

Исследование теплопроводности клееных деревянных брусьев методом имитационного моделирования

Данилов Ю.П., Теплов Р.Н.

Костромской государственный технологический университет

Аннотация. Вследствие наличия сучков теплопроводность клееного бруса неравномерна по длине. Теплопроводность сучков в 3 – 4 раза выше теплопроводности древесины. Поэтому в случае совпадения положения крупных сучков во внутренних ламелях, в бруске могут возникать участки с повышенной теплопроводностью («мостики холода»). В статье излагаются результаты изучения вероятности образования «мостиков холода» в клееных брусках различной конструкции. Исследование проводилось методом имитационного моделирования.

Ключевые слова: деревянное домостроение, клееный деревянный брус, теплопроводность древесины, пороки древесины, имитационное моделирование, имитационная модель

В настоящее время в домостроении получил широкое распространение стеновой клееный деревянный брус (КДБ). Этот материал получается путем склеивания нескольких слоев пиломатериалов (ламелей), причем в наружных слоях применяются высококачественные пиломатериалы, почти без сучков, а для внутренних слоев – ламели с более низкими требованиями к качеству древесины.

Величина коэффициента теплопроводности древесины при прочих равных условиях зависит от направления теплового потока относительно волокон древесины. Известно, что теплопроводность древесины вдоль волокон примерно в 2,2 – 3 раза больше, чем в радиальном направлении [1]. Кроме того, плотность древесины сосновых сучков составляет $\rho_c=600 \text{ кг/м}^3$, что выше плотности чистой древесины сосны, равной $\rho_{др}=400 \text{ кг/м}^3$. Таким обра-

зом, коэффициент теплопроводности древесины сучков в продольном направлении 3-4 раза выше коэффициента теплопроводности обычной древесины в радиальном направлении. В чистовой древесине КДБ тепловой поток проходит в радиальном, относительно волоком, направлении, а в сучках – в продольном. Поэтому, если в смежных внутренних ламелях положение сучков совпадет, может образоваться «мостик холода», т.е. участок КДБ, где теплопроводность значительно выше, чем на соседних участках. В этом случае в холодное время года на внутренней поверхности стены в этих точках может произойти конденсация пара и образуются потеки воды, способствующие загниванию древесины и разрушению лакокрасочного покрытия. На кафедре МТД КГТУ была проведена работа по определению вероятности появления «мостиков холода» в КДБ различной конструкции.

Как известно, в растущем дереве выделяют три зоны расположения сучков: I – бессучковая зона, II – зона отмерших сучков, III – зона здоровых сучков (см. рис 1). В комлевой части ствола I присутствует небольшое количество сучков малых размеров, по мере движения от комля к вершине к ствола (к зонам II и III) количество сучков и их размеры увеличиваются, а расстояние между сучками (у хвойных пород между мутовками) – уменьшаются.

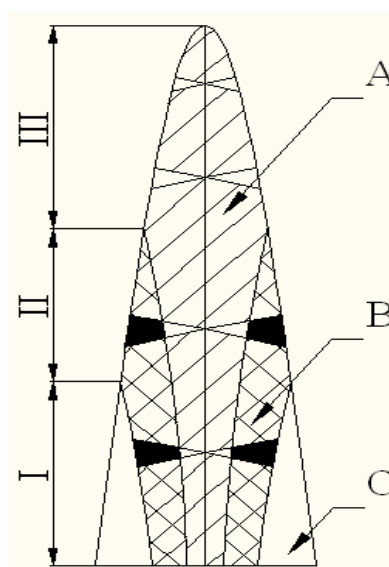


Рис. 1. Общие закономерности пороков в бревнах

номерности располо-

А – зона живых сучков; В – зона отмерших сучков; С – бессучковая зона.

При раскрое хлыстов на бревна и бревен на доски эта закономерность сохраняется. Однако, в дальнейшем из досок вырезают недопустимые дефекты, т.е. практически производится их раскрой на бездефектные участки (БДУ). Полученные БДУ склеиваются между собой по длине в случайном порядке в непрерывную ленту, которая раскраивается на ламели заданной длины. Полученные ламели склеиваются пластами в КДБ. Таким образом, установить теоретическим путем распределение сучков в готовом брусе невозможно. Проведение натурных экспериментов по определению вероятности образования «мостиков холода» в КДБ потребует очень больших затрат труда и времени, а также потребует вмешательства в технологический процесс. Кроме того, результаты эксперимента будут верны только для конкретной партии пиломатериалов и не позволят оценить влияние различных технологических и природных факторов на теплопроводность КДБ. Наиболее эффективным в таких случаях методом исследований является имитационное моделирование.

Имитационное моделирование - это метод исследования, при котором изучаемая система заменяется моделью, с достаточной точностью описывающей реальную систему и с ней проводятся эксперименты с целью получения информации об этой системе. Экспериментирование с моделью называют имитацией (имитация – это постижение сути явления, не прибегая к экспериментам на реальном объекте).

