

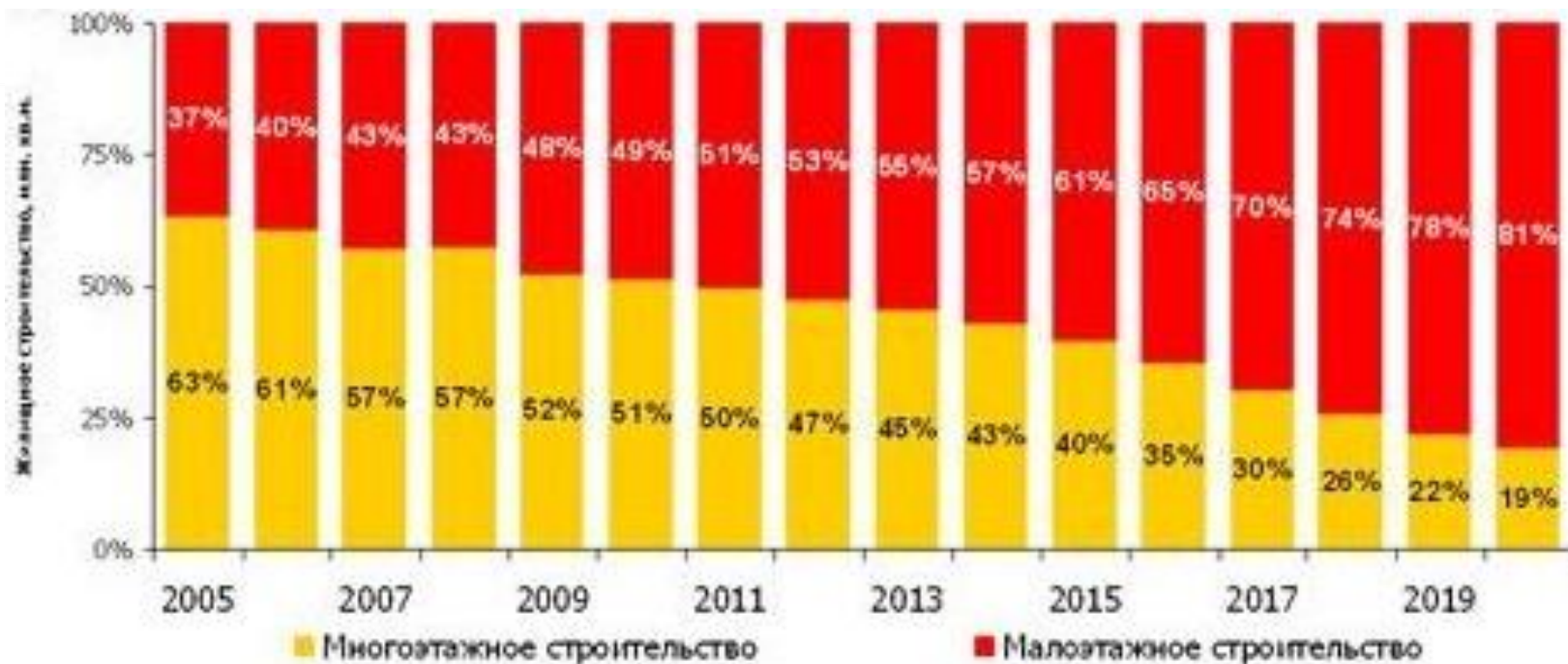
Мировой опыт высотного строительства жилых зданий из деревоклеенных конструкций



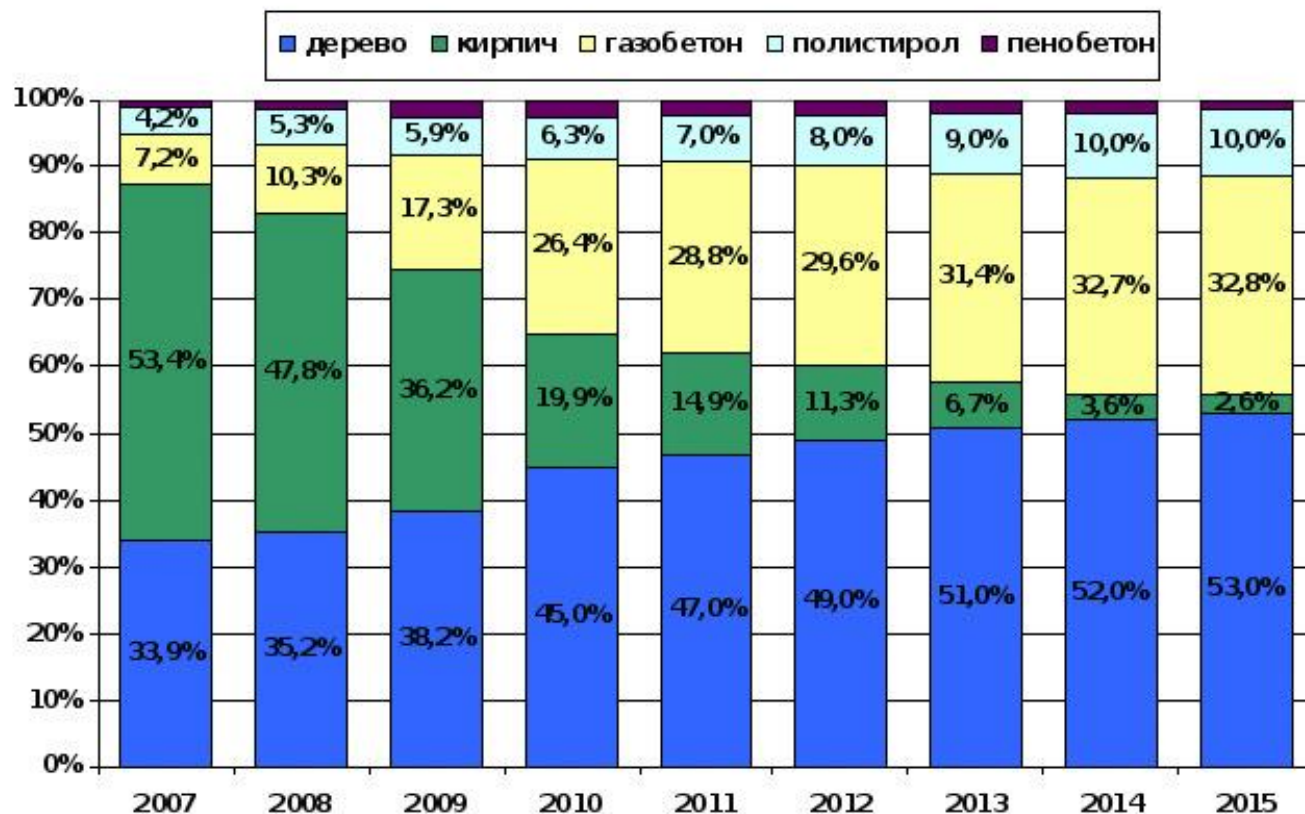
д.т.н., профессор Лабудин Б.В.,
к.т.н., доцент Карельский А.В.,
к.т.н., доцент Губенко Л.А.,
аспирант Бардин И.Н.,
студентка 5 курса Нуромская Л.А.

Кафедра инженерных конструкций, архитектуры и графики
ФГАОУ ВПО «Северный (Арктический) федеральный университет
им. М.В. Ломоносова» (Архангельск)

Тренд много- и малоэтажного строительства в РФ с 2005 по 2020гг. (прогноз)

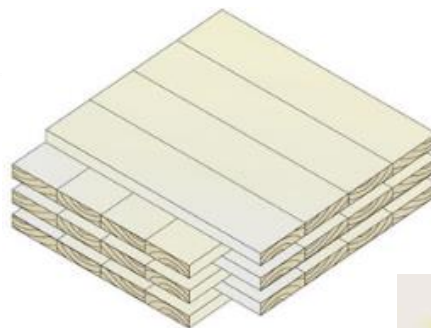


Структура малоэтажного домостроения в зависимости от применяемого материала





Огневые испытания СЛТ-панелей, 2012 г, Канада

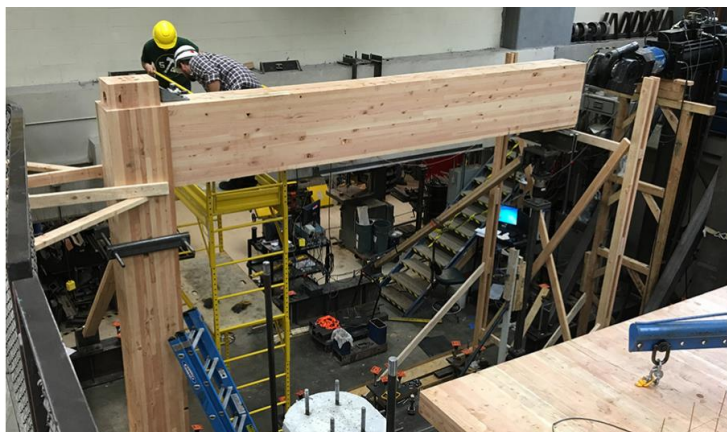


(a)



(b)





Огневые испытания стыка «колонна-балка» в Университете Портланда, США



После двух часов огневого воздействия

ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко Испытание на огнестойкость клееной балки сечением 390x180, 2016 г

ЗАКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «ЦЕНТР СЕРТИФИКАЦИИ И ИСПЫТАНИЙ «ОГНЕСТОЙКОСТЬ»

109428, г. Москва, 2-я Институтская ул., д. 6,
тел./факс (499)174-79-04, (495)709-32-82, (495)709-32-83
e-mail: info@tsniiskfire.ru, URL: www.tsniiskfire.ru

Исх. № 42/ЗАО-16 от 14.06.2016 г.

Генеральному директору
ООО «Системы Пожарной
Безопасности»
Березину Г.А.

