н при нагрузке до 5000 Н; 50 Н при нагрузке до 10 000 Н; 100 Н при нагрузке до 50 000 Н; 250 Н при нагрузке до 10 0000 Н.

Оценка результатов испытаний. Для определения результатов определялось среднее арифметическое результатов показателей испытываемого свойства всех образцов, вырезанных из одного и того же бруса.

Дальнейший анализ производился с учетом использованного отбора образцов по ГОСТ 16483.0.

Отчет об испытании содержит следующие данные.

Производитель: ОАО «ЛВЛ-Югра», 628184, Россия, ХМАО – Югра, Тюменская обл., г. Нягань, ул. Лазарева, д. 28, тел. +7 (34672) 5-21-69. Дата изготовления: 10.02.2009.

Порода древесины – хвойные (ель, сосна).

Закуплена партия бруса сечением 30×100 мм, $L = 3000$ мм в количестве 46 шт.

Марка – Kerto S.

Объем партии – 0,414 м³.

Направление приложения нагрузки – прикладывалась сосредоточенная сила.

Продолжительность нагружения до разрушения – кратковременная, 90 с.

Количество испытанных образцов – на каждый вид испытаний 3 партии по 17 шт.

Результаты испытаний и их статические величины – табличная форма.

Дата проведения испытаний: май – июль 2009 г.

Лаборатория – механическая лаборатория СПбГАСУ.

Нормативные ссылки:

ГОСТ 6507–90. Микрометры. Технические условия;

ГОСТ 11358–89. Толщиномеры и стенкомеры индикаторные с ценой деления 0,01 и 0,1 мм.

Технологические условия;

ГОСТ 166. Штангенциркули. Технические условия.

Методы определения физических свойств бруса, клеенного из шпона марки S (составлено на основании ГОСТ 9621–72*).

Отбор образцов, их количество, изготовление и подготовка к испытаниям.

Плотность определялась на образцах размером 100×100×30 мм.

Образцы для определения влажности имели размеры не менее 25 см² по площади в плане или не менее 10 г по массе.

При определении влажности с момента изготовления образцов до взвешивания последние помещались в сухие полиэтиленовые мешки, обеспечивающие сохранение влажности.

Проведение испытания по определению влажности. Сущность метода заключалась в определении взвешиванием массы воды в образце и вычисления в процентах ее отношения к массе образца после высушивания до абсолютно сухого состояния.

Взвешивание образцов в измельченном состоянии производилось в стеклянных чашках с крышками. Взвешенные образцы высушивались в сушильном шкафу с естественной циркуляцией воздуха (103 ± 2) °С до постоянной массы. Высушивание образцов считалось законченным, если разность между двумя последовательными взвешиваниями, произведенными через 2 ч одно после другого, будет не более 0,01 г. После охлаждения в эксикаторе с безводным хлористым кальцием или серной кислотой образцы взвешивались с той же точностью.

При определении влажности бруса, клеенного из однонаправленного шпона, окончание высушивания устанавливалось по изменению массы двух-трех контрольных образцов повторными взвешиваниями через каждые 6 ч. Массу образцов считают постоянной и высушивание прекращают, когда разница между двумя контрольными взвешиваниями будет не более 0,1 % массы образцов.

Определение плотности. Сущность метода заключалась в определении массы образца взвешиванием, объема – измерением и вычислением отношения массы к его объему.

Толщина образцов измерялась в четырех точках. За толщину образца принималось среднее арифметическое результатов четырех измерений толщиномера.

Длина и ширина образцов измерялась в двух местах параллельно кромкам на расстоянии 25 мм от них в соответствии с рис. П12.1 и П12.2.

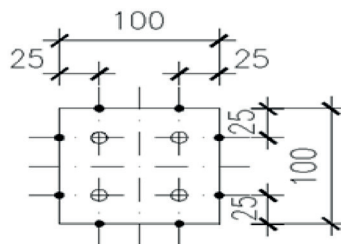


Рис. П12.1. Точки определения размеров образца



Рис. П12.2. Образцы для эксперимента

За длину и ширину образца принималось среднее арифметическое результатов двух измерений.

Обработка результатов

Влажность (W) в процентах вычислялась с округлением до 0,1 % по формуле:

- при сушке без стеклянных чашек

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2} * 100,$$

где m_1 – начальная масса образца, кг (г), m_2 – масса образца, высушенного до постоянной массы, кг (г).

Плотность (ρ) в кг/м³ (г/см³) вычислялась с округлением до 1,0 кг/м³ (0,01 г/см³) по формуле

$$\rho = \frac{m}{b \cdot s \cdot l},$$

где m – начальная масса образца, кг (г); l – длина образца в м (см); b – ширина образца в м (см); s – толщина образца в м (см).

Аппаратура, материалы и реактивы:

- весы по ГОСТ 24104–88 с точностью взвешивания до 0,01 г;
 - сушильные шкафы с естественной циркуляцией воздуха, обеспечивающие постоянную температуру (103 ± 2) °С;
 - эксикатор и лабораторные стеклянные чашки с крышками типа ЧН по ГОСТ 25336–82;
 - хлористый кальций или серная кислота концентрации не менее 94 % (плотность 1,830–1,835 г/см³);
 - углекислый безводный натрий по ГОСТ 83–79 или углекислый кристаллический натрий по ГОСТ 84–76;
 - штангенциркуль по ГОСТ 166–89 с точностью измерения до 0,01 мм;
 - микрометр или толщиномер по ГОСТ 11358-89 с точностью измерения до 0,01 мм.
- Размеры – закуплена партия бруса сечением 30×100, $L = 3000$ мм в количестве 46 шт.
Количество испытанных образцов: плотность – 5 шт., влажность – 10 шт.

Метод определения предела прочности при растяжении

Переход головок образца в рабочую часть должен быть плавным и симметричным относительно продольной оси образца.

Направление волокон – вдоль наружного слоя.

Подготовка к испытанию. Измерялось поперечное сечение рабочей части образца в середине ее длины.

Образцы устанавливаются в захват машины так, чтобы его продольная ось совпадала с осями головок машины, а клиновидные захваты захватывали образец вплотную до закругленной части, т. е. сжимающие усилия приходились на кромки образца.

Перед испытанием определяется влажность образца.

Проведение испытания. Образцы нагружались равномерно с постоянной скоростью 60 с после нагружения. Скорость нагружения $V = 380\text{--}400$ кгс/см² в мин).

Максимальную нагрузку определяем с погрешностью не более 1 %.

Если разрушение образца происходит не в рабочей части, то данный результат в расчет не принимаем и заменяем этот образец.

Аппаратура:

– испытательная машина по ГОСТ 28840 с клиновидными захватами с погрешностью измерения нагрузки 1 %;

– штангенциркуль по ГОСТ 166 с погрешностью измерения не более 0,1 мм;

– микрометр по ГОСТ 6507 или толщиномер по ГОСТ 11358 с погрешностью измерения не более 0,01 мм.

Метод определения модуля упругости при растяжении

Подготовка к испытанию. На противоположных боковых сторонах образца в его рабочей части устанавливаем два тензометра. Подвижные призмы тензометров должны находиться в одной плоскости.

Проведение испытания. Каждый образец подвергаем шестикратной равномерной нагрузке 5–25 % от величины разрушающей нагрузке (P_{\max}). После каждого цикла нагружения снижаем нагрузку до 1–2 % от P_{\max} , затем повторяем очередной цикл нагружения до полного разрушения образца.

Нагрузку прикладываем равномерно от нижнего до верхнего предела нагружения (один цикл). Время нагружения 90 с.

Аппаратура. Тензометр с базой 50 мм и погрешностью измерения не более 0,001 мм.

Обработка результатов. Предел прочности при растяжении (σ_p) в МПа для каждого образца вычисляем по формуле

$$\sigma_p = \frac{P_{\max}}{h_1 b},$$

где P_{\max} – максимальная нагрузка, Н, h_1 – высота рабочей части образца, мм, b – толщина рабочей части образца, мм.

Результаты округляем до 0,5.

Модуль упругости при растяжении (ε_p) в МПа:

$$\varepsilon_p = \frac{P \cdot L}{h_1 \cdot b \cdot \Delta L},$$

где P – нагрузка, равная разности между верхним (25 % P_{\max}) и нижним (5 % P_{\max}) пределами нагружения, Н, L – база тензометра, мм, h_1 – высота рабочей части образца, мм, b – толщина рабочей части образца, мм, ΔL – среднее абсолютное значение деформации, мм, как среднее арифметическое последних трех отсчетов по каждому отдельно от верхнего и нижнего пределов нагружения.

Разность между средним арифметическим двух пределов нагружения дает среднее абсолютное значение деформации образца. Результат округляем до целого числа.

Метод определения предела прочности при сжатии

Образец нагружался равномерно с постоянной скоростью 60 с (считаем, что $V = 380 \text{ кгс/см}^2$ в мин).

Максимальную нагрузку определяем с погрешностью не более 1 %.

Аппаратура:

– испытательная машина по ГОСТ 28840 с клиновидными захватами с погрешностью измерения нагрузки не более 1 %. При проведении испытаний на машине, не имеющей шаровой опоры, необходимо применять шаровую опору (рис. П12.3);

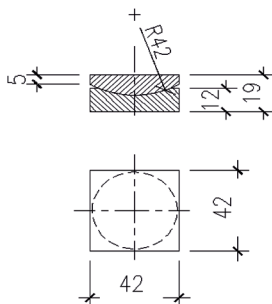


Рис. П12.3. Шаровая опора

– штангенциркуль по ГОСТ 166 с погрешностью измерения 0,1 мм;

– микрометр по ГОСТ 6507 или толщиномер по ГОСТ 11358 с погрешностью измерения

не более 0,01 мм.

Метод определения модуля упругости при сжатии

Образец для испытания изготавливаем прямоугольной формы. Высота заготовки должна составлять четыре толщины. Мы подготавливаем образцы со следующими габаритами:

$$t_{\text{образца}} = 30 \text{ мм}; b_{\text{образца}} = 30 \text{ мм}; h_{\text{образца}} = 100 \text{ мм}.$$

Подготовка к испытанию. На противоположных боковых сторонах образца устанавливаем два тензометра. Подвижные призмы тензометров должны находиться в одной плоскости.

Перед испытанием определяем влажность образца.

Проведение испытания. Каждый образец подвергаем шестикратной равномерной нагрузке 5–25 % от величины разрушающей нагрузке (P_{max}). После каждого цикла нагружения снижаем нагрузку до 1–2 % от P_{max} , затем повторяем очередной цикл нагружения до полного разрушения образца.

Нагрузку прикладываем равномерно от нижнего до верхнего предела нагружения (один цикл). Время нагружения 90 с.

Аппаратура. Тензометр с базой 50 мм и погрешностью измерения не более 0,001 мм.

Обработка результатов. Предел прочности при растяжении ($\sigma_{\text{сж}}$) в МПа для каждого образца вычисляем по формуле

$$\sigma_{\text{сж}} = \frac{P_{\text{max}}}{b_{\text{образца}} \cdot t_{\text{образца}}},$$

где P_{max} – максимальная нагрузка, Н, b – ширина образца, мм; t – толщина образца, мм.

Результаты округляем до первого десятичного знака.

Модуль упругости при растяжении ($\varepsilon_{сж}$) в МПа:

$$\varepsilon_{сж} = \frac{P \cdot L}{b \cdot t \cdot \Delta L},$$

где P – нагрузка, равная разности между верхним (25 % P_{\max}) и нижним (5 % P_{\max}) пределами нагружения, H , L – база тензометра, мм, b – ширина образца, мм, t – толщина образца, мм, ΔL – среднее абсолютное значение деформации, мм, как среднее арифметическое последних трех отсчетов по каждому тензометру отдельно от верхнего и нижнего пределов нагружения.

Разность между средними арифметическими двух пределов нагружения дает среднее абсолютное значение деформации образца.

Результат округляем до целого числа.

За результат испытаний принимаем показатель, полученный при испытании каждого образца.

Проводим статистическую обработку результатов и составляем отчет об испытаниях.

Метод определения предела прочности и модуля упругости при статическом изгибе

Образцы изготавливаем с направлением волокон вдоль наружного слоя.

Подготовка к испытанию. Измеряем $h_{\text{образца}}$ и $t_{\text{образца}}$ в середине длины образца.

За толщину образца принимаем среднее арифметическое измерений в двух точках. Расстояние между опорами примем $25t$.

Перед испытанием определяем влажность образца.

Проведение испытания. Испытание образцов производим по схеме на рис. П12.4.

Изгибающее усилие должно быть направлено посередине длины образца перпендикулярно слоям.

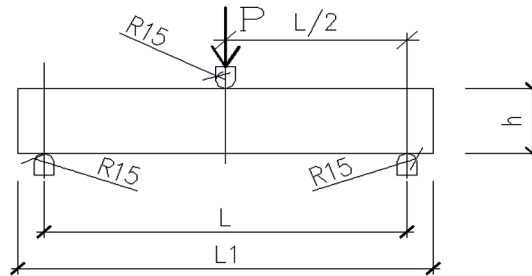


Рис. П12.4. Приложение нагрузки

Образец нагружаем равномерно с постоянной скоростью 60 с после нагружения с усилием, равным 720 кг/мин (табл. П12.1).

Таблица П12.1

Технические характеристики образца

Тип образца	Момент сопротивления W , см ³	Изгибающий момент M , кг · см	Нагрузка N^{30} , кг/мин
I ³⁰	$3,0 \cdot 7,5^2/6 = 28,125$	$18,75N^{30}$	720

Максимальную нагрузку P_{\max} определяем с погрешностью не более 1 %.

Аппаратура: испытательная машина по ГОСТ 28840–90 с погрешностью измерения нагрузки не более 1 %;

- приспособление к ней, состоящее из двух параллельных опор с цилиндрическими поверхностями, которые можно перемещать в горизонтальной плоскости, и нагрузочного ножа с цилиндрической поверхностью, расположенного параллельно опорам на равном расстоянии от них и имеющего возможность перемещения к вертикальной плоскости. Длина опор и ножа должна быть больше ширины образца. Диаметр цилиндрической части опор и ножа равен $(30 \pm 0,5)$ мм;
- штангенциркуль по ГОСТ 166–89 с погрешностью измерения не более 0,1 мм;
- микрометр по ГОСТ 6507–90 или толщиномер по ГОСТ 11358–89 с погрешностью измерения не более 0,01 мм.

Метод определения модуля упругости при статическом изгибе

Проведение испытания. Каждый образец подвергаем шестикратной равномерной нагрузке 5–25 % от величины разрушающей нагрузки (P_{\max}). После каждого цикла нагружения снижаем нагрузку до 5 % от P_{\max} и замера стрелы прогиба, нагрузку снижаем до 1–2 % от P_{\max} , затем повторяем очередной цикл нагружения до полного разрушения образца.

Нагрузку прикладываем равномерно от нижнего до верхнего предела нагружения (один цикл). Время нагружения 90 с.

Стрелу прогиба, соответствующую верхнему и нижнему пределам нагружения, измеряем в середине длины дефлектометром с погрешностью не более 0,01 мм и отсчитываем сразу после достижения определенной величины нагрузки.

Аппаратура. Дефлектометр с индикатором по ГОСТ 9696–82 с погрешностью измерения не более 0,01 мм.

Обработка результатов. Предел прочности при статическом изгибе ($\sigma_{\text{изг}}$) в МПа для каждого образца вычисляем по формуле

$$\sigma_{\text{изг}} = \frac{3P_{\max}L}{2t_{\text{образца}} \cdot h^2_{\text{образца}}},$$

где P_{\max} – максимальная нагрузка, Н, h – высота образца, мм, t – толщина образца, мм, L – расстояние между опорами, мм.

