

с 16106

ЛѢСНОЙ ЖУРНАЛЪ

ИЗДАНІЕ
ЛѢСНОГО ОБЩЕСТВА

въ С.-Петербургѣ

XLIII-й годъ.

Мартъ
Апрѣль

1913 г. Вып. 3—4-й.

СОДЕРЖАНИЕ 3—4-го ВЫПУСКА.

	СТР.
I. Н. Кузнецовъ. Памяти Василия Тарасовича Собичевского	409
II. Василий Тарасович Собичевский. Автобиографія	412
III. Гомилевский. Василий Тарасович Собичевский, его жизнь и труды .	418
IV. Г. Висоцкий. Объ учреждений лѣсоводныхъ станций	444
V. Г. Морозовъ. Изслѣдование лѣсовъ Воронежской губерніи . .	463
VI. С. Богословский. Очерки по вопросу о техническихъ свойствахъ древесины (съ рисунками)	482
VII. П. Потопниковъ. Естественное возобновление сосны въ вересковомъ болоте въ Сапежинскомъ лѣсничествѣ Сувалкской губерніи . .	502
VIII. А. Суховъ. Лѣсные и другие растительные формации Онежского уезда	528
IX. С. Охлопкинъ. Определение влажности почвы	552
X. И. Бородавскій. Наблюдения надъ жизнью въ едыхъ настѣномъ въ связи съ мѣрами борьбы съ ними (съ рис.) Продолженіе .	581
XI. Ф. Шадакъ. Записки Таксатора (съ рис.) Продолженіе	618
XII. М. Костинъ. О лѣсонасажденіяхъ Темерчинской казенной лѣсной дачи Нелюбина какъ лѣсничества Томской губерніи и уезда . .	649
XIII. И. Норкевичъ. Къ вопросу воспитанія въ питомникахъ сѣянцевъ осины	668
XIV. М. Здорикъ. Новый способъ приготовленія по венныхъ разрѣзомъ .	671
XV. Журналъ засѣданій Лѣсного Об-ва въ С.-Петербургѣ	673
XVI. Отъ казначея Лѣсного Общества	681
XVII. Библиографія и новыя книги	688
XVIII. Письма въ редакцію	745
XIX. Объявленія	789

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.

Типографія Спб. Градоначальств., Измайлов. п., 8 рота, д. № 20-6.

1913.

VI. Очерки по вопросу о техническихъ свойствахъ древесины.

I. Введение.

Вопросъ о техническихъ свойствахъ древесины имѣеть довольно длинную исторію. Первый относящіяся сюда свѣдѣнія приводятся въ сочиненіяхъ Плінія *), посвятившаго въ своихъ экономическихъ статьяхъ нѣсколько главъ прочности и крѣпости строевыхъ деревьевъ; у него встрѣчаются, напримѣръ, указанія на вліяніе возраста и условій роста на качества древесины. Съ начала восемнадцатаго вѣка открывается длинный рядъ работъ, посвященныхъ изслѣдованію крѣпости, упругости, а частью и удѣльнаго вѣса древесины. Среди лицъ, занимавшихся изученіемъ древесины, встрѣчаются представители самыхъ разнообразныхъ специальностей: физики, ботаники, лѣсоводы, инженеры и пр. Было потрачено уже много труда и все-же сдѣлано, въ сравненіи съ тѣмъ, что нужно еще сдѣлать, слишкомъ мало. Причину столь печальнаго явленія нужно искать въ необычайной сложности предмета. Дерево, будучи живымъ организмомъ, подвержено тысячи различныхъ внѣшнихъ вліяній, которые осложняются еще присущими самому растенію явленіями наследственности и измѣнчивости. Понятно, поэтому, что строительные материалы, появившіеся въ человѣческомъ обиходѣ сравнительно недавно (напримѣръ сталь), извѣстны, благодаря простотѣ и однородности своего строенія, гораздо лучше, нежели древесина. Вполнѣ понятно также, что при изученіи древесины требуется соблюденіе массы условій, не имѣющихъ мѣста при изслѣдованіи болѣе простыхъ однородныхъ материаловъ. Всѣдѣствие несоблюденія этихъ условій, цѣлый рядъ изслѣдованій, начиная съ появившейся въ 1707 году работы

*) Данныя по истории вопроса почерпнуты главнымъ образомъ изъ работы: «Untersuchungen über die Elasticität und Festigkeit der oesterreichischen Bauhölzer. von Anton Hadek und Gabriel Janka.

PARENT'а и Muschenbreck'a, знаменитаго натуралиста Бюффона, Duhamel du Monceau, Girard'a и другихъ—вплоть до 1848 года, не даетъ почти никакихъ положительныхъ свѣдѣній, всѣ полученные за этотъ періодъ данныя отличаются такими грубыми противорѣчіями, что пользоваться ими совершенно невозможно. Чуть-ли не единственнымъ результатомъ всѣхъ этихъ работъ нужно считать явившееся благодаря имъ сознаніе необходимости болѣе строгихъ научныхъ методовъ изслѣдованія. На совершенно новый путь становятся два французскихъ изслѣдователя: лѣсоводъ Chevandier и техникъ Wertheim, въ 1848 году ихъ монографія «Memoire sur les propriétés mécaniques du Bois» составляетъ прямо эпоху въ исторіи вопроса. Результаты этой работѣ относятся уже къ той категоріи данныхъ, съ которыми приходится считаться и въ настоящее время *).

Итакъ, если первыя попытки изученія древесины относятся еще къ глубокой древности, то во всякомъ случаѣ, серьезныя болѣе или менѣе научно обставленныя изслѣдованія начались въ сравни-тельно недавнее время.

Но и работы этого позднейшаго периода тоже подчасъ поражаютъ крупными разногласіями, что въ значительной степени нужно приписать отсутствію солидарности между отдѣльными изслѣдователями. Лѣсничіе рѣдко знаютъ, какими свойствами обладаетъ поставляемое ими дерево, а въ то же время строители, коммерсанты и фабриканты накопляють о древесинѣ свѣдѣнія, для обоснованія которыхъ имъ не достаетъ связующихъ нитей, а именно, знанія происхожденія деревьевъ. Каждый идетъ своимъ путемъ, обособленно отъ другихъ.

Чтобы показать насколько различными свойствами надѣляютъ древесину даже и той же породы различные авторы, приведемъ слѣдующія данные для сопротивленія раздавливанию.

Вѣнскій строительный справочникъ 1888 г. 500 kg/cm²

Австро-Венгерский строительный справочник

Энциклопедический Словарь Мейера 405 »

Какъ же можно пользоваться подобными данными? На почвѣ очень плохого, особенно у практиковъ, знакомства со свойствами древесины появились даже довольно курьезные предразсудки. Такъ по словамъ проф. Шваппаха, въ Германии сплошь и рядомъ наблюдалось, что въ области распространенія ели, строители выше

^{*)} Exner. Die Technischen Eigenschaften der Hölzer.

цѣнить сосну, и наоборотъ, тамъ, гдѣ господствуетъ эта послѣдняя порода, предпочтитають ель. Само собой разумѣется, что подобные предразсудки довольно чувствительно отражаются на народномъ хозяйствѣ.

Но если обратимся даже къ вполнѣ научно обставленнымъ изслѣдованіямъ, то и тамъ мы найдемъ чрезвычайно сильныя колебанія въ свойствахъ одной и той же породы.

Такъ, у Шваппаха приведены для сосны слѣдующія крайнія величины сопротивленія раздавливанію:

maximum 708 kg/cm²

minimum 215 kg/cm²

Разумѣется, главная масса изслѣдованныхъ образцовъ дала величины, гораздо болѣе близкія между собою; но уже самое существованіе этихъ рѣзкихъ уклоненій показываетъ, насколько сильно измѣняются свойства древесины при различныхъ условіяхъ. И если составители старыхъ справочниковъ нисколько не задумывались приводить для Германіи англійскія данныя, а для Америки—германскія, то всѣ лучшія новѣйшія изслѣдованія стремятся получить числа, выражаютія механическія свойства древесины только для строго опредѣленныхъ условій. Отъ мысли получить универсальныя величины теперь уже отказались.

II. Методы изслѣдованія техническихъ свойствъ древесины.

Удѣльный вѣсъ.

Методы для изученія древесины примѣнялись самые разнообразные, что отчасти стоитъ въ связи съ различиемъ въ специальностяхъ изслѣдователей; нерѣдко при этомъ опредѣленіе тѣхъ или другихъ свойствъ древесины производилось косвеннымъ путемъ, напримѣръ, объ упругости выводились заключенія по высотѣ звука; производимаго брусками, заготовленными изъ изслѣдуемой древесины; въ настоящее время этотъ способъ оставленъ и опредѣленіе величины упругости производится путемъ механическихъ испытаний.

Болѣе современные методы изслѣдованія техническихъ свойствъ древесины Mayg *) подраздѣляются на слѣдующія четыре категории:

*) H. Mayg. „Uber den forstlichen Wert der gegenwärtig ublichen Qualitätsbestimmungen der Hölzer“. Forstwissenschaftliches Centralblatt 1898 г.

Первый методъ состоитъ въ определеніи удѣльного вѣса, на основаніи котораго дѣлаются выводы и о механическихъ свойствахъ древесины, исходя изъ соображенія, что эти послѣднія измѣняются параллельно съ удѣльнымъ вѣсомъ; главными орудіями изслѣдованія являются здѣсь вѣсы и километръ. По второму методу производятся, наряду съ определеніемъ удѣльного вѣса, также и механическія испытанія, ставящія, однако, цѣлью только определеніе крѣпости при сжатіи. Основывается этотъ методъ на выскажанномъ Баушингеромъ положеніи, что между крѣпостью при сжатіи и другими механическими свойствами древесины существуетъ определенное соотношеніе. Третій методъ состоитъ въ определеніи всѣхъ важнѣйшихъ механическихъ коэффиціентовъ въ связи съ изслѣдованіями удѣльного вѣса и другихъ физическихъ свойствъ; «этотъ методъ ничего не предполагаетъ; онъ стоитъ на твердой базѣ, такъ какъ предварительно ставить себѣ цѣлью выяснить соотношеніе удѣльного вѣса и техническихъ свойствъ». Наконецъ, четвертый методъ всецѣло опирается на результаты массового опыта практическихъ дѣятелей лѣсного хозяйства и промышленности.

Первымъ изъ четырехъ указанныхъ методовъ особенно много работали Робертъ Гартигъ и его ученики: Берточь, Омейсь, Ейхгорнъ и др. Принявъ удѣльный вѣсъ какъ показатель добротности древесины, названные изслѣдователи связали его съ анатомическимъ строеніемъ древесины: распределеніемъ сосудовъ, ихъ шириной и длиной, участіемъ въ массѣ древесины механическихъ элементовъ (толстостѣнныхъ трахеидъ, либриформа и пр.), серцевинныхъ лучей и т. д. Эти изслѣдованія послужили основаніемъ для гипотезы Гартига, по которой удѣльный вѣсъ древесины обусловливается главнымъ образомъ комбинаціей двухъ факторовъ: богатствомъ почвы питательными веществами и силой транспираціи. Эта хорошо разработанная стройная гипотеза даетъ возможность удовлетворительно объяснить многія непонятныя съ первого взгляда явленія въ измѣненіяхъ удѣльного вѣса древесины въ связи съ условіями роста дерева *). Не входя здѣсь въ изложеніе указанной гипотезы, которой я предполагаю посвятить одинъ изъ слѣдующихъ очерковъ, перейду теперь къ вопросу о томъ, насколько вѣрна основная пред-

*) См. обѣ этомъ: *H. Бурый*. «Къ вопросу обѣ изученіи древесины». Лѣсной Журналъ № 1. 1896 г. *Л. Яшновъ*. «Вѣсъ древесины, какъ показатель ея добротности». Лѣсн. Журн.

