

## ВЛИЯНИЕ ТИПОВ ЛЕСА НА ТЕРМИЧЕСКИЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ДРЕВЕСИНЫ ЯСЕНЯ ОБЫКНОВЕННОГО

**В. Н. ПРАВДИН**

Доцент, кандидат технических наук

**А. М. КРАСНИТСКИЙ**

Инженер лесного хозяйства

**Л. Ф. ЯНИН**

Инженер-механик

(Воронежский лесотехнический институт)

Термические коэффициенты материалов играют важную роль в промышленности. Это относится и к древесине. Знание ее теплопроводности и теплоемкости дает возможность производить тепловые расчеты деревянных конструкций, определять время, необходимое для нагрева деталей из древесины, древесного сырья и т. д.

Помимо этого, изучение термических коэффициентов древесины представляет интерес при рассмотрении вопросов теплообмена растущего дерева с окружающей средой.

Просмотр литературы, имеющейся в виде справочников и отдельных работ, свидетельствует об ограниченности сведений по тепловым свойствам древесины различных пород. Лучше изучена в этом отношении древесина сосны, ели и дуба. Однако в большинстве работ, посвященных определению термических коэффициентов этих пород, отсутствуют сведения о температуре, при которой проводились испытания и о влажности образцов древесины, что ограничивает возможность использования опытных данных для сравнительных анализов и практического применения. Наиболее методически выдержаны работы Г. М. Кондратьева (1954) и М. П. Емченко (1955).

Общей чертой работ, посвященных изучению термических коэффициентов древесины, является полное отсутствие сведений о происхождении взятой для анализа древесины. Надо полагать, что это был случайный, непаспортизованный материал. Естественно, что исследования, проводившиеся не лесоводами, не затрагивали чисто лесоводственных признаков, какими являются условия произрастания и др.

Изложенное дает достаточные основания для предварительного сообщения о результатах работы по изучению термических коэффициентов древесины ясеня обыкновенного, взятой из различных типов леса.

При определении тепловых коэффициентов древесины ясеня нами были взяты образцы от деревьев I класса роста. Местонахождение пробных площадей, характер почвенно-грунтовых условий, типы леса, происхождение, возраст деревьев, их высота и диаметр иллюстрируются табл. 1.

Таблица 1

Область, лесхоз	Тип леса	Происхождение деревьев	Характеристика модельных деревьев		
			возраст (лет)	высота (в м)	диаметр на высоте 1,3 м (в см)
Балашовская, Теллермановский	Дубрава на темно-сером суглинке	Семенное	91	25,9	28,5
		Порослевое	91	25,1	27,1
Воронежская, Ново-Усманский	Дубрава на солонцеватом суглинке	Семенное	87	23,5	26,8
		Пойменная дубрава	79	25,5	47,5
Белгородская, Алексеевский	Ясень на мелах	..	87	23,8	30,2

Модельные деревья, срубленные в июле — августе 1955 года, охватывают крайние почвенные экотипы ясеня: ясень нагорный на темно-серых суглинках, ясень на солонцеватом суглинке, ясень в пойме на аллювии и ясень на перегнойно-карбонатной почве, подстилаемой мелом. Образцы древесины во всех случаях брались отдельно из ядра и заболони на высоте ствола 1,3 м от шейки корня. У пойменного ясеня термические коэффициенты определялись в зависимости от высоты ствола: на высоте 1,3 м от шейки корня, на середине ствола и под живой кроной.

Тепловые свойства древесины ясеня устанавливались методами, основанными на теории теплового регулярного режима Г. М. Кондратьева. В соответствии с этим определялись:

1) коэффициент температуропроводности перпендикулярно к годичным кольцам —  $a_{\perp}$ ;

2) коэффициент температуропроводности по касательной к годичным кольцам —  $a_t$ ;

3) коэффициент температуропроводности вдоль оси ствола (волокон) —  $a_{\parallel}$ ;

Теплоемкость определена нами по методу ламбдакалориметра, а теплопроводность — расчетным путем, по формулам:

$$a_{\perp} = \frac{\lambda_{\perp}}{c\gamma}; \quad a_t = \frac{\lambda_t}{c\gamma}; \quad a_{\parallel} = \frac{\lambda_{\parallel}}{c\gamma},$$

где  $\lambda$  — теплопроводность;

$c$  — теплоемкость;

$\gamma$  — объемный вес.