Информационное письмо

Тел.: +7 (919) 101-58-25
e-mail: genn.berezin@yandex.ru
genn.berezin@mail.ru

Уважаемый Геннадий Александрович,

настоящим информирую, что 09.06.2016 в ИЦ «Огнестойкость» ЗАО «ЦСИ «Огнестойкость» в соответствии с Договором №102ск/и-16 от 16.05.2016 проведено испытание на огнестойкость образца №1 клееной деревянной балки из древесины хвойных пород (ель) под сосредоточенной нагрузкой 2 т., производства ООО «ГУД ВУД», предполагаемой к применению для деревянного домостроения.

Испытание проведено в соответствии с требованиями ГОСТ 30247.1-94 «Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции».

В результате испытания установлено, что за 93 мин. огневого воздействия предельное состояние по потере несущей способности (R) образца №1 клееной деревянной балки из древесины хвойных пород (ель), под сосредоточенной нагрузкой 2 т., не достигнуто.

Предел огнестойкости упомянутой балки будет установлен после проведения испытания образца №2, оформлен в виде протокола испытаний и выдан в установленном порядке.

Ген. директор
ЗАО «ЦСИ «Огнестойкость»



Н.В. Ковыршина



Причины сдерживающие производство и применение конструкционных материалов из древесины

- широкое распространение мифа о высокой возгораемости КДК;
- нормативные ограничения, связанные с максимальной этажностью деревянных зданий (в РФ оно составляет 3 этажа).
- стоимость;
- необходимость перевооружения;
- отсутствие развитой системы проектных организаций;
- отсутствие полной информации у производителей о современных деревокомпозитах;
- отсутствие новых научных исследований;



Цель

Разработка базовых объемно-планировочных решений многоэтажных каркасных зданий с применением клееных деревянных конструкций (КДК) в условиях Архангельской области.

Задачи

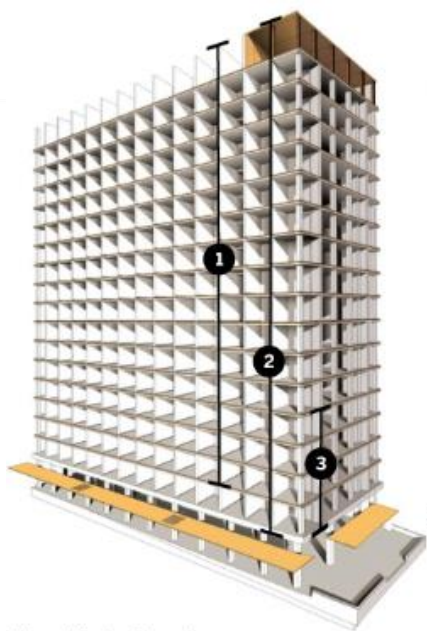
- 1) Изучить состояние вопроса: отечественный и зарубежный опыт строительстве многоэтажных деревянных зданий.
- 2) Выбрать наиболее оптимальные конструктивные схемы зданий, которые могут быть применимы к КДК;
- 3) Определение максимальной этажности здания при различных конструктивных системах каркасов;
- 4) Подобрать оптимальные размеры сечений элементов при максимально возможной этажности зданий для каждой конструктивной системы;
- 5) Провести анализ существующих узлов стыка конструктивных элементов каркаса и выполнить их модернизацию;
- 6) Выполнить обоснование экономической целесообразности строительства многоэтажного строительства из древесины.

Конструктивные системы многоэтажных деревянных зданий

- 1) каркасная;
- 2) панельная (стенная);
- 3) объемно-блочная (модульная);
- 4) комбинированная (оболочково-блочная);
- 5) индивидуальные схемы



Brock Common, Canada



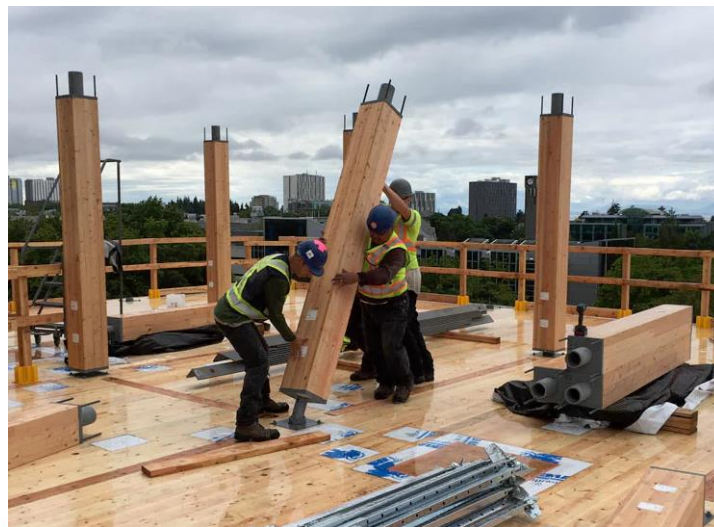
Puzzle pieces
Wooden structure
Structural elements, including floors and columns, are almost all made of composite wood.



Concrete shafts
Stair and elevator shafts are concrete to allay concerns about seismic safety.



Concrete foundation
The building rests on a foundation of reinforced concrete.



Three kinds of wood

1 Cross-laminated timber
Crossed-grain panels for load-bearing floors, walls, and roofs.



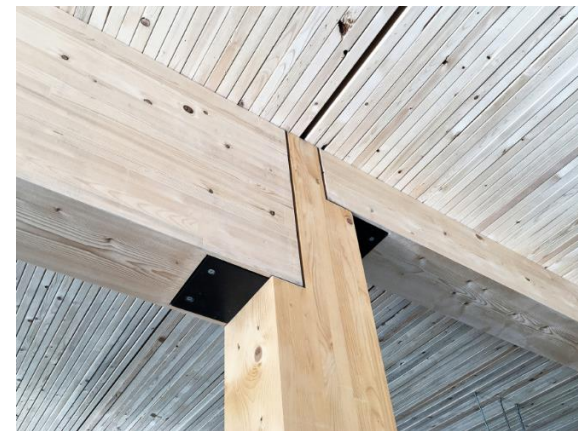
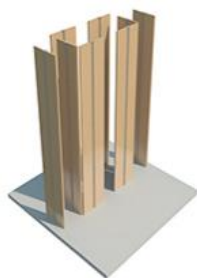
2 Glue-laminated timber
Composite material for beams, girders, and columns.



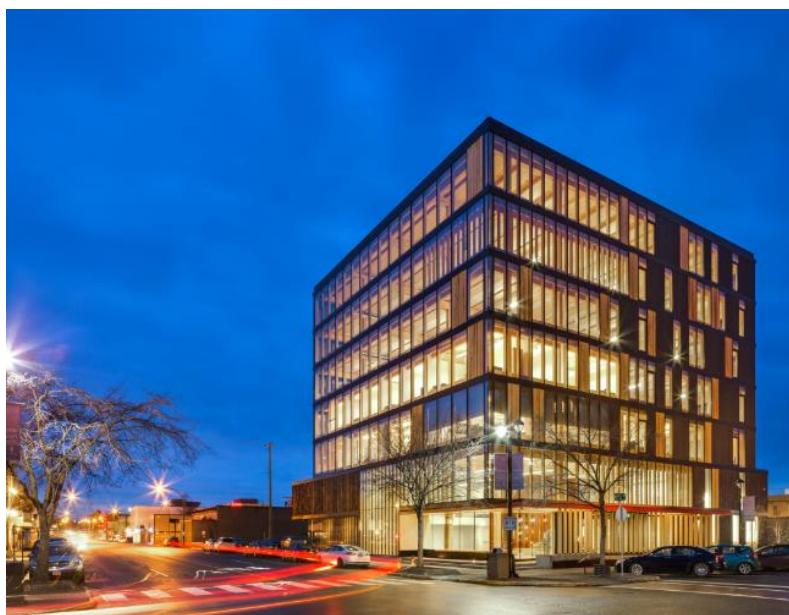
3 Parallel-strand lumber
Used in heavily loaded columns, beams, and headers.



Framework, USA



Wood innovation design center, Canada



1 The lateral-load resistance is primarily provided by the elevator and stair core walls, which consist of CLT panels. The shear walls are anchored to the foundations using a combination of shear brackets and hold-down anchors.



2 The structure is a glulam post-and-beam system with built-up CLT floor panels. Glulam beams frame into glulam columns using proprietary aluminum dovetail Pitl connectors.



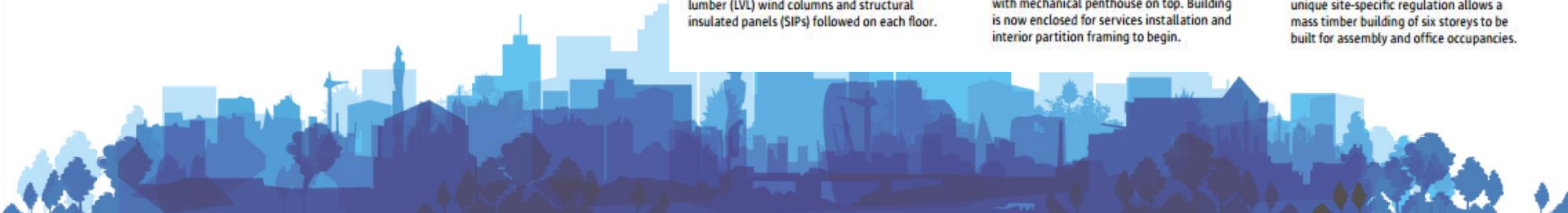
3 Staggered CLT floor panels are installed. Upper floor columns bear directly on columns from the floor below. Laminated veneer lumber (LVL) wind columns and structural insulated panels (SIPs) followed on each floor.



