

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО УКЛОНА ВЕРХНЕГО ПОЯСА ДЛЯ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Токторалиев Э.Т.<sup>(1)</sup>, Асранкулов Т.<sup>(2)</sup>, Кароолбек к.А.<sup>(3)</sup>, Абуталипов Е.А.<sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup>Доцент Института строительства и инновационных технологий МУИТ, кафедры «СКЗС» КГУСТА им. Н. Исанова, [erkin\\_toktoraliyev@mail.ru](mailto:erkin_toktoraliyev@mail.ru)

<sup>(2)</sup>Магистрант кафедры «СКЗС» КГУСТА им. Н. Исанова,

<sup>(3)</sup>Аспирант Института строительства и инновационных технологий МУИТ, [aika\\_1\\_13@mail.ru](mailto:aika_1_13@mail.ru)

<sup>(4)</sup>Магистрант Института строительства и инновационных технологий МУИТ.

**Аннотация.** Даются общие сведения об оптимизации деревянных конструкций. Изучены преимущества и недостатки клееного деревянного бруса. Проанализированы возможности использования клееных деревянных конструкций.

Приняты во внимание уклон верхнего пояса.

Определены оптимальные габариты клееных деревянных балок.

Сопоставлены различные геометрические размеры для изучаемых конструкций.

**Ключевые слова:** новые строительные материалы, клееные деревянные конструкции; доски, толщина, форма, размер; модуль сдвига, эпюра касательных напряжений, сечение.

## DETERMINATION OF OPTIMAL SLOPE OF TOP CHORD FOR THE TIMBER STRUCTURES

Toktoraliyev E.T., Asrankulov T., Karoolbek k.A., Abutalipov E.A.

**Abstract.** General information on optimizing timber structures is given. The advantages and disadvantages of glued laminated timber beams were studied. The possibilities of using glued laminated timber structures are analyzed.

The slope of the top chord is taken into account.

The optimal dimensions of glued laminated timber beams are determined.

Different geometric dimensions are compared for the studied structures.

**Key words:** new construction materials, glued laminated timber structures; boards, thickness, shape, size; shear modulus, shear stress diagram, and cross section.

## ЖЫГАЧ КОНСТРУКЦИЯЛАРЫНДАГЫ ҮСТҮНКҮ АЛКАГЫНЫН ОПТИМАЛДУУ ЖАНТЫГЫН АНЫКТОО

Токторалиев Э.Т., Асранкулов Т., Кароолбек к.А., Абуталипов Е.А.

**Аннотация.** Жыгач конструкцияларга жалпы маалымат келтирилген. Желимденген брус үчүн артыкчылыктары жана кемчиликтери изилденген. Желимденген жыгач конструкциялардын колдонуу мүмкүнчүлүктөрү талдоого алынган.

Үстүнкү алкактын жатыктыгы эске алынган.

Желимденген жыгач балкалары үчүн оптималдуу габариттери аныкталган.

Изилденген конструкциялар үчүн ар түрдү геометриялык өлчөмдөрү салыштырылган.

**Ачкыч сөздөр:** жаңы куруш материалдар, желимденген жыгач конструкциялар, тайтайдын калыңдыгы, формасы, өлчөмү, жанытма чыңалуу эпюрасы, кесиндиси.

Новые строительные материалы во многом определяют облик современной архитектуры. Выявление эстетических особенностей древесины позволяет создавать яркие, индивидуальные объекты. Для современной деревянной архитектуры определились свои, присущие только этому материалу, формы с богатой пластикой. Поверхности дерева могут быть лаконичны и одновременно выразительны, нейтральны, или, напротив, с ярко выраженной структурой. К тому же, древесина прекрасно сочетается с любыми другими строительными материалами, позволяя воспроизводить сооружения любого архитектурного стиля: от национального (в сочетании с необработанным камнем, глиной, тростником) до хайтека (стоит лишь нарочито небрежно подчеркнуть соединительные узлы и ввести множество металлических деталей) [8].

