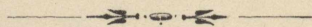


П. А. Козьминъ.

ИЗСЛѢДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ

ЖЕЛТОЙ СОСНЫ

(PINUS PALUSTRIS).



ТОМСКЪ.

Паровая типо-литографія П. И. Макушина, Благовѣщ. пер, соб. домъ.

1905.





Общій видъ желтой сосны (*Pinus palustris*).

Исслѣдованіе прочности желтой сосны (*Pinus palustris*).

Опыты, произведенные инж.-техн. Козьминымъ въ Вашингтонской лабораторіи лѣсного департамента Сѣв.-Америк. Соедин. Штатовъ.

I.

Промышленность въ Сѣверо-Американскихъ Соединенныхъ Штатахъ, развивалась почти совершенно изолированно отъ европейской, самостоятельно вырабатывая оригинальныя техническія методы производства въ первой и частью вначалѣ второй половины прошлаго столѣтія.

Своеобразный геній американской изобрѣтательности, такъ называемыхъ „self-made engineer'овъ“ (т. е. самодѣльныхъ инженеровъ), типичнымъ представителемъ которыхъ является Томасъ Эдиссонъ, имѣлъ громадное вліяніе на развитіе техники обрабатывающей промышленности Соединенныхъ Штатовъ.

Отрѣзанная океаномъ отъ Европы (до половины прошлаго столѣтія) эта богатѣйшая естественными богатствами страна пошла совершенно своеобразнымъ путемъ въ техническомъ совершенствованіи. И если принять во вниманіе то обстоятельство, что Западная Европа тогда уже гремѣла крупными именами технической науки, то будетъ извинительно презрительное отношеніе европейскихъ инженеровъ къ своимъ заокеанскимъ коллегамъ, продолжавшее, впрочемъ, недолго — лишь до 1876 г. Въ 1876 г., на всемірной выставкѣ въ Филадельфіи, европейскіе инженеры дѣлають „открытіе Америки“ — такъ было много новаго и оригинальнаго для нихъ въ области американскаго машиностроенія, — и съ этого времени мѣняется отношеніе ученыхъ европейскихъ техникувъ къ американскимъ „самоучкамъ“ инженерамъ. Сейчасъ же послѣ выставки началось копированіе болѣе или менѣе удачныхъ американскихъ конструкторій, продолжающееся и до послѣдняго момента, когда, дѣйствительно, европейскому конструктору есть чему поучиться у американцевъ. Но эта же выставка имѣла, до нѣкоторой степени, роковое вліяніе на развитіе *научной* техники въ Соединенныхъ Штатахъ, благодаря тому, что восторженные отзывы европейскихъ авторитетовъ техники объ американскихъ инженерахъ-самоучкахъ, давали основаніе всякому са-

моучкѣ относиться со свойственнымъ ему пренебреженіемъ къ научнымъ обоснованіямъ техники. Правда, техническій геній американскихъ конструкторовъ сдѣлалъ многое въ области машиностроенія, но путь угадыванія зачастую обходился далеко не дешево и именно въ тѣхъ областяхъ, гдѣ требуется знаніе свойствъ того или другого строительнаго матеріала, что достигается лишь раціональной постановкой лабораторныхъ испытаній. А такъ какъ начало развитія высшаго технического образованія слѣдуетъ отнести къ 80-мъ годамъ прошлаго столѣтія *), то и испытаніе матеріаловъ, — конечно, научно обоснованное — относится къ этому же времени.

Менѣ всего повезло въ этомъ отношеніи дереву. Для того, что бы судить, насколько техническое „знахарство“ вкоренилось въ нѣкоторыхъ отросяхъ деревообдѣлочнаго производства, благодаря замедлившимся научнымъ изслѣдованіямъ, приведу нѣсколько примѣровъ изъ современности. Фактъ тотъ, что нѣкоторыя крупныя фабрики экипажей и мебели штатовъ Нью-Йорка и Иллинойса (Чикаго) глубоко были убѣждены почти до послѣдняго момента въ томъ, что бѣлый дубъ (white oak), растущій на югѣ (въ штатахъ Луизьяна и сѣверной части Техаса) обладаетъ большой гибкостью и прочностью, нежели растущій на сѣверѣ (Нью-Йоркъ, Иллинойсъ, Висконсинъ и др.). И это несмотря на то, что многочисленныя испытанія технологическихъ институтовъ въ Нью-Йоркѣ (Columbia University), Бостонѣ, Миннеаполисѣ и Санъ-Луи доказали полную тождественность свойствъ этого дерева, какъ строительнаго матеріала. Нѣсколько лѣтъ назадъ каштановый дубъ (chestnut oak) признавался негоднымъ для шпалъ, по причинѣ его плохой сопротивляемости; поэтому бревна этого дерева, по снятіи коры, изъ которой вырабатывается танинъ, бросались въ лѣсу и гнили, какъ негодный матеріалъ. Однако испытаніе этого дуба на прочность лабораторіей лѣсного департамента дало вполне удовлетворительные результаты, и теперь желѣзнодорожные пути въ штатѣ Алабама, гдѣ этотъ дубъ произрастаетъ въ изобиліи, употребляютъ шпалы почти исключительно изъ каштановаго дуба.

Эти примѣры достаточно указываютъ, какъ дорого обошелся американской промышленности путь угадыванія тамъ, гдѣ нужны были научныя техническія изслѣдованія, поэтому мы ими и ограничимся. Нельзя, однако, американцевъ упрекнуть въ техническомъ консерва-

*) Въ 1876 г. на выставкѣ въ Филадельфіи постановка мастерскихъ и лабораторій въ Императорскомъ Московскомъ Техническомъ училищѣ считалась образцовой, и Бостонскій Технологическій институтъ заимствовалъ тогда у Технич. училища постановку практическихъ занятій въ мастерскихъ.

тизмѣ. Коль скоро польза научной постановки дѣла для нихъ очевидна, они не жалѣютъ средствъ для совершенной организаціи научной работы того или другого вопроса, имѣющаго практическое значеніе.

Необычайное развитіе деревообдѣлочной промышленности за послѣдніе 20 лѣтъ въ Соединенныхъ Штатахъ, гдѣ техника деревообдѣлочнаго производства стоитъ теперь неизмѣримо выше европейской, побудило американцевъ организовать специальную лабораторію для испытанія дерева, какъ строительнаго матеріала. Лабораторія эта, устроенная лѣснымъ департаментомъ въ Вашингтонѣ, находится въ вѣдѣніи специалистовъ—инженеровъ и данныя по испытанію дерева, ежегодно публикуемыя въ бюллетеняхъ Лѣсного департамента, приняты, въ американскомъ техническомъ мірѣ, какъ standard, т. е., какъ единственныя вѣрныя. Кромѣ этой лабораторіи, для Лѣсного департамента работаютъ еще механическія лабораторіи Бостонскаго Технологическаго института, Вашингтонскаго университета въ St. Louis и университета въ Санъ-Франциско. Общій планъ испытаній выработанъ Вашингтонской лабораторіей.

Въ предлагаемой статьѣ я хочу познакомить русскаго техника съ постановкой дѣла въ этой лабораторіи, гдѣ мнѣ приходилось работать осенью 1903 г. и лѣтомъ 1904 г. надъ испытаніемъ американской долголистой желтой сосны (*Pinus palustris*).

Въ виду того, что изъ четырехъ лабораторій представляетъ большой интересъ лабораторія въ St. Louis, какъ образцово постановленная испытательная станція, я ниже приведу ея планъ и характеристику нѣкоторыхъ испытательныхъ машинъ, а теперь дамъ нормальное описаніе дерева, какъ растительной породы, прежде чѣмъ оно попадаетъ въ лабораторію въ качествѣ испытываемаго матеріала.

Вопросный бланкъ для предполагаемаго къ испытанію экземпляра дерева.

А. Общія свѣдѣнія.

1) *Названіе породы*: (латинское имя породы, научный терминъ) *Pinus Palustris*, (рыночное имя) желтая сосна, (мѣстное имя) сердце Георгіи (штатъ).

2) *Мѣсто произростанія дерева*: штатъ Алабама, провинція Эскамбія.

3. *Долгота*: 86°12', *Широта*: 31°15'. *Средняя высота* надъ уровнемъ моря: 100—150 футовъ. *Высота произростанія* даннаго экземпляра—125 фут.

4) *Общая характеристика местности*: гористая, холмистая, ровная или смѣшанная и проч.

5) *Климатическая характеристика местности*: а) умѣренный, теплый, холодный или жаркій климатъ; в) средняя годовая температура (16°C); с) количество атмосферныхъ осадковъ (50—80 ст. дождя).

В. Характеристика почвы.

1) *Геологическая формація*: наслоенія.

2) *Минералогическая характеристика почвы*: глина, жирная глина, песокъ и проч.

3) *Внѣшній видъ*: голая, покрытая травой, сухими листьями и пр.

4) *Толщина черноземнаго слоя*, если таковой есть.

5) *Строеніе, плотность и степень однородности почвы*.

6) *Влажность*: сырая, болотная, сухая и проч. (Процентное содержаніе влаги, если возможно).

7) *Глубина подпочвы и ея природа*.

С. Характеристика лѣса, изъ котораго взять испытываемый экземпляръ.

1) *Дѣлственный лѣсъ или вторичныя насажденія?*

2) *Смѣшанный или однородный* (Число породъ?)

3) *Если смѣшанный лѣсъ, то какая преобладающая порода.*

4) *Сплошныя насажденія или рощами? Естественныя поляны или происшедшія отъ пожаровъ?*

5) *Среднее разстояніе между деревьями* (густота лѣса).

6) *Средній возрастъ, высота и діаметръ строевыхъ породъ.*

Разсмотримъ, чѣмъ вызвано такое обиліе вопросныхъ пунктовъ группъ А, В и С. Прежде всего замѣтимъ, что лабораторія, удовлетворяя запросамъ промышленной техники, работаетъ преимущественно надъ рыночными породами. Но, стремясь въ то же время дать опытамъ научныя обобщенія, она прежде всего должна представить полную характеристику испытываемой породы въ связи съ климатическими и почвенными условіями, несомнѣнно вліяющимъ на свойства одной и той же породы. Поэтому, лабораторія не беретъ съ лѣсныхъ складовъ образцы дерева для испытанія, такъ какъ въ этомъ случаѣ лабораторія знаетъ лишь мѣсто лѣсорубки и рыночное имя дерева—данныя, за точность которыхъ нельзя поручиться. Является поэтому необходимымъ опредѣлить время рубки (что почти невозможно) и породу, потому что зачастую даже опытные лѣсопромышленники смѣшиваютъ

различныя породы деревъ одной и той же семьи, мало отличающіяся по внѣшнему виду, но имѣющія различныя свойства, какъ строительный матеріалъ. Это станетъ понятнымъ, если указать на то обстоятельство, что въ Соединенныхъ Штатахъ насчитывается 14 строительныхъ породъ дуба (всѣхъ породъ свыше 30), 13 породъ сосны, 6 породъ ясеня, столько же — клена, березы и т. д.

Задавшись цѣлью изслѣдовать опредѣленную породу дерева, лабораторія предварительно получаетъ непосредственно съ лѣсорубокъ по нѣсколько экземпляровъ этой породы, заполняя на мѣстѣ вопросы группъ А, В и С; а затѣмъ уже приступаетъ къ опытамъ.

Прежде чѣмъ перейти къ описанію своихъ опытовъ, считаю необходимымъ указать, какимъ требованіямъ должны удовлетворять лабораторныя раобы по испытанію дерева. Общая задача такова: требуется установить прочность дерева, какъ строительнаго матеріала, въ связи съ его анатомическимъ строеніемъ и химическимъ составомъ. Другими словами, мы должны отвѣтить на слѣдующіе вопросы:

1) Каковы отличительныя черты (анатомическія или химическія особенности) той или другой породы дерева и какими обстоятельствами (роста, климата и проч.) вызваны эти особенности.

2) Какъ вліяетъ возрастъ, быстрота роста (одной и той же породы, въ зависимости отъ климата и почвенныхъ условій) и время рубки на прочность дерева.

3) Какого вліяніе анатомической структуры дерева на его прочность.

4) Вліяніе удѣльнаго вѣса на прочность.

5) Вліяніе климатическихъ и почвенныхъ условій на прочность дерева.

6) Вліяніе подсочки (добываніе смолы и терпентина изъ нѣкоторыхъ хвойныхъ породъ) на прочность дерева.

Отвѣты на постановленные вопросы вполне опредѣляютъ свойства дерева, какъ строительнаго матеріала.

Задача не такъ проста, какъ кажется съ перваго взгляда. Для разрѣшенія данныхъ вопросовъ Вашингтонская лабораторія испытаній при лѣсномъ департаментѣ разбивается на четыре отдѣленія, выполняющія строго опредѣленныя функціи. 1) Отдѣленіе, собирающее матеріалъ для испытаній (экспедиціи на лѣсорубки); 2) Отдѣленіе микроскопическихъ (вообще физическихъ) и химическихъ изслѣдованій дерева; 3) Отдѣленіе опытовъ (собственно лабораторія), и наконецъ, 4) отдѣленіе научныхъ обобщеній, куда входятъ изслѣдователи всѣхъ первыхъ 3-хъ отдѣленій.

Функціи перваго отдѣленія заключаются въ томъ, чтобы на мѣстѣ лѣсорубки выбрать *нѣтъ* вполне здоровыхъ экземпляровъ предположен-

ной къ испытанію породы и заполнить вопросы пунктовъ А, В и С. (см. стран. 3). Четыре изъ срубленныхъ деревьевъ должны быть средними представителями породы (діаметры средняго рыночнаго размѣра), а пятое—лучшее, наиболѣе развитое дерево. Рубятъ ихъ обыкновенно на высотѣ $1\frac{1}{2}$ — $2\frac{1}{2}$ —3 аршинъ и отъ нижняго конца оттрѣзаютъ дискъ 6-ти дюймовъ высоты, который служитъ для опредѣленія возраста дерева. Высоту дерева опредѣляютъ отъ основанія до вершины. Далѣе дерево распиливаютъ на бревна рыночнаго размѣра, отпиливая отъ конца каждаго бревна диски для опредѣленія возраста различныхъ частей ствола, а также и для опредѣленія удѣльнаго вѣса. Выпиленные диски тотчасъ же взвѣшиваютъ, заворачиваютъ въ промасленную бумагу и немедленно посылаютъ почтой въ лабораторію. На бревнахъ отмѣчаютъ часть ствола, обращенную къ югу и, по возможности, немедленно отвозятъ на испытательную станцію. Такимъ же порядкомъ приобрѣтаются экземпляры испытваемой породы съ другихъ лѣсорубокъ различныхъ штатовъ, такъ что набирается довольно большое количество бревенъ, достаточное для общихъ выводовъ.

Не всегда, однако, Вашингтонская лабораторія можетъ опредѣлить собственными силами анатомическое строеніе и химическій составъ той или другой породы; въ такомъ случаѣ дерево посылается въ университетскія лабораторіи для ботаническаго изслѣдованія *) и въ химическую лабораторію Департамента земледѣлія (въ Вашингтонѣ) для химическихъ изслѣдованій.

Я лично поставилъ себѣ задачу изслѣдовать *вліяніе удѣльнаго вѣса на прочность* желтой сосны. Изъ дальнѣйшаго изложенія будетъ видно, что я разрѣшилъ поставленный вопросъ въ неполномъ объемѣ, обслѣдовавъ—

а) *вліяніе на прочность разстоянія отъ основанія дерева до испытываемой части его.*

б) *Вліяніе влажности на прочность дерева*, т. к. влажность въ свою очередь вліяетъ на удѣльный вѣсъ.

с) *Вліяніе разстоянія испытываемаго бруска отъ оси ствола до периферіи*, потому что, какъ указано будетъ ниже, удѣльный вѣсъ измѣняется въ зависимости отъ указаннаго разстоянія.

Въ дальнѣйшемъ буду излагать, какимъ образомъ я разрѣшилъ поставленную задачу, хотя и не исчерпанную пунктами а), б) и с), но въ достаточной мѣрѣ захватывающую основную связь прочности и удѣльнаго вѣса.

*) Этими работами въ Америкѣ славится профессоръ Filibert Roth—University of Michigan въ г. Ann Arbor.

По полученіи выпиленныхъ дисковъ въ лабораторіи, прежде всего приступаютъ къ опредѣленію удѣльнаго вѣса дерева. Насколько въ этомъ отношеніи лабораторія осторожна, можно судить по процентамъ браковки получаемыхъ образцовъ. Такъ, намъ приходилось браковать отъ 10—20% посылокъ единственно потому, что въ нѣкоторыхъ мѣстахъ прорывалась промасленная бумага и можно было предположить потерю деревомъ влаги во время пути.

