

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
Архитектурно-строительный институт
Строительные конструкции и сооружения

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

_____ 2017 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой, д.т.н.
профессор

_____ В.Ф. Сабуров
_____ 2017 г.

Тема _ Пространственные стержневые конструкции с использованием
деревянных элементов

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

К КВАЛИФИКАЦИОННОЙ НАУЧНОЙ РАБОТЕ МАГИСТРА
ЮУрГУ–08.04.01.2017._140_. ПЗ КНР

Руководитель НИР

Лужков В.А.

доцент, к.т.н.

_____ 2017 г.

Автор КНР

студент группы АС-257

Котельников

Илья

Алексеевич

_____ 2017 г.

Нормоконтролер

_____ 2017 г.

Челябинск 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 АНАЛИЗ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	8
1.1 Общие сведения о деревянных пространственных конструкциях в покрытиях	8
1.2 Характеристика структур	16
1.3 Обзор структур с металлическими элементами	21
1.4 Обзор структур с деревянными элементами	27
2 СОЗДАНИЕ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ ПОКРЫТИЯ СТРУКТУРНОГО ТИПА	36
2.1 Общие положения и предпосылки, принятые при разработке конструкции	36
2.2 Поиск оптимальных параметров конструкции	38
3 РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ И КОНСТРУИРОВАНИЕ УЗЛОВ ПОКРЫТИЯ СТРУКТУРНОГО ТИПА	54
3.1 Конструирование и расчёт узловых соединений	54
3.2 Анализ напряженно-деформированного состояния узлового элемента	69
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	74
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	76

ВВЕДЕНИЕ

В нашей стране строительство, которое ведется в широких масштабах, является наиболее материалоемкой отраслью промышленности. Поэтому актуально более широкое использование легких материалов, в частности древесины, совершенствование методов конструирования стержневых пространственных систем и разработка частных решений, которые обеспечивали бы снижение материалоемкости конструкций, уменьшение транспортировочных и трудовых затрат.

Деревянные конструкции в сравнении с другими материалами, не отвечающими требованиям в частности веса конструкции целесообразно применять в большепролетных покрытиях, необходимость в которых в XXI веке возрастает. В России это наиболее актуально для районов Западной и Восточной Сибири, Дальнего Востока.

Рациональность использования пространственных деревянных конструкций в виде большепролетных покрытий общественных, спортивных и производственных зданий подтверждена отечественным и зарубежным опытом.

Совместная работа несущих и ограждающих элементов позволяла достичь экономии материалов до 10 – 25%. При этом за счёт большого количества стержневых и узловых элементов, распределения нагрузки и др. факторов наблюдается увеличение «жевучести» и конструктивной безопасности таких конструкций.

Таким образом, актуальность темы обусловлена:

- небольшим количеством технических решений деревометаллических структурных конструкций покрытий;
- особой целесообразностью таких конструкций для Сибири, Дальнего Востока и Севера;
- малоизученность напряженно-деформированного состояния конструкций структур;

					257.08.04.01.2017.140. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.		6

– отсутствием нормативных документов, регламентирующих проектирование и изготовление упомянутых выше конструкций.

					257.08.04.01.2017.140. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.		7

1 АНАЛИЗ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Общие сведения о деревянных пространственных конструкциях в покрытиях

Одной из основных проблем строительства продолжает оставаться проблема сокращения материалоемкости и веса зданий. Значительные возможности решения поставленной задачи содержатся в расширенном применении пространственных конструкций, в частности деревянных, как в несущих, так и в ограждающих частях зданий и сооружений.

К пространственным конструкциям относят конструктивные системы, в которых составляющие элементы работают совместно в нескольких плоскостях.

Для пространственных конструкций с использованием древесных материалов характерно высокое разнообразие видов и различных конструктивных особенностей. Отличительной чертой пространственных конструкций, как правило, выступает совмещение в себе несущих и ограждающих функций, для них свойственна меньшая материалоемкость, повышенная надежность и долговечность, большая несущая способность.

Область применения пространственных конструкций весьма обширна. Они применяются как в зданиях и сооружениях, где использование промежуточных опор недопустимо или нежелательно: промышленные здания, спортивные сооружения, так и в зданиях, для которых характерна жесткая планировочная сетка опор, выставочных залов, торговых павильонов и др.

Деревянные пространственные конструкции успешно применяются при малых пролетах (3-4 м), средних (до 30-40 м) и больших (висячие до 100 м, сводчатые до 140 м, сетчатые купола до 250 м).

Пространственные конструкции из древесных материалов, воплощенные в разнообразные конструктивные формы, способны реализовать практически любые замыслы творческих проектировщиков. [6]

					257.08.04.01.2017.140. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.		8

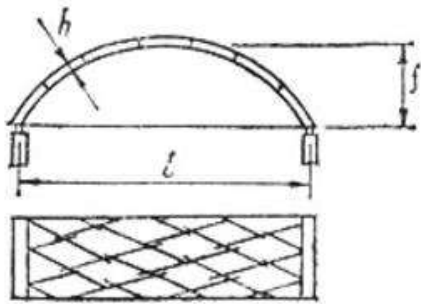
Классифицировать пространственные деревянные конструкции можно по различным признакам: геометрии, способу образованию поверхности, характеру работы, конструктивным особенностям, способу опирания, очертания плана здания, наличию распора и т.д. Для удобства дальнейшего рассмотрения отдельных видов конструкций, из всего многообразия существующих форм выделим конструкции по геометрическому признаку, а затем в каждой группе, по возможности, учтем конструктивные и другие особенности покрытия. Воспользуемся классификацией, предложенной В.А. Ивановым. [10]

Различные формы пространственных деревянных конструкций и их основные характеристики приведены в табл. 1.1.

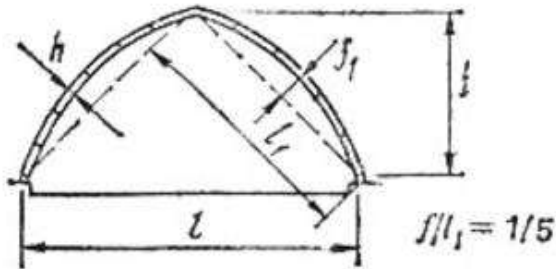
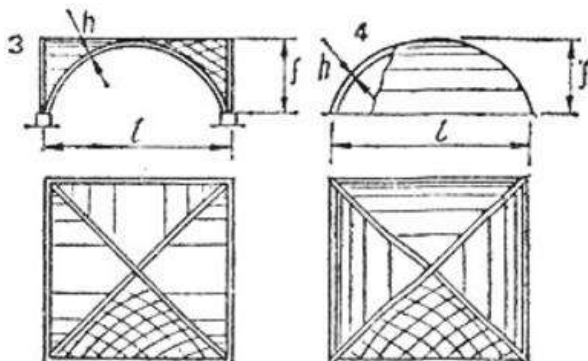
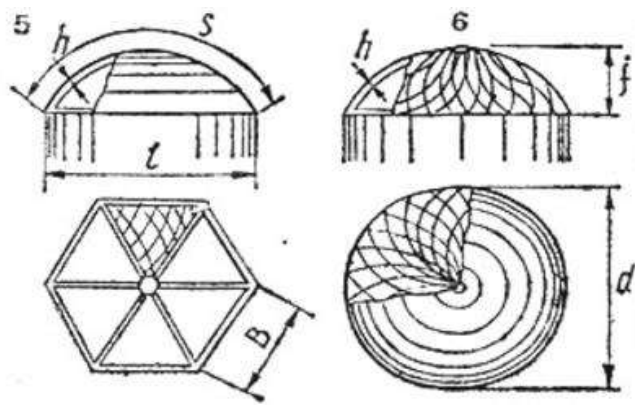
По конструктивному решению их делят на шесть основных типов:

- кружально-сетчатые (схемы 1...6);
- с плоскими несущими конструкциями (схемы 7...16);
- тонкостенные оболочки (схемы 19...23); комбинированные (схемы 17...18);
- тонкостенные висячие оболочки (схема 24) и ребристые (схема 25);
- структуры (схема 26).

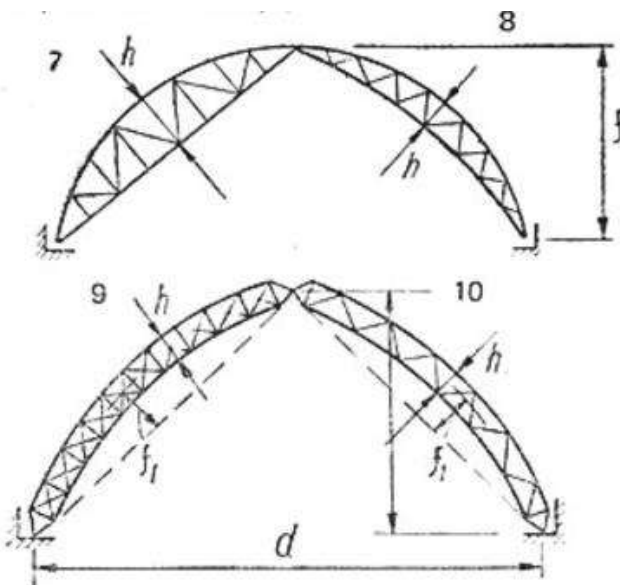
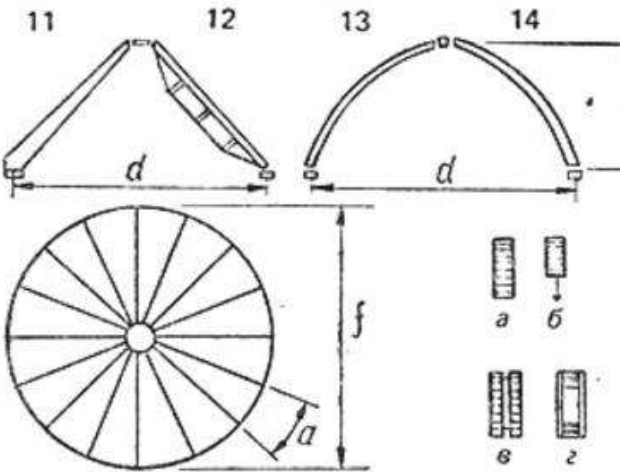
Таблица 1.1 – Пространственные деревянные конструкции в покрытиях

№ Схемы	Наименование конструкции, схемы и сечения	Размеры		
		l или d , м	$f/l, f/d$	$h/l, h/d$
1	<p>Кружально-сетчатые своды</p> <p>Цилиндрический круговой свод</p> 			

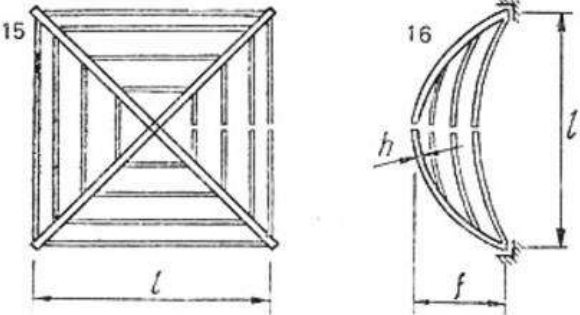
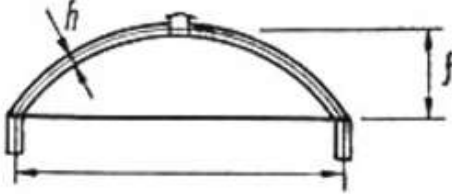
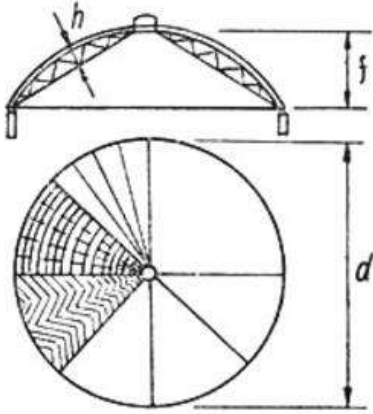
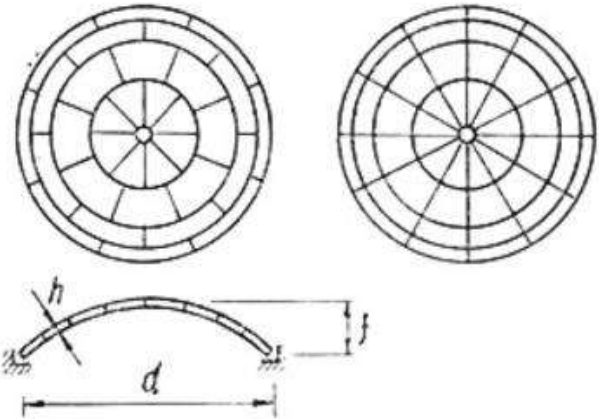
Продолжение таблицы

	с косяками из досок на ребро	10...22	1/6...1/7	1/100
	с косяками дощатоклееными	До 50	1/6...1/7	1/100
	с косяками клеефанерными	До 80	1/6...1/7	1/100
2	Стрельчатый свод			
				
	с косяками из досок на ребро	10...22	1/3...1/4	1/100
	с косяками дощатоклееными	До 50	1/3...1/4	1/100
	с косяками клеефанерными	До 80	1/3...1/4	1/100
3	Крестовый – 3			
4	и сомкнутый над квадратным в плане помеще- нием – 4	15...35	1/2...1/6	1/150
				
5	Сомкнутый свод на многоугольном			
6	в плане помещением – 5 и купол – 6	15...35	1/2...1/6	1/150
				

Продолжение таблицы

	<p>Купольные покрытия с несущими плоскими конструкциями:</p> <p>7 сквозными из сегментных – 7</p> <p>8 серповидных – 8</p> <p>9 или арочных – 9, 10 ферм</p>  <p>11 сплошными из прямолинейных – 11,12</p> <p>12 или криволинейных – 13, 14 дощатоклееных</p> <p>13 и клефанерных ребер постоянной – 12, 13 и</p> <p>14 переменной – 11, 14 высоты</p>  <p>Сечения: <i>a</i> – сплошностенчатое; <i>б</i> – шпренгельное; <i>в</i> – двухстенчатое; <i>г</i> – коробчатое</p>	<p>20...70</p> <p>До 100</p>	<p>1/2...1/6</p> <p>1/2 ...1/4</p>	<p>1/20...1/40</p> <p>1/15...1/30</p>
--	--	------------------------------	------------------------------------	---------------------------------------

Продолжение таблицы

15 16	Крестовые связи с двумя главными (диагональными) и второстепенными арками	40...80	1/2...1/3	1/35...1/40
				
Купола				
17	Тонкостенные купола-оболочки	12...35	1/4...1/6	1/200
				
18	Ребристые купола			
				
19	Купола из трехслойных плит			
				

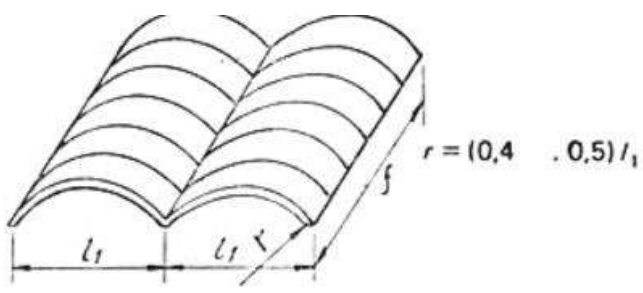
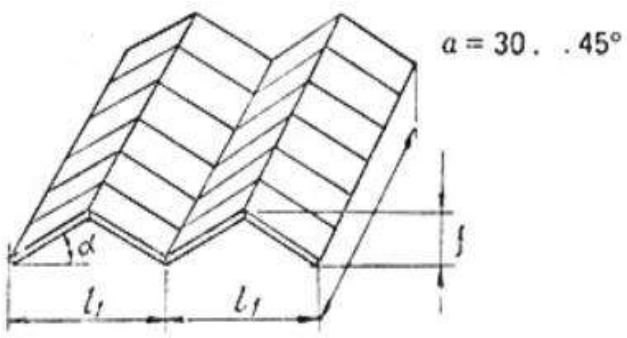
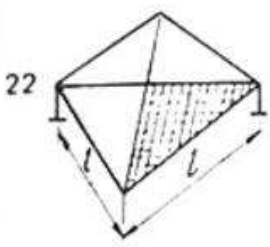
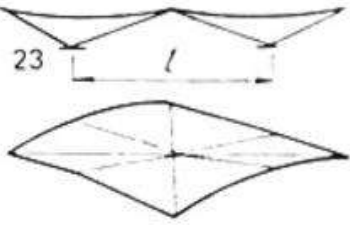
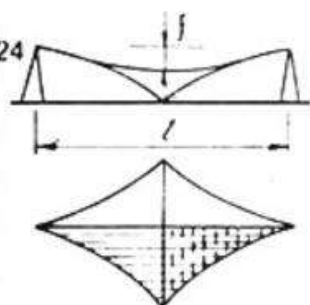
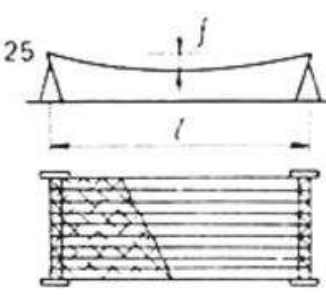
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.

257.08.04.01.2017.140. ВКР

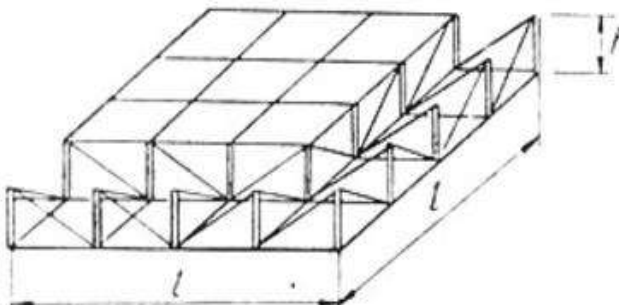
Лист

12

Продолжение таблицы

Клефанерные оболочки				
20	Своды 	20...40	—	—
21	Складки 	15...30	—	—
Гиперболические оболочки (гипары)				
22	на прямоугольном плане – 22			
23	на криволинейном и ломаном плане – 23	10...28	—	—
22				
23				
Висячие оболочки				
24	двойкой кривизны			
25	цилиндрические	До 60	1/15..1/30	—
24				
25				

Продолжение таблицы

26	<p style="text-align: center;">Структуры</p> 	<p>12 x 12 18 x 18 24 x 24</p>	-	1/9...1/12
----	--	--	---	------------

Кружально-сетчатые конструкции

Выполняются из стандартных элементов (косяков) заводского изготовления, из которых могут быть образованы:

- цилиндрические своды кругового очертания (схема 1), опирающиеся на продольные стены здания и по контуру; эти своды применяются в бесчердачных покрытиях над производственными, общественными, спортивными помещениями, выставочными павильонами и т. д.;
- стрельчатые своды (схема 2), характеризующиеся теми же особенностями, что и цилиндрические, но предназначенные для складских, промышленных или сельскохозяйственных зданий; эти своды опираются на фундаменты; отсутствие затяжки позволяет лучше использовать внутренние габариты под сводом;
- крестовые своды (схема 3) применяются для квадратных в плане зданий при опирании покрытия по углам помещения;
- сомкнутые своды (схемы 4 и 5) предназначены для покрытий квадратных или многоугольных в плане помещений при опирании сводов вдоль всего периметра стен здания;
- кружально-сетчатые купола (схема 6) предназначены для покрытий круглых в плане зданий. Купола могут быть заменены многоугольными в плане кружально-сетчатыми сомкнутыми сводами, требующими меньшего числа элементов различных типов.

					257.08.04.01.2017.140. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.		14

Купольные покрытия

Купольные покрытия с несущими системами в виде трехшарнирных арок (схемы 7...14) или крестовые своды (схемы 15, 16) рассматриваются как совокупность радиально расположенных плоских несущих конструкций. Наличие связей между арками и соединение их с элементами крыши повышает жесткость покрытия и придает всей системе пространственность, которая может быть учтена в расчете. Купольные покрытия применяются для круглых в плане зданий — цирков, манежей, зрительных залов, а также как подмости для возведения железобетонных куполов. Для куполов с большими строительными подъемами наиболее рациональным решением является непосредственное опирание несущих конструкций на фундаменты, воспринимающие распор арок. В случае опирания купола на стены здания или колонны распор воспринимается при помощи специального кольца, уложенного по верху стен и работающего на растяжение или на растяжение с изгибом.

Купола-оболочки

Купола-оболочки могут быть тонкостенными (схемы 17 и 19) и ребристыми (схемы 18) и применяются как покрытия производственных, круглых в плане зданий. Тонкостенные купола по схеме 17 возводятся на месте производства работ и требуют сплошных подмостей, что является их недостатком. При возведении ребристых куполов в качестве подмостей могут быть использованы ребра жесткости. Купола по схеме 19 собираются из клефанерных трехслойных криволинейных или плоских панелей заводского изготовления.

Из широко применяемых ранее пространственных деревянных конструкций можно отметить двойные гнутые своды Шухова — Брода, дощато-гвоздевые, своды-оболочки, складки. В своё время им на смену пришли конструкции заводского изготовления из трехслойных клефанерных панелей: своды-оболочки (схема 20), складки (схема 21).

Позднее получили распространение дощатоклееные тонкостенные гиперболические (схемы 22 и 23) и висячие оболочки (схемы 24 и 25), а также покрытия структурного типа (схема 26).

					257.08.04.01.2017.140. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.		15

1.2 Характеристика структур

Результатом поиска современных архитектурных форм большой выразительности, универсальности и многофункциональности, образуемых на основе многократно повторяющихся элементов, стало создание стержневых систем нового типа. Плоские решетчатые системы покрытий предложены ещё в 40-х годах XX века французским инженером Робером Ле Риколе. Он сконструировал первую перекрестно-стержневую систему из древесины, назвав её структурой (la structure (фр.) - структура, устройство, основание).

Эти системы, имея в своей основе кристаллическое строение, сходны с некоторыми весьма прочными творениями органической природы (по аналогии со строением одноклеточных морских организмов, образованными типовыми повторяющимися формами), представляют собой строительные конструкции, состоящие из повторяющихся стержневых и узловых элементов, составляющих элементарные объёмные фигуры, например, тетраэдры и полуоктаэдры.

Практика отечественного и зарубежного строительства имеет немало примеров применения структурных конструкций в виде оболочек, складок и куполов. Однако в подавляющем большинстве структурные конструкции применяются в виде стержневых плит. Эти конструкции изготавливаются из стали, дерева, алюминия, в некоторых случаях из пластмасс. В советском гражданском строительстве нашли также применение плиты регулярного строения из армоцементных элементов. [8]

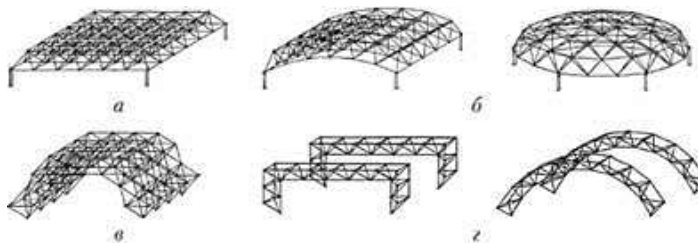


Рис. 1.2.1 – Виды структурных конструкций:

а – плоские системы; б – криволинейные системы; в – складчатые системы; г- линейные системы.

					257.08.04.01.2017.140. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.		16

Структуры имеют свои достоинства, правильное применение которых способствует повышению экономической эффективности конструкции в сравнении с общепринятыми решениями.

Преимущества структур:

- пространственная работа системы;
- возможность использования в большепролетных сооружениях;
- высокая надежность от прогрессирующего обрушения;
- стержневые элементы и узлы максимально унифицированы;
- уменьшенная высота перекрытия (покрытия);
- возможность упрощенного выполнения линий подвешенного транспорта, потолков;
- увеличение рабочей зоны, возможность свободной расстановки оборудования;
- частая сетка узлов способствует облегчению ограждающих конструкций кровли;
- экономия транспортных расходов;
- возможность упрощенной сборки на земле с последующим монтажом крупными блоками;
- конструкции являются сборно-разборными (при необходимости);
- выразительность архитектурного облика;
- универсальность для зданий и сооружений различного назначения.

При этом серийное изготовление структур способствует увеличению их экономической целесообразности.

					257.08.04.01.2017.140. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.		17

Конструкции структур являются типичным примером пространственной системы, легко заметить схожесть их геометрического строения со строением кристаллической решётки металла. Если приложить силу к любому узлу структуры в произвольном направлении, в первую очередь это вызовет усилие в ближайших пространственно примыкающих узлах, т.е. пространственную реакцию, похожую на сопротивление однородной системы (плиты или оболочки). Связи и в ряде случаев прогоны характерные для металлических конструкций в структурных системах отсутствуют. Их роль выполняют наклонные раскосы, сетки нижних и верхних поясов. На примере структурной плиты, поясные сетки которой образуют геометрически изменяемые квадратные ячейки (Рис. 1.2.2, а), легко убедиться, что в целом система геометрически неизменяема без связей – наклонные раскосы выполняют их роль.

Значительнее пространственность работы структур проявляется под действием неравномерных нагрузок. Благодаря способности структур к перераспределению усилий – превышение нагрузки для большинства стержней (не считая стержни, отказ которых приводит систему в механизм) не нарушает нормальную работу конструкции в целом.

В строительной практике кроме структур с регулярной решёткой нашли использование структурные системы с так называемой разреженной (неполной) решёткой, в этом случае в определенных ячейках отсутствуют пояса или раскосы. С точки зрения производства данные решения имеют достаточное обоснование, однако следует заметить, что в статическом отношении для систем с разреженной решёткой характерно снижение общей жесткости конструкции и ухудшение работы системы на кручение. [7]

					257.08.04.01.2017.140. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.		18

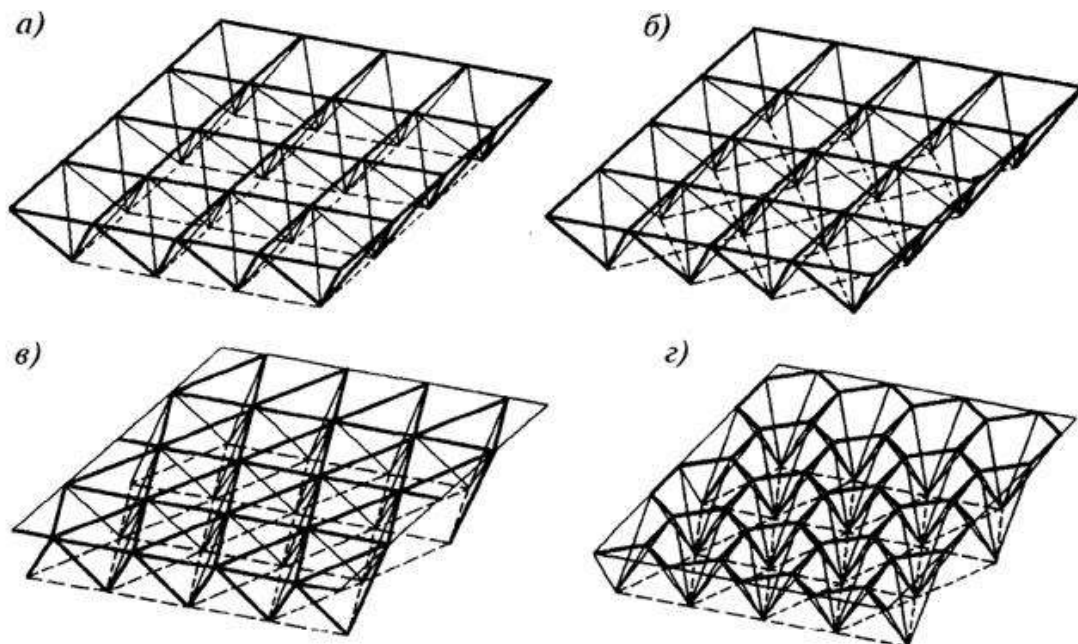


Рис. 1.2.2 Структурные плиты из решетчатых пирамид:

а, б – квадратное основание (пентаэдры или полуоктаэдры); в – треугольное основание (тетраэдры); г – шестиугольное основание (гептаэдры).

Структурным плитам присуща повышенная жесткость, обычно рекомендованное отношение высоты к пролёту лежит в диапазоне: $h/l = 1/16 - 1/25$ (взамен $1/8 - 1/10$ в стандартных плоских фермах). Это даёт возможность значительно сократить объём одноэтажного промышленного здания и связанные с этим расходы на эксплуатацию. [12]

В целом структурные плиты являются конструкциями большепролетного назначения и их целесообразно использовать с увеличенной сеткой колонн, что в свою очередь достаточно прогрессивно и обладает рядом таких преимуществ, как возможность организации свободной планировки, большая гибкость при усовершенствовании или изменении технологии и экономия площади.