Конечно же, преимуществом является и сам факт заводского изготовления, которое позволяет достигать высокой точности размеров. К тому же сам процесс строительства значительно упрощается и ускоряется. На стройплощадку поставляются уже полностью готовые к сборке элементы конструкций, нечто, вроде «гигантского конструктора», остается лишь смонтировать и закрепить узлы.

Кроме большепролетных спортивных сооружений (спортивные арены, крытые теннисные корты, бассейны, конноспортивные манежи), все чаще применяется древесина в торговых павильонах, рынках, выставочных залах [4]. Незаменима клееная древесина в мансардном строительстве, где необходимо сочетание легкости конструкции и возможность перекрыть пространство, не загромождая его. В любом помещении клееные элементы позволяют создать незабываемый интерьер.

Фабрика, которой стоит доверять, и которая соблюдает технологию, без напоминания приложит к своей продукции все нужные сертификаты.

Отечественный и зарубежный опыт позволяет выделить рациональные области применения клееных деревянных конструкций. Вообще такими областями являются те, в которых с максимальной эффективностью используются те или иные достоинства или свойства древесины [3].

Из всех строительных материалов древесина отличается наиболее высокими эстетическими и экологическими достоинствами, наиболее выразительной текстурой, «теплотой». Такие свойства необходимы в зданиях и сооружениях общественного назначения, в спортивных сооружениях, где конструкции стремятся оставить открытыми в интерьере.

В ряде случаев это позволяет отказаться от обязательного, например, для каркаса из металла, подвесного потолка. Стоимость подвесного потолка иногда превышает стоимость несущих конструкций. Поэтому благодаря эстетическим и акустическим

свойствам древесины КДК могут использоваться открытыми, что обеспечит и экономическую эффективность [5].

Клееные балки могут перекрывать пролеты до 30 м (по транспортным условиям). Наиболее целесообразно их использовать в строительстве зданий с агрессивной средой [1].

Для изготовления клееных балок используют доски толщиной 33 мм после фрезерования. Стыки досок по длине каждого слоя осуществляют соединение на зубчатый стык по пласти. В склеиваемом пакете досок допускается иметь в одном сечении более 25% слоя со стыками. Стыки крайних слоев досок растянутой зоны однопролетных балок не должны располагаться в средней трети пролета балки [1].

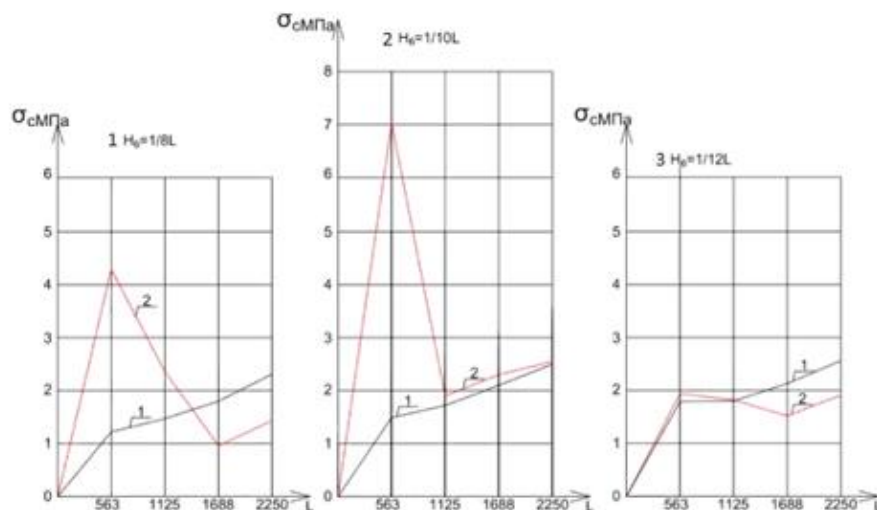
Клееными балками с шарнирным опиранием следует придавать строительный подъем, равной  $1/200$  пролета. При изготовлении балок допускается собирать пакет из древесины двух сортов, используя в крайних зонах на  $0,15$  высоты поперечного сечения более высокий сорт, по которому назначаются расчетные сопротивления ( $R_{и}$ ,  $R_{с}$ ) [2,10].