Имитационная модель – логико-математическое описание объекта, которое может быть использовано для экспериментирования на компьютере в целях проектирования, анализа и оценки функционирования объекта.

К имитационному моделированию прибегают, когда:

- дорого или невозможно экспериментировать на реальном объекте;
- невозможно построить аналитическую модель: в системе есть время, причинные связи, последствие, нелинейности, стохастические (случайные) переменные;
- необходимо симитировать поведение системы во времени.

Цель имитационного моделирования состоит в воспроизведении поведения исследуемой системы на основе результатов анализа наиболее существенных взаимосвязей между ее элементами или другими словами — разработке симулятора исследуемой предметной области для проведения различных экспериментов.

Для достижения поставленной в работе цели необходимо решить следующие задачи:

1. Построить адекватную модель процесса изменения параметров сучковатости древесных сортиментов в ходе технологического процесса изготовления КДБ.
2. Оценить вероятность появления «мостика холода» в КДБ, образованных из ламелей разного качества.
3. Определить вероятность появления «мостика холода» на определенном количестве брусьев.

Задача построения адекватной имитационной модели процесса изменения параметров сучковатости древесных сортиментов в ходе технологического процесса изготовления КДБ решена авторами ранее [2]. В ходе построения имитационной модели установлено, что распределения размеров сучков, расстояний между ними и удаления сучков на пластьях сортиментов подчиняются закону Вейбулла, но имеют различные параметры для каждого вида сортимента. Параметры распределения характеристик сучковатости досок и ламелей представлены в таблице 1.

При решении второй и третьей задачи исследования необходимо рассмотреть три возможные схемы сборки ламелей в брус распространенного сечения 160*135 мм:

1. Четырехслойный брус с внутренними и наружными слоями из ламелей сорта А толщиной 40 мм (см. рис 2).
2. Четырехслойный брус с внутренними слоями из ламелей сорта Б и наружными – сорта А. Толщина всех ламелей 40 мм (см. рис 2).

3. Пятислойный брус с тремя внутренними слоями из ламелей сорта Б толщиной 40 мм и наружными слоями из ламелей сорта А толщиной 20 мм (см. рис 3).

Таблица 1

Параметры распределения Вейбулла характеристик сучковатости древесных сортиментов

Исследуемый сортимент	Характеристики сучковатости	Параметр формы, А	Параметр масштаба, В
Доски	Диаметры сучков	2,2	22,8
	Расстояние между сучками	1,25	355
	Удаление сучков от кромки доски	2	0,5
Ламели сорта А	Диаметры сучков	2,2	20,8
	Расстояние между сучками	1,26	375
	Удаление сучков от кромки ламели	2,1	0,5
Ламели сорта Б	Диаметры сучков	2,5	20
	Расстояние между сучками	1,25	372
	Удаление сучков от кромки ламели	2,12	0,528