посылка изслѣдователей школы Гартига, что по удѣльному вѣсу можно дѣлать заключенія вообще о техническихъ свойствахъ древесины. Категорическое рѣшеніе этого вопроса въ утвердительномъ смыслѣ можно встрѣтить въ нѣкоторыхъ научныхъ сочиненіяхъ и болѣе поздняго времени. Такъ напримѣръ, въ извѣстной книгѣ Бюсгена: «Строеніе и жизнь нашихъ лѣсныхъ деревьевъ» удѣльный вѣсъ древесины прямо отождествляется съ техническими ея свойствами. Однако изслѣдованія Тетмайера, Шваппаха, а также Маріабруннскай лѣсной опытной станціи не подтвердили полностью взгляда Гартига и его учениковъ, что по одному удѣльному вѣсу древесины можно судить объ ея техническихъ свойствахъ. Опираясь на данныя механическихъ испытаній Тетмайера и Шваппаха, Майръ приходитъ даже къ выводу, что вообще невозможно построить опредѣленное соотношеніе между удѣльнымъ вѣсомъ и различными видами крѣпости, въ силу чего и первый изъ четырехъ указанныхъ выше методовъ Майръ признаетъ не состоятельнымъ. Но несомнѣнно, что въ огульномъ отрицаніи метода Гартига Майръ впалъ въ противоположную крайность, такъ какъ изслѣдованія, напримѣръ, Шваппаха, внося извѣстныя ограниченія и поправки въ вопросѣ о примѣнимости удѣльного вѣса, какъ показателя добротности древесины, все-же, не даютъ основаній къ полному отрицанію зависимости между крѣпостью (при сжатіи) и плотностью древесины. Позднѣйшія работы Маріабруннской опытной станціи надъ елью обнаружили, что этотъ показатель качества древесины можетъ дать хорошіе результаты, если имъ пользоваться для сравнительныхъ изслѣдованій одной и той же породы и въ предѣлахъ опредѣленной области роста; необходимое условіе, которое должно быть соблюдено при этомъ—одинаковая влажность сопоставляемыхъ образцовъ древесины и отсутствіе сучьевъ, которые увеличиваютъ удѣльный вѣсъ, но въ то же время понижаютъ крѣпость древесины. На основаніи полученныхъ Маріабруннской станціей данныхъ, представилась даже возможность привести зависимость между крѣпостью при сжатіи (параллельно волокнамъ) и удѣльнымъ вѣсомъ древесины къ математической формулѣ, имѣющей для южно-тироильской ели слѣдующій видъ:

$$\beta_{15} = 10S_{15} - 70,$$

гдѣ β_{15} и S_{15} означаютъ соответственно крѣпость при сжатіи (въ килограммахъ на квадратный сантиметръ) и удѣльный вѣсъ, (умноженный на 100) при 15% содержанія влаги.

У съверно-тирольской ели соотношение удѣльного вѣса и крѣпости при сжатіи выражается вѣсколько иной формулой; но отличія заключаются исключительно въ величинѣ коэффиціентовъ при S_{φ} и постояннаго числа, показатели же степени при R_{φ} и S_{φ} остаются равными единицѣ. Къ уравненію первой степени приводить соотношеніе между рассматриваемыми величинами и Баушингеръ для нѣсколькихъ изслѣдованныхъ имъ породъ. Другого вида уравненіе было получено только Руделофомъ по отношенію къ буку, а именно:

$$\beta = a + bs + cs^2.$$

Въ послѣднемъ, третьемъ выпускѣ вышеупомянутыхъ громадныхъ изслѣдований Mariabrunинской лѣсной опытной станціи надь елью, Янка идетъ еще дальше въ своихъ обобщеніяхъ и находитъ возможнымъ вывести общую формулу для соотношенія между крѣпостью при сжатіи и удѣльнымъ вѣсомъ, примѣнимую уже всѣмъ восьми обслѣдованнымъ областямъ роста ели въ предѣлахъ Австріи. Формула эта имѣеть слѣдующій видъ:

$$\beta_{15} = 10.3 S_{15} - 60.$$

Хотя эта формула даетъ и менѣе точные результаты, чѣмъ формулы, выведенныя для отдельныхъ областей роста, тѣмъ не менѣе, для практическихъ цѣлей она, по мнѣнію Янка, вполнѣ пригодна, тѣмъ болѣе, что для лѣсопромышленника нѣдѣлко и невозможно установить точно происхожденіе той или иной древесины, вслѣдствіе чего было бы затруднительно опредѣлить, какая формула въ каждомъ данномъ случаѣ является болѣе подходящей. Къ сожалѣнію Янка не указываетъ точно, какая вѣроятная ошибка можетъ быть при пользованіи приведенной формулой; отсутствіе во многихъ случаяхъ указаній на степень точности выводимыхъ соотношеній составляетъ недостатокъ работы Mariabrunинской опытной станціи, являющейся въ другихъ отношеніяхъ образцовой.

Не ограничиваясь выводомъ общей математической зависимости между крѣпостью при сжатіи и удѣльнымъ вѣсомъ еловой древесины, Янка составилъ на основаніи среднихъ цифръ, выведенныхъ изъ данныхъ испытаній 5119 образцовъ, слѣдующую таблицу, въ которой по удѣльному вѣсу древесины можно найти крѣпость ея при сжатіи.

Удѣльный вѣсъ въ абсолютно-су- хомъ состояніи, умножен. на 100	Крѣпость при сжа- тіи въ абсолютно- сухомъ состояніи въ kg/cm.	Удѣльный вѣсъ въ абсолютно-су- хомъ состояніи, умножен. на 100.	Крѣпость при сжа- тіи въ абсолютно- сухомъ состояніи въ kg/cm.
31—32	531.6	43—44	799.1
32—33	535.9	44—45	828.4
33—34	559.0	45—46	848.5
34—35	572.2	46—47	830.5
35—36	601.6	47—48	876.7
36—37	627.8	48—49	910.3
37—38	640.6	49—50	899.5
38—39	663.2	50—51	943.6
39—40	686.5	51—52	948.1
40—41	717.1	52—53	993.8
41—42	738.3	53—54	1094.0
42—43	774.9	54—55	996.0

Въ эту таблицу вошли результаты механическихъ испытаний только абсолютно-сухой древесины, въ видахъ устраненія различій въ содержаніи влаги. Для практическаго дѣятеля было-бы, конечно интереснѣе имѣть таблицу, въ которой можно было-бы найти крѣпость, соотвѣтствующую удѣльному вѣсу при любомъ содержаніи влаги; но въ данномъ случаѣ настѣнокъ интересуетъ пока вопросъ о томъ, существуетъ ли вообще опредѣленная зависимость между удѣльнымъ вѣсомъ и крѣпостью еловой древесины, а для выясненія этой зависимости необходимо сопоставлять между собою только образцы одинаковой влажности. Правда, въ работѣ Маріабруннскай станціи имѣется таблица и для комнатно-воздушно-сухой древесины, но она осложнена введеніемъ нового фактора—влажности древесины, почему и разсмотрѣніе ея болѣе удобно будетъ сдѣлать въ очеркѣ, посвященномъ этой послѣдней.

При сопоставленіи данныхъ вышеприведенной таблицы, ясно видно, что крѣпость при сжатіи возрастаетъ параллельно съ увеличеніемъ удѣльного вѣса и только въ нѣкоторыхъ ступеняхъ, напримѣръ, для удѣльного вѣса 46—47 мы видимъ небольшія отступленія отъ этого правила.

Хорошимъ показателемъ добротности древесины, какъ строительного материала, является не только абсолютная величина коэффициента крѣпости при сжатіи, но и отношение этого послѣдняго къ удѣльному вѣсу, названное Янки «коэффициентомъ качества». Въ самомъ дѣлѣ, дерево, какъ строительный, а частью и подѣлочный материалъ, наиболѣе цѣнится въ томъ случаѣ, если оно обнаруживаетъ наибольшую крѣпость при наименьшемъ удѣльномъ вѣсѣ, ибо при такихъ условіяхъ оно, не увеличивая чрезмѣрно нагрузки, даетъ сооруженію достаточную прочность. Слѣдовательно, тѣмъ больше отношение: $\frac{\text{крѣпость при сжатіи}}{\text{удѣльный вѣсъ}}$ тѣмъ болѣе технически добротной нужно признать древесину.

Оказывается, что это отношение возрастаетъ съ увеличеніемъ удѣльного вѣса еловой древесины, что даетъ намъ еще большее право, чѣмъ данная выше приведенной таблицы, сдѣлать выводъ, что наиболѣе крѣпкая еловая древесина будетъ та, которая обладаетъ и наивысшимъ удѣльнымъ вѣсомъ. При удѣльномъ вѣсѣ 32—33 «коэффициентъ качества» составляетъ 16.43, а при удѣльномъ вѣсѣ 53—54—20.38

Надо думать, что и у другихъ древесныхъ породъ существуетъ опредѣленная зависимость между удѣльнымъ вѣсомъ и крѣпостью древесины, причемъ у лиственныхъ породъ, обладающихъ болѣе сложнымъ строеніемъ древесины, чаше должны встрѣчаться склоненія отъ средняго соотношенія между этими свойствами. Такъ, американскія изслѣдованія техническихъ свойствъ древесины, привели къ выводу, «что у деревьевъ съ простой структурой крѣпость увеличивается съ удѣльнымъ вѣсомъ независимо отъ рода и вида; это называется *ceteris paribus*, что болѣе тяжелое дерево есть и болѣе крѣпкое... ...Исключеніе, повидимому, составляютъ дубы, которые не обнаруживаютъ этого соотношенія удѣльного вѣса и крѣпости какъ между собою, такъ и по отношенію къ другимъ родамъ» *). Такимъ образомъ, по отношенію къ древесинѣ съ несложнымъ анатомическимъ строеніемъ (главнымъ образомъ хвойныхъ породъ) американцы шагнули въ своихъ обобщеніяхъ много дальше, чѣмъ Янка, ограничивающей свой выводъ примѣненіемъ только къ одной породѣ и притомъ извѣстной области распространенія; но въ то же время они выдѣляютъ дубъ,

*) Цитировано по статьѣ Майра: «*Über den forstlichen Wert der gegenwärtig ublichen Qualitätsbestimmungen der Hölzer*». Forstwissenschaftliches Centralblatt 1898 г.

какъ породу совершенно не обнаруживающую закономѣрности въ соотношенияхъ удѣльного вѣса и крѣпости при сжатіи.

Однако, произведенныя мною изслѣдованія техническихъ свойствъ дубовой древесины изъ Шипова лѣса Воронежской губ. показали, что даже у этой породы, несмотря на исключительную сложность строенія ея древесины, намѣчаются известная зависимость между рассматриваемыми свойствами. Въ слѣдующей таблицѣ приводятся средній удѣльный вѣсъ и крѣпость при сжатіи параллельно волокнамъ дубовой древесины въ сѣченіи на высотѣ груди двѣнадцать модельныхъ деревьевъ при влажности 12%, соотвѣтствующей комнатно-сухому состоянію *).

Удѣльный вѣсъ древесины въ комнатно-сухомъ со- стояніи $S_{\varphi} = 12\%$, умно- женный на 1000.	Коэффиціентъ крѣпости при сжатіи въ комнатно- сухомъ состояніи $R_{\varphi} = 12\%$ въ kg/cm^2 .
776	685
747	624
743	628
734	652
719	633
714	634
711	588
697	587
696	560
693	604
683	536
681	541

Несмотря на отдельные отступленія отъ правила, все-же нельзя не замѣтить въ приведенныхъ двухъ рядахъ цифры нѣ-

*.) Я не вхожу здѣсь въ подробности описанія способа заготовки образцовъ для испытанія, приведенія полученныхъ коэффиціентовъ къ влажности 12% и т. д., всѣ относящіяся сюда свѣдѣнія, наряду съ другими методологическими указаніями, помѣщены въ моей работе: «Изслѣдованіе техническихъ свойствъ дубовой древесины», которая въ скоромъ времени должна появиться въ печати.

котораго параллелизма, выражавшагося въ томъ, что съ уменьшениемъ удѣльнаго вѣса, понижается также и крѣость при сжатіи. Для того, чтобы выяснить, насколько подходящей для дубовой древесины является уравненіе прямой линіи вида: $y = ax + b$, и для опредѣленія величины коэффиціентовъ a и b , я поступилъ слѣдующимъ образомъ: нанеся въ прямолинейной системѣ координатъ по оси абсциссъ удѣльные вѣса ($S_{\varphi} = 12\%$), а по оси ординатъ —коэффиціенты крѣости при сжатіи ($R_{\varphi} = 12\%$), я проводилъ черезъ точки, соотвѣтствующія координатамъ прямую такимъ образомъ, чтобы отклоненія отдѣльныхъ точекъ отъ прямой въ обѣ стороны уравновѣшивались. Конечно прямая проводилась на глазъ, а затѣмъ при обнаруживающейся разницѣ въ суммѣ разстояній отъ нея точекъ въ обѣ стороны, направление ея соотвѣтствующимъ образомъ исправлялось. Когда наконецъ удалось привести прямую съ приблизительно одинаковой суммой уклоненій въ обѣ стороны, были измѣрены координаты двухъ ея возможно удаленныхъ одна другой точекъ и по нимъ опредѣлены коэффиціенты a и b въ уравненіи $y = ax + b$. Выведенная такимъ способомъ формула получила слѣдующій видъ:

$$R_{\varphi} = 1,44 S_{\varphi} - 425$$

гдѣ R_{φ} означаетъ коэффиціентъ крѣости при сжатіи въ килограммахъ на квадратной сантиметръ при влажности 12%, а S_{φ} — удѣльный вѣсъ, умноженный на 1000—при той же влажности.

О величинѣ погрѣшностей, которая даетъ эта формула въ примѣненіи къ каждой изъ двѣнадцати изслѣдованныхъ моделей можно судить по даннымъ слѣдующей таблички, въ которой сопоставлены величины коэффиціентовъ крѣости при сжатіи, съ одной стороны, найденные путемъ механическаго испытанія, и съ другой—вычисленные по формулѣ (см. стр. 492).

