

Jan Raczkowski

ANIZOTROPIA CIŚNIENIA PĘCZNIENIA DREWNA

АНИЗОТРОПИЯ ДАВЛЕНИЯ НАБУХАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

ANISOTROPISM OF SWELLING PRESSURE OF WOOD

WSTĘP

Pęczniące drewno wywiera znaczne ciśnienie na przeszkodę ograniczającą jego pęcznienie swobodne — zwane ciśnieniem pęcznienia. Ciśnienie pęcznienia uważa się obecnie za przyczynę całego szeregu zjawisk obserwowanych w drewnianych i kombinowanych konstrukcjach (11, 5, 25). O wzbudzeniu przez pęczniące drewno, znacznych sił wiadomo od dawna (11, 20). Jednak dopiero w ciągu ostatniego dwudziestolecia, kiedy technika wykazała konieczność dokładnego oznaczenia ciśnienia pęcznienia drewna, zaczęły pojawiać się eksperymentalne prace poświęcone temu zagadnieniu.

Z pierwszych prac dotyczących ciśnienia pęcznienia drewna (23, 5, 17, 6) tylko dwie wykonane są na właściwym poziomie metodycznym. W pracach tych szczególną uwagę poświęcono zagadnieniom metodyki oraz nagromadzeniu pierwszych danych liczbowych o ciśnieniu pęcznienia drewna. Wiele właściwości ciśnienia pęcznienia w pracach tych nie zostało naświetlonych. Przedmiotem dalszych opublikowanych prac były zagadnienia bardziej szczegółowe, np. ciśnienie pęcznienia drewna w różnych cieczach, drewna wczesnego i późnego (7), drewna prasowanego i warstwowego (24), płyt wiórowych (2).

W ogłoszonych dotychczas pracach nie poświęcono baczniejszej uwagi zagadnieniu anizotropii ciśnienia pęcznienia.

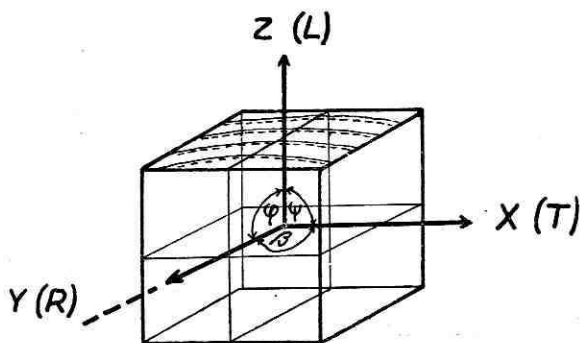
W pracach T. Perkitnego (17) i I. M. Iwanowa (6) doświadczalnie stwierdzono, że wielkość ciśnienia pęcznienia jest różna dla różnych kierunków oraz że styczne i promieniowe ciśnienie pęcznienia drewna sosny charakteryzuje taka sama anizotropia jak pęcznienie swobodne. Z drugiej strony z wymienionych prac wynika, że stwierdzenia tego nie da się rozszerzyć na wszystkie gatunki drewna. Z prac tych wynika także celowość poszukiwań bliższej zależności między ciśnieniem pęcznienia i własnościami mechanicznymi.

Ze względu na brak danych doświadczalnych, które pozwoliłyby sprecyzować charakter anizotropii ciśnienia pęcznienia drewna, autor postanowił zająć się tym mało zbadanym zagadnieniem. Celem więc niniejszej publikacji jest określenie charakteru anizotropii ciśnienia pęcznienia i porównanie go z anizotropią pęcznienia swobodnego i anizotropią wytrzymałości na ściskanie poprzeczne.

METODYKA

Zgodnie z celem pracy postanowiono oznaczyć ciśnienie pęcznienia, pęcznienie swobodne i wytrzymałość na ściskanie poprzeczne drewna rodzajów reprezentujących gatunki iglaste, liściaste pierścieniowo-nacyniowe i liściaste rozpierzchłonacyniowe, a mianowicie drewna sosny, buka i jesionu.

Przy założeniu, że drewno jest ciałem ortogonalnie anizotropowym dla pełnego opisu jego własności należałoby je oznaczać w trzech kierunkach, tj. w kierunku stycznym, promieniowym i podłużnym (rys. 1). Poza tym należałoby także oznaczyć te własności dla kierunków pośrednich, i to zarówno dla kierunków pośrednich między podłużnym i poprzecznym (w zależności od kąta φ i Ψ), jak też między kierunkiem promieniowym

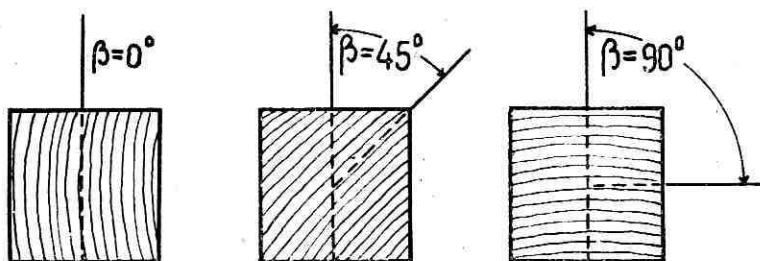


Rys. 1. Główne osie i płaszczyzny symetrii drewna

i stycznym (w zależności od kąta β). Z uwagi na pewne zasadnicze trudności techniczne (17, 22) zdecydowano się nie oznaczać ciśnienia pęcznienia wzdłuż włókien. Oznaczenie ciśnienia pęcznienia dla kierunków pośrednich między kierunkiem podłużnym i kierunkami poprzecznymi postanowiono również odłożyć do chwili opracowania odpowiedniego urządzenia, pozwalającego na oznaczenie ciśnienia pęcznienia wzdłuż włókien z wystarczającą dokładnością. Doświadczenia ograniczyły się więc do zbadania charakteru anizotropii w płaszczyźnie symetrii zawartej między osiami $x y$, tj. ograniczonej kierunkiem promieniowym i stycznym (RT). Zgodnie z tym oznaczano ciśnienie pęcznienia, pęcznienie swobodne i wytrzymałość na ściska-

nie poprzeczne w trzech kierunkach: pod kątem 0° , 45° i 90° do kierunku przebiegu przyrostów rocznych (rys. 2). Zakres badań ograniczono tylko do trzech kierunków na podstawie danych E. K. A s z k e n a z i (1). Wypro-
 wadzone przez autorkę wspomnianej pracy wzory pozwalają na określenie
 własności drewna w różnych, dowolnych kierunkach na podstawie znanych
 wartości w trzech kierunkach (pod kątem 0° , 45° i 90°). Ponieważ wzory te
 nie są wzorami empirycznymi, więc można je stosować dla różnych mate-
 rialów do obliczeń różnych własności w dowolnych kierunkach.