Результаты округляем до 0,5.

Модуль упругости при статическом изгибе ($\epsilon_{\text{изг}}$) в МПа:

$$\epsilon_{\text{изг}} = \frac{P \cdot L^3}{4t \cdot h^3 \cdot \Delta},$$

где P – нагрузка, равная разности между верхним (25 % P_{\max}) и нижним (5 % P_{\max}) пределами нагружения, Н, L – расстояние между опорами, мм, h – высота образца, мм, t – толщина образца, мм, Δ – стрела прогиба, соответствующая нагрузке P , мм.

При подсчете величины Δ из последних трех показаний по дефлектометру вычисляем среднее арифметическое отдельно для верхнего и нижнего пределов нагружения. Разность между этими значениями является величиной прогиба в принятом интервале нагружения.

Результат округляем до целого числа.

За результат испытаний принимаем показатель, полученный при испытании каждого образца.

Проводим статистическую обработку результатов и составляем отчет об испытаниях.

Приложение 13

Определение характеристик ЛВЛ

Таблица ПП3.1

Предел прочности при сжатии под углом 30 градусов к волокнам (образец завода г. Югра)

№	l, см	h, см	V_{cp} , см ³	F , см ²	$P_{разруш}$, Н	W , %	$\sigma_{шт}$, МПа	$\sigma_{шт}$ для $w = 12\%$, МПа	$\sigma_{шт,ср}$ для $w = 12\%$, МПа	Отклонения от ср. арифм., МПа	Квадрат отклонения от ср. арифм., МПа	Средн. квард. отклонения от $\sigma_{шт}$, МПа	Вариан. коэф. V , %	Средняя ошибка m , МПа	Показатель точности P , %
1	3,08	4,26	3,25	10,01	18 300	7,5	18,28	14,99	18,55	3,6	12,69	1,44	7,77	0,35	1,88
2	3,07	3,96	3,18	9,75	22 000		22,57	18,51		0,0	0,00				
3	3,07	4,25	3,26	10,01	22 300		22,28	18,27		0,3	0,08				
4	3,06	4,43	3,21	9,82	21 200		21,58	17,70		0,9	0,73				
5	3,06	4,62	3,15	9,62	24 700		25,67	21,05		-2,5	6,22				
6	3,08	4,43	3,21	9,87	20 100		20,36	16,70		1,9	3,45				
7	3,07	4,47	3,30	10,13	21 600		21,32	17,48		1,1	1,14				
8	3,06	4,69	3,19	9,76	24 500		25,10	20,58		-2,0	4,11				
9	3,07	4,17	3,29	10,08	24 000		23,80	19,51		-1,0	0,92				
10	3,09	4,33	3,22	9,93	24 300		24,46	20,06		-1,5	2,26				
11	3,06	4,08	3,25	9,93	22 000		22,16	18,17		0,4	0,15				
12	3,06	4,67	3,24	9,91	22 300		22,49	18,44		0,1	0,01				

Партия № 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<i>Партия № 1</i>															
13	3,07	4,47	3,24	9,95	22 450		22,57	18,51		0,0	0,00				
14	3,07	4,51	3,17	9,72	23 300		23,98	19,66		-1,1	1,23				
15	3,07	4,56	3,20	9,82	22 600	7,5	23,00	18,86	18,55	-0,3	0,10	1,44	7,77	0,35	1,88
16	3,07	4,47	3,21	9,85	21 900		22,22	18,22		0,3	0,11				
17	3,07	4,38	3,20	9,81	22 350		22,79	18,68		-0,1	0,02				
<i>Партия № 2</i>															
1	3,07	4,24	3,21	9,85	24 300		24,66	20,22		-2,0	3,93				
2	3,07	4,18	3,25	9,96	22 500		22,59	18,52		-0,3	0,08				
3	3,07	4,37	3,21	9,84	21 200		21,55	17,67		0,6	0,33				
4	3,06	4,52	3,24	9,91	19 200		19,37	15,88		2,4	5,56				
5	3,07	4,57	3,20	9,81	23 500		23,96	19,65		-1,4	1,98				
6	3,07	4,51	3,29	10,08	23 200		23,00	18,86		-0,6	0,39				
7	3,06	4,25	3,34	10,22	24 150		23,63	19,38	18,24	-1,1	1,29	1,38	7,55	0,33	1,83
8	3,06	4,50	3,27	9,99	22 400	7,5	22,42	18,38		-0,1	0,02				
9	3,08	4,50	3,22	9,90	21 500		21,71	17,80		0,4	0,19				
10	3,07	4,21	3,20	9,82	24 150		24,58	20,16		-1,9	3,68				
11	3,07	4,52	3,27	10,02	21 550		21,50	17,63		0,6	0,37				
12	3,07	4,29	3,23	9,92	20 350		20,52	16,83		1,4	1,99				
13	3,06	4,35	3,20	9,79	18 400		18,79	15,41		2,8	8,01				
14	3,07	4,41	3,19	9,78	23 100		23,62	19,37		-1,1	1,29				

<i>Партия № 3</i>																	
15	3,07	4,37	3,32	10,18	23 300	7,5		22,89	18,77	18,24		-0,5	0,29	1,38	7,55	0,33	1,83
16	3,07	4,47	3,19	9,79	21 800	7,5		22,26	18,25	18,24		0,0	0,00	1,38	7,55	0,33	1,83
17	3,07	4,52	3,14	9,64	20 300	7,5		21,06	17,27	18,24		1,0	0,94	1,38	7,55	0,33	1,83
1	3,07	4,51	3,22	9,87	23 100	7,5		23,40	19,19	18,44		-0,7	0,56	1,48	8,0	0,36	1,94
2	3,07	4,56	3,29	10,08	22 550	7,5		22,36	18,34	18,44		0,1	0,01	1,48	8,0	0,36	1,94
3	3,07	4,35	3,24	9,95	18 700	7,5		18,80	15,42	18,44		3,0	9,17	1,48	8,0	0,36	1,94
4	3,07	4,41	3,20	9,81	19 650	7,5		20,03	16,43	18,44		2,0	4,07	1,48	8,0	0,36	1,94
5	3,08	4,56	3,29	10,12	23 700	7,5		23,42	19,21	18,44		-0,8	0,58	1,48	8,0	0,36	1,94
6	3,07	4,47	3,22	9,87	22 500	7,5		22,80	18,69	18,44		-0,2	0,06	1,48	8,0	0,36	1,94
7	3,07	4,08	3,25	9,96	21 750	7,5		21,83	17,90	18,44		0,5	0,29	1,48	8,0	0,36	1,94
8	3,07	4,67	3,24	9,95	23 000	7,5		23,12	18,96	18,44		-0,5	0,27	1,48	8,0	0,36	1,94
9	3,07	4,47	3,24	9,95	24 400	7,5		24,53	20,12	18,44		-1,7	2,79	1,48	8,0	0,36	1,94
10	3,06	4,25	3,18	9,72	21 250	7,5		21,87	17,94	18,44		0,5	0,26	1,48	8,0	0,36	1,94
11	3,06	4,43	3,26	9,98	23 200	7,5		23,26	19,07	18,44		-0,6	0,39	1,48	8,0	0,36	1,94
12	3,07	4,57	3,25	9,96	23 400	7,5		23,49	19,26	18,44		-0,8	0,67	1,48	8,0	0,36	1,94
13	3,07	4,51	3,21	9,84	23 300	7,5		23,68	19,42	18,44		-1,0	0,95	1,48	8,0	0,36	1,94
14	3,07	4,47	3,22	9,87	24 100	7,5		24,42	20,02	18,44		-1,6	2,49	1,48	8,0	0,36	1,94
15	3,06	4,69	3,25	9,93	23 650	7,5		23,82	19,53	18,44		-1,1	1,18	1,48	8,0	0,36	1,94
16	3,07	4,17	3,21	9,85	18 200	7,5		18,47	15,14	18,44		3,3	10,90	1,48	8,0	0,36	1,94
17	3,07	4,25	3,25	9,96	23 000	7,5		23,09	18,93	18,44		-0,5	0,24	1,48	8,0	0,36	1,94

Предел прочности при сжатии под углом 45 градусов к волокнам (образец завода г. Югра)

№/п	l, см	h, см	B_{cp} , см	A , см ²	$P_{разруш}$, Н	W , %	$\sigma_{тн}$, МПа	$\sigma_{тн}$ для $w = 12\%$, МПа	$\sigma_{тн,ср}$ для $w = 12\%$, МПа	Отклонения от ср. арифм., МПа	Квадрат отклонения от ср. арифм., МПа	Средн. квадрат. отклонения от $\sigma_{тн}^2$, МПа	Варианц. коэф. V , %	Средняя ошибка m , МПа	Показатель точности P , %
1	3,05	4,65	3,24	9,87	18 400	7,5	18,65	15,29	15,26	0,0	0,00	0,88	5,79	0,21	1,40
2	3,05	4,68	3,19	9,71	19 100		19,66	16,12		-0,9	0,74				
3	3,05	4,64	3,19	9,73	17 700		18,19	14,92		0,3	0,12				
4	3,06	4,54	3,22	9,84	19 700		20,02	16,42		-1,2	1,34				
5	3,09	4,59	3,18	9,81	17 500		17,84	14,63		0,6	0,41				
6	3,05	4,54	3,20	9,76	19 200		19,67	16,13		-0,9	0,75				
7	3,04	4,52	3,20	9,71	18 100		18,64	15,28		0,0	0,00				
8	3,06	4,58	3,21	9,82	16 300		16,59	13,61		1,7	2,74				
9	3,06	4,57	3,23	9,88	19 000		19,22	15,76		-0,5	0,25				
10	3,05	4,66	3,20	9,76	16 900		17,32	14,20		1,1	1,13				
11	3,06	4,48	3,22	9,85	19 300		19,59	16,06		-0,8	0,64				
12	3,06	4,60	3,22	9,85	18 800		19,08	15,65		-0,4	0,15				
13	3,06	4,53	3,24	9,91	19 700		19,87	16,29		-1,0	1,06				
14	3,07	4,57	3,17	9,72	16 650		17,14	14,05		1,2	1,47				

Партия № 1

15	3,06	4,62	3,20	9,79	17 400	7,5	17,77	14,57	15,26		0,7	0,48	0,88	5,79	0,21	1,40
16	3,06	4,45	3,21	9,82	19 200	7,5	19,55	16,03	15,26		-0,8	0,59	0,88		0,21	
17	3,07	4,52	3,20	9,81	17 300		17,64	14,46			0,8	0,64				
<i>Партия № 2</i>																
1	3,07	4,56	3,20	9,82	17 950	7,5	18,27	14,98	15,32		0,3	0,12	0,77		0,19	
2	3,07	4,61	3,25	9,96	19 600		19,67	16,13			-0,8	0,66				
3	3,07	4,37	3,14	9,64	17 700		18,36	15,06			0,3	0,07				
4	3,06	4,52	3,21	9,81	18 400		18,76	15,38			-0,1	0,00				
5	3,07	4,57	3,20	9,81	18 500		18,86	15,47			-0,1	0,02				
6	3,07	4,52	3,20	9,81	17 950		18,30	15,01			0,3	0,10				
7	3,06	4,6	3,32	10,16	19 600		19,29	15,82			-0,5	0,25				
8	3,06	4,26	3,26	9,98	16 500		16,54	13,56			1,8	3,10				
9	3,08	4,38	3,26	10,04	17 600		17,53	14,37			0,9	0,90				
10	3,07	4,47	3,16	9,70	18 200		18,76	15,38			-0,1	0,00				
11	3,07	4,67	3,27	10,02	19 650		19,60	16,08			-0,8	0,57				
12	3,07	4,56	3,23	9,92	18 600		18,76	15,38			-0,1	0,00				
13	3,06	4,64	3,15	9,64	19 500		20,23	16,59			-1,3	1,60				
14	3,07	4,68	3,14	9,64	16 800		17,43	14,29			1,0	1,06				
15	3,07	4,52	3,18	9,75	17 950		18,42	15,10			0,2	0,05				
16	3,07	4,55	3,21	9,85	18 850		19,13	15,68			-0,4	0,13				
17	3,07	4,52	3,20	9,82	19 400		19,75	16,19			-0,9	0,76				
<i>Партия № 3</i>																
1	3,07	4,53	3,27	10,02	18 700	7,5	18,66	15,30	15,33		0,0	0,00	0,82	5,34	0,20	1,29
2	3,07	4,57	3,18	9,75	17 900		18,36	15,06	0,3	0,07						

		Партия № 3																					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16								
3	3,07	4,56	3,24	9,95	18 400	7,5										18,50	15,17	0,2	0,03				
4	3,07	4,61	3,17	9,72	19 200											19,76	16,20	-0,9	0,76				
5	3,08	4,56	3,29	10,12	18 900											18,68	15,32	0,0	0,00				
6	3,07	4,68	3,22	9,87	19 700											19,96	16,37	-1,0	1,07				
7	3,07	4,52	3,25	9,96	18 800											18,87	15,47	-0,1	0,02				
8	3,07	4,67	3,24	9,95	16 300											16,39	13,44	1,9	3,59				
9	3,07	4,47	3,24	9,95	17 250											17,34	14,22	1,1	1,23				
10	3,06	4,68	3,20	9,79	19 200	15,33										19,61	16,08	-0,7	0,56	0,82	5,34	0,20	1,29
11	3,06	4,64	3,21	9,82	18 500											18,83	15,44	-0,1	0,01				
12	3,07	4,54	3,25	9,96	19 300											19,37	15,89	-0,6	0,31				
13	3,07	4,59	3,19	9,78	17 800											18,20	14,93	0,4	0,16				
14	3,07	4,47	3,24	9,93	18 300											18,43	15,11	0,2	0,05				
15	3,06	4,57	3,19	9,75	19 100											19,60	16,07	-0,7	0,55				
16	3,07	4,66	3,18	9,75	16 900											17,34	14,22	1,1	1,24				
17	3,07	4,48	3,20	9,82	19 600											19,95	16,36	-1,0	1,06				

Таблица ППЗ.3

Предел прочности при сжатии под углом 60 градусов к волокнам (образец завода г. Югра)

№/п	l, см	h, см	B _{ср} , см	F, см ²	P _{распр} , Н	W, %	σ _{тн} , МПа	σ _{тн} для w = 12%, МПа	σ _{тн,сп} для w = 12%, МПа	Отклонения от ср. арифм., МПа	Квадрат отклонения от ср. арифм., МПа	Средн. квадрат. отклонения от σ _{тн} ² , МПа	Варианц. коэф. V, %	Средняя ошибка m, МПа	Показатель точности P, %
1	3,04	4,51	3,24	9,83	17 400	7,5	17,69	14,51	13,05	-1,5	2,14	0,94	7,18	0,23	1,74
2	3,04	4,80	3,19	9,68	16 00		16,52	13,55		-0,5	0,25				
3	3,06	4,60	3,19	9,76	16 500		16,90	13,86		-0,8	0,66				
4	3,06	4,41	3,22	9,84	16 600		16,87	13,84		-0,8	0,62				
5	3,03	4,53	3,18	9,62	13 900		14,45	11,85		1,2	1,44				
6	3,05	4,72	3,20	9,76	15 900		16,29	13,36		-0,3	0,10				
7	3,04	4,55	3,20	9,71	14 600		15,03	12,33		0,7	0,52				
8	3,03	4,57	3,21	9,73	16 300		16,76	13,74		-0,7	0,48				
9	3,04	4,72	3,23	9,82	14 400		14,67	12,03		1,0	1,04				
10	3,03	4,45	3,20	9,70	14 500		14,95	12,26		0,8	0,61				
11	3,05	4,48	3,22	9,82	17 200		17,51	14,36		-1,3	1,73				
12	3,06	4,60	3,22	9,85	14 100		14,31	11,73		1,3	1,72				
13	3,06	4,53	3,24	9,91	14 600		14,73	12,08		1,0	0,94				
14	3,07	4,57	3,17	9,72	16 700		17,19	14,09		-1,0	1,10				