Какъ видимъ, разница не превышаетъ 5.1%, каковую величину нужно признать весьма незначительной, принимая во вниманіе, что механические коэффиціенты древесины вообще подвержены очень сильнымъ колебаніямъ. Такіе результаты даетъ формула въ примѣненіи къ среднимъ для всего сѣченія на высотѣ груди модельныхъ деревьевъ коэффиціентамъ крѣости при сжатіи и удѣльнымъ вѣсамъ; если же воспользоваться ею для вычислениія R_{φ} по данному S_{φ} для каждого отдѣльного подвергавшагося испытанію (около 250) образца древесины, то въ единичныхъ случаяхъ можно встрѣтить погрѣшность, доходящую до 20%, если не прини-

№ Модель- ныхъ деревьевъ.	Коэффициентъ крѣпости при сжатіи въ kg/mc. ²		Разница въ %/о отъ коэффициента, найденного меха- ническимъ испы- таниемъ.
	Вычисленный по формулѣ.	Найденный путемъ механическаго ис- пытания.	
1	632	652	3.1
2	610	633	3.6
3	573	604	5.1
4	651	624	4.3
5	579	587	2.0
6	645	648	0.5
7	599	588	1.9
8	555	511	2.8
9	559	536	4.3
10	603	634	4.9
11	692	685	1.0
12	577	560	3.0

матъ во вниманіе образцы, содержащіе сердцевинную трубку, вообще обнаруживающіе въ своихъ свойствахъ рѣзкія и неправильныя уклоненія и потому не принятые совершенно въ расчетъ при выводѣ формулы. Интересно отмѣтить, что у болѣе крупныхъ образцовъ древесины обнаруживаются меньшія отклоненія отъ найденной математической зависимости, чѣмъ у образцовъ мелкихъ; причина этого явленія, вѣроятно, заключается въ томъ, что въ болѣе крупныхъ кускахъ древесины рѣзкія индивидуальные уклоненія менѣе возможны, чѣмъ у образцовъ, захватывающихъ всего 5—6 годичныхъ слоевъ. Къ болѣе крупнымъ образцамъ въ данномъ случаѣ относятся призмы съ площадью сѣченія 20—30 кв. сантим., а къ мелкимъ—не болѣе 5 кв. см. Необходимо здѣсь сдѣлать оговорку, что хотя съ увеличеніемъ испытуемаго образца древесины становится больше вѣроятность полученія цифръ, выражающихъ среднія свойства древесины, тѣмъ не менѣе, за известными предѣлами увеличеніе размѣровъ образца можетъ грозить

полученіемъ случайныхъ результатовъ, вслѣдствіе появленія мелкихъ сучковъ и другихъ пороковъ, скрытыхъ внутри призмы и потому ускользающихъ отъ глаза изслѣдователя.

Такъ, между удѣльнымъ вѣсомъ и крѣпостью при сжатіи дубовой древесины Шипова лѣса существуетъ зависимость, которая для среднихъ величинъ можетъ быть выражена математической формулой. Но такъ какъ у отдѣльныхъ подвергнутыхъ изслѣдованію образцовъ древесины встрѣчаются уклоненія отъ найденной математической зависимости, доходящія до 20%, пользованіе удѣльнымъ вѣсомъ дубовой древесины, какъ критеріемъ ея добротности при сжатіи, допустимо съ извѣстными ограниченіями. Если мы будемъ на основаніи разницы въ удѣльномъ вѣсѣ двухъ небольшихъ образцовъ древесины сравнивать ихъ механическія свойства, какъ это дѣлаетъ, напримѣръ, Гартигъ въ своихъ лѣсотехническихъ изслѣдованіяхъ, то рискуемъ прийти къ неправильнымъ выводамъ. Если же мы имѣемъ удѣльный вѣсъ, представляющій собою среднее изъ результатовъ изслѣдованія 6—10 образцовъ, по возможности, покрывающихъ весь діаметръ ствола, то на основаніи его можемъ сдѣлать заключеніе о крѣпости древесины и даже вычислить ея коэффиціентъ сопротивленія сжатію при вѣроятной ошибкѣ не болѣе 5—6%.

Здѣсь мы встрѣчаемся съ явленіемъ, аналогичнымъ тому, которое наблюдается при примѣненіи на практикѣ массовыхъ таблицъ. Заключающіеся въ этихъ послѣднихъ средніе объемы стволовъ въ приложеніи къ отдѣльному дереву могутъ дать весьма большое расхожденіе съ дѣйствительностью; но чѣмъ больше число стволовъ, объемъ которыхъ опредѣляется по таблицамъ, тѣмъ меньше получается погрѣшность.

Въ одной изъ послѣднихъ работъ, относящихся къ техническимъ свойствамъ древесины, а именно: «Eschenholz zu Ski» *) Янка константируетъ тѣсную связь между удѣльнымъ вѣсомъ и крѣпостью древесины другой лиственой породы — ясеня. Онъ говоритъ: «техническія свойства: упругость, крѣпость при изломѣ и при сжатіи, а также твердость ясеневой древесины возрастаютъ вмѣстѣ съ увеличеніемъ удѣльного вѣса какъ въ абсолютномъ, такъ и воздушно-сухомъ состояніи....это наблюденіе справедливо не только по отношенію къ ясеню, но вообще ко всякой породѣ, и было мною неоднократно указано по отношенію, напримѣръ, къ

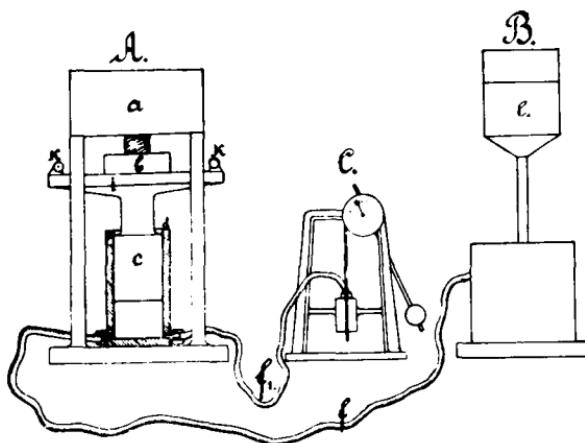
*) Centralblatt für das Gesamte Forstwesen.

ели. То обстоятельство, что нѣкоторые изъ изслѣдованныхъ древесинъ обнаруживаютъ уклоненія отъ общаго правила, имѣеть мѣсто вездѣ и всюду, гдѣ дѣло идетъ объ изслѣдованіи древесины и найти глубоко скрытныя причины этихъ уклоненій въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ до сихъ поръ не представляется возможнымъ».

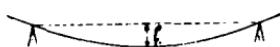
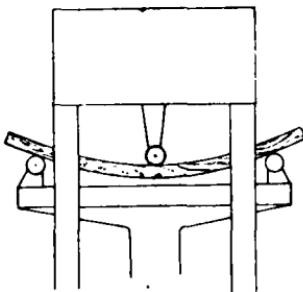
III. Соотношеніе между различными механическими свойствами древесины.

Въ предшествующемъ изложеніи, говоря о техническихъ свойствахъ древесины, я вездѣ имѣлъ въ виду только крѣпость при сжатіи. Теперь возникаетъ вопросъ, насколько эта послѣдняя можетъ характеризовать качества древесины, какъ строевого и подѣлочного материала, то, есть, насколько тѣсная связь существуетъ между крѣпостью и другими свойствами древесины. Во избѣженіе могущихъ возникнуть недоразумѣній, необходимо здѣсь же отмѣтить тѣ рамки, въ предѣлахъ которыхъ трактуется вопросъ о техническихъ свойствахъ древесины въ настоящихъ, предлагаемыхъ читателю очеркахъ. При современномъ громадномъ и въ высшей степени разнообразномъ примѣненіи древесины, техническія свойства ея могутъ быть расцѣниваемы съ весьма различныхъ точекъ зрѣнія—смотря по тому, употребляется ли древесина какъ строительной или подѣлочный материалъ, идетъ ли онъ для производства древесной массы, для сухой перегонки и пр. Въ данномъ случаѣ предметъ нашей статьи составлять механическія свойства древесины, именно, крѣпость и упругость при изломѣ и при сжатіи, а также твердость—каковыя свойства имѣютъ существенное значеніе при употребленіи дерева для столярныхъ и строительныхъ дѣлъ.

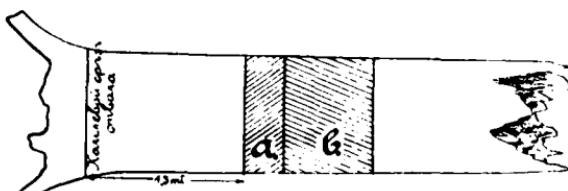
Вопросъ, слѣдовательно, заключается въ томъ, чтобы выяснить зависимость между крѣпостью при сжатіи и другими механическими свойствами древесины. Предполагая, что далеко не всѣ читатели знакомы со способами производства механическихъ испытаній, я позволю себѣ здѣсь привести схематическое описание одной изъ наиболѣе распространенныхъ въ настоящее время машинъ—гидравлическаго пресса Амслера-Лаффона, а также спосовъ опредѣленія крѣпости и упругости при сжатіи и изломѣ. Изъ этого описанія читатель, незнакомый съ учениемъ о сопротивленіи материаловъ, можетъ составить нѣкоторое представление о томъ, какое значеніе имѣютъ такія специальные выраженія какъ



Черт. 1.



Черт. 2.



Черт. 4.

коэффициентъ крѣпости при сжатіи и при изломѣ, модуль упругости и проч.

Прессъ состоитъ изъ слѣдующихъ главныхъ частей (см. черт. № 1.) собственно пресса—А, ротативнаго насоса—В, посредствомъ котораго накачивается подъ поршень пресса масло изъ бака—е, и манометра—С. Устройство самаго пресса очень просто. Внутри цилиндра d ходить поршень с, наверху котораго укрѣплена платформа i; на этой послѣдней помѣщается плита в, на которую ставится испытуемой на сжатіе образецъ древесины, имѣющій форму премоугольной призмы. Подъ поршень накачивается изъ бака масло по трубкѣ f, вслѣдствіе чего поршень подымается и прижимаетъ призму къ верхней укрѣпленной неподвижно плитѣ—а. Давленіе масла подъ поршнемъ передается манометру посредствомъ трубы — f. Продолжающейся подкачкой масла давленіе доводится до того предѣла, за которымъ наступаетъ разрушеніе ткани древесины, которое очень легко улавливается манометромъ, указательная стрѣлка котораго въ моментъ деформаціи быстро отходитъ назадъ. Увеличеніе нагрузки происходитъ весьма постепенно; при излѣдованіи упругости производится также измѣреніе укороченій бруска, соотвѣтствующихъ возрастанію давленія. Наибольшее достигнутое давленіе относенное къ единицѣ площиади сѣченія призмы, и выражитъ величину коэффициента крѣпости при сжатіи.

Испытанія на изломъ производятся на томъ же прессѣ; плита—в при этомъ убирается, а вмѣсто нея укрѣпляются валики—к, на которые кладется испытуемый образецъ, имѣющій форму длинной прямоугольной призмы; къ плитѣ—а тоже привинчивается валикъ, который и надавливается на средину бруска (Черт. 2-ой).

Для опредѣленія модуля упругости измѣряется стрѣла прогиба бруска—f; вычисленіе же производится по слѣдующей формулѣ:

$$E = \frac{pl^3}{4bh^3f}$$

гдѣ буквы обозначаютъ: Е—модуль упругости, выражаемый въ килограммахъ на квадратный сантиметръ поперечнаго сѣченія, р—величина давленія, соотвѣтствующаго стрѣлѣ прогиба—f, l—длина бруска между опорными валиками, b—ширина и h—толщина бруска посерединѣ. Въ общежитіи подъ словомъ упругость нерѣдко понимаютъ способность бруска изгибаться подъ дѣйствіемъ внѣшнихъ силъ, причемъ болѣе упругими считаются дерево, которое

легче гнется. Модуль упругости, вычисляемый по вышеприведенной формуле, наоборотъ, будетъ тѣмъ больше, чѣмъ большее сопротивление оказываетъ дерево изгибающимъ усилиямъ, ибо давленіе р входитъ въ числитель, а стрѣла прогиба—f—въ знаменатель. Рассматриваемая формула выводится въ предположеніи, что стрѣла прогиба увеличивается пропорционально нагрузкѣ, почему р и f, необходимыя для вычисленія—E, ведутся только до таکъ называемаго предѣла упругости, за которымъ возрастаніе прогиба происходитъ быстрѣе увеличенія нагрузокъ.

Если остановить опытъ до достижениія предѣла упругости и спустивъ масло изъ подъ поршня пресса, прекратить давленіе на средину бруска, то этотъ послѣдній принимаетъ ту же форму, какую онъ имѣлъ до начала испытанія; если же прекратить давленіе за предѣломъ упругости, то полнаго возвращенія къ первоначальной формѣ уже не происходитъ, получается «остающаяся деформація».