4 The building envelope is set in place including curtain wall glazing and wood cladding. The roof enclosed the building with mechanical penthouse on top. Building is now enclosed for services installation and interior partition framing to begin.



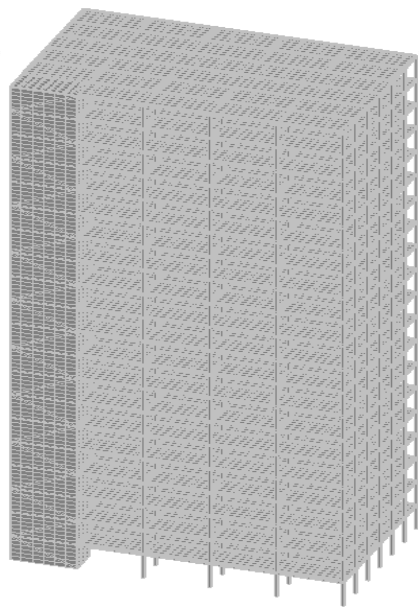
5 The British Columbia Building Code restricts the height of wooden non-residential buildings to four storeys. A unique site-specific regulation allows a mass timber building of six storeys to be built for assembly and office occupancies.



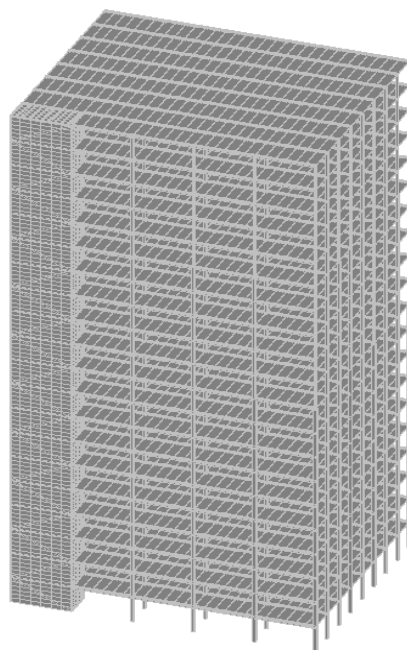
Good Wood Plaza, Россия



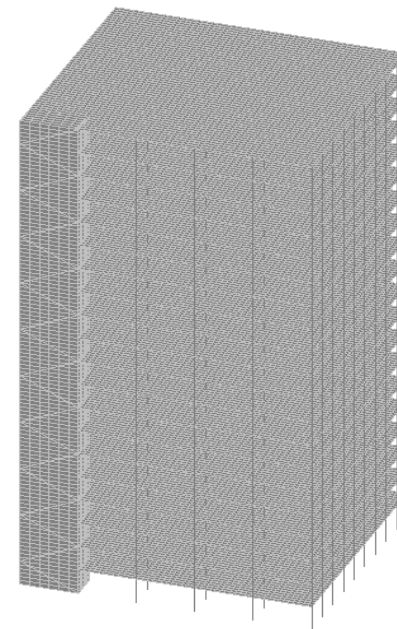
Разработка оптимальных объемно-планировочных решений многоэтажных каркасных деревянных зданий



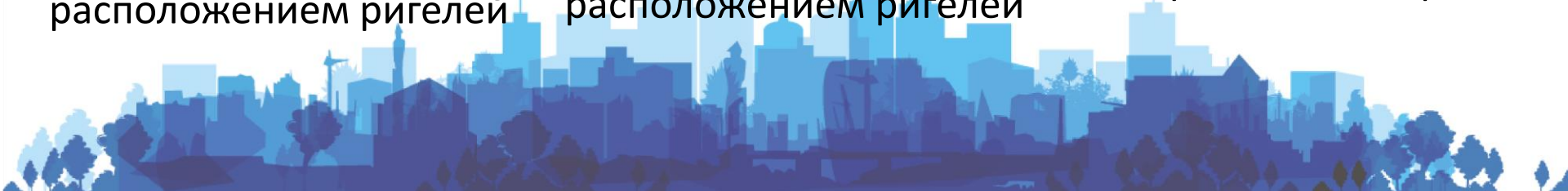
Каркас с перекрестным расположением ригелей

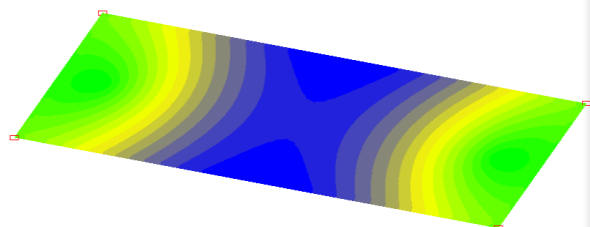
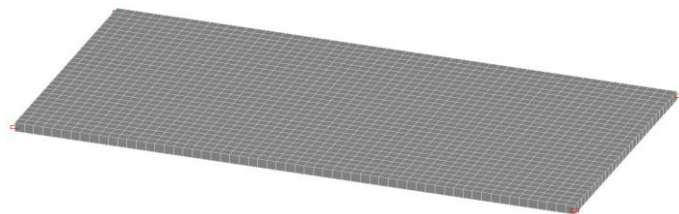


Каркас с продольным расположением ригелей

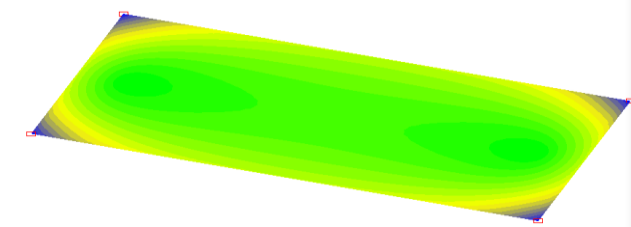


Безригельный каркас





№	кН/м²	кН/м²
1	1295,61	1475,73
2	1475,73	1655,85
3	1655,85	1835,97
4	1835,97	2016,10
5	2016,10	2196,22
6	2196,22	2376,34
7	2376,34	2556,46
8	2556,46	2736,58
9	2736,58	2916,70
10	2916,70	3096,82
11	3096,82	3276,94
12	3276,94	3457,06
13	3457,06	3637,18
14	3637,18	3817,30
15	3817,30	3997,42
16	3997,42	4177,54



№	кН/м²	кН/м²
1	1245,38	1034,64
2	1034,64	823,89
3	823,89	613,15
4	613,15	402,41
5	402,41	191,67
6	191,67	19,07
7	19,07	229,61
8	229,61	440,55
9	440,55	651,29
10	651,29	862,03
11	862,03	1072,77
12	1072,77	1283,51
13	1283,51	1494,25
14	1494,25	1705,00
15	1705,00	1915,74
16	1915,74	2126,48

Закрепление	Размеры плиты перекрытия, м	Толщина плиты, мм	Прогиб, мм	Прогиб max, мм	Рсж факт МПа	Рсж ult МПа	Rp факт МПа	Rp ult МПа
По 4-х точках	3x3	100	4,1	20	1273,56	15000	1586,99	9000
	3x4,5	100	14,24	20	1479,76		3306,09	
	3x6	120	26,48	30	1245,38		4178,46	
	3x7,5	160	29,54	37,5	899,79		3996,57	
	3x9	180	44,61	45	826,33		4726,46	
	3x12	260	54,57	60	577,9		4711,69	
Шарнирно по 2-м сторонам	3x3	100	2,73	20	429,92	15000	1448,04	9000
	3x4,5	100	13,61	20	630,9		3213,7	
	3x6	120	25,95	30	543,92		4136,85	
	3x7,5	160	29,23	37,5	363,65		3981,34	
	3x9	200	33,76	45	263,78		3991,39	
	3x12	260	54,44	60	180,79		4710,37	
Шарнирно по 4-м сторонам	3x3	100	0,64	20	589,94	15000	589,94	15000
	3x4,5	100	1,23	20	671,49		943,74	
	3x6	100	1,61	30	672,87		1154,39	
	3x7,5	100	1,83	37,5	658,98		1267,01	
	3x9	100	1,94	45	652,98		1325,49	
	3x12	100	2,04	60	650,78		1370,11	
	3x14	100	2,06	70	650,65	1379,08		

Нагрузки

Постоянные:

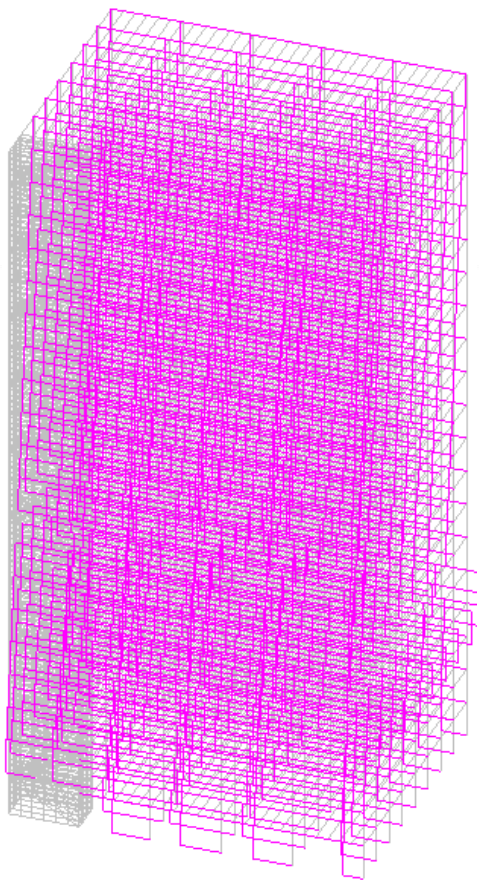
- Собственный вес конструкций;
- Конструкция пола – стяжка цементно-песчаная $t=0,30$ мм линолеум 4 мм.