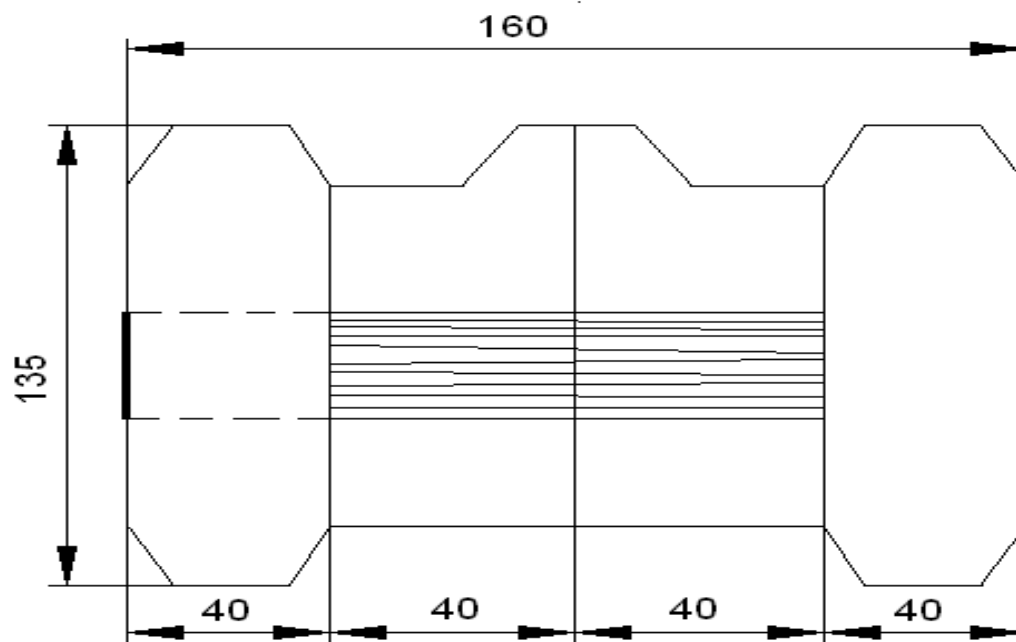


Рис. 2. Схема сборки четырехслойного КДБ

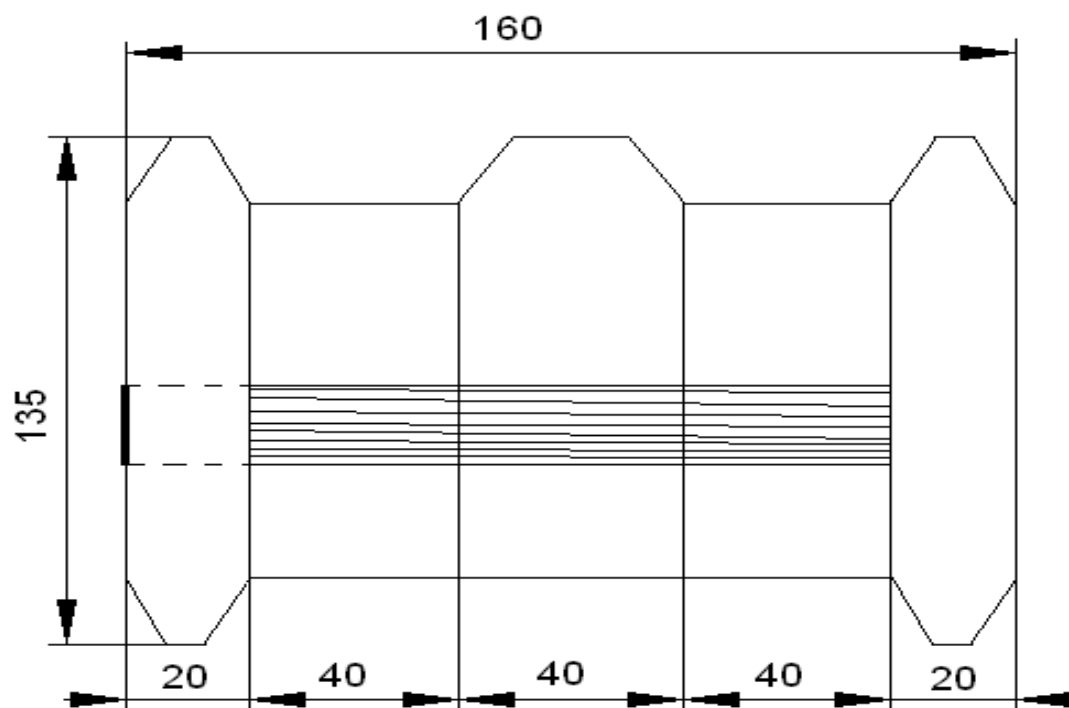


Рис. 3. Схема сборки пятислойного КДБ

Как видно из рисунков 2 и 3 «мостик холода» образуется в том случае, когда во внутренних ламелях совпадет положение двух (схема сборки 1 и 2) или трех сучков (схема сборки 3). С практической точки зрения для того, чтобы на внутренней поверхности бруса температура упала ниже точки росы и на его поверхности образовался конденсат, необходим достаточно мощный теплообмен между внутренней и наружной поверхностями бруса. Кроме того, вероятность полного совпадения поперечного сечения двух и более сучков практически равна нулю. Поэтому в наших исследованиях в качестве «мостика холода» принимались участки КДБ, во внутренних смежных слоях которых произошло перекрытие сучков диаметром более 20 мм и величина перекрытия при этом составляет более 15 мм.

Требования к качеству древесины ламелей сорта А и Б приведены в табл.2.

Для проведения эксперимента были сформированы 400 моделей ламелей сорта А и 300 ламелей сорта Б сечением 135*160 мм и длиной 9 м. Из виртуальных ламелей отобранных формировались модели КДБ по трем ука-

занным выше схемам сборки. Таким образом были сформированы 100 виртуальных брусьев, состоящих из четырех ламелей сорта А, 100 виртуальных брусьев, состоящих из двух внутренних ламелей толщиной 40 мм сорта Б и двух наружных ламелей толщиной 40 мм сорта А, 100 виртуальных брусьев, состоящих из трех внутренних ламелей толщиной 40 мм сорта Б и двух наружных ламелей толщиной 20 мм сорта А.

