**Физико-механические свойства термомодифицированной древесины**

В связи со снижением конкурентоспособности древесины разрабатываются новые технологии по ее переработке. Одной из таких технологий является создание термически модифицированной древесины.

Условимся называть древесину, не подвергшуюся термообработке – обычной древесиной.

Термомодифицированная древесина и изделия из нее представлены во многих странах, это: США, Канада, Япония, Китай, Турция, Франция, Финляндия, Латвия, Украина и Россия.

Такая древесина нашла применение во внешней и внутренней отделке помещений, изготовлении мебели, полов, лестниц.

****

Рис.1. Термически модифицированная древесина БЕРЕЗЫ.

Что касается технологии изготовления термомодифицированной древесины, то в Европе в основном используются категории обработки древесины S = 180°С и D = 220°С, внедренные финскими специалистами.

На отечественном рынке представлена установка СПВТ (сушилка пиломатериалов вакуумная тепловая), которая работает по 4 категориям термообработки.

A = 165 °С

B = 175 °С

С = 185 °С

D = 195 °С

Целью работы является исследование физико-механических свойств хвойных и лиственных пород древесины, подвергнутых термической обработке на отечественной установке СПВТ при температурах от 165 °С до 195°С и времени выдержки от 5 до 24 часов. А также сравнение полученных показателей с результатами аналогичных исследований немодифицированной древесины.

В качестве исходного материала исследования были взяты:

1. Неокоренные бревна сосны (*Pinus Sylvestris*) диаметром от 120 мм до 280 мм, как свежеспиленные так и выдержанные на открытом воздухе, пораженные синевой и частично грибами. С начальной влажность от 30% до 65%. Бревна сушились в форсированном режиме за 7 суток (140 гр С ). Затем из части бревен были выпилены необходимые образцы, (образцы были выпилены до сушки) а другая часть подвергалась термической обработке при температуре 195 °С в течении 24 часов.

Место обработки - пгт Навля, Брянская область, фирма «Леско».



**Рис.2. Сушка и термообработка неокоренных бревен сосны диаметром от 180 до 280 мм на установке СПВТ-20.**

****

**Рис.3. Бревно оцилиндрованное термообработаное, сосна диаметр 150 мм с лева , 200 мм с права.**

1. Березовые (*Betula pendula*) и еловые пиломатериалы толщиной 40-50 мм. Древесина сушилась при мягких режимах при температуре 70 °С в вакууме, срок сушки 12 суток. Затем из части досок были выпилены необходимые образцы, (образцы были выпилены до сушки ) а другая часть подвергалась термообработке в течение 12 часов при температуре 175 °С.

Тверская область, ПГТ Озерки, ИП Ипатьев А.В.





**Рис.4. Сушка и термообработка обрезной и не обрезной доски березы на установке СПВТ-12.**

В ходе работы предполагается проведение следующих испытаний древесины:

* определение влажности;
* определение предела прочности при сжатии вдоль волокон;
* определение предела прочности при статическом изгибе;
* определение ударной вязкости при изгибе;
* определение статической твердости;
* определение влагопоглощения;
* определение водопоглощения.

Заготовка, метод отбора и изготовление образцов проводится в соответствии с ГОСТ 16483.0-89. Минимальное количество испытываемых образцов *nmin* вычисляют по формуле

где *V* – коэффициент вариации свойства древесины, %;

*γ* – требуемая доверительная вероятность;

*t*γ – квантиль распределения Стьюдента;

*εγ* – относительная точность определения выборочного среднего с доверительной вероятностью γ;

В таблице 1 сведены данные по расчету минимального количества испытываемых образцов.

Таблица 1

Расчет числа опытов для проведения испытаний

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вид испытания | Коэффициент вариации по ГОСТ  16483.0-89 | Доверительная вероятность | Квантиль распределения Сьюдента | Относительная точность определения выборочного среднего | Число опытов, расчетное/принятое |
| *V*, % | γ | *t*γ | *ε* ,% | шт |
| Определение влажности | 5 | 0,95 | 2,571 | 5 | 5 |
| Определение предела прочности при сжатии вдоль волокон | 13 | 0,95 | 2,048 | 5 | 29/30 |
| Определение предела прочности при статическом изгибе | 15 | 0,95 | 1,645 | 5 | 25/50 |
| Ударная вязкость при изгибе | 32 | 0,90 | 1,645 | 10 | 28/50 |
| Статическая твердость | 17 | 0,95 | 1,645 | 5 | 30/50 |
| Определение влагопоглощения | 10 | 0,95 | 2,262 | 5 | 21/30 |
| Определение водопоглощения | 10 | 0,95 | 2,262 | 5 | 21/30 |

После испытаний определяют фактическую влажность и при необходимости плотность образцов.