Временные:

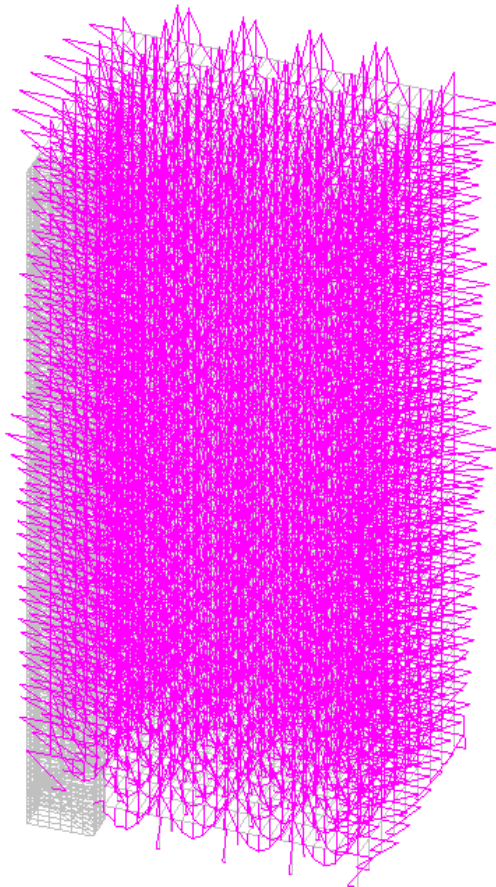
- Полезная нагрузка 1,5 кПа для жилых помещений;
- Снеговая нагрузка. 2,4 кПа для IV снегового района;
- Ветровая нагрузка. II ветровой район. Ветровая нагрузка была определена с учетом статической и пульсационной составляющих и введена в расчетную модель в виде узловой нагрузки.

Комбинация загрузжений

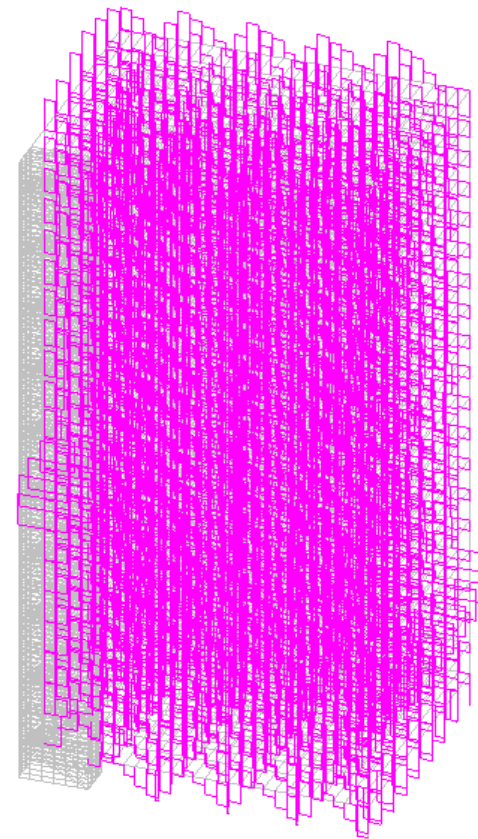
- 1) При одновременном приложении всех нагрузок на всех этажах, возникают в колоннах наибольшие продольные силы при наименьших моментах;
- 2) При действии нагрузки от собственного веса и ветровой нагрузки, возникают в колоннах наибольшие моменты при наименьших продольных силах;
- 3) При действии горизонтальных нагрузок;
- 4) При действии вертикальных нагрузок;



$N, \text{кН}$



$M, \text{кН}\cdot\text{м}$



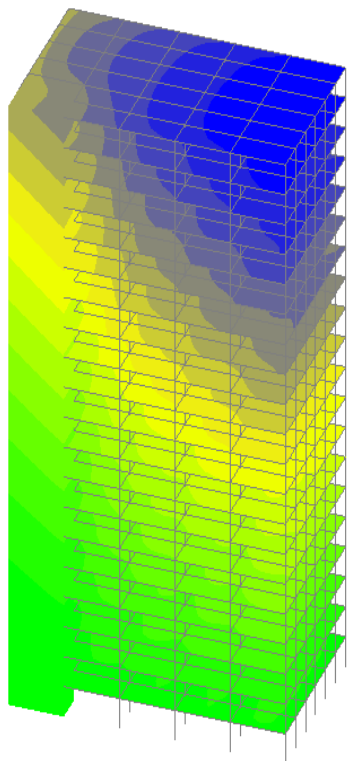
$Q, \text{кН}$



Изополя перемещений

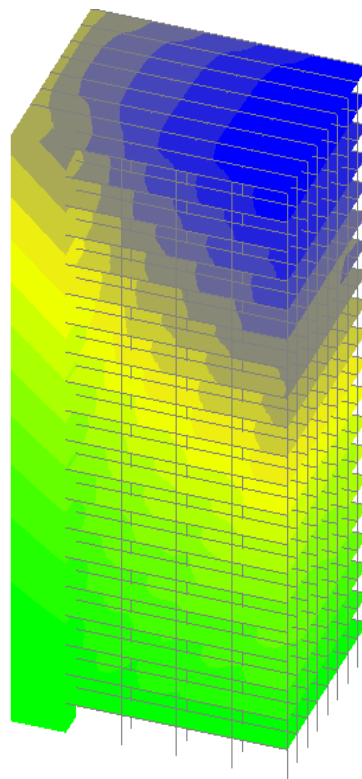
Перемещения

Суммарное перемеще	
мм	мм
<input checked="" type="checkbox"/>	0 6,72
<input checked="" type="checkbox"/>	6,72 13,43
<input checked="" type="checkbox"/>	13,43 20,15
<input checked="" type="checkbox"/>	20,15 26,87
<input checked="" type="checkbox"/>	26,87 33,58
<input checked="" type="checkbox"/>	33,58 40,3
<input checked="" type="checkbox"/>	40,3 47,02
<input checked="" type="checkbox"/>	47,02 53,73
<input checked="" type="checkbox"/>	53,73 60,45
<input checked="" type="checkbox"/>	60,45 67,17
<input checked="" type="checkbox"/>	67,17 73,88
<input checked="" type="checkbox"/>	73,88 80,6
<input checked="" type="checkbox"/>	80,6 87,32
<input checked="" type="checkbox"/>	87,32 94,04
<input checked="" type="checkbox"/>	94,04 100,75
<input checked="" type="checkbox"/>	100,75 107,47



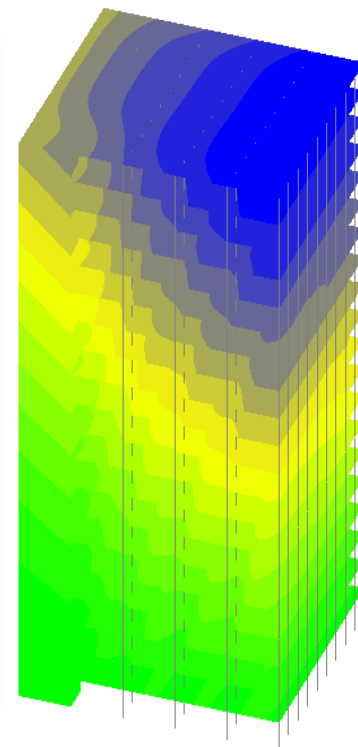
Перемещения

Суммарное перемеще	
мм	мм
<input checked="" type="checkbox"/>	0 6,43
<input checked="" type="checkbox"/>	6,43 12,86
<input checked="" type="checkbox"/>	12,86 19,3
<input checked="" type="checkbox"/>	19,3 25,73
<input checked="" type="checkbox"/>	25,73 32,16
<input checked="" type="checkbox"/>	32,16 38,59
<input checked="" type="checkbox"/>	38,59 45,02
<input checked="" type="checkbox"/>	45,02 51,46
<input checked="" type="checkbox"/>	51,46 57,89
<input checked="" type="checkbox"/>	57,89 64,32
<input checked="" type="checkbox"/>	64,32 70,75
<input checked="" type="checkbox"/>	70,75 77,18
<input checked="" type="checkbox"/>	77,18 83,62
<input checked="" type="checkbox"/>	83,62 90,05
<input checked="" type="checkbox"/>	90,05 96,48
<input checked="" type="checkbox"/>	96,48 102,91



Перемещения

Суммарное перемеще	
мм	мм
<input checked="" type="checkbox"/>	0 7,39
<input checked="" type="checkbox"/>	7,39 14,78
<input checked="" type="checkbox"/>	14,78 22,17
<input checked="" type="checkbox"/>	22,17 29,56
<input checked="" type="checkbox"/>	29,56 36,94
<input checked="" type="checkbox"/>	36,94 44,33
<input checked="" type="checkbox"/>	44,33 51,72
<input checked="" type="checkbox"/>	51,72 59,11
<input checked="" type="checkbox"/>	59,11 66,5
<input checked="" type="checkbox"/>	66,5 73,89
<input checked="" type="checkbox"/>	73,89 81,28
<input checked="" type="checkbox"/>	81,28 88,67
<input checked="" type="checkbox"/>	88,67 96,06
<input checked="" type="checkbox"/>	96,06 103,45
<input checked="" type="checkbox"/>	103,45 110,83
<input checked="" type="checkbox"/>	110,83 118,22