При выполнении экспериментальной части использовались латунный водяной термостат объемом 20 л, снабженный мешалкой пропеллерного типа, дававший возможность осуществлять  $\alpha = \infty$  на поверхности помещенного в воду образца; камера спокойного воздуха, объемом в 105 л, обеспечивающая  $\alpha \neq \infty$ . В качестве измерителя разности температур, применялась дифференциальная медно-константановая термопара, соединенная с зеркальным гальванометром типа ППЗ-47, чувствительно-

стью в  $10^{-9}$  ат. Отсчет времени производился секундомером СМ-60 с ценой деления 0,1 сек.

Для защиты образца древесины от проникновения влаги мы отказались от металлической оболочки, заменив ее покрытием влагонепроницаемым лаком.

При заложении термопары в высверленное отверстие образца обеспечивалась надлежащая плотность соединения. Диаметр трубочки термопары составлял 4 мм, а диаметр проводников термопары 0,2 мм. Провода термопары должным образом были изолированы от окружающей среды и друг от друга.

Объемный вес, влажность, число годичных слоев в 1 см и процент поздней древесины определены принятыми в древесиноведении методами. Сосудистая пористость и пористость волокна либриформа характеризуется данными средне-расчетного годичного слоя, определенными линейным методом на микрофотографиях.

### Результаты исследования

В табл. 2 представлены термические коэффициенты древесины ясеня, взятой из различных условий произрастания, отдельно по ядру и заболони.

Теплоемкость древесины ясеня по нашим измерениям равна  $0,52 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$  и одинакова для заболони и ядра и разных условий произрастания\*. Наоборот, на температуропроводности и теплопроводности ясеня заметно влияние условий произрастания. У ясеня на мелах температуропроводность древесины в радиальном направлении оказалась наименьшей, и напротив, наибольшей в тангентальном направлении и вдоль волокон. Наибольшей температуропроводностью в радиальном направлении обладает древесина заболони ясеня на солонцеватых почвах и наоборот, в тангентальном направлении и вдоль волокон ее температуропроводность близка к минимальной. Температуропроводность ядра ясеня на темно-серых суглинках в тангентальном направлении и вдоль волокон самая низкая, и самая высокая — в радиальном направлении.

Полная аналогия наблюдается в теплопроводности древесины ясеня по типам леса.

Из анализа итоговых данных (табл. 2) следует, что температуропроводность заболони на 8—23% ниже, чем ядра. Это явление, на наш взгляд, не случайно: заболонь дерева, видимо, способна в известной мере сглаживать резкие температурные колебания атмосферы\*\*. Конечно, наши выводы из наблюдений, проведенных на «мертвых» кусках дерева, не могут вполне относиться к растущему дереву, но различие в температуропроводности заболони и ядра и здесь проявляется со всей очевидностью.

Различными оказались тепло- и температуросвойства древесины ясеня семенного и порослевого происхождения. Заболонь ясеня порослевого происхождения отличается повышенной температуропроводностью в радиальном направлении. Теплопроводность заболони порослевого ясеня во всех направлениях и температуропроводность в тангентальном

\* Отсутствие зависимости удельной теплоемкости от объемного веса показано М. П. Емченко.

\*\* П. И. Петров (1955) в своих исследованиях наблюдал отсутствие резких суточных колебаний температуры в стволах растущих деревьев уже на глубине  $\frac{1}{4}$  их диаметра.