Ciśnienie pęcznienia P_{max} oznaczano na zmodyfikowanym urządzeniu
 dźwigniowym konstrukcji I. M. I w a n o w a (6, 7). Modyfikacja polegała
 na zmniejszeniu odległości między punktem przeniesienia sił pęcznienia
 na sprężyste ramię dźwigni a punktem jego zamocowania. Pozwoliło to na
 trzykrotne zmniejszenie dopuszczanych w trakcie doświadczenia odkształ-



Rys. 2. Kierunki pomiaru ciśnienia pęcznienia,
 pęcznienia swobodnego i granicy plastycznego płynięcia

ceń pęcznienia swobodnego w kierunku mierzonego ciśnienia pęcznienia
 w porównaniu z metodyką przyjętą przez I. M. I w a n o w a (6). Sprężyste
 ugięcie ramienia dźwigni wywołane siłami pęcznienia w punkcie ich prze-
 niesienia na ramię mierzono mikromierzem tarczowym o wartości elemen-
 tarnej działki skali wynoszącej 0,001 mm. Przed przystąpieniem do do-
 świadczeń ramię dźwigni skalibrowano przez przyłożenie sił o różnej wiel-
 kości w punkcie przeniesienia sił pęcznienia. Ugięcie ramienia dźwigni
 wywołane przyłożeniem siły 10 kG wynosiło 0,020 mm. Porównanie war-
 tości maksymalnych absolutnych błędów występujących przy oznaczaniu
 ciśnienia pęcznienia (pomiar siły pęcznienia i wymiarów przekroju po-
 poprzecznego próbki) wykazało, że błędy oznaczeń leżą zawsze wewnątrz
 strefy rozrzutu. Doświadczenia przeprowadzono na zupełnie suchych próbkach
 drewna o wymiarach $20 \times 20 \times 10$ mm (ostatni wymiar wzdłuż
 włókien).

Trudność określenia wytrzymałości drewna na ściskanie w poprzek włó-
 kien doprowadziła do tego, że różni autorzy oraz różne normy badania
 własności mechanicznych drewna różnych krajów zalecają stosowanie
 różnych kryteriów wytrzymałości dla tego kierunku naprężeń ściskających.
 Jednym z kryteriów wytrzymałości jest zalecana przez I. M. I w a n o w a

(8, 9) tzw. granica plastycznego płynięcia σ_{pp} , która zdaje się mieć znaczenie zwłaszcza przy oznaczaniu wytrzymałości drewna na ściskanie w poprzek włókien. Granicę plastycznego płynięcia oznacza się na wykresie naprężeń — odkształceń ($\sigma - \epsilon$) jako punkt krytyczny między obszarem sprężystości i obszarem plastycznego płynięcia. Nie wnikając w fizyczną treść pojęcia granicy plastycznego płynięcia, co do której istnieje różnica zdań (10), należy podkreślić, że bezsporną zaletą tego kryterium wytrzymałości jest prostota i obiektywność sposobu oznaczania. Sposób ten jest bardziej obiektywny aniżeli graficzny sposób oznaczania granicy proporcjonalności. Liczbowo granica plastycznego płynięcia odpowiada granicy proporcjonalności (15).

Kierując się powyższymi uwagami badanie wytrzymałości na ściskanie w poprzek włókien przeprowadzono na próbkach o wymiarach $20 \times 20 \times 30$ mm (ostatni wymiar w kierunku działania siły) z oznaczeniem granicy plastycznego płynięcia. Badania przeprowadzono na próbkach w stanie mokrym (o wilgotności ponad 30%) dlatego, aby móc porównać σ_{pp} z maksymalnym ciśnieniem pęcznienia. Doświadczenia wykonano na maszynie wytrzymałościowej marki WPM-FM 500 przy zasięgu 250 kG.

Stopień spęcznienia swobodnego α_{max} oznaczano na próbkach o wymiarach $20 \times 20 \times 30$ mm nawilżanych w analogicznych warunkach jak próbki, na których oznaczano ciśnienie pęcznienia.

WYNIKI DOŚWIADCZEŃ I ICH ANALIZA

Wyniki doświadczeń w postaci wielkości statystycznych zestawiono w tabelach 1, 2 i 3 oraz przedstawiono graficznie na rys. 3, 4 i 5 w układzie współrzędnych biegunowych. Punkty odpowiadające kierunkom 0° , 45° i 90° (rys. 3, 4 i 5) uzyskano doświadczalnie. Punkty dla kierunków pośrednich (15° , 30° , 60° i 75°) obliczono dla ciśnienia pęcznienia i granicy plastycznego płynięcia ze wzoru określającego zależność własności drewna od kierunków w płaszczyźnie symetrii RT

$$\sigma_{\beta}^{RT} = \frac{1}{\cos 2\beta \left(\frac{\cos^2 \beta}{\sigma_R} - \frac{\sin^2 \beta}{\sigma_T} \right) - \frac{\sin^2 2\beta}{\sigma_{RT}^{45^\circ}}}$$

gdzie

- β — kąt między kierunkiem działania siły i kierunkiem stycznym,
- σ_R — wartość liczbowa danej własności w kierunku promieniowym,
- σ_T — wartość liczbowa danej własności w kierunku stycznym,
- $\sigma_{RT}^{45^\circ}$ — wartość liczbowa danej własności w kierunku tworzącym kąt 45° z kierunkiem przebiegu przyrostów rocznych.

Ponieważ wzór ten, w odróżnieniu od wzorów empirycznych, można stosować do drewna znajdującego się w dowolnym stanie fizycznym (przy

dowolnej wilgotności, temperaturze, czasie działania naprężeń), przeto można go również stosować do obliczania ciśnienia pęcznienia jako szczególnego stanu naprężeniowego drewna o charakterze kierunkowym.

Jak widać z danych zamieszczonych w tabeli 1, stosunek stycznego ciśnienia pęcznienia drewna sosny do promieniowego wynosi średnio

$$P_0^\circ : P_{90}^\circ = 18,3 : 9,3 = 100 : 51.$$

Tabela 1

Ciśnienie pęcznienia drewna (P_{max}) sosny, buka i jesionu

Gatunek drewna	Ciężar właściwy γ_{15} G/cm ³	Kierunek pomiaru	Wielkości statystyczne					
			średnia arytmetyczna M kG/cm ²	liczba obserwacji n szt.	średnie odchylenie	średni błąd	współczynnik zmienności V	wskaźnik dokładności P
					$\pm \sigma$	$\pm m$		
			kG/cm ²			%		
Sosna	0,50	0°	18,3	20	1,5	0,4	8,0	1,9
		45°	4,6	50	1,1	0,2	24,4	3,5
		90°	9,3	20	1,2	0,3	13,2	3,0
Buk	0,72	0°	23,7	10	2,3	0,7	9,8	3,1
		45°	18,0	10	1,4	0,5	7,9	2,8
		90°	25,1	10	1,6	0,5	6,4	2,0
Jesion	0,70	0°	33,2	5	1,0	0,4	3,0	1,2
		45°	17,0	5	1,1	0,5	6,7	3,0
		90°	27,4	5	2,4	1,1	8,8	4,0

