



К вопросу проектирования сложных архитектурных форм из деревянных конструкций, изготовленных методом само-формообразования

Научный руководитель: д.т.н, профессор кафедры МДК, Черных Александр Григорьевич

Студент, магистрант: Аликадиев Мурад Давудович

Метод само-формообразования деревянных конструкций основывается на использовании природных характеристик древесины, таких как её гигроскопичность и анизотропия. Эти свойства позволяют управлять процессом деформации древесины и создавать криволинейные конструкции без применения сложных механических устройств. Ключевым элементом метода является взаимодействие активных и пассивных слоёв древесины, где активные слоёв обеспечивают запрограммированные деформации благодаря изменению влажности, а пассивные слои стабилизируют конструкцию и формируют её окончательную геометрию.

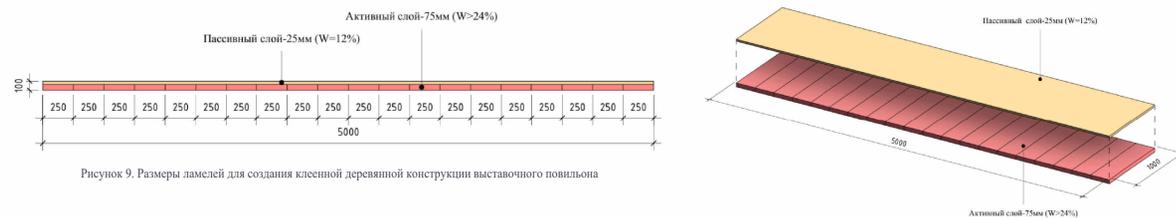


Рисунок 9. Размеры ламелей для создания клееной деревянной конструкции выставочного павильона

Технологический процесс: включает несколько этапов, основное внимание уделяется подготовке и склеиванию слоёв древесины, а также контролю влажности на всех стадиях. На этапе сушки активный слой древесины теряет влагу, вызывая деформации, которые придают конструкции заданную форму. Этот процесс требует точного управления влажностью и тщательного контроля температуры, чтобы избежать дефектов, таких как трещины и искривления.

Для обеспечения точности формы и надёжности конструкции применяется численное моделирование, базирующееся на методе конечных элементов (МКЭ). Программные комплексы, такие как Rhinoceros и Grasshopper, позволяют выполнять параметрическое проектирование и задавать зависимости между физическими параметрами древесины и прогнозируемой геометрией конструкции. Программа Ansys Workbench используется для анализа сложных процессов взаимодействия между слоями древесины при изменении влажности, что особенно важно при проектировании конструкций с большой кривизной.



Рисунок 10. Деформация панели с изменением процента влажности

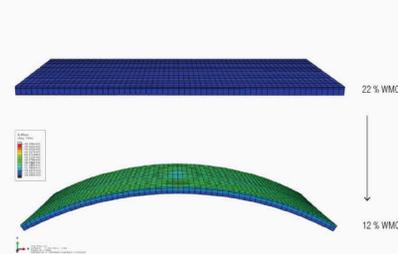


Рисунок 11. Деформация панели с изменением процента влажности

В процессе выполнения демонстрационного проекта выставочного павильона была определена общая архитектурная концепция и произведен подбор сечения клееной деревянной конструкции, определены изополя перемещений на общую устойчивость и в соответствии с методикой СП 64.13330.2017 расчетное сопротивление древесины и древесных материалов, отсортированных по классам прочности, определялось по формуле:

$$R^p = \frac{R^h \cdot m_{дл} \cdot \prod m_i}{\gamma_m}$$

При проектировании и расчете панелей из перекрестно клееной древесины применяются значения характеристической прочности и жесткости ламелей. Для учета системного эффекта, возникающего в панели при изгибе и растяжении, предлагается ввести дополнительно коэффициент условия работ, детерминированный особенностью структуры с чередованием направлений волокон слоев. Коэффициент зависит от напряженной ширины элемента и изменяется в диапазоне от 1 до 1,15 при ширине от 0 до 1,5м соответственно.