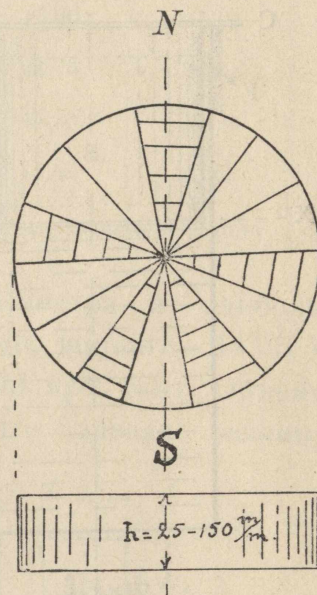
Для опредѣленія удѣльнаго вѣса дерева поступаютъ такимъ образомъ: прежде всего раскалываютъ дискъ на сѣверную и южную части. Далѣе изъ этихъ половинъ выкалываютъ клиновидные или призматическіе куски отъ 3—5 сантиметровъ по радіусу (для твердыхъ породъ допускается до 8 с/т. Прилагаемый (фиг. 1) чертежъ поясняетъ сказанное.

Избѣгаютъ употреблять распиливаніе, потому что потеря влаги изъ дерева (во время опыта) идетъ энергичнѣе изъ разорванныхъ клѣточекъ, прилегаемыхъ къ плоскости распила, тогда какъ при скалываніи клѣточки не рвутся, а лишь разслоятся. Кромѣ того, при погруженіи куска въ воду для опредѣленія объема поверхность распила всасываетъ воду въ надрѣзанные клѣточки, воздухоносные сосуды (трахеиды) и пустые смоляные ходы (у хвойныхъ породъ), расположенные вдоль ствола, понижая, такимъ образомъ, дѣйствительный объемъ дерева.

Взвѣшиваніе выколотого куска производится на вѣсахъ, дающихъ точность до 0,001 грамма для кусковъ, не превышающихъ 100 граммовъ. Когда вѣсъ свѣже-срубленного дерева опредѣленъ (доставленный съ такими предосторожностями въ лабораторію дискъ можно считать частью свѣже-срубленного дерева), приступаютъ къ опредѣленію объема. Для этой цѣли употребляютъ приборъ, изображенный на фиг. 2.

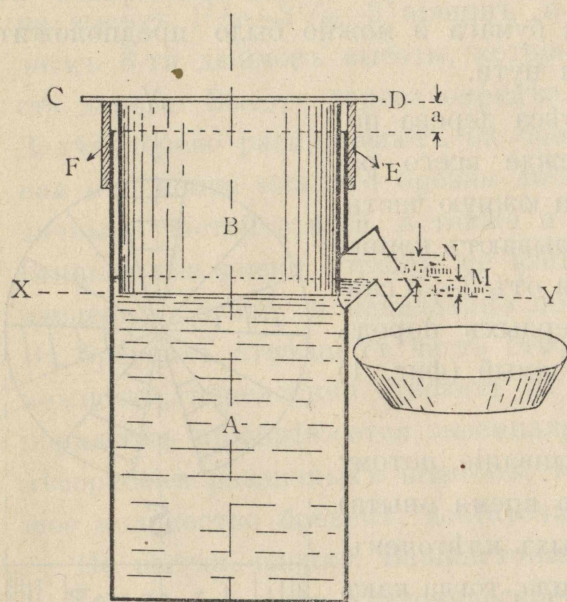
Металлическій сосудъ А (обыкновенно желѣзный) имѣетъ прикрѣпленныя къ нему пластинчатые ушки Е и F, выдающіяся на одинаковую высоту a надъ его краями.

Въ А наливается дистиллированная или обыкновенная вода, температура и плотность которой (послѣднее—для не дистиллированной воды) во время опыта опредѣляется. Въ этотъ сосудъ вставляется полая чашка В съ поперечиной CD; поперечина играетъ роль съ одной стороны ручки, а съ другой—ея главное назначеніе—опирается



Фиг. 1.

на ушки Е и F, что даетъ возможность всегда довести до уровня ХУ, находяшагося ниже уровня М на 4—6 мм. Колѣнообразный кранъ дѣлается для того, чтобы дать свободный выходъ воздуху и такимъ образомъ избѣжать выплескиваній воды при опусканіи чашки В. При-



фиг. 2.

боръ, изображенный въ такомъ видѣ готовъ для испытаній. Опредѣленіе объема ведется такъ: вынувъ В и держа ее надъ А, чтобы капли падали обратно въ А, подставляютъ тазикъ G, вмѣщающій не свыше 1500 куб. сант. воды, и осторожно опускаютъ въ А кусокъ дерева, объемъ котораго хотятъ измѣрять. Затѣмъ надавливаютъ дерево чашкой В, опирающейся на Е и F и ожидаютъ пока изъ крана упадетъ послѣдняя капля въ G. Разница вѣсовъ пустого тазика съ водой даетъ вѣсъ вытѣсненной воды, по которому, съ поправками на температуру, опредѣляютъ объемъ. Тазикъ G—штампованный желѣзный и обыкновенно не превышаетъ 150 граммовъ, такъ что максимальный вѣсъ воды и посуды не превышаетъ 1650 гравовъ,

что даетъ возможность работать на довольно чувствительныхъ вѣсахъ.

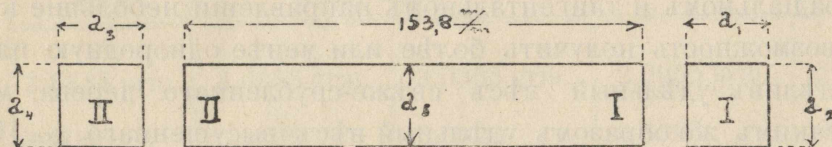
Противъ описаннаго способа измѣренія объема приводятъ обыкновенно то возраженіе, что дерево впитываетъ воду и поэтому мы не можемъ болѣе или менѣе точно опредѣлить его объемъ погруженіемъ; поэтому предпочитаютъ даже геометрическій способъ опредѣленія объема. Не говоря уже о томъ, что заготовлять удобные для геометрическихъ подсчетовъ куски дерева дѣло далеко не легкое при большомъ количествѣ опытовъ, приведу цифры, характеризующія методъ погруженія и геометрическій.

Изъ диска выпиливали параллелипидедъ и тщательно обрабатывали его на хорошей строгальный машинѣ, а потомъ вручную, съ такимъ

расчетомъ, чтобы поперечные размѣры его не превышали 45 mm. По микрометрическомъ измѣреніи оказывалось слѣдующее:

Размѣромъ должны были быть: $a_1=a_2=a_3=a_4=a_5=4,5$ m/m.	Получилось по измѣреніи		
	Конецъ I m m.	Середина a_5 m m.	Конецъ II m m.
Ширина a_1 и a_3 (вверху бруска) . . .	45,28	45,20	45,04
Ширина a_1 и a_3 (внизу бруска) . . .	44,80	44,76	44,64
Высота a_2 и a_4 (правая сторона) . . .	45,38	45,30	45,24
Высота a_2 и a_4 (лѣвая сторона) . . .	45,24	45,38	45,08
Среднее	$a_1=a_3=44,95$ m/m; $a_2=a_4=45,27$ m/m		

Получалась наименьшая погрѣшность 0,04 миллиметра и наибольшая 0,38 mm. При средней длинѣ—153,80 mm, ширинѣ—44,95 и высотѣ—45,27 mm объемъ получался 312,965 куб. сант. Объемъ полученный погруженіемъ—309,700 куб. сант., что давало разницу



Фиг. 3.

3,265 куб. сант. Но если бы мы считали идеально вѣрными размѣры ширины и высоты, равные по предположенію 45 mm, то объемъ получился бы 311,44 куб. сант., $(45 \times 45 \times 153,8)$, т. е. разница была бы 1,74 куб. сант. или 0,55%. Возникаетъ вопросъ, считать ли разницу объема въ 3,265 куб. сант. какъ результатъ всасыванія деревомъ воды капиллярными сосудами или же, наоборотъ, какъ поправку къ не-точности геометрическаго метода измѣренія. Для рѣшенія этого вопроса передъ погруженіемъ бруска дѣлали примѣры въ различныхъ точкахъ его длины и получали совершенно иные размѣры, что при вычисленіи давало разнящійся отъ предыдущаго объемъ на 1,1—0,99 куб. сант. въ сторону плюса или минуса. Разница объемовъ $15,380 \times 4,495 \times 4,525$ и $15,380 \times 4,50 \times 4,50$ дастъ намъ погрѣшность 1,52 куб. сант., геометрическаго метода по сравненію съ идеально вѣрными размѣрами. Сравнимъ теперь погрѣшность, происшедшую отъ всасыванія воды капиллярными сосудами дерева.

Послѣ одной минуты погруженія испытуемое дерево вынимали и, давъ упасть съ него послѣдней каплѣ воды, слегка вытирали бока, не прикасаясь къ торцевымъ поверхностямъ, затѣмъ взвѣшивали-

Привѣсъ оказался 3,37 грамма. Но впитыванія по радіальному и тангентальному направленію почти не было за такой короткій промежутокъ времени; поэтому, считая, что вода покрываетъ, благодаря прилипанію, обстроганныя части дерева слоемъ толщиною въ 0,01 миллиметра, получимъ что на этой поверхности ($4 \times 15,38 \times 4,5 = 276,84$ сант.) имѣется $276,84 \times 0,01 = 2,768$ куб. сант. или граммовъ воды. Такимъ образомъ, черезъ поверхности распила I и II всасывается $3,370 - 2,768 = 0,608$ грамма или куб. сант. воды. Следовательно, потеря объема при вычисленіи его погруженіемъ будетъ 0,608 куб. сантиметра, т. е. погрѣшность почти вдвое будетъ меньше, чѣмъ при самомъ тщательномъ измѣреніи размѣровъ и геометрическомъ вычисленіи

Не говоря уже о томъ, что при большомъ количествѣ опытовъ заготовка такихъ брусковъ отняла бы массу времени и не дала бы достаточно точныхъ результатовъ, мы не получили бы правильного удѣльнаго вѣса различныхъ частей ствола дерева еще и потому, что выпиленный брусокъ разнороденъ по плотности; тогда какъ, выкалывая въ радіальномъ и тангентальномъ направленіи небольшіе куски, мы имѣемъ возможность получить болѣе или менѣе однородную плотность.

Опредѣливъ удѣльный вѣсъ свѣже-срубленнаго дерева, мы опредѣляли такимъ же образомъ удѣльный вѣсъ высушеннаго до 15—18% содержания воды, причемъ нужно замѣтить, что лабораторія практикуетъ преимущественно искусственную сушку.

Для опредѣленія содержанія воды въ деревѣ употребляется печь съ двойными стѣнами, простѣнки которой обогреваются газовымъ отопленіемъ. Во избѣжаніе потерь тепла наружныя стѣнки печи покрываются асбестовой обшивкой, что даетъ возможность держать температуру въ печкѣ съ колебаніями до $1^\circ - 1\frac{1}{2}^\circ$ С.

Образцы дерева готовятся двоякимъ способомъ: 1) изъ свѣже-срубленнаго дерева высверливаются стружки отъ периферіи до глубины $\frac{1}{2}$ діаметра, причемъ сверловка производится одна отъ другой на разстояніи 20 футовъ, и 2) изъ различныхъ частей диска накалываются тонкія палочки (не толще спичекъ). Послѣ предварительнаго взвѣшиванія кладутъ полученные образцы въ печь, температуру которой постепенно поднимаютъ отъ 30 до 105° Цельсія. Послѣ суточной сушки вся вода испаряется, и разность вѣсовъ опредѣляетъ содержаніе воды въ деревѣ. При опредѣленіи процентнаго содержанія воды Bauschinger допускаетъ ¹⁾ температуру 105° С., причемъ онъ наблюдалъ повышение

¹⁾ Mittheilungen aus dem Mechanisch-Technischen Laboratorium, Mittheilung XIX München, 1887 года.

абсолютнаго вѣса дерева (у хвойныхъ смолистыхъ породъ) отъ опредѣленнаго minimum'a на 0,2⁰/₀ и принималъ наименьшій вѣсъ. Явленіе повышенія вѣса, которому онъ не даетъ объясненія, происходитъ, вѣроятно, отъ окисленія смоль ²⁾. Для того, чтобы установить это явленіе и предположенное объясненіе ему, необходимо производить сушку дерева въ какомъ нибудь нейтральномъ газѣ (азотѣ или угольной кислотѣ). Часть этого вопроса изслѣдована мною въ лабораторіи проф. Н. М. Кижнера, именно вопросъ объ увеличеніи вѣса при сушкѣ сосны въ температурѣ 100° и затѣмъ 105° С.

Для опытовъ я бралъ опилки сосны, срубленной годъ назадъ (Р₁ и Р₂), опилки сруба пятилѣтней давности (Р₃) и сосновую смолу (Р₄), выступившую изъ подѣлокъ и уже частью окислившуюся въ температурѣ комнатнаго воздуха.

Результаты взвѣшиваній съ точностью до 0,1 миллиграмма получились слѣдующія:—

	Первонач. вѣсъ	Minimum при 100°С про- межутъ взвѣш. 3 ч.		При 105°С. Промеж. врем. 18 час.	
P ₁	3,6388 grm.	3,0355 grm.	3,0355 grm.	2,9955 grm.	2,9963 grm.
P ₂	3,7068 "	3,3420 "	3,3420 "	3,3363 "	3,3363 "
P ₃	4,3838 "	3,8170 "	3,8170 "	3,8108 "	3,8103 "
P ₄	1,2275 "	1,2114 "	1,2100 "	1,1953 "	1,1920 "

Въ промежуткѣ между 1-мъ и 2-мъ (по таблицѣ) взвѣшиваніемъ было еще одно взвѣшиваніе. Между 1-мъ и 2-мъ взвѣшиваніемъ (по таблицѣ) протекло 4—5 часовъ; между 3-мъ и 4-мъ — 2—3 часа. Такимъ образомъ, только для Р₁ получилось увеличеніе вѣса въ температурѣ 105°С и то лишь на 0,02⁰/₀; въ остальныхъ же случаяхъ шла потеря вѣса. Но что важнѣе всего, это именно *паденіе вѣса* отъ извѣстнаго станціонарнаго состоянія его, когда на основаніи двухъ смежныхъ взвѣшиваній (2-й и 3-й столбецъ) мы имѣемъ право заключить, опилки болѣе не содержатъ воды. Очевидно, потеря вѣса идетъ за счетъ испаренія смолистыхъ веществъ, въ чемъ насъ и убѣждаетъ Р₄. По окончаніи опыта опилки получались совершенно безъ смолистаго запаха. Эти опыты даютъ полное основаніе рекомендовать вести сушку дерева для опредѣленія ⁰/₀ ⁰/₀ воды въ температурѣ не выше 100°С.

²⁾ Предположеніе, высказанное проф—ми Н. М. Кижнеромъ и В. Н. Джонсомъ. Томскій Технологическій институтъ.

Результаты опредѣленій содержанія воды и удѣльнаго вѣса изъ 45 образцовъ желтой сосны даютъ слѣдующую таблицу:—

	Уд. вѣсъ вѣж. ср.	°/о°/о сод. воды.	При 15—18°/о водн.
Нижняя часть ствола .	0,60—1,19	} 48—52°/о	0,45—1,04
Средняя	0,71—0,98		0,56—0,86
Верхняя	0,68—1,09		0,48—0,91

Опредѣливъ удѣльный вѣсъ и влажность дерева, мы приступали къ опытамъ надъ усушкой. Если V —объемъ свежесрубленнаго дерева, v —объемъ сухого, то усушка выразится: $\frac{V-v}{V}$. Въ сущности говоря, эти испытанія не важны для дерева, какъ строительнаго матеріала, такъ какъ, изслѣдуя прочность дерева, мы должны разсматривать его, какъ постоянный матеріалъ, а таковымъ онъ является при влажности 12—18 процентовъ. Но для Америки эти изслѣдованія имѣютъ рыночное значеніе. Дѣло въ томъ, что у американцевъ существуетъ довольно много (до 43-хъ) эмпирическихъ опредѣленій объемовъ дерева по наибольшему діаметру. Объемъ они опредѣляютъ, исходя отъ условной единицы—board measure (1"×1'×1').

Но распиленное рыночное дерево, содержа до 30°/о влажности послѣ 4—6 мѣс. со времени распила, даетъ меньшій объемъ. Поэтому лѣсопильные заводы требуютъ извѣстнаго процента скидки отъ лѣсорубокъ на усушку. Это обстоятельство вызвало безконечныя пререканія между владѣльцами лѣсорубокъ и лѣсопилокъ, что собственно горя и побудило Вашингтонскую лабораторію дѣлать испытанія на усушку, чтобы выработать болѣе или менѣе опредѣленный коэффициентъ.

Опыты продѣлывались съ помощью прибора, употребляемаго для опредѣленія удѣльнаго вѣса, причемъ влажность испытуемыхъ дисковъ понижалась до 15°/о—30°/о.

Суммируя результаты изслѣдованія дерева на влажность, удѣльный вѣсъ и усушку я изображу это на діаграммѣ, гдѣ это легче всего показать въ зависимости отъ возраста дерева (числа годовичныхъ слоевъ) въ различныхъ точкахъ высоты и обращеніи ствола къ югу или сѣверу. Приведу здѣсь дерево № 1-й по порядку испытанія и ограничусь однимъ только экземпляромъ, такъ какъ законъ зависимости влажности, удѣльнаго вѣса и усушки отъ возраста и обращенія ствола къ югу или сѣверу достаточно опредѣляется на одномъ экземплярѣ.

Pinus palustris № 1-й.

Возрастъ дерева—182 года.

Высота до первой вѣтки—70 фу-

товъ

Полная высота—113 футовъ.