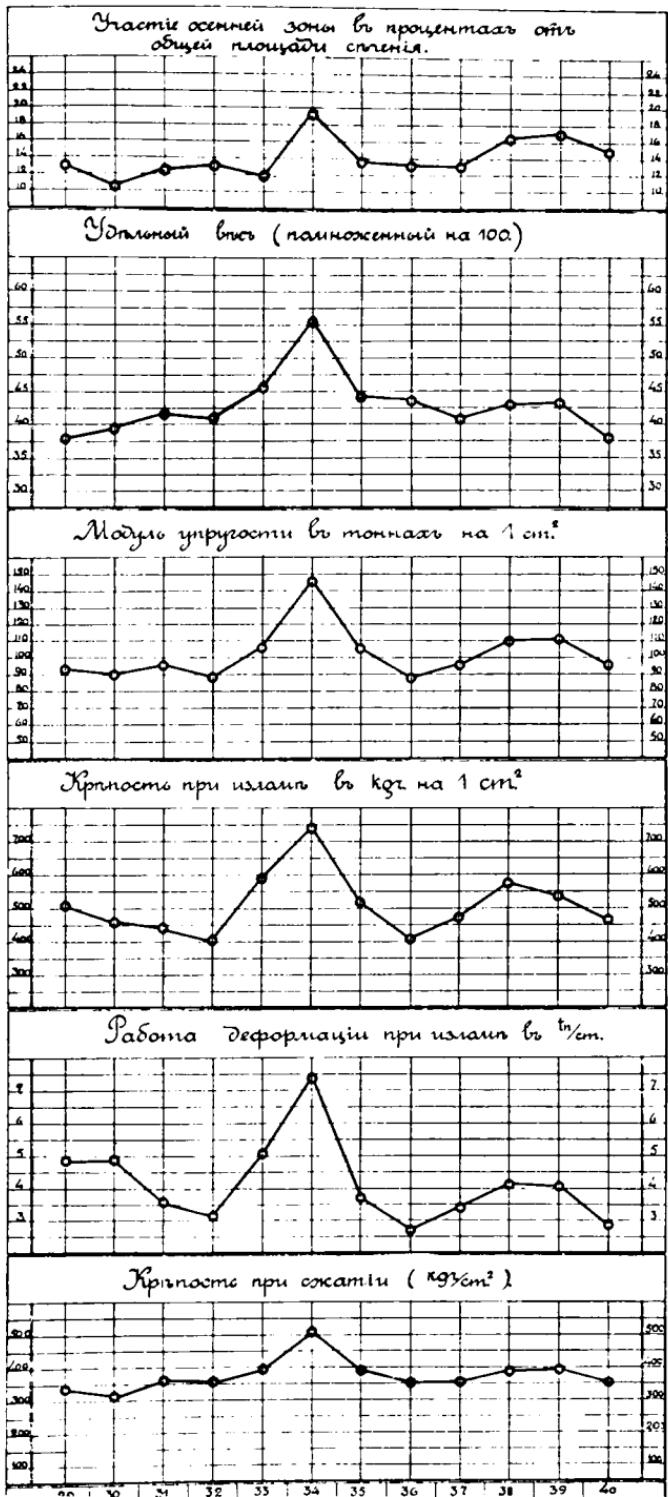
Вычисленіе крѣпости при изломѣ производится по формулѣ

$$R = \frac{3Pl}{2bh^2}$$

гдѣ R обозначаетъ коэффиціентъ крѣпости при изломѣ, выражаемый въ килограммахъ на квадратный сантиметръ поперечного сѣченія, P—давленіе въ моментъ излома бруска, а значеніе остальныихъ буквъ остается то же, что и въ формулѣ для вычисленія модуля упругости.

Такъ какъ при употребленіи дерева для строительныхъ цѣлей весьма часто предъявляются требованія къ крѣпости и упругости этого материала при изломѣ, представляются весьма важными для болѣе или менѣе полной характеристики механическихъ свойствъ древесины испытанія на изгибъ. Но принимая во вниманіе, что эти послѣднія сопряжены съ большой затратой времени и энергіи, является мысль, нельзя ли ограничиться опредѣленіемъ только крѣпости при сжатіи, по которой и судить о крѣпости и упругости при изломѣ. Нѣкоторые изслѣдователи, какъ напримѣръ, Шаппахъ и ограничивались въ своихъ работахъ опредѣленіемъ только коэффиціентовъ сопротивленія сжатію; интересно выяснить, насколько полученные ими данныя могутъ служить основаніемъ для судебнѣй вообще о механическихъ свойствахъ подвергавшейся изслѣдованію древесины. Мы подошли такимъ образомъ къ оцѣнкѣ второго изъ четырехъ устанавливаемыхъ Майромъ методовъ. Самъ

Соотношение различных механических коэффициентов еловой древесины.



Майръ относится къ этому методу весьма скептически, отрицая существование определенной зависимости между различными механическими коэффициентами.

Новѣйшія изслѣдованія техническихъ свойствъ древесины не даютъ, однако, основаній для такого взгляда. Правда, у отдѣльныхъ, подвергающихся испытанию образцовъ древесины, замѣчаются значительныя колебанія въ величинѣ соотношенія коэффициентовъ крѣпости и упругости при сжатіи и изломѣ; но при выводѣ среднихъ эти колебанія слаживаются и существование определенной зависимости между различными механическими свойствами выступаетъ, съ полной несомнѣнностью. Такъ, согласно даннымъ цитированной уже выше работы Марлабруннской опытной станціи надъ елью, отношеніе крѣпости при изломѣ къ крѣпости при сжатіи у сѣверно-тиrolской ели колеблется отъ 1.53 до 1.30, а у ели изъ Вѣнскаго Лѣса отъ 1.51 до 1.17, составляя въ среднемъ для всѣхъ изслѣдованныхъ образцовъ 1.50 (въ воздушно-сухомъ состояніи, то есть при содержаніи влаги 12—15%). Указанные предѣлы колебаній, однако, сильно слаживаются въ отношеніяхъ среднихъ для цѣлыхъ моделей. На слѣдующемъ графикѣ, (черт. № 3), на которомъ нанесены коэффициенты крѣпости, а также упругости при изломѣ и при сжатіи согласный ходъ кривыхъ свидѣтельствуетъ о существованіи ясно выраженной зависимости между рассматриваемыми свойствами древесины. На томъ же графикѣ нанесены и удѣльные вѣса, кривая которыхъ въ главныхъ изломахъ тоже находится въ полномъ соотвѣтствіи съ остальными кривыми, что еще разъ подтверждаетъ сдѣланный выше выводъ, что удѣльный вѣсъ можетъ служить критеріемъ для сужденія о качествахъ древесины, если только пользоваться имъ съ извѣстными ограниченіями.

Посмотримъ теперь какъ измѣняется отношеніе крѣпости при изломѣ къ крѣпости при сжатіи, а также модуль упругости къ крѣпости при изломѣ у различныхъ изслѣдованныхъ мною образцовъ дубовой древесины. Въ слѣдующей таблицѣ показаны величины двухъ названныхъ отношеній выведенныхъ для восьми дубовыхъ модельныхъ деревьевъ изъ Шипова лѣса по даннымъ механическихъ испытаний призмъ, выколотыхъ изъ ствола на высотѣ груди.

№№ модельныхъ деревьевъ.	Отношение E/R при изломѣ.	Отношение:
		$\frac{R \text{ при изломѣ}}{R \text{ при сжатіи}}$.
1	118	2.01
2	114	1.89
3	106	2.15
4	90	2.17
5	117	1.92
6	114	1.98
7	121	2.05
8	102	1.92

Какъ видимъ отношение E:R при изломѣ колеблется въ предѣлахъ отъ 90 до 121, а отношение $\frac{R \text{ при изломѣ}}{R \text{ при сжатіи}}$ отъ 1.89 до 2.17. Выводя среднія величины этихъ отношеній для всѣхъ восьми модельныхъ деревьевъ, получаемъ въ округленныхъ числахъ:
 $E:R = 110$ и $\frac{R \text{ при изломѣ}}{R \text{ при сжатіи}} = 2$, т. е. модуль упругости выражается числомъ въ 110 разъ большимъ, чѣмъ коэффиціентъ при изломѣ, а этотъ послѣдній—числомъ вдвое большимъ, чѣмъ коэффиціентъ крѣпости при сжатіи.

Теперь возникаетъ вопросъ, насколько точные результаты можно получить, пользуясь выведенными соотношеніями для вычисленія однихъ механическихъ коэффиціентовъ по другимъ. Наибольшихъ погрѣшностей нужно, конечно, ожидать для тѣхъ модельныхъ деревьевъ, у которыхъ замѣчается наибольшее отклоненіе въ величинѣ отношеній отъ найденныхъ среднихъ, а именно, для №№ 4 и 7-го. Сравнивая для нихъ модули упругости и коэффиціенты крѣпости при изломѣ, съ одной стороны вычисленные, а съ другой—найденные путемъ механическаго испытанія, получаемъ отклоненія до 10%.

Приведенные въ таблицѣ данные относятся къ тѣмъ дубамъ, которые взяты были съ почвъ наиболѣе распространенныхъ въ

Шиповомъ лѣсу и дающихъ древесину наилучшаго качества въ предѣлахъ этого лѣсного массива. Въ томъ же Шиповомъ лѣсу встречаются, однако, дубовая насажденія, дающія древесину, довольно сильно уклоняющуюся по своимъ свойствамъ отъ древесины, произрастающей на почвахъ наиболѣе распространенныхъ здѣсь типовъ. Такъ на крутыхъ склонахъ овраговъ и на солонцеватыхъ суглинкахъ дубъ даетъ древесину меньшей крѣпости и упру-

$\frac{R \text{ при изломѣ}}{R \text{ при сжатіи}}$

гости; оказывается, что и величина отношеній $E : R$ и R при изломѣ сильно измѣняется у древесины дуба при условіяхъ роста, въ соотвѣтствіи съ чѣмъ и величина отклоненій, получающихся при сличеніи механическихъ коэффиціентовъ съ одной стороны вычисленныхъ, а съ другой найденныхъ опытомъ, доходитъ до 20—22%.

Указанныя довольно значительныя величины, представляютъ интересъ въ томъ отношеніи, что онѣ показываютъ, насколько вообще сильно могутъ измѣняться свойства дубовой древесины подъ вліяніемъ условій роста; но для характеристики древесины дуба Шипова лѣса данные для такихъ исключительныхъ условій роста имѣютъ второстепенное значеніе, тѣмъ болѣе, что на рѣзко выраженныхъ солонцеватыхъ суглинкахъ дубъ почти не даетъ строевыхъ и подѣлочныхъ сортиментовъ.

Такимъ образомъ, если отрѣшившись отъ крайностей и разматривать свойства древесины дубовъ, выросшихъ на почвахъ наиболѣе распространенныхъ въ Шиповомъ лѣсу и дающихъ главную массу строевой и подѣлочной древесины изъ этого лѣсного массива, то вполнѣ возможно получить среднія величины отношеній коэффиціентовъ крѣпости и упругости при изломѣ и крѣпости при сжатіи и находить при помощи ихъ вычислительнымъ путемъ механические коэффиціенты на изломѣ по даннымъ испытаний на сжатіе. Уклоненія вычисленныхъ коэффиціентовъ отъ найденныхъ опытомъ, доходящія въ отдельныхъ случаяхъ до 10%, нельзя считать очень значительными, принимая во вниманіе чрезвычайно сильную измѣнчивость механическихъ коэффиціентовъ древесины, вслѣдствіе чего всякие расчеты здѣсь могутъ производиться только съ грубымъ приближеніемъ.

Что найденные отношенія E/R при изломѣ и $\frac{R \text{ при изломѣ}}{R \text{ при сжатіи}}$ не являются случайными; а довольно близко отвѣчаютъ соотношеніямъ существующимъ въ дѣствительности, можно видѣть изъ слѣдующаго

сопоставлениія. Всѣ заготовленные изъ вышеуказанныхъ восьми модельныхъ деревьевъ образцы для механическихъ испытаній древесины раздѣляются на двѣ серіи: одни образцы служили для испытаній на сжатіе, а другіе на изломъ, какъ видно изъ слѣдующаго схематического чертежа. (Черт. 4-ый)

Изъ кругляка—а, выпиленного на высотѣ 1,3 метра отъ почвы, выкалывались образцы на сжатіе, а изъ болѣе длиннаго кругляка—б—образцы на изломъ; изъ этихъ послѣднихъ выпиливались послѣ окончанія опыта еще короткія призмочки, служившія для опредѣленія крѣпости при сжатіи. Отношенія механическихъ коэффиціентовъ вычислялись только по даннымъ испытаній длинныхъ брусковъ и выпиляемыхъ изъ нихъ же образцовъ на сжатіе. Что же касается образцовъ, заготовлявшихся изъ кругляка—а, то они не служили для вывода указанныхъ соотношеній; средній коэффиціентъ крѣпости при сжатіи, выведенный на основаніи механическихъ испытаній этихъ образцовъ, составляетъ 631 kg/cm^2 ; умножая 631 на 2 , а полученный результатъ на 110 , найдемъ крѣпость и упругость при изломѣ: $R = 1262 \text{ kg/cm}^2$, а $E = 138820 \text{ kg/cm}^2$. Сравнивъ найденные вычисленіемъ коэффиціенты съ средними, выведенными изъ данныхъ механическихъ испытаній: $R = 1269 \text{ kg/cm}^2$ и $E = 143400 \text{ kg/cm}^2$, видимъ, что разница въ величинѣ E составляетъ 3 съ небольшимъ процента, а въ величинѣ R всего 0.5% . Отсюда видимъ, что даже при сопоставленіи данныхъ механическихъ испытаній образцовъ разныхъ серій отношеніе E/R при изломѣ оказывается очень близкимъ къ приведеннымъ выше числамъ: 110 и 2 .