Минимальное количество образцов (*nω*) для определения их средней влажности должно быть не менее трех и вычисляться по формуле

где *nmin* количество испытанных образцов для определения свойств древесины с коэффициентом вариации *V*;

*Vω* – коэффициент вариации влажности образцов (если нет других данных, допускается принимать равным 5%).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Порода древесины | **Влажность** W, % | |
| термо древесина  *число образцов* 10 шт. | обычная древесина  *число образцов* 10 шт. |
| Сосна | 2,26 | 10,14 |
| Береза | 2,8 | 7,4 |
| Ель | 5,76 | 7,34 |

В нашем случае, хотя влажность термодревесины существенно ниже 12% и не достигает в процессе эксплуатации таковой, результаты исследований приводятся к влажности 12% с целью сравнения с данными по натуральной древесине.

Показатели свойств древесины рассчитывают по формулам, приведенным в стандартах на соответствующие методы испытаний.

Результаты испытаний и расчетов записывают в протокол испытаний, формы которых приведены в ГОСТах на соответствующие виды испытаний.

**Определение предела прочности древесины при сжатии вдоль волокон**

Испытание проводится в соответствии с ГОСТ 16483.10-73. Для испытания применяют образцы в виде прямоугольной призмы основанием 20х20 мм и длиной вдоль волокон 30 мм (рис 4.4.1.). Испытательная машина ZD10/90.

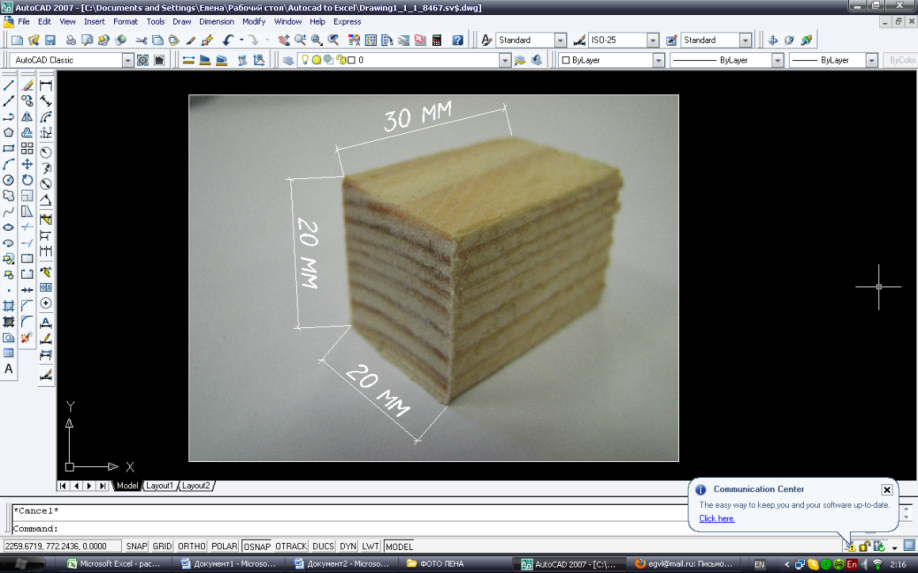
 

Рис 5. Образцы для исследования предела прочности при сжатии вдоль волокон.

Фактические поперечные размеры *a* и *b* определяют с погрешностью 0,1 мм на уровне половины высоты образца. Испытания проводят с помощью приспособления указанного на рис 4.4.2.