В сравнении с обычными покрытиями в структурах существенно проще реализовать подвесной транспорт. Частая сетка узлов предполагает возможность организации путей кранов в любой зоне структуры с незначительными затратами.

Структурные конструкции возможно использовать и как перекрытия в многоэтажных производственных зданиях, когда необходимо использовать большепролетную сетку колон и существует необходимость в произвольной установке оборудования.

Следует отметить экономичность транспортных перевозок структурных конструкций, так как они доставляются на место строительства в разобранном виде или плотными штабелями ячеек, вложенных одна в другую (стержневыми пирамидами). Для отдаленных труднодоступных районов структуры это почти единственно возможные конструкции заводского изготовления, доставляемые лишь авиацией.

Сравнивая с обычными конструкциями, монтаж структур подчас оказывается более быстрым и экономичным за счет конвейерно-блочного метода монтажа, вопреки большому количеству элементов, из которых на месте собирается конструкция.

Структурам свойственен и ряд недостатков, часто неделимо связанных с достоинствами. Структурные конструкции – это конструктивные схемы, заимствованные из природы, но они проигрывают своим природным аналогам в том, что вместе с пространственностью приобретает жесткая унификация, что приводит к определенному увеличению расхода материалов.

Таким образом, в отношении прочих конструкций покрытия, структурное покрытие является относительно новым, но благодаря своим основным качествам, оно не уступает своим предшественникам, а даже наоборот, набирает большую актуальность.

					257.08.04.01.2017.140. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.		20

1.3 Обзор структур с металлическими элементами

В мировой строительной практике создано множество уникальных и необычных сооружений общественного и промышленного назначения. Широкое распространение получили металлические структурные решетчатые системы покрытия, отличающиеся не только оригинальными архитектурными формами, но и прогрессивными конструкторскими решениями.

Перекрестно-стержневые конструкции, выполненные в металле, нашли применение в различных областях строительства: выставочные павильоны, театры, концертные залы, торговые залы и рынки, спортивные сооружения: легкоатлетические манежи, бассейны, катки, склады, гаражи, промышленные здания.

В нашей стране структурные металлические конструкции начали производить и применять в начале 70-х годов XX века. ЦНИИ строительных конструкций им. В.А. Кучеренко, ЦНИИпроектстальконструкция им. Н.П. Мельникова, а также другие проектные организации и исследовательские институты выполняли исследовательские расчеты несущих конструкций разных типов и ряда систем покрытий. [12]

Разработка металлических структурных решетчатых конструкций изначально подразумевала скоростной монтаж комплексных зданий. Высоко оценен зарубежный опыт, который был перенят, чтобы создать поточную автоматизированную технологию изготовления металлических структур на действующих и строящихся заводах.

Самым распространенным и рациональным профилем для стержней структурных плит является круглая труба (системы «ИФИ», «Триодетик», «Меро», «Веймар», МАрХИ, «Кисловодск»). Вместо труб круглого сечения обоснованно можно применять холодногнутые сварные квадратные трубы. Но в практике конструирования и строительства структурных покрытий находят применение самые разнообразные поперечные сечения прокатных профилей: тавры, равнополочные уголки (системы ЦНИИСК [19], «Спейс-Дек», «Пирамитек»), швеллеры, двутавры,

					257.08.04.01.2017.140. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.		21

круглые стержни сплошного сечения (плита покрытия торгового центра в Копенгагене), открытые гнутые профили (системы «Юнистрэт», КИСИ).

Существует три основных вида узловых соединений стержней структур:

1. *Соединение без дополнительных узловых элементов.*

Сварочные узловые соединения, выполняемые на строительной площадке: соединения на ванной сварке: система ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко (Рис. 1.3.1, а), в которой концы стержневых элементов сплющиваются и образованное ими пространство заполняется расплавленным металлом. Соединения системы «Октаплатт» и «SDS», собираемые сваркой из двух элементов со стержнями между ними. Соединения, разработанные КИСИ, на листовых косынках с цилиндрическим вкладышем.

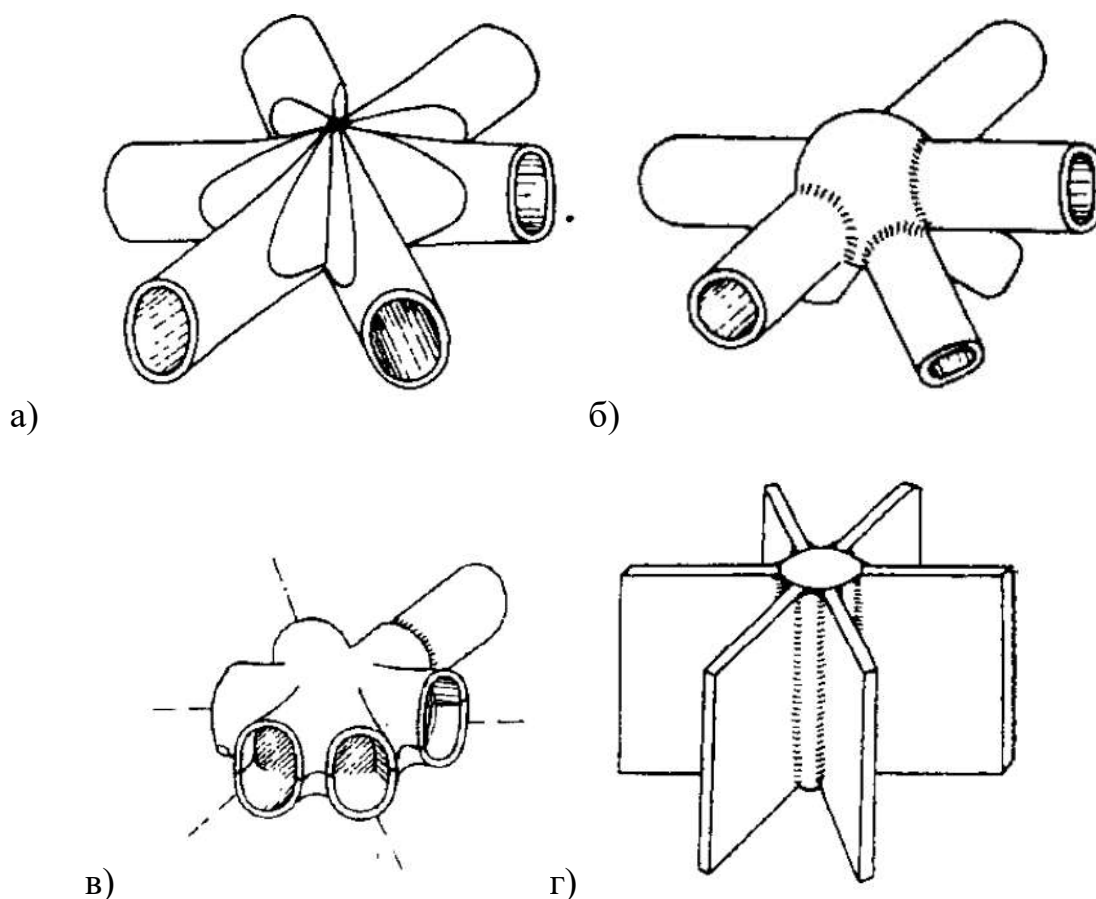


Рис. 1.3.1 Сварочные узловые соединения: а – узел системы ЦНИИСК, б – узел системы «Октаплатт», в – узел системы «SDS», г – узел на косынках с цилиндрическим вкладышем.

Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.

2. Болтовые узловые соединения.

Соединения стержней исключают сварку как на площадке, так и в заводских условиях. К таким системам относятся:

- соединения типа «ЮНИСТРАТ» (Рис. 1.3.2, а), в котором узловой элемент выполнен из штампованной листовой стали с заранее высверленными отверстиями и шпонками для подсоединения на болтах гнутых стержней открытого профиля;
- соединение «Триодетик» (Рис. 1.3.2, б) с использованием цилиндрического тела, вдоль образующих которого выполнены пазы с рифлёными стенками, в которые вставляются концы опрессованных стержней;
- соединение КИСИ на гнутой листовой косынке (Рис. 1.3.2, в): квадратная развёртка косынки перегнута по серединам граней, в образовавшихся плоскостях которой выполнены отверстия для присоединения стержней открытого гнутого профиля;
- соединения типа «Кипсер» (Рис. 1.3.2, г), где стержни коробчатого сечения со сплюснутыми концами соединяются с помощью трёх узловых косынок болтами.

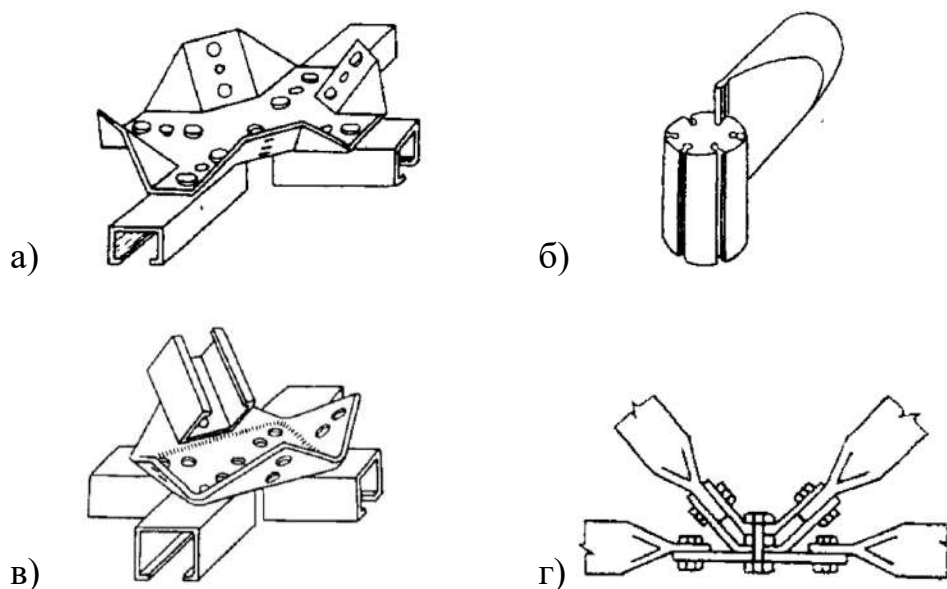


Рис. 1.3.2 Болтовые узловые соединения: а – узел системы «ЮНИСТРАТ», б – узел системы «Триодетик», в – узел системы КИСИ, г – узел «Кипсер».

3. Комбинированные узловые соединения.

В эту группу входят соединения, в которых сварка выполняется в заводских условиях, а сборка узла – на строительной площадке при помощи болтов. Характерной особенностью этого типа соединений является расчленение узловых деталей на две группы: детали первой группы привариваются к концам соединяемых стержней, детали второй группы – шайбы, болты, коннекторы, объединяющие стержни в узел.

Характерными узловыми соединениями этой группы являются системы:

- «Меро», «Веймар», «МАрХИ» (Рис. 1.3.3, а) – основной элемент представляет собой сферическое тело с отверстиями с резьбой, в которые ввинчиваются вращающиеся на концах стержней болты. Эти болты крепят сваркой к стержням.
- «ИФИ» (Рис. 1.3.3, б) – клинья в заводских условиях привариваются к сплюсненным концам трубчатых стержней, которые на монтаже объединяют при помощи конических шайб, стянутых болтом.
- Соединение типа «Нодус» - цилиндрические наконечники приваривают с одной стороны к концам трубчатых стержней, с другой – к фасонным деталям, которые стягивают болтом. Раскосы крепят к проушинам фасонной детали.

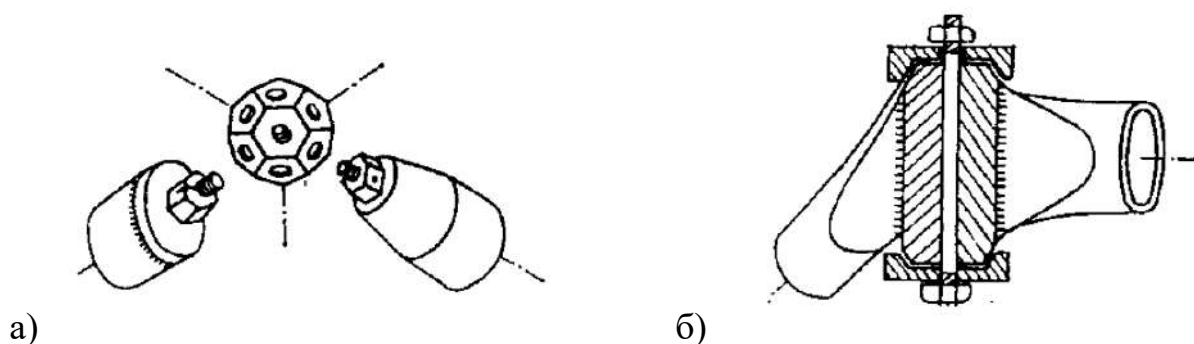


Рис. 1.3.3 Комбинированные узловые соединения: а – узел систем «Меро» и «МАрХИ, б – узел системы «ИФИ».

В качестве примера более подробно рассмотрим одну из наиболее распространенных пространственных конструкций типа «Кисловодск», разработанной Гипроспецлегконструкция в 1971 году.

Конструкция типа "Кисловодск" – это пространственная решетчатая конструкция с использованием бесшовных труб унифицированного сортамента. Применяется в основном для одноэтажных промышленных зданий. Размеры в плане составляют 30,0 x 30,0 и 36,0 x 36,0 м, с высотой до низа несущих конструкций покрытия 4,8; 6,0 и 7,2 м., перепад высот отсутствует, может быть выполнена с зенитными фанарями или без них, грузоподъемность подвесных кранов до 2 т. или без них, применима в любых снеговых и ветровых районах. Температура наружного воздуха – до минус 40 градусов (выше, если здание отапливаемое). Опирается на колонны выполнено посредством капителей в форме пирамид, основанием для которых выступают ячейки нижнего пояса.

Ячейки нижнего и верхнего поясов имеют размеры 3,0 x 3,0 м. Верхний и нижний пояс соединяются раскосами. Номинальная длина всех стержней одной стержневой системы запроектирована одинаковой. Стержень представляет собой горячекатаную или электросварную трубу с диаметром 76, 102 и 114 или 127 мм у которой в торцы вварены шайбы (Рис. 1.3.4). Толщина труб варьируется от 3,0 до 7,0 мм. Через шайбы пропускают высокопрочные болты диаметром 22 или 30 мм с гайками увеличенной до 52...72 мм высоты. [20]

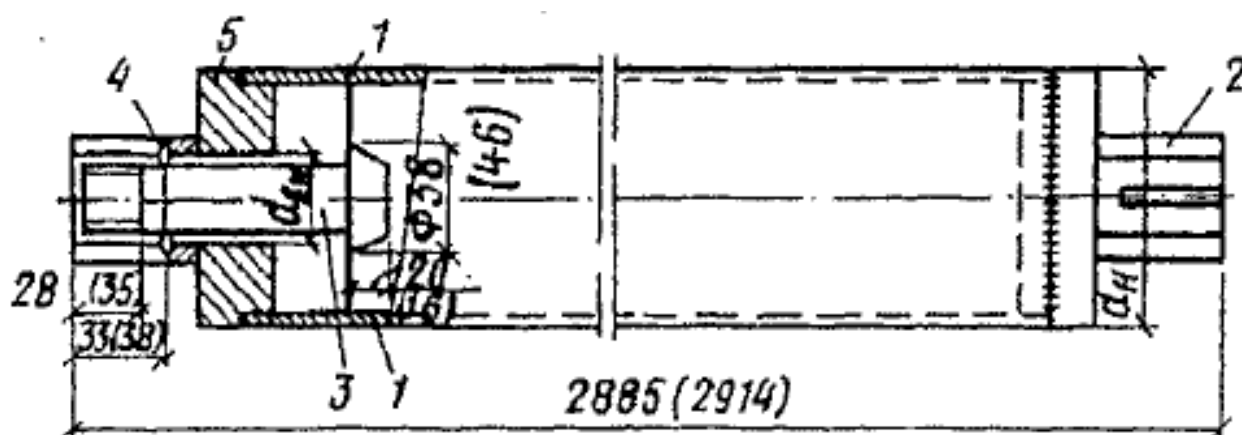


Рис. 1.3.4 – Стержень структуры «Кисловодск»: 1 – труба электросварная; 2 – муфта шестигранная; 3 – болт высокопрочный; 4 – $d = 4$ мм; 5 – шайба.

Узел выполнен посредством так называемых «коннекторов» –пространственные фасонки (разрезанные пополам или целые многогранники), в которых присутствуют резьбовые отверстия (Рис. 1.3.5). Гайки при этом выполняют стопорную роль, они служат для передачи сжимающего усилия от узлового соединения к стержню.

До укрупнения структурного покрытия монтируют колонны с капителями. После выполняют укрупнительную сборку блока прямо в зоне подъема. Несущая способность стержневых элементов в месте строповки накладывает ограничение на массу всего блока, она должна быть не более 28 т.

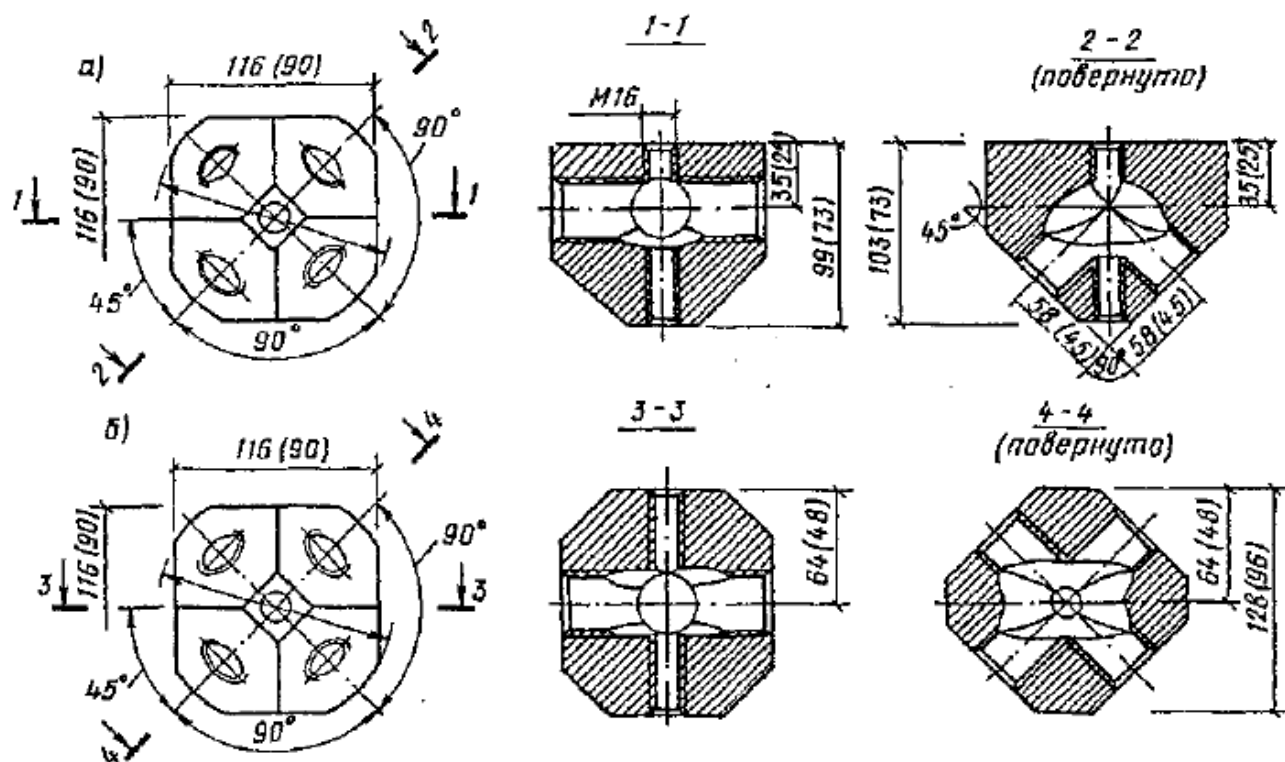


Рис. 1.3.5 – Узел конструкции типа «Кисловодск»: а) – полумногогранник; б) – целый многогранник; (без скобок – секция 30 х 30 м, в скобках – секция 36 х 36 м).

Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.

1.4 Обзор структур с деревянными элементами

Пространственными конструкциями на основе древесины занимались сотрудники ЦНИИпромзданий, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, ЦНИИЭПсельстрой, КрасноярскПромстройНИИпроект, Санкт-Петербургского, Киевского и множества других строительных вузов. Ими была проделана огромная работа в области изучения деревянных конструкций, проведены опытно-конструкторские разработки и научные исследования таких конструкций, как большепролетные плиты, клеёфанерные блок-арки, структурные покрытия, блок-фермы и блок-секции зданий, в которых покрытия и стеновые ограждения совместно включены в работу с основными несущими конструкциями.

Пространственные конструкции на основе комбинирования древесины с разнообразными материалами (металл, фанера и т. д.) разрабатывали и исследовали некоторые советские ученые, например, Трофимов В. И., Гринь И. М., Фурсов В. В., и др. [12-16]

Учитывая накопленный опыт в проектировании и строительстве, а также предполагаемые условия применения, структурные конструкции на основе деревянных элементов разрабатывались как целиком стержневые (Рис. 1.4.1, а), так и с использованием кровельных плит, которые включались в совместную работу и образовывали в данном случае пластинчато-стержневую систему (Рис. 1.4.1, б, в).

					257.08.04.01.2017.140. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.		27

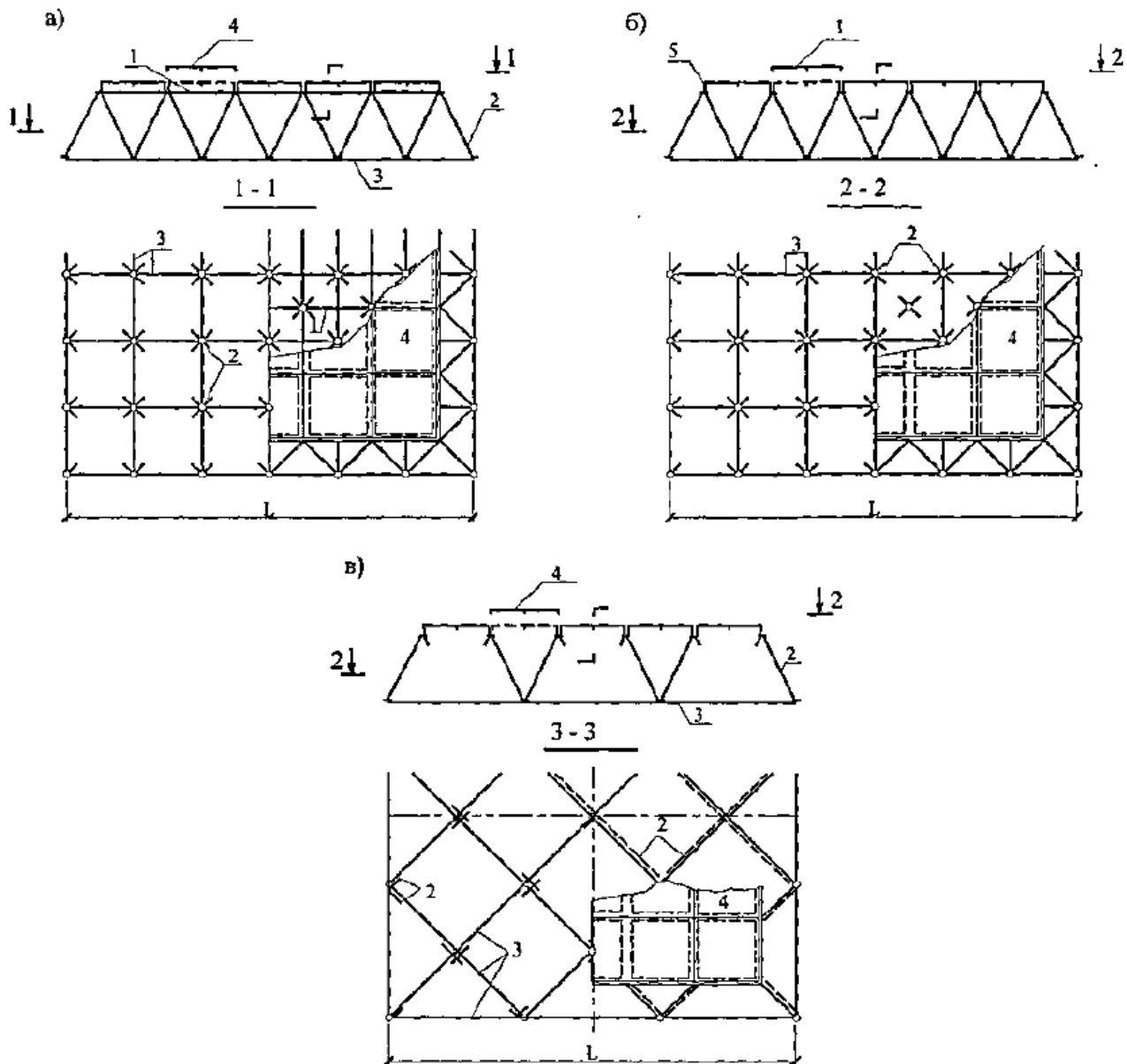


Рис. 1.4.1 – Схема деревянно-стальных структур: а) – стержневая регулярная; б) – пластинчато-стержневая (плиты работают совместно со стержнями); в) – пластинчато-стержневая (ориентация нижних поясов диагональная); 1 – верхний пояс; 2 – раскосы; 3 – нижний пояса; 4 – кровельные плиты.

Комбинированные структурные конструкции предоставляют большой выбор проектировщику в использовании сечений поясов и раскосов (Рис. 1.4.2).

Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.

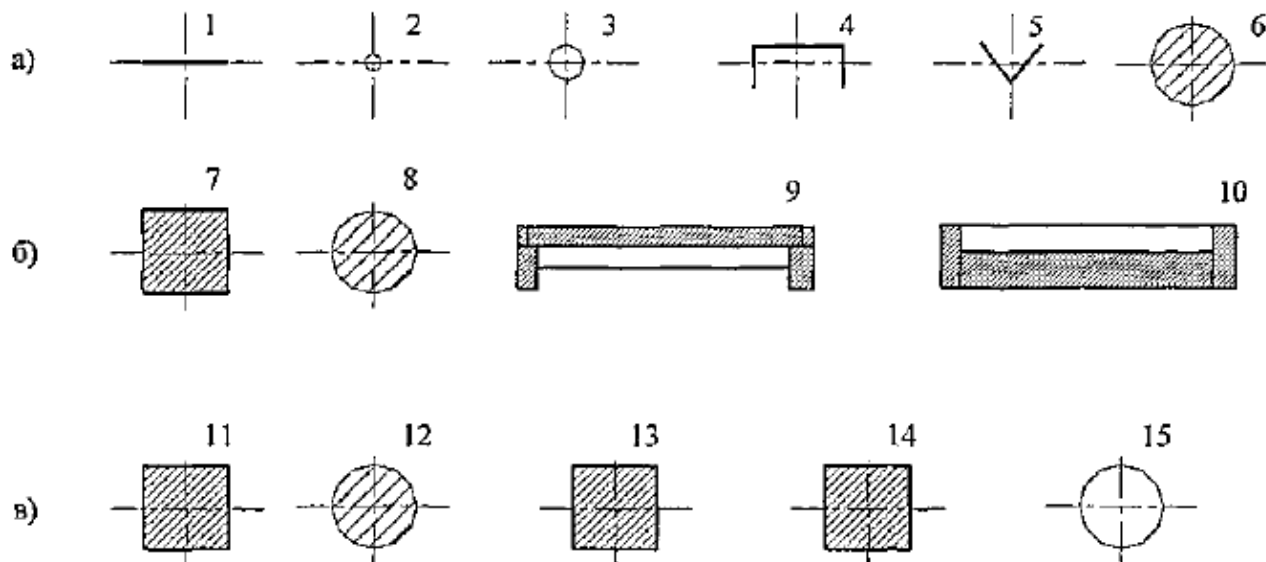


Рис. 1.4.2 – Сечения элементов структур: а) – нижние пояса; б) – верхние пояса; в) раскосы; 1 – 5 – профили стальные; 6, 8, 12 – бревна 7, 11 – брусья; 9, 10 – клефанерные плиты; 13, 14 – армированные брусья; 15 – фанерная труба (сердечник из стального тяжа).