Диаметръ у основанія—19 дюймовъ.

Въ прилагаемой диаграммѣ обозначенія таковы:

A—удѣльный вѣсъ дерева при 12—15⁰/₀ воды (сушка искусствен.)

B—процентъ воды свѣже-сруб. дерева

C—усушка въ процентахъ по отношенію къ объему свѣже-сруб. дерева.

N—число годичныхъ слоевъ (возрастъ).

I, II, III, IV, и т. д.—диска по 4"—6" высоты, изъ которыхъ добыты эти данныя.

Правая половина ствола обращена къ сѣверу, а лѣвая къ югу.

Разсматривая цифры данной диаграммы, мы замѣчаемъ, что удѣльный вѣсъ дерева понижается съ приближеніемъ испытуемыхъ образцовъ къ вершинѣ, точно такъ-же,

какъ и процентное содержаніе воды. Прцентъ усушки также понижается съ приближеніемъ къ вершинѣ. Это явленіе съ перваго взгляда кажется страннымъ. Казалось бы, болѣе влажная часть дерева должна давать болѣйшій процентъ усушки, а здѣсь какъ разъ наоборотъ. Единственное объясненіе, какое можно дать этому явленію, это то, что болѣе молодые клѣточки дерева (приближаясь къ вершинѣ) болѣе энергично сопротивляются отдачѣ влаги, чѣмъ старыя, не сморщиваясь и сохраняя первоначальную форму. И дѣйствительно, молодые части ствола при сушкѣ въ однихъ и тѣхъ же условіяхъ по температурѣ и времени со старыми даютъ болѣйшій процентъ трещинъ.

Сравнивая затѣмъ соотвѣтственныя цифры сѣверной и южной части ствола, замѣчаемъ, что удѣльный вѣсъ, содержаніе воды и

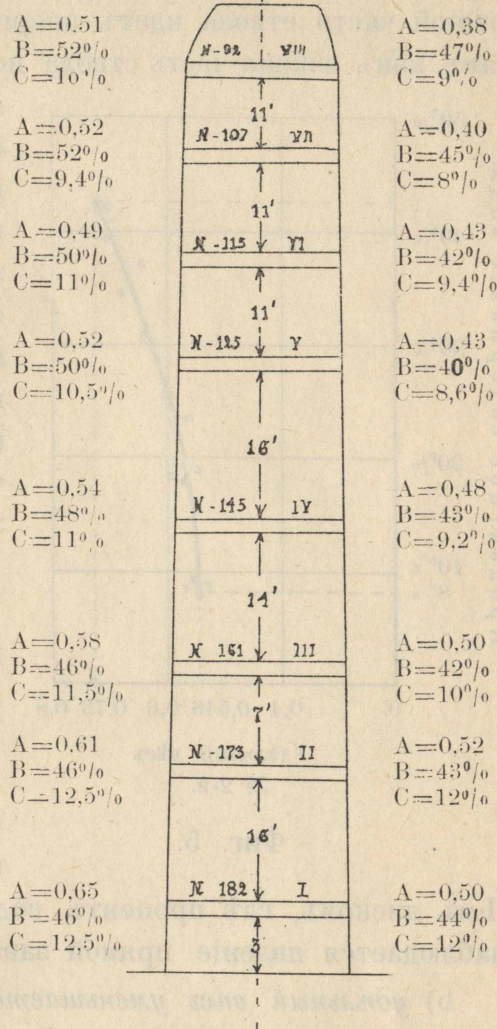
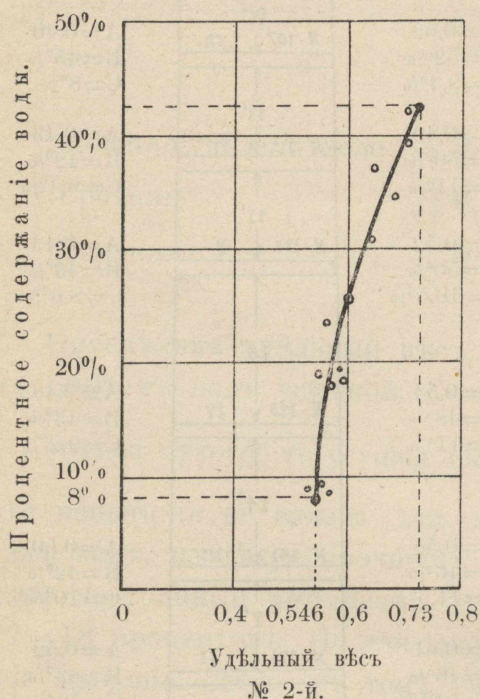


Диаграмма № 1-й.
Pinus palustris № 1-й.

Фиг. 4

усушка первой ниже, чѣмъ второй. Иначе говоря, жизнедѣятельность южной части ствола идетъ энергичнѣе, чѣмъ сѣверной. Это и понятно, такъ какъ южная часть ствола подвержена дѣйствию солнца или,—если



№ 2-й.

Фиг. 5.

солнце не проникаетъ въ густыя насаждения,—дѣйствию теплаго южнаго вѣтра и защищена отъ холоднаго; тогда какъ сѣверная часть находится въ худшихъ условіяхъ существованія. Это обстоятельство важно въ томъ отношеніи, что указываетъ на отличіе прочности южной и сѣверной части ствола въ зависимости отъ удѣльнаго вѣса, что важно имѣть въ виду при организаціи испытаній дерева.

По діаграммѣ № 1-й замѣчаемъ, что:

а) *удѣльный вѣсъ падаетъ по направленію къ вершинѣ съ увеличеніемъ влажности дерева.*

Послѣднее зависитъ, конечно, отъ меньшей уплотненности клѣточекъ у вершины. Но при изслѣдованіи дерева нанебольшомъ участкѣ между I-мъ и

II-мъ дискомъ, гдѣ процентъ содержанія воды почти не измѣняется, наблюдается явленіе прямой зависимости:—

б) *удѣльный вѣсъ уменьшается съ уменьшеніемъ (при просушки дерева) процентнаго содержанія воды*, что ясно видно изъ діаграммы, результирующей 16 опредѣленій при различномъ содержаніи воды. Иначе говоря, съ пониженіемъ содержанія воды отъ 43% до 8%, удѣльный вѣсъ уменьшился отъ 0,73 до 0,546.

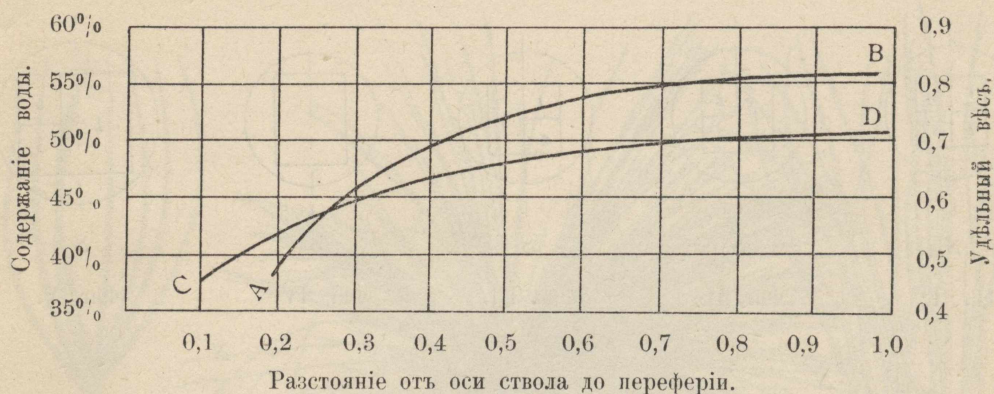
Далѣе, изслѣдованія процентнаго содержанія воды дерева и удѣльнаго вѣса (предметомъ опытовъ служили тѣ же диски I, II и т. д.), по направленію отъ центра къ периферіи, показали, что обѣ эти величины возрастаютъ (діагр. №—3-й).

Діаграмма № 3 даетъ:

с) *кривую АВ—измѣненіе удѣльнаго вѣса и CD—процентное содержаніе воды въ зависимости отъ разстоянія отъ оси ствола.*

Такимъ образомъ, эти предварительныя изслѣдованія, суммирующіяся въ діаграммахъ № 1-й, 2-й и 3-й вполне опредѣляютъ характеръ нашихъ изслѣдованій. Ясно, что прочность дерева будетъ измѣняться какъ отъ основанія къ вершинѣ, такъ и отъ оси къ пере-

феріи; кромѣ того, части ствола, обращенныя къ сѣверу, должны отличаться прочностью отъ южныхъ частей соотвѣтственныхъ по высотѣ участковъ.



Діаграм. № 3.

Фиг. 6.

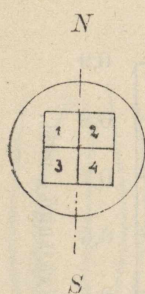
Прежде чѣмъ приступить къ дальнѣйшему описанію испытаній, считаю не лишнимъ дать характеристику испытываемой породы, какъ ботаническаго экземпляра.

Порода „*Pinus palustris*“ встрѣчается почти исключительно на югѣ Соединенныхъ Штатовъ (Флорида, Георгія, Луизьяна и по доли-нѣ рѣки Миссиссиппи) въ мѣстахъ низменныхъ—отъ 60-ти до 300—400 фут. надъ уровнемъ моря. Ея любимая почва—наносныя насло-енія; почва, по преимуществу, влажная. На общемъ видѣ этой сосны замѣтны висящія мѣтлы особаго мха, поражающаго почти всѣ породы дерева юга страны не только хвойные, включая сюда и кипарисовое дерево, но и нѣкоторыя породы дуба. Изъ приложенныхъ въ текстѣ рисунковъ можно судить какъ о структурѣ дерева, такъ и о развитіи его изъ сѣмени. Детальныя разъясненія даны подъ рисунками въ приложеніи.

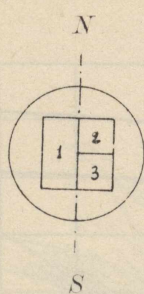
Подготовка къ опытамъ.

Мы уже установили измѣняемость влажности и удѣльнаго вѣса дерева какъ отъ основанія къ вершинѣ и отъ оси къ периферіи, такъ и въ зависимости отъ того, куда обращенъ стволъ—къ сѣверу или югу. Въ связи съ этимъ должны быть производимы и опыты. Для испытаній выпиливаются изъ ствола соотвѣтствующія брусъ, которые обдѣлываются на продольно строгальныхъ машинахъ, обрабаты-вающихъ тотъ или другой брусокъ одновременно съ четырехъ сто-ронъ. Конечно, дать желаемый размѣръ площади поперечнаго сѣченія точно не удастся, но погрѣшность получается, сравнительно, ничтож-

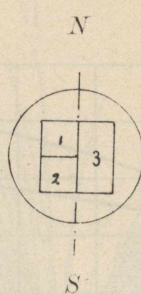
ная—до $1-2 \text{ м/м}$ въ линейномъ размѣрѣ. Бруски выпиляются, какъ показано на фигурахъ отъ I до VIII.



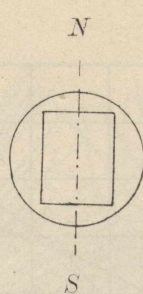
Фиг. I.



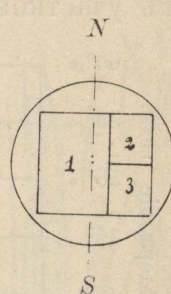
Фиг. II.



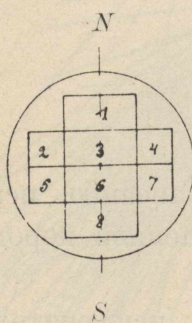
Фиг. III.



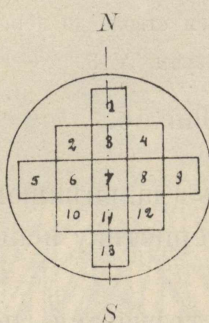
Фиг. IV.



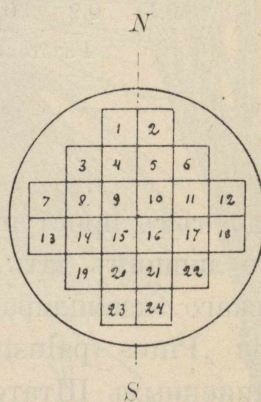
Фиг. V.



Фиг. VI.



Фиг. VII.

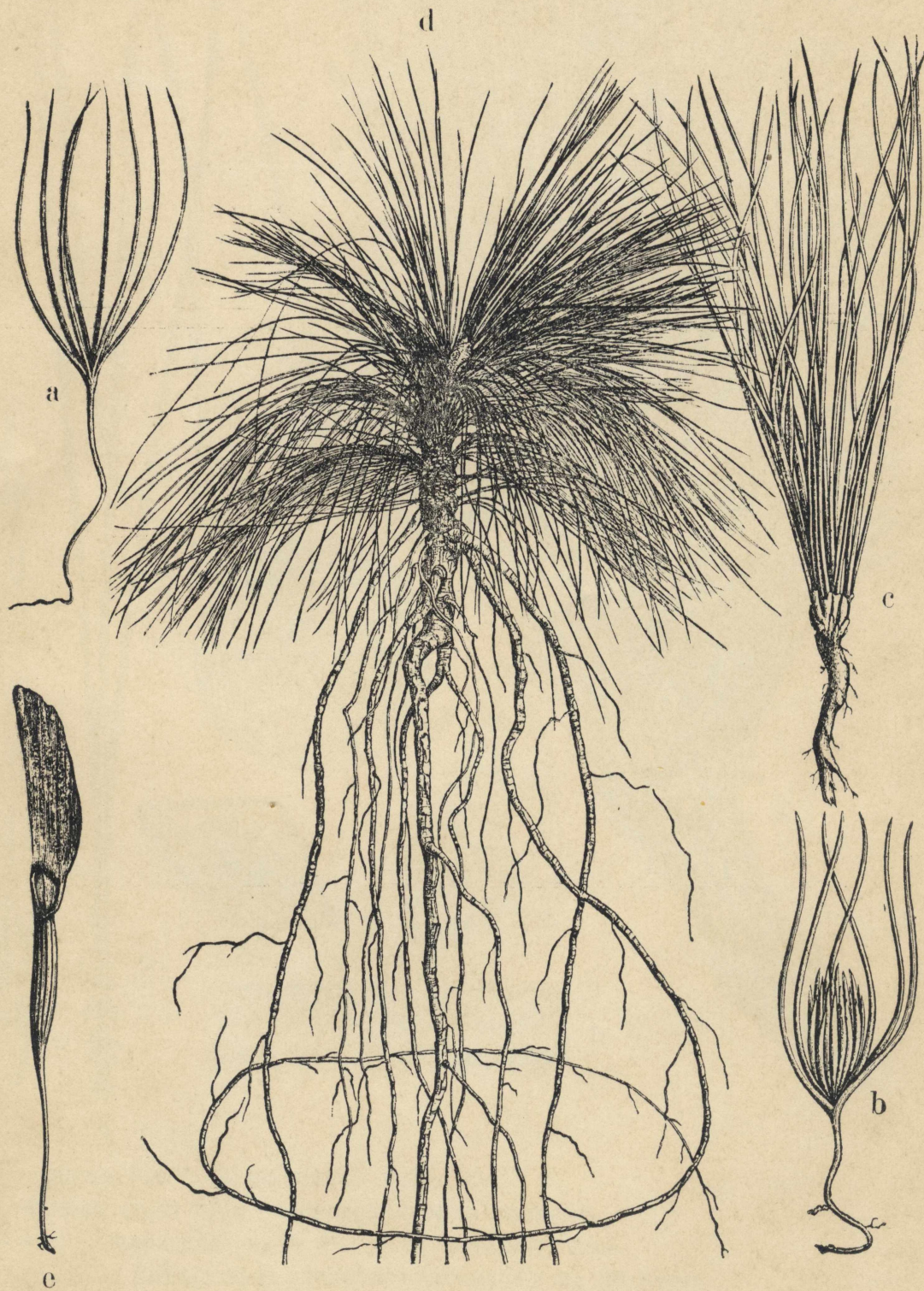


Фиг. VIII.

Фигуры I, II, III и V представляют выпиленные бруски, подлежащие испытанию, цѣль котораго—вывести зависимости между разстояніемъ отъ основанія дерева до бруска и его прочностью. То же расположение вырѣзовъ употребляется и для двухъ смежныхъ участковъ бревна при опредѣленіи зависимости между прочностью и влажностью. Фигура IV даетъ форму вырѣза для испытаній полномѣрныхъ (tull—sized columnes) брусковъ площадью до $12" \times 14"$ и длиною до 30 футовъ. Фигуры VI и VII показываютъ расположеніе вырѣзовъ въ зависимости отъ обращенія ствола къ сѣверу или югу. И наконецъ, фиг. VIII даетъ бруски для опредѣленія зависимости прочности отъ разстоянія ихъ отъ оси ствола. Число брусковъ фиг. VIII-й зависитъ, конечно, отъ величины діаметра дерева, и на чертежѣ показанъ minimum ихъ, принимая во вниманіе испытаніе на изгибъ, требующее наименьшую площадь сѣченія бруска $75 \text{ м/м} \times 75 \text{ м/м}$.