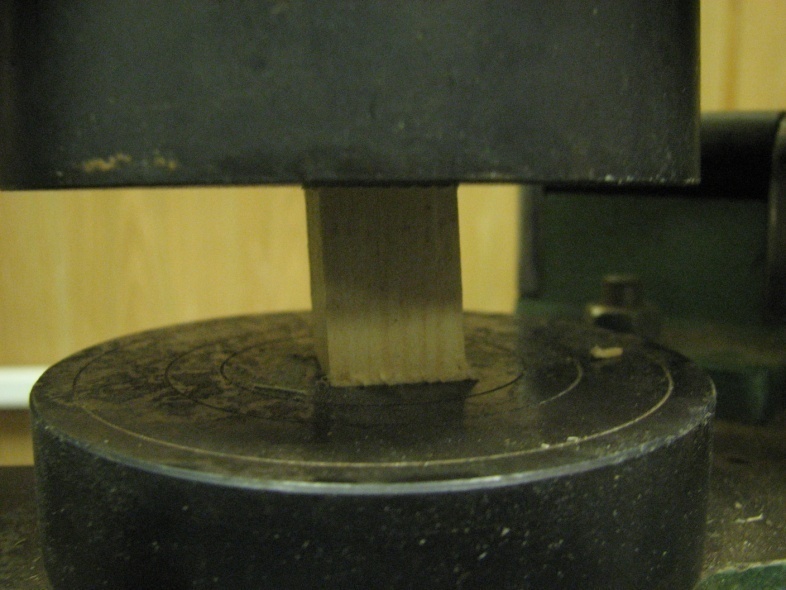
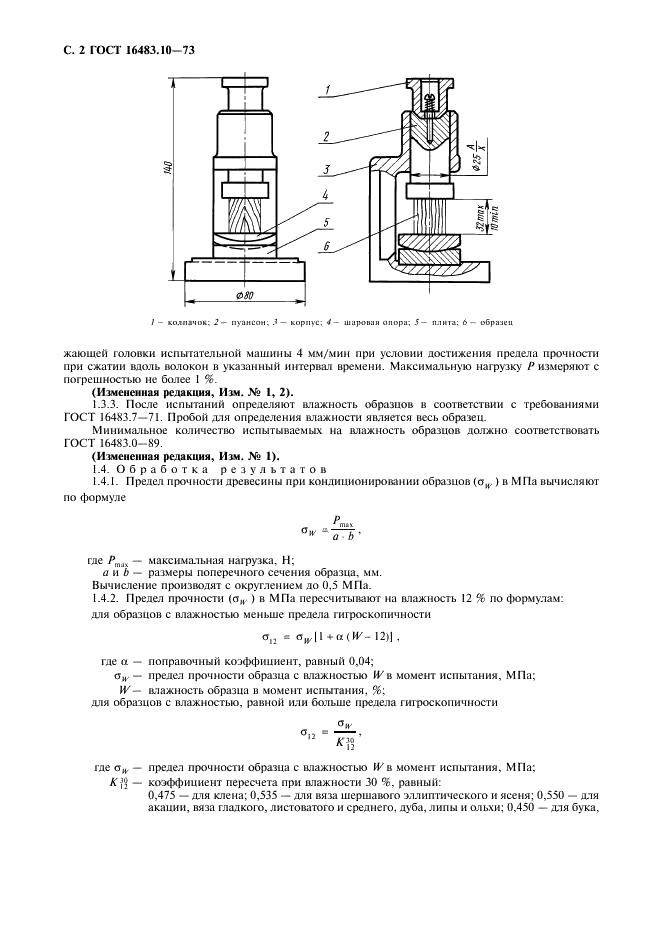


Рис 6. Установка для проведения испытаний на сжатие вдоль волокон.

Предел прочности *σW ,* МПа вычисляют по формуле

где - максимальная нагрузка, Н;

*a* и *b* – поперечные размеры образца, мм.

**Определение прочности древесины при статическом изгибе**

Испытание проводится в соответствии с ГОСТ 16483.3-73. Для испытания применяют образцы в виде прямоугольной основанием 20х20 мм и длиной вдоль волокон 300 мм. Испытательная машина ZD10/90.

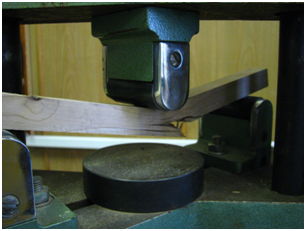
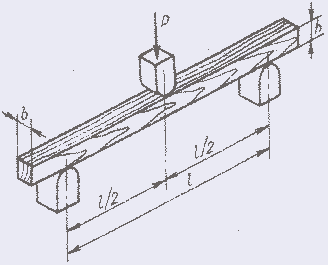


Рис 7. Схема и внешний вид испытаний древесины на статический изгиб.