При этом исходили из необходимости и целесообразности:

- создать конструкции легко собираемыми, с узлами, снабженными резьбовыми соединениями, лобовыми упорами и т.п.;
- использовать легкие, малогабаритные монтажные элементы, легко перевозимые в виде пакетов любым транспортом;
- применять не дефицитные, экологически чистые конструкционные и теплоизоляционные материалы (фанеры стальные трубы, гнутые и прокатные профлисты, листовую и полосовую сталь, калиброванные бревна, водостойкую фанеру и др.);
- использовать при изготовлении элементов и сборке узлов клеевые соединения, вклеенные стержни, гвозди, болты и сварку.

Стоит заметить, вопрос поиска оптимальных параметров конструктивных форм структурных пространственных конструкций на основе древесины, отвечающих требованиям унификации, технологичности производства и монтажа, надежности еще не исчерпан.

Исследования экономической целесообразности применения стали, древесины и железобетона в покрытиях зданий для различных регионов, в том числе и для Сибири, показали, что конструкции на основе древесины в богатых лесом районах экономически сопоставимы со стальными, а в ряде случаев превосходят их. Возрождение интереса к освоению и развитию лесоперерабатывающего комплекса в условиях Восточной Сибири и Дальнего Востока при условии сосредоточения на территории основных запасов древесного сырья, а также необходимости в эффективной комплексной переработке древесины ведет к необходимости развития и применения конструкций на основе древесины, в том числе и для покрытий зданий и сооружений различного назначения. [15]

В промышленном строительстве – при возведении однопролётных и двухпролётных цехов, гаражей, навесов, складов.

В сельскохозяйственном – в хранилищах, комплексах по переработке продукции, складов и навесов для техники, ремонтных мастерских.

В общественных – принимая во внимание требования нормативных документов, для покрытия зданий рынков, павильонов, спортивных залов и т.д.

Таким образом, исследования и опытно-конструкторские разработки комплексных структурных конструкций нового поколения на основе древесины является актуальным, перспективным и востребованным.

На протяжении долгого времени велись разработки по созданию решетчатых пространственных конструкций широкого применения. Основной задачей таких разработок была возможность унификации.

В ЦНИИпромзданий совместно с ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко разработаны различные варианты пространственных покрытий производственных зданий с использованием (в различной степени) древесины для элементов покрытий. [14]

					257.08.04.01.2017.140. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.		30

В качестве основы конструктивной схемы деревянной и деревометаллической конструкции (Рис. 1.4.3) принята металлическая структурная конструкция из прокатных профилей (типовые серии 1.460-6 и 1.460-6/81), при этом для разработки деревянных и деревометаллических конструкций приняты структурные двухпоясные блоки с раскосной решеткой, номинальными размерами 24x12x1.5 и 18x12x1.5 (Рис. 1.4.3, а). По торцам блоков предусмотрены фермы.

Разработаны четыре варианта структурных блоков (Рис. 1.4.3, б).

Вариант I. Из цельной или клееной древесины выполняются только верхние продольные пояса. Эти пояса являются наиболее нагруженными сжатыми элементами. Применение древесины обусловлено значительной трудоемкостью изготовления поясов из металла. Прочие элементы структурного покрытия выполняются из стальных прокатных равнополочных уголков.

Вариант II. В этом варианте из древесины выполнены верхние продольные пояса и элементы решетки структурного блока. Выполнение из металла торцовых ферм блока и связевых элементов обусловлено требованием удобства монтажа структурного блока, так как жесткие торцовые фермы, смонтированные в первую очередь, служат «матрицей» для последующего монтажа прочих элементов.

Вариант III. Все стержневые элементы блока по этому варианту деревянные, металлические - фасонки, фланцы, вкладыши. Для деревянных стержней решетки принято из условия унификации только три размера поперечного сечения: 100x100, 130x130, 160x160 мм.

Вариант IV. Поскольку расчетное сопротивление на сжатие древесины существенно выше, чем на растяжение, в конструктивном решении этого варианта из древесины выполнены все сжатые элементы. В связи с тем, что показатели IV варианта хуже, чем II, при той же области применения, в дальнейшем IV вариант не рассматривался.

					257.08.04.01.2017.140. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.		31

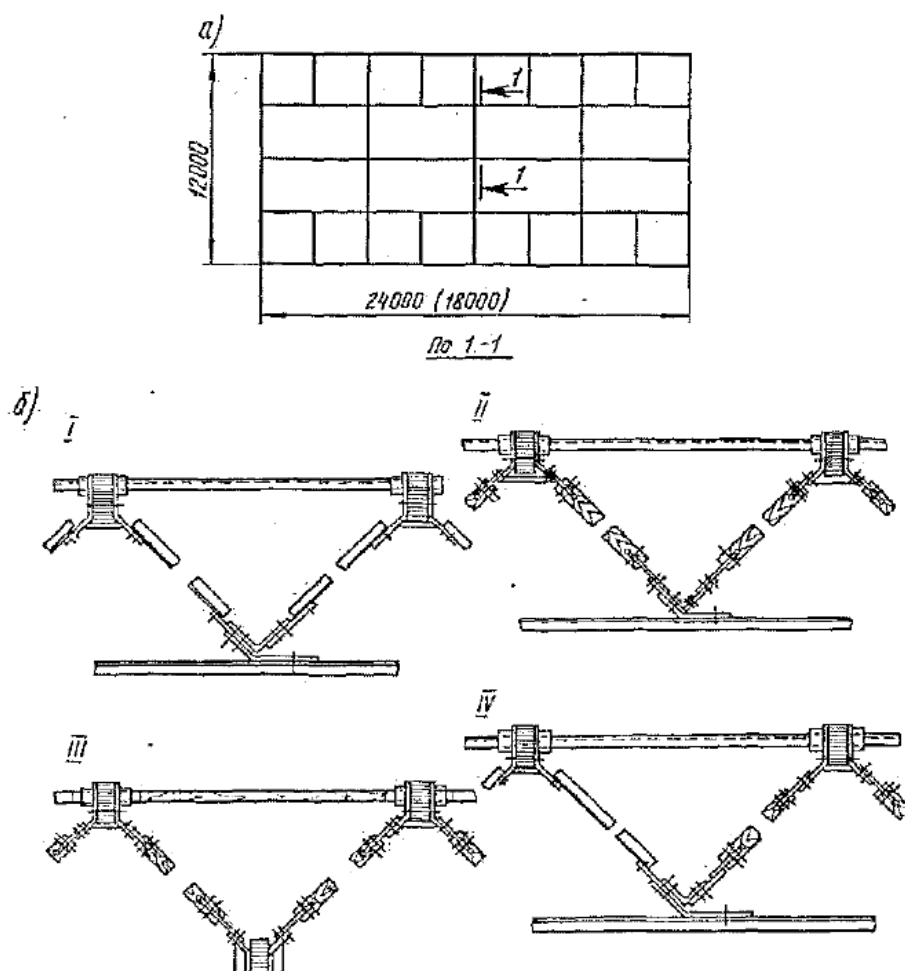


Рис. 1.4.3 – План деревометаллического структурного блока – а); I, II, III, IV – варианты конструктивного решения структурного блока – б).

Заслуживает внимания деревометаллическая структура с треугольными ячейками предложенная и исследованная Гринем И.М. и Рузиевым К.И. Конструкция представляет собой пространственную стержневую решетку, получаемую перекрещиванием треугольных ребристых пирамид, лежащих в параллельных плоскостях. В плане стороны оснований пирамид пересекаются, образуя угол 120° . Вершины пирамид по вертикали в плоскости нижней сетки стянуты тяжами, а в верхней соединены при помощи деревянных брусков. Ребра пирамид (раскосы) выполнены из древесины и являются всегда сжатыми. Узловые элементы сварные, сопряжение сжатых деревянных раскосов выполняется лобовым упором, растянутые металлические тяжи сопрягаются при помощи резьбовых соединений [16].

Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.

Такая схема, обеспечивает возникновение в раскосах и стержнях верхнего пояса столько сжимающих усилий, а в нижнем поясе и тяжах-подвесках - только растягивающих.

Существенное облегчение работы структурных покрытий, а также повышение их жесткости может быть достигнуто путем включения элементов ограждения в общую систему работы конструкции.

Из опыта применения деревянных и деревометаллических пространственных структурных конструкций в Великобритании можно отметить покрытие в Рубноке (Рис. 1.4.4). Конструкция состоит из наклонных плоских ферм, соединенных перпендикулярными деревянными брусками по верхнему и нижнему поясам. Крепление поясов и раскосов между собой выполняется болтовым или на гвоздях. Размер ячейки 1,22*1,22 м, высота 0,78 м, максимальный пролет 12,2 м.

Среди пространственных конструкций покрытий с применением древесины в ряде стран получили распространение деревянные двухпоясные решетчатые конструкции.

Конструкция покрытия, решенная как двухпоясная решетчатая плита возведена в Баттле (Великобритания) (Рис. 1.4.5). Плита состоит из верхней и нижней решеток, смещенных относительно друг друга на половину стороны ячейки. По направлению большего пролета элементы выполнены из древесины, в другом направлении - из прокатных профилей, раскосы - из неразрезных гнутых стальных стержней. Высота конструкции 0,5 м (1/16 пролета), размеры в плане 8,2*5,1 м [11].

					257.08.04.01.2017.140. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.		33

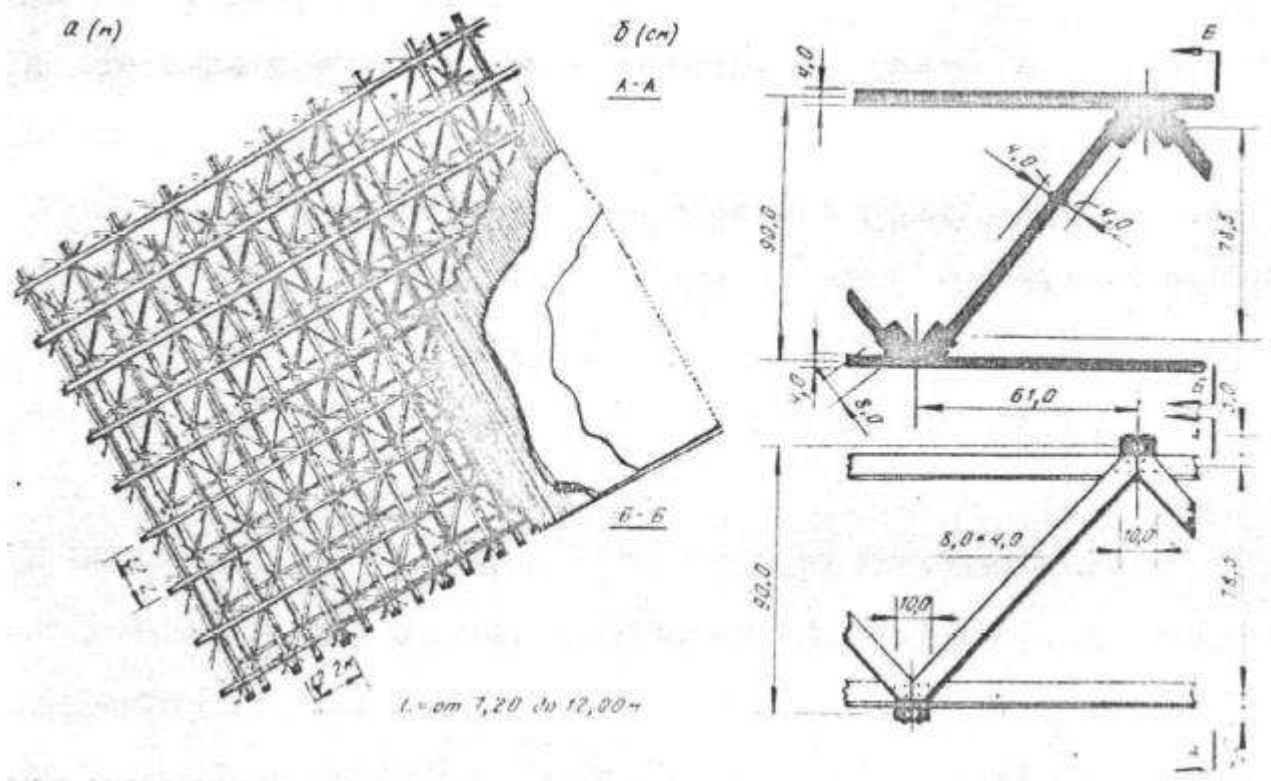


Рис. 1.4.4 – Пространственная деревометаллическая конструкция покрытия школы в Рубноке (Великобритания).

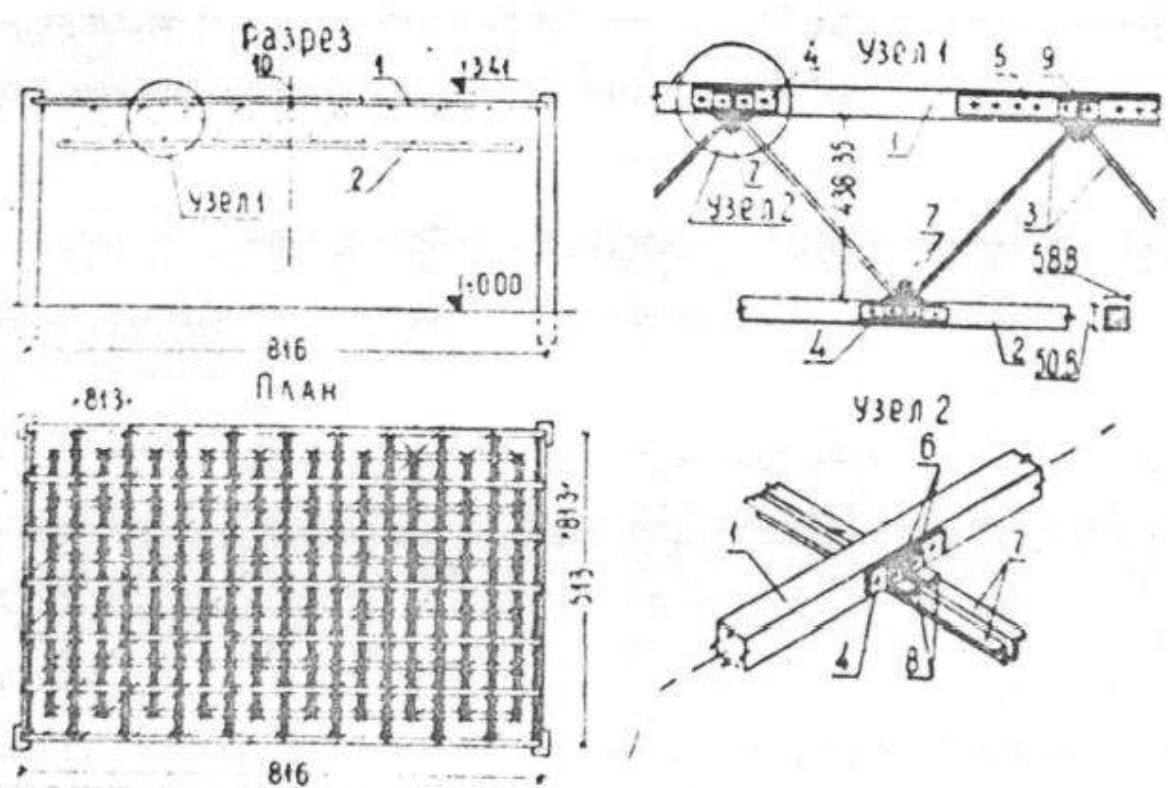


Рис. 1.4.5 – Пространственная деревометаллическая конструкция покрытия зданий в Баттле (Великобритания).

Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.

Оценивая результаты проведенного анализа научно-технической литературы и опытно-конструкторских разработок в России и за рубежом пространственных структурных конструкций покрытий, как цельнодеревянных, так и деревометаллических, можно сделать следующие выводы:

1. Экспериментально-теоретические исследования и опытно-конструкторские разработки пространственных структурных покрытий, еще не достигли предела поиска наиболее рациональных, эффективных форм, в наибольшей мере отвечающих требованиям заводского изготовления и возможностям строительной индустрии.

2. Опыт применения на практике цельнодеревянных и комбинированных на основе древесины структурных конструкций не достаточен.

3. Пространственные структурные конструкции покрытий как цельнодеревянные, так и комбинированные на основе древесины – эффективны и нуждаются в поиске оптимальных параметров конструктивных форм, отвечающих требованиям унификации, технологичности производства и монтажа.

					257.08.04.01.2017.140. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.		35

2 СОЗДАНИЕ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ ПОКРЫТИЯ СТРУКТУРНОГО ТИПА

2.1 Общие положения и предпосылки, принятые при разработке конструкции

Обобщив и проанализировав накопленный опыт конструкторских разработок отечественных и зарубежных инженеров пришли к необходимости выполнения частного технического решения перекрёстно-стержневой пространственной конструкции.

Исходя из требования использования минимального количества унифицированных элементов, изготавливаемых в заводских условиях и собирающихся на строительной площадке методом укрупнительной сборки, в качестве элементарной объёмной единицы выбран полуоктаэдр. Такая форма выгодна в сравнении с другими многогранниками, за счёт меньшего числа сопрягаемых элементов в одном узле.

Предпосылкой выбора вида узлового соединения стержневой структуры является несложность организации массового изготовления всех элементов. В связи с этим в качестве основы были отобраны соединения на металлических штамповках типа «Юнистрат» и «КИСИ», из-за их материалоемкости, простоты выполнения на распространённом оборудовании и отсутствия сложных соединительных деталей и коннекторов.

Деревянные стержни решётки (верхний и нижний поясы, раскосы) из условия унификации и архитектурной выразительной приняты одного размера поперечного сечения.

Размер структурного покрытия в плане должен соответствовать сетке колон 12 x 12 м.

В качестве основных материалов рационально использовать распространённые строительные материалы: сосна второго сорта, сталь марки 09Г2С.

					257.08.04.01.2017.140. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.		36

Конструкция должна соответствовать действующим строительным нормам и правилам.

Климатические параметры приняты для г. Челябинска.

Эскизы элементарной объёмной единицы и узловой детали структурного покрытия представлены на рисунках ниже.

[Тонированный]

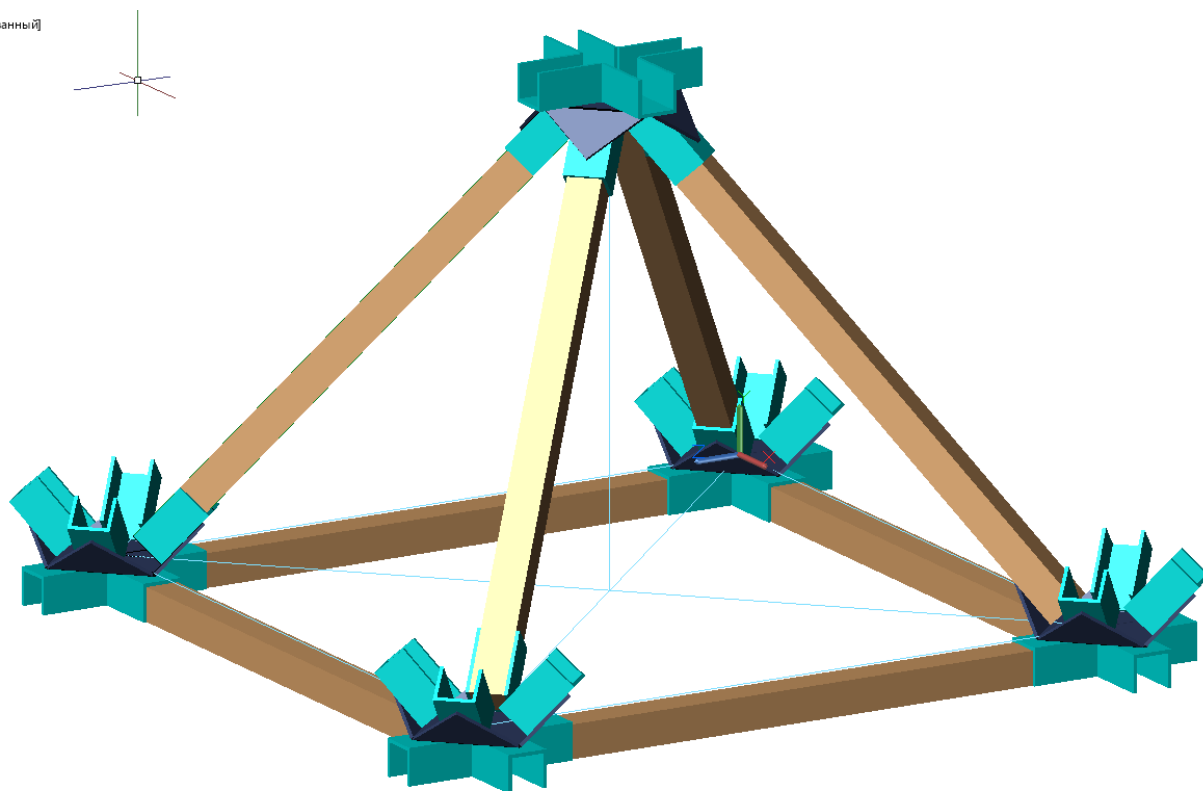


Рис. 2.1.1 – Эскиз элементарной объёмной единицы.

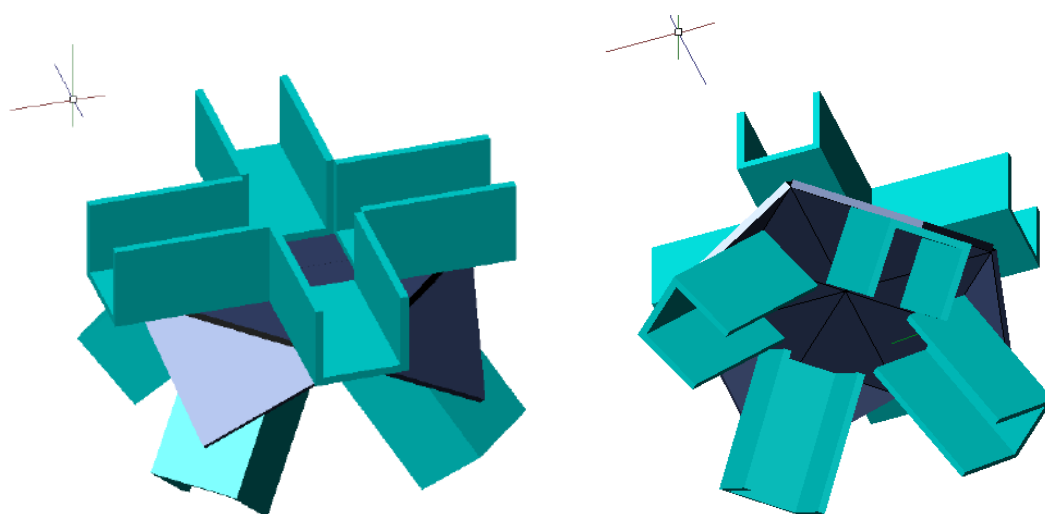


Рис. 2.1.2 – Эскиз узловой детали.

Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.

257.08.04.01.2017.140. ВКР

Лист

37

2.2 Поиск оптимальных параметров конструкции

Рекомендациями по расчету структурных плит предусматривается расчёт отдельных элементов и узлов в соответствии со строительными нормами и правилами для каждой конструкции и материала отдельно. Современные нормы, учитывающие многократно статически неопределимую работу структур, отсутствуют. Те же рекомендации, отраженные в справочниках в 70 – 80-х гг. XX века предлагают использовать приближенные методы расчета и замену дискретной структуры однородной расчетной моделью с приведенными упругими характеристиками [7, 12, 14]. Сейчас представляется возможным не использовать приближенные методы, а рассчитывать и анализировать достаточно точную модель реальной конструкции, учитывающую все её характеристики и параметры [17].

В ходе разработки оптимальной конструкции, отвечающей представленным требованиям, были проверены различные расчётные схемы и конструкции узловых соединений в программном комплексе ЛИРА САПР 2013.

Моделируемая конструкция рассчитывалась на следующие виды загружений:

1. Собственный вес конструкции:

– вес деревянных стержней решетки, собранный автоматически с использованием команды «Добавить собственный вес»;

– вес металлических узловых деталей, принятый с учетом геометрии и объемного веса материала (включая вес болтов), равный 22 кг;

– вес кровельных сэндвич панелей (профлист, пенополиуретан, крепеж), равный 20 кг/м².

2. Снеговая нагрузка:

Нормативные значения снеговой нагрузки согласно СП 20.13330.2011 [3] определяются по формуле 2.2.1:

$$S_0 = 0,7 \cdot c_e \cdot c_t \cdot \mu \cdot S_q, \quad (2.2.1)$$

					257.08.04.01.2017.140. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.		38

где c_e – коэффициент, учитывающий снос снега с покрытий зданий под действием ветра или иных факторов, вычисляется по формуле 2.2.2;

c_t – термический коэффициент;

μ – коэффициент перехода от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытие;

S_q – вес снегового покрова на 1 м горизонтальной поверхности земли.

$$c_e = (1,2 - 0,1 \cdot V \cdot \sqrt{k(z)}) \cdot (0,8 + 0,002 \cdot b), \quad (2.2.2)$$

где V – средняя скорость ветра за три наиболее холодных месяца в проектируемом районе.

$k(z)$ – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления от высоты;

b – ширина покрытия.

Подставив данные для выбранного климатического района (гор. Челябинск) [4] в формулы 2.2.1 и 2.2.2, получим:

$$c_e = (1,2 - 0,1 \cdot 3 \text{ м/с} \cdot \sqrt{0,65}) \cdot (0,8 + 0,002 \cdot 14 \text{ м}) = 0,79,$$

$$S_0 = 0,7 \cdot 0,79 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 180 \text{ кг/м}^2 = 100 \text{ кг/м}^2.$$

Расчётная снеговая нагрузка получается умножением значения нормативной нагрузки на коэффициент надёжности по нагрузке, который равен 1,4:

$$S_{\text{снеговая}} = 100 \text{ кг/м}^2 \cdot 1,4 = 140 \text{ кг/м}^2.$$

3. Ветровая нагрузка:

Нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки, в зависимости от высоты, принятой, ориентировочно 10 м, составит:

$$w_m = w_0 \cdot k(z) \cdot c, \quad (2.2.3)$$

где: w_0 – нормативное давление ветра;

$k(z)$ – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления от высоты;

c – аэродинамический коэффициент.

Подставив данные для выбранного климатического района (гор. Челябинск) [4] в формулу 2.2.3, получим:

					257.08.04.01.2017.140. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.		39

$$w_m = 30 \text{ кг/м}^2 \cdot 0,65 \cdot 0,8 = 15,6 \text{ кг/м}^2 - \text{напор};$$

$$w_m = 30 \text{ кг/м}^2 \cdot 0,65 \cdot 0,5 = 9,75 \text{ кг/м}^2 - \text{отсос}.$$

Изменением значений давления ветра в пределах габаритов конструкции структурного покрытия допустимо пренебречь ввиду их малости и отсутствия точного определения нахождения конструкции относительно земли.

3. Перемещения:

Для каждого варианта принимаются в соответствии с Приложением Е СП 20.13330.2011 [3].

Проверим расчётные схемы вариантов с различной геометрией и параметрами узловых соединений в программном комплексе ЛИРА САПР 2013:

Вариант №1: Замоделируем структуру размерами в плане по нижнему поясу 12x12 м. Длина всех стержней 3 м, сечение 100x100 мм. Угол между поясами и раскосами принят равным 45°. Узловые элементы заданы трёхузловыми конечными элементами №21. Закрепление шарнирное по углам.