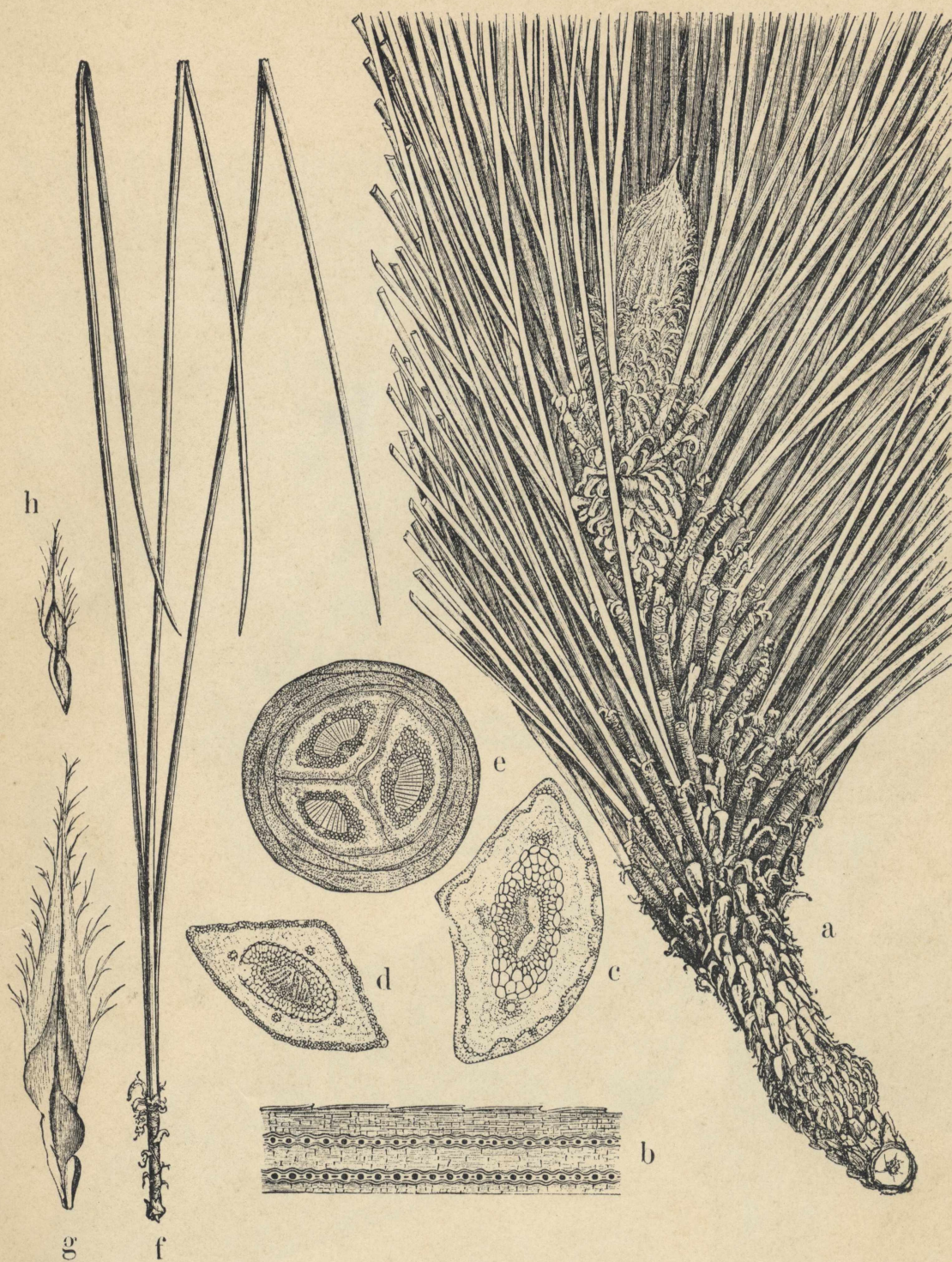
Испытанія на изгибъ. Обычный размѣръ брусевъ, испытываемыхъ на изгибъ, Вашингтонская лабораторія принимаетъ $3\frac{1}{2} \times 4 \times 3\frac{1}{2} \times 4$ или 4×8 дюймовъ (англійскихъ) площадью и длиною отъ 60 до 120 дюймовъ, употребляя при этомъ универсальную машину Riehle на 50.000

Проростаніе сѣмени.



- е—первый періодъ проростанія сѣмени.
- а—первый ростокъ ранней весной съ 8-ю листьями.
- б—возрасть 2—3 недѣли.
- с—въ концѣ перваго или началѣ второго сезона.
- д—возрасть 3—4 года.

Весенняя вѣтка *pinus palustris* a.



- а—конецъ вѣтки съ весеннимъ побѣгомъ.
 ф—пучекъ (три) хвои—нормальный видъ листьевъ.
 h и g—увеличенное въ 3 и 9 разъ влагалище хвои.
 е—разрѣзъ гнѣзда хвои (линейное увеличеніе въ 30 разъ).
 d—разрѣзъ молодой хвои (увеличеніе въ 30 разъ).
 с—разрѣзъ зрѣлой хвои (увеличеніе въ 45 разъ).
 b—продольный разрѣзъ хвои (увеличеніе въ 45 разъ).



а—вѣтка съ мужскими цвѣтами.

б—вѣтка съ женскими цвѣтами и молодой шишкой. Время цвѣтенія въ 20-хъ числахъ марта.

с и d—выдѣленная сережка цвѣтовъ.

е, f и g—тычинки цвѣтка.

h—женскій цвѣтокъ.

k, l и m—чешуйки основанія женскаго цвѣтка.

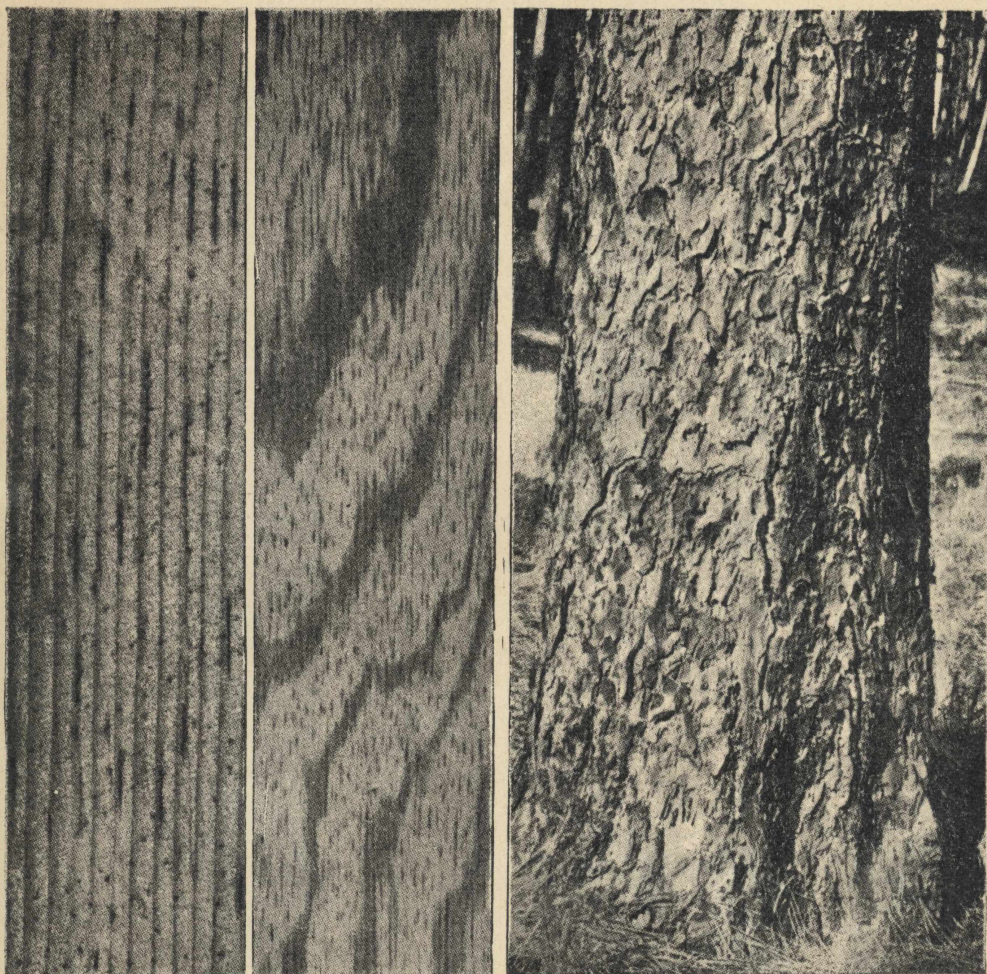
n и p—чешуйки съ сѣмяпочками.



а—зрѣлая открывшаяся шишка.

б и с, d и e—сѣмена съ крыльями; отъ первыхъ двухъ отдѣлены крылья.

f и h—отдѣльныя чешуйки шишки; передній и задній виды.



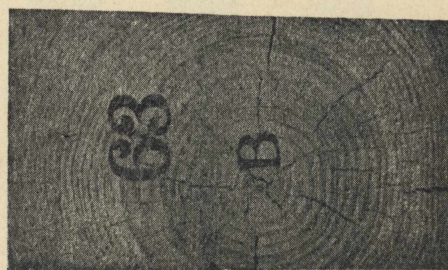
b

c

a



d



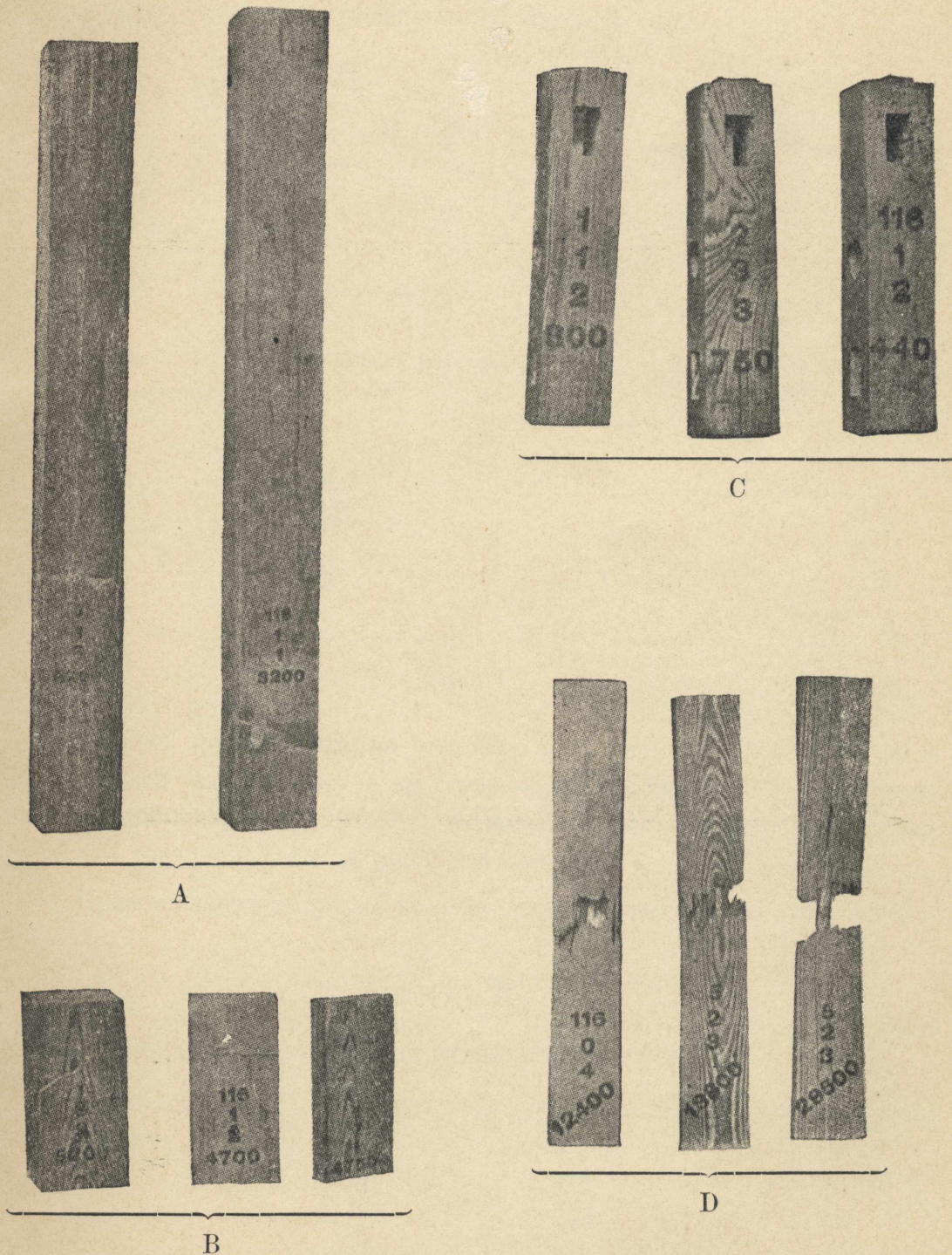
d

a—видъ коры желтой сосны.

b—радіальный разрѣзъ; c—тангентальный разрѣзъ, сдѣланный нѣсколько подъ угломъ къ оси дерева.

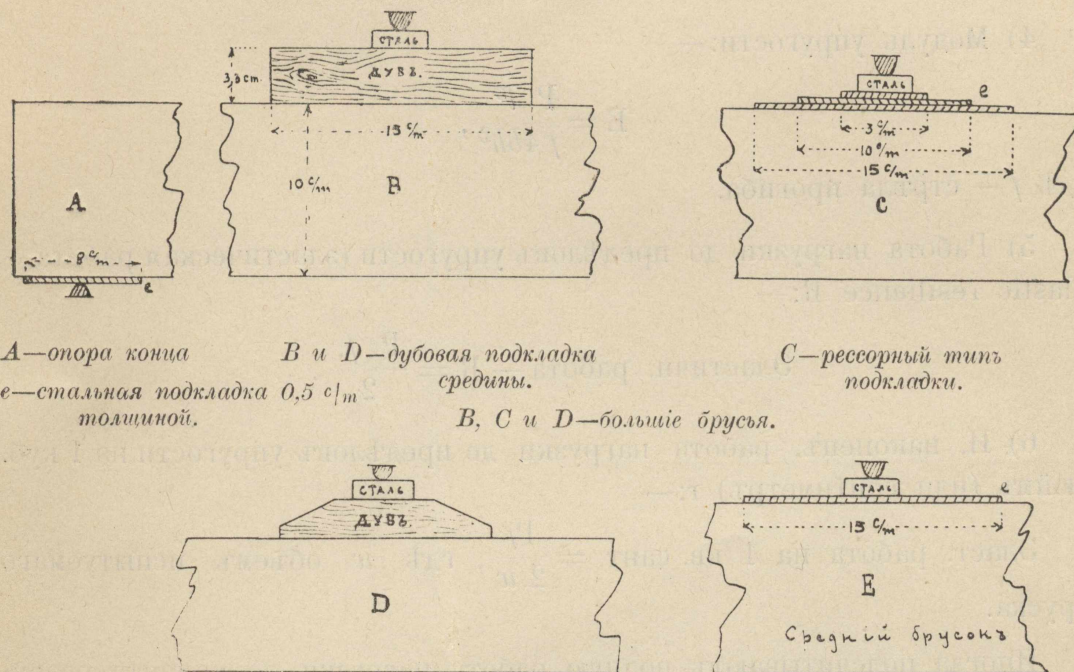
d—торцевой разрѣзъ.

Образцы испытанных брусковъ.



А и В—осевое сжатіе; С—скалываніе; D—растяженіе.
Нижнее число означаетъ число фунтовъ предѣльной нагрузки.

kg., о которой будетъ ниже. Для брусевъ размѣра 8"×14—16"×16—18 пользуются машиной Riehle на 100.000 kg. Опытъ ведется до предѣловъ разрушенія, и для каждого бруска строится діаграмма. Во избѣжаніе смятія въ точкахъ опоры и нажима (посрединѣ бруска) дѣлаются подкладки, какъ показано на чертежѣ (фиг. 7).



A—опора конца

e—стальная подкладка 0,5 c/m
толщиной.

B и D—дубовая подкладка
средины.

B, C и D—большие брусья.

C—рессорный типъ
подкладки.

Фиг. 7.

Въ своихъ испытаніяхъ на сгибаніе я вычислялъ лишь упругую и разрушающую нагрузку на 1 кв. сант. и модуль упругости; но Вашингтонская лабораторія предлагаетъ больше данныхъ для характеристики прочности матеріала. Эти данныя суть:—

1) Прежде всего нагрузка на 1 кв. сант. въ предѣлахъ упругости:—

$$K_b = \frac{Pl}{4W}, \text{ или } \frac{3Pl}{2bh^2}$$

(W—моментъ сопротивленія для прямоугольнаго бруска).

2) Нагрузка на 1 кв. сант. при разрушающемъ усилии (модуль разрушенія):—

$$K'_b = \frac{P'l}{4W} = \frac{3P'l}{2bh^2}$$

Здѣсь P' означаетъ усиліе въ моментъ разрушенія. Конечно, принять тотъ же законъ измѣненія нагрузки за предѣломъ упругости, какой мы принимаемъ въ ея предѣлахъ, нельзя; но тѣмъ не менѣе эта



произвольная и условная формула для K'_b до известной степени характеризуетъ сопротивляемость матеріала въ моментъ разрушенія.