Такимъ образомъ, даже у дуба — породы подверженной наиболѣе сильнымъ случайнѣямъ и колебаніямъ въ механическихъ свойствахъ, можно подмѣтить нѣкоторое постоянство въ соотношеніяхъ коэффиціентовъ между собою, причемъ отношенія эти отличаются отъ тѣхъ, которыя выведены были для ели; а именно, у этой породы, какъ было указано выше, крѣпость при изломѣ въ полтора раза больше крѣпости при сжатіи, тогда какъ у дуба отношеніе это составляетъ $2 : 1$.

Нельзя поэтому признать, какъ это дѣлаетъ Майръ, методъ изслѣдованія древесины, основанный на опредѣленіи только коэффиціентовъ крѣпости при сжатіи, совершенно несостоятельнымъ. Имъ пользоваться можно въ комбинаціи съ третьимъ методомъ,

состоящимъ въ опредѣлениі всѣхъ важнѣйшихъ механическихъ коэффициентовъ.

При изслѣдованіи многихъ лѣсоводственныхъ вопросовъ, связанныхъ съ изученiemъ техническихъ свойствъ древесины, частоявляется необходимость механическихъ испытаний весьма большого числа образцовъ; принимая же во вниманіе, что опредѣленіе всѣхъ хотя-бы важнѣйшихъ механическихъ коэффициентовъ сопряжено съ громадной затратой времени, необходимо, конечно, стремиться къ упрощенію работы. Этого упрощенія можно достичь путемъ ющимъ образомъ: производя испытанія на сжатіе столько, сколько потребуется для всѣхъ сопоставленій, связанныхъ съ даннымъ вопросомъ, число испытаний на изломъ можно сократить до минимума, необходимаго для вывода среднихъ соотношеній $E : R$ и R при изломѣ R при сжатіи, причемъ среднія могутъ быть выведены или общія для всѣхъ изслѣдованныхъ образцовъ или для известныхъ группъ ихъ. Во многихъ случаяхъ такой обходный путь опредѣленія крѣпости и упругости является единственнымъ возможнымъ. Напримѣръ, при изслѣдованіи вліянія на техническія свойства древесины проходныхъ рубокъ или хотя-бы осушки болотъ, при изученіи измѣненій крѣпости и упругости древесины съ возрастомъ дерева и т. п. приходится заготовлять образцы очень мелкие, испытанія которыхъ на изломъ дали бы весьма ненадежные результаты, между тѣмъ какъ при современныхъ конструкціяхъ машинъ опредѣленіе коэффициента крѣпости при сжатіи даже на малыхъ образцахъ можетъ быть произведено съ достаточной степенью точности.

Если крѣпость и упругость при изломѣ стоять въ опредѣленной зависимости какъ между собою, такъ и по отношенію къ крѣпости при сжатіи, то нельзя того же сказать о другомъ очень важномъ механическомъ свойствѣ древесины—твердости, соотношеніе которой съ другими механическими коэффициентами мѣняется чрезвычайно рѣзко и неправильно. Къ этому вопросу мы еще вернемся въ особомъ очеркѣ, посвященнымъ твердости древесины.

С. А. Богословскій.

(Продолженіе слѣдуетъ).

I. Очерки по вопросу о техническихъ свойствахъ древесины.*)

IV. Твердость.

Твердость древесины имѣеть весьма большое практическое значение, ибо отъ нея зависить большая или меньшая затрата силы, какъ при заготовкѣ лѣса на мѣстѣ, такъ и при дальнѣйшей обработкѣ полученныхъ матеріаловъ. Особое значеніе твердость имѣеть у тѣхъ древесныхъ породъ, которыя находять примѣненіе въ столярномъ дѣлѣ, ибо при слишкомъ высокой твердости приходится затрачивать много лишней работы для приданія предмету желаемой формы; кромѣ того здѣсь имѣеть значеніе и быстрая порча инструментовъ. Напротивъ, во многихъ случаяхъ, какъ напримѣръ, при изготовлѣніи нѣкоторыхъ машинныхъ частей, отъ древесины требуется повышенная твердость. При употребленіи дуба па клепку иногда требуется мягкая древесина, какъ напримѣръ, при заготовкѣ мелкихъ, не подлежащихъ возврату бочекъ; въ другихъ же случаяхъ бондари, наоборотъ, предпочитаютъ твердую клепку, которая болѣе пригодна для тяжелыхъ бочекъ, предназначенныхъ для отдаленного транспорта. Приведенными примѣрами, конечно, далеко не исчерпываются всѣ случаи, въ которыхъ могутъ быть предъявлены тѣ или иные требованія по отношенію къ твердости древесины.

Но несмотря на большую важность вопроса, опредѣленіе твердости древесины до самого послѣдняго времени не входило въ кругъ обычныхъ лабораторныхъ механическихъ испытаний. Причину указанного явленія нужно видѣть въ томъ, что только сравнительно недавно разработанъ методъ, позволяющій находить числовое выраженіе величины твердости, безъ чего научное изслѣдованіе вопроса, конечно, немыслимо. Этотъ методъ былъ сначала предложенъ и разработанъ Бриннелемъ главнымъ образомъ въ примѣненіи къ металламъ, а затѣмъ Янка воспользовался имъ и

для изслѣдованія древесины, введя нѣкоторыя видоизмѣненія въ технику испытаній, сообразно съ особенностями материала.

Тѣ соображенія, по которымъ Янка рѣшилъ примѣнить методъ Бриннеля къ древесинѣ, изложены въ его статьѣ: *Die Härte des Holzes* *) („Твердость древесины“). Позволяю себѣ привести здѣсь почти дословную выдержку изъ этой статьи:

«Если мы говоримъ о твердости древесины, то мы представляемъ себѣ проникающее въ эту послѣднюю постороннее твердое тѣло въ видѣ какого-нибудь специально приспособленного для такой цѣли инструмента: топора, клина, ножа, струга, пилы и проч. Такъ какъ эти различныя орудія, стремясь разъединить частицы вещества древесины оказываютъ на нее совершенно различное дѣйствіе, то нужно было-бы, собственно говоря, опредѣлять твердость особо для каждого данного инструмента.

При этомъ играютъ роль также разныя другія механическія свойства древесины—упругость, связность, расколимость, поскольку они препятствуютъ или способствуютъ прониканію орудія въ древесину. Такъ, клинъ производить разрывъ боковой связи волоконъ; работъ его противодѣйствуетъ крѣпость при расколимости, а упругость, наоборотъ, способствуетъ; топоръ ири поперечномъ разрубаніи дерева перерѣзаетъ поперекъ волокна, тогда какъ при ударѣ въ торецъ дѣйствіе его заключается въ раскалываніи, а отчасти въ продольномъ разрѣзаніи волоконъ; пила, рашпиль и напильникъ дѣйствуютъ разрѣзаніемъ и разрывомъ волоконъ, ножъ и стругъ—разрѣзаніемъ, причемъ большія различія наблюдаются еще въ зависимости отъ того, производится ли обработка поперекъ или вдоль волоконъ.

Далѣе, при сужденіи о твердости древесины должны быть приняты еще во вниманіе способъ примѣненія обрабатывающихъ орудій, т. е. дѣйствуютъ ли они ударомъ, толчкомъ, рѣзаньемъ или другимъ какимъ образомъ; наконецъ, имѣеть значеніе также и скорость, съ какой движется данный инструментъ.

Нѣрдлингеръ, старый маэстро лѣсной технологіи, считаетъ даже невозможнымъ опредѣленіе абсолютной твердости древесины и даетъ только относительную твердость въ примѣненіи къ различнымъ инструментамъ, да и эту послѣднюю онъ характеризуетъ только качественно: очень твердая, твердая, мягкая и т. д.

Стремясь ближе подойти къ вопросу о томъ, какъ выразить твердость въ точныхъ числовыхъ величинахъ, мы должны прежде

*) Centralblatt fr des gesamte Forstwesen.

всего эмансирироваться отъ предубѣжденія, что твердость должна относиться къ какому-нибудь древообрабатывающему инструменту и исходить изъ общаго опредѣленія, твердости представляющаго эту послѣднюю какъ сопротивление древесины проникновенію въ нее посторонняго твердаго тѣла. Что касается формы этого послѣдняго, то Янка заимствовалъ ее у шведскаго инженера Бриннеля, предложившаго новый способъ испытанія твердости главнымъ образомъ металловъ при помощи вдавливанія стального шарика въ гладкую поверхность испытуемаго образца. Въ указанный способъ Янка внести нѣкоторыя измѣненія, сдѣлавъ его болѣе примѣнимымъ къ дереву. Вместо шарика онъ предложилъ вдавливать въ дерево полусферу съ наибольшимъ сѣченіемъ въ 1 ст., что соотвѣтствуетъ діаметру въ 11.284 миллиметра; полушиаріе это находится на нижнемъ основаніи цилиндрадвигающагося, внутри другого, полаго направляющаго цилиндра.

Испытуемый образецъ древесины помѣщается на нижнюю пластину пресса, на гладко остроганную поверхность его помѣщается приборъ, затѣмъ подкачкой масла подъ поршень поднимаютъ платформу до соприкосновенія верхняго основанія цилиндра съ верхней плитой пресса и начинаютъ испытаніе, во время котораго давленіе медленно и постепенно увеличивается до тѣхъ поръ пока вся полусфера не будетъ вдавлена; этотъ послѣдній моментъ улавливается слѣдующимъ образомъ.

Когда вся полусфера войдетъ въ дерево давленіе сразу падаетъ, и стрѣлка монометра немножко отходитъ назадъ; происходитъ это странное, съ первого взгляда, явленіе оттого что нижнее основаніе цилиндра несмотря на большую площадь, встрѣчаетъ первый моментъ очень слабое сопротивленіе пока не произошло обмятія волоконъ на поверхности дерева; но какъ только это наступило давленіе начинаетъ очень быстро возрастать и стрѣлка дѣлаетъ рѣзкій скачекъ впередъ. По описаннымъ движеніямъ стрѣлки моментъ окончанія испытанія можно опредѣлить довольно точно.

Такъ какъ площадь образуемаго полусферой вдавленія составляетъ 1 стм., то показанное монометромъ наибольшее давленіе будетъ безъ всякихъ перечисленій выражать коэффиціентъ твердости, отнесенный къ принятой вообще при механическихъ испытаніяхъ единицѣ площасти.

Описанный методъ испытанія твердости не соотвѣтствуетъ

работъ ни одного изъ древообрабатывающихъ инструментовъ, ибо при немъ не происходит ни разрѣзанія, ни разрыва, ни раскальванія древесныхъ волоконъ, а наблюдается только смятіе ихъ и вдавливаніе во всѣ окружающія полусферу пустоты въ тканяхъ; но это, именно составляетъ большое преимущество метода Янка, ибо имъ опредѣляется, такъ сказать, „нейтральный видъ твердости“, отвѣчающей общему представленію объ этомъ свойствѣ древесины.

Интересная попытка числового выраженія твердости древесины сдѣлана была проф. Бюсгеномъ. Названный ученый опредѣлялъ твердость величиною груза, подъ давленіемъ котораго игла входила въ древесину на глубину 2 mm. Но такой способъ изслѣдованія твердости не нашелъ большого примѣненія въ широкой лабораторной практикѣ. Дѣло въ томъ, что коэффиціентъ твердости, получающейся по способу Бюсгена, будетъ чрезвычайно сильно варьировать въ зависимости отъ того, въ какое мѣсто сѣченія куска древесины попадетъ острѣе иглы; если оно будетъ поставлено въ богатую сосудами пористую весеннюю зону годичнаго колыца—сопротивленіе окажется очень низкимъ; напротивъ въ осенней зонѣ, где преобладаютъ толстостѣнныя съ малой внутренней полостью анатомическіе элементы, коэффиціентъ твердости получится очень высокій. И какое бы большое число опредѣленій твердости мы не дѣлали, все равно среднія цифры не будутъ достаточно надежны.

Какъ велики могутъ быть различія въ величинѣ твердости, (определенной съ помошью иглы), въ предѣлахъ одного годичнаго слоя, показываютъ слѣдующія цифры, полученные самимъ же Бюсгеномъ:

Для ироникновенія иглы на глубину 2 mm въ поперечныя сѣченія куска дубовой древесины требовалась нагрузкa:

въ зонѣ крупныхъ сосудовъ	400 g.
въ группахъ мелкихъ сосудовъ	1000 g.
въ группахъ волоконъ	3000 g.
въ сердцевинныхъ лучахъ	3000 g.

Для продольного сѣченія того же куска древесины получились слѣдующія цифры:

въ весенней зонѣ	3000 g.
» осенней »	отъ 4000 до 5000 g.

Приведенные данные интересны, между прочимъ, въ томъ отношеніи, что позволяютъ до нѣкоторой степени судить о механической роли различныхъ элементовъ древесины, и въ этомъ смыслѣ методъ Бюсгена можетъ имѣть извѣстное значеніе, хотя онъ и не даетъ общей характеристики древесины въ отношеніи твердости.