Клееные балки рассчитывают на прочность при изгибе, сдвиг при изгибе, жесткость и устойчивость плоской формы деформирования. При расчете гнутоклееных балок учитывают радиальные растягивающие напряжения (поперек волокон древесины), возникающие в балке на криволинейных участках [7].

Расчетные сопротивления для всех видов клееных балок умножаются на коэффициент  $m_b$ ,  $m_{сл}$ , в случае гнутоклееных балок, кроме того, на коэффициент,  $m_{гн}$  (Фиг. 1 и 2) [2].

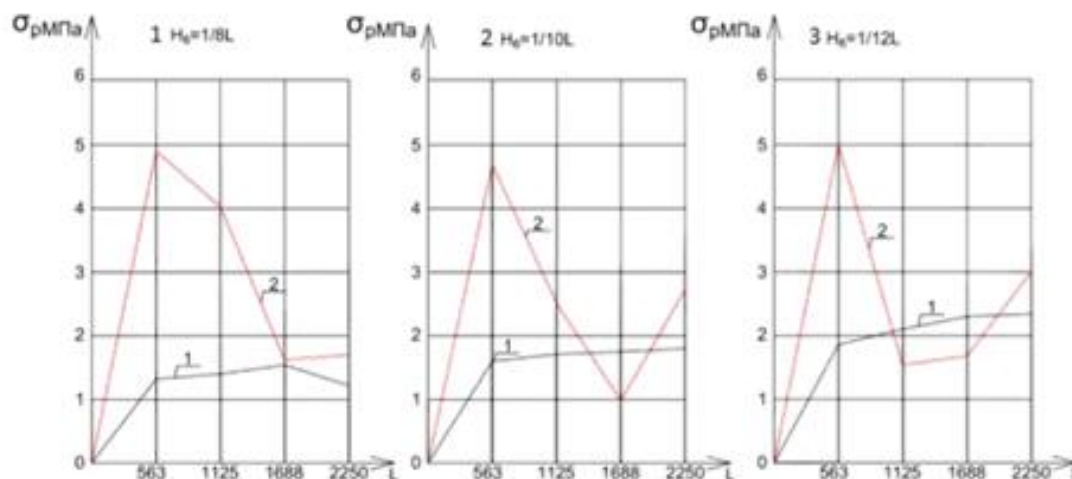
Клееные балки обладают рядом преимуществ перед другими составными балками [8]:

- а) они работают как монолитные;
- б) их можно изготавливать с поперечным сечением большой высоты;
- в) в балках ламели собирают из заготовок с помощью зубчатого минишипа и, следовательно, балки не будут иметь стыка, ослабляющего сечение;
- д) в клееных балках можно рационально размещать доски различного качества по высоте - в наиболее напряженных зонах доски 1-го сорта, в менее напряженных зонах доски 2-го и 3-го сортов.



Фиг. 1 - Главные напряжения в сжатой зоне

Где, 1-значения  $\sigma_c$  полученные при инженерном расчете, 2-значения  $\sigma$  полученные при расчете методами теории упругости по программе "СНИПЛ".



Фиг. 2 - Главные напряжения в растянутой зоне

Где, 1-значения  $\sigma_c$  полученные при инженерном расчете, 2-значения  $\sigma_r$  полученные при расчете методами теории упругости по программе "СНИПЛ".

Клееные балки и клееные стропила применяются для перекрытий при строительстве жилых домов, спортивных залов, стадионов, концертных залов, складских помещений, в составе крыши в качестве коньков, раскосов и т.д. [7].