3) Наибольшія скалывающія усилія:—

$$K_s = \sqrt[3]{\frac{P}{b h}}$$

4) Модуль упругости:—

$$E = \frac{P l^3}{f 4bh^3},$$

гдѣ f — стрѣла прогиба.

5) Работа нагрузки до предѣловъ упругости (эластическая работа—elastic resilience R):—

$$\text{Эластичн. работа} - R = \frac{P \cdot f}{2}.$$

6) И, наконецъ, работа нагрузки до предѣловъ упругости на 1 куб. дюймъ (или сантиметръ) $г$:—

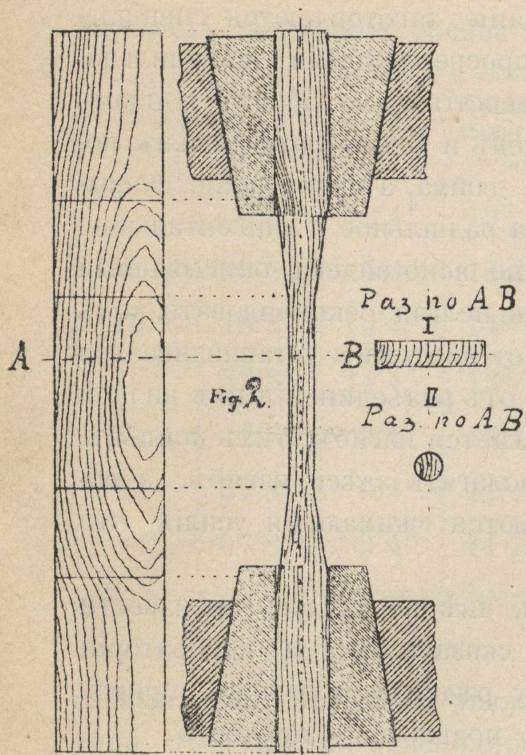
Эласт. работа на 1 кв. сант. = $\frac{Pf}{2w}$, гдѣ w — объемъ испытываемаго бруска.

Иногда подсчитываютъ полную работу нагрузки до момента разрушенія (общую и на единицу объема), для чего, слѣдовательно, приходится вычислять площадь ABCD діаграммы (діагр. № 4) и дѣлить на объемъ испытываемаго бруска.

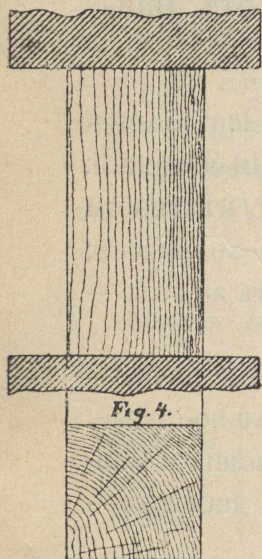
Испытаніе на растяженіе. При испытаніи на растяженіе рекомендуется брать сѣченіе не круглое, какъ у насъ обыкновенно принято, а прямоугольное въ виду того, что при токарной обработкѣ бруска происходитъ задираніе и перерѣзаніе наружныхъ волоконъ, а это уменьшаетъ прочность испытываемаго экземпляра. Хотя берутъ также и круглое сѣченіе. Для испытанія употребляется та же машина Riehle или Olsen'a. Закрѣпленіе и форма бруска показаны на фиг. 2.

Сжатіе вдоль волоконъ. Размѣры бруска (обыкновенно квадратное сѣченіе) 3—4×3—4 дюймовъ площадью и длиною 7—12 дюймовъ (фиг. 4). Но въ лабораторіи Вашингтонскаго университета въ St. Louis производятся испытанія на сжатіе брусковъ колоссальныхъ размѣровъ, какъ напр., площадью 12×14 дюймовъ и длиною до 36 футовъ, специальной машиной, развивающей до 500.000 килограммовъ.

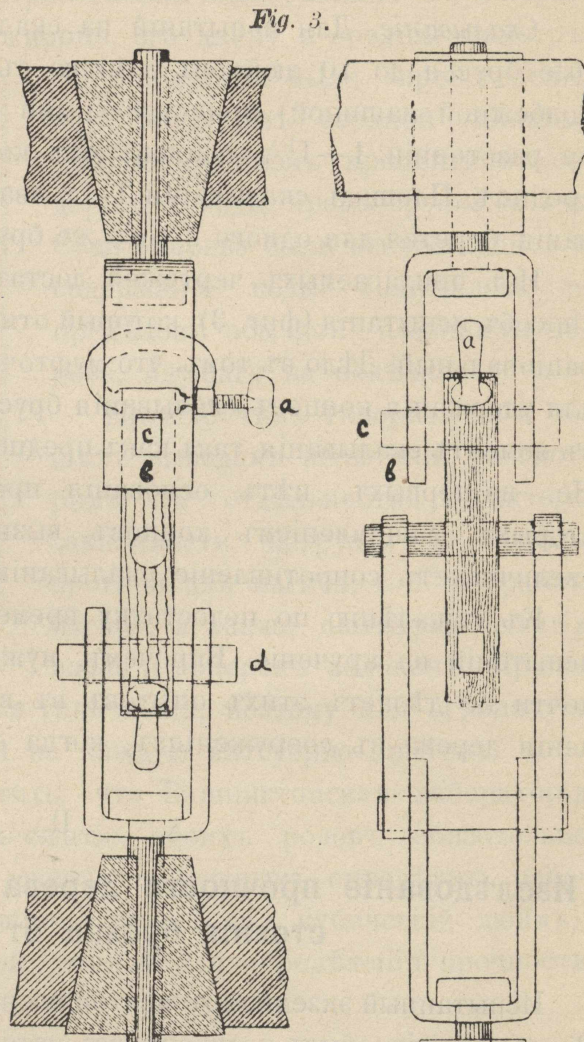
Сжатіе перпендикулярно направленію волоконъ. Площадь сжатія испытываемаго бруска борется до 16 квадратныхъ дюймовъ. Для этихъ



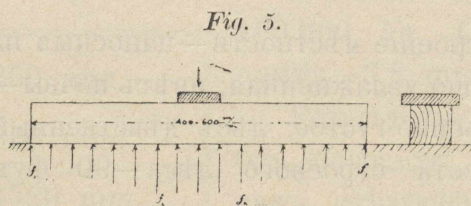
Растяжение.



Осевое сжатие.



Скалывание.



Сжатие $\perp$ напр. волоконъ.

опытовъ служатъ машины Riehle или Olsen'a. Установка бруска показана на фиг. 5.

Скалываніе. Для испытаній на скалываніе заготовляются спеціальныя бруска до 10 дюймовъ длиною съ просверленными (сверлильно-долбежной машиной) прямоугольными отверстіями по обоимъ концамъ на разстояніи $1-1\frac{1}{2}$ дюймовъ отъ концевъ и однимъ отверстіемъ по срединѣ. Площадь скалыванія $1-2$ квадр. дюйма, а направленіе скалыванія берется для одного и того же бруска радіальное и тангентальное.

Изъ прилагаемыхъ чертежей достаточно ясно виденъ описываемый способъ испытанія (фиг. 3), который отнюдь нельзя рекомендовать, какъ рациональный. Дѣло въ томъ, что муфточка съ винтомъ *a* устанавливается для удержанія концевъ скалыванія бруска отъ разъединенія ихъ вилкой въ моментъ скалыванія, такъ какъ предполагается изгибъ этихъ концевъ. Но, во-первыхъ, нѣтъ основанія предполагать здѣсь изгибъ, а во-вторыхъ, защемленіемъ концевъ вызываются сжимающія усилія, что увеличиваетъ сопротивленіе скалыванію.

Къ сожалѣнію, по недостатку времени, мнѣ не удалось произвести испытаній на крученіе. Впрочемъ, нужно сказать, что и лабораторія почти не дѣлаетъ этихъ опытовъ въ виду рѣдкихъ случаевъ примѣненія дерева въ сооруженіяхъ, когда оно подвержено крученію.

II.

Ислѣдованіе прочности дерева въ зависимости отъ разстоянія бревна отъ основанія.

Испытанный экземпляръ желтой сосны (yellow pine, long—leaf pine)—*Pinus palustris*—былъ полученъ изъ штата Алабама, провинціи Эскамдія.

А) Долгота $86^{\circ},25'$; широта $31^{\circ},10'$. Средняя высота мѣстности надъ уровнемъ моря отъ 75 до 100 футовъ. Мѣстность холмистая; средняя годовая температура 14° С.; атмосферныхъ осадковъ за годъ—100—120 ст.

В) Геологическое строеніе мѣстности—наносныя наслоенія; почва—глинистый песокъ, хорошо увлажненная; цвѣтъ почвы—пепельно-сѣрый.

С) Насажденіе умѣренно-густое; лѣсъ дѣвственный, сплошная желтая сосна; средняя высота строевого лѣса—90 футовъ, діаметръ— $18\frac{1}{2}$ дюймовъ.

Испытанный экземпляръ. Дерево № 1. Діаметръ на высотѣ чело-вѣческаго роста—19 дюймовъ. Полная высота 113 футовъ. Возрастъ по годичнымъ слоямъ на высотѣ 18 дюймовъ отъ корня (высота рубки)—182 года. Разстояніе отъ ближайшихъ деревьевъ 20—50 фут.

Дерево распилено на семь бревенъ съ вырѣзомъ дисковъ для опредѣленія удѣльнаго вѣса и влажности. Прилагаемая ниже таблица № 1-й характеризуетъ разстояніе бревна отъ корня, его длину и средній діаметръ.

№№ бревенъ и дисковъ.	Разстоян. отъ плоск. сруба.	Длина бревна.	Средній діаметръ.
I	0'8"	12'4"	19"
II	13'8"	5'4"	15,25"
III	19'8"	12'4"	14 ³ / ₈ "
IV	32'8"	14'4"	13 ³ / ₄ "
V	47'8"	9'4"	13 ¹ / ₄ "
VI	57'8"	9'4"	12 ¹ / ₄ "
VII	67'8"	9'4"	11 ¹ / ₂ "

Табл. № 1-й.

гаемая ниже діаграммы являются типичными, поэтому я и ограничусь лишь нѣсколькими экземплярами на каждую категорію опытовъ.

Нужно предварительно замѣтить, что Вашингтонская лабораторія строить діаграммы на изгибъ и сжатіе обоихъ родовъ обязательно для каждого бруска, такъ какъ считается важнымъ опредѣлить работу изгиба или сжатія на единицу объема (на кубическій дюймъ), которая служить дополнительной данной для опредѣленія прочности той или другой породы дерева.

Для изгиба я привожу здѣсь три діаграммы: — 1) для полного бруска (фиг. IV); 2) для бруска типа фиг. II и III, № 1-й и 3) для бруска типа фиг. VII, № 1, 5, 9 или 12.

Брусокъ 1-го типа (№ 62).

Размѣры бруска	$\left\{ \begin{array}{l} b=250 \text{ mm.} \\ h=360 \text{ mm.} \\ l=4720 \text{ mm.} \end{array} \right.$
Влажность	— 37,3%
Вѣсъ всего бруска	— 238 килог.
Удѣльный вѣсъ	— 0,64
Удѣл. вѣсъ при 15% в.	— 0,47.

Испытанъ на машинѣ Riehle' въ 100,000 kg. Скорость машины при опытѣ — 3,8 mm. въ минуту.

Результаты испытанія, какъ видно изъ діаграммы, построенной по записямъ, слѣдующія:

Предѣлъ упругой нагрузки — 9,000 килогр.

Разрушающая нагрузка — 16,800 к.

Стрѣла прогиба въ предѣлахъ упругости — 21 mm.

Начало опыта.	Нагрузка килогр.	Стрѣла прогиба въ дюймахъ.
10 ч. 8 м.	0	0
	500	0,04
Конецъ опыта	1000	0,085
10 ч. 47 м.	1500	0,13
	2000	0,18
	2500	0,23
Продол- житель- ность 35 м.	3000	0,28
	3500	0,32
	4000	0,37
	4500	0,42
	5000	0,46
	5500	0,51
	6000	0,555
	6500	0,605
	7000	0,65
	7500	0,71
	8000	0,755
	8500	0,80
	9000	0,85
	9500	0,90
	10000	0,95
	10500	1,005
	11000	1,065
	11500	1,12
	12000	1,18
	12500	1,25
	13000	1,32
	13500	1,39
	14000	1,47
	14500	1,56
	15000	1,67
	15500	1,815
	16000	1,985
	16500	2,22
	18000	2,50

Табл. № 2-й.

Брусъ 2-го типа (№ 52-B-I).

Размѣры бруска.	$\left\{ \begin{array}{l} b = 99 \text{ mm.} \\ h = 200 \text{ mm.} \\ l = 2000 \text{ mm.} \end{array} \right.$
Влажность	— 34,2 ⁰ / ₁₀₀ .
Вѣсъ бруска	— 24,5 кгр.
Удѣльный вѣсъ	— 0,57.
"	при 15 ⁰ / ₁₀₀ воды — 0,425.

Стрѣла прогиба для предѣльной нагрузки — 63,5 mm. Ниже привожу одну изъ таблицъ записей во время опыта.

Какъ видно изъ прилагаемой таблицы, (табл. № 2-й) діаграмма построена по нагрузкѣ въ 1000 килогр., т. е. черезъ одну точку въ виду малаго масштаба самой діаграммы, гдѣ 0,2 дюйма прогиба соответствуетъ $\frac{1}{2}$ дюйма масштаба и нагрузкѣ въ 1000 килогр. соответствуетъ $\frac{1}{4}$ дюйма.

Соответствующие результаты подсчета слѣдующіе:

$$K_b = 216 \text{ килогр. на кв. сант.}$$

$$K'_b = 401 \quad " \quad " \quad "$$

$$K_s = 31,0 \quad " \quad " \quad "$$

$$E = 101000 \quad " \quad " \quad "$$

$$\text{Эластич. работа} = \frac{AB' \times BB'}{2} = 9000 \text{ к.-сант.}$$

$$" \quad " \quad \text{на 1 куб. сант.} = 0,026 \text{ кил. ст.}$$

Испытанъ на машинѣ Riehlé въ 100000 кгр.

Скорость машины — 3,8 mm. въ минуту.

Предѣлъ упругой нагрузки — 4250 килогр.

Разрушающая нагрузка — 7000 килогр.

Стрѣла прогиба въ предѣлахъ упругости — 13 mm.

Стрѣла прогиба для предѣльной нагрузки — 28,5 mm.

Наконечъ, брусокъ 3-го типа (№ 62-A 2).

Размѣры бруска.	$\left\{ \begin{array}{l} b = 50 \text{ mm.} \\ h = 50 \text{ mm.} \\ l = 762 \text{ mm.} \end{array} \right.$
Влажность —	35,2 ⁰ / ₀ .
Вѣсъ бруска —	1,51 килогр.
Удѣльный вѣсъ —	0,601.
„ при 15 ⁰ / ₀ воды —	0,39.

Испытанъ на машинѣ Olsen'a въ 15000 килогр.

Скорость машины—2,9 mm. въ минуту.

Предѣлъ упругой нагрузки—400 килогр.

Разрушающая нагрузка—730 килогр.

Стрѣла прогиба въ предѣлахъ упругости—6,35 mm.

Стрѣла прогиба для предѣльной нагрузки—34,2 mm.

Такъ какъ діаграммы для брусковъ 2-го и 3-го типа построены полностью, то я не буду приводить таблицъ отчетовъ нагрузки и стрѣлы прогиба.