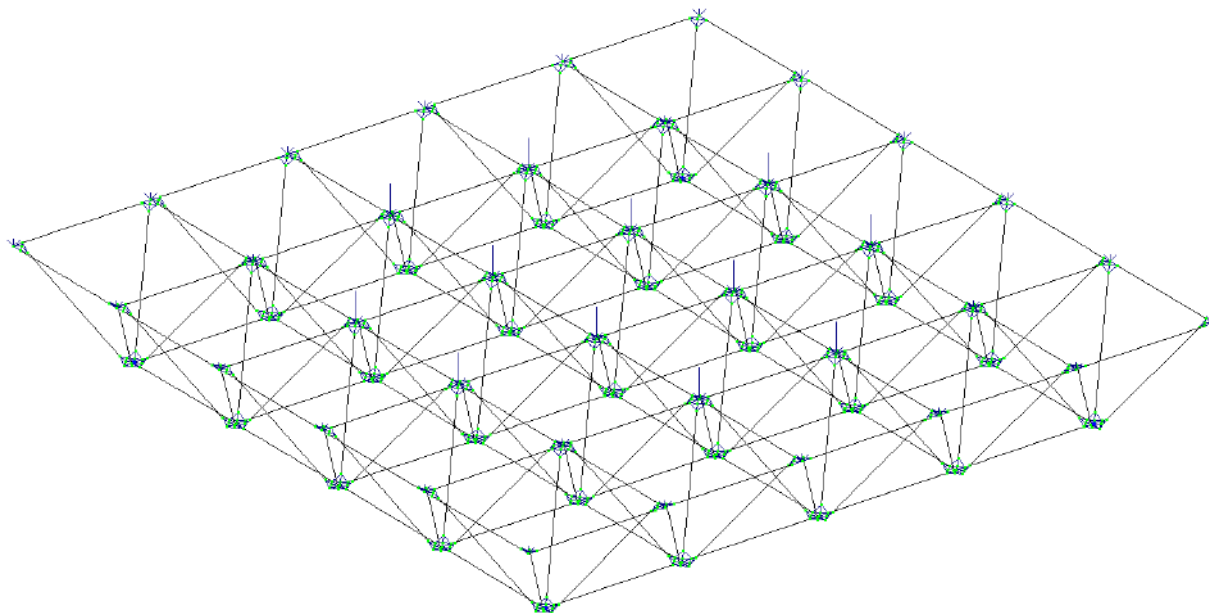
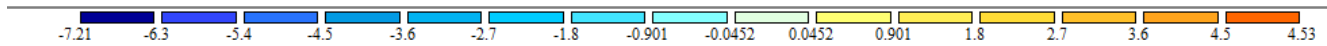


Рис. 2.2.1 – Расчётная схема вариант №1.

					257.08.04.01.2017.140. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.		40



Загрузка 1
 Мозаика N
 Единицы измерения - т

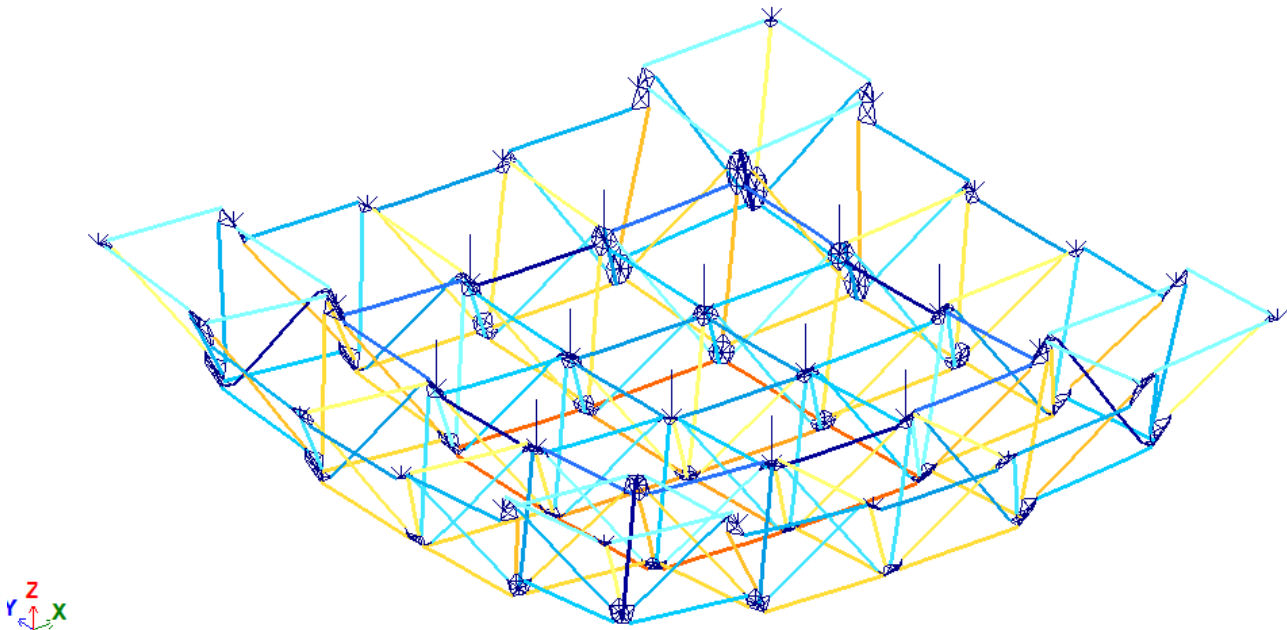
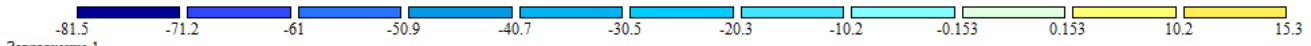


Рис. 2.2.2 – Мозаика усилий N в стержнях.



Загрузка 1
 Мозаика перемещений по Z(G)
 Единицы измерения - мм

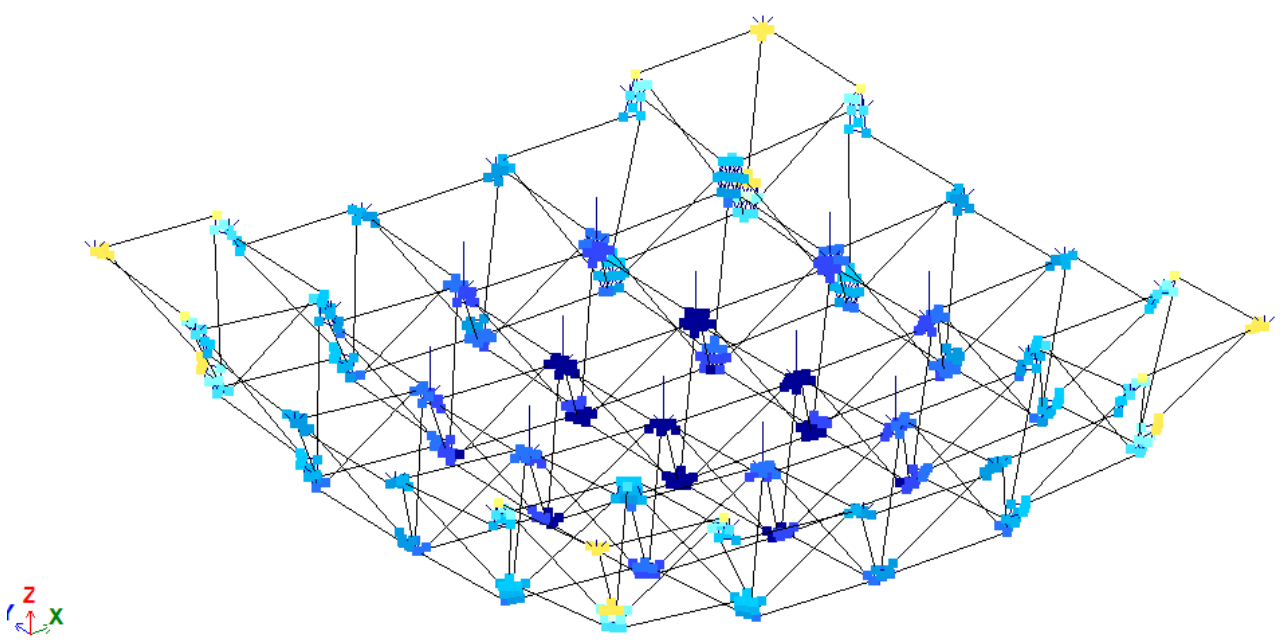


Рис. 2.2.3 – Мозаика перемещений по оси Z.

Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.

257.08.04.01.2017.140. ВКР

Вывод: вертикальные перемещение узлов модели с такими параметрами превосходят предельные значения. Для уменьшения значений перемещений уменьшим размеры элементарной ячейки.

Вариант №2: Структура с размерами в плане по нижнему поясу 12x12 м. Длина всех стержней 1,5 м, сечение 100x100 мм. Угол между поясами и раскосами принят равным 45°. Узловые элементы заданы трёхузловыми конечными элементами №21. Закрепление шарнирное по углам.

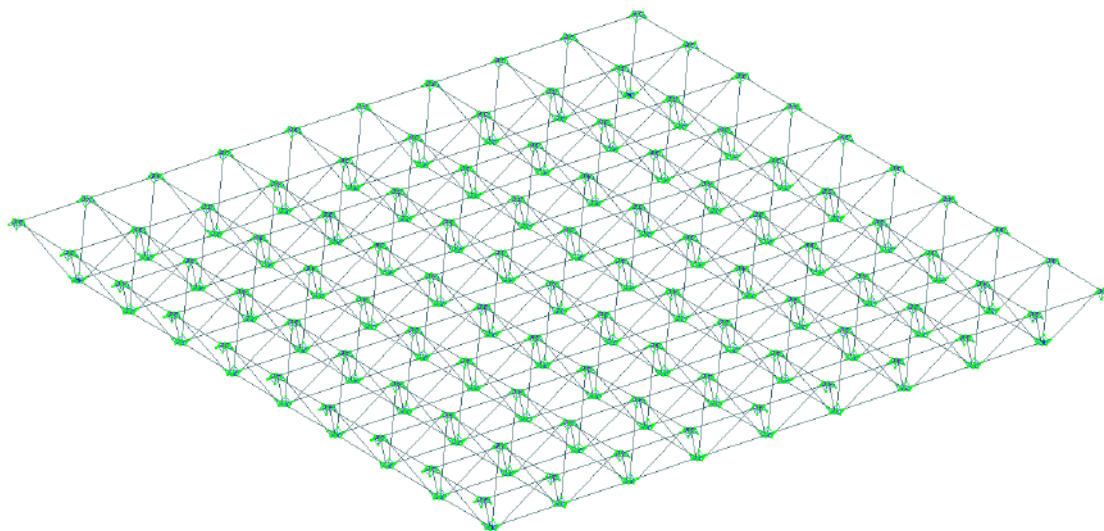


Рис. 2.2.4 – Расчётная схема вариант №2.

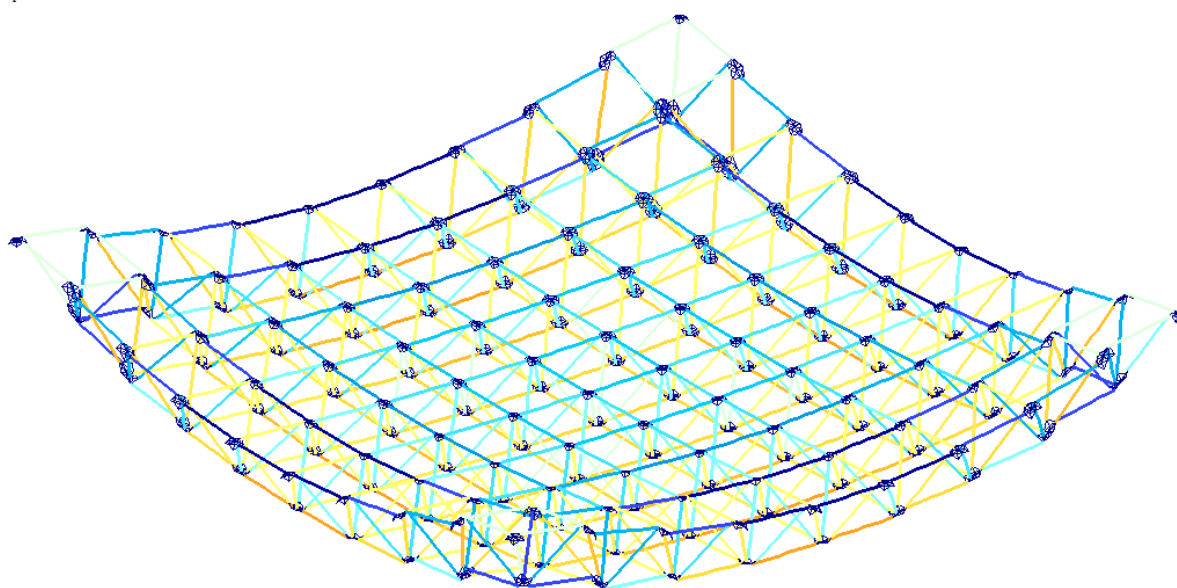
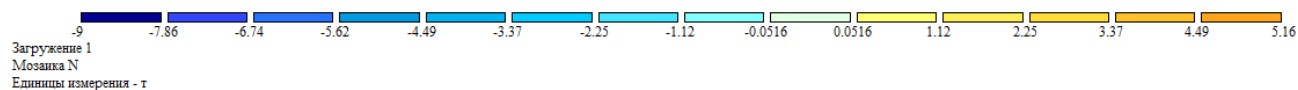


Рис. 2.2.5 – Мозаика усилий N в стержнях.

					257.08.04.01.2017.140. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.		42

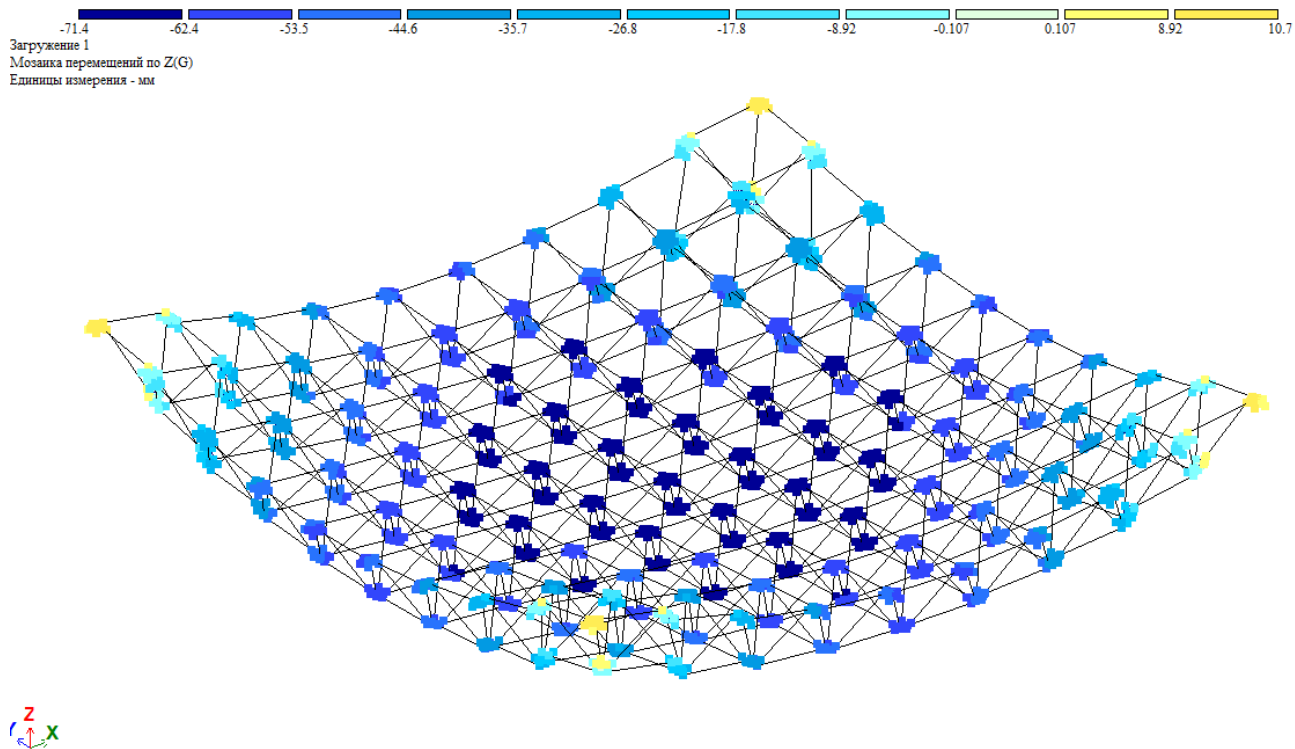


Рис. 2.2.6 – Мозаика перемещений по оси Z.

Вывод: Уменьшение длины стержней при тех же пролётах существенно не повлияло на перемещения узлов. Логично предположить, что такие перемещения вызваны не столько геометрическими параметрами ячеек, сколько жесткостными характеристиками узлов. Предложенный вид узлового соединения в принципе обладает жёсткостью большей, чем жёсткость узла, использованного в первых вариантах модели. Введём жесткие вставки на концы стержней, длиной соответствующей расстоянию от центра узла до конца условного соединения бруса и пластины.

Так же уменьшим расстояние в пролёте между узлами, закрепленными шарнирными связями, моделируя капители.

Вариант №3: Структура с размерами в плане по нижнему поясу 12x12 м. Длина всех стержней 1,5 м, сечение 100x100 мм. Узловые элементы заменены жёсткими вставками на концах стержней. Опираие в каждом углу – 4 шарнирно закреплённых узла, расстояние между узлами в пролёте 10,5 м.

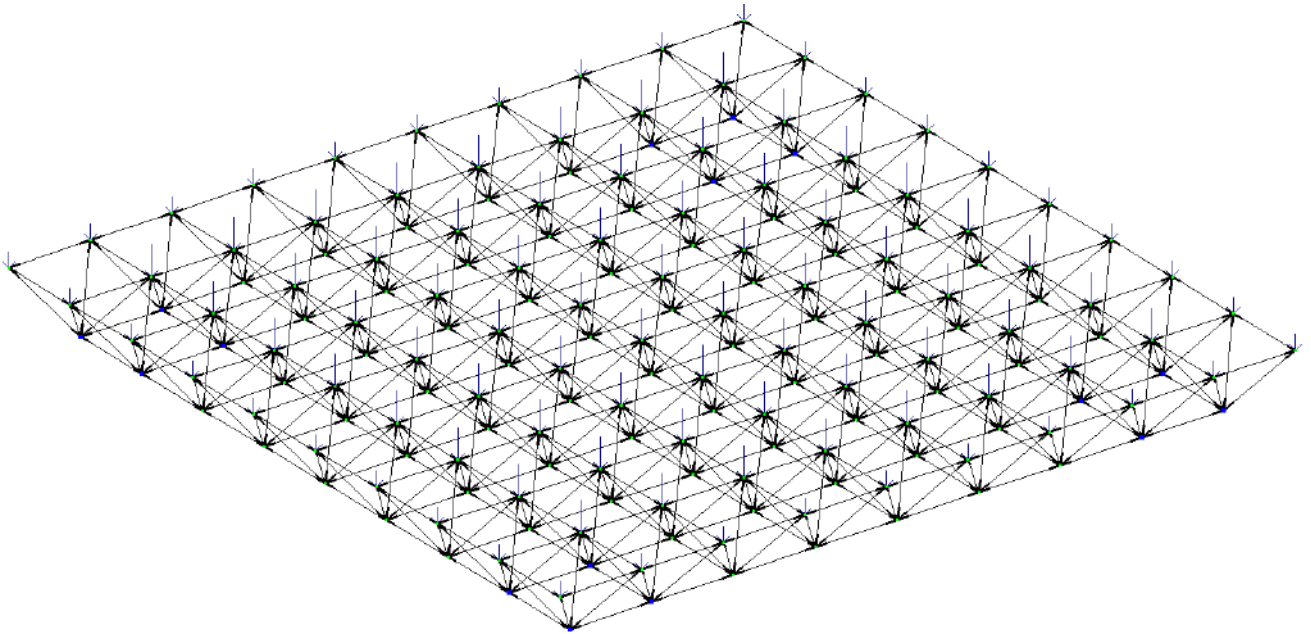


Рис. 2.2.7 – Расчётная схема вариант №3.

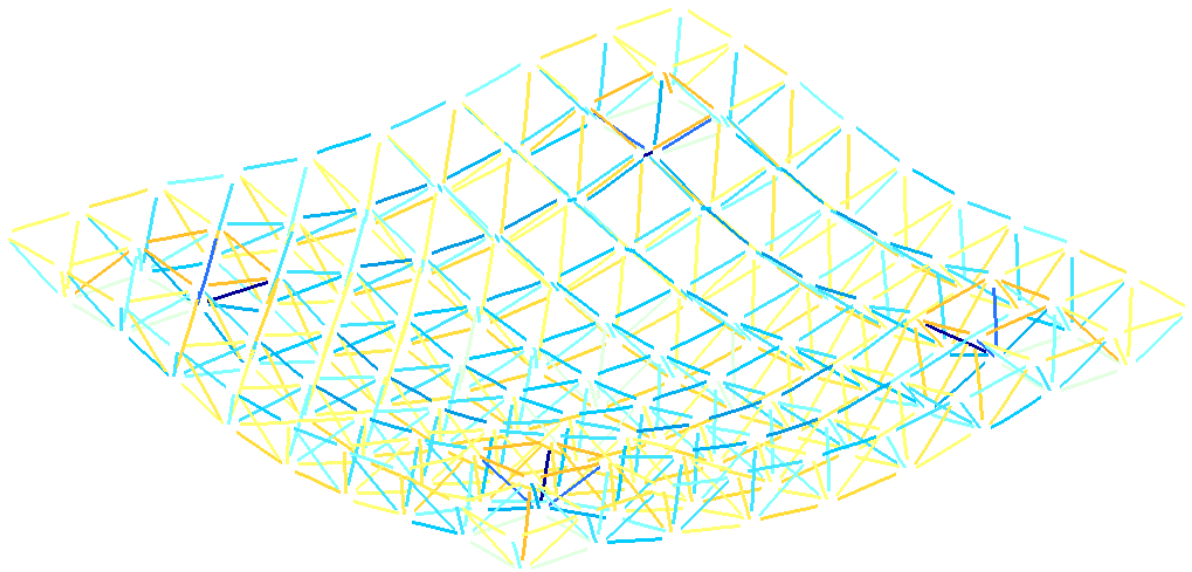
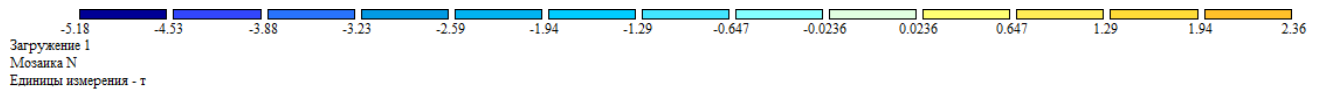


Рис. 2.2.8 – Мозаика усилий N в стержнях.

Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.
------	------	----------	-------	-------

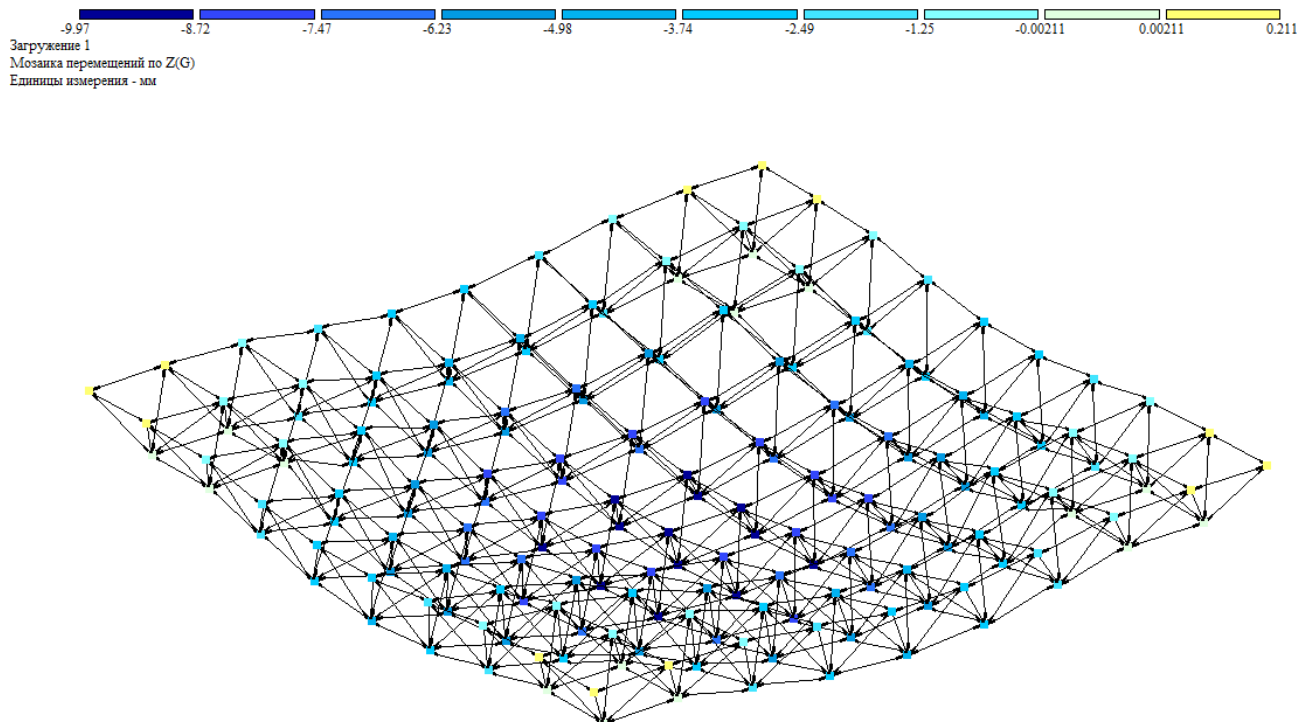


Рис. 2.2.9 – Мозаика перемещений по оси Z.

Вывод: Жесткость узлового элемента значительно влияет на перемещения. В свою очередь, их малость говорит не в пользу данного варианта. Для объективной картины требуется учитывать податливость болтового соединения в деревянных элементах.

Расчёт численных характеристик податливости стержневого элемента:

Согласно действующим нормам проектирования деревянных конструкций расчет нагельных соединений деревянных элементов выполняют по экспериментально-теоретическому методу, разработанному в 1953 г. профессором В.М. Коченовым.

В основу метода В.М. Коченова положено представление об упруго-пластичной работе нагеля в соединении при следующих допущениях: нагель рассматривается как тонкий стержень малой изгибной жесткости, контактирующий с упругим основанием — древесиной нагельного гнезда; при этом сам нагель наделен свойствами идеального упруго-пластичного материала с ярко выраженными участками упругой (1—2) и пластичной (2—3) работы (Рис. 2.2.10), напряжения на

участке пластичности принимаются для стального нагеля пределу текучести стали, а для нагельного гнезда — расчетному сопротивлению древесины смятию; предельная деформация сдвига нагельного соединения определяется как сумма упругой и пластичной деформаций: $u = u_y + u_n = 2u_y$; при деформировании соединения предполагается, что центральная ось нагеля до достижения текучести стали остается прямолинейной и ортогональной плоскости среза, и в виду возможного образования в результате усушки древесины зазоров между соединяемыми поверхностями трением между ними пренебрегают; разрушением соединения считается момент превышения предельной деформации, поэтому предельная деформация нагельных соединений ограничивается нормами проектирования и принимается равной 1,5...2 мм.

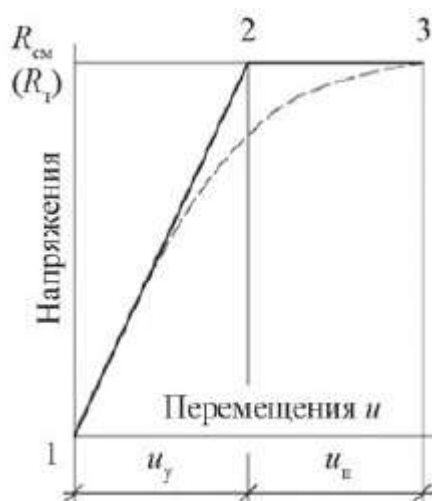


Рис. 2.2.10 – Диаграмма R - u работы нагеля.

Используя приложение Eurocode 5 [5] и допущения, основанные на методе В.М. Кочнева можно определить податливость связей в соединениях по формулам, представленным ниже:

$$K_{cp} = K_{cp,i} n_n n_{cp}, \quad (2.2.4)$$

где K_{cp} – средняя погонная жесткость соединения;

$K_{cp,i}$ – средняя жесткость связи за пределом пропорциональности и рассчитывается по формуле 2.2.5;

n_n и n_{cp} – количество нагелей и плоскостей среза в соединении;

					257.08.04.01.2017.140. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.		46

$$K_{ср,i} = 0,5 K_{н,i}. \quad (2.2.5)$$

где $K_{н,i}$ – начальная жесткость связи соответствующая упругой работе и рассчитывается по формуле 2.2.6;

$$K_{н,i} = \frac{d_i \sqrt{\rho^3}}{23}. \quad (2.2.6)$$

где d_i – диаметр нагеля;

ρ – плотность древесины.