Каркас с перекрестным
 расположением ригелей

Каркас с продольным
 расположением ригелей

Безригельный каркас

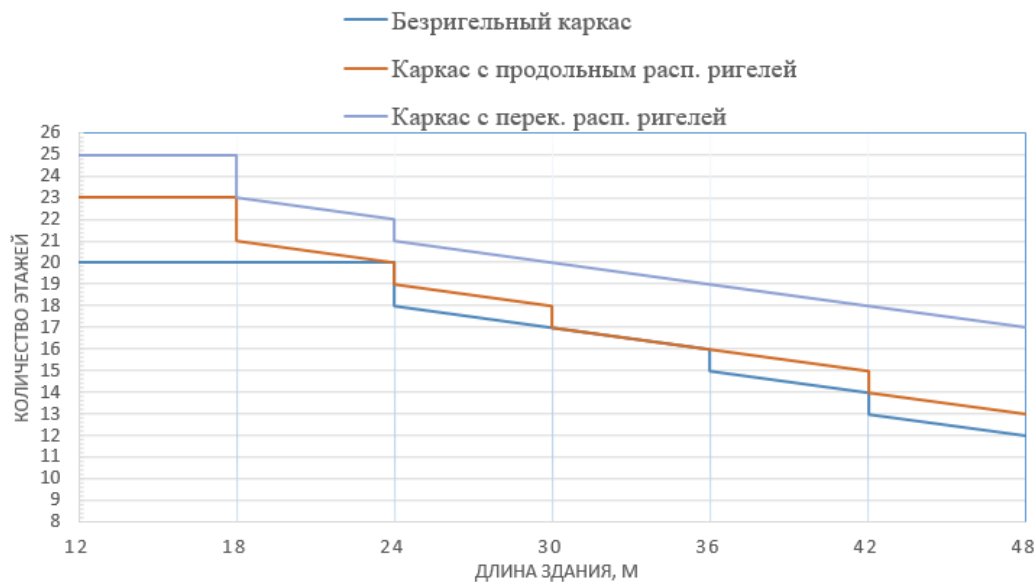


График зависимости L-пэт. Ширина зд. – 18 м

Максимальная эффективная этажность каркаса с безбалочным перекрытием – 20 этажей.

Максимальная эффективная этажность каркаса с продольным расположением ригелей – 23 этажа;

Максимальная эффективная этажность каркаса с перекрестным расположением ригелей – 25 этажей;

Расчет колонн

Расчет на прочность внецентренно-сжатых и сжато-изгибаемых элементов следует по нормальным напряжениям производить по формуле:

$$\frac{N}{F_{расч}} + \frac{M_d}{W_{расч}} \leq R_c$$

Расчет внецентренно-сжатых и сжато-изгибаемых элементов на прочность по скалыванию следует проводить по формуле

$$\frac{QS'_{бр}}{I_{бр}b_{рас}} + \Delta\tau \leq R_{ск}$$

Расчет на устойчивость сжатых элементов постоянного сечения:

$$\frac{N}{\varphi F_{рас}} \leq R_c$$



Расчет балок

Расчет изгибаемых элементов на прочность по нормальным напряжениям следует определяться по формуле:

$$\frac{M}{W_{расч}} \leq R_{д.ш.}^и$$

Расчет изгибаемых элементов на прочность по скалыванию следует выполнять по формуле:

$$\frac{QS'_{бр}}{I_{бр}b_{рас}} \leq R_{д.ш.}^{ск}$$

Расчет на устойчивость изгибаемых элементов прямоугольного постоянного сечения определяется по формуле:

$$\frac{M}{\varphi_M W_{бр}} \leq R_{д.ш.}^и$$

Наибольший прогиб шарнирно-опертых изгибаемых элементов постоянного сечения определяется по формуле:

$$f = \frac{f_0}{k} \left[l + c \frac{h^2}{l} \right]$$

Результаты расчетов

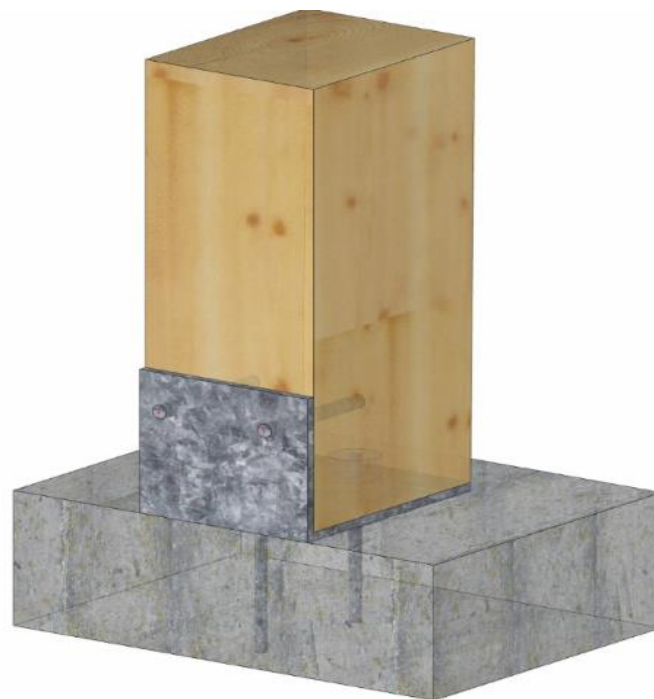
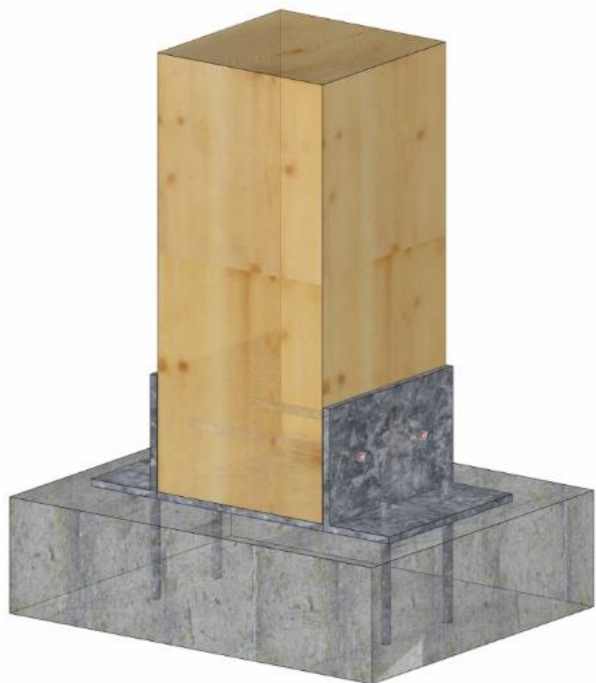
Конструктивный элемент	№ элемента	Этаж	N	My	Qy	Mz	Qz
Связевой безригельный каркас в 20 этажей	26321	Колонны 5-10 этаж	828,252	-2,02	1,25	-1,34	1,05
	95102		369,73	7,886	0,26	0,25	5,05
	98050		400,44	0,13	5,63	8,55	0,13
	26331	Колонны 11-20	428,369	0,35	2,54	-3,82	0,2
	109760		32,95	21,168	1	2,08	-11,33
	115600		-43,43	2,89	9,97	18,485	-1,48
Каркас с перекрёстными и расположенными в 25 этажей	14501	Колонны 1-14 этаж	919,488	1,86	1,12	1,83	1,15
	14534		310,27	13,989	6,08	9,14	-9,32
	18364		413,47	6,07	8,55	12,844	4,04
	14515	Колонны 15-25 этаж	-382,98	4,72	5,79	8,73	3,14
	16854		-31,01	25,853	7,78	12,2	15,15
	24553		-36,34	8,31	11,24	18,276	5,37
	10457	Ригель	2,5	26,15	-0,24	0,19	18,91
	24480		0,42	-20,93	0,01	0,01	28,5
Каркас с продольными расположенными в 23 этажей	8232	Колонны 1-12 этаж	874,319	0,05	0,6	0,59	0,01
	10408		285,48	12,303	1,81	2,72	8,17
	15974		251,13	6,62	14,77	22,332	4,44
	8224	Колонны 13-23 этаж	417,395	-3,56	3,54	-7,25	7,31
	10419		34,7	-2,25	2,03	33,187	13,56
	19412		28,25	-22,85	24,271	-5,83	5,14
	5517	Ригель	1,05	-14,18	0,01	0	-28,4
	17204		1,54	20,47	0	0	17,47

Анализ существующих стыков элементов каркаса многоэтажных деревянных зданий

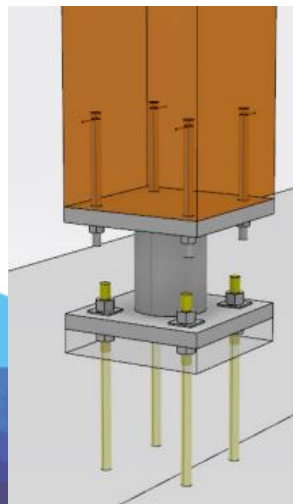
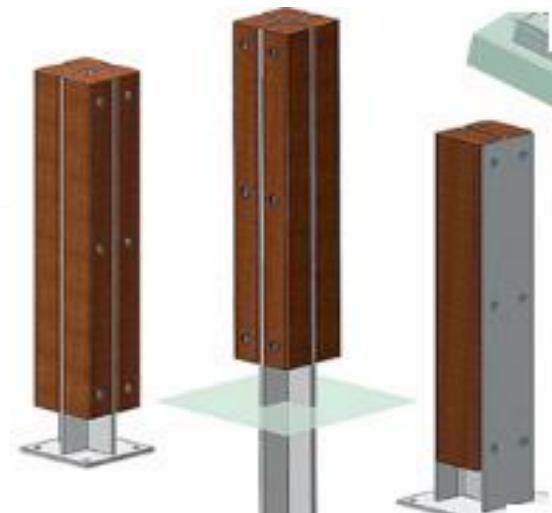
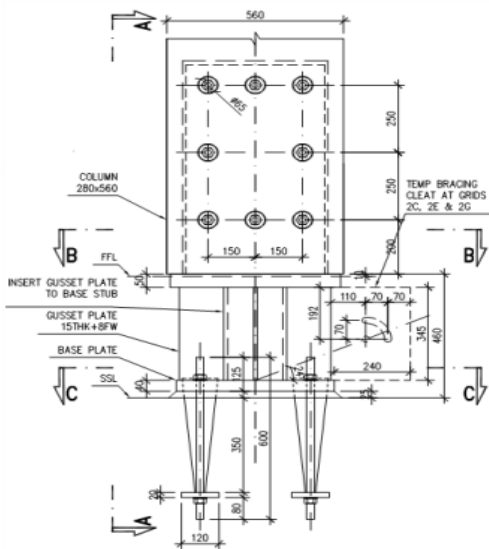
- Узел стыка «фундамент-колонна»