Партия № 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<i>Партия № 1</i>															
15	3,06	4,62	3,20	9,79	15 650		15,98	13,11		-0,1	0,00				
16	3,06	4,45	3,21	9,82	15 400	7,5	15,68	12,86	13,05	0,2	0,04	0,94	7,18	0,23	1,74
17	3,04	4,52	3,20	9,71	14 500		14,93	12,24		0,8	0,65				
<i>Партия № 2</i>															
1	3,07	4,56	3,23	9,92	14 500		14,62	11,99		1,1	1,12				
2	3,07	4,61	3,20	9,82	17 300		17,61	14,44		-1,4	1,94				
3	3,07	4,37	3,25	9,96	14 400		14,45	11,85		1,2	1,43				
4	3,06	4,52	3,19	9,75	15 400		15,80	12,96		0,1	0,01				
5	3,07	4,57	3,24	9,93	17 200		17,32	14,20		-1,2	1,33				
6	3,07	4,52	3,24	9,95	16 700		16,79	13,77		-0,7	0,52				
7	3,06	4,6	3,17	9,68	15 900		16,42	13,46		-0,4	0,17				
8	3,06	4,26	3,26	9,98	16 950		16,99	13,93		-0,9	0,78				
9	3,08	4,38	3,26	10,04	15 700	7,5	15,64	12,82	13,05	0,2	0,05	0,89	6,83	0,22	1,66
10	3,07	4,47	3,16	9,70	14 800		15,26	12,51		0,5	0,29				
11	3,07	4,67	3,27	10,02	14 200		14,17	11,62		1,4	2,05				
12	3,07	4,56	3,23	9,92	15 400		15,53	12,73		0,3	0,10				
13	3,06	4,64	3,15	9,64	16 800		17,43	14,29		-1,2	1,55				
14	3,07	4,68	3,14	9,64	14 500		15,04	12,33		0,7	0,51				
15	3,07	4,52	3,24	9,93	16 500		16,61	13,62		-0,6	0,33				
16	3,07	4,55	3,19	9,78	14 700		15,03	12,33		0,7	0,52				

<i>Партия № 3</i>																
17	3,07	4,52	3,20	9,82	15 500	7,5	15,78	12,94	13,05	0,1	0,01	0,89	6,83	0,22	1,66	
1	3,07	4,53	3,27	10,02	14 300	7,5	14,27	11,70	13,07	1,4	1,87	0,83	6,39	0,20	1,55	
2	3,07	4,57	3,24	9,93	16 200		16,31	13,38		-0,3	0,10					
3	3,07	4,56	3,19	9,78	17 200		17,59	14,42		-1,4	1,84					
4	3,07	4,61	3,17	9,72	15 800		16,26	13,33		-0,3	0,07					
5	3,08	4,56	3,29	10,12	15 400		15,22	12,48		0,6	0,34					
6	3,07	4,68	3,22	9,87	16 500		16,72	13,71		-0,6	0,41					
7	3,07	4,52	3,25	9,96	15 300		15,36	12,59		0,5	0,22					
8	3,07	4,67	3,24	9,95	17 100		17,19	14,10		-1,0	1,06					
9	3,07	4,47	3,24	9,95	13 900		13,97	11,46		1,6	2,58					
10	3,06	4,68	3,20	9,79	14 600		14,91	12,23		0,8	0,71					
11	3,06	4,64	3,21	9,82	16 200		16,49	13,52		-0,5	0,21					
12	3,07	4,54	3,25	9,96	15 400		15,46	12,68		0,4	0,15					
13	3,07	4,59	3,19	9,78	15 850		16,21	13,29		-0,2	0,05					
14	3,07	4,47	3,24	9,93	15 600		15,71	12,88		0,2	0,03					
15	3,06	4,57	3,19	9,75	16 900		17,34	14,22		-1,2	1,33					
16	3,07	4,66	3,18	9,75	15 200		15,59	12,79		0,3	0,08					
17	3,07	4,48	3,20	9,82	16 000		16,29	13,36		-0,3	0,08					

Предел прочности при сжатии под углом 90 градусов к волокнам (образец завода г. Югра)

№п/п	l , см	h , см	B ^{сп} , см	A , см ²	P _{разруш} ^н , Н	W , %	σ ^{нр} , МПа	σ ^{нр} для $w = 12\%$, МПа	σ ^{нр,сп} для $w = 12\%$, МПа	Отклонения от ср. арифм., МПа	Квадрат отклонения от ср. арифм., МПа	Средн. квадр. отклонения от σ ^{нр} , МПа	Варианц. коэф. V , %	Средняя ошибка m , МПа	Показатель точности P , %
<i>Партия № 1</i>															
1	3,06	4,62	2,93	8,97	12 500	7,5	13,94	11,43	10,56	-0,9	0,77	0,87	8,2	0,21	1,99
2	3,06	4,97	2,95	9,01	13 200		14,65	12,01		-1,5	2,12				
3	3,06	5,13	2,92	8,92	11 200		12,56	10,30		0,3	0,07				
4	3,06	4,92	3,16	9,67	13 700		14,17	11,62		-1,1	1,13				
5	3,06	4,70	2,86	8,75	12 400		14,17	11,62		-1,1	1,13				
6	3,06	4,68	2,74	8,38	10 300		12,28	10,07		0,5	0,23				
7	3,06	5,08	2,70	8,26	10 000		12,10	9,92		0,6	0,40				
8	3,06	4,89	3,24	9,91	12 400		12,51	10,26		0,3	0,09				
9	3,06	4,90	2,97	9,09	12 400		13,64	11,19		-0,6	0,40				
10	3,06	4,63	2,84	8,68	12 050		13,89	11,39		-0,8	0,70				
11	3,06	5,10	2,91	8,90	10 400		11,68	9,58		1,0	0,96				
12	3,06	4,72	2,92	8,94	10 400		11,64	9,54		1,0	1,02				
13	3,06	4,88	2,91	8,90	10 200		11,45	9,39		1,2	1,35				
14	3,06	4,84	2,87	8,78	11 450		13,04	10,69		-0,1	0,02				

Партия № 2																
15	3,06	4,67	2,85	8,72	11 700	7,5	13,42	11,00	10,56		-0,4	0,20	0,87	8,2	0,21	1,99
16	3,06	5,01	2,84	8,69	10 300	7,5	11,85	9,72	10,56		0,8	0,70				
17	3,06	4,99	2,91	8,90	10 550		11,85	9,72	10,56		0,8	0,71				
Партия № 2																
1	3,06	4,83	2,91	8,89	12 000	7,5	13,50	11,07	10,64		-0,4	0,19	0,81	7,61	0,2	1,85
2	3,06	4,99	2,78	8,51	12 000		14,11	11,57	10,64		-0,9	0,86				
3	3,06	4,82	2,93	8,97	10 750		11,99	9,83	10,64		0,8	0,65				
4	3,06	4,9	2,94	9,00	10 600		11,78	9,66	10,64		1,0	0,95				
5	3,06	5,10	2,98	9,12	13 200		14,48	11,87	10,64		-1,2	1,52				
6	3,06	5,03	2,65	8,11	10 000		12,33	10,11	10,64		0,5	0,28				
7	3,06	4,64	2,87	8,77	12 000		13,69	11,22	10,64		-0,6	0,34				
8	3,06	5,02	2,85	8,72	11 100		12,73	10,44	10,64		0,2	0,04				
9	3,06	5,03	2,69	8,23	10 500		12,76	10,46	10,64		0,2	0,03				
10	3,06	4,95	2,71	8,29	10 200		12,30	10,09	10,64		0,6	0,30				
11	3,06	4,64	2,71	8,28	10 000		12,08	9,91	10,64		0,7	0,53				
12	3,06	5,1	2,75	8,40	12 500		14,88	12,20	10,64		-1,6	2,45				
13	3,06	4,82	2,93	8,95	10 600		11,84	9,71	10,64		0,9	0,86				
14	3,06	4,65	2,76	8,43	12 000		14,23	11,67	10,64		-1,0	1,07				
15	3,06	4,85	2,80	8,57	11 100		12,96	10,62	10,64		0,0	0,00				
16	3,06	5,15	2,79	8,52	10 500		12,32	10,10	10,64		0,5	0,29				
17	3,06	4,98	2,66	8,12	10 200		12,55	10,30	10,64		0,3	0,12				
Партия № 3																
1	3,06	4,83	2,75	8,40	12 000	7,5	14,29	11,71	10,50		-1,2	1,48	0,81	7,70	0,20	1,87
2	3,06	4,99	2,87	8,78	10 800	12,30	10,08	10,50		0,4	0,17					

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<i>Партия № 3</i>																	
3	3,06	4,82	2,89	8,84	11 300	7,5		12,78	10,48	10,50		0,0	0,00				
4	3,06	4,9	2,80	8,57	11 600			13,54	11,10			-0,6	0,37				
5	3,06	5,10	2,94	8,98	12 300			13,70	11,23			-0,7	0,54				
6	3,06	5,03	2,81	8,60	10 500			12,21	10,01			0,5	0,23				
7	3,06	4,64	2,69	8,23	10 500			12,76	10,46			0,0	0,00				
8	3,06	5,02	2,82	8,61	10 650			12,36	10,14			0,4	0,13				
9	3,06	5,03	2,88	8,81	10 400			11,80	9,68			0,8	0,67				
10	3,06	4,95	2,67	8,15	10 600	7,5		13,00	10,66	10,50		-0,2	0,03	0,81	7,70	0,20	1,87
11	3,06	4,64	2,82	8,61	9950			11,55	9,47			1,0	1,05				
12	3,06	5,1	2,60	7,96	9750			12,25	10,05			0,4	0,20				
13	3,06	4,82	3,05	9,33	11 100			11,89	9,75			0,7	0,55				
14	3,06	4,65	2,79	8,54	9800			11,48	9,41			1,1	1,18				
15	3,06	4,85	2,93	8,97	12 750			14,22	11,66			-1,2	1,36				
16	3,06	5,15	2,95	9,01	11 500			12,76	10,46			0,0	0,00				
17	3,06	4,48	2,84	8,69	12 800			14,73	12,08			-1,6	2,50				

Таблица ПП3.5

Предел прочности при сжатии вдоль волокон (образец завода г. Торжок, Тверская область)

№/П	l, см	h, см	B _{ср} , см	A, см ²	P _{распр} , Н	W, %	σ _{ит} , МПа	σ _{ит} для w = 12%, МПа	σ _{итср} для w = 12%, МПа	Отклонения от ср. арифм., МПа	Квадрат отклонения от ср. арифм., МПа	Средн. квадр. отклонения от σ _{ит} , МПа	Вариан. коэф. V, %	Средняя ошибка m, МПа	Показатель точности P, %
Партия № 1															
1	5,02	7,68	4,955	24,87	119 000	10,1	47,84	44,21	46,81	2,6	6,81	4,97	10,62	1,21	2,58
2	5,03	7,45	4,89	24,60	109 500		44,52	41,13		5,7	32,26				
3	5,02	7,7	5,035	25,25	123 500		48,91	45,19		1,6	2,63				
4	5,02	7,44	4,875	24,45	132 000		53,99	49,89		-3,1	9,45				
5	5,03	7,74	4,825	24,25	120 500		49,70	45,92		0,9	0,80				
6	5,03	7,56	4,525	22,76	127 000		55,80	51,56		-4,7	22,49				
7	5,03	7,68	4,87	24,47	132 000		53,94	49,84		-3,0	9,15				
8	5,05	7,54	4,505	22,73	105 500		46,42	42,89		3,9	15,39				
9	5,03	7,65	4,69	23,57	120 000		50,92	47,05		-0,2	0,05				
10	5,04	7,33	4,8	24,19	97 500		40,30	37,24		9,6	91,68				
11	5,03	7,8	5,12	25,73	118 000		45,86	42,38		4,4	19,68				
12	5,02	7,71	4,695	23,55	101 000		42,90	39,64		7,2	51,54				
13	5,03	7,66	4,695	23,62	136 000		11,45	9,39		1,2	1,35				
14	5,02	7,80	4,725	23,72	132 000		13,04	10,69		-0,1	0,02				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<i>Партия № 1</i>															
15	2,85	7,80	5,12	8,72	11 700	10,1	13,42	11,00		-0,4	0,20				
16	2,84	7,64	4,735	8,69	10 300	10,1	11,85	9,72	46,81	0,8	0,70	4,97	10,62	1,21	2,58
17	2,91	7,54	4,715	8,90	10 550		11,85	9,72		0,8	0,71				
<i>Партия № 2</i>															
1	5,02	7,91	5,13	25,73	143 000	10,1	55,58	51,36		-3,9	15,25				
2	5,02	7,47	4,705	23,60	131 500		55,73	51,50		-4,0	16,33				
3	5,03	7,74	5,07	25,50	136 000		53,33	49,28		-1,8	3,32				
4	5,05	7,35	5,075	25,60	143 500		56,05	51,79		-4,3	18,78				
5	5,02	7,65	5,07	25,45	114 000		44,79	41,39		6,1	36,81				
6	5,02	7,62	4,94	24,80	132 500		53,43	49,37		-1,9	3,67				
7	5,03	7,78	4,815	24,22	107 500		44,39	41,01		6,4	41,49				
8	5,01	7,63	4,915	24,62	113 000		45,89	42,40	47,45	5,1	25,52	4,27	9,00	1,04	2,18
9	5,01	7,91	5,185	25,98	108 000		41,58	38,42		9,0	81,69				
10	5,02	7,81	5,135	25,78	134 500		52,18	48,21		-0,8	0,57				
11	5,01	7,74	5,12	25,65	126 500		49,32	45,57		1,9	3,56				
12	5,03	7,57	4,505	22,66	119 000		52,52	48,52		-1,1	1,14				
13	5,03	7,69	4,705	23,64	125 000		52,87	48,85		-1,4	1,96				
14	5,03	7,70	4,87	24,50	132 000		53,89	49,79		-2,3	5,46				
15	5,03	7,70	4,89	24,57	142 000		57,79	53,40		-5,9	35,32				
16	5,03	7,81	4,975	25,02	131 500		52,55	48,56		-1,1	1,21				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
17	5,03	7,90	4,95	24,90	127 500	10,1	51,21	47,32	47,45	0,1	0,02	4,27	9,00	1,04	2,18
<i>Партия № 3</i>															
1	5,02	7,70	4,825	24,22	134 500		55,53	51,31		-3,3	10,82				
2	5,03	7,54	4,815	24,20	132 000		54,56	50,41		-2,4	5,71				
3	5,03	7,62	5,07	25,48	132 000		51,81	47,87		0,1	0,02				
4	5,03	7,66	5,135	25,83	105 500		40,85	37,74		10,3	105,65				
5	5,03	7,66	5,135	25,80	143 000		55,42	51,21		-3,2	10,16				
6	5,05	7,69	4,94	24,92	143 000		57,38	53,02		-5,0	24,98				
7	5,03	7,69	4,705	23,64	126 500		53,51	49,44		-1,4	2,01				
8	5,02	7,56	4,705	23,62	132 000		55,89	51,64		-3,6	13,10				
9	5,03	7,35	4,695	23,59	101 000	10,1	42,81	39,56	48,02	8,5	71,62	4,80	10,00	1,16	2,42
10	5,02	7,47	5,07	25,45	132 000		51,86	47,92		0,1	0,01				
11	5,02	7,74	4,94	24,80	132 000		53,23	49,18		-1,2	1,35				
12	5,03	7,69	4,94	24,82	105 500		42,50	39,27		8,7	76,56				
13	5,03	7,70	5,07	25,48	134 500		52,79	48,78		-0,8	0,58				
14	5,03	7,68	4,705	23,67	132 000		55,78	51,54		-3,5	12,37				
15	5,03	7,69	4,87	24,47	142 000		58,03	53,62		-5,6	31,32				
16	5,03	7,66	4,975	25,02	126 500		50,55	46,71		1,3	1,72				
17	5,03	7,68	4,975	25,00	127 500		51,00	47,13		0,9	0,80				