Испытание продолжаем до разрушения образца, определяя максимальную нагрузку. Определив максимальную нагрузку, был вычисляется предел прочности, МПа, по формуле



где - максимальная нагрузка, Н;

l – расстояние между центрами опор, равное 240 мм;

*b* – ширина образца, мм.

*h* – высота образца, мм.

**Ударная вязкость древесины**

Испытание проводится в соответствии с ГОСТ 16483.4-73. Образцы изготовляют в форме прямоугольного бруска сечением 20х20 мм и длиной вдоль волокон 300 мм.



Рис 8. Внешний вид испытаний древесины на статический изгиб.

После проведения испытания ударную вязкость (*AW* ) в Дж/см2 вычисляют по формуле

где *Q* - работа, затраченная на излом образца, Дж;

*b* - ширина образца, см;

*h* - высота образца, см.

Вычисление производят с округлением до 0,1 Дж/см2.

**Статическая твердость древесины**

Испытание проводится в соответствии с ГОСТ 16483.17-81. Статическую твердость определяют на поверхностях тангентального, радиального и поперечного разрезов древесины.

Образцы изготовляют в форме прямоугольной призмы сечением 50х50 мм и длиной вдоль волокон 50 мм.



После испытания статическую твердость  образца при влажности (*W)* в момент испытания при заглублении 5,64 мм вычисляют в Н/мм2 по формуле

                                                                                      ()

где *F* - нагрузка при вдавливании пуансона в образец, Н;

*r* - радиус полусферы пуансона, мм.

При радиусе полусферы 5,64 мм выражение π*r2* равно 100 мм2.

**Определение влагопоглощения**

Испытание проводится в соответствии с ГОСТ 16483.19-72.

Образцы изготовляют в форме прямоугольной призмы основанием 20х20 мм и высотой вдоль волокон 10 мм.



После проведения испытания количество поглощенной влаги (W) в процентах вычисляют с точностью до 0,1 % по формуле

где *m* - масса бюксы, г;

*m1* - масса бюксы с образцом в абсолютно сухом состоянии, г;

*mn* - масса бюксы с образцом, взвешенной через *n* суток с момента первоначального помещения образца в эксикатор, г.

**Определения водопоглощения**

Испытание проводится в соответствии с ГОСТ16483.20-72

Образцы изготовляют в форме прямоугольной призмы основанием 20х 20 мм и высотой вдоль волокон 10 мм.

Количество поглощенной влаги (*W*) в процентах вычисляют с точностью до 0,1 % по формуле

где *m* - масса бюксы, г;

*m* 1 - масса бюксы с образцом в абсолютно сухом состоянии, г;

*mn* - масса бюксы с образцом, взвешенной через *n* суток с момента первоначального помещения образца в эксикатор, г.