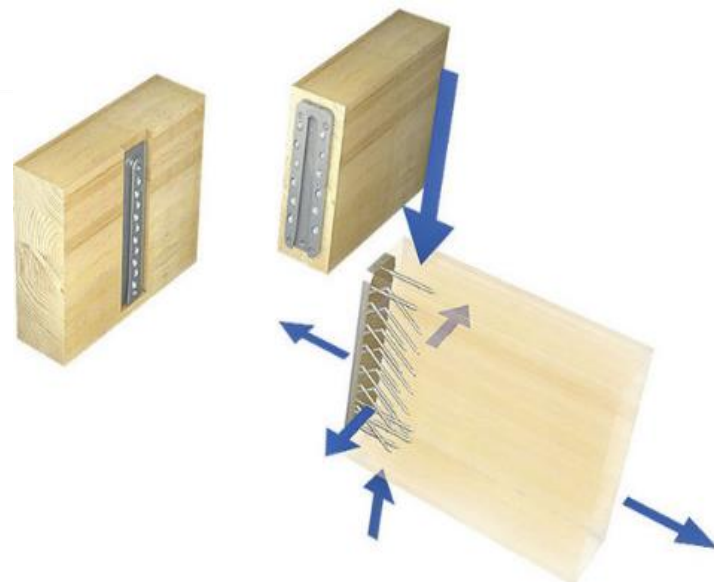
- Узел стыка «фундамент-колонна»



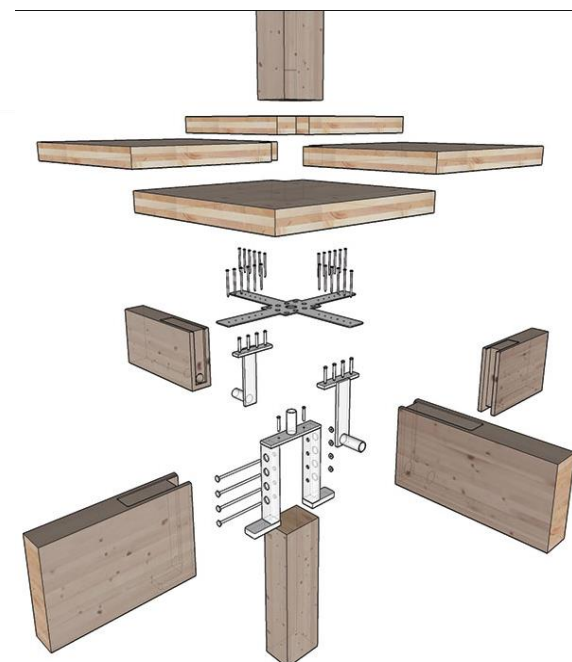
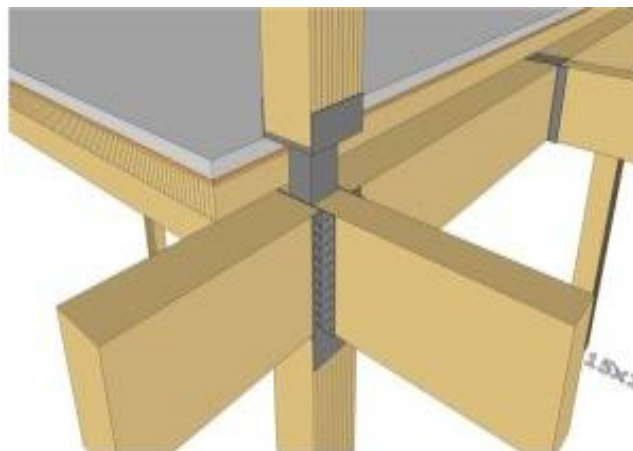
- Узел стыка «фундамент-колонна»



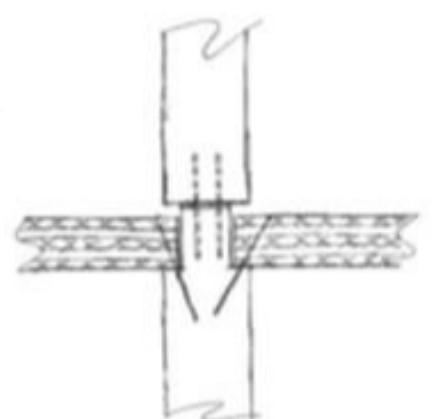
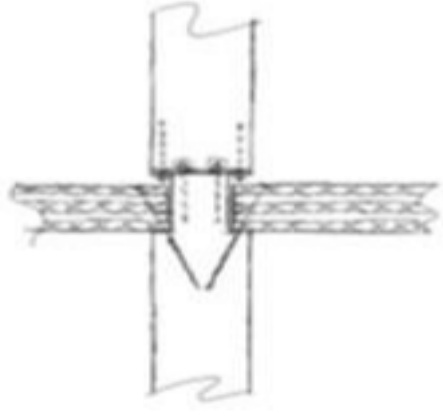
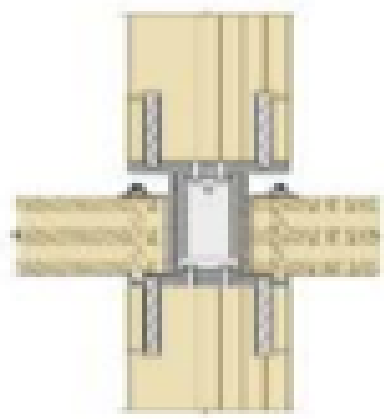
- Узел стыка «колонна-балка»



- Узел стыка «колонна-балка-колонна»

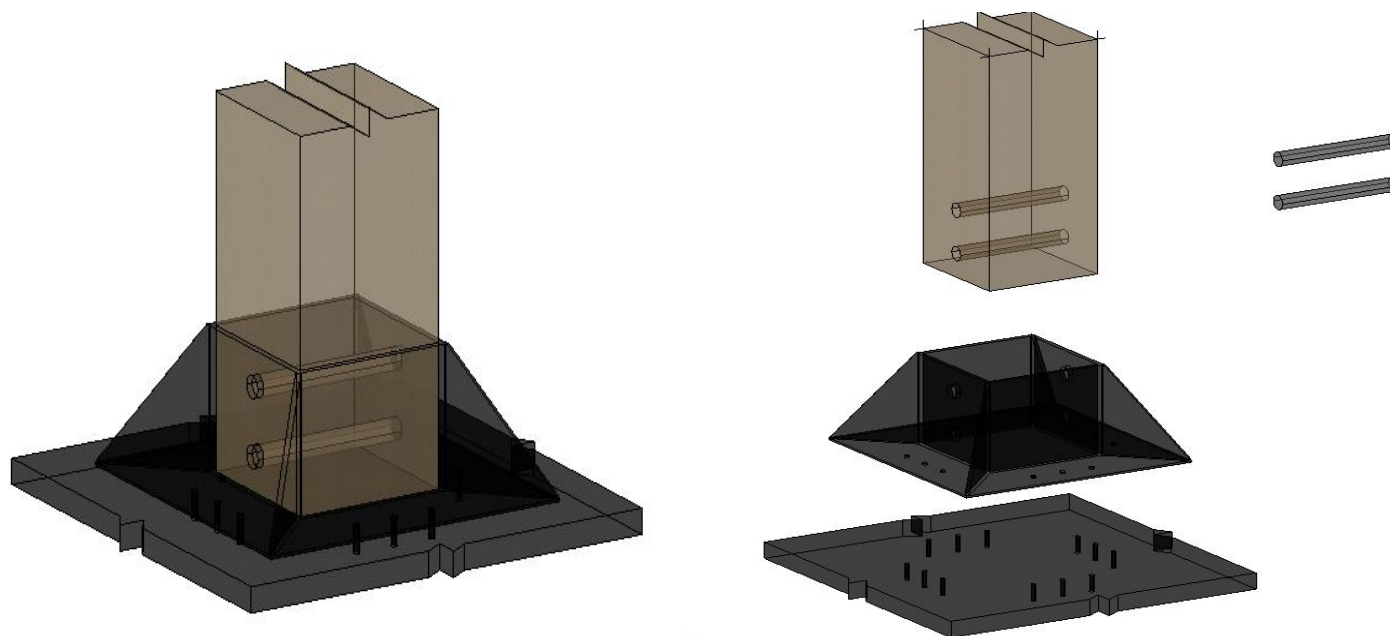


- Узел стыка «колонна-плита»