Таблица 2

Тип леса и происхождение деревьев	Термические коэффициенты						
	теплоем- кость ккал кг.град	температуропровод- ность м <sup>2</sup> /час 10 <sup>-4</sup>			теплопроводность ккал м · час · град		
		a <sub>⊥</sub>	a <sub>t</sub>	a <sub>  </sub>	λ <sub>⊥</sub>	λ <sub>t</sub>	λ <sub>  </sub>
<b>Заболонь</b>							
Ясень на темно-сером суглинке, семенной . . . . .	0,52	3,05 100	5,27 100	12,10 100	0,112 100	0,196 100	0,445 100
То же порослевой . . . . .	0,52	3,74 125,0	4,97 75,3	9,15 75,6	0,118 84,3	0,158 80,7	0,290 65,2
Ясень на солонцеватом суглинке, семенной . . . . .	0,52	3,50 114,7	5,05 95,8	10,0 82,7	0,115 82,2	0,166 84,8	0,330 74,2
Ясень на мелах, семенной . . . . .	0,52	2,56 84,0	5,90 111,5	13,0 107,3	0,100 71,5	2,30 117,3	0,510 114,6
Ясень в пойме, семенной . . . . .	0,52	3,16 107,0	5,17 98,2	11,5 95,0	0,114 81,5	0,186 95,0	0,415 93,3
<b>Ядро</b>							
Ясень на темно-сером суглинке, семенной . . . . .	0,52	4,00 100	5,05 100	9,30 100	0,140 100	0,177 100	0,325 100
То же, порослевой . . . . .	0,52	3,30 82,5	6,00 118,7	14,10 151,6	0,128 91,5	0,232 131,0	0,549 169,0
Ясень на солонцеватом суглинке, семенной . . . . .	0,52	3,78 94,5	5,17 102,2	12,0 129,0	0,137 98,0	0,188 106,1	0,435 133,8
Ясень на мелах, семенной . . . . .	0,52	2,58 64,5	7,00 138,5	15,5 166,7	0,109 78,0	0,295 166,5	0,650 200,0
Ясень в пойме, семенной . . . . .	0,52	3,60 70,7	5,40 107,0	13,20 142,0	0,133 95,0	0,200 113,0	0,495 152,2
Заболонь (средние арифметические)	0,52	3,20 100	5,27 100	11,15 100	0,112 100	0,187 100	0,398 100
Ядро (средние арифметические)	0,52	3,45 107,8	5,72 108,5	12,82 114,8	0,129 116,0	0,218 116,5	0,491 123,3

Примечание. В знаменателе даны значения термических коэффициентов в процентах к их величине для ясеня семенного происхождения на темно-сером суглинке. В последней строке коэффициенты для ядра показаны в процентах к коэффициентам для заболони, принятым за 100.

направлении и вдоль волокон ниже, чем у ясеня семенного происхождения. Температуропроводность древесины ядра (за исключением радиального направления) и теплопроводность во всех направлениях у ясеня семенного происхождения ниже, чем у порослевого.

Из сказанного видно, что условия произрастания и происхождения дерева оказывают влияние на температуро- и теплопроводность древесины ясеня. Заболонь дерева, по сравнению с ядром, отличается меньшей теплопроводностью по всем трем направлениям.

Своеобразные закономерности наблюдаются в изменении термических коэффициентов по высоте ствола, о чем можно судить по данным табл. 3 (ясень из поймы при температуре 16° С и влажности 10 %).

В радиальном направлении температуропроводность и теплопроводность древесины ядра и заболони ниже, чем в тангентальном направлении и вдоль волокон. С высотой ствола тепло- и температуропроводность в радиальном направлении понижаются, а вдоль волокон и в тангентальном направлении отмечается их повышение.