Остановимся теперь на нѣкоторыхъ результатахъ изслѣдованій твердости древесины, произведенныхъ по методу Приннеля—Янка.

Въ числѣ условій, отъ которыхъ зависитъ большая или меньшая твердость древесины, нужно прежде всего указать на вліяніе анатомического строенія, отъ особенностей котораго зависитъ фактъ, что твердость древесины неодинакова въ различныхъ плоскостяхъ сѣченія: торцовой, радиальной и тангенциальной. У большинства нашихъ европейскихъ древесныхъ породъ твердость въ продольныхъ сѣченіяхъ оказывается ниже, чѣмъ въ торцѣ, причемъ у хвойныхъ разница составляетъ около 30%, а у лиственныхъ 20%. Нѣкоторые породы, произрастающія глаынцомъ образомъ въ тепломъ и жаркомъ климатѣ, обнаруживаютъ нѣсколько иное соотношеніе твердостей въ различныхъ сѣченіяхъ; такъ напримѣръ, у обеноваго дерева, чернильного дуба падуба (*Hex aquifolium*), твердость продольная, по крайней мѣрѣ, въ тангенциальномъ сѣченіи, оказывается выше, чѣмъ торцовая.

Интересно отмѣтить здѣсь, что Бюсгенъ своимъ методомъ получилъ совершенно обратные результаты; а именно, у него оказалась продольная твердость почти безъ исключенія выше, чѣмъ торцовая, что и понятно, такъ какъ въ торцѣ игла легко попадаетъ въ полости крупныхъ сосудовъ и другія пустоты, между тѣмъ, какъ въ долевыхъ сѣченіяхъ даже въ пористой весенней зонѣ игла должна преодолѣвать сопротивленіе боковыхъ стѣнокъ сосудовъ, не говоря уже о плотной механической ткани осенней зоны. Уже этотъ выводъ, стоящий въполномъ противорѣчіи со сложившимися въ практикѣ представленіями о твердости древесины по различнымъ направленіямъ, показываетъ, что методъ Бюсгена можетъ имѣть только ограниченное примѣненіе.

Ширина годичного слоя не стоитъ въ опредѣленномъ соотношении съ твердостью древесины *), но зато участіе осенней зоны

*) Къ вопросу о томъ, какъ отражается ширина годичного слоя на другихъ механическихъ свойствахъ древесины я предполагаю еще вернуться въ одномъ изъ слѣдующихъ очерковъ.

въ общей площиади съченія годичнаго кольца отражается довольно ясно на величинѣ твердости. При изслѣдованіи этого частнаго вопроса Янка пользовался методомъ нѣсколько отличнымъ отъ того, который былъ описанъ выше. Въ торцовую поверхность призмы съ квадратнымъ поперечнымъ съченіемъ вдавливается въ девяти симметрично расположенныхъ мѣстахъ штампъ съ квадратнымъ же съченіемъ площеадью 10 см². Хотя полученные такимъ способомъ цифры и не отвѣчаютъ вполнѣ результатамъ испытаній при помощи вдавливанія полусферы, однако, для сопоставленія между собою они вполнѣ пригодны. Изслѣдованію подверглись ель, веймутова сосна и лиственница, причемъ каждой породы было взято три отрубка. Здѣсь я приведу данные только для одного отрубка № 14 каждой изъ трехъ породъ:

№ мѣста вдавливания штампа.	1 Е Л Ь.	Осенніяя древесина въ % отъ шир. годичнаго кольца.	Твердость въ kg/cм.	2 Сосна Веймутова.		3 Лиственница.
				Осенніяя древесина въ % отъ шир. годичнаго кольца.	Твердость въ kg/cм.	
1	16.4	382	33.6	482	31.5	593
2	8.9	344	26.4	449	30.9	524
3	4.8	334	30.2	469	22.8	502
4	8.0	329	24.9	441	32.5	510
5	7.2	327	16.0	430	37.5	503
6	4.4	335	13.0	397	33.6	506
7	6.7	332	27.0	474	28.8	492
8	5.6	305	16.5	414	27.7	492
9	2.2	319	11.8	390	21.5	451

Связь между твердостью древесины и шириной осенней зоны годичного кольца особенно ясно обнаруживается въ данныхъ для веймутовой сосны. Определено выступаетъ эта связь также и для лиственныхъ породъ.

Ядровая древесина оказывается тверже заболонной у тѣхъ лиственныхъ породъ, у которыхъ образованіе ядра сопровождается потемнѣніемъ и окрашиваніемъ древесины. Напротивъ, образованіе ядра у нѣкоторыхъ хвойныхъ породъ (веймутовой и черной сосны), вызываемое главнымъ образомъ усиленнымъ отложеніемъ смолы сопровождается уменьшеніемъ твердости.

Вліяніе удѣльного вѣса должно сказываться на величинѣ твердости, ибо чѣмъ меньше въ данной древесинѣ пустотъ, а слѣдовательно, чѣмъ больше плотной древесинной массы, тѣмъ сильнѣе она будетъ оказывать сопротивленіе прониканію въ нее посторонняго тѣла.

Само собою разумѣется, что если увеличеніе удѣльного вѣса происходитъ не за счетъ массы клѣточныхъ стѣнокъ, а вызывается увеличеніемъ содержанія воды въ древесинѣ, то оно не только не сопровождается повышеніемъ твердости, а напротивъ, влечетъ за собою даже уменьшеніе этой послѣдней. Въ изслѣдованіяхъ Янка связь между удѣльнымъ вѣсомъ и твердостью древесины обнаружилась очень ясно.

Такъ напримѣръ, для ели онъ получилъ слѣдующіе коэффиціенты твердости воздушно-сухой древесины въ зависимости отъ величины удѣльного вѣса:

Удѣльный вѣсъ въ воздушно-сухомъ со- стояніи, умножен- ный на 100. . .	33.2	33.7	35.9	41.1	41.4	41.9	43.7	45.8	4 .2	54.4
Твердость торцовая	208	184	252	257	271	264	276	371	301	425

Несмотря на неизбѣжныя отступленія, все же, ясно видно, что съ возрастаніемъ удѣльного вѣса увеличивается также и твердость.

Если сопоставлять удѣльный вѣсъ и твердость у различныхъ породъ, то здѣсь можно встрѣтить отдельные довольно рѣзкія отступленія отъ указанной законосообразности. Однако, просматривая данные для довольно длиннаго ряда породъ, изслѣдованныхъ Янка, нельзя не замѣтить, что породы обладающія древесиной съ наибольшимъ удѣльнымъ вѣсомъ, обнаруживаютъ и наивысшую твердость.

Вліяніе влажности на твердость древесины выражается въ томъ, что съ уменьшеніемъ содержанія воды твердость повышается. Древесина съ очень высокимъ содержаніемъ воды (за предѣлами насыщенія клѣточныхъ стѣнокъ), обладаетъ нерѣдко вдвое мень-

шай твердостью, чѣмъ воздушно- и комнатно-сухая древесина. При этомъ у хвойныхъ породъ вліяніе влажности сказывается болѣе рѣзко, чѣмъ у лиственныхъ.

Въ то время, какъ въ коэффиціентахъ крѣпости при сжатіи замѣчается непрерывное нарастаніе съ уменьшеніемъ влажности до 0%, причемъ особенно сильное увеличеніе происходитъ именно въ интервалѣ воздушно-абсолютно сухое состояніе, по отношенію къ твердости, Янка обнаружилъ въ нѣкоторыхъ случаяхъ даже уменьшеніе коэффиціентовъ при переходѣ отъ воздушно - сухого къ комнатно-и абсолютно-сухому состоянію.

Это чрезвычайно странное съ первого взгляда обстоятельство можетъ быть объяснено тѣмъ, что при сильномъ высушиваніи древесины происходитъ уменьшеніе боковой связи между волокнами и повышеніе расколимости, доходящее до того, что многіе образцы, подвергавшіеся испытанію на твердость въ абсолютно - сухомъ состояніи, раскалывались прежде чѣмъ вся полусфера успѣвала вдавиться въ древесину. Нужно замѣтить, что фактъ уменьшенія твердости за предѣлами комнатно-сухого состоянія былъ подмѣченъ еще въ концѣ восемнадцатаго столѣтія Дюгамелемъ-дю-Монсо, который рекомендовалъ при употребленіи древесины въ дѣло не слишкомъ ее пересушивать. Но зная теперь, какъ отражается влажность древесины на другихъ, помимо твердости, механическихъ свойствахъ древесины, мы можемъ принимать совѣтъ названного изслѣдователя только съ извѣстными ограниченіями и оговорками.

Весьма интересны изслѣдованія Янка, относящіеся къ вопросу объ односторонней твердослойности или крени. Какъ извѣстно при нѣкоторыхъ условіяхъ, а главнымъ образомъ подъ вліяніемъ вѣтра, продолжительное время, или постоянно дующаго въ одномъ и томъ же направленіи, древесный стволъ становится эксцентричнымъ, т. е. сердцевинная трубка перемѣщается изъ центра ствола къ периферіи, причемъ на одной сторонѣ (обращенной къ вѣтру) годичные слои оказываются болѣе узкими, чѣмъ на противоположной сторонѣ. Древорубы давно уже подмѣтили, что на той сторонѣ, где слои имѣютъ большую ширину, древесина оказывается тверже. Однако, произведенныя Шваппахомъ изслѣдованія крѣпости древесины при сжатіи, казалось, не подтвердили этого наблюденія практиковъ. Шваппахъ нашелъ, что у эксцентричныхъ стволовъ узкослойная древесина обладаетъ болѣе высокими коэффиціентами сопротивленія сжатію, чѣмъ широкослойная. Но про-

изведенныя Янка опредѣленія твердости показали, что эта послѣдняя выше на той сторонѣ ствала, где годичные слои имѣютъ большую ширину; что же касается сопротивленія сжатію, то въ работѣ Янка мы находимъ полное подтвержденіе вывода Шванпаха, что показываютъ данныя, произведенныя въ слѣдующей табличкѣ:

П о р о д а .	Крѣпость при сжатіи въ kg/cm ² .	Твердость.
Твердая (широкослойная сторона).		
Ель	415	328
Лиственница.	514	502
Пихта	412	435
Мягкая (узкослойная сторона).		
Ель	474	274
Лиственница.	568	346
Пихта	426	389

Какъ видимъ, у всѣхъ трехъ породъ крѣпость на узкослойной сторонѣ оказывается выше, а твердость, наоборотъ, значительно ниже, чѣмъ на широкослойной.

Произведя опредѣленія твердости, Янка попутно изслѣдовалъ на тѣхъ же образцахъ и другія механическія свойства древесины, причемъ обнаружилъ въ измѣненіяхъ различныхъ механическихъ коэффиціентовъ извѣстный параллелизмъ. Особенно интересны въ этомъ отношеніи приведеныя въ слѣдующей табличкѣ данныя для ели: (см. табл. стр. 946).

За нѣкоторыми весьма незначительными уклоненіями, всѣ образцы древесины расположенные въ рядъ по возрастающей величинѣ удѣльного вѣса, идутъ другъ за другомъ и въ отношеніи крѣпости и упругости, какъ при изломѣ, такъ и при сжатіи, а равно и твердости одинаковой послѣдовательности, т. е. параллелизмъ во всѣхъ рядахъ цифръ обнаруживается несомнѣнно.

Отсюда Янка дѣлаетъ довольно заманчивое предположеніе: нельзя ли при изслѣдованіи техническихъ свойствъ древесины ограничиться только опредѣленіемъ коэффиціентовъ твердости, и по нихъ судить о другихъ механическихъ свойствахъ древесины. Такимъ способомъ можно было бы чрезвычайно облегчить задачу изслѣдованія механическихъ свойствъ древесины, ибо опредѣленія твердости весьма простыя по технике и требуютъ очень небольшой затраты времени; къ тому же ихъ можно производить на самыхъ

№ пробы	Происхождение.	Ширина годичного слоя. mm	Удельный весъ.		Крѣпость и упругость при изгибѣ.		Крѣпость и упругость при сжатіи.		Твердость. kg/cm ²			
			Въ абсолютно-но-сухомъ состояніи.	Въ воздухо-сухомъ состояніи.	Модуль упругости. t/cm ²	Крѣпость при изгибѣ. kg/cm ²	Работа деформаціи при изломѣ. t/cm ²	Укороч. на 1 въ предлахъ упругт.				
	Карпаты	3.70	31.4	34.7	87.1	487	2.97	0.0192	94.5	309	523	168
	»	2.33	33.6	36.4	93.4	543	6.03	0.0138	95.5	332	579	197
	»	3.17	35.6	39.4	102.2	570	4.15	0.0176	112.2	336	629	213
	»	1.61	37.7	40.7	124.4	595	3.25	0.0199	120.4	403	709	206
	»	3.41	39.9	42.5	117.5	664	7.51	0.0140	128.6	406	738	237
	Центральные Альпы	1.54	41.1	44.2	121.9	742	9.80	0.0161	140.8	418	773	247
	Богемскій Лѣсъ	2.10	44.6	47.3	138.4	781	6.64	0.0130	148.7	484	861	311
	»	1.27	47.7	50.4	141.8	835	10.71	0.0135	167.3	534	957	324
	Рудныя Горы	1.01	51.2	53.5	150.3	871	12.16	0.0168	171.4	573	1053	341

маленькихъ и слабосильныхъ прессахъ благодаря чесму механическія испытанія стали бы доступны не только дорого оборудованымъ лабораторіямъ, но и всевозможнымъ даже мелкимъ лѣсопромышленнымъ предпріятіямъ и отдѣльнымъ лицамъ.