Tabela 2

Stopień spęcznienia swobodnego (α_{max}) drewna sosny, buka i jesionu

Gatunek drewna	Ciężar właściwy γ_{15} G/cm ³	Kierunek pomiaru	Wielkości statystyczne					
			średnia arytmetyczna M %	liczba obserwacji n szt.	średnie odchylenie	średni błąd	Współczynnik zmienności V	Wskaźnik dokładności P
					$\pm \sigma$	$\pm m$		
			kG/cm ²			%		
Sosna	0,50	0°	8,9	5	0,3	0,14	3,8	1,7
		45°	5,8	5	0,4	0,18	6,9	3,1
		90°	4,4	5	0,6	0,28	12,6	5,7
Buk	0,72	0°	14,0	5	0,3	0,10	2,1	0,9
		45°	9,4	5	1,9	0,90	20,2	9,6
		90°	5,5	5	0,2	0,08	3,1	1,4
Jesion	0,70	0°	9,5	5	0,6	0,30	6,3	3,2
		45°	9,0	5	1,2	0,60	13,7	6,7
		90°	5,1	5	0,6	0,30	11,7	5,9

Odpowiedni stosunek spęczenia swobodnego (tab. 2) wynosi

$$\alpha_0^\circ : \alpha_{90}^\circ = 8,9 : 4,4 = 100 : 50.$$

Przytoczone wielkości stosunków potwierdzają znane z literatury zjawisko (6, 17), że ciśnienie pęcznienia drewna sosnowego w kierunku stycznym i promieniowym odpowiada anizotropii pęcznienia swobodnego w tych kierunkach. Tym bardziej nieoczekiwany wydaje się fakt, że zaobserwowane ciśnienie pęcznienia pod kątem 45° do przebiegu przyrostów rocznych jest o około 50% mniejsze od ciśnienia pęcznienia w kierunku promieniowym.

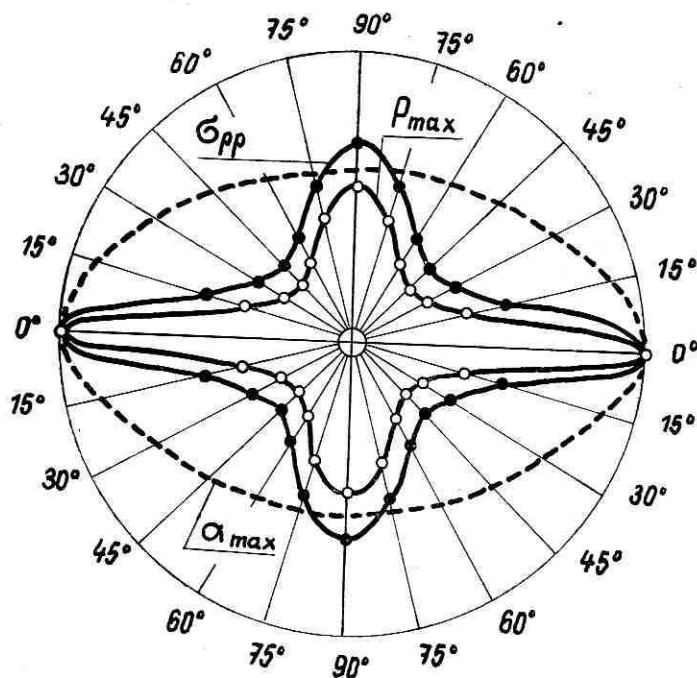
Stosunki średnich wielkości ciśnienia pęcznienia i stopni spęczenia swobodnego drewna sosny pod kątem 0° , 45° i 90° przybierają postać:

$$P_0^\circ : P_{45}^\circ : P_{90}^\circ = 18,3 : 4,6 : 9,3 = 100 : 27 : 51,$$

$$\alpha_0^\circ : \alpha_{45}^\circ : \alpha_{90}^\circ = 8,9 : 6,9 : 4,4 = 100 : 77 : 50.$$

Widać stąd, że anizotropia ciśnienia pęcznienia w płaszczyźnie RT nie odpowiada analogicznej anizotropii pęcznienia swobodnego drewna sosny. Anizotropia ciśnienia pęcznienia w tym przypadku różni się zasadniczo od anizotropii pęcznienia swobodnego.

Z danych tabeli 1 i 2 wynika, że i w przypadku drewna buka i jesionu anizotropia ciśnienia pęcznienia nie odpowiada anizotropii pęcznienia swobodnego. Już na pierwszy rzut oka widać to także z rys. 4 i 5.

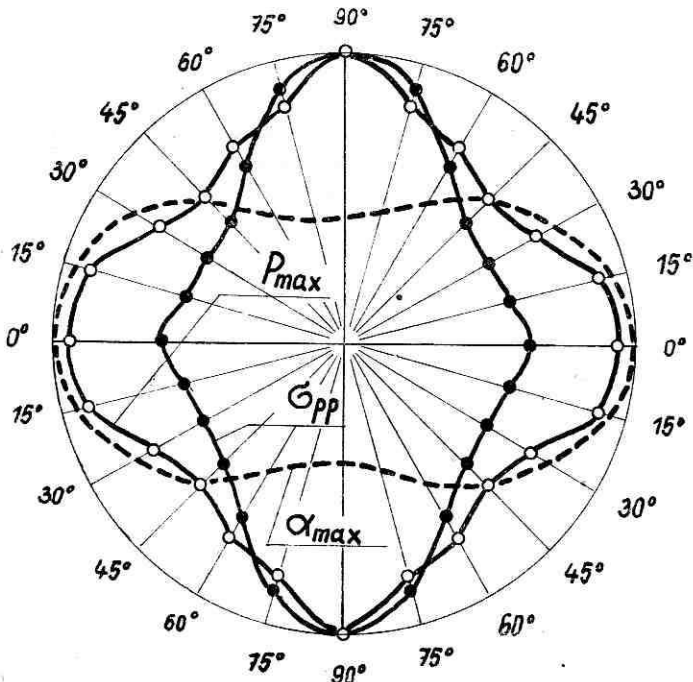


Rys. 3. Anizotropia ciśnienia pęcznienia P_{max} , pęcznienia swobodnego α_{max} i granicy plastycznego płynięcia σ_{pp} drewna sosny w płaszczyźnie symetrii RT

Tabela 3

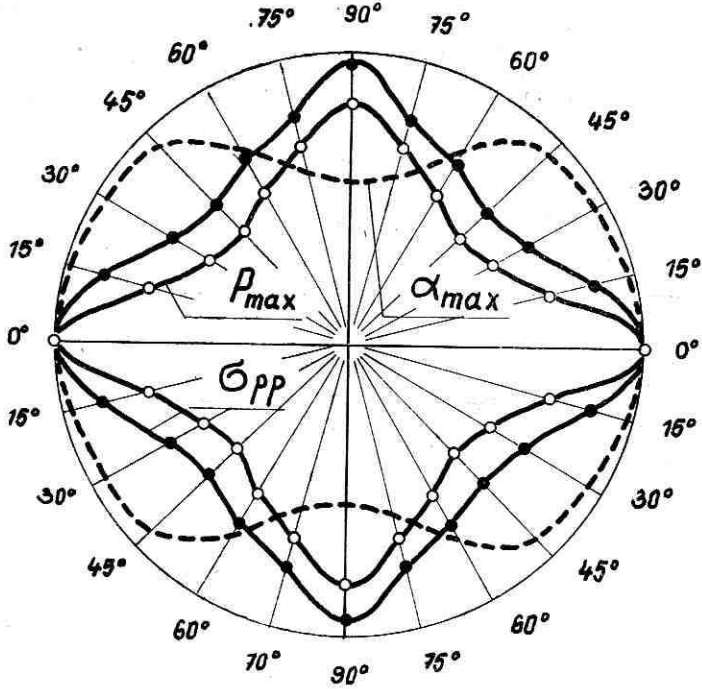
Granica plastycznego płynięcia (σ_{pp}) przy ścisnaniu w poprzek włókien drewna sosny, buka i jesionu