Конструкции из клееной древесины имеют большую прочность по сравнению с цельной за счет удаления дефектных мест и склеивания в брус ламелей с согласованным расположением годовых колец [6,9].

## Параметры рассчитываемых материалов

Древесина:  $E_x \neq E_y$ ,  $E_x = 10200$  МПа,  $E_y = 10500$  МПа (модули упругости),  
 $G = 500$  МПа (Модуль сдвига),  $\nu = 0,02$  поперек волокон (Коэффициент Пуассона);  
 расчетные сопротивления:  $R_{сж} = 13$  МПа,  $R_p = 7$  МПа,  $R_{ск} = 1,3$  МПа.

Металл: Марка стали - С235 по ТУ-14-1-3023-80; расчетные сопротивления:  
 $R_y = 21$  кН/см<sup>2</sup>

(на растяжение, сжатие, изгиб);  $E = 2,1 \cdot 10^6$  МПа (Модуль упругости),  
 $G = 0,81 \cdot 10^6$  МПа (Модуль сдвига),  $\nu = 0,03$  (Коэффициент Пуассона).

Все параметры равны нулю.

$R = E = G = \nu = 0$ .

По результатам расчета по программе «СНИПЛ» получены следующие таблицы 1, 2, 3 и результаты касательных напряжений в опорной зоне балки на различных расстояниях.

Таблица 1 - Касательные напряжения в опорной зоне балки с уклоном 1/8L

№n/n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	0	0,18	0,36	0,54	0,49	0,43	0,38	0,32	0,27	0,22	0,16	0,1	0,05	0
2	0	0	0,19	0,38	0,57	0,51	0,46	0,4	0,34	0,28	0,23	0,17	0,1	0,05	0
3	0	0	0,2	0,4	0,6	0,54	0,48	0,42	0,36	0,3	0,24	0,18	0,12	0,05	0
4	0	0	0,2	0,41	0,61	0,54	0,48	0,41	0,34	0,27	0,21	0,14	0,07	0	0
5	0	0	0,39	0,6	0,65	0,61	0,55	0,5	0,43	0,36	0,28	0,2	0,1	0	0
6	0	0	0,33	0,57	0,71	0,65	0,58	0,51	0,43	0,36	0,27	0,19	0	0	0

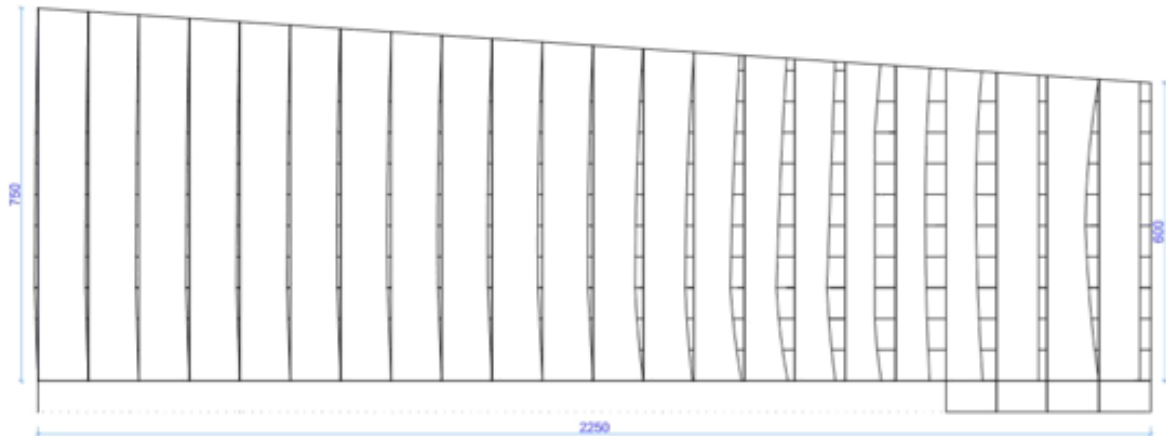
Таблица 2 - Касательные напряжения в опорной зоне балки с уклоном 1/10L