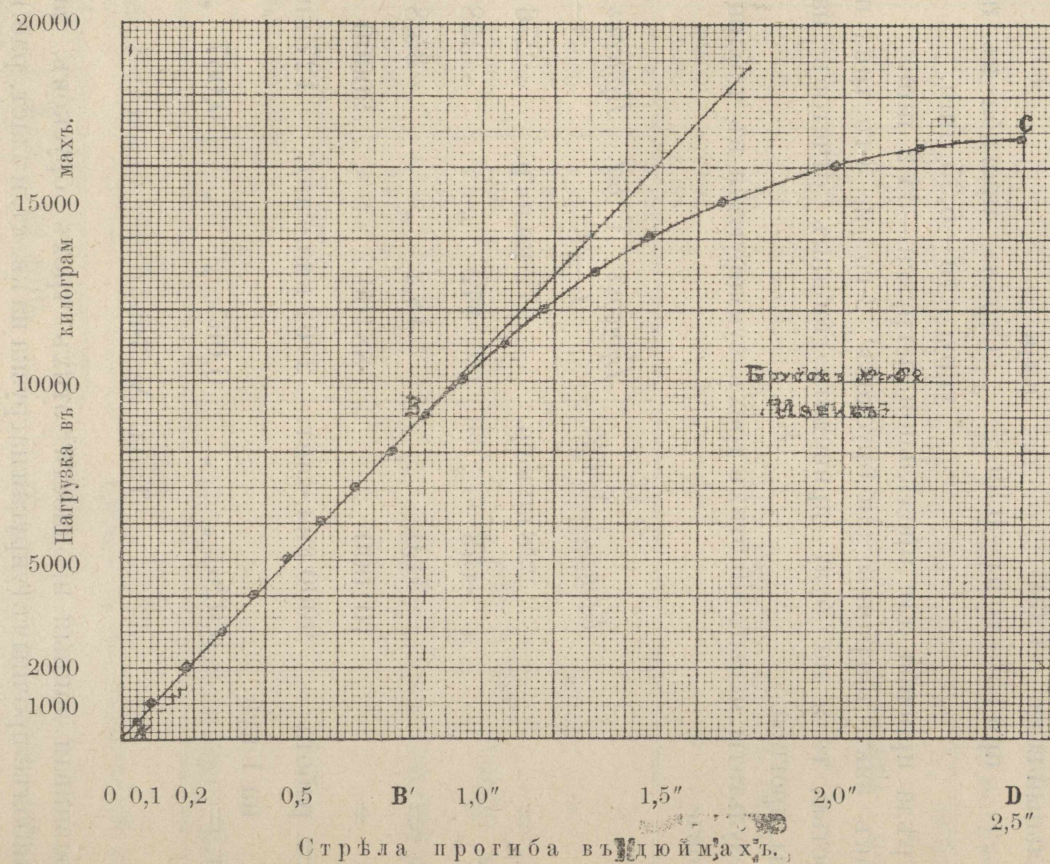
Результаты испытаній этихъ трехъ суммируются въ таблицѣ № 3-й: брусковъ

	Брусокъ № 62.	Брусокъ № 62. B—I.	Брусокъ № 62. A—2.
$K_b =$	228 килогр.	272 килогр.	276 килогр.
$K'_b =$	458 „	472 „	338 „
$K_s =$	31,0 „	48,2 „	35,8 „
$E =$	101000	88100	90000
Эласт. работа =	9000 кил.-сант.	2762 кил.-сант.	127 кил.-сант.
„ на 1 куб. ст. =	0,026 „ „	0,065 „ „	0,067 „ „

Табл. № 3-й.

Сравнивая данныя прочности этихъ трехъ брусковъ, замѣчаемъ, что наиболѣе прочнымъ (упругая нагрузка на кв. ст. и эласт. раб.) является брусокъ третьяго типа. Конечно, дѣлать въ этомъ смыслѣ общій выводъ на основаніи одного опыта слишкомъ рискованно; но цѣлый рядъ опытовъ Вашингтонской лабораторіи надъ другими породами дерева, какъ и мои испытанія надъ *Pinus palustris*, показали, что это дѣйствительно такъ. Выводъ этотъ представляется неожиданнымъ и, съ перваго взгляда, парадоксальнымъ, такъ какъ, казалось бы, брусокъ 3-го типа долженъ давать меньшую сопротивляемость на единицу площади, какъ менѣе

ДІАГРАММА СГИБАНІЯ.



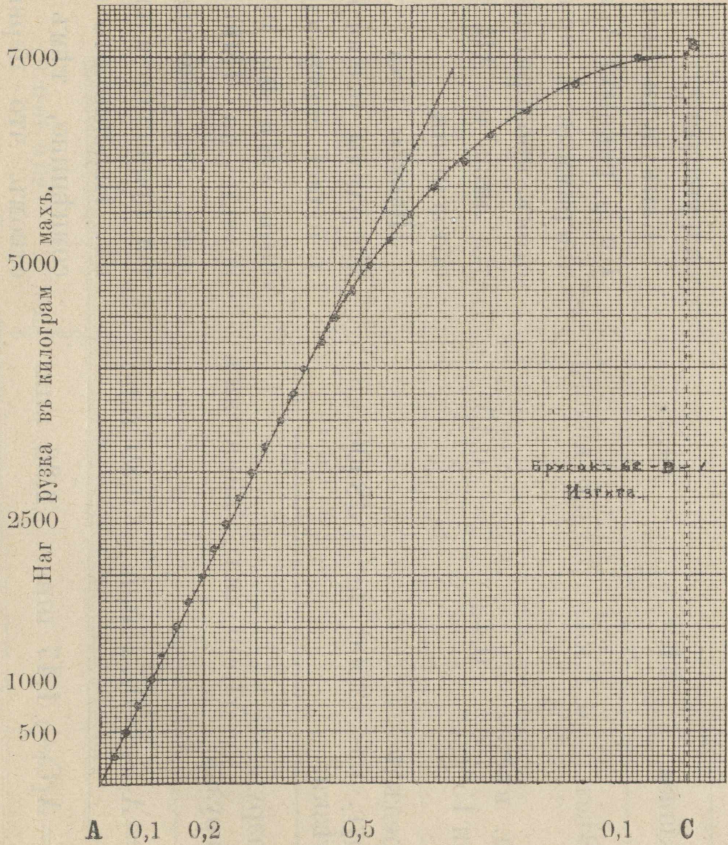
Брусъ № 62.

№ 4-й.

№ 5-й.

ДІАГРАММА СГИБАНІЯ.

Брусокъ № 62-й—В—1.



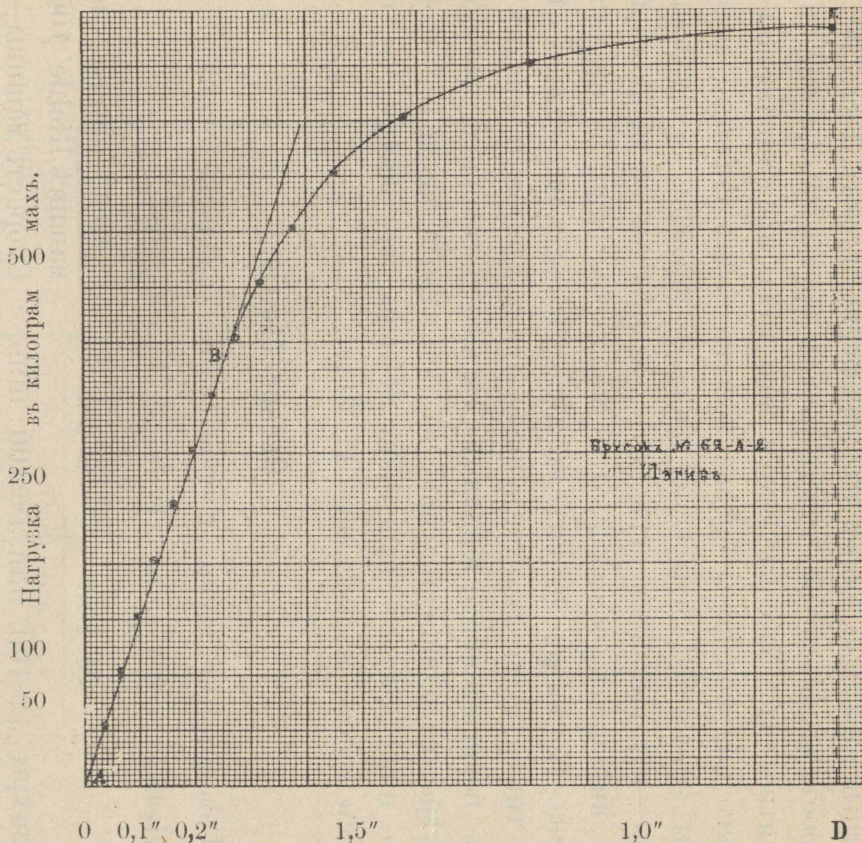
Стрѣлка прогиба въ дюймахъ.

№ 6-й.

ДІАГРАММА СГИБАНІЯ.

Брусок № 62—А—2.

750



Стрѣла прогиба въ дюймахъ.

плотный (лежащий ближе къ периферіи дерева). Тѣмъ не менѣе здѣсь вопросъ сводится не къ структурѣ бруска, а къ величинѣ его. Понятно, что брусокъ 1-го и 2-го типа, представляющій вырѣзы изъ цѣлаго или половины бревна можетъ имѣть скрытые пороки: вѣтренницы (трещины), пораженія гнилью, заросшіе сучья или каверны и проч.—которые не могутъ быть обнаружены на полномѣрномъ брускѣ при внѣшнемъ осмотрѣ. Это же несомнѣнно понижаетъ прочность дерева. Когда же мы имѣемъ дѣло съ брускомъ малаго сѣченія, какъ 3-й типъ, то почти всегда намъ удастся выбрать вполне здоровый и безъ поврежденій экземпляръ. Нечего и говорить, что бруски малаго размѣра, находящіеся ближе къ оси ствола, прочнѣе, что будетъ показано ниже рядомъ испытаній. Теперь же замѣчу, что полномѣрные бруски слабѣе малыхъ на 10—20%.

Осевое сжатіе.

Разсмотримъ теперь осевое сжатіе (вдоль волоконъ).

Имѣемъ два бруска: № 1-й и № 2-й.

	№ 1-й.	№ 2-й.
Размѣры бруска.	a=100 mm. b=200 mm. h=457 mm.	a=100 mm. b=100 mm. h=457 mm.
Влажн.	31,9%	34,2%
Вѣсъ.	6,2 килогр.	6,0 килогр.
Уд. вѣсъ при 15%.	0,42	0,45
Предѣлъ упруг. на- рѣзки.	42500 кил.	38500 кил.
Разруш. нагрузка.	53500 кил.	53000 кил.
$\lambda = A_1 B_1$	0,72 mm.	0,89 mm.
$\lambda_1 = A_1 C_1$	1,47 mm.	2,36 mm.

Оба бруска испытаны на машинѣ Riehle' 100000 килогр. Скорость машины—3,8 mm. въ минуту λ —величина пропорціо-
нальн. сжатія, λ_1 —величина сжатія (полная) до момента разрушенія.

Какъ видно изъ обозначеній λ и λ_1 , равныхъ $A_1 B_1$ и $A_1 C_1$ (см. діаграммы), я принимаю участокъ пропорціональнаго сжа-
тія лишь на АВ, что требуетъ объясненія.

Прежде всего замѣчу, что діаграммы осевого сжатія по-
лучились совершенно нормаль-
ныя, хотя въ предѣлахъ на-
грузки до 18000 килограм-
мовъ не наблюдается сжа-
тія пропорціональнаго нагруз-
кѣ. Явленіе это вызвано, не-
сомнѣнно, тѣмъ обстоятель-
ствомъ, что первые моменты

СЖАТИЕ.

ДИАГРАММЫ ОСЕВОГО СЖАТИЯ.

Диаграмма № 1-й.

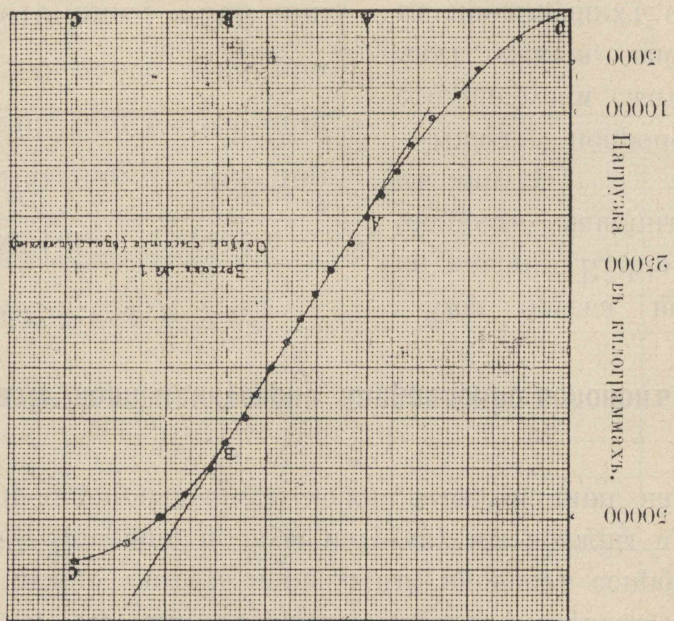
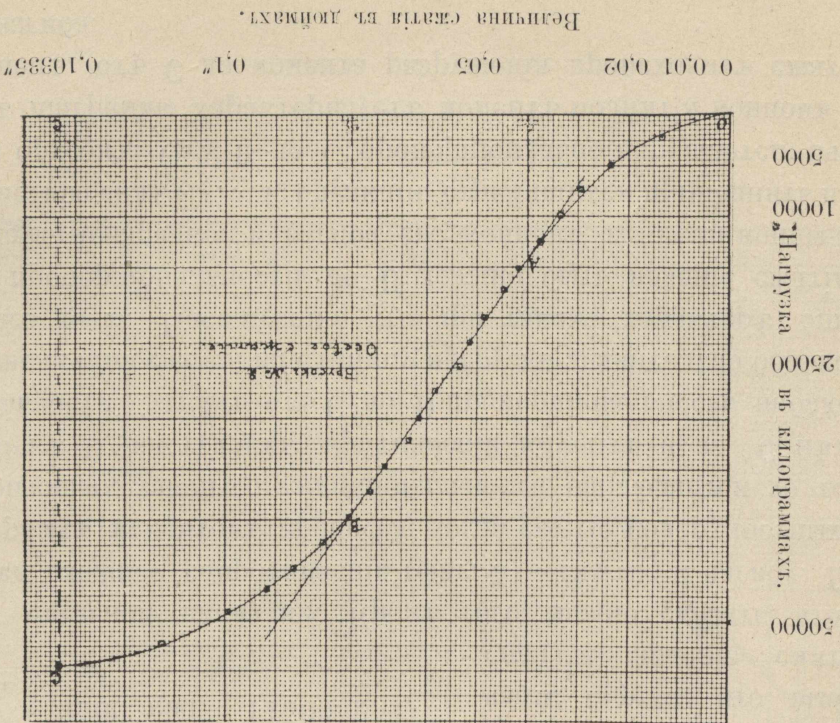


Диаграмма № 2-й.



нагрузки происходит *смятие* волоконъ въ концахъ бруска, гдѣ они разъединены при распиловкѣ. Явленіе это наблюдается положительно на всѣхъ породахъ дерева, испытываемыхъ на осевое сжатіе съ тою только разницею, что для твердыхъ породъ участковъ ОА меньше. Поэтому то и нужно считать нормальный процессъ сопротивляемости на участкѣ АВС. Конечно, полную нагрузку мы должны принимать въ С, но законъ пропорціональности можно вывести лишь на участкѣ АВ.

Сжатіе перпендикулярно направленію волоконъ.

Бруска №№ 1 и 2-й.

	№ 1-й.	№ 2-й.
Размѣры бруска.	$a=100 \text{ mm.}$	$a=98 \text{ mm.}$
	$b=200 \text{ mm.}$	$b=196 \text{ mm.}$
	$h=200 \text{ mm.}$	$h=198 \text{ mm.}$
	$l=610 \text{ mm.}$	$l=508 \text{ mm.}$
Влажнос.	35,9%	34,2%
Удѣльный вѣсъ.	0,44	0,33
Разруш. нагрузка.	9500 кил.	11500 кил.

Оба бруска испытывались на машинѣ Riehle' 100,000 к. Скорость машины—3,8 mm. въ минуту.

Явленіе непропорціональности нагрузки сжатію при началѣ сжатія, наблюдавшееся въ предыдущихъ опытахъ замѣчается и здѣсь, но въ болѣе слабой степени. Несомнѣнно, явленіе это вызвано самимъ характеромъ опыта, гдѣ сжатію подвержена срединная часть бруска, что вызываетъ сначала явленіе смятія по

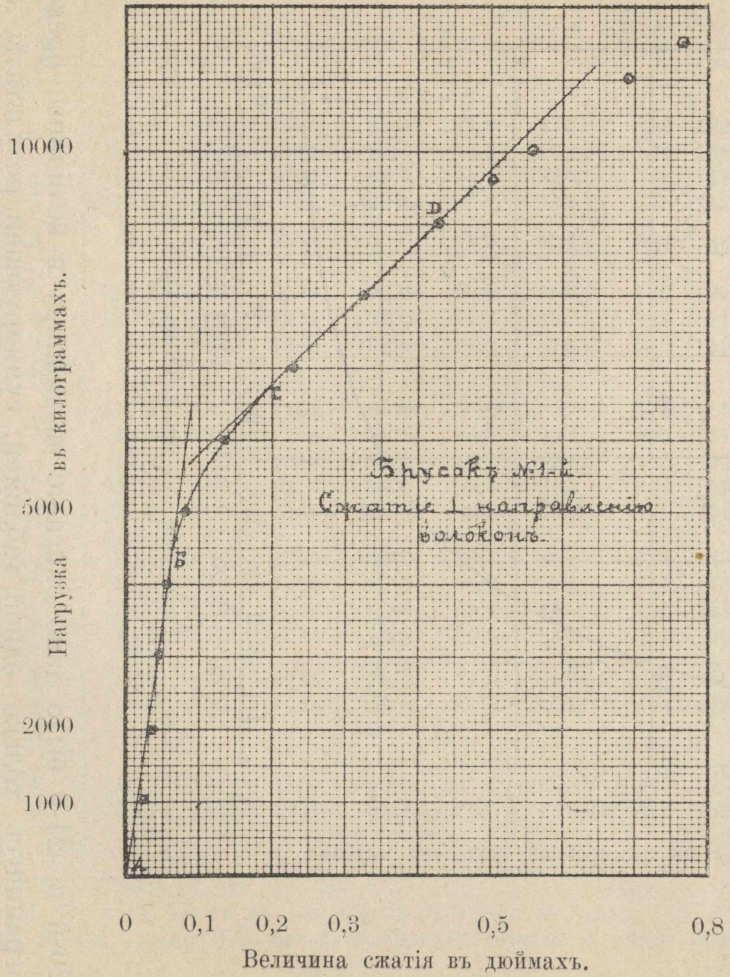
площади стальной накладки. Кромѣ того, можно сказать, что здѣсь получается сложное сопротивленіе (фиг. 5)—сжатію и изгибу. Поэтому послѣ первыхъ моментовъ процесса, когда сжатіе поверхностныхъ волоконъ произошло, законъ пропорціональности наблюдается до точки В.