Gatunek drewna	Ciężar właściwy γ_{15} G/cm ³	Kierunek pomiaru	Wielkości statystyczne					
			średnia arytmetyczna M kG/cm ²	liczba obserwacji n szt.	średnie odchylenie	średni błąd	Współczynnik zmienności V	Wskaźnik dokładności P
					$\pm \sigma$	$\pm m$		
Sosna	0,50	0°	23,3	10	2,8	0,9	12,0	3,9
		45°	7,6	10	0,6	0,2	7,9	2,6
		90°	15,1	10	0,9	0,3	6,0	2,0
Buk	0,72	0°	39,3	10	2,6	0,8	6,6	2,0
		45°	36,9	10	4,2	1,3	11,3	3,5
		90°	65,0	10	6,0	1,9	9,3	2,9
Jesion	0,70	0°	50,2	10	4,2	1,3	8,4	2,6
		45°	32,5	10	1,6	0,5	4,9	1,5
		90°	47,4	10	2,0	0,7	4,2	1,5



Rys. 4. Anizotropia ciśnienia pęcznienia P_{max} , pęcznienia swobodnego α_{max} i granicy plastycznego płynięcia σ_{pp} drewna buka w płaszczyźnie symetrii RT

Pewne zniekształcenie elipsy pęcznienia swobodnego drewna bukowego i jesionu, widoczne na rys. 4 i 5, może być spowodowane albo pewną przypadkowością wynikłą z niedostatecznej liczebności prób albo hamu-



Rys. 5. Anizotropia ciśnienia pęcznienia P_{max} , pęcznienia swobodnego α_{max} i granicy plastycznego płynięcia σ_{pp} drewna jesionu w płaszczyźnie symetrii RT

jącym działaniem promieni rdzeniowych. To drugie przypuszczenie wymaga jednak przeprowadzenia osobnych badań.

Porównując anizotropię ciśnienia pęcznienia drewna sosny, buka i jesionu otrzymamy:

dla drewna sosny

$$P_0^\circ : P_{45^\circ} : P_{90^\circ} = 18,3 : 4,6 : 9,6 = 100 : 27 : 51,$$

dla drewna buka

$$P_0^\circ : P_{45^\circ} : P_{90^\circ} = 23,7 : 17,9 : 25,1 = 100 : 76 : 106,$$

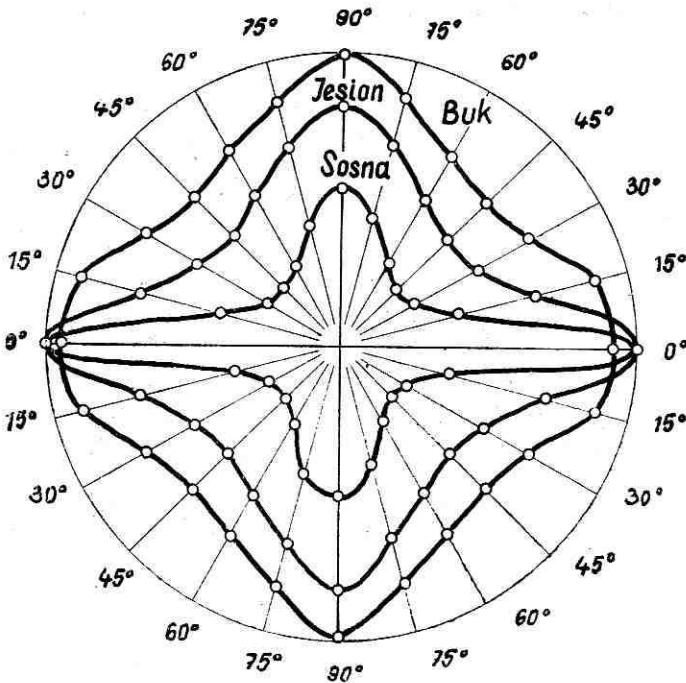
dla drewna jesionu

$$P_0^\circ : P_{45^\circ} : P_{90^\circ} = 33,2 : 17,0 : 27,4 = 100 : 51 : 82.$$

Stosunki te, a także krzywe na rys. 6 wskazują na istnienie różnic w anizotropii ciśnienia pęcznienia drewna sosny, buka i jesionu. Najbardziej wyraźnie anizotropia ciśnienia pęcznienia w płaszczyźnie RT zaznacza się w drewnie sosny, najmniej — w drewnie buka. Drewno jesionu zajmuje pod tym względem położenie pośrednie.

Uwagi godna jest okoliczność, że różnice w anizotropii granicy plastycznego płynięcia przy ściskaniu drewna sosny, buka i jesionu w poprzek włókien mają podobny charakter (rys. 3, 4 i 5). Jest to szczególnie wyraźnie widoczne przy porównaniu wykresów przedstawionych na rys. 6 i 7.

Na podstawie wyników przeprowadzonych doświadczeń z drewnem sosny, buka i jesionu dojść można do następującej konkluzji: anizotropia



Rys. 6. Anizotropia ciśnienia pęcznienia P_{max} drewna sosny, buka i jesionu w płaszczyźnie RT

ciśnienia pęcznienia drewna w płaszczyźnie RT odpowiada anizotropii granicy plastycznego płynięcia przy ściskaniu drewna w poprzek włókien.

Wydaje się to zrozumiałe, ponieważ zdolność drewna do wzbudzania sił pęcznienia powinna odpowiadać zdolności do stawiania przez nie oporu działaniu zewnętrznych sił mechanicznych.

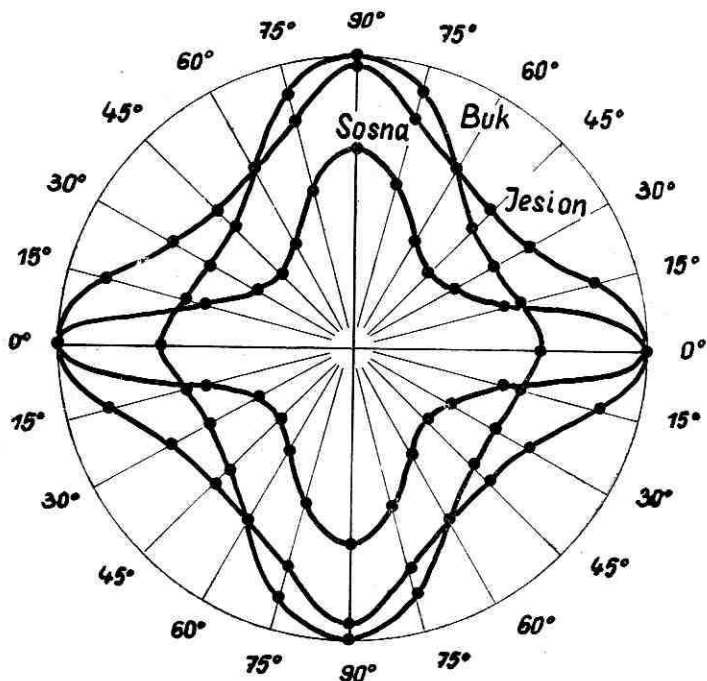
Z tabeli 1 i 3 wynika, że granica plastycznego płynięcia przy ściskaniu w poprzek włókien drewna sosny, buka i jesionu ($W > 30\%$) we wszystkich kierunkach jest większa, od ciśnienia pęcznienia. Innymi słowy pozostaje w mocy nierówność

$$P_{max} < \sigma_{pp}$$

określona dla granicy plastycznego płynięcia i ciśnienia pęcznienia (7) w kierunku promieniowym i stycznym. Świadczy to o tym, że i w przy-

padku ciśnienia pęcznienia w kierunku pod kątem 45° do przebiegu przyrostów rocznych zjawisko ciśnienia pęcznienia ma miejsce w przedziale sprężystości drewna.