Но какъ бы ни были широки перспективы, открывающіяся за такимъ выводомъ, все же, нужно признать его недостаточно обоснованнымъ. Уже приведенные выше результаты изслѣдованія крени показываютъ, что не всегда крѣпость при сжатіи и твердость идутъ параллельно даже у хвойныхъ породъ, отличающихся правильностью и однородностью своего анатомического строенія. Если же мы обратимся къ лиственнымъ породамъ, обладающимъ гораздо болѣе сложнымъ строеніемъ древесины, то должны ожидать еще болѣе рѣзкихъ отступленій. Слѣдующія цифры, относящіяся къ дубовой древесинѣ изъ Шипова лѣса, показываютъ, насколько велико можетъ быть несоответствіе между коэффиціентами твердости и крѣпости при сжатіи у этой породы:

	Крѣпость при сжатіи въ kg/cm ² .	Твердость въ торцовѣй плоскости въ kg/cm ² .
Дубъ съ III бонитота лѣсного суглинка.	740	680
	777	760
	773	780
	730	680
Дубъ съ солонцеватаго суглинка.	615	700
	609	800
	638	900

Въ то время, какъ крѣпость при сжатіи у дуба съ солонцеватаго суглинка оказывается ниже, чѣмъ у дуба съ лѣсного суглинка, твердость, наоборотъ, у этого послѣдняго выражается значительно болѣе низкими коэффиціентами.

Такимъ образомъ, едва ли можно замѣнить всѣ механическія испытанія опредѣленіемъ твердости древесины. Но принимая во вниманіе, что въ отдѣльныхъ случаяхъ наблюдается несомнѣнныи параллелизмъ между твердостью, крѣпостью и упругостью древесины, возможно при широкой организаціи лабораторныхъ изслѣдованій ограничиваться иногда испытаніями твердости, если только предварительными пробами будетъ установлено, что для известной категоріи древесинъ наблюдается полное соотвѣтствіе между твердостью и другими механическими свойствами.

IV. Очерки по вопросу о техническихъ свойствахъ древесины.

(Продолжение *)

IV. Вліяніе влажности на удельный вѣсъ и крѣпость древесины при сжатіи.

Въ свѣжесрубленномъ состояніи древесина содержитъ въ своемъ составѣ воды 40—50% по объему **). Подъ вліяніемъ естественной сушки количество воды въ древесинѣ уменьшается до извѣстного предѣла, соотвѣтствующаго содержанію влаги въ воздухѣ, причемъ въ практикѣ различаютъ слѣдующія двѣ важнѣйшия степени влажности древесины: воздушно-сухое состояніе (около 15% воды), когда дерево хранится подъ крышей, но подвержено непосредственному вліянію атмосфернаго воздуха, и комнатно-сухое состояніе (8—12%), когда дерево находится продолжительное время въ отапливаемомъ помѣщеніи. Искусственной сушкой можно довести древесину до абсолютно-сухого состоянія (0% гигроскопической влаги); однако, при соприкосновеніи съ комнатнымъ или атмосфернымъ воздухомъ такая древесина очень быстро поглощаетъ влагу и приходитъ къ комнатно или воздушно-сухому состоянію.

Такимъ образомъ, содержаніе воды въ древесинѣ предсталяетъ колеблющуюся величину въ зависимости отъ окружающей среды. Возникаетъ вопросъ, какъ отражаются различія во влажности древесины на ея удельномъ вѣсѣ и механическихъ свойствахъ?

Для выясненія вліянія влажности на крѣпость древесины при сжатіи мною были произведены слѣдующіе опыты. Были взяты четыре дубовыхъ бруска длиною около $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{2}$ метра. Всѣ эти бруски были тщательно выстроганы подъ угольникъ, причемъ поперечному сѣченію придана была приблизительно квадратная форма. Изъ каждого бруска было выпилено по нѣсколько (до 12-ти) призмъ для опредѣленія крѣпости при сжатіи. Одна призма каждой изъ четырехъ полученныхъ серій подвергалась сжатію въ абсолютно-сухомъ состояніи, а остальная—при различныхъ степеняхъ влажности. Такъ какъ длинные бруски были заготовлены изъ комнатно-сухой древесины, то-есть, содержали влаги 10—12%, то для полученія другихъ градаций влажности часть призмъ пришлось подвергнуть искусственной сушкѣ, а часть—вымачиванію въ водѣ.

*) См. Л. Ж. 1913. к. VI. **) Gayer Forstbenutzung. Achte Auflage

Во время сушки призмы подвергались периодическому взвешиванию на химическихъ весахъ и по потерѣ вѣса ихъ выводилось заключеніе о той степени влажности, до которой онъ были доведены. Намачивание дерева въ водѣ продолжалось до тѣхъ поръ, пока разрѣзы, произведенныя на контрольныхъ призмахъ, не обнаруживали, что промачивание произошло равномѣрно до самыхъ центральныхъ частей изслѣдуемыхъ образцовъ.

Для достиженія большей равномѣрности въ распределеніи влаги, а также для полученія дальнѣйшихъ градаций влажности образцы древесины подвергались послѣ вымачивания въ водѣ медленной сушкѣ болѣе или менѣе продолжительное время. Измѣненіе вѣса призмъ и въ данномъ случаѣ служило придержкой для сужденія о томъ, на сколько увеличилось въ каждомъ образцѣ содержаніе влаги сравнительно въ первоначальнымъ комнатно-сухимъ состояніемъ.

Результаты испытаній на сжатіе всѣхъ заготовленныхъ призмъ показаны въ слѣдующихъ четырехъ табличкахъ, изъ которыхъ каждая заключаетъ данные, относящіяся къ образцамъ, заготовленнымъ изъ одного длиннаго бруска.

Вліяніе влажности древесины на крѣпость при сжатіи.

Таблица № 1 Дубъ изъ Казанскихъ Дубравъ съ темно-сераго суглинка.

№.№ призмъ.	%/о влажн. ности.	Коэффи-циентъ крѣ-пости при сжатіи въ кг./см. ² .
1	0.0	1003
2	1.8	898
3	4.3	819
4	5.9	709
5	7.1	694
6	9.3	601
7	11.5	520
8	15.2	405
9	18.2	360
10	24.8	313
11	33.7	297
12	49.8	273

Таблица № 2 Дубъ изъ Шинова лѣса Воронежской губ. съ лѣсо-степного суглинка.

№.№ призмъ.	%/о влажн. ности.	Коэффи-циентъ крѣ-пости при сжатіи въ кг./см. ² .
1	0.0	960
2	5.0	761
3	9.0	659
4	11.2	517
5	14.7	471
6	21.1	352
7	22.0	330
8	29.7	321
9	39.3	307

Таблица № 3 Дубъ изъ Буда-Кошельской дачи Могилевской губ.

№№ призмъ.	0/0 влажности.	Коэффициент крѣпости при сжатіи въ kg/cm ² .
1	0.0	904
2	2.0	745
3	4.4	706
4	6.3	621
5	11.2	535

Таблица № 4 Дубъ изъ Гульскихъ Застькъ.

№№ призмъ.	0/0 влажности.	Коэффициент крѣпости при сжатіи въ kg/cm ² .
1	3.9	677
2	5.4	656
3	7.7	577
4	9.8	509
5	11.9	479
6	16.5	360
7	19.5	311
8	21.0	291
9	25.1	277
10	44.5	219

Достаточно бѣглого взгляда на приведенныя таблицы, чтобы увидѣть, насколько сильно отражаются на крѣпости древесины различія въ содержаніи влаги.

Такъ у образца дуба изъ Казанскихъ Дубравъ измѣненіе влажности отъ абсолютнo-сухого (0.0%) до комнатнo-сухого состоянія (11,5%) сопровождается уменьшеніемъ коэффициента крѣпости при сжатіи почти вдвое.

Не менѣе рѣзкое вліяніе влажности обнаружилъ Баушингеръ *) въ своихъ изслѣдованіяхъ надъ сосной, какъ показываютъ слѣдующія нѣсколько цифръ взятыя изъ его работы:

№№ призмъ.	Влажность 0/0%.	Сопротив-леніе сжатію въ атмосфе-рахъ.	Влажность 0/0%.	Сопротив-леніе сжатію въ атмосфе-рахъ.	Влажность 0/0%.	Сопротив-леніе сжатію въ атмосфе-рахъ.
I	22.7	129	14.4	260	8.0	434
II	42.5	222	14.2	115	8.2	702
III	30.5	226	14.1	400	8.0	719
IV	37.7	189	14.0	372	8.3	694
V	38.8	195	14.8	375	8.4	652

*) I. Bauschinger. Untersuchungen über die Elasticität und Festigkeit verschiedener Nadelhölzer (Mitte. aus dem mechanisch-technischen Laboratorium der k. Technischen Hochschule in München 1887).

Въ приведенной табличкѣ образцы древесины идентичные во всѣхъ отношеніяхъ (по скольку, конечно, идентичность достижима въ такомъ непостоянномъ въ своихъ свойствахъ материалѣ, какъ древесина) и различающіеся только по содержанію влаги, обозначены однимъ номеромъ (римской цифрой). При сопоставленіи цифръ мы видимъ, что уменьшеніе влажности всего на 6% (образцы подъ № IV) влечетъ за собою увеличеніе крѣпости при сжатіи почти вдвое.

Для иллюстраціи того, какъ сильно отражаются колебанія во влажности на крѣпости при сжатіи другой хвойной породы ели, приводятся здѣсь данные изъ работы Мариабрунской лѣсной опытной станціи:

Влаж- ность %/%	Сопротивле- ние сжатію въ kg/cm ² .
28.7	204
20.0	335
11.4	493
9.7	492
3.6	599
0.0	621

Всѣхъ приведенныхъ выше данныхъ достаточно для того, чтобы показать, насколько необходимо всѣ лабораторныя механическія испытанія древесины сопровождать опредѣленіемъ влажности изслѣдуемыхъ образцовъ. И если нѣкоторые изъ старыхъ работъ по техническимъ свойствамъ древесины грѣшатъ въ этомъ отношеніи, ограничиваясь въ указаніяхъ влажности лаконическимъ выраженіемъ: «древесина воздушно-сухая», то во всѣхъ новѣйшихъ изслѣдованіяхъ точное опредѣленіе процента влажности признается безусловно необходимымъ.

Прослѣдимъ теперь нѣсколько ближе ходъ измѣненій крѣпости при сжатіи въ зависимости отъ влажности по приведеннымъ выше даннымъ таблицъ №№ 1—4, относящимся къ дубу. Начиная отъ абсолютно-сухого состоянія съ увеличеніемъ содержанія влаги замѣчается очень сильное паденіе крѣпости до 17—20% влажности, послѣ чего вліяніе этого послѣдняго сказывается весьма слабо; такъ, у образцовъ дуба изъ Казанскихъ Дубравъ увеличеніе содержанія воды съ 24,8% до 49,8% то есть, болѣе чѣмъ вдвое, влечетъ за собою уменьшеніе крѣпости всего съ 313 до 273 kg/cm²:

у дуба изъ Тульскихъ Засѣкъ возрастаніе влажности съ 19,5 до 44,5% сопровождается паденіемъ коэффиціентовъ крѣпости при сжатіи только на 62 kg/cm^2 .

Съ большей ясностью характеръ этихъ измѣненій можно прослѣдить на кривыхъ (графики № 1 и 2-й), вычерченныхъ такимъ образомъ, что за абсциссы были приняты возрастающіе проценты влажности, а за ординаты—соответствующіе имъ коэффициенты крѣпости при сжатіи (R).

Въ ходѣ кривыхъ ясно замѣчаются слѣдующія характерныя черты. Начиная отъ нулевой абсциссы до 17% влажности измѣненіе крѣпости происходитъ по прямой линіи, образующей довольно большой уголъ съ осью абсциссъ, послѣ чего кривая дѣлаетъ крутої изгибы и дальше идетъ почти параллельно съ абсциссъ.

Найденная зависимость между влажностью древесины и крѣпостью при сжатіи позволяетъ легко опредѣлить эту послѣднюю для любого процента влажности въ предѣлахъ отъ 0 до 17%, (гдѣ измѣненіе R происходитъ по прямой линіи), если только известны коэффициенты, соотвѣтствующіе хотя бы двумъ степенямъ влажности; нанеся на оси абсциссъ данные проценты влажности а по оси ординатъ, коэффициенты крѣпости при статіи обоихъ изслѣдованныхъ образцовъ, получаемъ двѣ точки; соединивъ ихъ прямою линіею, мы можемъ затѣмъ по любой заданной влажности (абсциссѣ) найти графически соотвѣтствующую ей крѣпость (ординату).