Подставив в соответствующие формулы значения для нашей конструкции, получим:

$$K_{н,i} = 5,83 \text{ кН/мм}$$

$$K_{ср,i} = 0,5 \cdot 5,83 \text{ кН/мм} = 2,91 \text{ кН/мм}$$

$$K_{ср} = 2,915 \cdot 6 \cdot 2 = 34,98 \text{ кН/мм}$$

Полученное значение погонной жесткости соединения следует учесть при назначении линейных шарниров в концах растянутых элементов схемы см. (Рис. 2.2.11).

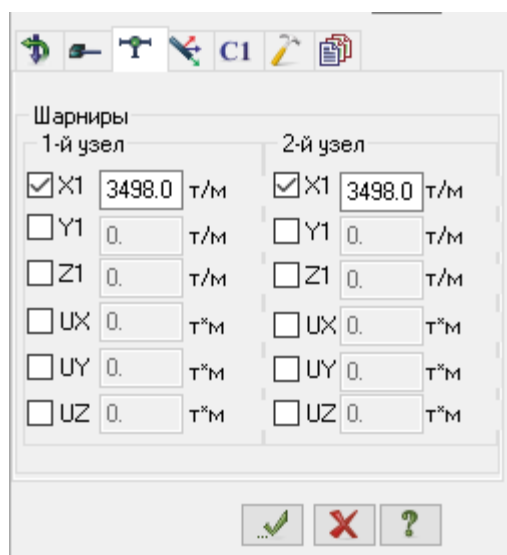


Рис. 2.2.11 – Учет податливости растянутого стержневого элемента.

Для сжатых элементов целесообразно использовать упоры для восприятия ими большей части усилий, при этом учетом податливости можно пренебречь.

Вариант №4: Структура с размерами в плане по нижнему поясу 12x12 м. Длина всех стержней 2 м, сечение 100x100 мм. Узловые элементы замоделированы жёсткими вставками на концах стержней с учетом податливости. Закрепление шарнирное по углам.

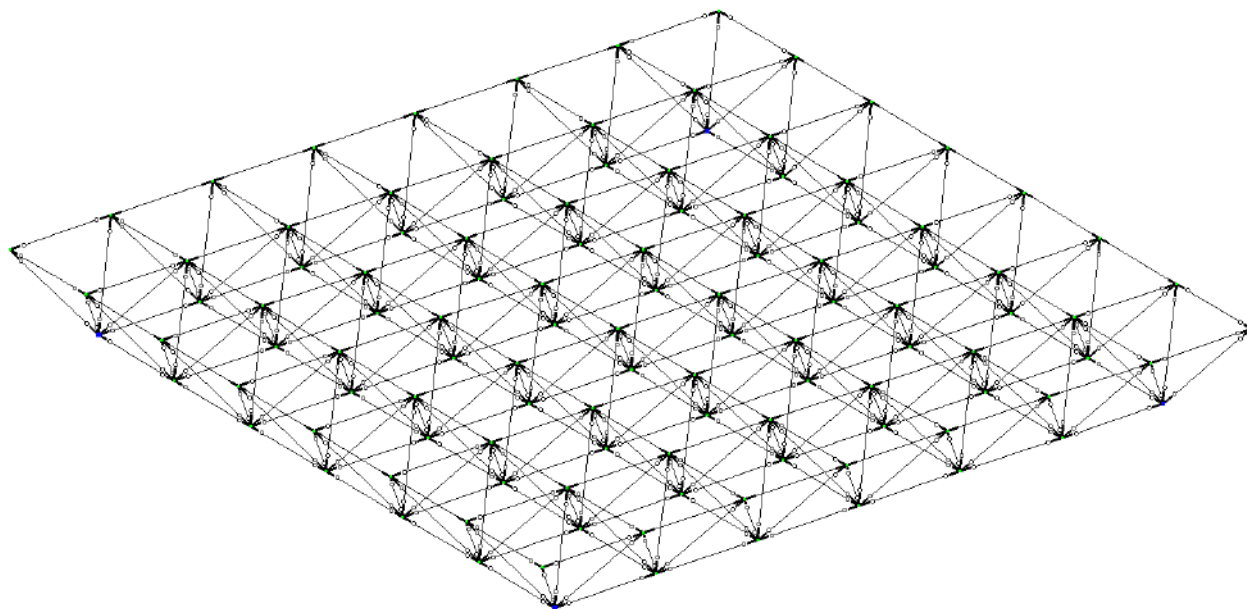
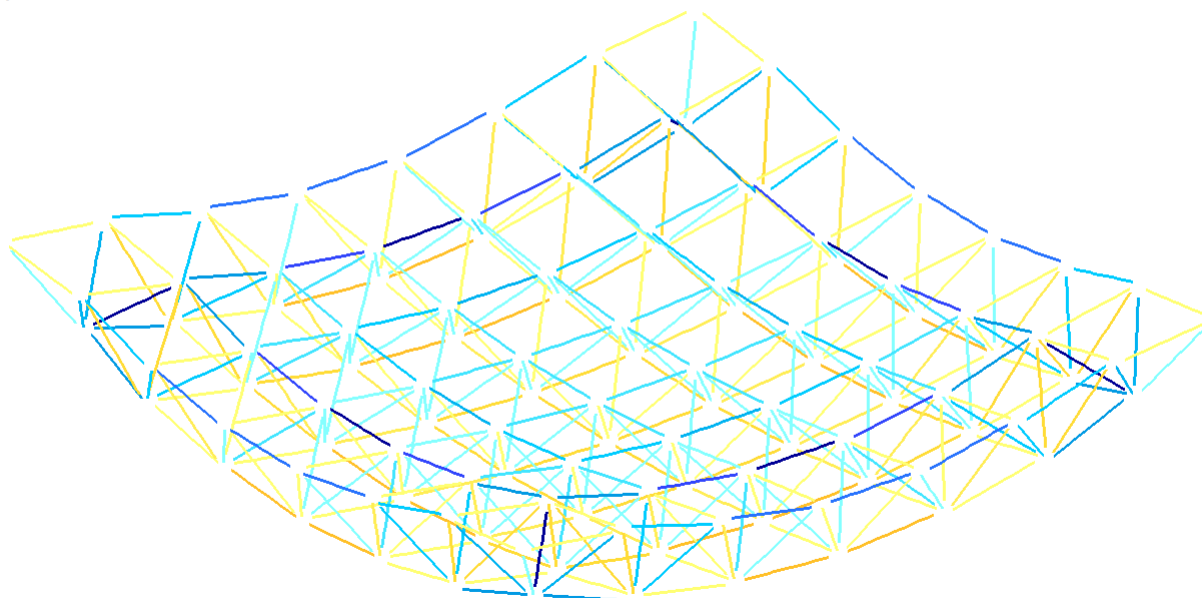


Рис. 2.2.12 – Расчётная схема вариант №4



z

Рис. 2.2.13 – Мозаика усилий N в стержнях.

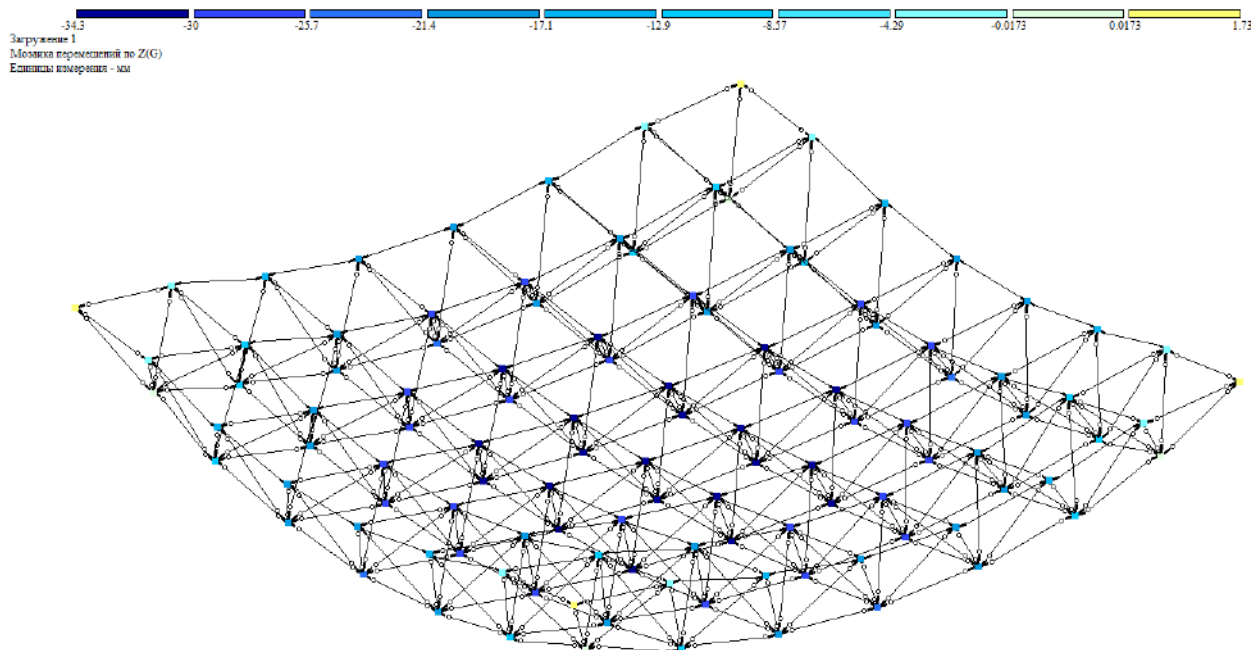


Рис. 2.2.14 – Мозаика перемещений по оси Z.

Вывод: Данный вариант удовлетворяет требованиям к конструкции в общем, но имеется возможность увеличить покрываемую площадь, уменьшить вертикальные перемещения узлов и усилия в стержнях путем опирания конструкции структуры на колонны с капителями.

Вариант №5: Структура с площадью покрытия 16x16 м, размерами в плане по нижнему поясу 14x14 м, расстояние между колоннами 12 м. Длина всех стержней 2 м, сечение 100x100 мм. Узловые элементы замоделированы жёсткими вставками на концах стержней с учетом податливости. Закрепление шарнирное в узле примыкания капители к колонне.

Уточним значения нагрузок:

Сосредоточенная снеговая нагрузка для различных типов узлов верхнего пояса структуры, рассчитанная по формулам (2.2.1 – 2.2.2) для сетки размерами 2x2 м, составляет:

- 140 кг для угловых узлов;
- 280 кг для крайних узлов, кроме угловых;
- 560 кг для остальных.

В каждом узле структуры, для сетки 2x2 м, на боковой грани ветровая нагрузка будет собираться с площади $2 \cdot 0.707 \text{ м} = 1.414 \text{ м}^2$ для средних узлов, $0.5 \cdot 1.414 = 0.707 \text{ м}^2$ для крайнего верхнего узла, $0.625 \cdot 1.414 = 0.884 \text{ м}^2$ для крайнего нижнего узла. Окончательные значения нагрузки на узлы приведены на рисунках (Рис.2.2.16 – 2.2.17).

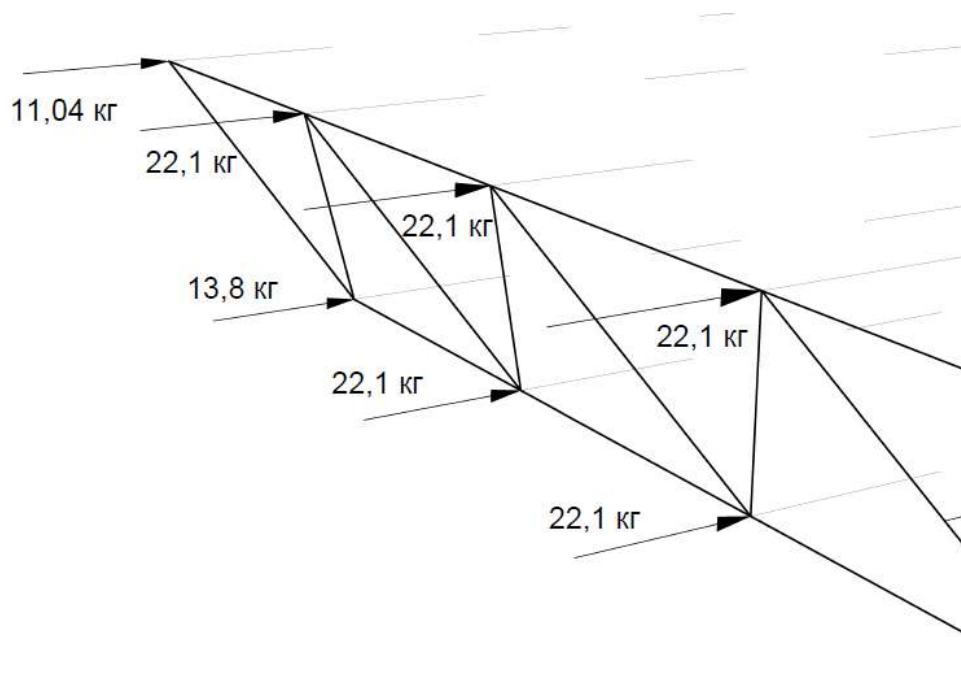


Рис. 2.2.16 – Значение сосредоточенной в узел ветровой нагрузки (напор).

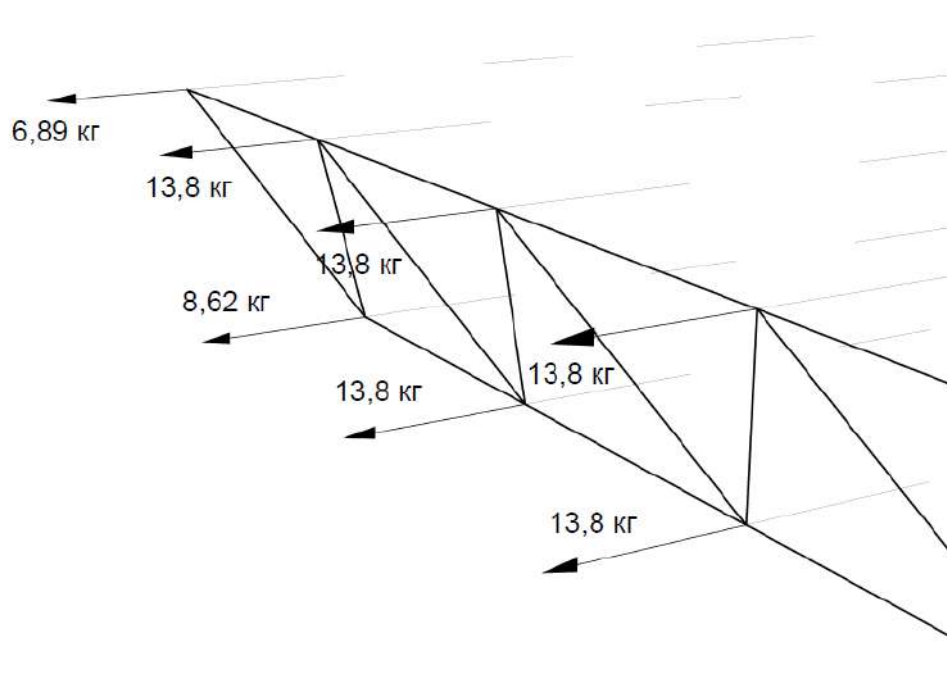


Рис. 2.2.17 – Значение сосредоточенной в узел ветровой нагрузки (отсос).

					257.08.04.01.2017.140. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.		50

Окончательный вариант расчетной схемы представлен на рис. 2.2.18–2.2.20.

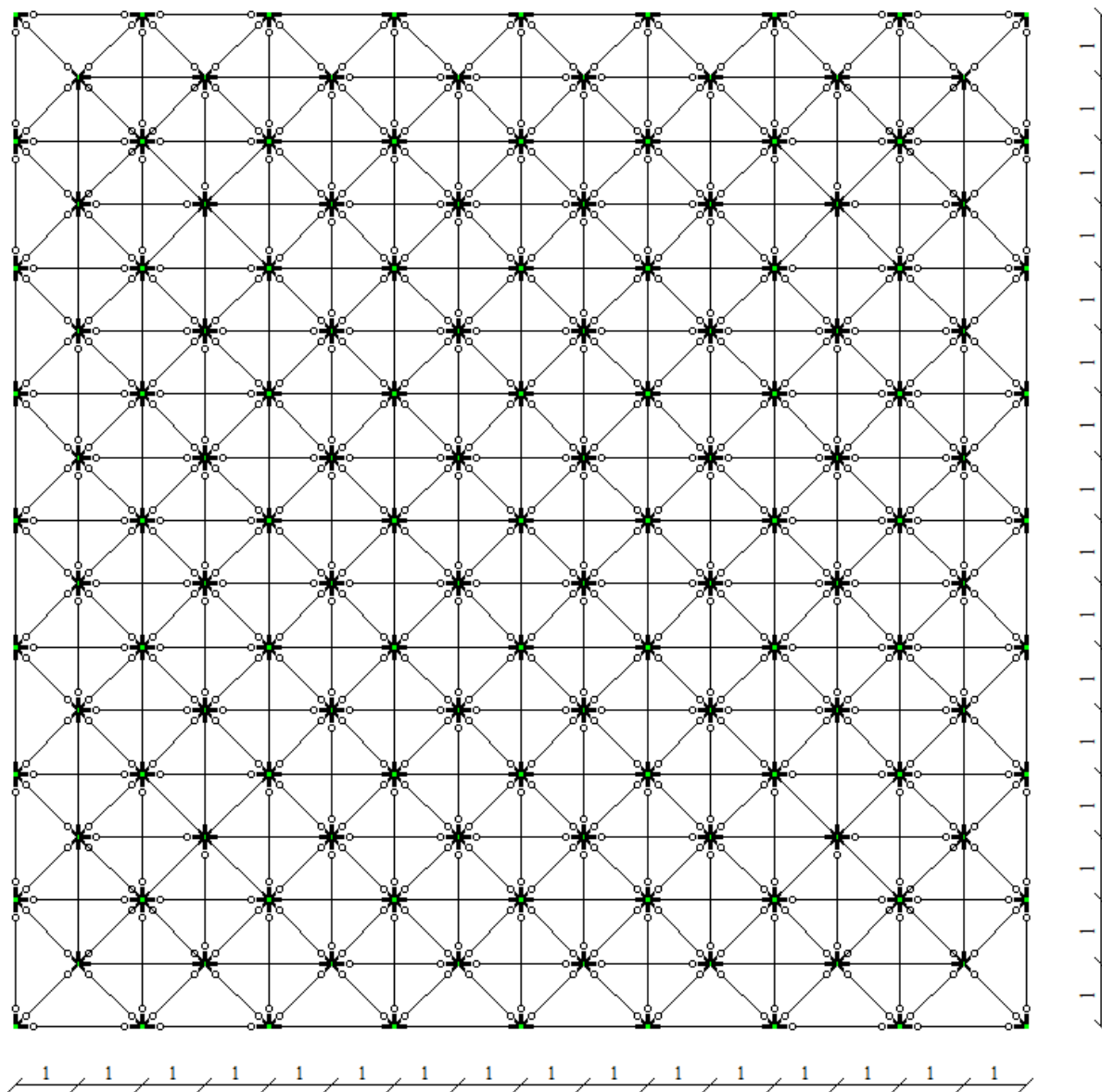


Рис. 2.2.18 – Проекция ХоУ расчетной схемы вариант №5.

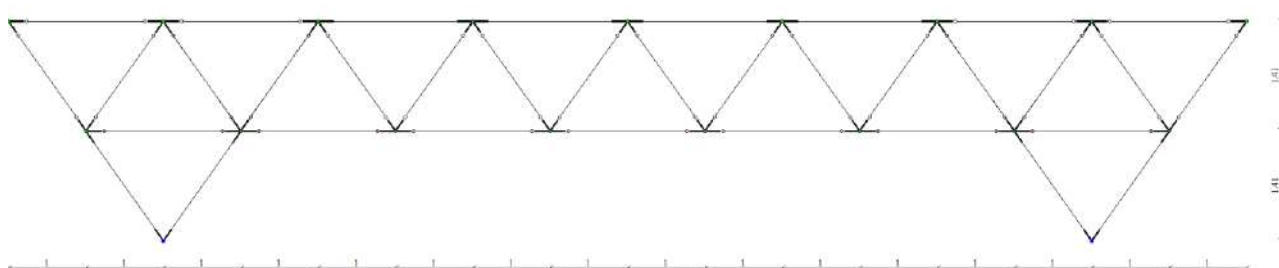


Рис. 2.2.19 – Проекция ХоZ расчетной схемы варианта №5.

Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.

257.08.04.01.2017.140. ВКР

Лист

51

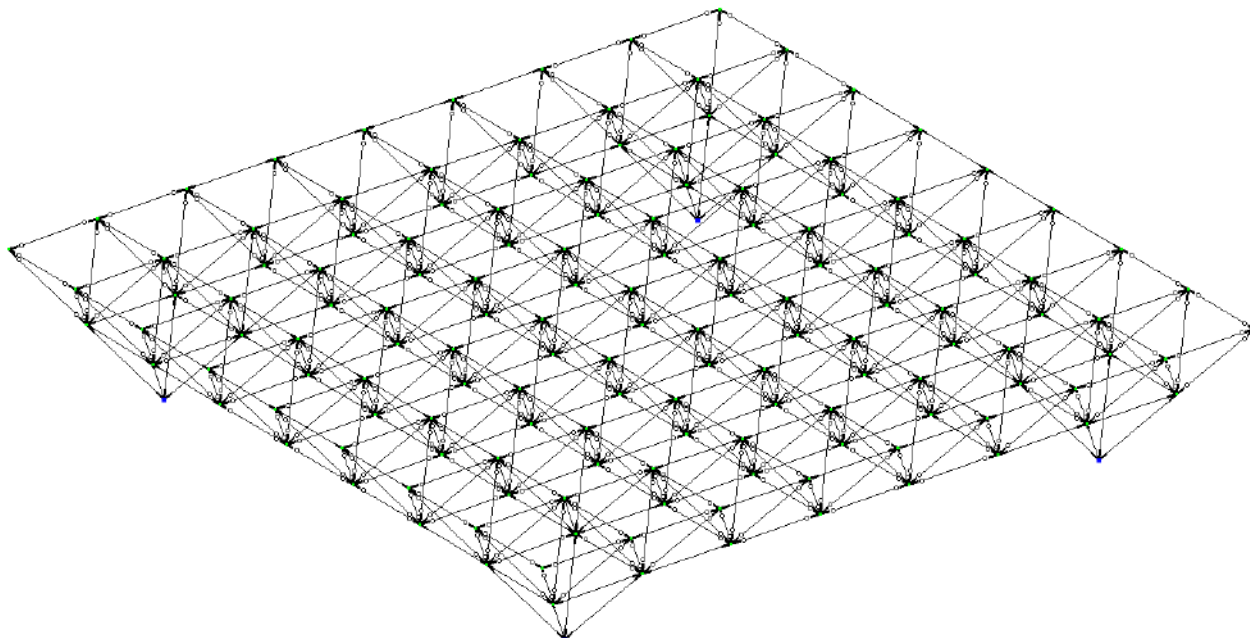


Рис. 2.2.20 – Аксонометрия расчётной схемы варианта №5.

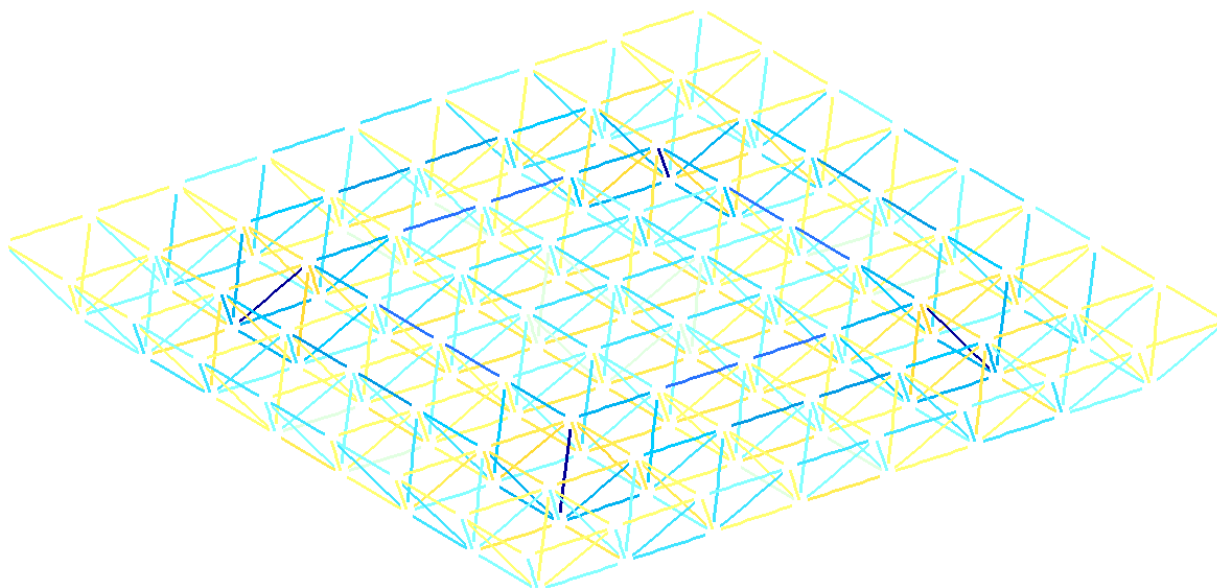


Рис. 2.2.21 – Мозаика усилий N в стержнях.

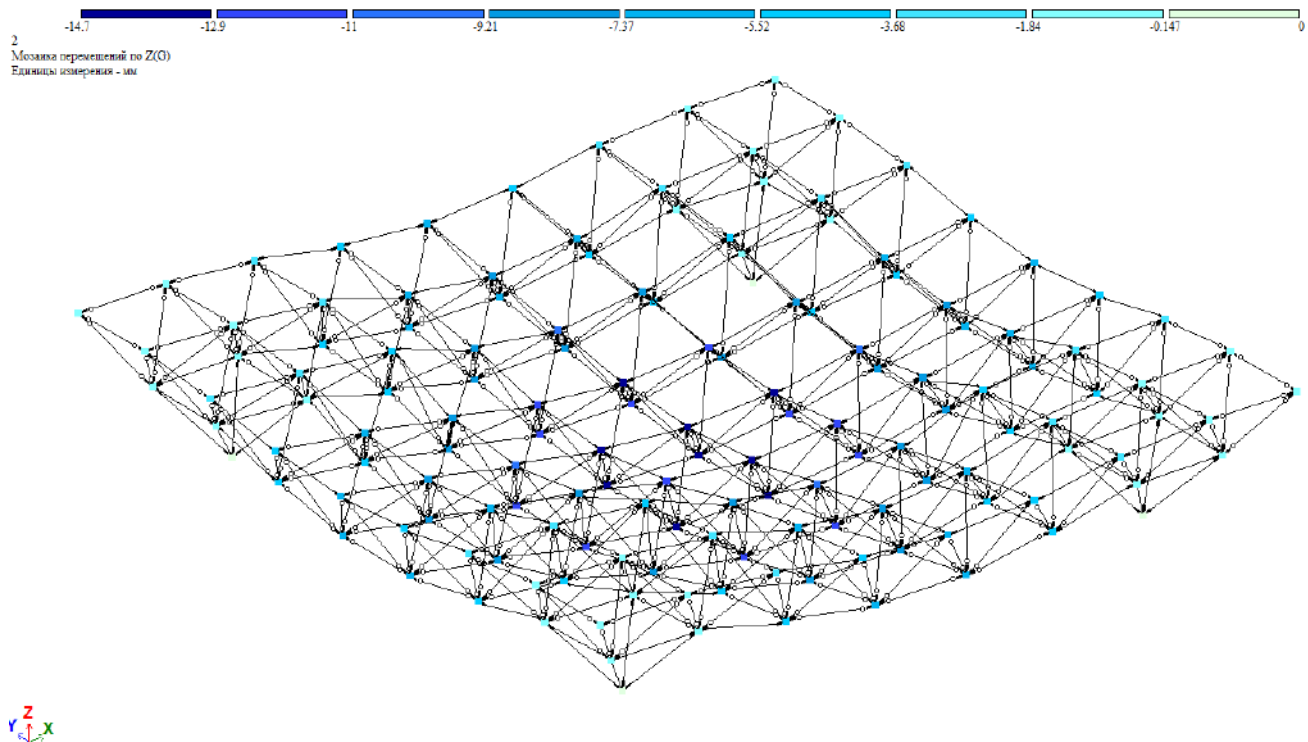


Рис. 2.2.22 – Мозаика перемещений по оси Z.