Wytlumaczenie różnic w anizotropii ciśnienia pęcznienia i granicy plastycznego płynięcia przy ścisaniu poprzecznym zbadanych gatunków drewna szukać należy w różnicach ich budowy anatomicznej. Strukturę drewna można przyrównać do przestrzennej ażurowej konstrukcji kratowej. W drewnie gatunków iglastych i liściastych pierścieniowo-naczynio-



Rys. 7. Anizotropia granicy plastycznego płynięcia σ_{pp} drewna sosny, buka i jesionu przy ścisaniu w płaszczyźnie RT

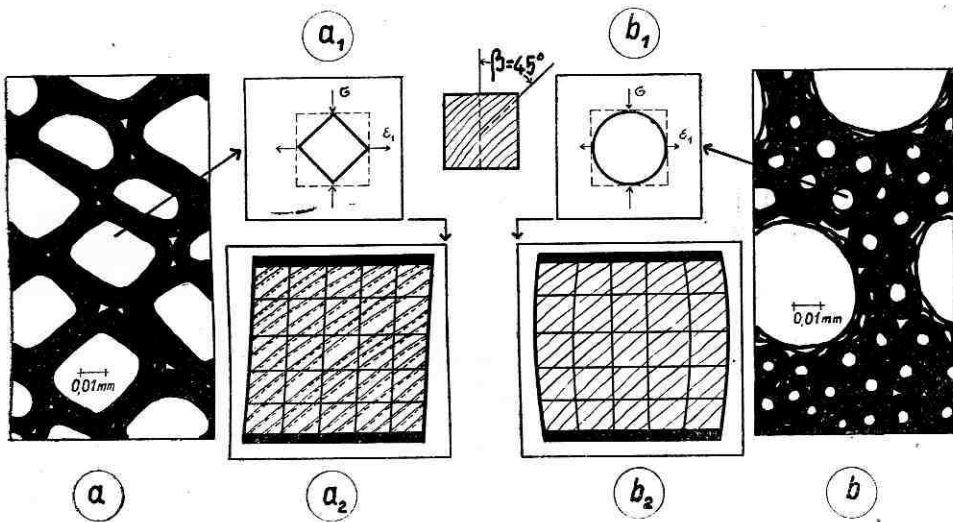
wych związana jest ona z wyraźną warstwowością utworzoną przez drewno wczesne i późne. W drewnie gatunków liściastych rozpieczętaczyniowych elementy konstrukcji rozmieszczone są równomiernie w przestrzeni. O słuszności takiego uproszczonego poglądu na makroskopową budowę drewna świadczy podobny charakter anizotropii P_{max} i σ_{pp} drewna sosny i jesionu, a natomiast odrębny charakter — drewna buka.

Jako przyczyna istotnej różnicy w wielkości ciśnienia pęcznienia drewna sosny i buka w kierunku pod kątem 45° do przebiegu przyrostów rocznych na plan pierwszy wysuwają się różnice w budowie anatomicznej drewna tych gatunków:

a) wyraźna warstwowość drewna sosny i równomierna przestrzenna budowa drewna buka;

b) zróżnicowanie kształtu przekroju poprzecznego elementów anatomicznych, który w drewnie sosny (a_1) zbliża się do czworokąta, a w drewnie buka (b_1) do okręgu koła (rys. 8).

Siły pęcznienia lub zewnętrzne siły mechaniczne działające pod kątem 45° do przebiegu przyrostów rocznych znacznie łatwiej powodują utratę stateczności pierwotnej elementów budowy drewna sosnowego (a) aniżeli bukowego (b). Nakładające się odkształcenia komórek drewna sosnowego doprowadzają do przesunięć w warstwie cienkościennych komórek na granicy drewna wczesnego i późnego, co w konsekwencji prowadzi do romboidalnego odkształcenia całej próbki (a_2). Zbliżony do okręgu koła kształt przekroju poprzecznego komórek drewna bukowego (b_1) nie-



Rys. 8. Schemat odkształceń w drewnie sosny (a) i buka (b) pod wpływem ciśnienia pęcznienia lub pod działaniem zewnętrznych sił mechanicznych pod kątem 45° do kierunku przebiegu przyrostów rocznych

zależnie od kierunku działania sił w płaszczyźnie RT jest najbardziej stateczny, co wraz z brakiem wyraźnej warstwowości nie dopuszcza do powstania takich odkształceń, jakie powstają w drewnie sosny. Próbka drewna bukowego przyjmuje kształt zbliżony do beczułkowatego (b_2). Zanikające w odkształceniach oddzielnych komórek i przesunięciach oddzielnych warstw drewna sosny (a także, choć w mniejszym stopniu, i jesionu) siły pęcznienia dają w rezultacie znaczny efekt obniżenia ciśnienia pęcznienia pod kątem 45° do przebiegu przyrostów rocznych w porównaniu z wielkością ciśnienia pęcznienia drewna bukowego w tym samym kierunku. Poza tym mniejszą podatność do odkształceń pod kątem 45° (a zwłaszcza w kierunku promieniowym) drewno bukowe zawdzięcza promieniom rdzeniowym, spełniającym w tym przypadku rolę „prętów

Tabela 4

Wskaźnik anizotropii między kierunkiem promieniowym i stycznym dla ciśnienia pęcznienia, pęcznienia swobodnego, modułu sprężystości i wytrzymałości przy ściskaniu poprzecznym różnych gatunków drewna
(własność dla kierunku stycznego przyjęto za 1)

Własności drewna	Źródło	Gatunek drewna															
		jędra	limba sy-	berylska	świętk	sosna	modrzew	dąb	jesion	enkaliptus	grab	buk	topola	orzzech	klon	osika	oleha
Stopień spęcznienia α_{max}	dane autora	0,41	0,37	0,52	0,52	0,50	0,35	0,52	0,35	0,27	0,33	0,40	0,71	0,55	0,44	0,41	0,64
	[17]	—	—	0,58	0,41	—	—	0,90	—	—	0,87	1,03	—	1,15	—	1,22	0,88
Ciśnienie pęcznienia P_{max}	[6]	—	—	0,37	0,59	0,44	0,50	0,85	—	—	0,87	—	—	—	0,86	1,15	1,21
	dane autora	0,72	0,60	0,64	0,50	0,48	0,70	0,83	0,90	0,89	1,01	0,93	0,90	0,91	1,07	1,20	1,39
Moduł sprężystości E_{\perp}	[4, 5, 10,	2,76	—	2,20	2,26	1,92	1,74	1,53	2,03	—	2,42	3,30	1,87	1,46	1,70	1,51	1,24
	11, 14, 15, 16, 18, 27, 22]	0,90	—	0,68	0,67	0,70	1,35	0,91	—	1,53	1,48	1,21	—	1,54	1,24	1,60	1,58
Wytrzymałość na ściska- nie poprzeczne σ_{\perp}																	

wskaźnik anizotropii

usztywniających". Podobnie do roli promieni rdzeniowych jaką odgrywiają one przy ściskaniu drewna w poprzek włókien (19).