Предел прочности при сжатии вдоль волокон (образец завода г. Торжок, Тверская область)

№/П	l , см	h , см	B , см	A , см ²	P распр., Н	W , %	$\sigma_{\text{тп}}$, МПа	$\sigma_{\text{тп}}^{\text{дл}}$, МПа	$\sigma_{\text{тп}}^{\text{ср}}$, МПа	Отклонения от ср. арифм., МПа	Квадрат отклонения от ср. арифм., МПа	Средн. квадрат. отклонения от $\sigma_{\text{тп}}$, МПа	Варианц. коэф. V , %	Средняя ошибка m , МПа	Показатель точности P , %
1	6,310	9,45	6,31	39,78	214 000	10,8	53,79	51,21	45,23	-6,0	35,75	4,62	10,21	1,12	2,48
2	6,300	9,32	6,64	41,83	212 000		50,68	48,25		-3,0	9,11				
3	6,320	9,35	6,24	39,41	194 500		49,36	46,99		-1,8	3,10				
4	6,330	9,5	5,64	35,70	168 000		47,06	44,80		0,4	0,18				
5	6,330	9,53	5,57	35,26	123 000		34,89	33,21		12,0	144,42				
6	6,330	9,59	5,89	37,28	158 000		42,38	40,34		4,9	23,86				
7	6,320	9,4	6,28	39,66	183 000		46,14	43,93		1,3	1,69				
8	6,310	9,45	5,89	37,17	168 000		45,20	43,03		2,2	4,82				
9	6,300	9,35	6,24	39,28	180 000		45,82	43,62		1,6	2,57				
10	6,300	9,40	6,28	39,56	190 000		48,02	45,72		-0,5	0,24				
11	6,320	9,42	6,27	39,63	174 000		43,91	41,80		3,4	11,74				
12	6,310	9,37	6,23	39,28	185 500		47,23	44,96		0,3	0,07				
13	6,310	9,65	6,32	39,88	186 500		46,77	44,52		0,7	0,50				
14	6,330	9,54	6,16	38,99	212 500		54,50	51,88		-6,7	44,26				

Партия № 1

<i>Партия № 2</i>																
15	6,340	9,37	6,55	41,53	222 500	10,8	53,58	51,01	45,23		-5,8	33,40	4,62	10,21	1,12	2,48
16	6,340	9,46	6,63	42,03	192 500		45,80	43,60			1,6	2,66				
17	6,340	9,54	6,23	39,50	207 500		52,53	50,01			-4,8	22,89				
<i>Партия № 2</i>																
1	6,330	9,40	6,58	41,65	201 500		48,38	46,06			0,6	0,42				
2	6,310	9,53	6,61	41,71	211 000		50,59	48,16			-1,5	2,13				
3	6,340	9,40	6,60	41,84	180 000		43,02	40,95			5,7	33,05				
4	6,300	9,32	6,27	39,50	204 000		51,64	49,17			-2,5	6,07				
5	6,320	9,45	6,32	39,94	218 500		54,70	52,08			-5,4	28,91				
6	6,300	9,47	5,57	35,09	205 500		58,56	55,75			-9,0	81,90				
7	6,300	9,56	6,24	39,28	178 000		45,32	43,14			3,6	12,68				
8	6,310	9,76	6,13	38,68	204 000		52,74	50,21			-3,5	12,30				
9	6,310	9,81	6,22	39,25	204 000	10,8	51,98	49,48	46,70		-2,8	7,73	3,95	8,46	0,96	2,05
10	6,310	9,55	6,61	41,71	191 000		45,79	43,60			3,1	9,65				
11	6,330	9,44	6,33	40,04	197 000		49,20	46,84			-0,1	0,02				
12	6,330	9,38	6,37	40,32	181 000		44,89	42,73			4,0	15,74				
13	6,340	9,43	6,16	39,02	184 500		47,28	45,01			1,7	2,86				
14	6,320	9,51	6,24	39,41	200 500		50,88	48,44			-1,7	3,02				
15	6,320	9,46	6,32	39,91	185 000		46,35	44,13			2,6	6,62				
16	6,300	9,34	6,33	39,88	174 000		43,63	41,54			5,2	26,66				
17	6,300	9,59	6,42	40,41	198000		48,99	46,64			0,1	0,00				
<i>Партия № 3</i>																
1	6,310	9,53	6,61	41,71	218 500	10,8	52,39	49,87	44,68		-5,2	26,98	3,32	7,44	0,81	1,80
2	6,330	9,40	6,29	39,82	191 000		47,97	45,67			-1,0	0,98				

Партия № 3																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
3	6,330	9,43	6,16	38,96	178 000		45,69	43,49		1,2	1,40					
4	6,300	9,53	6,64	41,83	186 500		44,58	42,44		2,2	5,00					
5	6,300	9,32	6,63	41,77	168 000		40,22	38,29		6,4	40,80					
6	6,300	9,45	6,27	39,50	197 000		49,87	47,48		-2,8	7,84					
7	6,300	9,38	6,13	38,62	174 000		45,06	42,89		1,8	3,19					
8	6,320	9,51	6,33	39,97	200 500		50,16	47,75		-3,1	9,44					
9	6,340	9,40	6,32	40,04	210 000		52,45	49,93		-5,3	27,62					
10	6,340	9,32	6,38	40,42	198 500	10,8	49,11	46,75	44,68	-2,1	4,31	3,32	7,44	0,81	1,80	
11	6,330	9,53	6,31	39,94	195 500		48,95	46,60		-1,9	3,68					
12	6,330	9,54	6,34	40,10	195 000		48,63	46,29		-1,6	2,61					
13	6,330	9,34	6,29	39,82	189 000		47,47	45,19		-0,5	0,26					
14	6,310	9,44	6,28	39,63	169 500		42,77	40,72		4,0	15,66					
15	6,310	4,53	6,34	40,01	171 000		42,74	40,69		4,0	15,89					
16	6,320	9,53	6,37	40,23	175 000		43,50	41,42		3,3	10,65					
17	6,300	9,45	6,21	39,12	181 000		46,26	44,04		0,6	0,40					

Таблица П13.7

Предел прочности при сжатии вдоль волокон (образец завода г. Лохья, Финляндия)

№/П	l, см	h, см	B _{cp} , см	A, см ²	P _{распр} , Н	W, %	σ _{нп} , МПа	σ _{нп} для w = 12%, МПа	σ _{нп} для w = 12%, МПа	Отклонения от ср. арифм., МПа	Квадрат отклонения от ср. арифм., МПа	Средн. квадр. отклонения от σ _{нп} , МПа	Вариант. Коэф. V, %	Средняя ошибка m, МПа	Показатель точности P, %
1	4,910	7,27	4,97	24,38	105 500		43,28	43,62		-3,6	12,66				
2	4,930	7,22	4,96	24,43	103 500		42,37	42,71		-2,6	6,99				
3	4,910	7,54	4,96	24,35	86 000		35,31	35,60		4,5	19,97				
4	4,930	7,42	5,02	24,72	82 000		33,17	33,43		6,6	43,99				
5	4,910	7,55	4,96	24,33	83 500		34,32	34,60		5,5	29,91				
6	4,920	7,37	4,90	24,08	84 200		34,96	35,24		4,8	23,26				
7	4,940	7,31	4,94	24,38	104 000		42,66	43,00		-2,9	8,62				
8	4,920	7,34	4,93	24,23	107 000	12,2	44,16	44,51	40,06	-4,4	19,78	3,60	8,99	0,93	2,32
9	4,910	7,27	4,97	24,38	102 000		41,84	42,18		-2,1	4,46				
10	4,930	7,22	4,96	24,43	101 800		41,67	42,01		-1,9	3,77				
11	4,910	7,54	4,96	24,35	102 600		42,13	42,47		-2,4	5,77				
12	4,930	7,42	5,02	24,72	101 300		40,97	41,30		-1,2	1,53				
13	4,910	7,55	4,96	24,33	98 600		40,53	40,85		-0,8	0,62				
14	4,920	7,37	4,90	24,08	95 400		39,61	39,93		0,1	0,02				
15	4,940	7,31	4,94	24,38	95 600		39,21	39,53		0,5	0,29				

Предел прочности при сжатии под углом 30 градусов ДСП-В (образец завода г. Санкт-Петербург)

№п/п	t , см	h , см	B_{cp} , см	A , см ²	$P_{распушт}$, Н	$\sigma_{тп}$, МПа	$\sigma_{тп,ср}$, МПа	Отклонения от ср. арифм., МПа	Квадрат отклонения от ср. арифм., МПа	Средн. квадрат. отклонения от $\sigma_{тп}$, МПа	Варианц. коэф. V , %	Средняя ошибка m , МПа	Показатель точности P , %
1	0,570	1,14	1,15	0,66	5300	80,85							
Партия № 1													
1	0,570	1,14	1,15	0,66	5300	80,85		3,5	12,43				
2	0,570	1,17	1,06	0,60	4900	81,10		3,3	10,77				
3	0,570	1,19	1,18	0,67	5400	80,63		3,8	14,08				
4	0,570	1,16	1,12	0,64	5350	83,80		0,6	0,33				
5	0,570	1,21	1,09	0,62	5350	86,51		-2,1	4,52				
6	0,580	1,15	1,06	0,61	5400	88,25		-3,9	14,97				
7	0,570	1,17	1,07	0,61	5300	87,31		-2,9	8,57				
8	0,570	1,20	1,10	0,63	5350	85,33	84,38	-0,9	0,90	2,65	3,14	0,64	0,76
9	0,570	1,15	1,14	0,65	5450	83,87		0,5	0,26				
10	0,570	1,19	1,12	0,64	5400	84,97		-0,6	0,34				
11	0,570	1,21	1,06	0,60	5250	86,89		-2,5	6,31				
12	0,570	1,20	1,12	0,64	5400	84,59		-0,2	0,04				
13	0,570	1,20	1,14	0,65	5450	83,87		0,5	0,26				
14	0,570	1,16	1,14	0,65	5250	81,15		3,2	10,43				

15	0,580	1,17	1,13	0,65	5300	81,23	84,38		3,2	9,95	2,65	3,14	0,64	0,76
16	0,570	1,15	1,08	0,61	5250	85,68			-1,3	1,69				
17	0,560	1,19	1,06	0,59	5250	88,44			-4,1	16,51				
<i>Партия № 2</i>														
1	0,570	1,21	1,12	0,64	5500	86,54			-1,8	3,14				
2	0,570	1,15	1,15	0,65	5300	81,21			3,6	12,66				
3	0,570	1,16	1,12	0,64	5450	85,37			-0,6	0,36				
4	0,570	1,21	1,13	0,64	5350	83,43			1,3	1,78				
5	0,570	1,20	1,16	0,66	5450	82,78			2,0	3,93				
6	0,570	1,21	1,14	0,65	5400	83,10			1,7	2,77				
7	0,570	1,16	1,14	0,65	5400	83,10			1,7	2,77				
8	0,570	1,19	1,12	0,64	5300	83,02			1,7	3,05				
9	0,570	1,16	1,17	0,66	5400	81,32	84,77		3,4	11,88	2,62	3,09	0,63	0,75
10	0,570	1,19	1,15	0,65	5650	86,57			-1,8	3,25				
11	0,570	1,22	1,15	0,66	5600	85,43			-0,7	0,44				
12	0,570	1,2	1,17	0,67	5400	80,97			3,8	14,40				
13	0,570	1,2	1,12	0,64	5650	88,90			-4,1	17,08				
14	0,560	1,20	1,11	0,62	5500	88,88			-4,1	16,94				
15	0,570	1,16	1,14	0,65	5700	88,11			-3,3	11,15				
16	0,570	1,17	1,15	0,66	5650	86,19			-1,4	2,04				
17	0,560	1,15	1,12	0,63	5400	86,10			-1,3	1,77				
<i>Партия № 3</i>														
1	0,570	1,19	1,06	0,60	5250	86,89	84,96		-1,9	3,75	2,43	2,86	0,59	0,69
2	0,570	1,16	1,06	0,60	5200	86,06			-1,1	1,23				

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<i>Партия № 3</i>															
3	0,560	1,16	1,07	0,60	5350	89,29				-4,3	18,75				
4	0,560	1,17	1,10	0,62	5400	87,66				-2,7	7,32				
5	0,560	1,10	1,15	0,64	5400	83,85				1,1	1,22				
6	0,560	1,2	1,12	0,63	5300	84,50				0,5	0,21				
7	0,560	1,2	1,17	0,66	5400	82,42				2,5	6,44				
8	0,570	1,15	1,15	0,65	5400	82,74				2,2	4,91				
9	0,570	1,10	1,09	0,62	5350	86,51				-1,6	2,40				
10	0,570	1,17	1,07	0,61	5450	89,36		84,96		-4,4	19,39	2,43	2,86	0,59	0,69
11	0,570	1,16	1,13	0,64	5400	83,84				1,1	1,25				
12	0,570	1,21	1,12	0,64	5450	85,37				-0,4	0,17				
13	0,560	1,16	1,15	0,64	5350	83,07				1,9	3,54				
14	0,560	1,17	1,13	0,63	5350	84,92				0,0	0,00				
15	0,560	1,24	1,12	0,63	5300	84,50				0,5	0,21				
16	0,570	1,21	1,17	0,67	5500	82,47				2,5	6,17				
17	0,570	1,15	1,14	0,65	5250	80,79				4,2	17,32				

Сертификат на ЛВЛ производства завода в г. Торжок

УДОСТОВЕРЕНИЕ КАЧЕСТВА (certificate quality)

№ 4 от «14» апреля 2009 г.

**Брус клееный из шпона
(laminated veneer lumber) ТУ 5366-052-6915009120-2008**

Наименование товара (product name)	Тип (Type)	Толщина (thickness), мм	Формат (size), мм(mm)		Количество(quantity)	
			Длина (length)	Ширина (width)	шт (state)	м ³ (m ³)
Брус клееный из шпона (laminated veneer lumber) ТУ 5366-052-6915009120-2008	R	51	11000	260	7	1,02
		51	13500	600	9 6	2,48 3,71
Итого						3,5

По качеству данная партия товара соответствует техническим условиям ТУ 5366-052-6915009120-2008

Показатели качества(product-quality index):

Показатели	Фактические значения
1 Предел прочности при статическом изгибе вдоль волокон, МПа, не менее	68
2 Модуль упругости при статическом изгибе вдоль волокон, МПа, не менее	20131
3 Плотность, кг/м ³	519
4 Влажность, %	7
5 Предел прочности при растяжении вдоль волокон, МПа, не менее	43
6 Предел прочности при сжатии поперек волокон, МПа, не менее , МПа, не менее	8,6
7 Предел прочности при сжатии вдоль волокон, МПа, не менее	56
8 Класс эмиссии	E1

Испытания проводились в аттестованной лаборатории предприятия свидетельство № 1973 от 2.02.09г. выданное ФГУ «Тверской ЦСМ».