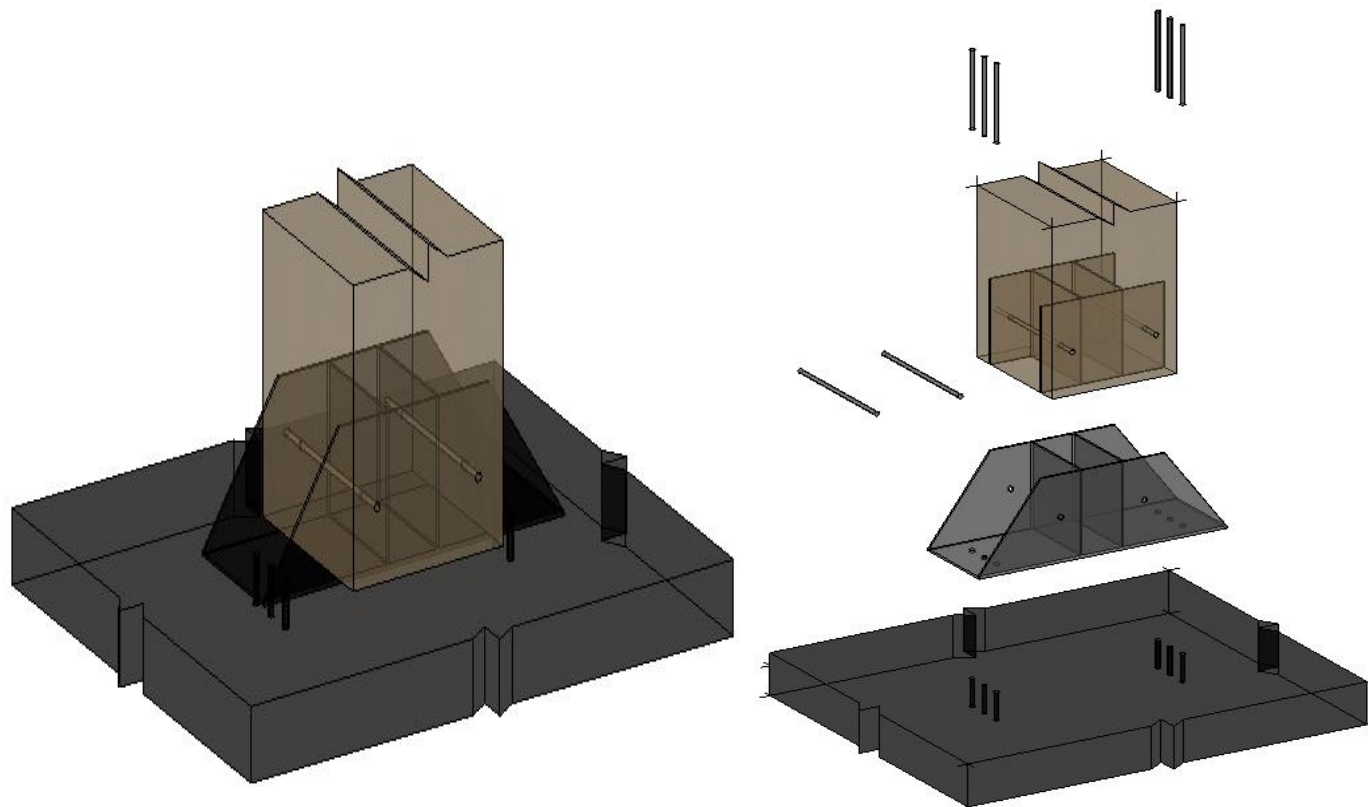


Разработка узлов стыка элементов каркаса деревянных конструкций

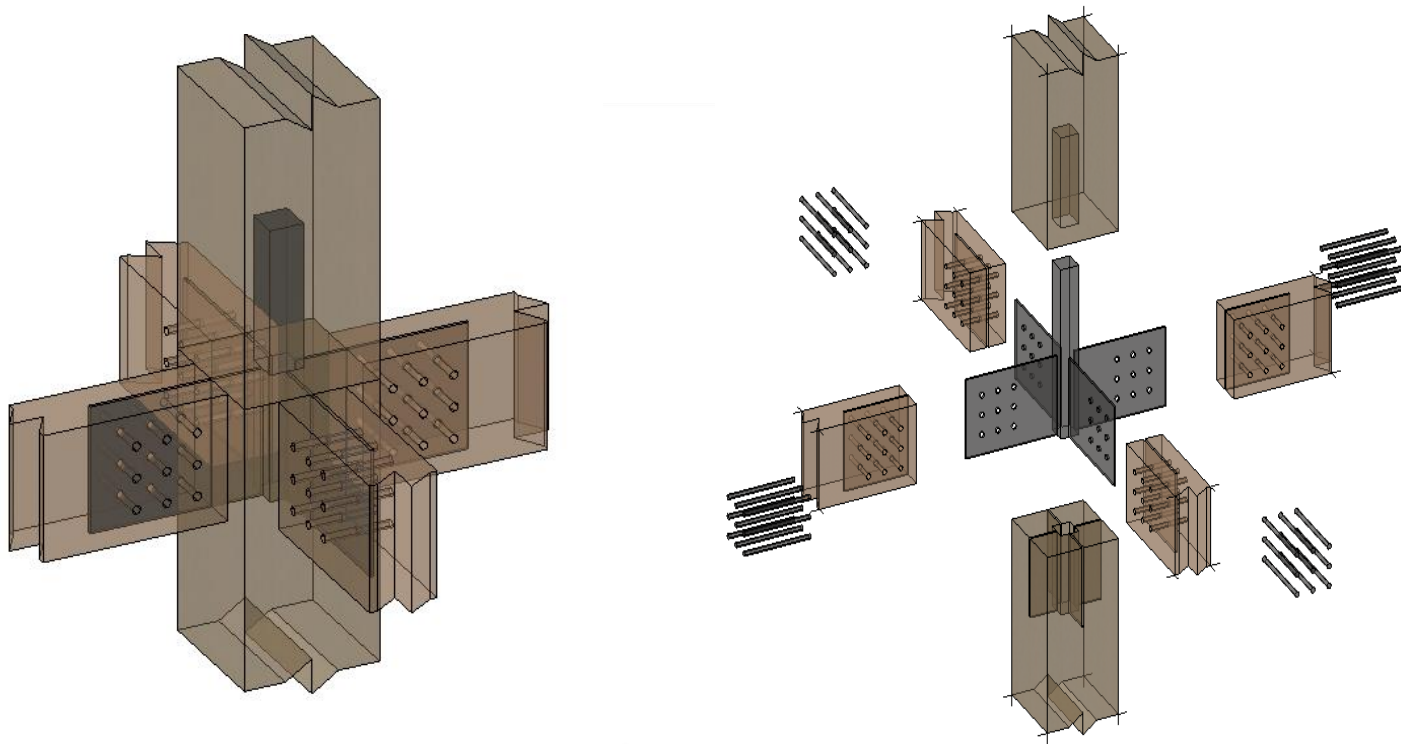
Узел №1 «Фундамент-колонна»



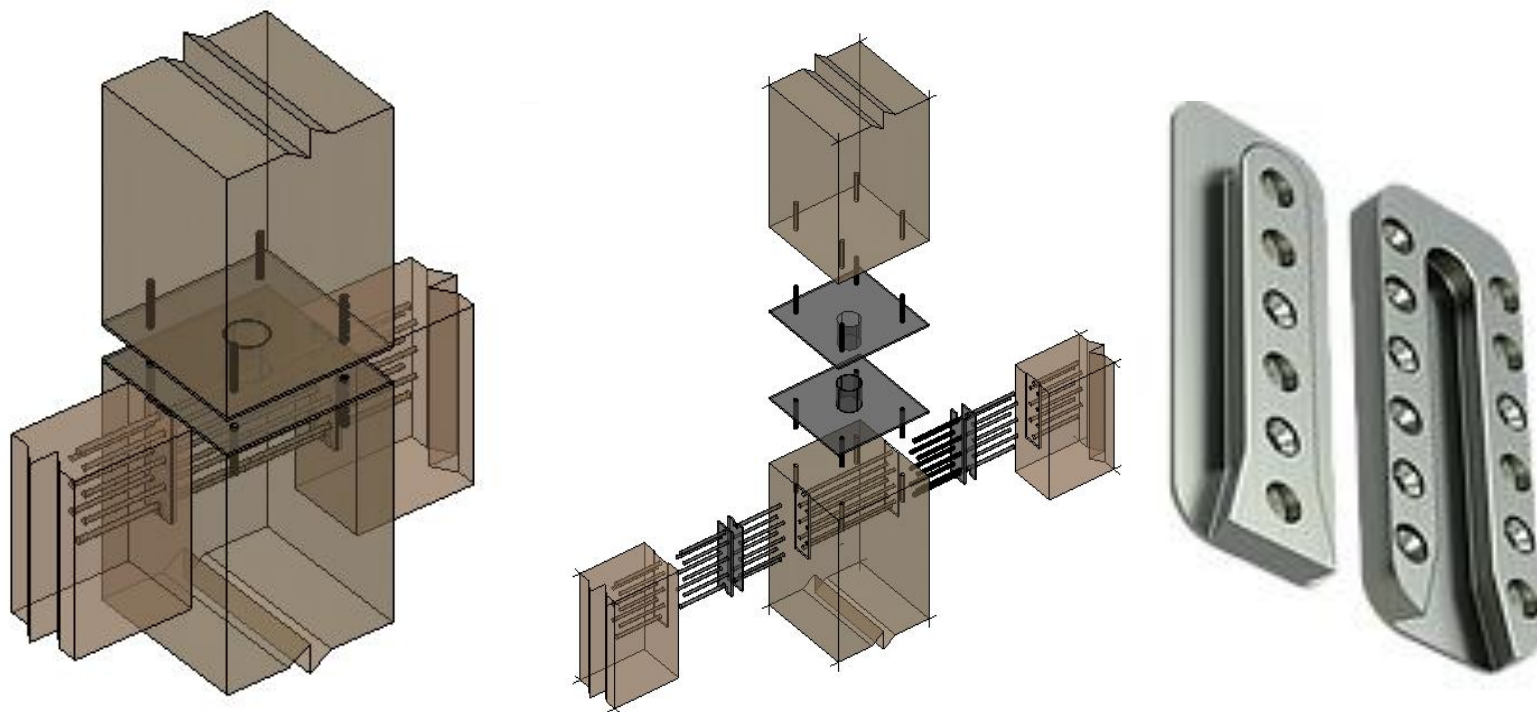
Узел №2 «Фундамент-колонна»