Вывод: Опираие структурной плиты на колонны при помощи капителей положительно сказывается на работе конструкции, так как полученные значения вертикальных перемещений узлов уменьшились более чем в 2 раза по сравнению с вариантом шарнирного опирания на углы. Перемещения центрального узла составили 14,7 мм, что соответствует требованиям, изложенным в Приложении Е СП 20.13330.2011 [3]. Картина усилий в стержнях соответствует ожиданиям: максимальные сжимающие усилия составили 5,91 т, растягивающие – 1,68 т. Такое соотношение максимальных усилий разных знаков весьма благоприятно, потому что позволяет выполнить типовой узел сопряжения стержней для всей конструкции структурной плиты. Растягивающие усилия данных значений могут быть восприняты только болтами, в то время как сжимающие усилия могут передаваться на узловый элемент посредством упоров.

Таким образом, результатом поиска оптимальных геометрических параметров и схемы опирания, отвечающим представленным ранее требованиям стал Вариант №5. Полученные данные и сделанные выводы могут быть использованы для дальнейшего конструирования и анализа.

					257.08.04.01.2017.140. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.		53

3 РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ И КОНСТРУИРОВАНИЕ УЗЛОВ ПОКРЫТИЯ СТРУКТУРНОГО ТИПА

3.1 Конструирование и расчёт узловых соединений

Исходя из требований максимальной унификации узловых соединений и стержневых элементов выделим наиболее нагруженный узел (Рис.3.1.1). Дальнейшее конструирование и расчёт будет производиться для данного узла. Полученный в итоге вид узлового элемента путем являться типовым для всей конструкции

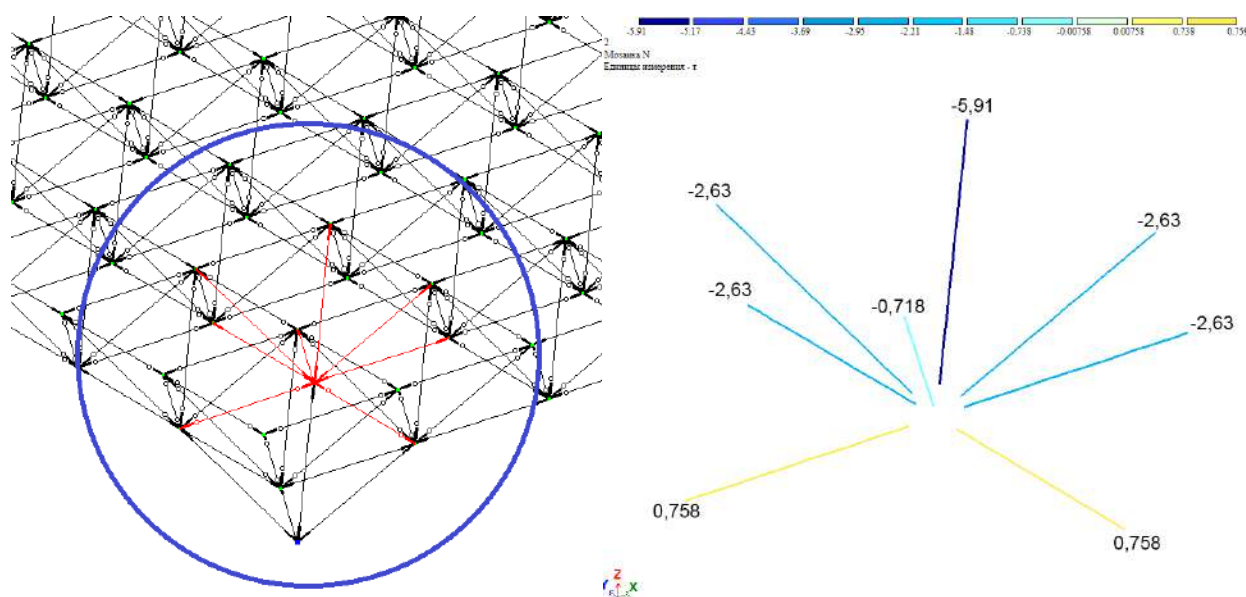


Рис. 3.1.1 – Усилия в наиболее нагруженном узле.

Для начала проверим центрально-сжатые и центрально-растянутые элементы по предельным состояниям первой группы.

Расчет центрально-сжатых элементов постоянного цельного сечения согласно СП 64.13330.2011 [1] следует производить по формулам:

1) На прочность

$$N / F_{нт} \leq R_c, \quad (3.1.1)$$

где N – расчетная продольная сила;

R_c – расчетное сопротивление древесины сжатию вдоль волокон;

$F_{нт}$ – площадь нетто поперечного сечения элемента.

Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.

$$5,91 / (0,1 \cdot 0,1) = 591 \text{ т/м}^2 < 1300 \text{ т/м}^2$$

2) На устойчивость

$$N / (\varphi \cdot F_{\text{рас}}) \leq R_c, \quad (3.1.2)$$

где $F_{\text{рас}}$ – расчетная площадь поперечного сечения;

φ – коэффициент продольного изгиба, определяемы согласно формулам п. 6.3 СП 64.13330.2011 [1] и равный для нашего случае 0,9.

$$5,91 / (0,9 \cdot 0,01) = 657 \text{ т/м}^2 \leq 1300 \text{ т/м}^2$$

Сечение самого сжатого элемента использовано на 45,5% по условию прочности и 50,5% по условию устойчивости.

Расчет центрально-растянутых элементов согласно СП 64.13330.2011 [1] следует производить по формуле:

$$N / F_{\text{нт}} \leq R_p, \quad (3.1.3)$$

где N – расчетная продольная сила;

R_p – расчетное сопротивление древесины растяжению вдоль волокон;

$F_{\text{нт}}$ – площадь нетто поперечного сечения элемента.

$$1,68 / (0,1 \cdot 0,1) = 168 \text{ т/м}^2 \leq 700 \text{ т/м}^2$$

Сечение самого растянутого элемента использовано на 24% по условию прочности.

Несущая способность стержневых элементов обеспечивается с двукратным запасом при этом основной проблемой является проблема размещения большого количества болтов по высоте бруса необходимых для передачи усилий, возникающих в стержневых элементах.

Согласно общим указания п.8.11 СП 64.13330.2011 [1] принимаем минимально допустимый диаметр болтов равный 12 мм.

					257.08.04.01.2017.140. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.		55

Для уменьшения массы узловой детали вместо П-образного зацебления в узле (Рис. 2.1.2) целесообразно использовать пропилы в бруске (Рис. 3.1.2 – 3.1.3).

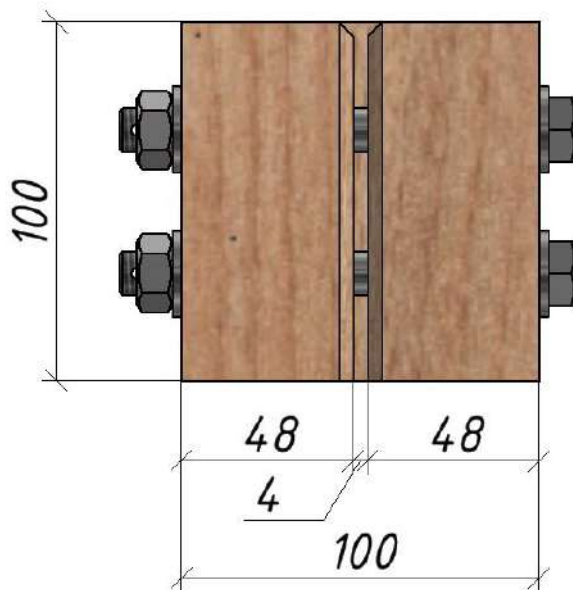


Рис. 3.1.2 – Крепление стержней нижних и верхних поясов к стальной пластине узла, торец (пластина не показана).

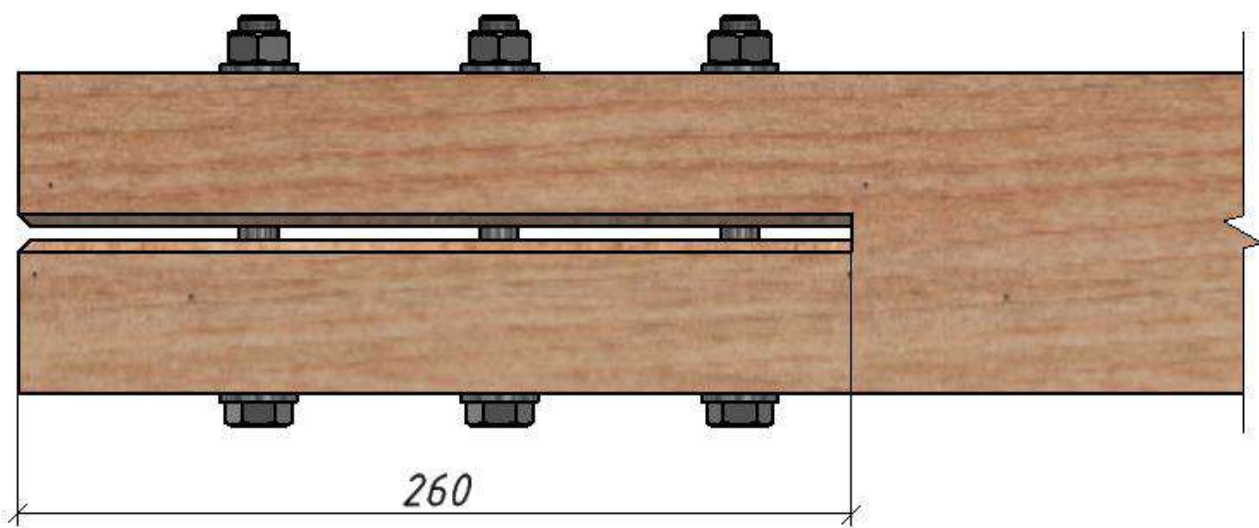


Рис. 3.1.3 – Крепление стержней нижних и верхних поясов к стальной пластине узла, вид сверху (пластина не показана).

Определим расчетную несущую способность T цилиндрического стального нагеля на один шов сплачивания (условный срез) согласно табл. 20 СП 64.13330.2011 [1]. Для симметричного соединения при смятии крайних элементов:

					257.08.04.01.2017.140. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.		56

$$T = 0,8 \cdot a \cdot d = 0,8 \cdot 4,8 \cdot 1,2 = 4,6 \text{ кН} \quad (3.1.4)$$

Изгиб стального нагеля:

$$T = 1,8 \cdot d^2 + 0,02 \cdot a^2 = 1,8 \cdot 1,2^2 + 0,02 \cdot 4,8^2 = 3,05 \text{ кН}, \quad (3.1.5)$$

где a – толщина крайних элементов, см;

d – диаметр нагеля, см.

Число нагелей n_n , воспринимающих максимально растягивающее усилие, в соединении следует определять по формуле:

$$n_n = N / T \cdot n_{ш} = 1,68 / 0,305 \cdot 2 = 3 \geq 2, \quad (3.1.6)$$

где N – расчетное усилие;

T – наименьшая расчетная несущая способность, найденная по формулам (3.1.5 – 3.1.6);

$n_{ш}$ – число расчетных швов одного нагеля.

Согласно п.7.18 [1] расстояние между осями цилиндрических нагелей вдоль волокон древесины S_1 , поперек волокон S_2 и от кромки элемента S_3 при толщине пакета b меньше $10d$ (Рис. 3.1.4) следует принимать для стальных нагелей не менее:

$$S_1 = 6d ; S_2 = 3d ; S_3 = 2,5d; \quad (3.1.7)$$

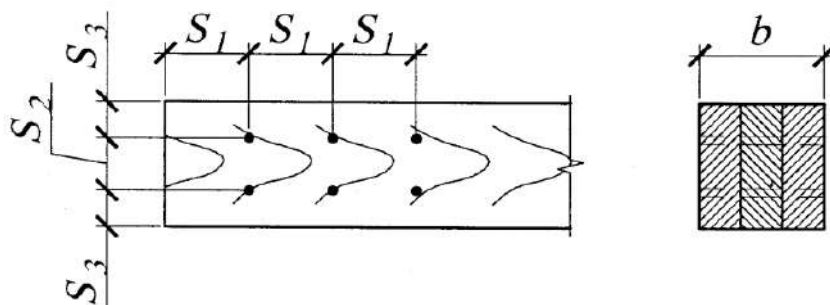


Рис. 3.1.4 – Прямая расстановка нагелей.

Не стоит забывать о требовании п.7.19 [1], согласно которому нагели в растянутых стыках следует располагать в два или четыре продольных ряда.

С учётом единственного возможного расположения болтов по высоте бруса принимаем количество равным 6. Несущая способность соединения с таким количеством болтов, равная 3,66 т, будет обеспечена с двукратным запасом – максимальное растягивающее усилие 1,68 т. Однако, для восприятия максимального сжимающего усилия, возникающего в приопорном стержне необходимо предусмотреть дополнительные конструктивные решения. Примером такого решения является передача нагрузки на опорный узел посредством упора.

Рассчитаем брус из условия смятия без учета работы болтов по формуле 3.1.8:

$$N / F \leq R_{см \alpha}, \quad (3.1.8)$$

где N – расчетная продольная сила;

$R_{см \alpha}$ – расчетное сопротивление древесины смятию под углом α к направлению волокон определяется по формуле 3.1.9;

F – площадь смятия.

$$R_{см \alpha} = \frac{R_{см}}{1 + \left(\frac{R_{см}}{R_{см90}} - 1 \right) \sin^3 \alpha} \quad (3.1.9)$$

где $R_{см}$ – расчетное сопротивление смятию вдоль волокон, равное для второго сорта древесины 13 МПа;

$R_{см90}$ – смятие по всей площади поперек волокон, равное для второго сорта древесины 1,8 МПа.

Подставим значения в формулы 3.1.8 – 3.1.9:

$$5,91 / 0,0135 = 437 \text{ т/м}^2 \geq 406 \text{ т/м}^2,$$

Анализируя результаты, полученные в формулах 3.1.4 – 3.1.9 можно сделать вывод об обеспечении несущей способности соединения.

					257.08.04.01.2017.140. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.		58

Учитывая вышеперечисленные требования, необходимость упоров и требования унификации пришли к трём типовым стержневым элементам сечением 100x100 мм:

1) Горизонтальные элементы верхних и нижних поясов, $l = 1900$ мм.

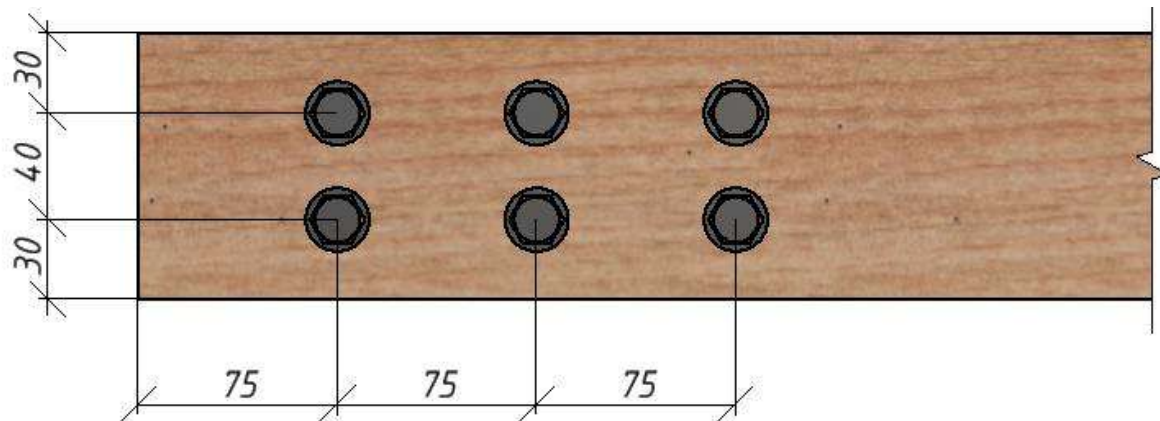


Рис. 3.1.5 – Общий вид стержней нижних и верхних поясов.

2) Раскосы тип №1, $l = 2000$ мм.

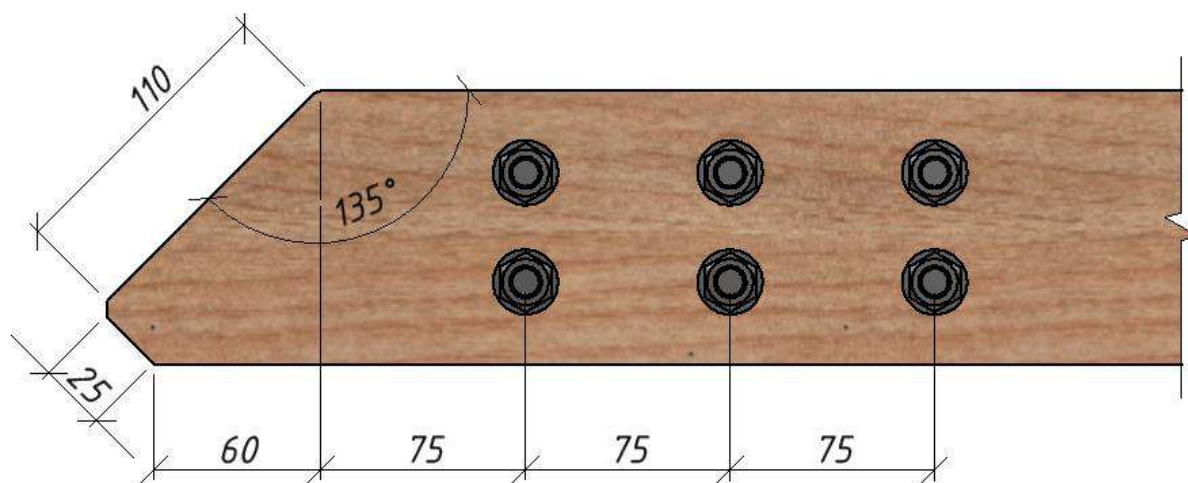


Рис. 3.1.6 – Общий вид стержней раскосов, тип №1.

3) Раскосы тип №2, $l = 1900$ мм.

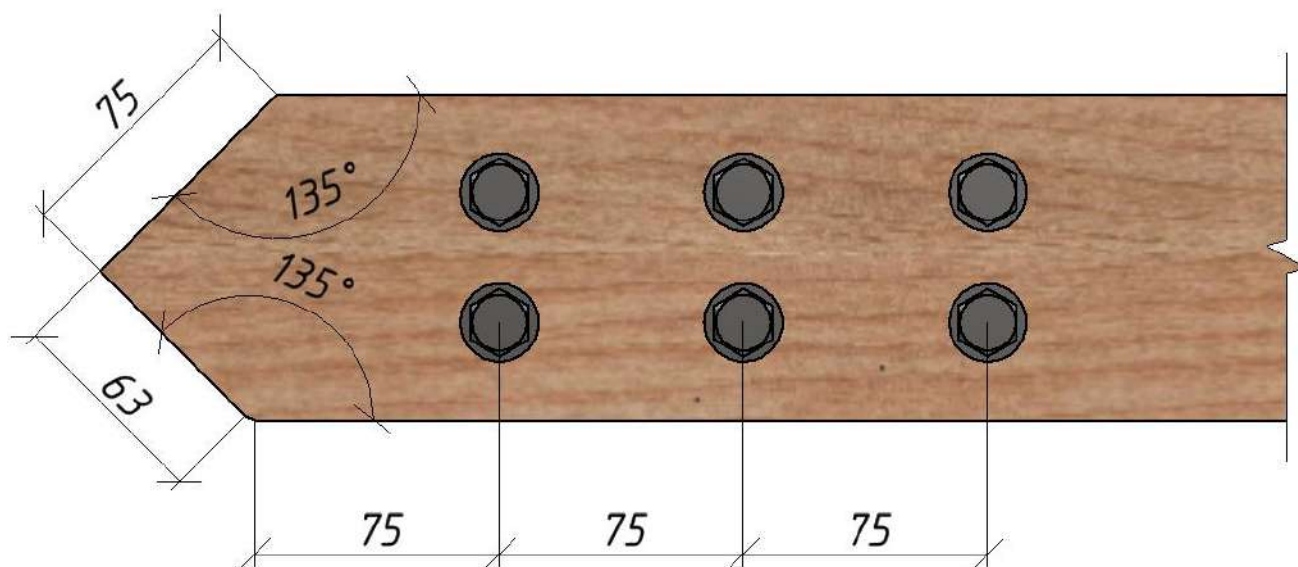


Рис. 3.1.7 – Общий вид стержней раскосов, тип №2.

Стоит заметить, что раскосы тип №1, №2 (Рис. 3.1.6 – 3.1.7) имеют сложную геометрию из-за необходимости организовывать стык в упор. Такие раскосы будут располагаться в узлах со значительной нагрузкой, например, где структурная плита опирается на колонны при помощи капителей. При этом остальные раскосы будут соответствовать элементу, представленному на рис. 3.1.5.

В виду запаса несущей способности соединения, для элементов с меньшими усилиями существует возможность уменьшения количества болтов (но не менее 3) с расстановкой в шахматном порядке.

Таким образом, отталкиваясь от предпосылок выбора вида узлового соединения (принятых в п. 2.1) и проведенных расчётов, в конечном итоге пришли к конструкции узла, отличающейся от эскизного варианта.

Узловая деталь выполнена из листовой стали 09Г2С, толщина листа – 4 мм. Отверстия под болты выполняются предварительно.

Рассмотрим наиболее нагруженный стержень и для него рассчитаем сварное соединение.

Вид сварки – механизированная (соединение тавровое с двусторонними угловыми швами). Согласно табл. Г.1 [2] сталь С345 следует варить в углекислом

					257.08.04.01.2017.140. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.		60

газе (по ГОСТ 8050) или в его смеси с аргоном (по ГОСТ 10157) сварочной проволокой для автоматической и механизированной сварки (по ГОСТ 2246) марки Св-08Г2С. Сварное соединение ТЗ по ГОСТ 14771-76*.

Зададимся катетом сварного шва $k_f = 4$ мм.

Расчетная длина сварного шва рассчитывается по формуле 3.1.10:

$$l_w = l - 2t, \quad (3.1.10)$$

где l – длина сварного шва;

t – толщина наименьшей из свариваемых деталей.

$$l_w = 2 \cdot (113 - 2 \cdot 4) = 210 \text{ мм}$$

Предельное усилие на сварной угловой шов конструкции, возводимой в районе с расчетной температурой $t \geq -40^\circ\text{C}$ принимаем согласно таблице VI.11 справочника конструктора стальных конструкций Будура А.И. [18]

Предельное усилие на 1 пог. см шва при катете шва 4 мм для полуавтоматической сварки равняется 7,8 кН. Следовательно, общая несущая способность шва равна:

$$N_w = 21 \cdot 7,8 = 163,8 \text{ кН,}$$

что обеспечивает несущую способность сварного соединения элементов узловой детали с большим запасом.

Узловая деталь включает 5 типов свариваемых элементов.

					257.08.04.01.2017.140. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.		61

Типы элементов узловой детали:

1) Центральный элемент. Квадратная пластина 320x320 мм с загнутыми под 45° углами. Размеры квадрата в основании 226x226 мм.



Рис. 3.1.8 – Центральный элемент узла.

2) Ребро раскосов основное.

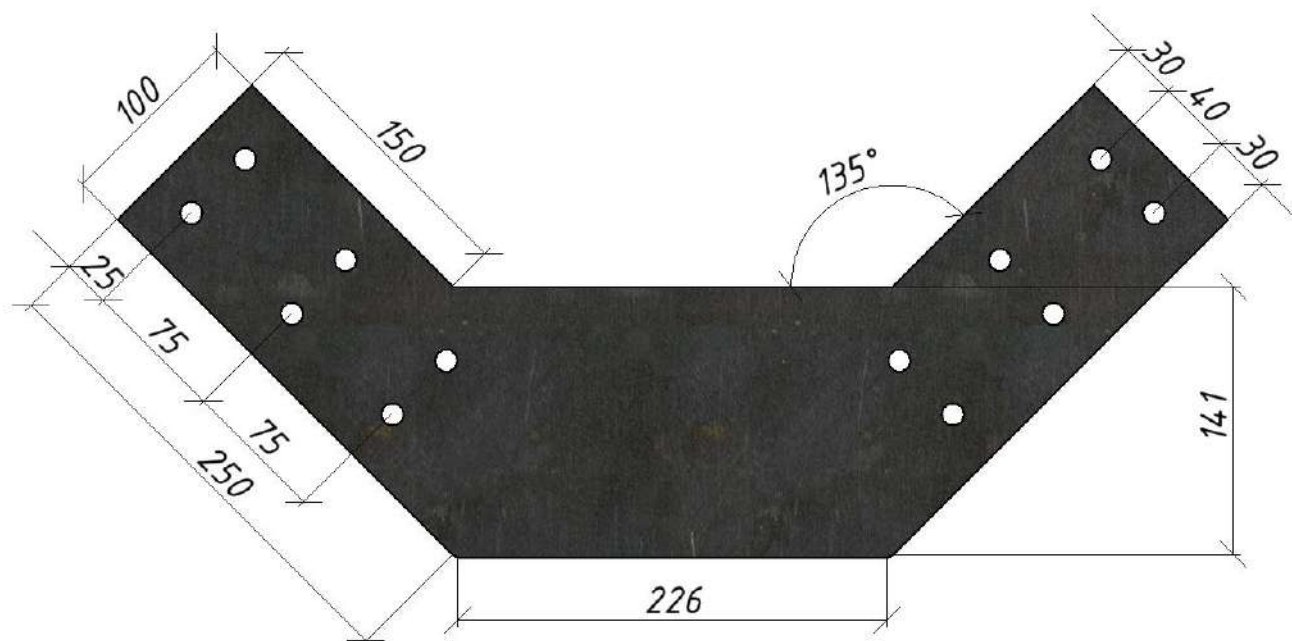


Рис. 3.1.9 – Ребро раскосов основное.

Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.

257.08.04.01.2017.140. ВКР

Лист

62

3) Ребро раскосов дополнительные.

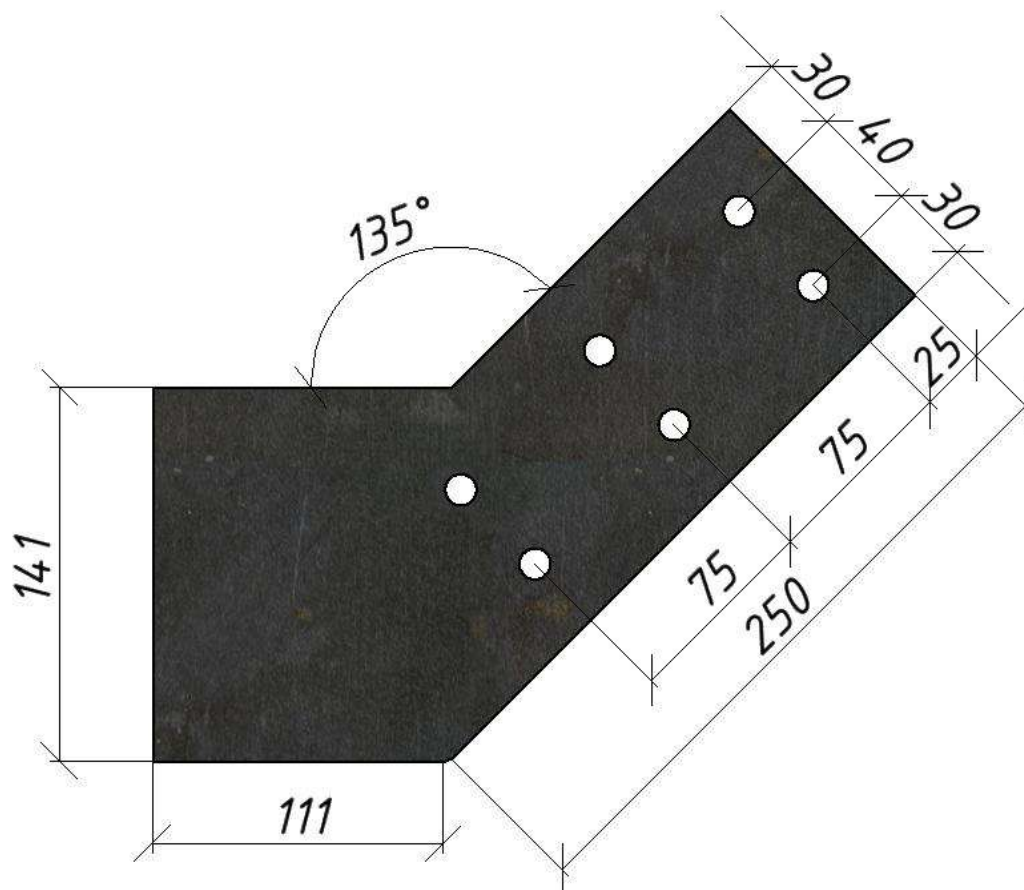


Рис. 3.1.10 – Ребро раскосов дополнительное.