Рис. П14.1. Сертификат на материал

Сертификат на ЛВЛ производства завода в г. Нягань



Ханты-Мансийский автономный округ-Югра, г. Нягань, ул. Лазарева, 28
ОАО «ЛВЛ-Югра»



Брус клееный из шпона
ТУ 5366-022-55437273-2003

Адрес назначения ООО «Реконс-Эко-КС»

Наименование товара	Тип, марка	Толщина, мм	Формат, мм		Количество	
			Ширина	Длина	шт	м ³
	LVL-1x	33	100	3000	800	7,92
					800	7,92

По качеству данная партия товара соответствует техническим условиям ТУ 5366-022-55437273-2003

Показатели качества:



Сертификат соответствия № РОСС RU. СЛ157. Н00189 от 05.04.07г.

1 Влажность, %	5 – 10
2 Предел прочности при скалывании по клеевому слою, МПа, не менее	1,0
3 Предел прочности при статическом изгибе вдоль волокон, МПа, не менее	
- тип 1	48
- тип 2	35
4 Модуль упругости при статическом изгибе, МПа, не менее	
- тип 1	10000
- тип 2	7000
5 Плотность, кг/м ³	557
6 Класс эмиссии	E1



Начальник СКК

Сар
подпись

«05» мая 2007г.

Рис. П15.1. Сертификат на материал

Сертификат на ЛВД производства завода в г. Метса, Финляндия

Приложение к сертификату соответствия
№ РОСС FFLAE95.H00234 от 29.02.2008
(на двух листах)

характеристика	значение					
	Glulam GL 24H	Glulam GL 28C	Glulam GL 32C	Kerto-S Толщина 21 – 90 мм	Kerto-Q Толщина 21 – 24 мм	Kerto-Q Толщина 27 – 89 мм
Допуски для размеров при содержании влаги 10±2%						
Толщина	h<400 +4 -2 h>400 +1,0 - 0,5%	h<400 +4 -2 h>400 +1,0 - 0,5%	h<400 +4 -2 h>400 +1,0 - 0,5%	+ (0,8+0,03t) - (0,4+0,03t)	+0,8 - 0,4 - (0,4+0,03t)	+0,8 - 0,4 - (0,4+0,03t)
Ширина	±2	±2	±2	<400±2,0 ≥400±0,5 % ± 5,0	<400±2,0 ≥400±0,5 % ± 5,0	<400±2,0 ≥400±0,5 % ± 5,0
Длина	h≤2m ±2 2<h≤20m 0,1 % h>20m ±20	h≤2m ±2 2<h≤20m 0,1 % h>20m ±20	h≤2m ±2 2<h≤20m 0,1 % h>20m ±20			
Пятье процентильные значения						
Прочность на изгиб:	24	28	32	44,0	28,0	32,0
В боковом направлении (глубина 300 мм)	-	-	-	0,12	0,12	0,12
Размерный эффект	-	-	-	50,0	32,0	36,0
Перпендикулярно слоям (толщ. от 21 до 90 мм)						
Прочность на растяжение:						
Параллельно волокнам (длина 3000 мм)	16,5	16,5	19,5	35,0	19,0	26,0
Перпендикулярно волокнам, вбок	0,4	0,4	0,45	0,6	6,0	6,0
Перпендикулярно волокнам, перпендикулярно слоям	-	-	-	-	-	-
Прочность при сжатии:						
Параллельно волокнам	24,0	24,0	26,5	35,0	19,0	26,0
Перпендикулярно волокнам, вбок	2,7	2,7	3,0	6,0	9,0	9,0
Перпендикулярно волокнам, перпендикулярно слоям	-	-	-	1,8	1,8	1,8
Прочность при сдвиге:						
Параллельно волокнам	2,7	2,7	3,2	4,1	4,5	4,5
Перпендикулярно волокнам	-	-	-	2,3	1,3	1,3
Модуль упругости:						



Рис. П16.1. Сертификат на материал ДСП. Начало

Параллельно волокнам Перпендикулярно волокнам, вбок Перпендикулярно волокнам, перпендикулярно слоям Перпендикулярно волокнам	9400 - - -	10200 - - -	11100 - - -	11600 350 100	8300 2000 100	8800 2000 100
Модуль сдвига: Параллельно волокнам Перпендикулярно волокнам	720 - -	720 - -	780 - -	400 400 -	400 - -	400 - -
Плотность	380	380	410	480	480	480
Средние значения						
Модуль упругости: Параллельно волокнам Перпендикулярно волокнам, вбок Перпендикулярно волокнам, перпендикулярно слоям	11600 390 -	12600 390 -	13700 420 -	13800 430 130	10000 2400 130	10500 2400 130
Модуль сдвига: Параллельно волокнам Перпендикулярно волокнам	- - -	- - -	- - -	600 600 510	600 - 510	600 - 510
Плотность	-	-	-	600	600	600
Коэффициенты изменения размеров						
Толщина	-	-	-	0.0024	0.0024	0.0024
Ширина	-	-	-	0.0032	0.0003	0.0003
Длина	-	-	-	0.0001	0.0001	0.0001
Коэффициент сопротивления водяному пару						
В направлении толщины	-	-	-	80	62	62
В направлении ширины	-	-	-	82	9.5	9.5
В продольном направлении	-	-	-	3.9	4.7	4.7

Характеристики Kerto-S, Kerto-Q и Glulam

Т.В. Заболотная
Т.В. Радецкая



Руководитель органа по сертификации продукции
Эксперт Системы сертификации ГОСТ Р

Рис. П16.1. Окончание

Определение характеристик конструкции фермы

Таблица П17.1

Таблица испытания образцов

н/п	t , см	h , см	База, см	P_{\max} , Н	C , мм	Δ , мм	$\Delta_{\text{обит}}$, мм	$P_{\text{разруш}}$, Н	$\sigma_{\text{вр}}$, МПа	$\sigma_{\text{вр,ср}}$, МПа
1	3,05	7,55	70,00	0	3,10	1,00	0,00	12 300	74	
				2000	4,10		1,00			
				2000	4,10	1,22	2,22			
				4000	5,32					
				4000	5,32	1,28	3,50			
				6000	6,60					
				6000	6,60	1,31	4,81			
				8000	7,91					
				8000	7,91	1,54	6,35			
				10 000	9,45					
				10 000	9,45	2,05	8,40			
12 000	11,50									
2	3,05	7,33	70,00	0	8,37	0,93	0,00	11 000	70	69
				2000	9,30		0,93			
				2000	9,30	1,03	1,96			
				4000	10,33					
				4000	10,33	1,17	3,13			
				6000	11,50					
				6000	11,50	1,08	4,21			
				8000	12,58					
				8000	12,58	1,45	5,66			
				10 000	14,03					
3	3,02	7,41	70,00	0	0,01	1,39	0,00	10 700	68	
				2000	1,40		1,39			
				2000	1,40	1,16	2,55			
				4000	2,56					
				4000	2,56	1,52				

н/п	t , см	h , см	База, см	P_{max} , Н	C , мм	Δ , мм	$\Delta_{обит}$, мм	$P_{разруш}$, Н	$\sigma_{вр}$, МПа	$\sigma_{вр,ср}$, МПа
3	3,02	7,41	70,00	6000	4,08	1,52	4,07	10 700	68	69
				6000	4,08	1,54				
				8000	5,62		1,88			
				8000	5,62	7,49				
				10 000	7,50					
4	3,07	7,40	70,00	0	9,94	1,41	0,00	10 000	62	69
				2000	11,35		1,41			
				2000	11,35	1,20	2,61			
				4000	12,55					
				4000	12,55	1,39	4,00			
				6000	13,94					
				6000	13,94	1,38	5,38			
				8000	15,32					
				8000	15,32	2,70	8,08			
				10 000	18,02					
5	3,06	7,13	70,00	0	9,35	1,25	0,00	10 000	67	69
				2000	10,60		1,25			
				2000	10,60	1,35	2,60			
				4000	11,95					
				4000	11,95	1,66	4,26			
				6000	13,61					
				6000	13,61	1,89	6,15			
				8000	15,50					
				8000	15,50	2,50	8,65			
				10 000	18,00					
6	3,05	7,35	70,00	0	4,03	1,38	0,00	10 900	69	69
				2000	5,41		1,38			
				2000	5,41	1,25	2,63			
				4000	6,66					
				4000	6,66	1,49	4,12			
				6000	8,15					

Продолжение табл. П17.1

н/п	t , см	h , см	База, см	P_{max} , Н	C , мм	Δ , мм	$\Delta_{обит}$, мм	$P_{разруш}$, Н	$\sigma_{вр}$, МПа	$\sigma_{вр,ср}$, МПа
6	3,05	7,35	70,00	6000	8,15	1,62	4,12	10 900	69	69
				8000	9,77		5,74			
				8000	9,77	1,82				
				10 000	11,59					
7	3,02	7,25	70,00	0	6,90	1,29	0,00	9800	65	
				2000	8,19		1,29			
				2000	8,19	1,21				
				4000	9,40		1,48			
				4000	9,40	1,57				
				6000	10,88		5,55			
				6000	10,88					
				8000	12,45					
8	3,08	7,33	70,00	0	6,62	1,09	0,00	11 700	74	
				2000	7,71		1,09			
				2000	7,71	1,34				2,43
				4000	9,05		1,30			
				4000	9,05	1,42				3,73
				6000	10,35		1,85			
				6000	10,35	7,00				
				8000	11,77					
				8000	11,77					
				10 000	13,62					
9	3,05	7,35	70,00	0	0,15	1,51	0,00	11 500	73	
				2000	1,66		1,51			
				2000	1,66	0,99				2,50
				4000	2,65		1,53			
				4000	2,65	4,03				
				6000	4,18					
				6000	4,18					

н/п	t , см	h , см	База, см	P_{\max} , Н	C , мм	Δ , мм	$\Delta_{\text{обит}}$, мм	$P_{\text{разруш}}$, Н	$\sigma_{\text{вр}}$, МПа	$\sigma_{\text{вр, ср}}$, МПа
9	3,05	7,35	70,00	8000	5,70	1,52	5,55	11 500	73	
				8000	5,70	1,30				
				10 000	7,00		6,85			
10	3,05	7,40	70,00	0	5,24	1,35	0,00	9900	62	69
				2000	6,59		1,35			
				2000	6,59	1,06	2,41			
				4000	7,65		1,46			
				4000	7,65	1,78	3,87			
				6000	9,11		5,65			
				6000	9,11					
				8000	10,89					

Эксперимент по определению зависимости несущей способности соединения от типа связи

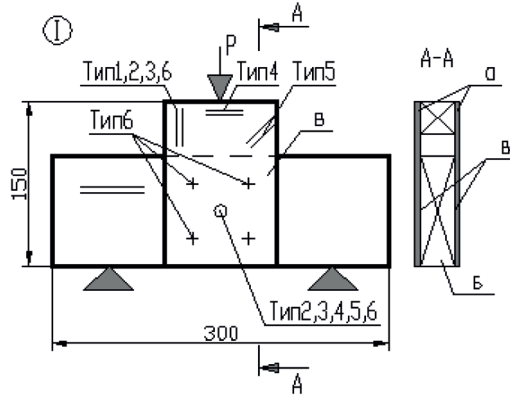


Рис. П18.1. Соединение элементов под углом 90°

Тип 1 – на клею фирмы «Акзонобель» Casco S9 Super по всей площади $S = 10 \text{ см}^2$. Расположение соединительных элементов – ЛВЛ поперек волокон (горизонтальный), ДСП-В вдоль волокон (вертикальный) (рис. П18.1, табл. П18.1).

Расчет несущей способности соединения проводился по наиболее слабому сечению – клеевому шву (что и подтвердил эксперимент) по формуле (6):

$$T_n = n_{\text{шв}} \cdot A_{\text{шв}} \cdot R_{\text{сд,клей}}$$

Несущая способность клевого соединения $T_n = 2 \cdot b_{\text{ср}} \cdot L_{\text{ср}} \cdot 1,0 = 193,06 \text{ кгс}$.

Коэффициент запаса ($K_{\text{зап}}$) определяется по формуле (7):

$$K_{\text{зап}} = \frac{P_{\text{max}} \cdot m_{\text{дл}}}{T_n}$$

Коэффициент запаса $K_{\text{зап}} = (701,5 \cdot 0,66) / 193,06 = 2,4$.

Полученные данные позволили построить график зависимости P_{max} (рис. П18.2).

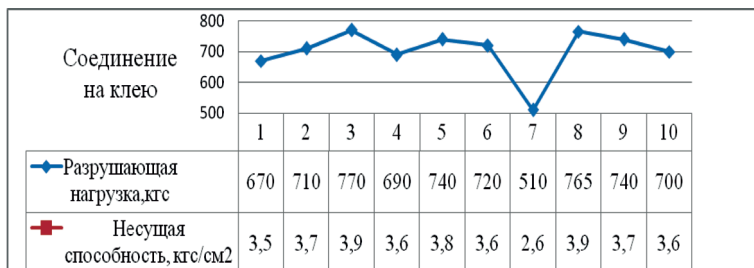


Рис. П18.2. Диаграмма несущей способности узла (тип 1)

Таблица П18.1

Несущая способность узла

Вид соединения	П/н	Кол-во накладок, шт.	Ширина шва b, см	Длина шва L, см	A шва, см ²	Расчетное сопротивление клевого шва сдвигу по данным производителя $R_{сдв,клей}$ кгс/см ²	P_{max} кгс	$P_{cp,max}$ кгс	Несущая способность, кгс/см ²	Среднее значение несущей способности, кгс/см ²
Тип 1. Клей	1	2	9,9	9,8	96,5	1,0	670	701,5	3,5	3,6
	2	2	9,9	9,8	97,0		710		3,7	
	3	2	9,9	10,0	98,6		770		3,9	
	4	2	9,8	9,8	96,0		690		3,6	
	5	2	10,0	9,8	97,5		740		3,8	
	6	2	10,0	10,0	99,5		720		3,6	
	7	2	9,9	9,9	97,5		510		2,6	
	8	2	9,9	10,0	98,7		765		3,9	
	9	2	10,0	10,0	99,3		740		3,7	
	10	2	9,8	9,9	96,5		700		3,6	

Тип 2 – соединение на глухаре $d = 1,2$ см. Расположение соединительных элементов – ЛВЛ поперек волокон (горизонтальный), ДСП-В вдоль волокон (вертикальный) (табл. П18.2).

Таблица П18.2

Несущая способность узла

Вид соединения	п/н	Кол-во накладок, шт.	Кол-во нагелей, шт.	Толщина ЛВЛ, см	Толщина ДСП-В, см	P_{max} , кгс	$P_{ср.макс}$, кгс
Тип 2. Саморез $d = 1,2$ см	1	2	1	3	0,5	1400	1396,0
	2	2	1	3	0,5	1350	
	3	2	1	3	0,5	1450	
	4	2	1	3	0,5	1320	
	5	2	1	3	0,5	1430	
	6	2	1	3	0,5	1410	
	7	2	1	3	0,5	1380	
	8	2	1	3	0,5	1390	
	9	2	1	3	0,5	1390	
	10	2	1	3	0,5	1440	

Расчет несущей способности нагельного соединения проводился по следующим формулам.

Симметричные соединения – смятие в средних элементах $T_{см}^c = 0,5 \cdot c \cdot d$.

Симметричные соединения – смятие в крайних элементах $T_{см}^a = 0,8 \cdot a \cdot d$.

Симметричные соединения – изгиб нагеля из стали С38/23 $T_{изг} = 1,8d^2 + 0,02a^2$.