Но не всегда является необходимость въ испытаніяхъ каждого данного образца древесины при двухъ степеняхъ влажности—при сравнительно однородномъ материалѣ, напримѣръ при изслѣдованіи древесины одной породы и одной области роста или даже одного лѣсного массива, колебанія угла наклона кривой измѣненія R къ оси абсциссъ происходятъ въ довольно узкихъ предѣлахъ, а въ такомъ случаѣ можно вычислить средній тангенсъ этого угла, который, какъ известно, равняется коэффициенту a въ уравненіи прямой линіи $y = ax + b$.

Найдя a , легко будетъ затѣмъ опредѣлить и b . Такимъ способомъ выведены уравненія, выражающія зависимость крѣпости при сжатіи для различныхъ породъ и главнымъ образомъ для ели и сосны. Значеніе постоянныхъ a и b въ формулахъ, даваемыхъ различными изслѣдованіями даже для одной и той же породы варьируютъ очень сильно, что нужно приписать вліянію области роста, почвенно-грунтовыхъ условій и другихъ факторовъ роста дерева.

Для того, чтобы по коэффициенту крѣпости данной влажности, найти коэффициентъ при всякой другой влажности, можно и не составлять уравненія, а вычислить только среднюю поправку на 1% разницы во влажности и затѣмъ вводить эту поправку съ знакомъ + или — въ полученный механическимъ испытаниемъ коэффициентъ крѣпости.

Для цѣлей практики вычисленіе какъ по формуламъ, такъ и при помоши среднихъ поправокъ на 1% разницы во влажности представляется мало удобнымъ. Выводъ математической зависимости между различными элементами, изъ которыхъ слагается механическая характеристика древесины, точно также, какъ выясненіе условій, при которыхъ происходит видоизмѣненіе зависимости, представляя высокой теоретической интересъ, тѣмъ не менѣе, для широкаго круга дѣятелей лѣсной промышленности большого значенія имѣть не можетъ. Сознавая это, Янка въ своемъ послѣднемъ (третьемъ) выпускѣ громадной уже неоднократно цитированной выше работы: «Untersuchungen über die Elasticität und Festigkeit der oesterreichischen Baumholzer» становится, на ровный путь. Если въ первыхъ частяхъ этой работы мы находимъ, довольно дробное дѣленіе изслѣдованного района, на области роста, причемъ для каждой изъ этихъ послѣднихъ выводятся особыя формулы, выражающія соотношенія крѣпости удѣльного вѣса, влажности и другихъ элементовъ, то въ третьемъ выпускѣ Янка дѣлаетъ уже попытку широкихъ обобщеній. Отрѣшившись отъ тѣхъ частныхъ различій, какія замѣчаются въ свойствахъ еловой древесины по отдѣльнымъ областямъ роста, онъ составляетъ сводную таблицу, въ которой по даннымъ всѣхъ изслѣдованныхъ образцовъ выведенъ средній удѣльный вѣсъ и крѣпость при сжатіи соответствующіе той или иной степени влажности.

Данныя въ таблицѣ сгруппированы слѣдующимъ образомъ. Въ основу дѣленія ихъ на группы положены различія въ удѣльномъ вѣсѣ абсолютно сухой древесины, величины котораго показаны сверху вертикальныхъ графъ. Для каждой ступени абсолютно—сухого удѣльного вѣса показаны въ горизонтальныхъ строкахъ удѣльный вѣсъ и крѣпость при сжатіи (параллельно волокнамъ) для ступеней влажности черезъ каждые 5%—10%. Такой способъ группировки цѣль основывается на существованіи тѣсной зависимости между удѣльнымъ вѣсомъ и крѣпостью древесины при сжатіи, о чёмъ говорилось уже въ первомъ очеркѣ.

«Удѣльный вѣсъ и крѣпость еловой древесины при различ-

номъ содержаниемъ влаги и различномъ удѣльномъ вѣсѣ въ абсолютно сухомъ состояній».

По поводу приведенной таблицы нужно сдѣлать еще слѣдующія замѣчанія. Всѣ коэффиціенты относятся къ безсучной древесинѣ, что нужно принимать во вниманіе при практическихъ раз-счетахъ. Присутствіе сучьевъ въ древесинѣ влечетъ за собою повышеніе удѣльного вѣса и, наоборотъ, замѣтное пониженіе крѣпости. Но точному учету влияніе сучьевъ, конечно, не поддается, такъ какъ количество сучьевъ, ихъ распределеніе въ древесинѣ и характеръ строенія чрезвычайно сильно варьируетъ. Сама по себѣ древесина злоровыхъ сучьевъ имѣть даже большую крѣпость, чѣмъ стволовая; но вслѣдствіе нарушенія правильности строенія присутствіе сучьевъ въ древесинѣ ствола влечетъ за собою пониженіе крѣпости этой послѣдней.

Интересно отмѣтить здѣсь, что вросшіе вполнѣ здоровые сучья благодаря тѣсному срастанію ткани ихъ съ окружающей тѣнью древесины, иногда не только не понижаютъ крѣпости, а, наоборотъ даже увеличиваютъ ее. Янка признается, что въ очень большомъ среднемъ присутствіе сучьевъ увеличиваетъ удѣльный вѣсъ еловой древесины на 5%, и приблизительно на такую же величину понижаетъ ея крѣпость при сжатіи.

Необходимо еще сдѣлать оговорку относительно формы образцовъ древесины, на которыхъ производилось опредѣленіе коэффиціентовъ крѣпости при сжатіи. Всѣ помѣщенные въ таблицѣ данные получены изъ результатовъ механическаго испытанія пластинокъ толщиной $2\frac{1}{2}$ сантиметра. При такой формѣ коэффиціенты получаются нѣсколько большие, чѣмъ при испытаніи крѣпости на призматическихъ болѣе или менѣе длинныхъ брускахъ. Такъ, въ сравненіи съ призмами высотою 50 сантиметровъ пластинки толщиной $2\frac{1}{2}$ см. даютъ преувеличеніе крѣпости приблизительно на 15%. Заготовка образцовъ въ формѣ пластинокъ хотя влечетъ за собою полученіе механическихъ коэффиціентовъ не вполнѣ отвѣчающихъ обычнымъ условіямъ примѣненія дерева для подѣлочныхъ и строительныхъ цѣлей, тѣмъ не менѣе, представляеть большія преимущества въ томъ отношеніи, что позволяетъ получить болѣе однородный и потому пригодный для всякихъ сопоставленій и выводовъ матеріалъ. Въ тонкой пластинкѣ легко обнаружить присутствіе сучьевъ, а потому и легко избѣгнуть случайныхъ результатовъ вызываемыхъ наличностью этихъ послѣднихъ. Наоборотъ, въ болѣе или менѣе круглыхъ призмахъ сучья, а также и другіе

Удѣльный вѣсъ и крѣпость при сжатіи еловой древесины при различномъ содержаніи влаги и различномъ удѣльномъ вѣсѣ въ абсолютно-сухомъ состояніи.

пороки древесины легко могутъ ускользнуть отъ глазъ изслѣдона-
теля и обусловить своимъ присутствиемъ получение противорѣчи-
выхъ данныхъ. Неудобство же, проистекающее отъ того, что въ
таблицѣ помѣщены нѣсколько преувеличенныя данныя, существен-
наго значенія имѣть не можетъ, такъ какъ нетрудно въ каждомъ
отдельномъ случаѣ внести въ числа таблицы соотвѣтствующую по-
правку.

Какъ сказано, приведенная таблица даетъ возможность опре-
дѣлить по удѣльному вѣсу при данной влажности не только крѣ-
пость, но и удѣльный вѣсъ при другомъ содержаніи влаги. О томъ,
какъ находится зависимость между влажностью и крѣпостью дре-
весины при сжатіи, говорилось уже выше; что же касается соот-
ношенія между содержаніемъ влаги въ древесинѣ и удѣльнымъ
вѣсомъ, то оно опредѣлялось и Баушингеромъ и Янка въ общемъ
по тому же методу и приводится къ формуламъ аналогичнымъ тѣмъ,
какія получаются для коэффиціентовъ сопротивленія сжатію. Нѣть
надобности, поэтому, останавливаться здѣсь на этомъ вопросѣ.
Интересно отметить только, насколько сильнѣе отражаются въ пре-
дѣлахъ комнатно-воздушно-сухого состоянія различіе въ содержа-
ніи влаги на крѣпости, чѣмъ на удѣльномъ вѣсѣ. Такъ, для ело-
вой древесины удѣльного вѣса въ абсолютно сухомъ состояніи,
равною 45 *) крѣпость при сжатіи и удѣльнымъ вѣсѣ для сред-
ней влажности въ 10 и 20% выражаются слѣдующими числами:

Влажность.	Удѣльный вѣсъ.	Крѣпость при сжатіи.
10%	47.1	559
20%	49.2	340

Въ то время, какъ удѣльный вѣсъ при увеличеніи влажности
на 10% измѣняется всего на 2,1 т. е. на 4,5%, крѣпость умень-
шается на 219 kg./cm.², т. е. на 39,2%.

У дубовой древесины **) при переходѣ отъ воздушно-комнатно-
сухого къ абсолютно сухому состоянію коэффиціентъ крѣпости при
сжатіи нѣрѣдко увеличивается больше чѣмъ вдвое, тогда какъ въ
удѣльномъ вѣсѣ разница для указанныхъ предѣловъ влажности со-
ставляетъ въ среднемъ только 5—6% и рѣдко до 8%.

Въ ходѣ измѣненій коэффиціентовъ крѣпости при сжатіи въ
зависимости отъ влажности мы отмѣтили перегибъ (при 17—20%
влажности), за которымъ дальнѣйшее увеличеніе содержанія влаги

*) Числа, выражающія удѣльный вѣсъ, умножены въ таблицѣ на 100.

**) Изъ Шипова Лѣса.

отражается уже сравнительно слабо на крѣпости древесины. Обратное мы замѣчаемъ по отношенію къ удѣльному вѣсу.

Здѣсь съ переходомъ къ высшимъ степенямъ влажности возрастаніе удѣльного вѣса происходитъ съ увеличеніемъ содержанія воды въ древесинѣ даже быстрѣе, чѣмъ при низшихъ степеняхъ влажности.

Сказанное хорошо иллюстрируется слѣдующими двумя рядами цифръ, составленными на основаніи данныхъ разсмотрѣнной таблицы удѣльныхъ вѣсовъ и коэффициентовъ крѣпости еловой древесины.

Возрастаніе удѣльного вѣса на каждые 5-10% различаща во влажности для ступеней по удѣльному вѣсу абсолютно сухой древесины:

Увеличеніе влажности								
отъ	до							
0	5	1.0						1.0
5	10	1.0						1.0
10	15	1.0						1.0
15	20	1.0						1.0
20	25	1.2						1.3
25	30	1.2						1.4
30	35	1.5						1.6
35	40	1.5						1.6
40	45	1.6						1.8
45	50	1.6						1.8
50	60	3.2						3.6
60	70	3.3						3.6
70	80	3.3						3.6
80	90	3.2						3.5
90	100	3.4						3.6
100	110	3.3						3.6
110	120	3.2						3.5
120	130	3.2						3.5
130	140	3.2						3.5
140	150	3.2						3.5
150	160	3.2						3.6
160	170	3.2						3.6
170	180	3.3						3.6
180	190	3.4						3.5
190	200	3.1						3.5
200	210	3.4						3.6

Какъ видимъ, нарастаніе удѣльнаго вѣса съ увеличеніемъ влажности происходитъ равномѣрно до 20%; послѣ этого удѣльный вѣсъ начинаетъ увеличиваться быстрѣ, а съ 45—50% влажности возрастаніе удѣльнаго вѣса идетъ опять довольно равномѣрно. Если ходъ этихъ измѣненій изобразить на графикѣ, то отъ 0 до 20% онъ выразится прямою линіей, затѣмъ отъ 20 до 50% (приблизительно)—нѣкоторой кривой, а далѣе—снова прямой линіей.

Причину этого явленія очевидно нужно искать въ неравномѣрномъ ходѣ нарастанія объема съ увеличеніемъ содержанія влаги. Дѣло въ томъ, что клѣточныя стѣнки, впитывая влагу, конечно, разбухаютъ, что влечетъ за собою увеличеніе объема, а слѣдовательно, уменьшеніе удѣльнаго вѣса. Такимъ образомъ присутствіе воды въ клѣточныхъ стѣнкахъ съ одной стороны, увеличиваетъ удѣльный вѣсъ древесины вслѣдствіе возрастанія абсолютнаго вѣса, а съ другой уменьшаетъ его, вслѣдствіе разбуханія клѣточныхъ стѣнокъ. Тогда какъ увеличеніе абсолютнаго вѣса съ возрастаніемъ содержанія влаги совершенно не зависитъ отъ того, имѣемъ ли мы дѣло съ древесной воздушно—сухой или насыщенной влагой.

Увеличеніе объема происходитъ болѣе сильно отъ 0 до 20% содержанія влаги, нежели за этимъ предѣломъ, такъ какъ послѣ насыщенія клѣточныхъ стѣнокъ водой дальнѣйшаго разбуханія ихъ, а слѣдовательно, и увеличенія объема древесины происходить не будетъ.

С. Богословскій.