№n/n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0	0	0,22	0,43	0,65	0,65	0,63	0,59	0,54	0,47	0,38	0,27	0,14	0
2	0	0	0,22	0,43	0,65	0,65	0,63	0,59	0,54	0,47	0,38	0,27	0,14	0
3	0	0	0,22	0,43	0,65	0,65	0,63	0,59	0,54	0,47	0,38	0,27	0,14	0
4	0	0	0,22	0,45	0,67	0,67	0,65	0,61	0,55	0,48	0,38	0,27	0,15	0
5	0	0	0,23	0,46	0,69	0,68	0,66	0,62	0,56	0,48	0,39	0,28	0,15	0
6	0	0	0,24	0,47	0,71	0,7	0,68	0,63	0,57	0,49	0,4	0,28	0,15	0

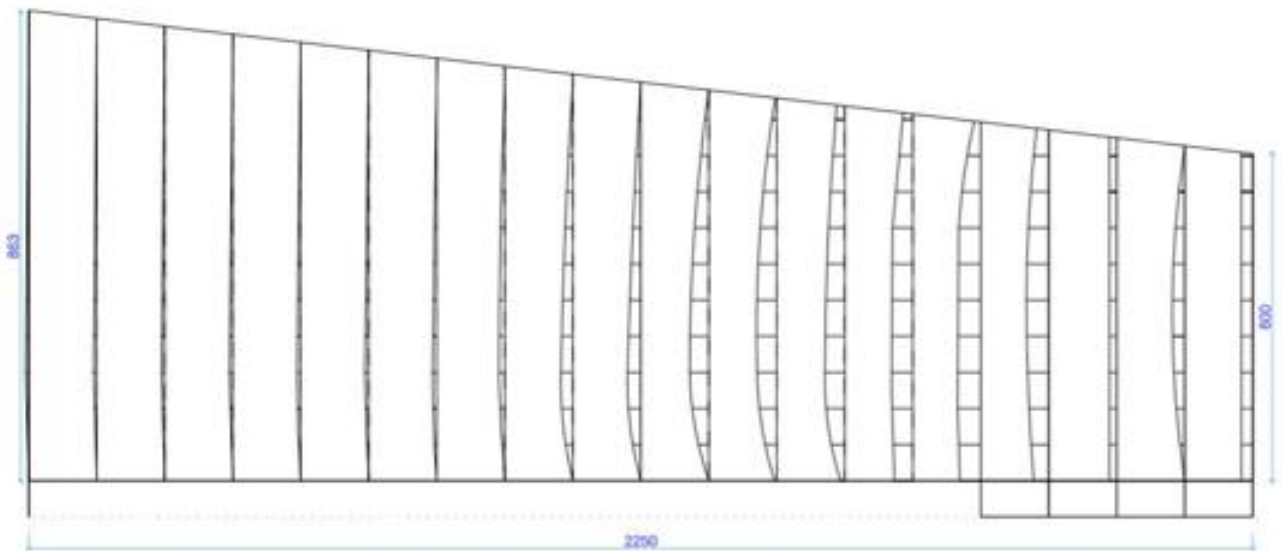
Таблица 3 - Касательные напряжения в опорной зоне балки с уклоном 1/12L

№n/n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0	0	0,45	0,67	0,67	0,64	0,59	0,54	0,48	0,4	0,32	0,22	0,12	0
2	0	0	0,46	0,67	0,67	0,64	0,59	0,54	0,48	0,4	0,32	0,22	0,12	0
3	0	0	0,47	0,67	0,68	0,65	0,6	0,55	0,48	0,41	0,32	0,22	0,12	0
4	0	0	0,49	0,7	0,71	0,8	0,84	0,83	0,77	0,65	0,49	0,27	0	0
5	0	0	0,55	0,79	0,73	0,82	0,86	0,84	0,78	0,66	0,49	0,27	0	0