Из условия скалывания $T_{ск} = R_{ск}^{cp} \cdot F_{ск}$

$$R_{ск}^{cp} = \frac{R_{ск}}{1 + \beta \frac{l_{ск}}{e}}$$

$$T_{см}^c \text{ (ЛВЛ)} = 0,5 \cdot c \cdot d \cdot R_{см,ЛВЛ} / R_{см,лр} = 0,5 \cdot 3,0 \cdot 1,2 \cdot 2,3 / 1,4 = 2,957 \text{ кН}$$

$$T_{см}^a \text{ (ДСП-В)} = 0,8 \cdot a \cdot d \cdot R_{см,ДСП-В} / R_{см,лр} = 0,8 \cdot 0,5 \cdot 1,2 \cdot 5,56 / 1,4 = 1,9 \text{ кН}$$

$$T_{изг} = 1,8d^2 + 0,02 \cdot (a \cdot R_{см,ДСП-В} / R_{см,лр})^2 = 1,8 \cdot 1,2^2 + 0,02 \cdot (0,5 \cdot 5,56 / 1,4)^2 = 2,67 \text{ кН}$$

$$T_{ск} = R_{ск}^{cp} \cdot F_{ск} = 0,107 \cdot 3,0 \cdot 5,0 = 1,605 \text{ кН}$$

$$R_{ск}^{cp} \text{ (ЛВЛ)} = R_{см} \text{ (ЛВЛ)} / (1 + b \cdot (L_{ск} / 0,25t_{общ})) = 0,24 / (1 + 0,25 (5,0 / (0,25 (0,5 + 3,0 + 0,5)))) = 0,107 \text{ кН}$$

Коэффициент запаса ($K_{зап}$) определяется по формуле (7) $= P_{max} \times 0,66 / T_{н} = (1396 \cdot 0,66) / (160,5 \cdot 2 \cdot 1) = 2,87$.

Полученные данные позволили построить график зависимости P_{max} (рис. П18.3).

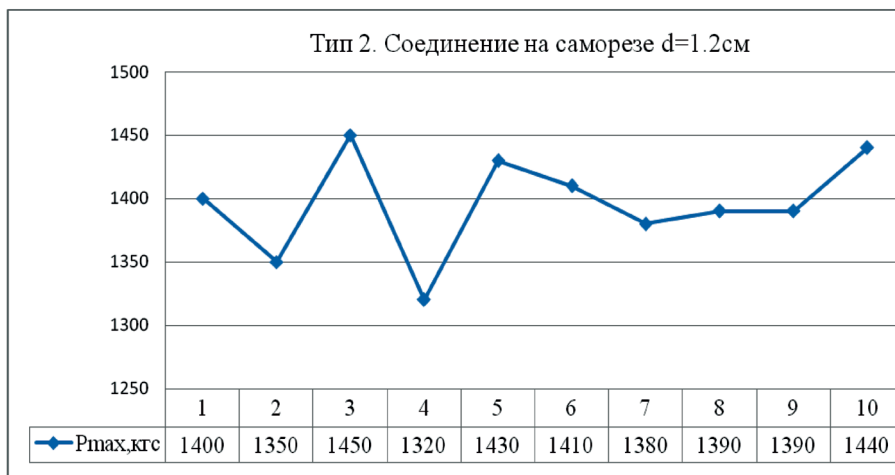


Рис. П18.3. Диаграмма несущей способности узла (тип 2)

Тип 3 – на клею + глухарь $d = 1,2$ см. Расположение соединительных элементов – ЛВЛ поперек волокон (горизонтальный), ДСП-В вдоль волокон (вертикальный) (табл. П18.3).

Таблица П18.3

Несущая способность узла

Вид соединения	П/Н	Кол-во накладок, шт.	Кол-во нагелей, шт.	Толщина ЛВЛ, см	Толщина ДСП-В, см	P_{max} , кгс	$P_{ср. max}$, кгс
Тип 3. Клей + саморез $d = 1,2$ см	1	2	1	3	0,5	1670	1882,0
	2	2	1	3	0,5	1950	
	3	2	1	3	0,5	1950	
	4	2	1	3	0,5	1910	
	5	2	1	3	0,5	1850	
	6	2	1	3	0,5	1890	
	7	2	1	3	0,5	1900	
	8	2	1	3	0,5	1900	
	9	2	1	3	0,5	1860	
	10	2	1	3	0,5	1940	

Расчет несущей способности нагельного соединения проводился по следующим формулам.

$$T_{см}^c \text{ (ЛВЛ)} = 0,5 \cdot c \cdot d \cdot R_{см,ЛВЛ} / R_{см,лр} = 0,5 \cdot 3,0 \cdot 1,2 \cdot 2,3 / 1,4 = 2,957 \text{ кН}$$

$$T_{см}^a \text{ (ДСП-В)} = 0,8 \cdot a \cdot d \cdot R_{см,ДСП-В} / R_{см,лр} = 0,8 \cdot 0,5 \cdot 1,2 \cdot 5,56 / 1,4 = 1,9 \text{ кН}$$

$$T_{изг} = 1,8d^2 + 0,02 \cdot (a \cdot R_{см,ДСП-В} / R_{см,лр})^2 = 1,8 \cdot 1,2^2 + 0,02 \cdot (0,5 \cdot 5,56 / 1,4)^2 = 2,67 \text{ кН}$$

$$T_{\text{ск}} = R_{\text{ск}}^{\text{ср}} \cdot F_{\text{ск}} = 0,107 \cdot 3,0 \cdot 5,0 = 1,605 \text{ кН}$$

$$R_{\text{ск}}^{\text{ср}} (\text{ЛВЛ}) = R_{\text{см}} (\text{ЛВЛ}) / (1 + b \cdot (L_{\text{ск}} / 0,25 t_{\text{общ}})) = 0,24 / (1 + 0,25 (5,0 / (0,25 (0,5 + 3,0 + 0,5)))) = 0,107 \text{ кН}$$

Коэффициент запаса ($K_{\text{зап}}$) определялся по формуле (7): $P_{\text{max}} \cdot 0,66 / T_{\text{н}} = (1882 \cdot 0,66) / (160,5 \cdot 2 \cdot 1) = 3,87$.

Полученные данные позволили построить график зависимости P_{max} (рис. П18.4).

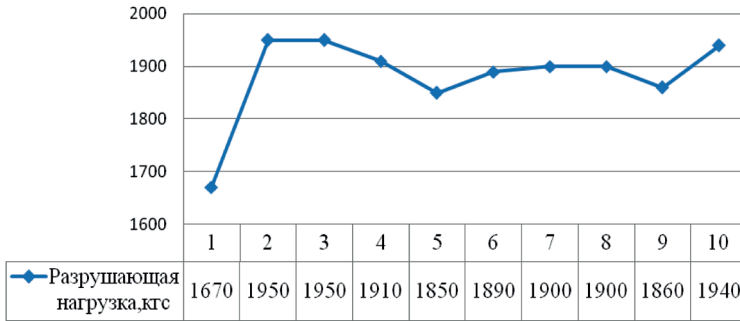


Рис. П18.4. Диаграмма несущей способности узла (тип 3)

Тун 4 – на клей + глухарь $d = 1,2$ см. Расположение соединительных элементов – ЛВЛ поперек волокон (горизонтальный), ДСП-В поперек волокон (вертикальный) (табл. П18.4).

Таблица П18.4

Несущая способность узла

Вид соединения	п/н	Кол-во накладок, шт.	Кол-во нагелей, шт.	Толщина ЛВЛ, см	Толщина ДСП-В, см	P_{max} , кгс	$P_{\text{ср,max}}$, кгс
Тип 4. Клей + саморез $d = 1,2$ см	1	2	1	3	0,5	1730	1687,5
	2	2	1	3	0,5	1550	
	3	2	1	3	0,5	1725	
	4	2	1	3	0,5	1670	
	5	2	1	3	0,5	1710	
	6	2	1	3	0,5	1730	
	7	2	1	3	0,5	1700	
	8	2	1	3	0,5	1670	
	9	2	1	3	0,5	1670	
	10	2	1	3	0,5	1720	

Расчет несущей способности нагельного соединения проводился по следующим формулам.

$$T_{\text{см}}^{\text{с}} (\text{ЛВЛ}) = 0,5 \cdot c \cdot d \cdot R_{\text{см,ЛВЛ}} / R_{\text{см,лр}} = 0,5 \cdot 3,0 \cdot 1,2 \cdot 2,3 / 1,4 = 2,957 \text{ кН}$$

$$T_{\text{см}}^{\text{а}} (\text{ДСП-В}) = 0,8 \cdot a \cdot d \cdot R_{\text{см,ДСП-В}} / R_{\text{см,лр}} = 0,8 \cdot 0,5 \cdot 1,2 \cdot 5,56 / 1,4 = 1,9 \text{ кН}$$

$$T_{изг} = 1,8d^2 + 0,02 \cdot (a \cdot R_{см,ДСП-В} / R_{см,лр})^2 = 1,8 \cdot 1,2^2 + 0,02 \cdot (0,5 \cdot 5,56 / 1,4)^2 = 2,67 \text{ кН}$$

$$T_{ск} = R_{ск}^{сп} \cdot F_{ск} = 0,107 \cdot 3,0 \cdot 5,0 = 1,605 \text{ кН}$$

$$R_{ск}^{сп}(\text{ЛВЛ}) = R_{см}(\text{ЛВЛ}) / (1 + b \cdot (L_{ск} / 0,25t_{общ})) = 0,24 / (1 + 0,25(5,0 / (0,25(0,5 + 3,0 + 0,5)))) = 0,107 \text{ кН}$$

Коэффициент запаса ($K_{зап}$) определялся по формуле (7): $P_{max} \cdot 0,66 / T_H = (1687,5 \cdot 0,66) / (160,5 \cdot 2 \cdot 1) = 3,47$.

Полученные данные позволили построить график зависимости P_{max} (рис. П18.5).

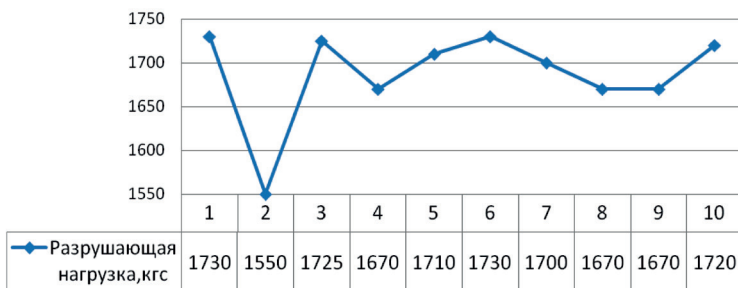


Рис. П18.5. Диаграмма несущей способности узла (тип 4)

Тип 5 – на клею + глухарь $d = 1,2$ см. Расположение соединительных элементов – ЛВЛ поперек волокон (горизонтальный), ДСП-В под углом 45° к волокнам ДСП-В (вертикальный) (табл. П18.5).

Таблица П18.5

Несущая способность узла

Вид соединения	п/н	Кол-во накладок, шт.	Кол-во нагелей, шт.	Толщина ЛВЛ, см	Толщина ДСП-В, см	P_{max} , кгс	$P_{ср,max}$, кгс
Тип 5. Клей + саморез $d = 1,2$ см	1	2	1	3	0,5	1510	1528,0
	2	2	1	3	0,5	1560	
	3	2	1	3	0,5	1510	
	4	2	1	3	0,5	1530	
	5	2	1	3	0,5	1540	
	6	2	1	3	0,5	1525	
	7	2	1	3	0,5	1520	
	8	2	1	3	0,5	1550	
	9	2	1	3	0,5	1510	
	10	2	1	3	0,5	1525	

Расчет несущей способности нагельного соединения проводился по формулам п. 5 (8–12).

$$T_{см}^c(\text{ЛВЛ}) = 0,5 \cdot c \cdot d \cdot R_{см,ЛВЛ} / R_{см,лр} = 0,5 \cdot 3,0 \cdot 1,2 \cdot 2,3 / 1,4 = 2,957 \text{ кН}$$

$$T_{см}^a(\text{ДСП-В}) = 0,8 \cdot a \cdot d \cdot R_{см,ДСП-В} / R_{см,лр} = 0,8 \cdot 0,5 \cdot 1,2 \cdot 5,56 / 1,4 = 1,9 \text{ кН}$$

$$T_{изг} = 1,8d^2 + 0,02 \cdot (a \cdot R_{см,ДСП-В} / R_{см,лр})^2 = 1,8 \cdot 1,2^2 + 0,02 \cdot (0,5 \cdot 5,56 / 1,4)^2 = 2,67 \text{ кН}$$

$$T_{ск} = R_{ск}^{сп} \cdot F_{ск} = 0,107 \cdot 3,0 \cdot 5,0 = 1,605 \text{ кН}$$

$$R_{ск}^{сп}(\text{ЛВЛ}) = R_{см}(\text{ЛВЛ}) / (1 + b \cdot (L_{ск} / 0,25t_{общ})) = 0,24 / (1 + 0,25(5,0 / (0,25(0,5 + 3,0 + 0,5)))) = 0,107 \text{ кН}$$

Коэффициент запаса ($K_{зап}$) определялся по формуле (7): $P_{max} \cdot 0,66 / T_{н} = (1528,0 \cdot 0,66) / (160,5 \cdot 2 \cdot 1) = 3,14$.

Полученные данные позволили построить график зависимости P_{max} (рис. П18.6).

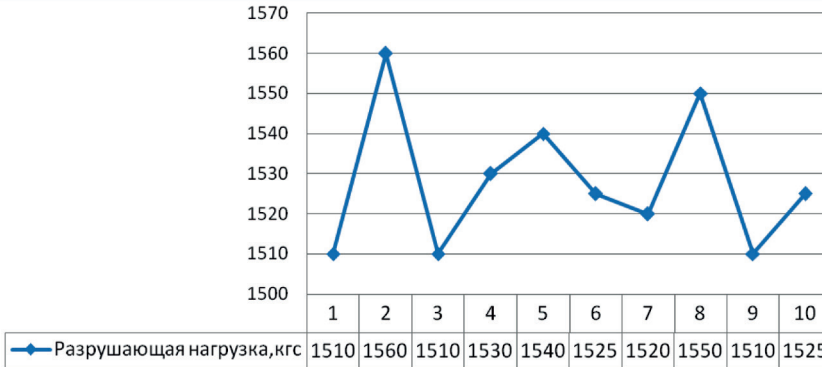


Рис. П18.6. Диаграмма несущей способности узла (тип 5)

Тип 6 – на клею + глухарь $d = 1,2$ см + 4 самореза $d = 0,38$ см. Расположение соединительных элементов – ЛВЛ поперек волокон (горизонтальный), ДСП-В вдоль волокон (вертикальный) (табл. П18.6).

Таблица П18.6

Несущая способность узла

Вид соединения	п/н	Кол-во накладок, шт.	Кол-во нагелей $d = 1,2$ см, шт.	Кол-во нагелей $d = 0,38$ см, шт.	Толщина		P_{max} , кгс	$P_{ср,max}$, кгс
					ЛВЛ, см	ДСП-В, см		
Тип 6. Клей + саморез $d = 1,2$ см + 4 шт. самореза $d = 0,38$ см	1	2	1	4	3	0,5	2770	2790,0
	2	2	1	4	3	0,5	2870	
	3	2	1	4	3	0,5	2970	
	4	2	1	4	3	0,5	2500	
	5	2	1	4	3	0,5	2780	
	6	2	1	4	3	0,5	2820	
	7	2	1	4	3	0,5	2950	
	8	2	1	4	3	0,5	2750	
	9	2	1	4	3	0,5	2780	
	10	2	1	4	3	0,5	2710	

Расчет несущей способности нагельного соединения проводился по формулам п. 5 (8–12).

$$T_{см}^c \text{ (ЛВЛ)} = 0,5 \cdot c \cdot d \cdot R_{см,ЛВЛ} / R_{см,др} = 0,5 \cdot 3,0 \cdot (1,2 + 4 \cdot 0,38) \cdot 2,3 / 1,4 = 4,663 \text{ кН}$$

$$T_{см}^a \text{ (ДСП-В)} = 0,8 \cdot a \cdot d \cdot R_{см,ДСП-В} / R_{см,др} = 0,8 \cdot 0,5 \cdot (1,2 + 4 \cdot 0,38) \cdot 5,56 / 1,4 = 3,35 \text{ кН}$$

$$T_{изг} = 1,8d^2 + 0,02 \cdot (a \cdot R_{см,ДСП-В} / R_{см,др})^2 = 1,8 \cdot (1,2 + 4 \cdot 0,38)^2 + 0,02 \cdot (0,5 \cdot 5,56 / 1,4)^2 = 4,97 \text{ кН}$$

$$T_{ск} = R_{ск}^{cp} \cdot F = 0,107 \cdot 3,0 \cdot (5,0 + 5,0) = 3,21 \text{ кН}$$

$$R_{ск}^{cp} \text{ (ЛВЛ)} = R_{см} \text{ (ЛВЛ)} / (1 + b \cdot (L_{ск} / 0,25t_{общ})) = 0,24 / (1 + 0,25(5,0 / (0,25(0,5 + 3,0 + 0,5)))) = 0,107 \text{ кН}$$

Коэффициент запаса ($K_{зап}$) определялся по формуле (7): $P_{max} \cdot 0,66 / T_n = (2790,0 \cdot 0,66) / (321 \cdot 2 \cdot 1) = 2,87$.