Wyniki przeprowadzonych przez autora doświadczeń nad oznaczeniem ciśnienia pęcznienia 16 gatunków drewna (22) potwierdzają zauważone przez T. Perkitnego (17) i wynikające z pracy I. M. Iwanowa (6) zjawisko, że nie zawsze styczne ciśnienie pęcznienia jest większe od promieniowego, chociaż stopień spęcznienia swobodnego w kierunku stycznym jest zawsze większy od promieniowego.

Za wskaźnik anizotropii własności drewna służyć może stosunek wielkości danej własności dla kierunku stycznego do odpowiedniej wielkości dla kierunku promieniowego. Rozumiany w ten sposób wskaźnik anizotropii dla ciśnienia pęcznienia, spęcznienia swobodnego, modułu sprężystości i wytrzymałości przy ściskaniu w poprzek włókien zestawiono w tabeli 4, gdzie podano stosunek wartości dla kierunku promieniowego przyjmując wartość dla kierunku stycznego za 1. W tabeli tej zestawiono wartości uzyskane z badań T. Perkitnego (17) i I. M. Iwanowa (6) oraz badań własnych autora (22).

Porównując wskaźniki anizotropii rozpatrywanych własności drewna różnych gatunków można poczynić następujące spostrzeżenia.

1. Anizotropia stopnia spęcznienia swobodnego ma we wszystkich gatunkach ten sam kierunek. Stopień spęcznienia w kierunku stycznym jest wszędzie większy od stopnia spęcznienia swobodnego w kierunku promieniowym, a wskaźnik anizotropii przybiera wartość

$$A_{\alpha} = \frac{\alpha_R}{\alpha_T} < 1.$$

2. Wskaźnik anizotropii modułu sprężystości dla wszystkich gatunków jest większy od 1

$$A_E = \frac{E_R}{E_T} > 1.$$

3. Anizotropia wytrzymałości na ściskanie poprzeczne jest różna dla różnych gatunków. Dla gatunków iglastych wskaźnik ten jest mniejszy od 1, dla liściastych na ogół większy od 1.

4. Styczne ciśnienie pęcznienia drewna nie dla wszystkich gatunków jest większe od promieniowego. Wskaźnik anizotropii dla gatunków iglastych jest znacznie mniejszy od 1, dla drewna buka, grabu, eukaliptusa, orzecha, klonu, osiki i topoli zbliża się do 1, dla drewna olchy i brzozy jest większy od 1.

Wskaźnik anizotropii ciśnienia pęcznienia obliczony na podstawie wyników przeprowadzonych doświadczeń (22) nie zawsze odpowiada wskaźnikowi obliczonemu z danych zaczerpniętych z literatury. Wyrażna różnica występuje w przypadku drewna klonu, buka, osiki i częściowo brzozy.

Analizując przyczyny tych różnic przede wszystkim należy podkreślić, że porównywany materiał pod względem ilości i jednorodności nie jest w pełni porównywalny i znaczną rolę odgrywa tu czynnik przypadkowości. W celu zobrazowania wpływu niejednorodności materiału drzewnego na wskaźnik anizotropii zebrano w tabeli 5 wielkości ciśnienia pęcznienia drewna buka oznaczone przez autora. Widoczne różnice w maksymalnych wielkościach ciśnienia pęcznienia drewna buka wywołane są przede wszystkim różnym ciężarem właściwym badanego drewna. Przypuszczenie to opiera się na

Tabela 5

Ciśnienie pęcznienia drewna buka

Gatunek, pochodzenie i ciężar właściwy drewna	Ciśnienie pęcznienia kg/cm^2												$\frac{P_R}{P_T}$
	styczne P_T						promieniowe P_R						
	1	2	3	4	5	śr.	1	2	3	4	5	śr.	
<i>Fagus silvatica</i> (zach. Ukraina) $\gamma_{15} = 0,74$	34,1	30,8	32,9	33,3	31,0	32,4	31,9	29,7	32,4	25,2	30,1	30,0	0,92
<i>Fagus silvatica</i> (woj. poznańskie) $\gamma_{15} = 0,70$	21,6	23,5	26,5	24,3	27,6	24,7	30,5	29,0	26,0	27,9	26,8	28,2	1,15
<i>Fagus orientalis</i> (Kaukaz) $\gamma_{15} = 0,61$	21,6	21,8	19,9	21,1	20,1	20,9	19,7	18,6	19,3	18,3	18,1	18,8	0,90

znany w literaturze fakcie (3), że nie zaobserwowano różnic w budowie anatomicznej drewna buka zwyczajnego (*Fagus silvatica* L.) i wschodniego (*Fagus orientalis* Lip.), nie stwierdzono też różnic i we własnościach fizycznych i mechanicznych drewna tych gatunków (26). Nie ma więc podstaw, by oczekiwać różnic w wielkościach ciśnienia pęcznienia. Na szczególną uwagę zasługują różnice w wielkości wskaźników anizotropii ciśnienia pęcznienia drewna buka (0,9—1,2) w zależności od pochodzenia badanego drewna. Wywołane to jest prawdopodobnie różną ilością promieni rdzeniowych w jednostce objętości badanych próbek. Tym samym, przypuszczalnie, można objaśnić większe promieniowe ciśnienie pęcznienia w porównaniu ze stycznym w przypadku drewna innych gatunków. Co do drewna brzozy, na podstawie zbadanych 42 próbek w kierunku stycznym i 47 — w promieniowym (22) można stwierdzić, że wskaźnik anizotropii ciśnienia pęcznienia drewna brzoźowego jest większy od 1.

Sprecyzowanie odpowiedzi na pytanie o wpływie promieni rdzeniowych na wielkość promieniowego ciśnienia pęcznienia można będzie dać dopiero po przeprowadzeniu specjalnych badań. Jednak nawet z przytoczonych wyżej danych orientacyjnych można wnioskować o istnieniu tego wpływu.

Wskaźniki anizotropii ciśnienia pęcznienia i wytrzymałości na ściskanie poprzeczne jako średnie dla poszczególnych grup gatunków drewna zestawiono w tabeli 6. Z danych tych widać wyraźną tendencję do wzrostu wskaźników anizotropii ciśnienia pęcznienia i wytrzymałości na ściskanie poprzeczne, w miarę przejścia od gatunków iglastych do liściastych rozpierchłonaczyniowych. Tendencja ta wskazuje także na bliską zależność ciśnienia pęcznienia od wytrzymałości drewna na ściskanie poprzeczne.