**Результаты**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Предел прочности древесины при сжатии вдоль волокон  *σ,* МПа | | | | | |
| Порода древесины – береза | | | | | |
| Термически модифицированная древесина  Температура обработки 180°С | | | Натуральная древесина  Температура обработки 60°С | | |
| При влажности в момент испытания, МПа | При влажности, приведенной к 12% | Влажность в момент испытания, % | При влажности в момент испытания, МПа | При влажности, приведенной к 12%, МПа | Влажность в момент испытания, % |
| *σw* | *σ12* | *W* | *σw* | *σ12* | *W* |
| 78,5 | 53 | 2,8 | 68,7 | 56,3 | 7,4 |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Предел прочности древесины при сжатии вдоль волокон  *σ,* МПа | | | | | |
| Порода древесины – сосна | | | | | |
| Термически модифицированная древесина  Температура обработки 195°С | | | Натуральная древесина  Температура обработки 60°С | | |
| При влажности в момент испытания, МПа | При влажности, приведенной к 12% | Влажность в момент испытания, % | При влажности в момент испытания, МПа | При влажности, приведенной к 12%, МПа | Влажность в момент испытания, % |
| *σw* | *σ12* | *W* | *σw* | *σ12* | *W* |
| 42,88 | 23,55 | 2,26 | 60,1 | 55,62 | 10,14 |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Предел прочности древесины при сжатии вдоль волокон  σ, МПа | | | | | |
| Порода древесины – ель | | | | | |
| Термически модифицированная древесина  Температура обработки 165°С | | | Натуральная древесина  Температура обработки 60°С | | |
| При влажности в момент испытания, МПа | При влажности, приведенной к 12% | Влажность в момент испытания, % | При влажности в момент испытания, МПа | При влажности, приведенной к 12%, МПа | Влажность в момент испытания, % |
| *σw* | *σ12* | *W* | *σw* | *σ12* | *W* |
| 56,41 | 42,33 | 5,76 | 44,37 | 36,11 | 7,35 |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Предел прочности при статическом изгибе**  *σ*, МПа | | | | | |
| Порода древесины – береза | | | | | |
| Термически модифицированная древесина  Температура обработки 180°С | | | Натуральная древесина  Температура обработки 60°С | | |
| При влажности в момент испытания, МПа | При влажности, приведенной к 12% | Влажность в момент испытания, % | При влажности в момент испытания, МПа | При влажности, приведенной к 12%, МПа | Влажность в момент испытания, % |
| *σw* | *σ12* | *W* | *σw* | *σ12* | *W* |
| 73,97 | 54,4 | 2,8 | 130,86 | 96,22 | 7,4 |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Предел прочности при статическом изгибе**  *σ*, МПа | | | | | |
| Порода древесины – сосна | | | | | |
| Термически модифицированная древесина  Температура обработки 195°С | | | Натуральная древесина  Температура обработки 60°С | | |
| При влажности в момент испытания, МПа | При влажности, приведенной к 12% | Влажность в момент испытания, % | При влажности в момент испытания, МПа | При влажности, приведенной к 12%, МПа | Влажность в момент испытания, % |
| *σw* | *σ12* | *W* | *σw* | *σ12* | *W* |
| 44,78 | 32,93 | 2,26 | 89,71 | 82,31 | 10,14 |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Предел прочности при статическом изгибе**  *σ*, МПа | | | | | |
| Порода древесины – ель | | | | | |
| Термически модифицированная древесина  Температура обработки 165°С | | | Натуральная древесина  Температура обработки 60°С | | |
| При влажности в момент испытания, МПа | При влажности, приведенной к 12% | Влажность в момент испытания, % | При влажности в момент испытания, МПа | При влажности, приведенной к 12%, МПа | Влажность в момент испытания, % |
| *σw* | *σ12* | *W* | *σw* | *σ12* | *W* |
| 74,37 | 54,68 | 5,76 | 63,84 | 46,94 | 7,35 |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Ударная вязкость при изгибе**  A, Дж/см2 | | | | | |
| Порода древесины – сосна | | | | | |
| Термически модифицированная древесина  Температура обработки 195°С | | | Натуральная древесина  Температура обработки 60°С | | |
| При влажности в момент испытания, МПа | При влажности, приведенной к 12% | Влажность в момент испытания, % | При влажности в момент испытания, МПа | При влажности, приведенной к 12%, МПа | Влажность в момент испытания, % |
| *Аw* | *А12* | *W* | *Аw* | *А12* | *W* |
| 2,31 | 2,01 | 2,26 | 4,59 | 4,39 | 10,14 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Статическая твердость древесины на поверхности  H*w*, Н/мм2 | | | | | | | | | | | |
| Порода древесины – сосна | | | | | |  | | | | | |
| Термически модифицированная древесина  Температура обработки 195°С | | | | | | Натуральная древесина  Температура обработки 60°С | | | | | |
| Поперечный разрез | | | | Радиальный разрез | | | | Тангентальный разрез | | | |
| При влажности в момент испытания  W=2,26 % | Влажность, приведенная к W=12% | При влажности в момент испытания  W=10,14 % | Влажность, приведенная к W=12% | При влажности в момент испытания  W=2,26 % | Влажность, приведенная к W=12% | При влажности в момент испытания  W=10,14 % | Влажность, приведенная к W=12% | При влажности в момент испытания  W=2,26 % | Влажность, приведенная к W=12% | При влажности в момент испытания  W=10,14 % | Влажность, приведенная к W=12% |
| *Hw термо* | *H12 термо* | *Hw обычная* | *H12 обычная* | *Hw термо* | *H12 термо* | *Hw обычная* | *H12 обычная* | *Hw термо* | *H12 термо* | *Hw обычная* | *H12 обычная* |
| 33,058 | 23,397 | 30,260 | 28,573 | 16,781 | 11,877 | 20,094 | 18,973 | 17,045 | 12,064 | 19,483 | 18,396 |

**Выводы**

Установлено, что предел прочности **при сжатии вдоль волокон** термомодифицированной древесины березы и ели повышается, по сравнению, с обычной древесиной, а предел прочности термически модифицированной древесины сосны снижается по сравнению, с не модифицированной древесиной. По-видимому, это вызвано различными свойствами пород древесины, а также отличием режима обработки.