Въ точкѣ В наступаетъ критическій моментъ и до С нѣтъ пропорціональности. Затѣмъ отъ С до D пропорціональность наблюдается, причемъ величина сжатія на единицу нагрузки значительно больше, чѣмъ на участкѣ до В. Несомнѣнно, что при такомъ характерѣ опыта на участкѣ пропорціональности до В должно быть явленіе сжатія части бруска подъ подкладкой и изгиба его концовъ, т. к. эти концы подвержены дѣйствию силъ ($f_1 \dots f_n$) реакціи, стремящихся приподнять ихъ, т. е. изогнуть брусокъ. Отъ В до С пропорціонально нарушается; очевидно, эта часть діаграммы характеризуетъ моментъ поднятія концовъ бруска. И, наконецъ, отъ С до момента разрушенія происходитъ сжатіе безъ вліянія изгиба.

Сжатіе перпендикулярно

ДІАГРАММА СЖАТІЯ.

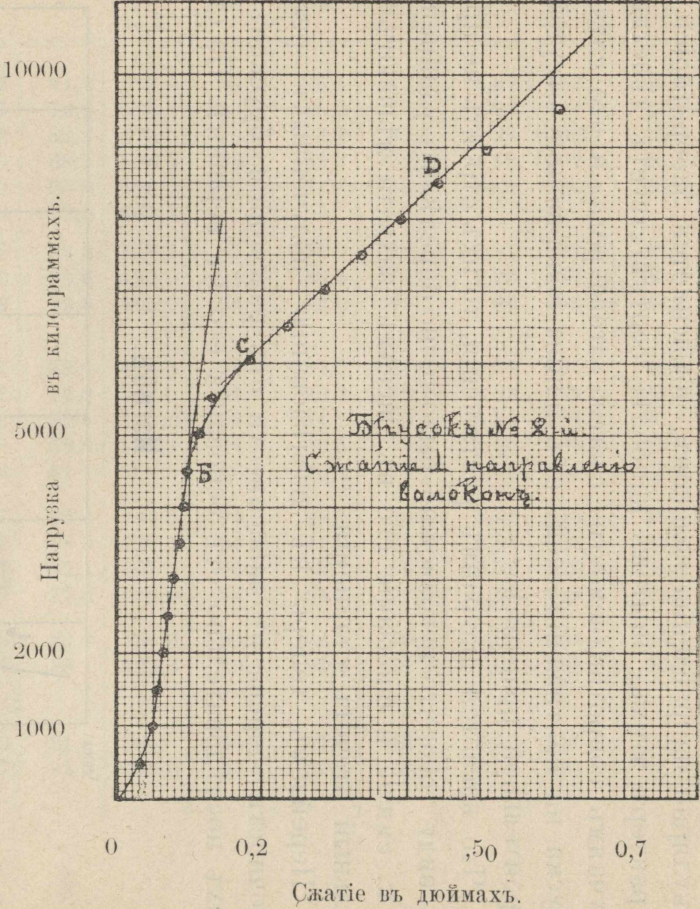
Брусокъ № 1-й.



направленію волоконъ.

ДІАГРАММА СЖАТІЯ.

Брусокъ № 2-й.

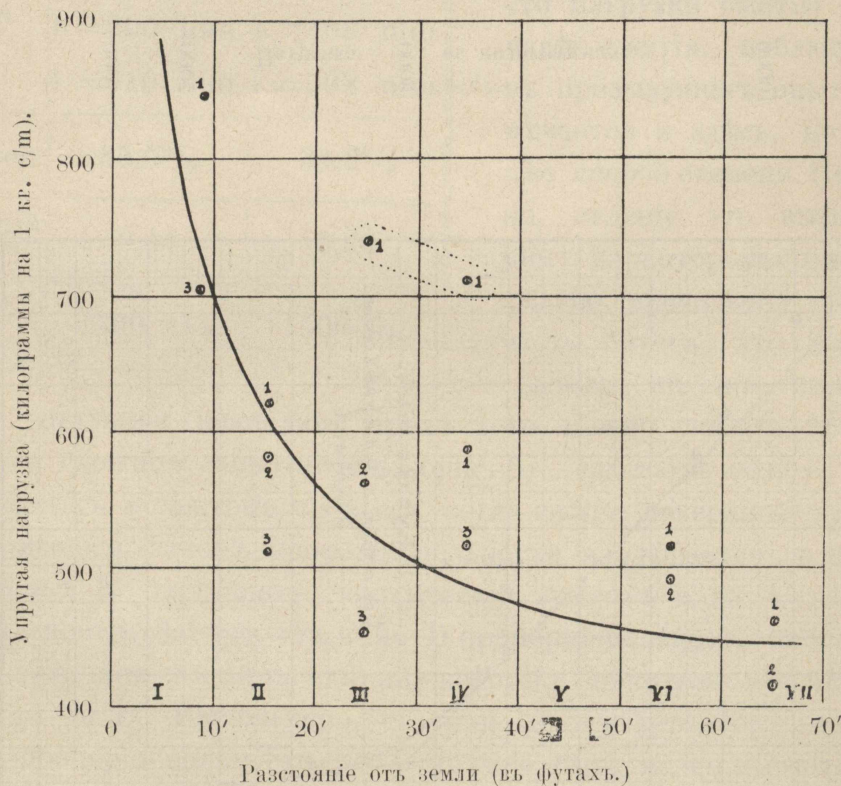


Такая постановка опыта, усложняющая испытание и, нужно сказать, не дающая точных данных, характеризующих сжатие перпендикулярно направлению волоконъ, объясняется лабораторіей тѣмъ, что характеръ этихъ опытовъ наиболѣе соответствуетъ дѣйствительнымъ случаямъ сопротивляемости сжатію этого рода, и что случаи сжатія бруска на протяжении всей его длины совершенно отсутствуютъ въ строительной практикѣ.

Что касается діаграммъ растяженія, то ихъ строить не приходилось въ виду того, что невозможно было точно опредѣлить удлиненіе бруска, т. к. смятіе и сползаніе его въ щекахъ захвата мѣшаютъ дать правильный отсчетъ удлиненія.

Перейдемъ теперь къ изслѣдованію полученныхъ результатовъ прочности дерева въ зависимости отъ разстоянія брусковъ выпиленныхъ послѣдовательно отъ основанія его къ вершинѣ. На страницахъ

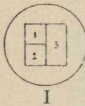
Изгибъ.



Діагр. 7.

20-й и 21-й было дано описаніе экземпляра и величины бревенъ. Я ограничусь только одной таблицей, суммирующей результаты испытанія (было испытано два экземпляра желтой сосны) въ виду того, что законъ измѣненія прочности достаточно ясенъ и на этой таблицѣ.

Табл. 4—ая, характеризующая прочность дерева на различных высотах его.

Бревно, № и форма выреза бруса.	№ брусковъ.	°/о воды.	Удельный вѣсъ.	ИЗГИБЪ.						Сжатіе вдоль волоконъ.			Сжатіе поперекъ волокон.			Растяженіе.		Скалываніе.	
				Размѣры бруса.			Модуль разрушенія $R_d = \frac{P_d}{Kb} = \frac{P_d}{4W}$	Упругая нагрузка $R_k = \frac{P_k}{Kb} = \frac{P_k}{4W}$	Модуль эластичности.	Размѣры бруса.		Разруш. нагрузка на 1 кв. см.	Размѣры бруса.		Разруш. нагрузка на 1 кв. см.	Площадь сѣченія бруса въ кв. см.	Разрывающій грузъ на 1 кв. см.	Площадь скалыванія въ кв. см.	Скалывающее усилие на 1 кв. см.
				l м.м.	h м.м.	b м.м.				Длина. м.м.	Площ. кв.м.		Длина. м.м.	Площ. кв.м.					
	1*) {	45,0	0,98	1524	89,0	94,0	475	250	102000	203,2	81,2	286,0	93,7	86,4	43,4	5,81	422,0	25 8	25,6
I	2 {	20,1	0,785	1524	86,4	85,2	908 0	702	153800	205,7	73,6	584,6	84,8	86,2	70 2	3 68	824 3	23,2	56,4
		13,1	0,767	1254	88,5	94,3	930,5	712	148000	203,2	82,3	476,5	95,0	94,2	59,7	6 38	1009,7	25,8	63,5
		11,8	0,730	1254	92,5	93,0	983,4	745	142000	203,0	68,1	598,2	94,0	92 3	72,1	4,58	1102 3	26,5	56 5
II	3 {	19,2	0,80	2508	200,0	94 6	976,6	846	183000	206,0	95 0	486,0	100,2	92 6	66,7	64,4	980,8	26 0	46,5
										942,3	92,0	465,1							
III	1 {	18,7	0,73	1254	92,0	95,0	908,2	580	185250	203,2	83 6	450,2	87 9	94 2	68,5	5 81	898 3	29,3	41 5
		20,7	0,64	1254	92,0	94,2	890,0	624	171000	203,2	80 6	499,0	94,5	86,5	70 8	4 20	880,5	25,1	51,5
		18,9	0,70	1254	92,6	94,2	870,5	512	119000	203,2	79,8	405,0	94,5	82 0	49 5	5 30	799 4	28,4	45,8
IV	2 {	17,1	0,72	1254	88,9	95,6	830	563	115000	205,7	82,4	478,3	94 7	87,5	61,5	5,53	854 5	24,5	54 3
		12,7	0,76	1254	93,5	93,5	920	655	131000	203,2	74 8	569,0	94,0	92,2	69 1	3 93	892 3	24,2	57,7
		19,0	0,76	1254	88,2	95,5	859	455	122900	203,2	82 5	465,0	94,3	84 2	62,4	6 39	754,0	27,0	40 8
V	3 {	14,4	0,762	1254	93,5	93,5	915	845	129500	200,6	68,9	584,1	94,5	90 5	70,5	4 50	785,2	25 6	50 7
		25,2	0,608	2508	200,1	93,3	1000	740	172000	200,6	81 1	508,0	86,4	90 1	71 2	5,72	658 8	25,8	56 2
VI	1 {	20,4	0,73	1254	84,0	89,5	843	586	180500	205,7	82 6	404,0	94,2	85,5	58 5	5,31	645,4	26 5	48,1
		16,1	0,75	1254	87,5	88,0	932	715	128800	203,2	68 8	492,5	94,3	91 0	71,5	4,53	682,3	25,8	50,6
		21,0	0,700	1254	82,1	89,2	775	522	124500	205,7	82,1	407,5	94,8	83,1	45,2	6 52	620,5	25,2	50 0
VII	2 {	13,9	0,762	1254	84,0	82 3	846	625	150500	205,7	77,0	408,0	87 2	84 5	71,0	3,75	624,3	22,5	56,3
VIII	1 {	18,1	0,64	1254	88,9	94,0	710,0	522	91600	205,3	82 6	456,0	94,5	88,5	70,0	6,08	634,5	25,4	58 5
		24,2	0,74	1254	89,8	94,9	663,0	494	87300	205,7	85 1	429,8	89 4	94,6	71 3	7,05	598,6	26,7	50 1
IX	1 {	18,5	0,68	1254	87,9	95 2	620,4	465	177500	203,0	81,8	394	94,7	87,5	71 2	6,53	590,5	26,0	41,6
		17,7	0,62	1254	89,2	94,5	985,0	415	78800	205,7	84,5	345,0	94 5	89,4	69,5	6 03	567 8	26,7	49,5

*) Бревна I, III и IV дают по два бруса №№ 1-го и 2-го.

**) Брусок № 4-й бревна II-го оказался бракомъ. Бревно V также бракъ.

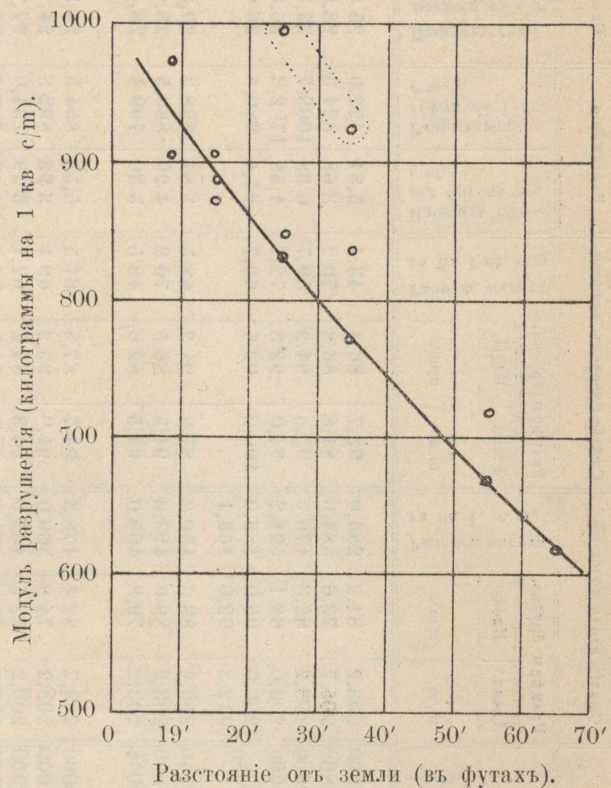
Въ испытанномъ экземплярѣ пришлость отбросить бревно VII, т. к. оно оказалось бракомъ.

При составленіи діаграммъ, показывающихъ зависимость между разстояніемъ отъ основанія дерева и данными, характеризующими прочность, беремъ лишь тѣ бруски, которые содержатъ приблизительно одинаковый процентъ воды.

Эти бруски суть: -- изъ бревна I-го бруски 1 и 3; II-го — 1, 2 и 3; III-го — 1, 1 и 3; IV-го — 1, 1 и 2; VI-го — 1 и 2; VII-го — 1 и 2. Всего 15 брусковъ.

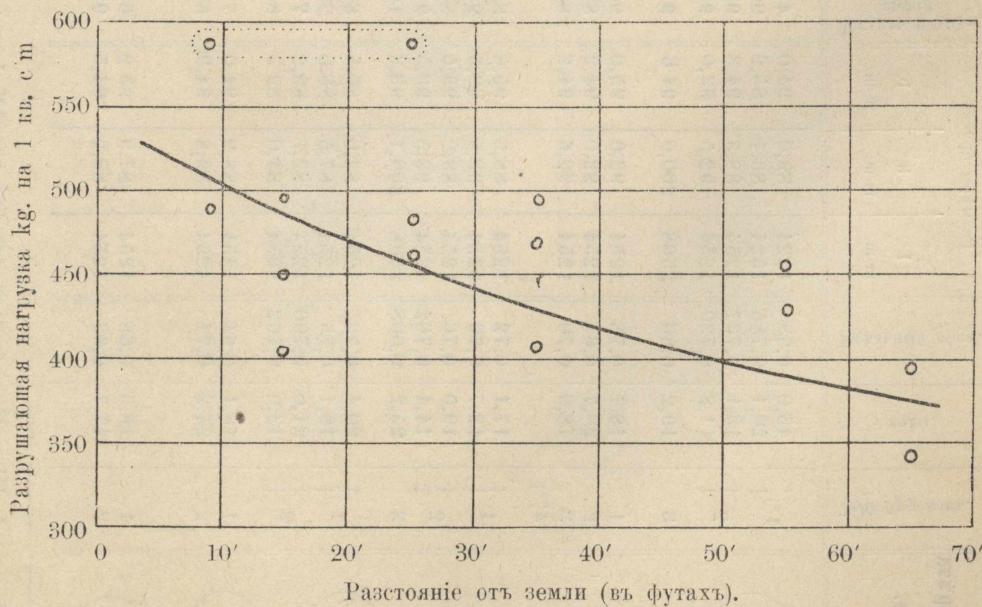
Разсмотримъ сначала изгибъ. Изъ діаграммы № 7-й, построенной по даннымъ таблицы, ясно видно паденіе прочности дерева въ зависимости отъ удаленія вырѣза бруска отъ основанія ствола. Упругая нагрузка падаетъ отъ 846 килогр. до 415, т. е. въ данномъ случаѣ понижается болѣе, чѣмъ вдвое.

Изгибъ.



Діагр. 8.

Сжатіе вдоль волоконъ.



Діагр. 9.

Точки 1 и 1, обведенныя пунктиромъ, показываютъ какъ бы уклоненіе отъ закона паденія прочности къ вершинѣ; но явленіе это слѣдуетъ разсматривать, какъ случайное. Возможно, что здѣсь была неправильная запись показаній машины или ошибка при подсчетѣ.

Аналогичное явленіе паденія прочности наблюдается за предѣлами упругости при сгибаніи брусковъ, но въ гораздо болѣе яркой степени. Здѣсь, какъ видно изъ діаграммы № 8-й, получается почти прямая паденія прочности отъ 976,6 килогр. до 585 килогр.