Таблица 3

Высота взятия образца	Термические коэффициенты						
	теплоем- кость ккал кг · град.	температуропровод- ность м <sup>2</sup> /час 10 <sup>-4</sup>			теплопроводность ккал м · час · град.		
		$a_{\perp}$	$a_t$	$a_{\parallel}$	$\lambda_{\perp}$	$\lambda_t$	$\lambda_{\parallel}$
Заболонь							
1,3 м от шейки корня . . . . .	0,50—052	3,16	5,17	11,50	0,114	0,186	0,415
Середина ствола . . . . .		100	100	100	100	100	100
Под живой кроной . . . . .		3,10	6,60	11,60	0,112	0,240	0,425
Ядро							
1,3 м от шейки корня . . . . .	"	98,2	127,5	100,8	98,3	129,0	102,3
Середина ствола . . . . .		2,90	6,75	13,25	0,110	0,252	0,495
Под живой кроной . . . . .		91,8	130,4	115,2	96,6	135,3	119,5
1,3 м от шейки корня . . . . .	"	3,60	5,40	13,20	0,133	0,200	0,495
Середина ствола . . . . .		100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Под живой кроной . . . . .		3,22	7,15	13,60	0,122	0,272	0,518
1,3 м от шейки корня . . . . .	"	89,5	131,1	103,0	91,8	136,0	104,6
Середина ствола . . . . .		3,90	7,40	14,40	0,118	0,290	0,565
Под живой кроной . . . . .		83,3	137,0	109,0	88,8	145,0	114,0

Таблица 4

Статистические величины	Термические коэффициенты					
	Температуропроводность в м <sup>2</sup> /час 10 <sup>-4</sup>			Теплопроводность ккал в м · час · град.		
	$a_{\perp}$	$a_t$	$a_{\parallel}$	$\lambda_{\perp}$	$\lambda_t$	$\lambda_{\parallel}$
Показатели вариационного ряда						
$n$	14	14	14	14	14	14
$m_{cp}$	3,26	5,97	12,36	0,119	0,221	0,448
$\pm \sigma$	0,31	0,60	1,80	0,011	0,041	0,087
$\pm m$	0,09	0,16	0,48	0,003	0,011	0,024
$V\%$	9,5	10,0	14,5	9,2	18,6	19,4
$p\%$	2,8	2,7	4,0	2,5	4,9	5,3

Достоверность  
различия $a_{\perp}$  и  $a_t$  15,0 > 3,6 $a_{\perp}$  и  $a_{\parallel}$  19,0 > 3,6 $a_t$  и  $a_{\parallel}$  12,8 > 3,6 $a_{\perp}$  и  $\lambda_t$  8,5 > 3,6 $\lambda_{\perp}$  и  $\lambda_{\parallel}$  13,7 > 3,6 $\lambda_t$  и  $\lambda_{\parallel}$  8,7 > 3,6

В результате такой закономерности резкое изменение в суточном ходе температур, более резко выражающиеся под живой кроной дерева, могут в известной степени сглаживаться в стволе растущего дерева, благодаря пониженной проводимости тепла \* в радиальном направле-

\* На различный тепловой режим нижней и верхней части ствола ели указывается в работе П. И. Петрова.

нии \*. Теплопроводность вдоль волокон и в тангентальном направлении не может играть такой большой роли в теплообмене дерева с атмосферой, поскольку эти пути в стволе дерева имеют большие линейные размеры.

В целях выяснения теплопроводной анизотропии древесины ясеня обыкновенного, мы обработали наши цифровые данные методом вариационной статистики. Материалы этой обработки помещены в табл. 4 (температура опыта 16° С, влажность 10%).

Из табл. 4 видно, что температура- и теплопроводность древесины ясеня существенно различаются в зависимости от направления. Наибольшая скорость распространения тепловой энергии наблюдается вдоль волокон, а наименьшая — в радиальном направлении, перпендикулярно годичным слоям.

Анизотропия подобного характера в тепловых свойствах древесины отражает, на наш взгляд, приспособленность деревьев противостоять резким, крайне неблагоприятным для растений изменениям температуры атмосферы, путем их сглаживания \*.