Полученные данные позволили построить график зависимости P_{max} (рис. П18.7).

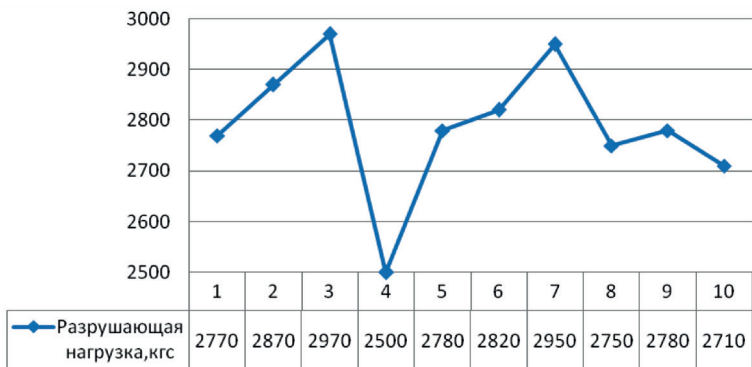


Рис. П18.7. Диаграмма несущей способности узла (тип б)

Эксперимент по определению зависимости несущей способности соединения от схемы расстановки связей

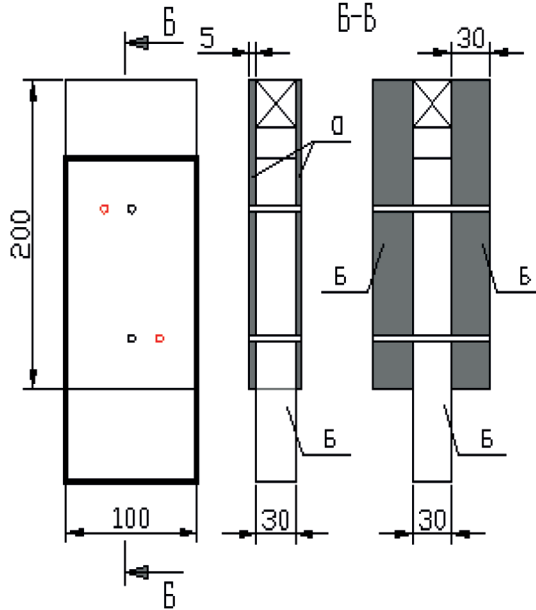


Рис. П19.1. Соединение элементов вдоль волокон

Расстояние между связями $S_1 = 4d$ в шахматном порядке при $d_{болта} = 6$ мм. Расположение соединительных элементов – ЛВЛ вдоль волокон (вертикально) (рис. П19.1, табл. П19.1).

Разрушение произошло из-за расскалывания среднего элемента.

Расчет несущей способности нагельного соединения проводился по формулам п. 5 (8–12).

Симметричные соединения – смятие в средних элементах $T_{см}^c = 0,5 \cdot c \cdot d$.

Симметричные соединения – смятие в крайних элементах $T_{см}^a = 0,8 \cdot a \cdot d$.

Симметричные соединения – изгиб нагеля из стали С38/23 $T_{изг} = 1,8d^2 + 0,02a^2$ из условия скалывания $T_{ск} = R_{ск}^{сп} \cdot F_{ск}$.

$$R_{ск}^{сп} = \frac{R_{ск}}{1 + \beta \frac{l_{ск}}{e}}$$

$$T_{см}^c \text{ (ЛВЛ)} = 0,5 \cdot c \cdot d \cdot R_{см,ЛВЛ} / R_{см,лр} = 0,5 \cdot 3,0 \cdot 0,6 \cdot 2,3 / 1,4 = 1,48 \text{ кН}$$

$$T_{см}^a \text{ (ЛВЛ)} = 0,8 \cdot a \cdot d \cdot R_{см,ЛВЛ} / R_{см,лр} = 0,8 \cdot 3,0 \cdot 0,6 \cdot 2,3 / 1,4 = 2,37 \text{ кН}$$

$$T_{изг} = 1,8d^2 + 0,02 \cdot (a \cdot R_{см,ЛВЛ} / R_{см,лр})^2 = 1,8 \cdot 0,6^2 + 0,02 \cdot (3,0 \cdot 2,3 / 1,4)^2 = 1,13 \text{ кН}$$

$$T_{ск} = R_{ск}^{сп} \cdot F_{ск} = 0,189 \cdot 3,0 \cdot 2,4 = 1,36 \text{ кН}$$

$$R_{ск}^{сп} \text{ (ЛВЛ)} = R_{ск} \text{ (ЛВЛ)} / (1 + \beta \cdot (l_{ск} / e)) = 0,24 / (1 + 0,25 \cdot ((4 \cdot 0,6) / (0,25 \cdot (3,0 + 3,0 + 3,0)))) = 0,189 \text{ кН}$$

$$\text{Коэффициент запаса } (K_{зап}): P_{max} \cdot 0,66 / T_H = (1313 \cdot 0,66) / (113 \cdot 2 \cdot 2) = 1,91.$$

Полученные данные позволили построить график зависимости P_{max} (рис. П19.2).

Таблица П19.1

Несущая способность узла

Вид соединения	п/н образцов	Кол-во накладок, шт.	Кол-во нагелей, шт.	Толщина ЛВД, см	$R_{\text{доск вдоль волокон}}$ кгс/см ²	P_{max} , кгс	Среднее значение P_{max} , кгс
$S1 = 4d, S2 = S3 = 2,5d,$ 2 болта $d = 0,6$ см, шахматный порядок, с гайками	1	2	2	3,0	0,24	1510	1502,0
	2	2	2	3,0	0,24	1480	
	3	2	2	3,0	0,24	1520	
	4	2	2	3,0	0,24	1510	
	5	2	2	3,0	0,24	1490	
$S1 = 4d, S2 = S3 = 2,5d,$ 2 болта $d = 0,6$ см, шахматный порядок, без гаек	1	2	2	3,0	0,24	1315	1313,0
	2	2	2	3,0	0,24	1290	
	3	2	2	3,0	0,24	1330	
	4	2	2	3,0	0,24	1330	
	5	2	2	3,0	0,24	1300	

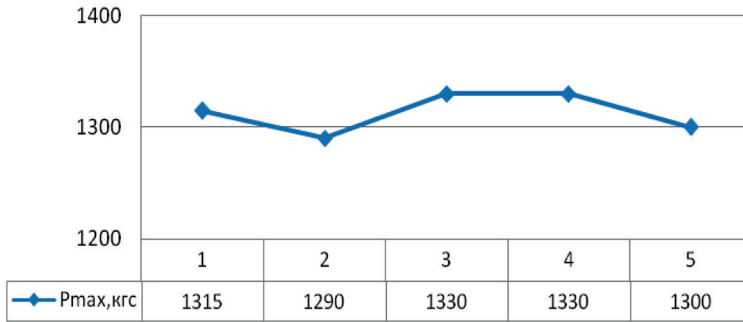


Рис. П19.2. Значения нагрузки

Расстояние между связями $S_1 = 4d$ в по одной оси при $d_{\text{болта}} = 6$ мм. Расположение соединительных элементов – ЛВЛ вдоль волокон (вертикально) (табл. П19.2).

Разрушение произошло из-за раскалывания среднего элемента.

Расчет несущей способности нагельного соединения проводился по формулам п. 5 (8–12).

Симметричные соединения – смятие в средних элементах $T_{\text{см}}^c = 0,5 \cdot c \cdot d$.

Симметричные соединения – смятие в крайних элементах $T_{\text{см}}^a = 0,8 \cdot a \cdot d$.

Симметричные соединения – изгиб нагеля из стали С38/23 $T_{\text{изг}} = 1,8d^2 + 0,02a^2$ из условия скалывания $T_{\text{ск}} = R_{\text{ск}}^{\text{сп}} \cdot F_{\text{ск}}$.

$$R_{\text{ск}}^{\text{сп}} = \frac{R_{\text{ск}}}{1 + \beta \frac{l_{\text{ск}}}{e}}$$

$$T_{\text{см}}^c (\text{ЛВЛ}) = 0,5 \cdot c \cdot d \cdot R_{\text{см,ЛВЛ}} / R_{\text{см,др}} = 0,5 \cdot 3,0 \cdot 0,6 \cdot 2,3 / 1,4 = 1,48 \text{ кН}$$

$$T_{\text{см}}^a (\text{ЛВЛ}) = 0,8 \cdot a \cdot d \cdot R_{\text{см,ЛВЛ}} / R_{\text{см,др}} = 0,8 \cdot 3,0 \cdot 0,6 \cdot 2,3 / 1,4 = 2,37 \text{ кН}$$

$$T_{\text{изг}} = 1,8d^2 + 0,02 \cdot a \cdot R_{\text{см,ЛВЛ}} / R_{\text{см,др}} = 1,8 \cdot 0,6^2 + 0,02 \cdot (3,0 \cdot 2,3 / 1,4) = 1,13 \text{ кН}$$

$$T_{\text{ск}} = R_{\text{ск}}^{\text{сп}} \times F_{\text{ск}} = 0,189 \cdot 3,0 \cdot 2,4 = 1,36 \text{ кН}$$

$$R_{\text{ск}}^{\text{сп}} (\text{ЛВЛ}) = R_{\text{ск}} (\text{ЛВЛ}) / (1 + \beta \cdot (l_{\text{ск}} / e)) = 0,24 / (1 + 0,25 \cdot ((4 \cdot 0,6) / (0,25 (3,0 + 3,0 + 3,0)))) = 0,189 \text{ кН}$$

$$\text{Коэффициент запаса } (K_{\text{зап}}): P_{\text{max}} \cdot 0,66 / T_{\text{н}} = (1204 \cdot 0,66) / (113 \cdot 2 \cdot 2) = 1,758.$$

Полученные данные позволили построить график зависимости P_{max} (рис. П19.3).

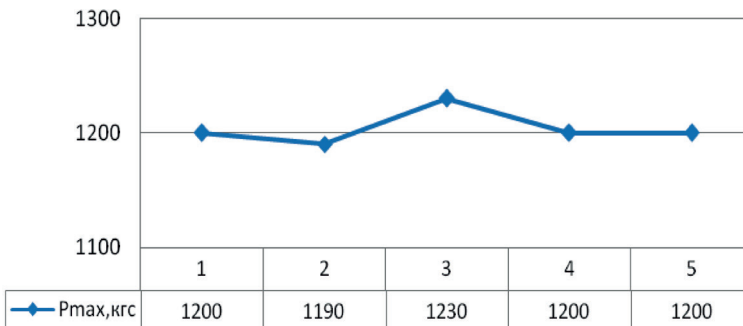


Рис. П19.3. Значения нагрузки

Таблица П19.2

Несущая способность узла

Вид соединения	п/н образцов	Кол-во накладок, шт.	Кол-во нагелей, шт.	Толщина ЛВЛ, см	$R_{деск}$ вдоль волокон кгс/см ²	P_{max} , кгс	Среднее значение P_{max} , кгс
$S1 = 4d, S2 = S3 = 2,5d,$ 2 болта $d = 0,6$ см, вертикально, с гайками	1	2	2	3,0	0,24	1390	1378,0
	2	2	2	3,0	0,24	1350	
	3	2	2	3,0	0,24	1400	
	4	2	2	3,0	0,24	1355	
	5	2	2	3,0	0,24	1395	
$S1 = 4d, S2 = S3 = 2,5d,$ 2 болта $d = 0,6$ см, вертикально, без гаек	1	2	2	3,0	0,24	1200	1204,0
	2	2	2	3,0	0,24	1190	
	3	2	2	3,0	0,24	1230	
	4	2	2	3,0	0,24	1200	
	5	2	2	3,0	0,24	1200	

Расстояние между связями $S_1 = 5d$ в по одной оси при $d_{\text{болта}} = 6$ мм. Расположение соединительных элементов – ЛВЛ вдоль волокон (вертикально) (табл. П19.3).

Разрушение произошло из-за изгиба нагеля с раскалыванием среднего элемента.

Расчет несущей способности нагельного соединения проводился по формулам п. 5 (8–12).

Симметричные соединения – смятие в средних элементах $T_{\text{см}}^c = 0,5 \cdot c \cdot d$.

Симметричные соединения – смятие в крайних элементах $T_{\text{см}}^a = 0,8 \cdot a \cdot d$.

Полученные данные позволили построить график зависимости P_{max} (рис. П19.4).

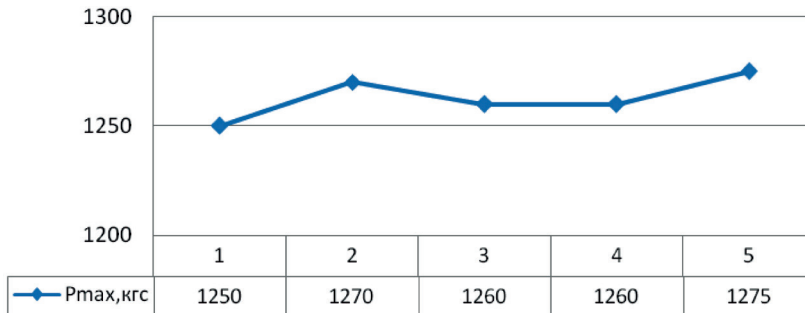


Рис. П19.4. Значения нагрузки

Таблица П19.3

Несущая способность узла

Вид соединения	п/н образцов	Кол-во накладок, шт.	Кол-во нагелей, шт.	Толщина ЛВЛ, см	$R_{деск}$ вдоль волокон кгс/см ²	P_{max} , кгс	Среднее значение P_{max} , кгс
$S1 = 5d, S2 = S3 = 2,5d,$ 2 болта $d = 0,6$ см, вертикально, с гайками	1	2	2	3,0	0,24	1470	1446,0
	2	2	2	3,0	0,24	1420	
	3	2	2	3,0	0,24	1440	
	4	2	2	3,0	0,24	1450	
	5	2	2	3,0	0,24	1450	
$S1 = 5d, S2 = S3 = 2,5d,$ 2 болта $d = 0,6$ см, вертикально, без гаек	1	2	2	3,0	0,24	1250	1263,0
	2	2	2	3,0	0,24	1270	
	3	2	2	3,0	0,24	1260	
	4	2	2	3,0	0,24	1260	
	5	2	2	3,0	0,24	1275	

Расчет плоской балочной фермы из металлопроката

Подбор сечения верхнего пояса

Верхний пояс выполняем из труб стальных прямоугольных (ТУ 36-2287-80).