Таблица 1

Обозначение	R^A	$m_{дл}$	m_b	m_T	m_6	m_o	$m_{сд}$	$m_{н1}$	$m_{сс}$	$m_{сн}$	$m_{сЛТ}$	γ_m	Результат, МПа
$R_{ск}$ – скальвание вдоль волокон	2,4	1,0	1,0	1,0	1,0	-	0,95	1,0	1,0	-	-	1,25	1,824
$R_{и}$ – изгиб вдоль волокон	19,5	1,0	1,0	1,0	1,0	-	0,95	1,0	1,0	-	-	1,2	15,44

Расчет изгибаемых элементов на прочность по СП 64.13330.2017 проводится по формуле:

$$\sigma \leq R_{и}$$

Условие прочности по скальванию:

$$\tau \leq R_{ск}$$

В данной работе для предварительного прогноза радиуса кривизны были применены формулы исходя из параметров модуля упругости, начального и конечного процента влажности, но для получения точных данных необходимо подтверждение экспериментальными, натурными исследованиями

- Расчет радиуса кривизны
- Изменение влажности
- Сорбционная деформация
- Разница деформаций

$$R = \frac{E_a \cdot h_a + E_p \cdot h_p}{\Delta \epsilon \cdot (E_a + E_p)}$$

$$\Delta \omega = W_{нач} - W_{кон}$$

$$\epsilon_{сорб} = k \cdot (W_{нач} - W_{кон})$$

$$\Delta \epsilon = |\alpha_a \cdot \Delta \omega - \alpha_p \cdot \Delta \omega|$$

Для сжимающих напряжений в продольном направлении:

$$diag \left[\frac{0,33}{E_{с,Р}^2}, \frac{0,33}{E_{с,Т}^2}, \frac{1}{E_{с,Л}}, \frac{0,25}{F_{с,RT}^2}, \frac{0,25}{F_{с,RL}^2}, \frac{0,25}{F_{с,TL}^2} \right]$$

Для сжимающих напряжений в радиальном направлении:

$$diag \left[\frac{1}{E_{с,Р}}, \frac{0,40}{E_{с,Т}}, \frac{-0,25}{E_{с,Л} \cdot F_{с,Л}}, \frac{0,40}{F_{с,RT}^2}, \frac{0,33}{F_{с,RL}^2}, \frac{0,33}{F_{с,TL}^2} \right]$$

Предложен алгоритм проектирования клееных деревянных конструкций, учитывающий особенности древесины, этапы её подготовки, процессы склеивания и сушки. Алгоритм проектирования позволяет прогнозировать конечную форму конструкции и интегрировать этот процесс в общий архитектурный проект. Анализ был проведен на основе разработанного выставочного павильона (рис.2). Основное внимание уделено 5 этапу проектирования, это расчет тепловлажностного режима конструкции где необходимо учитывать начальную и конечную влажность, сорбционную деформацию, разницу деформаций в слоях и определять окончательные велиины напряжений и деформаций клееной деревянной конструкции.

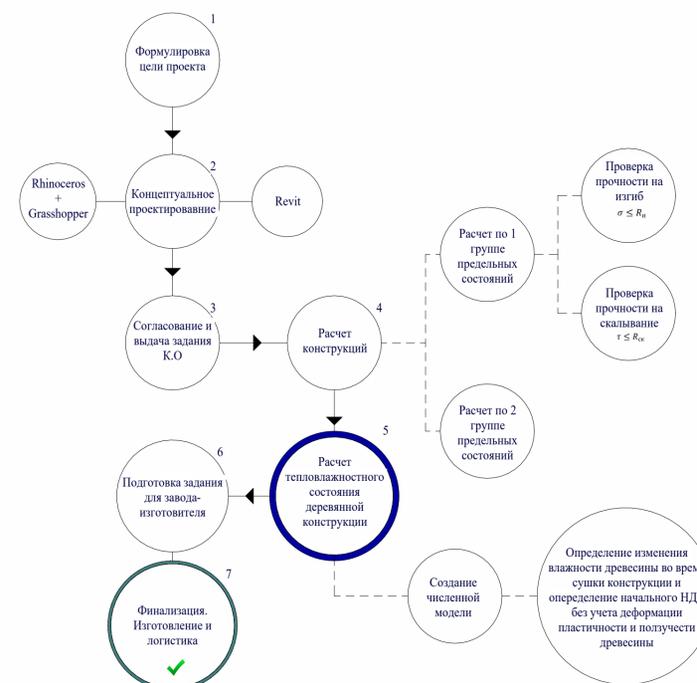


Рисунок 1. Блок-схема. Предложенный алгоритм проектирования.