У изотропных тел тепловые изменения быстрее всего достигают данной точки по кратчайшему расстоянию. Живое дерево воспринимает тепловые воздействия атмосферы всей поверхностью ствола, радиус которого является кратчайшим расстоянием на пути выравнивания температуры среды и дерева. Именно поэтому в радиальном направлении наблюдается пониженная способность древесины проводить тепло, что немало способствует более плавным изменениям температуры стволов деревьев по сравнению с изменениями температуры окружающей их атмосферы. Таким образом, ствол дерева представляет собой сооружение, весьма целесообразно приспособленное к теплообмену с окружающей средой.

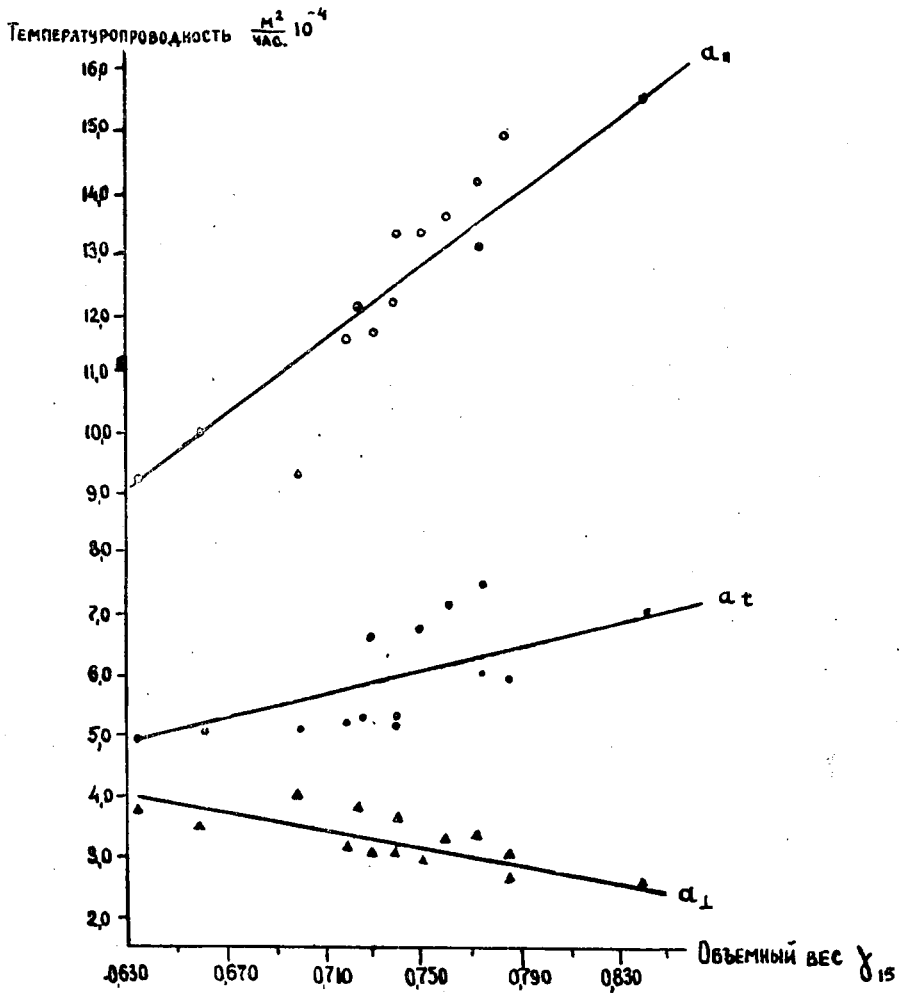
Надо полагать, что рассмотренные нами термические коэффициенты древесины обусловлены ее строением и объемным весом.

Поэтому в табл. 5 делается попытка проанализировать, в какой мере на термические коэффициенты влияет ширина годичных слоев, процент поздней древесины и пористость тканей.