Tabela 6

Wskaźnik anizotropii ciśnienia pęcznienia i wytrzymałości na ściskanie poprzeczne drewna różnych grup gatunków

Grupa gatunków	Wskaźnik anizotropii	
	ciśnienie pęcznienia	wytrzymałość na ściskanie poprzeczne
Iglaste	0,6	0,7
Liściaste pierścieniowonaczyniowe	0,8	1,1
Liściaste rozpierchłonaczyniowe	1,0	1,4

Z chemii fizycznej (12), przytoczonych danych i rozważań wynika, że:

- zdolność do intensywnego pęcznienia swobodnego uwarunkowana jest powinowactwem pęczniącego ciała do wody i nawet u ciał o niskich własnościach mechanicznych może osiągać bardzo znaczne wielkości;

- zdolność przeniesienia na zewnątrz powstających przy pochłanianiu cieczy sił pęcznienia zależy głównie od wytrzymałości na ściskanie w kierunku pęcznienia.

Za przykład tego poglądu może służyć żelatyna, której pęcznienie swobodne osiąga 500 i więcej procent (w temperaturze pokojowej), gdy tymczasem jej siły pęcznienia i własności mechaniczne są niewielkie (21).

WNIOSKI

Wyniki przeprowadzonych doświadczeń i ich analiza pozwalają na wysnucie następujących wniosków.

- Anizotropia ciśnienia pęcznienia drewna P_{max} w płaszczyźnie RT , ograniczonej kierunkiem stycznym i promieniowym, nie odpowiada anizotropii pęcznienia swobodnego α_{max} .

- Anizotropia ciśnienia pęcznienia drewna zbliża się do anizotropii granicy plastycznego płynięcia σ_{pp} przy ścisaniu w poprzek włókien.

3. W miarę wyrównywania się różnic w budowie przyrostów rocznych, co ma miejsce przy przejściu od gatunków iglastych do liściastych roz-pierzchnonaczyniowych, anizotropia ciśnienia pęcznienia wykazuje ten-dencje zmniejszania się.

4. Anizotropia ciśnienia pęcznienia w płaszczyźnie RT uwarunkowana jest przypuszczalnie niejednorodną budową przyrostów rocznych i wpływem promieni rdzeniowych.

LITERATURA

1. Aszkenazi E. K. i inni: Anizo-tropia mechanicznych svojstw drier-wiesiny i faniery. Moskwa 1958.
2. Czeriezowa W. M.: Wlijanije tiemperatury priessowanija na proczność plit iz drierwiesnych czastic. „Dier-wiewoobr. Prom.“ 1958; t. 7, nr 10.
3. Czerncow I. A., Akindinow M. W.: O prirodie jadroobrazowanija u buka. Fiziko-miechaniczskije swoi-stwa drierwiesiny. „Sbornik trudow CNIIMOD“. Moskwa 1953.
4. Czerniawski I. A.: Wlijanije właźnosti na miechaniczskije i uprugije svojstwa drierwiesiny czernoje olchi. Awto-ref. diss. Moskwa 1953.
5. Graczew I. D.: Siła razbuchanija priessowanioj i naturalnoj drierwiesiny. „Lesnaja Prom.“ 1946; t. 6, nr 1/2.
6. Iwanow I. M.: O dawlenii nabuchanija drierwiesiny. „Trudy In-ta Lesa AN SSSR“ 1953; t. IX.
7. Ivanow Yu. M.: Measurement of swelling pressure of wood. „Compo-site Wood“ 1956; vol. 3, nr 5/6.
8. Iwanow I. M.: Priedieł płaściczekogo tieczenija drierwiesiny. Moskwa 1948.
9. Iwanow I. M.: Nowaja charak-teristika proczności drierwiesiny i mie-tody jejo opriedielenija. „Trudy In-ta Lesa AN SSSR“ 1949; t. IV.
10. Kaszkarow K. P.: O priediele płaściczekogo tieczenija drierwiesiny. „Stroitielnaja Prom.“ 1950; nr 12.
11. Kollmann F.: Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. Berlin 1951; Bd. 1.
12. Kulman A. G.: Fiziczeskaja i kołloidnaja chimija. Moskwa. 1957.
13. Landolt - Börnstein: Zahlenwerte und Funktionen aus Physik, Chemie, Astronomie, Geophysik und Technik. Berlin 1955; Bd. IV, Teil 1.
14. Leontijew N. L.: Uprugije dieformacii drierwiesiny. Moskwa 1952.
15. Leontijew N. L.: Uprugije dieformacii drierwiesiny pri miechani-czeskich wozdejstwijach i metody ich opriedielenija. Diss., CNIIMOD — Chimki 1948.
16. Meredith R.: Mechanical pro-perties of wood and paper. Amsterdam 1953.
17. Perkitny T.: Badania nad ciś-nieniem pęcznienia drewna. Warszawa 1951.
18. Pieriełygin L. M., Piew-cow A. Ch.: Miechaniczskije swoj-stwa i ispytanija drierwiesiny. Moskwa 1934.
19. Pieriełygin L. M.: Budowa drewna. Warszawa 1956 (tłum.).
20. Pietrow W. W.: Issledowanije prziciny rozrywianija kamniej od klini-jew iz suchogo dieriewa, smoczennych wodoj. „Umozritielnyje issledowanija SPB Akad. Nauk“ 1819; t. V.
21. Posnjak E.: Über den Quel-lungsdruck. „Kolloid. Beihefte“ 1912; Bd. 3, Hf. 10/11.
22. Raczkowski J.: Dawlenije nabuchanija drierwiesiny sosny i nie-kotorych drugih porod. Diss. Lenin-grad 1956.
23. Sołncew A. A.: K woprosu o priessowanii celnoj drierwiesiny. „Mech. Obrab. Drierw.“ 1935; nr 11.

24. Tarkow H. i Turner D.: The swelling pressure of wood. „For. Prod. J.“ 1958; vol. 8, nr 7.

25. Vorreiter L.: Holztechnologisches Handbuch. Wien 1949.

26. Wakin A. T. i inni: Issledowa-

nija dřiwiesiny łoźnogo i moroznogo jadier buka iz zakarpatskoj oblasti. „Trudy In-ta Lesa AN SSSR“ 1954; t. XVI.

27. Wanin S. I.: Nauka o dřewnie. Warszawa 1953 (tłum.).

АНИЗОТРОПИЯ ДАВЛЕНИЯ НАБУХАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

Краткое содержание

Вопросу анизотропии давления набухания, в опубликованных до настоящего времени работах о давлении набухания древесины, не уделено достаточного внимания. Руководствуясь отсутствием экспериментальных данных по определению характера анизотропии давления набухания, было решено заняться этим мало изученным вопросом. Таким образом, целью настоящей статьи является определение анизотропии давления набухания и сравнение её характера с анизотропией свободного набухания и анизотропией прочности при сжатии.

Имея ввиду технические трудности связанные с определением давления набухания вдоль волокон, объём экспериментов ограничен пока до определения анизотропии давления набухания, свободного набухания и прочности при сжатии поперек волокон древесины сосны, бука и ясеня в плоскости симметрии RT ограниченной радиальным и тангентальным направлениями.