Материал верхнего пояса – сталь С255 по ГОСТ 27772–88.

Расчетное сопротивление $R_y = 240$ МПа.

Коэффициент условий работы $\lambda_c = 0,95$.

Подбираем сечение верхнего пояса из условия устойчивости.

Сечение пояса принимаем постоянным по длине фермы и подбор сечения ведем по наибольшему сжимающему усилию $N = -245,93$ кН.

Расчетные длины верхнего пояса в плоскости фермы и из плоскости фермы одинаковы:

$$l_{ef,x} = l_{ef,y} = 300 \text{ см.}$$

Задаемся гибкостью $\lambda_x = \lambda_y = \lambda = 80$.

Определяем условную гибкость $\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{R_y / E} = 80 \sqrt{240 / 2,06 \cdot 10^5} = 2,73$.

Коэффициент продольного изгиба $\varphi = 0,688$.

Из условия устойчивости $N / \varphi A \leq R_y \lambda_c$ определяем требуемую площадь сечения:

$$A = N / \varphi R_y \lambda_c = 245,93 \cdot 10^{-3} / 0,688 \cdot 240 \cdot 0,95 = 15,68 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 15,68 \text{ см}^2.$$

Находим требуемые радиусы инерции:

$$i_x = l_{ef,x} / \lambda = 300 / 80 = 3,75 \text{ см.}$$

Предварительно подбираем квадратную трубу 100×100×4:

$$A = 15,36 \text{ см}^2, i_x = i_y = 3,92 \text{ см.}$$

Определяем гибкость:

$$\lambda_x = l_{ef,x} / i_x = 300 / 3,92 = 76,53 < \lambda_{\text{lim, min}} = 120.$$

Находим условную гибкость:

$$\bar{\lambda}_{\text{max}} = \bar{\lambda}_x = \lambda_x \sqrt{R_y / E} = 76,53 \sqrt{240 / 2,06 \cdot 10^5} = 2,18.$$

Определяем наименьший коэффициент продольного изгиба $\varphi_{\text{min}} = 0,7846$.

Проверяем устойчивость пояса с учетом фактических параметров принятого сечения:

$$\sigma = N / \varphi_{\text{min}} A \lambda_c = 245,93 \cdot 10^{-3} / 0,7846 \cdot 15,36 \cdot 10^{-4} \cdot 0,95 = 214,8 \text{ МПа} < R_y = 240 \text{ МПа}$$

Устойчивость верхнего пояса обеспечена.

Окончательно для верхнего пояса принимаем квадратную трубу 100×100×4 (ТУ 36-2287-80):

$$A = 15,36 \text{ см}^2, i_x = i_y = 3,92 \text{ см.}$$

Подбор сечения нижнего пояса

Нижний пояс выполняем из труб стальных прямоугольных (ТУ 36-2287-80).

Материал верхнего пояса – сталь С255 по ГОСТ 27772–88.

Расчетное сопротивление $R_y = 240$ МПа.

Коэффициент условий работы $\lambda_c = 0,95$.

Коэффициент ослаблений принимаем $\psi = 0,85$.

Подбираем сечение нижнего пояса из условия прочности.

Наибольшее растягивающее усилие $N = 252,9$ кН.

Из условия прочности $\sigma = N / A_n = N / \psi A \leq R_y \gamma_c$ находим требуемую площадь брутто:

$$A = N / \psi R_y \gamma_c = 252,9 \cdot 10^{-3} / 0,85 \cdot 240 \cdot 0,95 = 13,1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 13,1 \text{ см}^2.$$

Предварительно подбираем квадратную трубу 120×120×5:

$$A = 15,36 \text{ см}^2, i_x = i_y = 3,92 \text{ см.}$$

Определяем фактическую площадь сечения нетто с учетом ослабления полки четырьмя отверстиями $d = 23$ мм:

$$A_n = A - 4 d t_f = 15,36 - 4 \cdot 2,3 \cdot 0,5 = 10,76 \text{ см}^2.$$

Проверяем прочность:

$$N / A_n \gamma_c = 252,9 \cdot 10^{-3} / 10,76 \cdot 10^{-4} \cdot 0,95 = 235 \text{ МПа} < R_y = 240 \text{ МПа.}$$

Прочность нижнего пояса обеспечена.

Окончательно для нижнего пояса принимаем квадратную трубу 100×100×4 (ТУ 36-2287-80):
 $A = 15,36 \text{ см}^2, i_x = i_y = 3,92 \text{ см.}$

Подбор сечения элементов решетки

Материал элементов решетки – сталь С255 по ГОСТ 27772-88 с расчетным сопротивлением
 $R_y = 240 \text{ МПа.}$

Опорный подкос

Подбираем сечение сжатых опорных раскосов из условия устойчивости.

Опорные раскосы выполняем из труб стальных квадратных (ТУ 36-2287-80).

Наибольшее сжимающее усилие $N = -230,1 \text{ кН.}$

Коэффициент условий работы $\lambda_c = 0,95.$

$$l_{efx} = l_{efy} = 200 \text{ см.}$$

Задаемся гибкостью: $\lambda_x = \lambda_y = \lambda = 80.$

$$\text{Определяем условную гибкость: } \bar{\lambda} = \lambda \sqrt{R_y / E} = 80 \sqrt{240 / 2,06 \cdot 10^5} = 2,73.$$

Коэффициент продольного изгиба $\varphi = 0,688.$

Определяем требуемую площадь сечения:

$$A = N / \varphi R_y \lambda_c = 400 \cdot 10^{-3} / 0,688 \cdot 240 \cdot 0,95 = 25,0 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 14,38 \text{ см}^2.$$

Находим требуемые радиусы инерции:

$$i_x = l_{efx} / \lambda = 338 / 80 = 4,225 \text{ см.}$$

Предварительно подбираем квадратную трубу 100×100×4:

$$A = 15,36 \text{ см}^2, i_x = i_y = 3,92 \text{ см.}$$

Определяем гибкость:

$$\lambda_{\max} = \lambda_y = l_{efy} / i_y = 338 / 3,92 = 86,23 < \lambda_{\text{lim, min}} = 120.$$

Находим условную гибкость:

$$\bar{\lambda}_{\max} = \lambda_y = \lambda_y \sqrt{R_y / E} = 86,23 \sqrt{240 / 2,06 \cdot 10^5} = 2,95.$$

Наименьший коэффициент продольного изгиба $\varphi_{\min} = 0,6399.$

Проверяем устойчивость пояса:

$$\sigma = N / \varphi_{\min} A \lambda_c = 230,1 \cdot 10^{-3} / 0,6399 \cdot 15,36 \cdot 10^{-4} \cdot 0,95 = 246 \text{ МПа} < R_y = 240 \text{ МПа.}$$

Устойчивость раскосов обеспечена.

Окончательно для опорных раскосов принимаем квадратную трубу 100×100×4 (ТУ 36-2287-80):
 $A = 15,36 \text{ см}^2, i_x = i_y = 3,92 \text{ см.}$

Крайний раскос

Подбираем сечение из условия прочности.

Наибольшее растягивающее усилие $N = 43,1 \text{ кН.}$

Расчетное сопротивление $R_y = 240 \text{ МПа.}$

Коэффициент условий работы $\lambda_c = 0,95.$

Из условия прочности $\sigma = N / A \leq R_y \gamma_c$ находим требуемую площадь сечения:

$$A = N / R_y \gamma_c = 43,1 \cdot 10^{-3} / 240 \cdot 0,95 = 1,89 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 1,89 \text{ см}^2.$$

Крайний раскос выполняем из труб стальных квадратных (ТУ 36-2287-80).

Принимаем сечение квадратных труб 80×80×3:

$$A = 9,24 \text{ см}^2, i_x = i_y = 3,14 \text{ см.}$$

Проверяем прочность:

$$N / A \gamma_c = 125,7 \cdot 10^{-3} / 9,24 \cdot 10^{-4} \cdot 0,95 = 143 \text{ МПа} < R_y = 240 \text{ МПа.}$$

Прочность элементов решетки 2, 18 обеспечена, но получилась значительная недогрузка.

Окончательно для растянутых принимаем сечение квадратных труб $80 \times 80 \times 3$: $A = 9,24 \text{ см}^2$, $i_x = i_y = 3,14 \text{ см}$.

Среднюю стойку и средний раскос принимаем конструктивно сечением квадратных труб $80 \times 80 \times 3$: $A = 9,24 \text{ см}^2$, $i_x = i_y = 3,14 \text{ см}$.

Расчет материала представлен в табл. П19.4.

Таблица П19.4

Расчет материала

	$L, \text{ м}$	$n, \text{ шт.}$	$A, \text{ м}^2$	$V, \text{ м}^3$	$\rho, \text{ кг/м}^3$	$G, \text{ кг}$	Ст-ть, р./м^3	$P, \text{ р./шт}$	$P, \text{ р.}$
1	3,0	4	2	0,0015	0,009	7850	72,3	22900	1656,7
2	6,0	1	1	0,0015	0,009	7850	72,3	22900	1656,7
3	6,0	2	2	0,0015	0,009	7850	72,3	22900	1656,7
4	3,4	2	2	0,0015	0,005	7850	40,7	22900	933,2
5	3,8	2	2	0,0009	0,003	7850	27,2	22900	622,9
6	3,4	2	2	0,0009	0,003	7850	24,5	22900	561,4
7	2,1	2	2	0,0009	0,002	7850	15,2	22900	348,8
					0,04		324,7		
<i>P</i> стоимость работы с комплектующими							30 000		
ИТОГО: <i>P</i> , р.									43 216,0
			$L, \text{ м}$	$B, \text{ м}$					
$S_{\text{груз}} =$			18	6	108	см^2			
Стоимость 1 м^2 на проекцию плана =							400,15	р./м²	

По полученным данным построен график и диаграмма (рис. П19.5, П19.6).

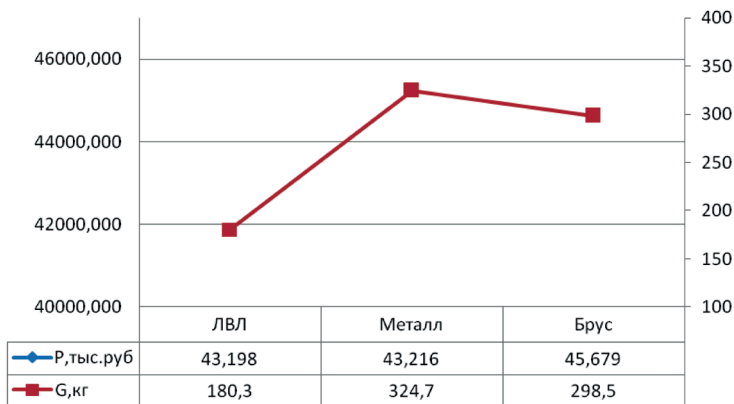


Рис. П19.5. График стоимости в зависимости от материала фермы

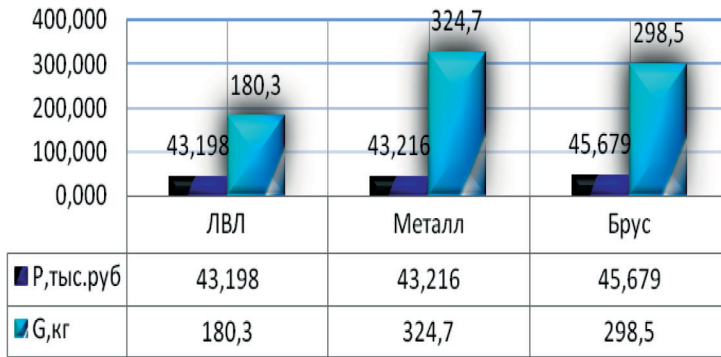


Рис. П19.6. График стоимости в зависимости от материала фермы

Оглавление

Введение	3
Глава 1. Новый эффективный конструкционный материал – брус, клеенный из однонаправленного шпона (технология производства, достоинства и недостатки, области применения)	7
1.1. Современный материал – брус, клеенный из однонаправленного шпона.	7
1.2. Древесно-слоистый пластик	13
1.3. Применение древесины и материалов на ее основе как конструкционного материала в большепролетных покрытиях.	16
Глава 2. Определение рационального очертания плоской балочной фермы из ЛВЛ	21
2.1. Предварительное исследование по укрупненным параметрам основных схем плоских балочных ферм	21
2.2. Исследование конкретных конструкций ферм из ЛВЛ по технико-экономическим параметрам	23
2.3. Исследование конструкции ферм из ЛВЛ с целью определения наиболее рационального расположения решетки	24
2.4. Исследование конструкции ферм из ЛВЛ с целью определения наиболее рационального отношения H/L	26
2.5. Исследование конструкции ферм из ЛВЛ с изучением влияния угла наклона на стоимость конструкции.	28
2.6. Исследование конструкции ферм из ЛВЛ с изучением влияния наличия крайней стойки на стоимость конструкции.	29
Глава 3. Определение прочностных характеристик бруса, клеенного из однонаправленного шпона (ЛВЛ), марок Ultralam R, Kerto S и древесно-слоистого пластика (ДСП-В).	31
3.1. Условия хранения материала образцов.	31
3.2. Оборудование и механизмы	34
3.3. Методика проведения эксперимента.	34
3.4. Определение предела прочности при растяжении ЛВЛ [103]	37
3.5. Определение предела прочности при сжатии ЛВЛ [102]	42
3.6. Определение предела прочности и модуля упругости при статическом изгибе [60]	50
3.7. Проведение испытаний и основные результаты	55
Глава 4. Исследование узловых сопряжений элементов ЛВЛ марок Ultralam R, Kerto S с применением тонколистовых фасонок из ДСП-В и механических связей типа нагелей.	76
4.1. Виды связей для сопряжения деревянных элементов в нормативной литературе.	76
4.2. Получение коэффициента учета связей ($K_{св}$) для накладок из ДСП-В и стали	79

4.3. Методика испытаний узловых сопряжений	82
Глава 5. Методика и результаты экспериментальных исследований работы предлагаемых конструкций стропильных ферм из ЛВЛ марок Ultralam R, Kerto S и ДСП-В.	92
Глава 6. Сравнительный анализ ферм по технико-экономическим показателям с предложением конструкций разного пролета	107
6.1. Предложение конструктивных решений для ферм разного пролета	107
6.2. Предложение по учету коэффициента податливости соединений из ЛВЛ для составных элементов	107
6.3. Сравнительный анализ ферм по технико-экономическим показателям	108
Литература	115
Приложения	120
Приложение 1	120
Приложение 2	124
Приложение 3	126
Приложение 4	127
Приложение 5	131
Приложение 6	132
Приложение 7	148
Приложение 8	149
Приложение 9	150
Приложение 10	151
Приложение 11	152
Приложение 12	154
Приложение 13	163
Приложение 14	185
Приложение 15	186
Приложение 16	187
Приложение 17	189
Приложение 18	193
Приложение 19	201

Научное издание

Животов Дмитрий Андреевич

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ
И НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ БРУСА, КЛЕЕННОГО
ИЗ ОДНОНАПРАВЛЕННОГО ШПОНА, В ПЛОСКИХ
БАЛОЧНЫХ ФЕРМАХ. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
ПРОЦЕССЫ ДОСТАВКИ, СБОРКИ, МОНТАЖА**

Монография

Редактор *Е. Г. Терскова*
Корректор *Е. Н. Апринцева*
Компьютерная верстка *В. С. Весниной*

Подписано к печати 01.10.2020. Формат 70×100 $\frac{1}{16}$. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 17,39. Тираж 500 экз. Заказ 89. «С» 55.
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.
190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.
Отпечатано на МФУ. 198095, Санкт-Петербург, ул. Розенштейна, д. 32, лит. А.

ДЛЯ ЗАПИСЕЙ