Таблица 5

Макро- и микроанатомические элементы		Условия произрастания				
		ясень на темно-сером суглинке, семенной	ясень на темно-сером суглинке, порослевой	ясень на солончеватом суглинке, семенной	ясень на мелах, семенной	ясень в пойме, семенной
Число годичных слоев в 1 см	Заболонь . . .	6,0	5,5	6,7	8,0	5,9
	Ядро . . . . .	3,8	5,2	6,3	6,1	4,3
Процент поздней древесины	Заболонь . . .	57,5	46,3	52,3	67,8	54,3
	Ядро . . . . .	58,5	49,7	62,7	57,4	57,6
Пористость сосудистая в %	Заболонь . . .	34,3	37,9	34,5	34,8	35,1
	Ядро . . . . .	32,1	32,4	24,3	31,7	28,8
Пористость волокон либриформа в %	Заболонь . . .	71,1	78,4	70,7	69,0	78,3
	Ядро . . . . .	71,3	67,8	65,9	56,1	72,8

\* Свойствами теплопроводности древесины объясняет П. И. Петров: температурный режим растущих деревьев.



Зависимость температуропроводности древесины ясеня от объемного веса.

- $a_{\parallel}$  — температуропроводность вдоль волокон;  
 $a_t$  — температуропроводность в тангентальном направлении;  
 $a_{\perp}$  — температуропроводность в радиальном направлении.

Сопоставив данные табл. 5 и 2, видим, что чем шире годовые слои, чем больше процент поздней древесины, чем меньше сосудистая пористость и пористость волокон либриформа, тем выше тепло- и температуропроводность древесины.

Для суждения о влиянии объемного веса на термические коэффициенты приводится график.

Из графика видно, что объемный вес оказывает прямое влияние на коэффициент температуропроводности, причем это влияние различно в зависимости от направления. С увеличением объемного веса температуропроводность в радиальном направлении понижается, а вдоль волокон и в тангентальном направлении — повышается. В подобной же зависимости от объемного веса находится и теплопроводность, так как она рассчитывается на основании температуропроводности.

\* \* \*

В наших наблюдениях использовано недостаточное число модельных деревьев, чтобы характеризовать древесину ясеня из определенных условий произрастания конкретными величинами термических коэффициентов. Однако изложенное дает нам основание сделать некоторые обобщения.

1. Температуро- и теплопроводность древесины ясеня находятся в зависимости от условий произрастания и происхождения дерева.

2. Тепло- и температуропроводность заболони ясеня на 8—23% меньше, чем у ядра. Температуро- и теплопроводность в радиальном направлении достоверно ниже, чем вдоль волокон и в тангентальном направлении.

3. Чем шире годовичные слои, чем больше процент поздней древесины, чем меньше сосудистая пористость и пористость волокон либриформы, тем выше температуро- и теплопроводность древесины ясеня.

4. У древесины ясеня, выросшего в условиях поймы на аллювиальном суглинке, выше по стволу наблюдается понижение тепло- и температуропроводности в радиальном направлении на 3—17%, и повышение их вдоль волокон и в тангентальном направлении на 9—37% по сравнению с коэффициентом для высоты 1,3 м от шейки корня.

5. Температуро- и теплопроводность древесины ясеня находятся в прямой зависимости от объемного веса. С увеличением объемного веса происходит уменьшение температуропроводности древесины ясеня в радиальном направлении и повышение ее вдоль волокон и в тангентальном направлении.

Рассмотрение теплопроводности и температуропроводности по трем главным сечениям заболони ядра, а так же по высоте дерева, позволяет видеть в стволе дерева конструкцию весьма совершенную в теплотехническом отношении.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Кондратьев Г. М. Регулярный тепловой режим. Гослесбумсбыт, 1954.  
Емченко М. П. Термические коэффициенты древесины. Диссертация, 1955.  
Петров П. И. О температурном режиме древесных стволов. «Ботанический журнал», т. 4, 1955.

Поступила в редакцию  
12 октября 1957 г.