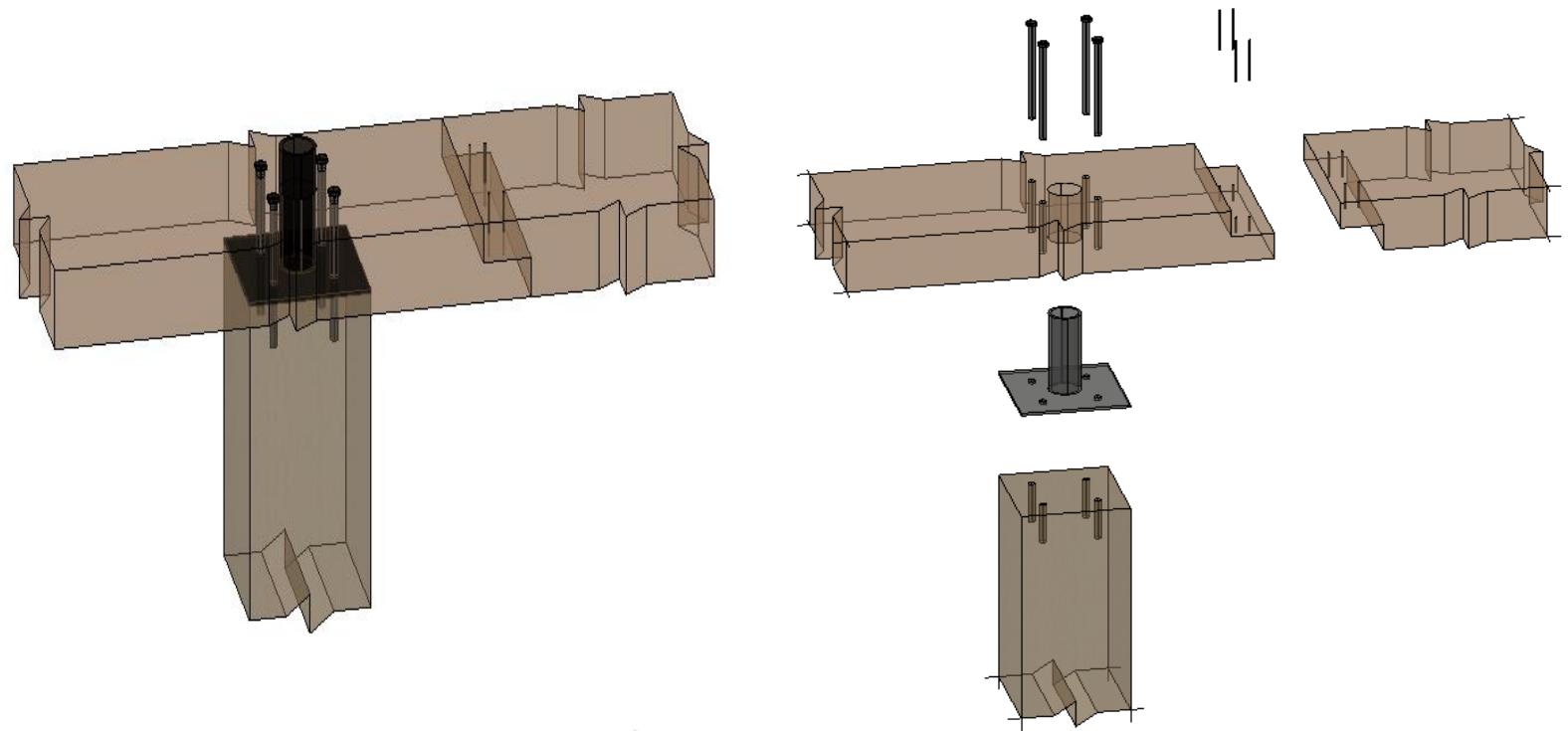
Узел №3 « Колонна-балка-колонна »



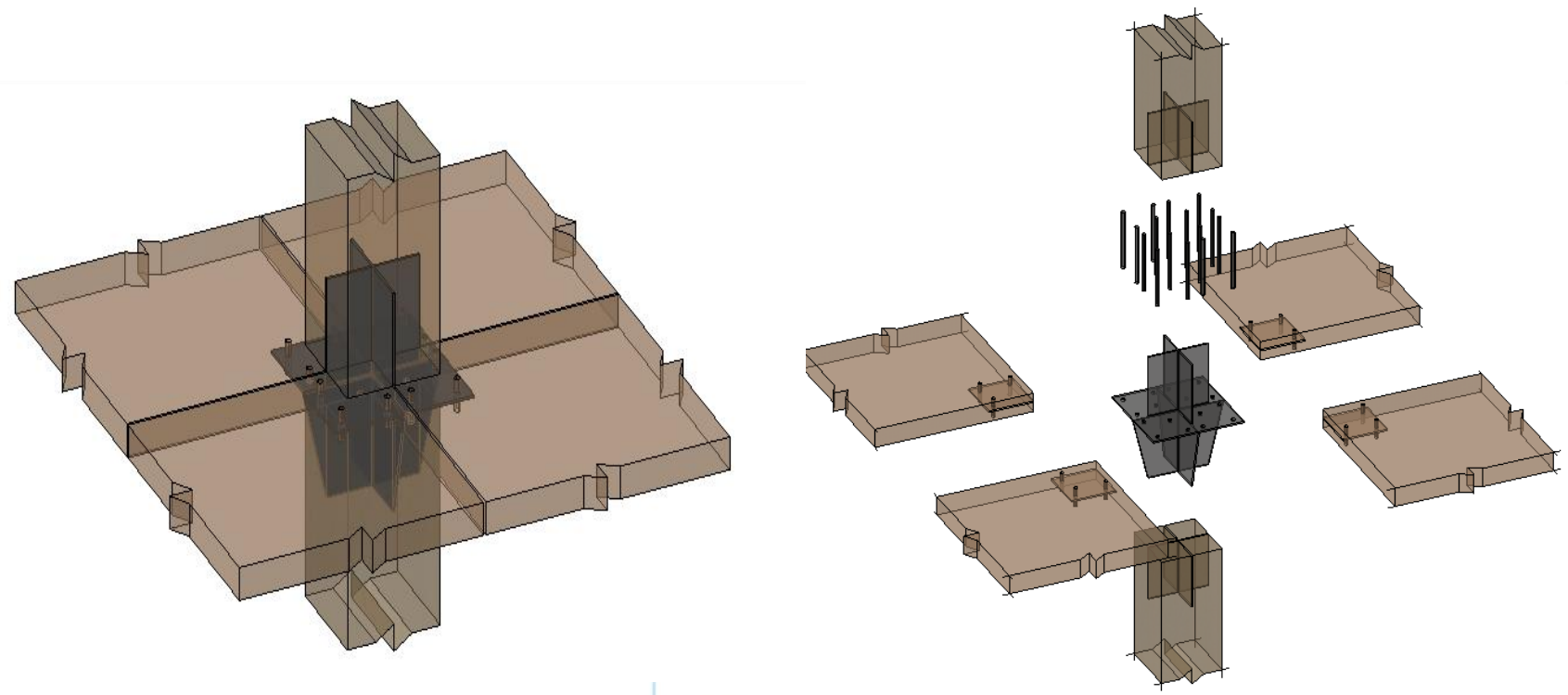
Узел №4 «Колонна-балка»



Узел №5 «Колонна-плита»



Узел №6 «Колонна-плита-колонна»



Экономический анализ

Британские инженеры опубликовали научно-исследовательских отчет «The case for tall wood buildings» в котором выполнен сравнительный сметный расчет строительство многоэтажного дома площадью 9600 м².

Элементы затрат	Бетонные конструкции	Деревянные конструкции с защитой негорючими материалами	Деревянные конструкции с увеличенными размерами сечения
Общие затраты на строительство	23 213 700	24 113 500	23 574 500
Затраты на 0,1 м ² площади (\$)	225	234	228

Австрийская компания TDA выполнили исследование работу на тему «Экономическая целесообразность применение древесины в качестве основного строительного материала».

Загородный 2-х этажный дом	7-этажное офисное здание	Одноэтажный ангар	8-этажный жилой дом
13,9 %	12,4 %	9,4 %	2,2 %

Был произведен сравнительный сметный расчет на возведения каркаса 10-ти этажного жилого дома. По результатам расчетов возведения 1 м² площади каркаса в ценах 2017 года:
 В железобетонном исполнении – 6057,37 руб.
 В деревянном исполнении – 6181,130 руб.

Снижение стоимости строительства деревянных многоэтажных зданий происходит за счет:

- сокращения затрат на возведение фундаментов и работы нулевого цикла;
- сокращения затрат на возведение внутренних стен;
- снижения затрат на грузоподъемные механизмы;
- уменьшения сроков строительства
- меньше необходимости привлечения квалифицированных рабочих;
- уменьшения времени на усадку здания;
- позволяет избежать задержки строительства из-за плохой погоды;
- меньше затрат на подготовку и оборудования стройплощадки;



Выводы

Основные выводы настоящей исследовательской работы:

- 1) Предложены конструктивные системы многоэтажных зданий с применением клеёных деревянных конструкций;
- 2) Выбраны оптимальные размеры зданий жилого назначения в условиях Архангельской области.
- 3) Максимальная эффективная этажность каркаса с продольным расположением ригелей – 23 этажа;
- 4) Максимальная эффективная этажность каркаса с перекрестным расположением ригелей – 25 этажей;
- 5) Максимальная эффективная этажность каркаса с безбалочным перекрытием – 20 этажей.
- 6) Разработаны по 2 новых узла типов стыка «колонна-колонна», «колонна-балка», «колонна-фундамент».
- 7) Выполнено экономическое обоснование строительства многоэтажных зданий из КДК

Судьба первого в России деревянного небоскрёба - дома Суत्याгина



Спасибо за внимание!



СЕВЕРНЫЙ
АРКТИЧЕСКИЙ,
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ М. В. ЛОМОНОСОВА