Таблица 2

Нормы допуска пороков древесины в ламелях для КДБ

Показатель, признак, порок его расположения	Предельное значение показателя	
	в ламелях сорта А	в ламелях сорта Б
1. Сучки сросшиеся, здоровые: - размер неучитываемых сучков (кроме групповых), не более мм; - допускаемый размер сучков; мм/ количество на 1 м длины на пласть не более. На кромках обрезных ламелей размер, % толщины.	25	30
	25/3	50
	25/2	50
2. Сучки, частично сросшиеся и несросшиеся, здоровые: допускаемые размеры сучков (сумма размеров сучков) на пласть, не более, мм.	30	50
3. Сучки выпадающие, загнившие, гнилые и табачные: допускаемый размер сучков (сумма размеров сучков), мм/ количество на 1 м длины не более;	25/1	30
4. Трещины пластевые и кромочные, сквозные, в том числе выходящие на торец, % длины ламелей	10	
5. Прорость, длины и ширины, % длины и ширины ламелей не более: односторонняя, сквозная.	Не допускается	10
	Не допускается	10
6. Сердцевина	Не допускается	Не более 20% длины ламели
7. Грибные окраски, синева, побурение, плесень: % от площади пласти ламелей не более:	Не допускается	5
8. Червоточина, кол-во отверстий на 1 м длины ламелей	Не допускается	1
9. Обзол острый, % от длины ламелей не более:	Не допускается	10
10. Покоробленность продольная по пласти и кромке, крыловатость, % от длины ламелей не более:	1	1
11. Покоробленность поперечная, % от ширины ламелей не более:	1	1
12. Отклонения от номинальных размеров, мм: – длина, – ширина, – толщина.	Не регламентируется	Не регламентируется
	+ 3	+ 3
	+ 2	+ 2

Затем с помощью пакета прикладных программ Excel была проведена проверка наличия перекрытия сучков, т.е. «мостиков холода». Для первой и

второй схемы сборки КДБ проверялось перекрытие сучков в двух внутренних ламелях, для третьей схемы сборки КДБ – в трех внутренних ламелях.

В результате проведенного исследования установлено:

1. В 100 КДБ, собранных из четырех ламелей сорта А (по первой схеме сборки) «мостиков холода» не выявлено.

2. В 100 КДБ, собранных из трех внутренних ламелей толщиной 40 мм сорта Б и двух наружных ламелей толщиной 20 мм сорта А (по третьей схеме сборки) выявлен один «мостик холода».

3. В 100 КДБ, собранных из двух внутренних ламелей толщиной 40 мм сорта Б и двух наружных ламелей толщиной 40 мм сорта А (по второй схеме сборки) выявлено пять случаев перекрытия сучков, два из которых можно признать «мостиком холода» (строки 1 и 3 табл. 3). Результаты расчетов величины перекрытия сучков («мостиком холода») для второй схемы сборки приведены в таблице 3.

Таблица 3

Оценка возможности появления «мостика холода» при формировании четырехслойного бруса с центральными слоями из ламелей сорта Б

Номер перекрытия	Номера ламелей	Номер сучка на первой ламели	Номер сучка на второй ламели	Диаметр сучка, мм		Удаление от торца, мм		Удаление от кромки, мм		Величина перекрытия, мм
				на первой ламели	на второй ламели	на первой ламели	на второй ламели	на первой ламели	на второй ламели	
1	67, 68	2	7	21,0508	23,2462	1125,52	1125,88	31,3960	33,025	19,0
2	75, 76	2	2	21,1623	37,3128	536,734	516,516	64,6735	39,568	8,3
3	143, 144	16	10	25,6255	23,4439	2396,24	2390,19	56,4177	55,506	17,1
4	163, 164	2	1	37,3128	35,3240	516,516	544,719	39,5688	33,243	8,14
5	183, 184	29	32	28,2749	35,8373	7006,59	7003,11	127,535	99,006	7,31

По итогам выполненной работы можно сделать следующий вывод: для строительства домов из КДБ в Костромской области и южнее (где температура самой холодной пятидневки -29 °С и выше) вполне подойдет четырехслойный брус с центральными слоями из ламелей сорта Б, т.к. при этих

условиях даже на участках с «мостиками холода» температура на внутренней поверхности стены не опустится ниже точки росы, а значит и потеков влаги наблюдаться не будет.

Для района Вологодской области и севернее (где температура самой холодной пятидневки ниже -31°C) предлагается два варианта формирования стенового клееного бруса: четырехслойный с центральными слоями из ламелей сорта А и пятислойный с центральными слоями из ламелей сорта Б.

Список использованных источников

1. Серговский П.С., Расев А.Н. Гидротермическая обработка и консервирование древесины : учебник для вузов / П.С. Серговский, А.Н. Расев – М.: Лесная пр-сть, 1987 – 432 с.
2. Данилов Ю.П., Теплов Р.Н. Разработка имитационной модели сучковатости клееных деревянных брусьев / Ю.П. Данилов, Теплов Р.Н.// Научные труды молодых ученых КГТУ. – Кострома: КГТУ, 2012. – Вып. 13. – с. 86-90

Danilov Y. P., Teplov R.N.