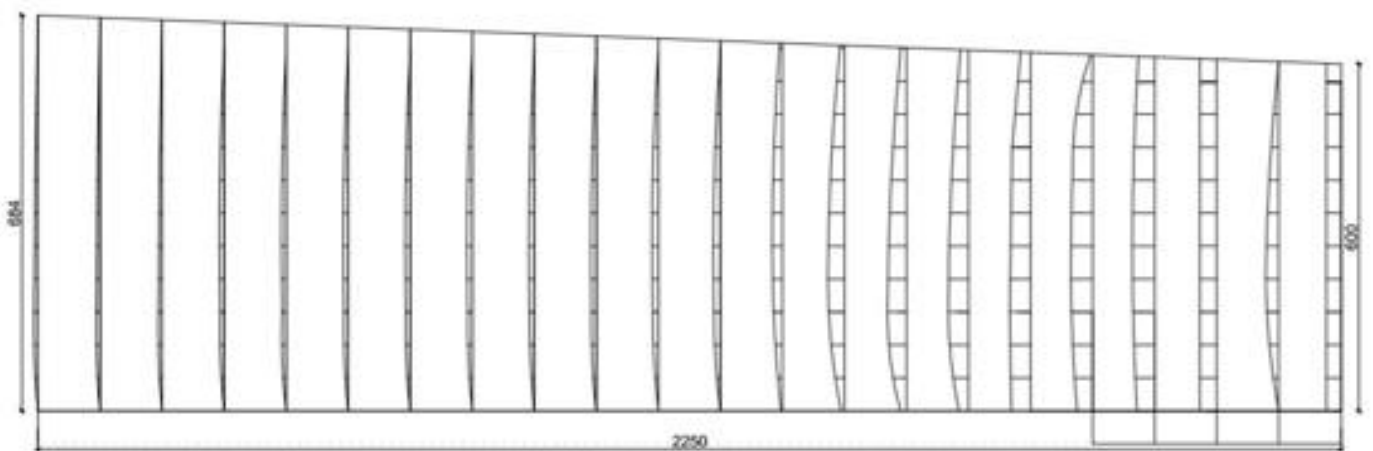
По вышеописанным данным таблиц 1,2 и 3 были построены эпюры касательных напряжений (Фиг. 3, 4 и 5):



Фиг. 3 - Эпюра касательных напряжений для балки высотой  $1/8L$ .



Фиг.4 - Эпюра касательных напряжений для балки высотой  $1/10L$ .



Фиг. 5 - Эпюра касательных напряжений для балки высотой  $1/12L$ .

Проанализировав полученные эпюры касательных напряжений, приходим к выводу, что максимальное значение касательных напряжений зафиксировано на расстоянии 0,563м от опоры.

Производим сравнение эпюр инженерного расчета с эпюрами, полученными по программе (Таблица 4.):

Таблица 4 – Сравнение главных сжимающих и растягивающих напряжений

Главные сжимающие напряжения			
№ балки	$\sigma_{с, инж.}$ (МПа)	$\sigma_{с, МКЭ.}$ (МПа)	$\sigma_{с, инж.}/\sigma_{с, МКЭ.}$ (МПа)
№1 – 1/8L	0, 1.22, 1.47, 1.8, 2.31	0, 4.29, 2.36, 0.96, 1.43	0, 3.52, 1.61, 0.53, 0.62
№1 – 1/10L	0, 1.49, 1.72, 2.1, 2.5	0, 7.05, 1.9, 2.3, 2.55	0, 4.73, 1.1, 1.1, 1.02
№1 – 1/12L	0, 1.79, 1.8, 2.13, 2.56	0, 1.94, 1.82, 1.52, 1.91	0, 1.1, 1.01, 0.71, 0.75
Главные растягивающие напряжения			
№ балки	$\sigma_{р, инж.}$ (МПа)	$\sigma_{с, МКЭ.}$ (МПа)	$\sigma_{р, инж.}/\sigma_{с, МКЭ.}$ (МПа)
№1 – 1/8L	0, 1.32, 1.4, 1.54, 1.22	0, 4.9, 4.03, 1.62, 1.7	0, 3.7, 2.87, 1.05, 1.4
№1 – 1/10L	0, 1.6, 1.71, 1.75, 1.8	0, 4.69, 2.51, 0.98, 2.73	0, 2.9, 1.47, 0.56, 1.5
№1 – 1/12L	0, 1.86, 2.1, 2.3, 2.34	0, 5, 1.54, 1.68, 3	0, 2.7, 0.73, 0.73, 1.28