4) Труба квадратная профильная 100x100 мм, $l = 150$ мм.

5) Ребро стержней нижних и верхних поясов.

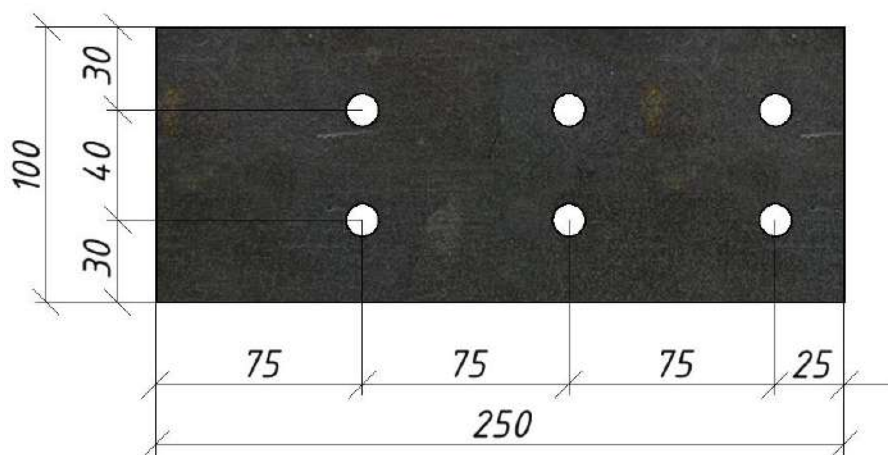


Рис. 3.1.11 – Ребро стержней нижних и верхних поясов.

Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.

257.08.04.01.2017.140. ВКР

Лист

63

Общая масса узловой детали складывается из масс отдельных элементов и равна всего 11,45 кг, что является преимуществом на стадии сборки и монтажа.

Опираие узловых деталей структурной плиты на капители представляется возможным используя существующие типовые решения, например, узел опирания капители на колонну по серии 1.466-2. Пространственные решетчатые конструкции из труб типа «Кисловодск» [20].

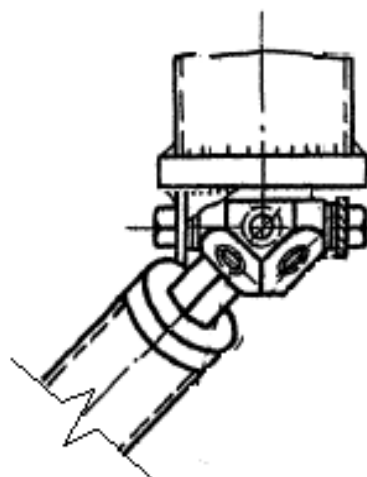


Рис. 3.1.12 – Эскиз узла опирания структурной плиты на капитель.

Общий вид узловой детали и узлового соединения представлен на рисунках ниже.

					257.08.04.01.2017.140. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.		64

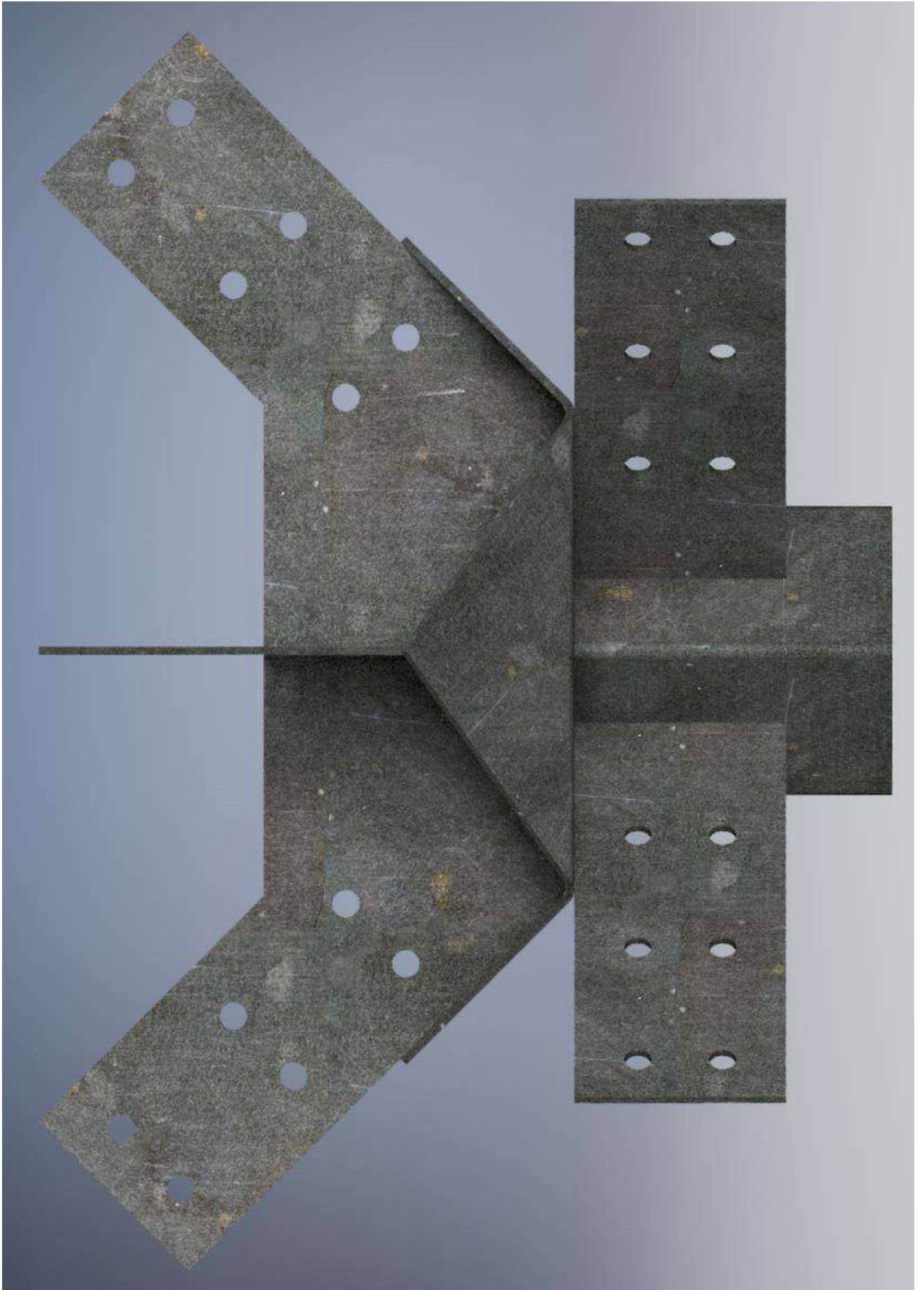


Рис. 3.1.13 – Узловая деталь, вид сбоку (повёрнута).

					257.08.04.01.2017.140. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.		65

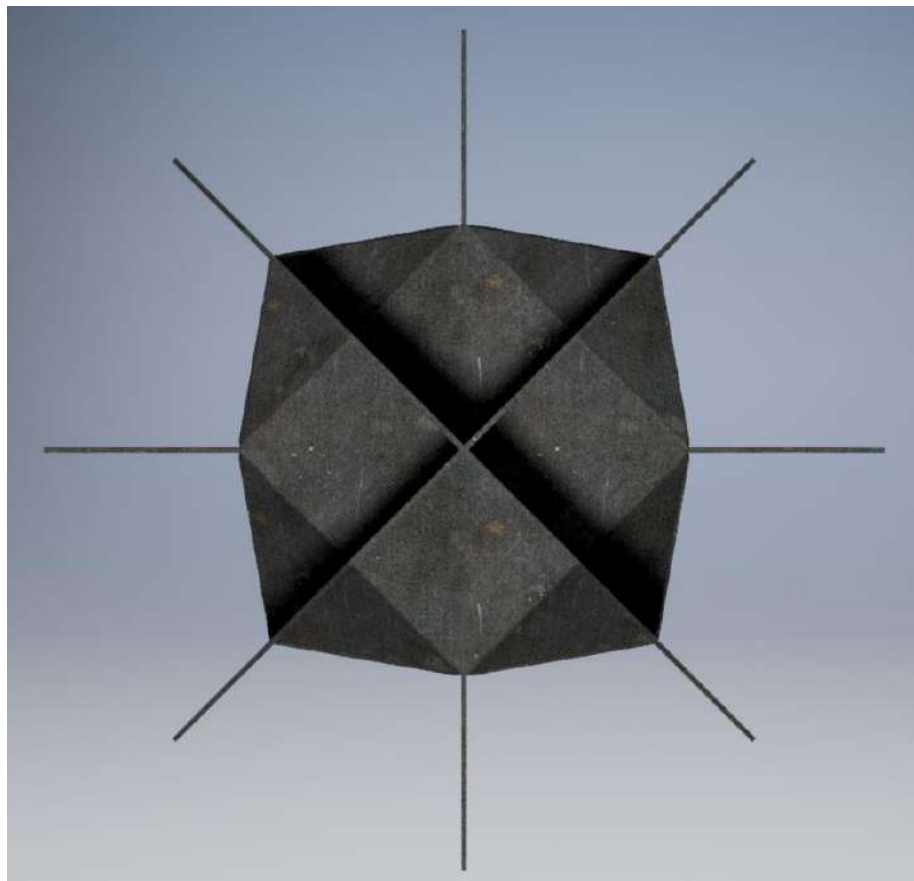


Рис. 3.1.14 – Узловая деталь, вид сверху.

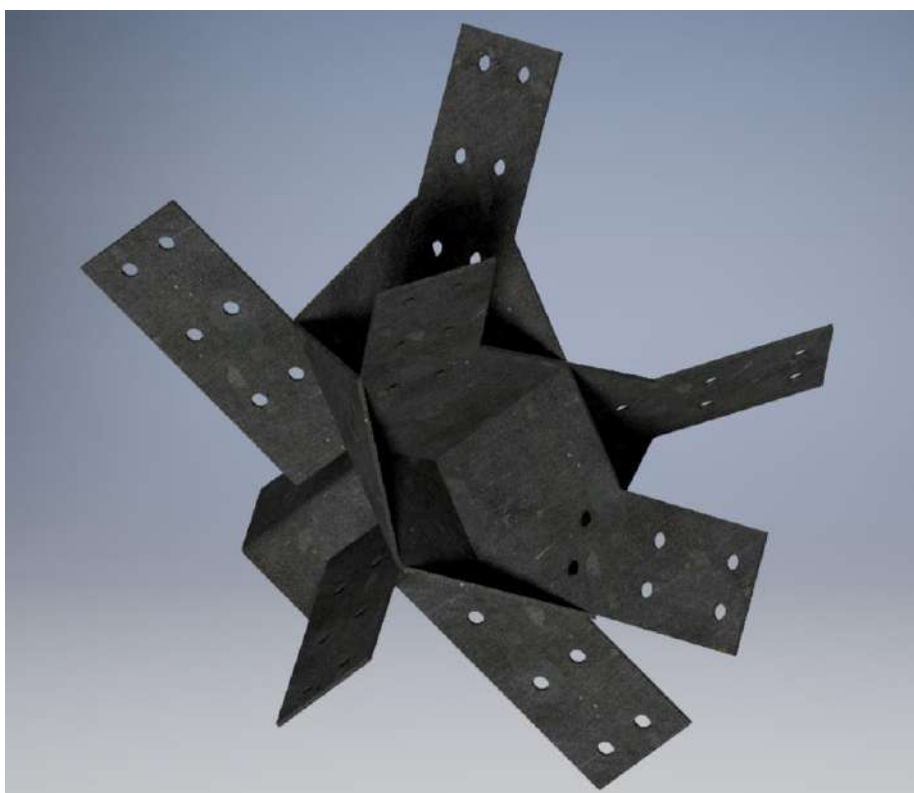


Рис. 3.1.15 – Узловая деталь.

					257.08.04.01.2017.140. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.		66

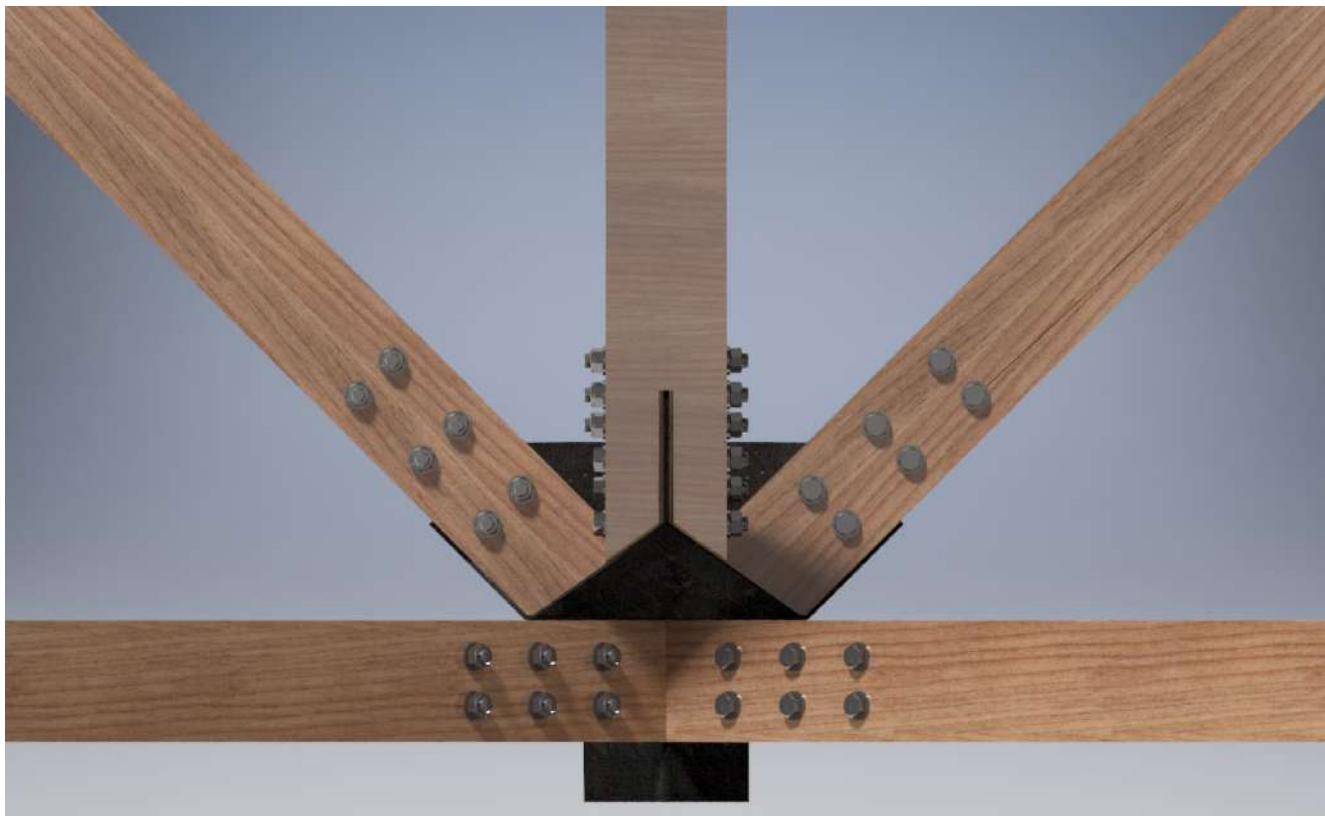


Рис. 3.1.16 – Узел элементарной объёмной единицы, вид сбоку.

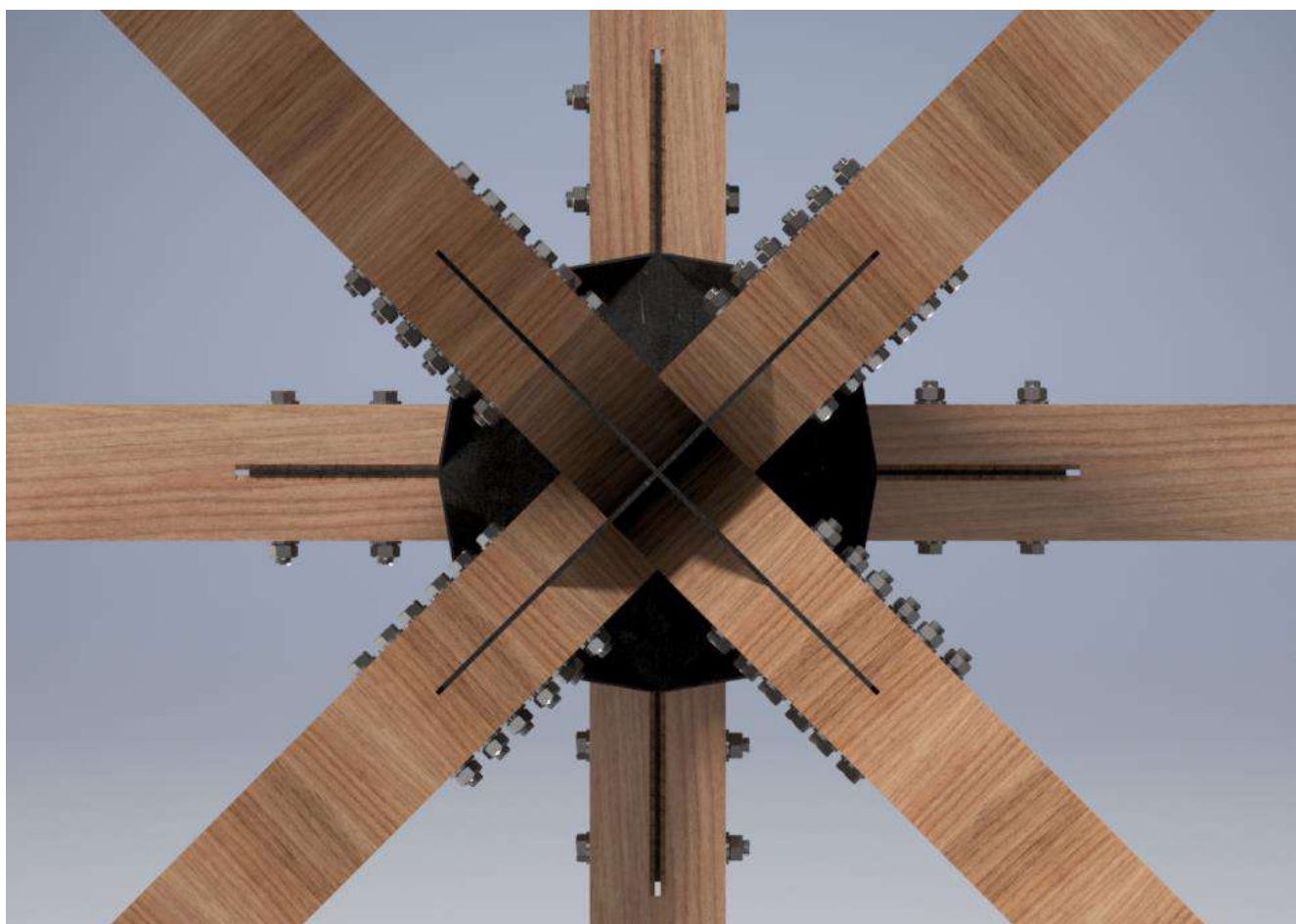


Рис. 3.1.17 – Узел элементарной объёмной единицы, вид сверху.

					257.08.04.01.2017.140. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.		67

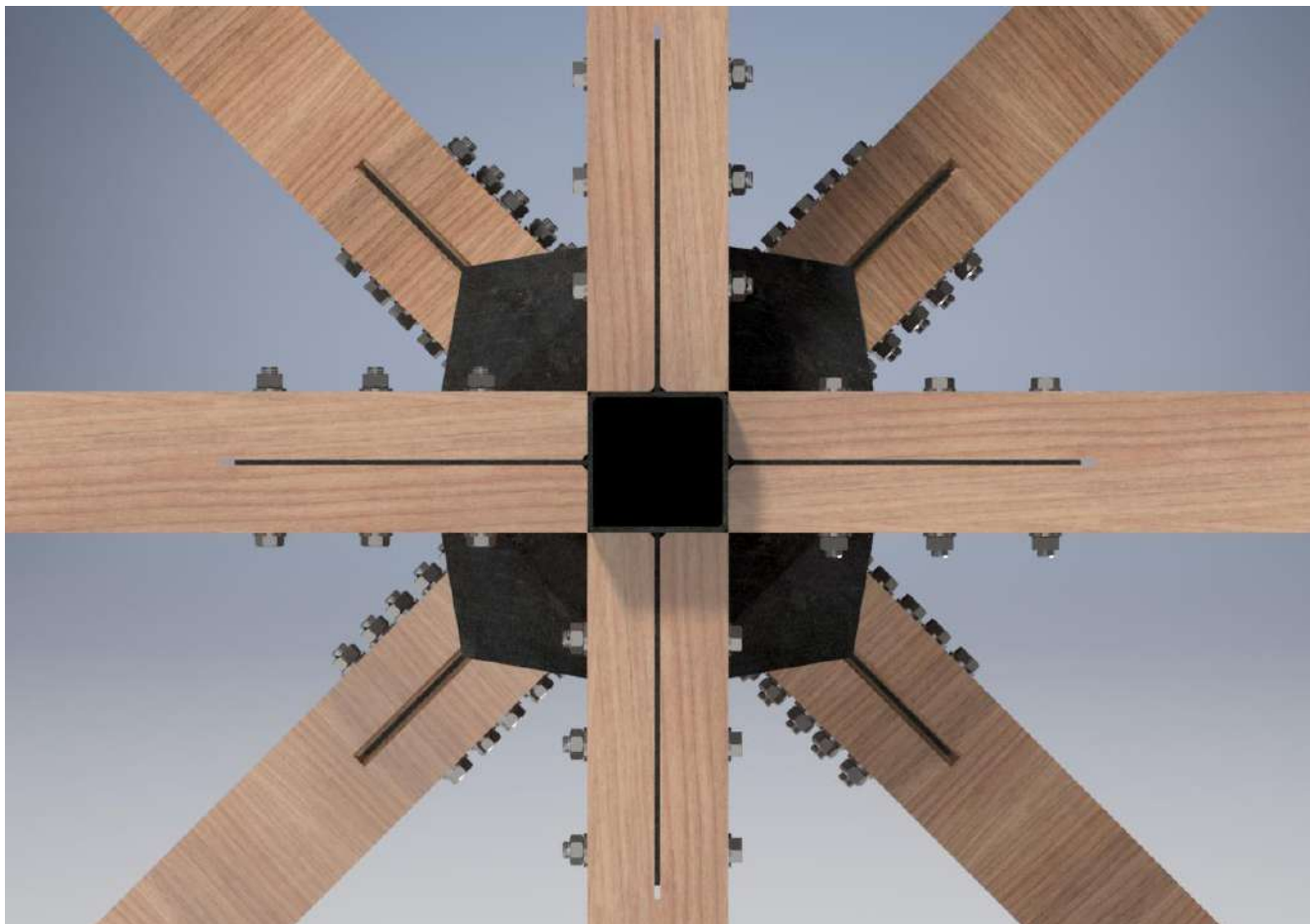


Рис. 3.1.18 – Узел элементарной объёмной единицы, вид снизу.

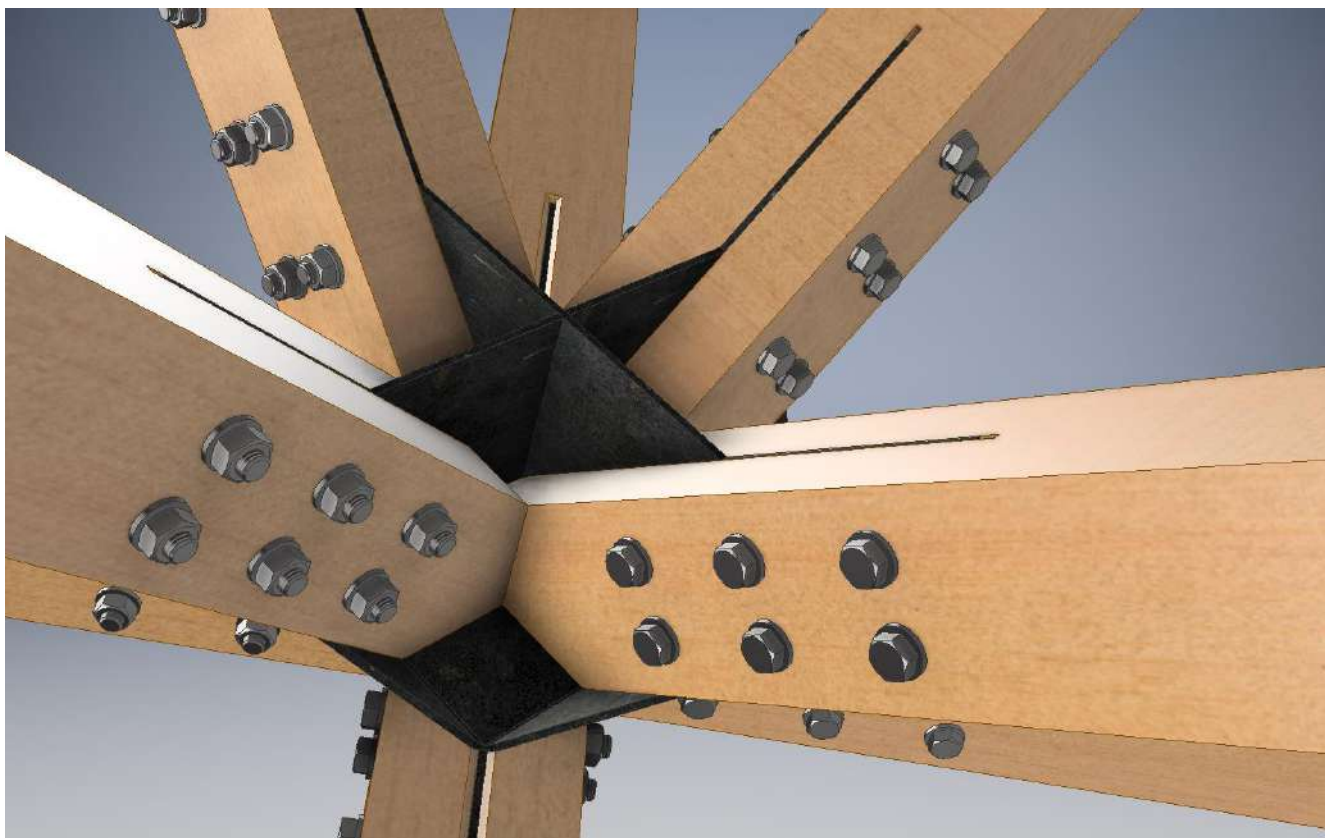


Рис. 3.1.19 – Узел элементарной объёмной единицы.

					257.08.04.01.2017.140. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.		68

3.2 Анализ напряженно-деформированного состояния узлового элемента

В виду сложного напряженно-деформированного состояния узлового элемента целесообразно воспользоваться методом конечных элементов для оценки использования несущей способности материалов и жесткостной характеристики детали.

Проанализируем наиболее нагруженный узел (Рис. 3.2.1).

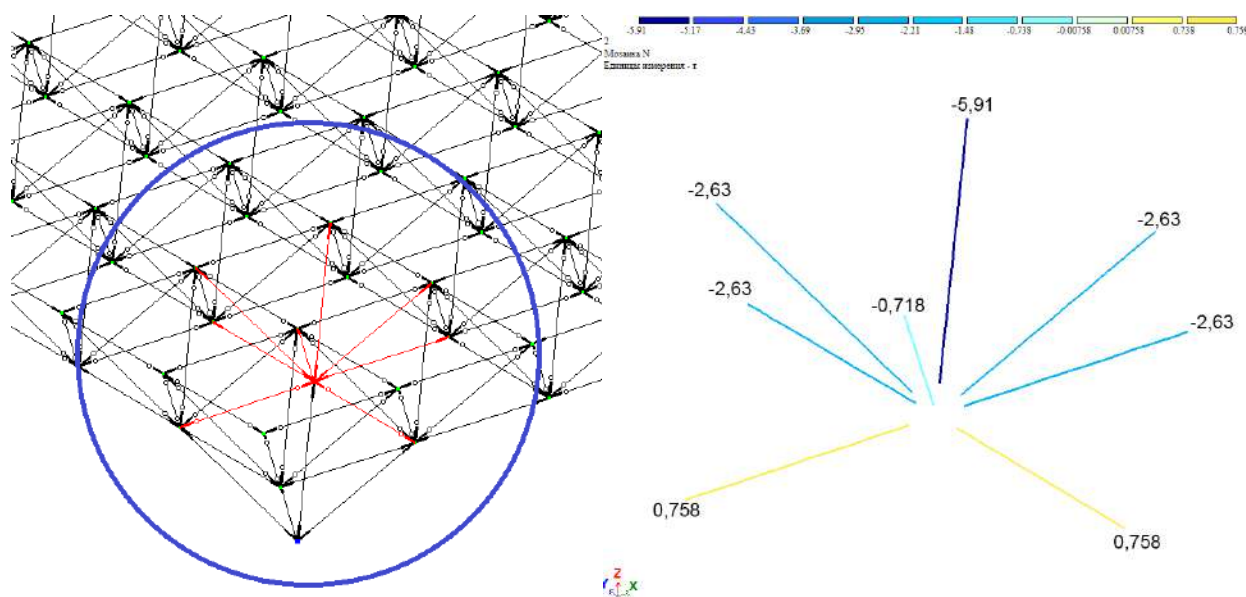


Рис. 3.2.1 – Усилия в наиболее нагруженном узле.