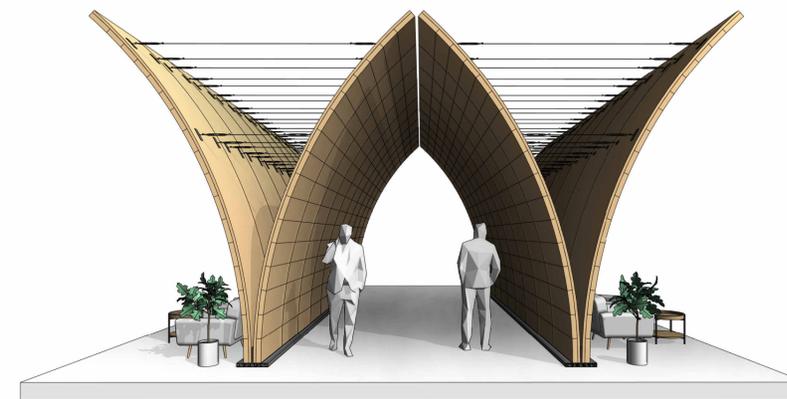


Рисунок 2. Перспективный вид выставочного павильона

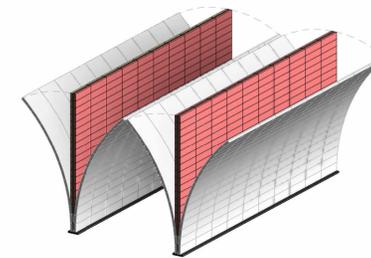


Рисунок 3. Схема конструкции павильона до прогнозируемой деформации

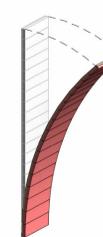


Рисунок 4. Схема деформации одной панели

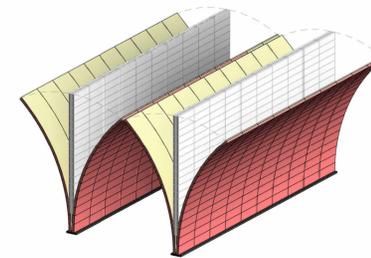


Рисунок 5. Схема после прогнозируемой деформации

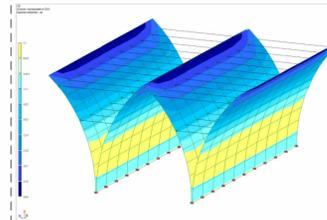


Рисунок 6. Изополя перемещений по оси Z

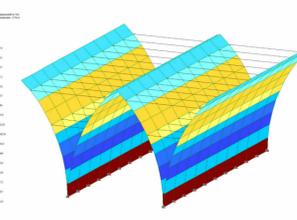


Рисунок 7. Результаты напряжений Mx, тм/м

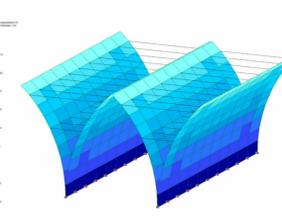


Рисунок 8. Результаты напряжений Nx, тм/м²

Вывод: Разработан алгоритм проектирования клееных деревянных конструкций, учитывающий особенности древесины, этапы её подготовки, процессы склеивания и сушки. Алгоритм позволяет прогнозировать конечную форму конструкции и интегрировать этот процесс в общий архитектурный проект. Указаны основные формулы для определения расчета радиуса кривизны.

Цель исследования:

Целью данной работы является разработка алгоритма проектирования зданий с применением изогнутых клееных деревянных конструкций полученных способом само-формообразования.

Объект исследования:

Клеёные деревянные конструкции криволинейной формы полученные методом само-формообразования

Предмет исследования:

Методы проектирования строительных объектов с применением изогнутых клееных деревянных конструкций полученных методом само-образования

Задачи исследования:

1. Изучить физико-механические свойства древесины и клеевых соединений, влияющих на процесс само-формообразования, и их влияние на конечную форму конструкции.
2. Провести анализ существующих методов моделирования клеёных деревянных конструкций и изучить подходы к управлению деформациями древесины при изменении влажности.
3. Изучить подходы к численной модели, способную предсказывать кривизну и деформацию клеёных деревянных конструкций на основе изменения начальной и конечной влажности.
4. Разработать алгоритм и выполнить проектирование объекта сложной архитектурной формы с применением изогнутых клееных деревянных конструкций изготовленных биометрическим методом само-формообразованием.

Аннотация:

В работе рассматривается метод само-формообразования деревянных конструкций, основанный на гигроскопичных свойствах древесины, для создания сложных архитектурных форм. Проведён анализ конструктивных особенностей метода само-формообразования.