**Вывод.** Проанализировав полученные главные напряжения в растянутой и сжатой зоне балок, приходим к выводу, что наиболее опасное сечение, как и предполагалось ранее, находится на расстоянии 0,563 м. от опоры. При этом данные инженерного расчета и машинного в балках с уклоном верхнего пояса 1/12L имеют наименьшие расхождения. (см. Фиг.3 и Фиг. 5). Главные сжимающие напряжения имеют расхождение значений в балках с уклоном 1/8L и 1/10L примерно одинаковые, что указывает на возможность разрушения в сжатых зонах таких балок. Главные растягивающие напряжения имеют максимальное расхождение в балках с уклоном 1/10L, что указывает на возможность разрушения таких балок в нижней растянутой зоне на расстоянии 0,563м. В этом сечении, балки с уклоном 1/8L более надежны, хотя расхождение в напряжениях тоже значительное (см. Фиг.3 и Фиг. 5).

## ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- [1] **Вдовин В.М.** Конструкции из дерева и пластмасс [Текст]: учебник/ В.М. Вдовин. – Рн/Д. – 2007. - 344
- [2] **Зубарев Г.Н.** Конструкции из дерева и пластмасс. - М.: Высш. Школа, 2008. - 302 с., ил.
- Зенкевич О., Чанг И.** «Метод конечных элементов в теории сооружений и в механике сплошных сред». Москва 2004г. - 239с.
- [3] **Капустинская И.Ю.** Материаловедение в дизайне. Часть 1. Свойства материалов. Материалы на основе древесины. Природные каменные материалы.

*Материалы на основе металлов [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Капустинская И.Ю., Михальченко М.С. – Электрон. текстовые данные. – Омск: Омский государственный институт сервиса, 2012. – 100 с.*

[4] **Ковальчук Л. М.** Производство деревянных клееных конструкций, - М.:Стройматериалы, 2005. - 336с.

[5] *Конструкции из дерева и пластмасс: учеб. пособие для вузов/ Г.Н. Зубарев, Ф.А. Бойтемиров, В.М. Головина и др.; под ред. Ю.И. Хромца. – 5-е изд., испр. – М.: Академия, 2008. – 304с.*

[6] **Малбиев С.А.** «Конструкции из дерева и пластмасс. Легкие несущие и ограждающие конструкции покрытий из эффективных материалов», - М.: Стройиздат, 2015, с. 137-139.

[7] **Леонтьев Н.Н., Демин И.И.** «Метод конечных элементов в задачах теории сооружений».-М.: МГСУ 2009 г.- 76 с.

[8] **Плешивец А.А.** Основы архитектуры и строительные конструкции [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Плешивец А.А. – Электрон. текстовые данные. – М.: Московский государственный строительный университет, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, 2015. – 105с.

[9] **Семенов К.В.** Конструкции из дерева и пластмасс. Деревянные конструкции [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Семенов К.В., Кононова М.Ю. – Электрон. текстовые данные. – СПб: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2013. – 133с.

[10] **Филимонов Э.В.** и др. Конструкции из дерева и пластмасс. -М.: Издательство ассоциации строительных вузов, 2004. - 426с.