Моделирование узла производилось в программе Autodesk Inventor Professional 2017. Размеры и материалы элементов приняты по результатам конструирования, выполненных ранее. Inventor позволяет использовать реальные характеристики материалов, за счёт загружаемых библиотек, учитывать методы изготовления отдельных элементов и способы их соединения. Дополнительно устанавливаемый плагин Autodesk Nastran In-CAD предоставляет инструменты для анализа работы болтового соединения.

Целью расчёта методом конечных элементов была количественная оценка напряженно деформированного состояния узловой детали в общем при учёте передачи усилий от деревянного бруса через болты. Деревянные и металлические

элементы разбиты сеткой конечных элементов стандартными инструментами Nastran, болтовые элементы замоделированы абсолютно жёсткими телами с реальной геометрией.

На представленных ниже изображениях представлено разбиение трёхмерной модели сеткой КЭ и поля эквивалентных напряжений по Мизесу.

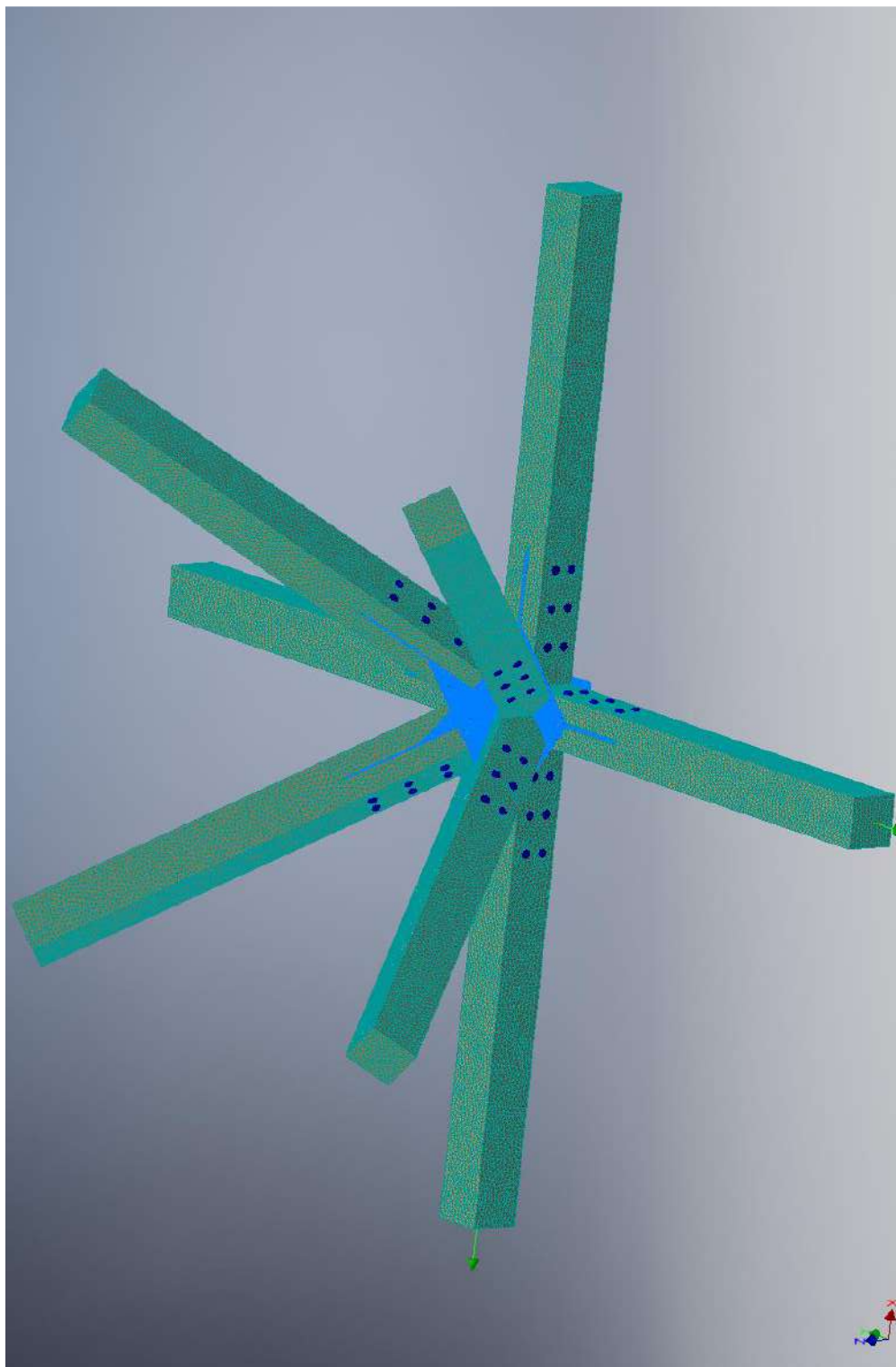


Рис. 3.2.2 – Общий вид рассматриваемого узла (повёрнуто).

					257.08.04.01.2017.140. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.		70

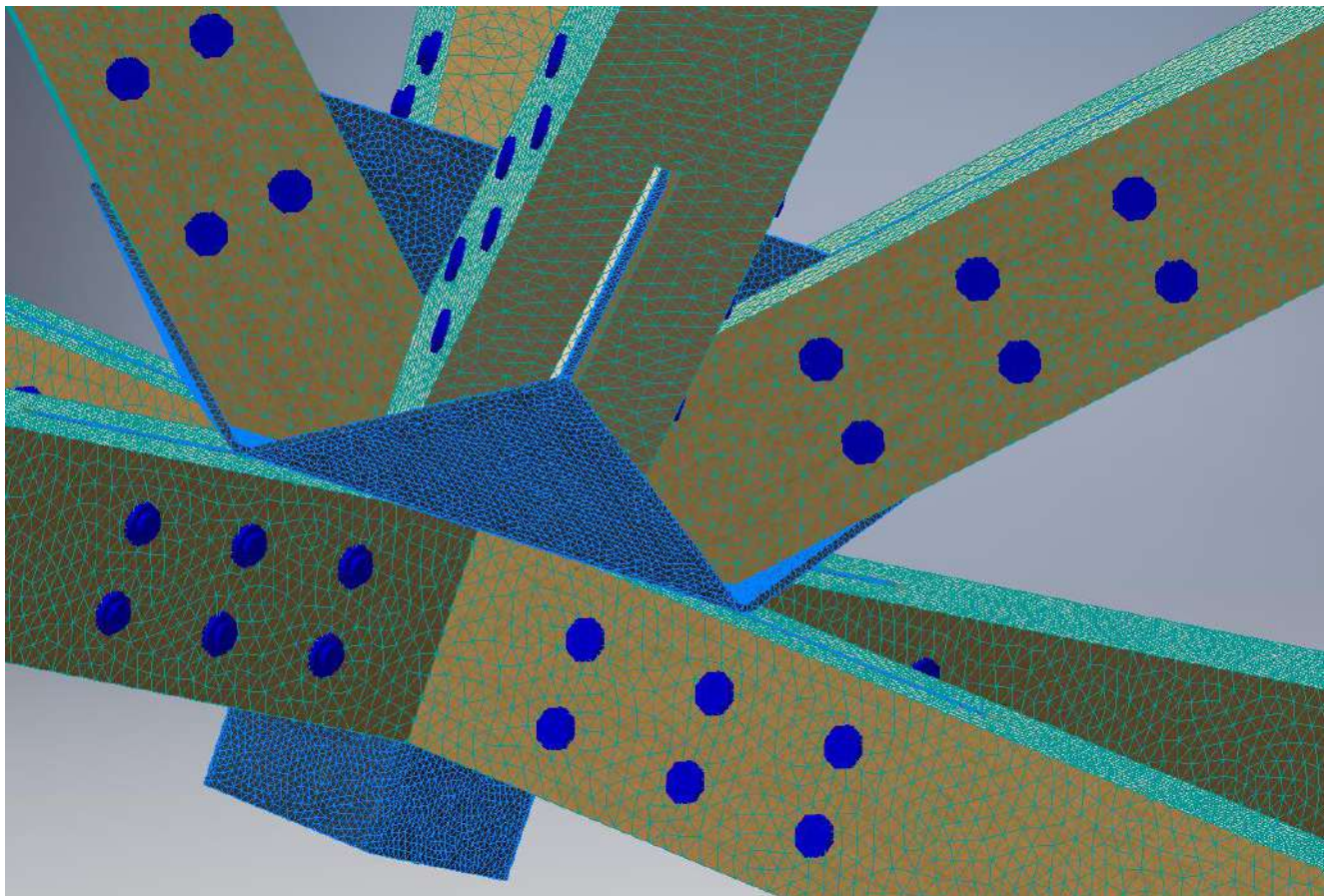


Рис. 3.2.3 – Фрагмент разбиения модели сеткой КЭ.

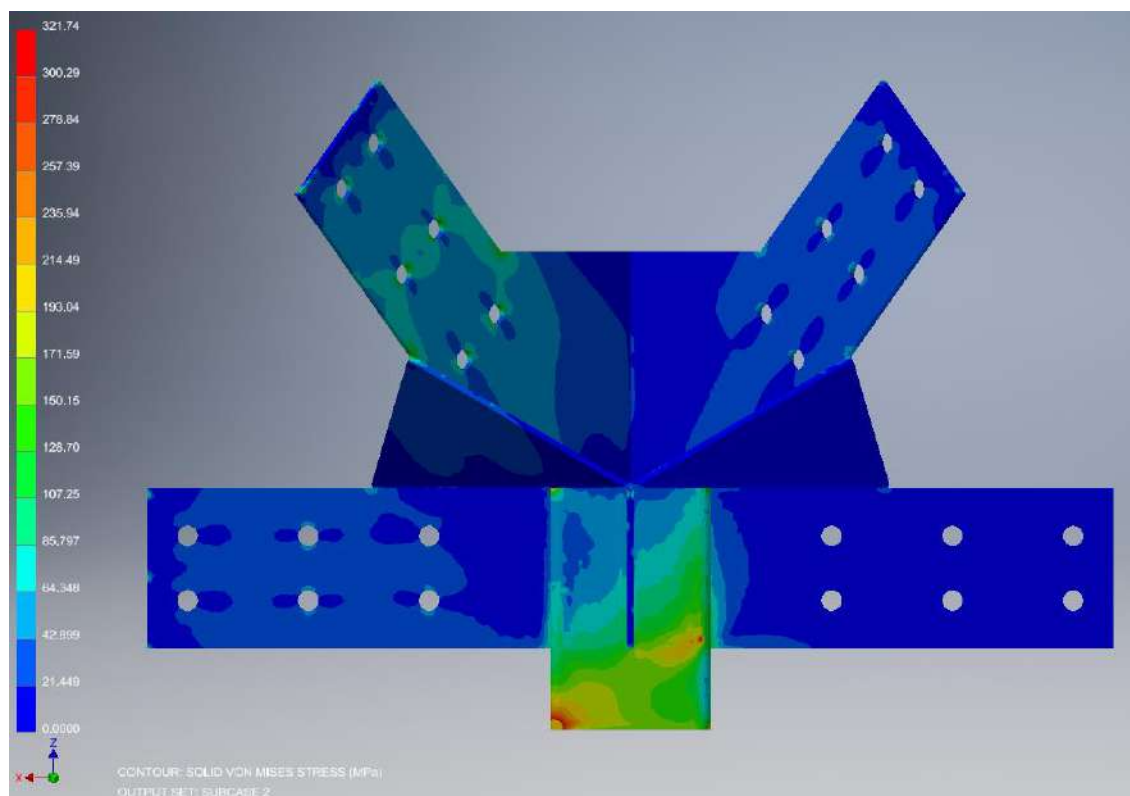


Рис. 3.2.4 – Поля напряжений по Мизесу.

Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.

257.08.04.01.2017.140. ВКР

Лист

71

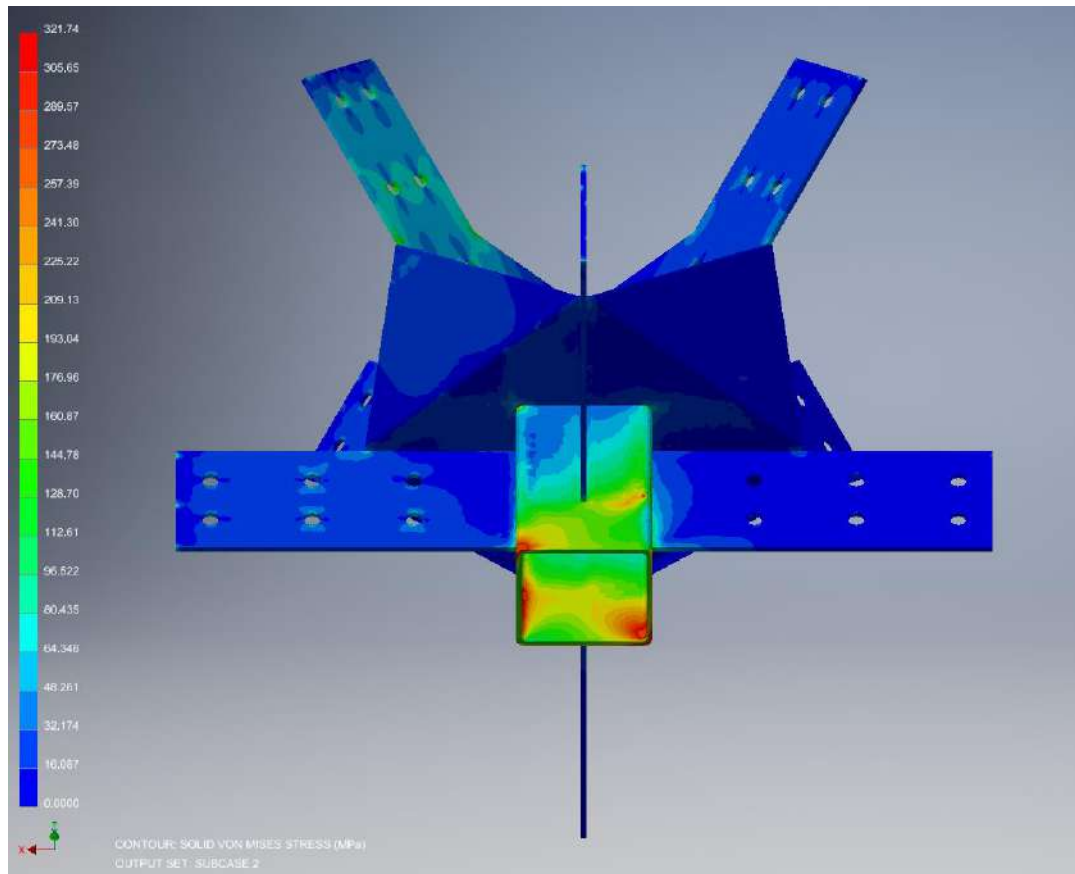


Рис. 3.2.5 – Поля напряжений по Мизесу.

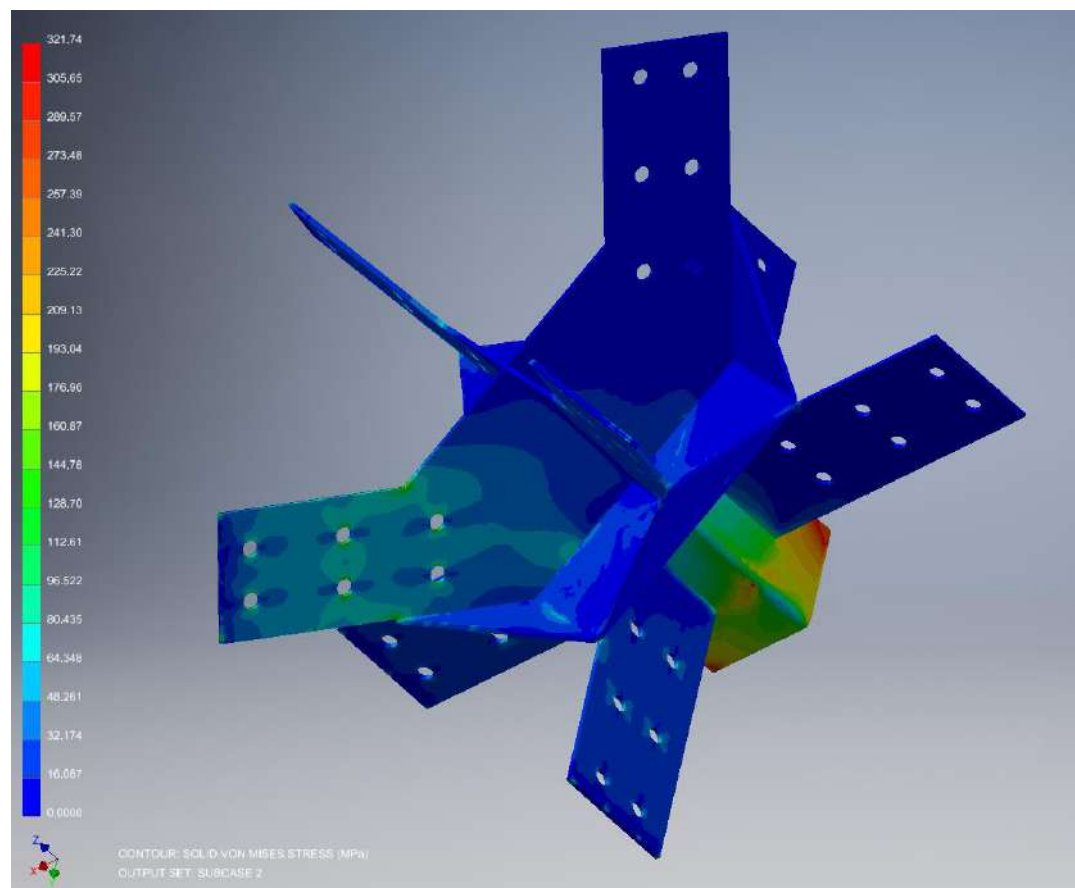


Рис. 3.2.6 – Поля напряжений по Мизесу

Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.

257.08.04.01.2017.140. ВКР

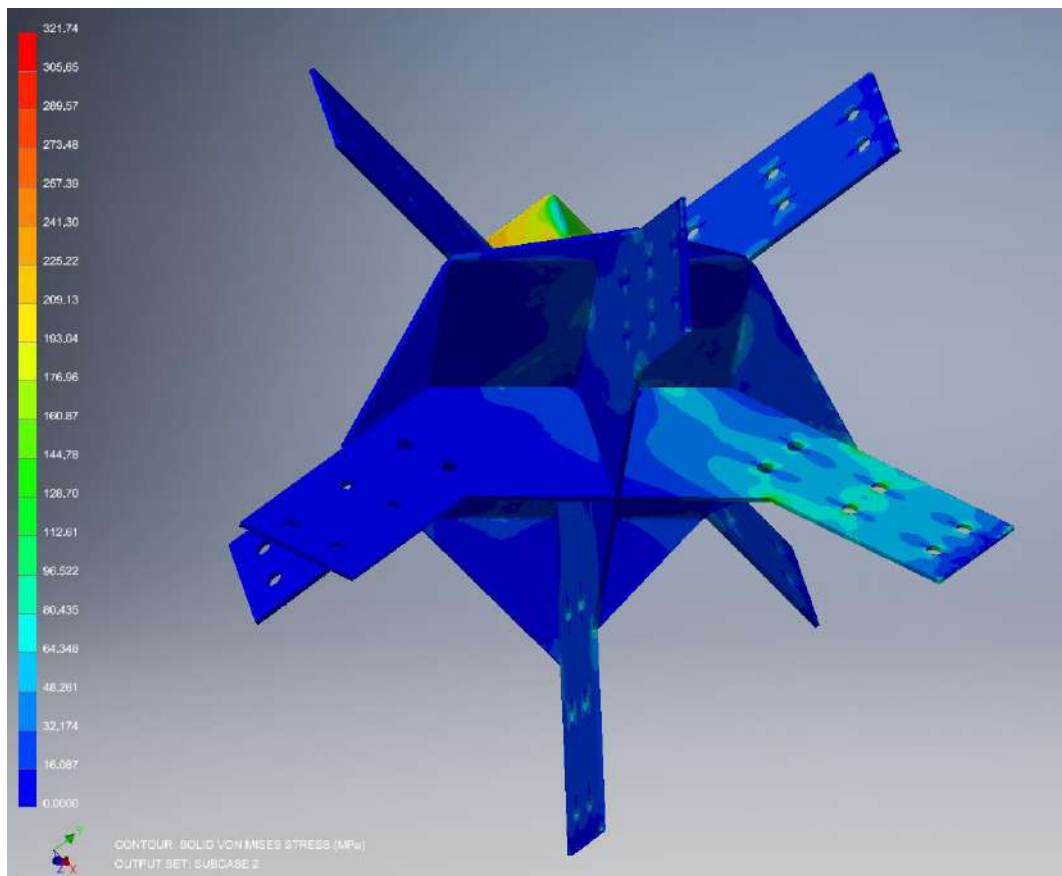


Рис. 3.2.7 – Поля напряжений по Мизесу.

Максимальные значения напряжений наблюдаются в профильной трубе – стыковочном элементе узловой детали с капиталью и составляют 321 МПа.

Картина напряжений в элементе свидетельствует об неисчерпаниии упругой работы материала. Особый интерес представляют повышенные значения напряжений в месте присоединения к капители. В реальной конструкции узел стыковки будет выполнен с использованием дополнительных элементов, увеличивающих сечение трубы в месте примыкания. Деформации всех элементов узловой детали, как и перемещения её отдельных точек – минимальны. В соответствии с этим можно сделать вывод об применимости данной конструкции узловой детали.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценивая результаты проведенной работы можно сказать, что пространственные стержневые конструкции с использованием деревянных элементов, воплощенные в разнообразные конструктивные формы, способны найти различное функциональное применение. Структурные конструкции покрытий достаточно интересны как в архитектурно-эстетическом, так и в функциональном плане.

Вопрос поиска рациональных и эффективных форм, учитывающих возможность заводского изготовления, остается открытым. Опыт применения на практике цельнодеревянных и комбинированных на основе древесины структурных конструкций не достаточен.

Современными нормами и правилами не предусмотрены рекомендации по расчету и конструированию данного типа конструкций

В результате работы были проверены различные расчётные схемы и конструкции узловых соединений. Результатом поиска оптимальных геометрических параметров стало частное конструктивное решение покрытия структурного типа размером в плане 16x16 м, сеткой колонн 12x12 м и размерами элементарной ячейки 2x2 м, которое отвечает современным строительным нормам.

В ходе разработки была выявлена необходимость учета податливости соединений деревянных элементов для получения объективной картины усилий в стержнях и перемещений узлов конструкции. Узлы структурной плиты обладают достаточной жесткостью, что позволяет пренебрегать их деформированием.

Опираение структурной плиты на колонны при помощи капителей положительно сказывается на работе конструкции, так как полученные значения вертикальных перемещений узлов уменьшаются более чем в 2 раза по сравнению с вариантом шарнирного опирания на углы.

Была разработана конструкция узловой детали и форма стержневых элементов, исходя из требований максимальной унификации. Элементы конструкции были проверены с помощью современных расчетных программ. Стоит заметить,

					257.08.04.01.2017.140. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.		74

что предел оптимизации расхода материала для данных конструкций ещё не достигнут.

Дальнейшие разработки могут направлены на уменьшение массы используемого металла, что приведет к удешевлению конструкции в целом. Такие конструкции могут найти широкое применение в лесобогатых районах России, например, Восточная Сибирь и Дальний Восток.

					257.08.04.01.2017.140. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.		75

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 64.13330.2011. Деревянные конструкции. Нормы проектирования. Актуализированная редакция СНиП II-25-80. – М.: 2011.
2. СП 16.13330.2011. Стальные конструкции. Нормы проектирования. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*. – М.: 2011.
3. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. - М.: 2011.
4. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*. - М.: 2012.
5. Porteous A.J. Designers' Guide to Eurocode 5: Design of Timber Buildings / Porteous A.J., Ross P.: EN.: Forthcoming, 2012. – 220 с.
6. Журавлев, А.А. Пространственные деревянные конструкции: учебник / А.А. Журавлев, Г.Б. Вержбовский, Н.Н. Еременко. – Ростов-на-Дону: Изд-во Малыш, 2003. – 518 с.
7. Трущев, А.Г. Пространственные металлические конструкции: учебное пособие / А.Г. Трущев. – М.: Стройиздат, 1983. – 215 с.
8. Гамбаров, Г.А. Пространственные конструкции в строительстве гражданских и промышленных зданий: сб. науч. тр. / Г.А. Гамбаров, И.М. Гуськов, Ю.И. Блинов. – М.: Изд-во МИСИ, 1992. – 111 с.
9. Индустриальные деревянные конструкции. Примеры проектирования: учебное пособие / Ю.В. Слицкоухов, И.М. Гуськов, Л.К. Ермоленко и др.; под ред. Ю.В. Слицкоухова. – М.: Стройиздат, 1991. – 256 с.
10. Иванов, В.А. Конструкции из дерева и пластмасс: учебник / В.А. Иванов, В.З. Клименко. – Киев: Вища школа, 1983. – 279 с.
11. Гётц, К.Г. Атлас деревянных конструкций / К.Г. Гётц, Д. Хоор, К. Мёлер, Ю. Наттерер; пер. с нем. Н.И. Александровой; под ред. В.В. Ермолова. – М.: Стройиздат, 1985. – 272 с., – Перевод изд.: Holzbau Atlas / К-Н. Götz, К. Möhler, J. Natterer. – München, 1978.

					257.08.04.01.2017.140. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.		76

12. Трофимов, В.И. Структурные конструкции. Исследование, расчет и проектирование: учебник / В.И. Трофимов, Г.Б. Бегун. – М.: Стройиздат, 1972. – 272 с.
13. Хисамов, Р.И. Расчет и конструирование структурных покрытий: учебное пособие / Р.И. Хисамов. – Киев: Будівельник, 1981. – 48 с.
14. Трофимов, В.И. Рекомендации по проектированию структурных конструкций ЦНИИСК им. Кучеренко: учебник / В.И. Трофимов, Р.И. Хисамов, Э.В. Третьякова и др. – М.: Стройиздат, 1984. – 303 с.
15. Бучель, К.В. Покрытия структурного типа из блок-ферм на основе древесины: дис. ...канд. техн. наук / К.В. Бучель. – Красноярск: Изд-во КГАСА, 2005. – 157 с.
16. Проектирование и расчет деревянных конструкций: справочник / И.М. Гринь, В.В. Фурсов, Д.М. Бабушкин и др.; под ред. И.М. Гриня. – Киев: Будівельник, 1988. – 240 с.
17. Современные технологии расчета и проектирования металлических и деревянных конструкций. Курсовое и дипломное проектирование. Исследовательские задачи: учебное пособие / М.С. Барабаш, М.В. Лазнюк, М.Л. Мартынова, Н.И. Пресняков; под ред. А.А. Нилова. – М.: Изд-во АСВ, 2008. – 328 с.
18. Будур, А.И. Стальные конструкции: справочник конструктора / А.И. Будур, В.Д. Белогуров. – Киев: Изд-во Сталь, 2004. – 210 с.
19. Серия 1.460-6. Структурные конструкции покрытий одноэтажных производственных зданий пролетом 18 и 24 м из прокатных профилей типа «ЦНИИСК».
20. Серия 1.466-2. Пространственные решетчатые конструкции из труб типа «Кисловодск».

					257.08.04.01.2017.140. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата.		77