Давление набухания P_{max} определялось на рычажном приспособлении конструкции Ю. М. Иванова (6,7) на абсолютно — сухих образцах размером $20 \times 20 \times 10$ мм (последний размер вдоль волокон).

Испытание прочности при сжатии поперек волокон проводилось на образцах размером $20 \times 20 \times 30$ мм (последний размер соответствует направлению действия силы) с влажностью выше 30% и с определением предела пластического течения ϵ_{pp} .

Свободное набухание определялось на образцах размером $20 \times 20 \times 30$ мм, находящихся в аналогичных условиях водопоглощения, как образцы на которых определялось давление набухания.

Обработанные статистическими методами результаты экспериментов представлено в виде таблиц и графиков в полярных координатах. Из табл. 1, 2 и 3, а особенно из графиков 3, 4 и 5 видно, что анизотропия давления набухания древесины сосны, бука и ясеня в плоскости RT не соответствует анизотропии свободного набухания. На рис. 6 в общей сетке полярных координат представлено анизотропию давления набухания древесины сосны, бука и ясеня. График этот указывает на существование различий в анизотропии давления набухания древесины этих пород. Анизотропия давления набухания в плоскости RT наиболее ярко проявляется у древесины сосны, наименее ярко у древесины бука. Древесина ясеня занимает в этом отношении посредственное положение. Стоящим вниманием является факт, что анизотропия давления набухания по

своему характеру приближается к анизотропии предела пластического течения при сжатии поперек волокон. Тесная зависимость между давлением набухания и прочностью при поперечном сжатии кажется вполне понятной, поскольку способность древесины к развитию сил набухания должна соответствовать её способности сопротивляться действию наружных механических усилий.

Различия в анизотропии давления набухания и в анизотропии предела пластического течения при сжатии поперек волокон древесины испытанных пород обусловлены различиями их анатомического строения.

Результаты опытов подтверждают известное уже раньше положение (6,17) о том, что не у всех пород тангентальное давление набухания больше радиального. При сравнении показателей анизотропии давления набухания древесины разных пород (отношение радиального давления набухания к тангентальному) видна тенденция к уменьшению анизотропии давления набухания по мере перехода от хвойных к листовным рассеянопоровым породам:

Показатель анизотропии давления набухания

Хвойные	0,6
Лиственные кольцепоровые	0,8
Лиственные рассеянопоровые	1,0

По всей вероятности величина радиального давления набухания в значительной степени зависит от содержания сердцевинных лучей в единице объема древесины. Серцевинные лучи в этом случае выполняют, вероятно, роль „стержней“ увеличивающих жёсткость древесины в радиальном направлении.

Результаты опытов лишней раз доказывают, что давление набухания тем больше, чем выше механические свойства древесины.

Из результатов проведенных опытов и их анализа вытекают следующие выводы.

1. Анизотропия давления набухания древесины P_{max} в плоскости симметрии ограниченной тангентальным и радиальным направлениями RT не соответствует анизотропии свободного набухания ζ_{max} .

2. Анизотропия давления набухания приближается по своему характеру к анизотропии предела пластического течения ζ_{pp} при сжатии поперек волокон.

3. По мере выравнивания различий в строении годичных слоев, что имеет место при переходе от хвойных к листовным рассеянопоровым породам, анизотропия давления набухания уменьшается.

4. Анизотропия давления набухания обусловлена, вероятно, влиянием сердцевинных лучей и неоднородным строением годичных слоев.

ANISOTROPISM OF SWELLING PRESSURE OF WOOD

SUMMARY

In papers published till now on the subject of swelling pressure, there was not much attention paid to the question of anisotropism of swelling pressure. Present publications aims at definition of anisotropism of swelling

pressure and at comparison of it with anisotropism of free swelling and anisotropism of compressive strength.

Considering the difficulties involved in estimation of swelling pressure along grain, experiments were limited for the time being to the research into anisotropism of swelling pressure, free swelling and resistance to transversal compression of pine, beech and ash-tree timber in symmetry plane limited by radial direction and tangential one (*RT*).

Swelling pressure P_{\max} was estimated with the use of modified lever machine constructed by I. M. Iwanow (6, 7) on completely dry samples, dimensions of which were $20 \times 20 \times 10$ mm (last measurement along grain).

Examination of resistance against compression across grain was carried out on samples with dimensions $20 \times 20 \times 30$ mm (last measurement in a direction of strength action) and moisture over 30% with estimation of limits of plastic flow σ_{pp} .

Free swelling degree α_{\max} was determined on samples of size $20 \times 20 \times 30$ mm, which were in analogical conditions of water imbibition to samples, used in estimation of swelling pressure.

Experiment results were statistically elaborated, presented in tables and graphically in system of polar diagrams.

Tables 1, 2 and 3 and particularly figs. 3, 4 and 5 show, that anisotropism of swelling pressure in *RT* plane of pine, beech and ash-tree timber is different from anisotropism of free swelling. In fig. 6 in common system of coordinate axes anisotropism of swelling pressure of pine, beech and ash-tree timber is represented. The diagram points out the existence of differences in anisotropism of swelling pressure of these species timber. Anisotropism of swelling pressure in *RT* plane is most distinctly distinguished by pine timber and least — in beech timber. Ash timber held a medial position. It is worthy to mention that curves characterizing the anisotropism of swelling pressure have a similar course to that of lines picturing the anisotropism of limit of plastic flow during compression across grain. This close relation between swelling pressure and compressive strength seems to be comprehensible, since timber ability for raising the swelling strengths ought to correspond with ability for giving resistance to external mechanical powers action.

Differences in anisotropism of swelling pressure and limit of plastic flow during transversal compression of examined timber species is caused by differences in their anatomical structure.

Experiment results confirm phenomenon (6, 17) which was already known that not in all species tangential swelling pressure is higher, than radial one. While comparing anisotropism index of swelling pressure of different timber species as a ratio of radial swelling pressure to tangential one, one can observe a tendency towards reduction of anisotropism of

swelling pressure, while transition from coniferous species to deciduous species with pored wood.

Anisotropism index of swelling pressure

Coniferous	0,6
Deciduous with non-pored wood	0,8
Deciduous with pored wood	1,0

Value of swelling pressure in radial direction seems to be dependent to large extent upon primary rays. Primary rays in this case play, similarly as in case of compression across grain, a role of „rods“ stiffening the timber in radial direction. Experiments confirm fairness of opinion that swelling pressure ought to be the higher, the higher are mechanical properties and not, as it can be expected, that it's value ought to increase with growth of free swelling degree.

Experiment results and their analysis enable following conclusion to be drawn.

1. Anisotropism of timber swelling pressure (P_{max}) in plane of symmetry limited by radial direction and tangential one RT does not correspond with anisotropism of free swelling (α_{max}).

2. Anisotropism of swelling pressure approaches to anisotropism limit of plastic flow (σ_{pp}) during compression across grain.

3. As differences in annual increments structure decrease, what takes place during transition from coniferous species to deciduous species with pored wood, the anisotropism of swelling pressure decrease.

4. Anisotropism of swelling pressure of timber is probably stipulated by influence of primary rays and non homogeneous structure of annual increment.