Предел прочности при статическом изгибе термомодифицированной древесины сосны и березы почти в два раза ниже прочности обычной. Что касается древесины ели, то предел прочности модифицированных образцов на 15% выше прочности обычной древесины.

Ударная вязкость при статическом изгибе термомодифицированной древесины сосны в два раза ниже аналогичного показателя у обычной древесины.

Статическая твердость на поверхности термомодифицированной древесины сосны на поперечном разрезе несколько выше твердости обычной древесины, а на радиальном и тангентальном разрезе твердость несколько снижена по сравнению с немодифицированной древесиной.

Влагопоглощение у термомодифицированной березы, ели и сосны ниже, чем у обычной древесины.

Водопоглощение у термомодифицированной древесины березы и ели также ниже, чем у обычной древесины, а у сосны, этот показатель выше, по сравнению с обычной древесиной. **(Да , интересно , требуется проводить испытания по всем нашим 4 категориям температурной обработки и времени с разных мест произрастания древесины сосны да и других тоже)**

**ЭКОНОМИКА СУШКИ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

**НА 1 М3**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Материал | Бревна  диаметр от 180 до 280 мм | Обрезная доска  толщина 40 – 50 мм |
| Порода древесины | Сосна | Береза, ель |
| Место проведения | Брянская область, пгт Навля,  Фирма «Леско» | Тверская область, пгт Озерки, ИП Ипатьев А.В. |
| Установка | СПВТ-20 | СПВТ- 12 |
| Объем загрузки | 20 м3 | 9 м |
| Начальная влажность | от 30 % до 65 % | 6 % |
| Конечная остаточная влажность | 2,5 % | 2 % |
| Режим сушки | 7 суток – форсированный режим, Т=140 °С | 12 суток – мягкий режим, Т=70°С |
| Режим термообработки | 24 часа, при Т= 195°С | 12 часов, при Т= 180 и 165 °С |
| Затраты электроэнергии на сушку 1 м3  сырья | 410 кВт | 220 кВт |
| Затраты на термическую обработку 1 м3  древесины | 150 кВт | 150 кВт |
| Цена 1 КВТ | 4,5 руб. | 4,5 руб. |
| Цена сушки и термо 1 м3  древесины | 2520 руб. | 1665 руб. |
|  |  |  |

**Область применения продукции**

- возможность использования низкосортного сырья древесины в том числе и пораженного грибами и синевой , тонкомера , верхних частей ствола дерева .

- изготовление цельного массивного строительного бруса, в качестве альтернативы клееному брусу

- изготовление массивного термически обработанного деревянного оконного бруса

- изготовление композитного цельного бруса укрепленного арматурой для многоэтажного домостроения из дерева

- производства высококачественных влагоустойчивых полов в том числе и подогревом

- производство стойких к температуре и переменному изменению влажности воздуха кухонных фасадов

- применению термически обработанной древесины к наружной отделки фасадов домов

- применение термически модефицированной древесины в кораблестроении , отделки яхт , катеров

- изготовлению дверных полотен и коробок для бань , саун , сан/узлов

, ванных комнат с повышенной влажностью воздуха в многоэтажных домах

- строительству облегченных малых архитектурных форм в горных сейсмических районах

**** 



****



|  |
| --- |
| Усушка модифицированной древесины березы на 30% ниже, ели на 13% ниже, чем усушка немодифицированной древесины.  Разбухание модифицированной древесины березы на 46%, ели на 19% ниже, чем разбухание немодифицированной древесины.  Объемная усушка термически модифицированной древесины сосны на 47% ниже усушки немодифицированной древесины.  Разбухание термически модифицированной древесины сосны на 64% ниже разбухания немодифицированной древесины.  C уважением,  Елена Владимирова |

http://mailstatic.yandex.net/neo2/2.10.1/static/blocks/b-mail-icon/_type/b-mail-icon_reply.gif