Не буду приводить діаграммы модуля упругости, такъ какъ по таблицѣ легко прослѣдить его паденіе по мѣрѣ приближенія вырѣзовъ брусковъ къ вершинѣ.

Изъ діаграммы № 9-й видна та же зависимость и для осевого сжатія (вдоль волоконъ). То же явленіе наблюдается и при растяженіи. Что же касается сжатія перпендикулярно направленію волоконъ и скалыванія, то здѣсь закона паденія прочности по направленію къ вершинѣ дерева нѣтъ. Относительно скалыванія можно еще допустить, что цементирующая сила волоконъ на протяженіи всего ствола одинакова (скалываніе нужно разсматривать, какъ разъединеніе волоконъ дерева), то при сжатіи перпендикулярно волокнамъ совершенно нельзя найти подходящаго объясненія отсутствію закона паденія прочности. Отнюдь не претендуя на непогрѣшимость своихъ изслѣдованій, оставляю этотъ вопросъ открытымъ.

III.

Вліяніе влажности на прочность.

Сгибаніе.

Для опытовъ этого рода выбираютъ, обыкновенно, такой участокъ ствола, на которомъ не сказывалось бы на брускахъ двухъ смежныхъ бревенъ вліяніе на прочность въ зависимости отъ разстоянія отъ основанія дерева, или было бы относительно ничтожно. Бруски вынимаютъ такимъ образомъ, чтобы они были одинаковаго строенія, что предполагаетъ одинаковую плотность матеріала. Если разница въ возрастѣ двухъ смежныхъ бревенъ сравнительно велика, то ограничиваются восемью брусками одного бревна. Обыкновенно же изслѣдуютъ до 16-ти брусковъ двухъ смежныхъ бревенъ.

Испытанный экземпляръ характеризуется слѣдующими данными:

Желтая сосна (*Pinus palustris*) изъ провинціи Валазъ, штатъ Алабама.

Діаметръ 18 $\frac{1}{2}$ дюйм.

Высота до первыхъ вѣтвей 60 фут.

Возрастъ	190 лѣтъ
Полная высота	110 фут.

Дерево было распилено на 8 бревенъ. Для испытанія взяты два бревна на высотѣ между 19 и 48 фут. Размѣры бревенъ—I-го: $D=18$ дюйм., $L=13'4''$; II-го: $D=17''$, $L=12'8''$. Выпиленные бруски подвергали искусственной сушкѣ (кроме бруска № 4-й II-го бревна), понижая постепенно процентное содержаніе воды; затѣмъ обрабатывались въ предѣлахъ отъ $3\frac{1}{2}$ до 4 дюймовъ въ сторонѣ и, послѣ распила каждого бруска на два съ такимъ расчетомъ, чтобы длина ихъ между точками опоры могла быть взята 60 дюймовъ (1524 mm), бруски поступали на испытаніе. При паденіи влажности дерева отъ 44,2⁰/₀ до 11,5 происходило соответственное пониженіе удѣльнаго вѣса отъ 0,92 до 0,73 и *повышеніе прочности*, какъ видно изъ табл. 5-й. Нужно, однако, замѣтить, что повышеніе прочности въ связи съ пониженіемъ удѣльнаго вѣса наблюдается лишь для брусковъ одинаковаго строенія, т. е. въ данномъ случаѣ можно сказать, что прочность увеличивается съ уменьшеніемъ влажности. Вообще же говоря, большому удѣльному вѣсу соответствуетъ большая прочность при *одномъ и томъ же* процентномъ содержаніи воды. Ниже мы увидимъ, что для одной и той же породы заболонь менѣе прочна, чѣмъ ядровыя части, а теперь обратимся къ діаграммамъ, характеризующимъ сгибаніе брусковъ при различномъ содержаніи воды.

Діаграммы №№ 10-й и 11-й показываютъ паденіе прочности при сгибаніи въ предѣлахъ и за предѣлами упругости. Въ данномъ изслѣдованіи при пониженіи влажности отъ 44,2⁰/₀ до 11,5⁰/₀ сопротивляемость въ предѣлахъ упругости увеличилась почти на 80⁰/₀; предѣльная нагрузка до момента разрушенія увеличилась болѣе чѣмъ на 90⁰/₀. И, наконецъ, модуль упругости увеличился (діагр. № 12) на 48⁰/₀.

Сжатіе по направленію волоконъ (осевое).

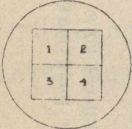
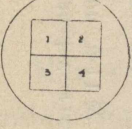
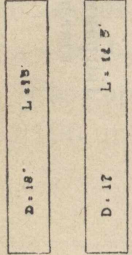
Для этихъ опытовъ было взято изъ того же дерева второе отъ основанія бревно на разстояніи 16—19 футовъ, діаметромъ 18¹/₂ дюймовъ. Выпилка брусковъ производилась такъ же, какъ и для сгибанія, т. е. бревно распиливалось по взаимно перпендикулярнымъ діаметрамъ.

Размѣры испытанныхъ брусковъ: $h=210$ mm, $a=75$ mm, $b=75$ mm. Процентное содержаніе воды варьировалось отъ 46,0 до 12,5⁰/₀.

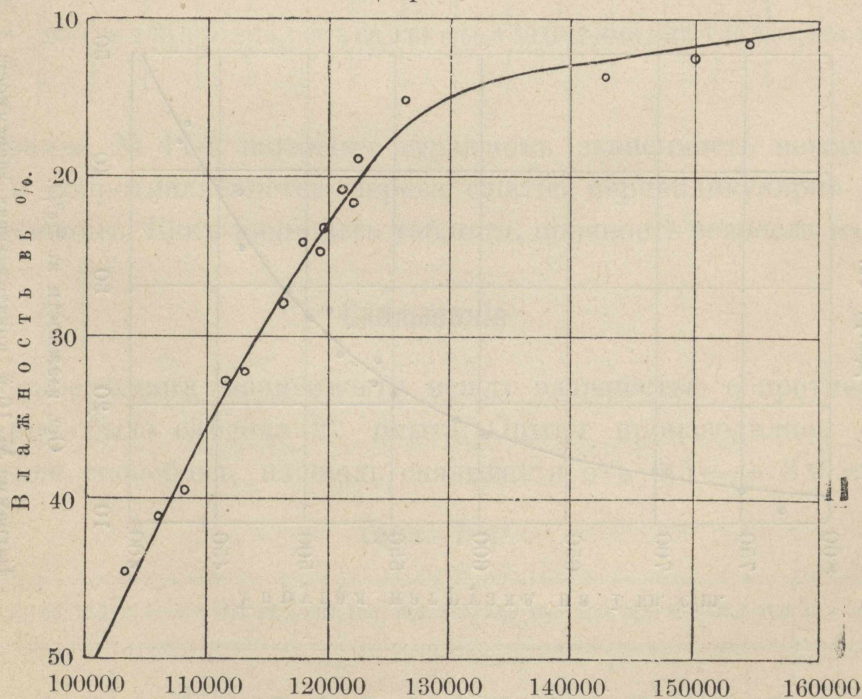
Результаты 21-го испытанія суммируются въ нижеслѣдующей таблицѣ.

Сгибание.

Табл. 5-я.

Бревна, №№ и форма выреза брусковъ.	№ брусковъ.	%, воды.	Удельный вѣсъ.	Размѣры бруска.			Предѣльная нагрузка въ kg/cm^2 . $K/b = \frac{Pl}{4W}$	Упругая нагрузка въ kh/cm^2 . $K_b = \frac{Pl}{4W}$	Модуль упругости.
				l м/м.	h м/м.	b м/м.			
	1	11,5	0,73	1524	88,2	90,3	930,5	774,9	154500
		13,4	0,76	1524	89,0	88,2	870,0	750,0	150000
	2	17,1	0,77	1524	90,1	89,4	850,0	707,5	142500
		18,4	0,77	1524	87,4	91,2	720,1	650,0	126000
	3	19,0	0,78	1524	88,3	90,4	710,0	603,0	122500
		19,2	0,78	1524	89,1	87,5	700,0	582,6	122000
	4	21,9	0,78	1524	87,9	86,9	668,2	550,0	121000
		23,8	0,785	1524	89,2	90,0	650	540,2	119500
	1	24,1	0,78	1524	86,9	88,2	635,2	538,0	119000
		28,0	0,80	1524	89,0	87,6	634,0	521,4	117500
	2	28,5	0,81	1524	88,6	89,4	620,0	513,5	116000
		28,8	0,79	1524	87,8	87,4	610,4	503,1	113000
	3	33,5	0,82	1524	89,3	87,9	560,0	463,5	115000
		38,5	0,85	1524	90,2	91,2	552,1	462,8	108000
	4	42,5	0,89	1524	86,8	88,4	525,1	432,1	106000
		44,2	0,92	1524	91,3	88,9	480,2	425,0	103500

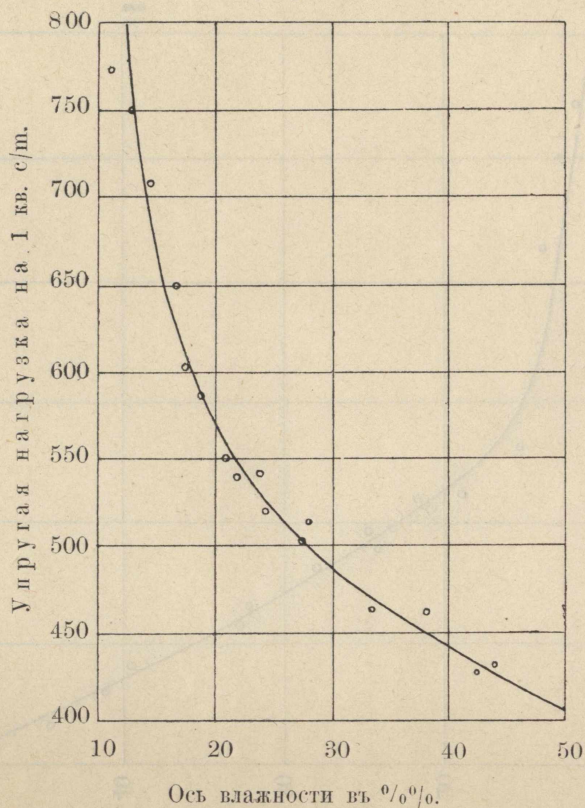
Діагр. 12.



Ось модулей упругости.

Діаграмма № 12, показывающая зависимость между влажностью дерева и модулем упругости.

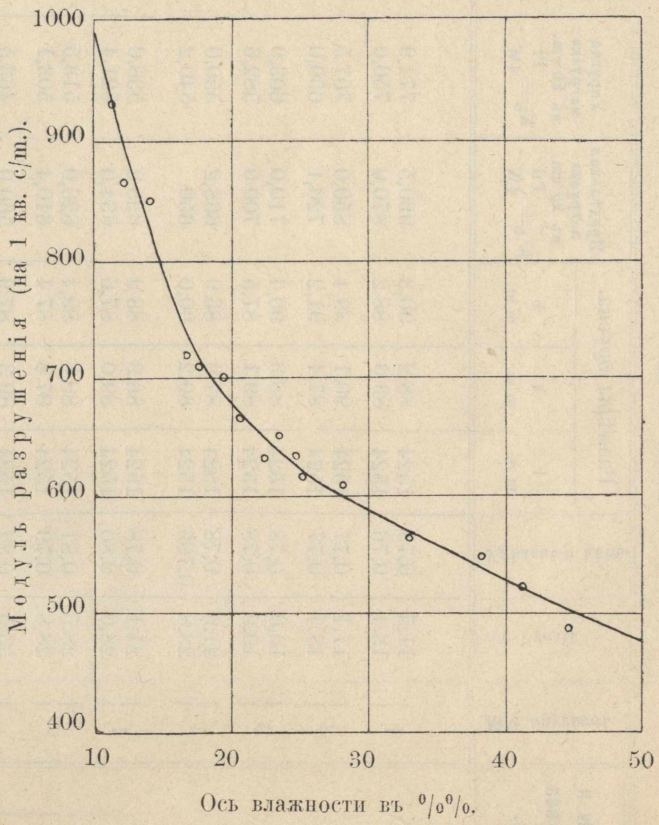
Діагр. 10.



Діаграмма № 10-й, показывающая зависимость между влажностью дерева и упругой нагрузкой.

I E.

Діагр. 11.



Діаграмма № 11-й, показывающая зависимость между влажностью дерева и разрушающимъ усилениемъ.

Табл. 5-я.

Процентъ воды.	12,5	13,1	14,0	16,9	19,8	20,8	21,5	22,5	23,0	23,5	24,1	25,5	27,1	29,7	33,1	34,5	37,2	38,1	40,9	44,3	46,0
Разрушающ. нагрузка на 1 кв. ст. кгр.	538,0	525,8	500,5	450,3	448,9	410,1	416,1	412,2	412,8	359,7	380,2	390,0	374,1	362,5	350,9	338,0	342,0	327,1	314,2	312,0	305,1

Законъ повышенія прочности въ зависимости отъ пониженія процентнаго содержанія воды достаточно виденъ на діаграммѣ № 13-й, выражающей приведенную таблицу № 00. Повышеніе прочности достигаетъ свыше 70% (для даннаго испытанія).

Сжатіе перпендикулярно направленію волоконъ.

Изъ того же дерева взято бревно на высотѣ 5—16 футовъ основанія. Первая часть бревна въ 7 фут. была распилена на бруски для испытанія на сжатіе перпендикулярно направленію волоконъ, а вторая—5 фут. длиною—для испытаній на скалываніе.

Размѣры брусковъ, подвергавшихся сжатію: $L=410$ mm, $a=75$ mm, $h=100$ mm. Площадь нагрузки:— 75×100 mm. Число испытаній—18.

Табл. 6-я.

Процентъ воды.	12,5	15,0	16,2	17,0	18,6	20,55	21,25	23,8	25,6	27,8	29,4	31,25	35,8	36,8	38,7	40,9	46,1	48,1
Разрушающ. нагрузка на 1 кв. ст. кгр.	90,4	88,2	78,3	70,2	74,1	66,5	63,2	61,9	55,0	52,0	47,8	46,2	43,8	42,3	37,4	34,1	33,2	31,0

Діаграмма № 14-й наглядно выражаетъ зависимость между влажностью и сопротивляемостью дерева сжатію перпендикулярно направленію волоконъ. Какъ видно изъ таблицы, прочность возросла на 196%.

Скалываніе.

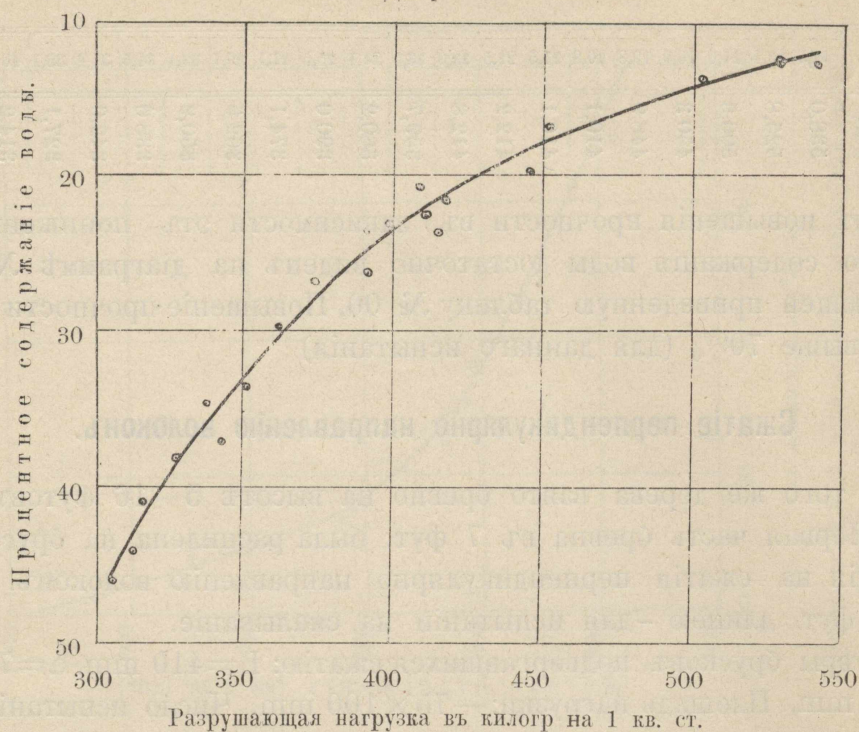
Для опредѣленія зависимости между влажностью сопротивленіемъ скалыванію было сдѣлано 22 опыта. Опыты производились описаннымъ выше способомъ, площадь скалыванія отъ 6,5—до 8,0 ст.²

Табл. 7-я.

Прог. воды.	12,4	14,3	15,3	15,5	16,5	17,0	17,5	19,0	19,1	19,2	23,5	23,8	26,5	27,0	28,9	30,9	32,8	34,0	37,3	39,8	44,5	48,5
Скалывающ. усиліе въ ст. кгр.	72,1	70,0	71,5	63,0	60,5	62,5	58,0	59,5	58,1	53,5	50,6	44,5	42,5	38,6	37,4	33,5	37,0	34,0	27,4	37,0	24,6	22,1

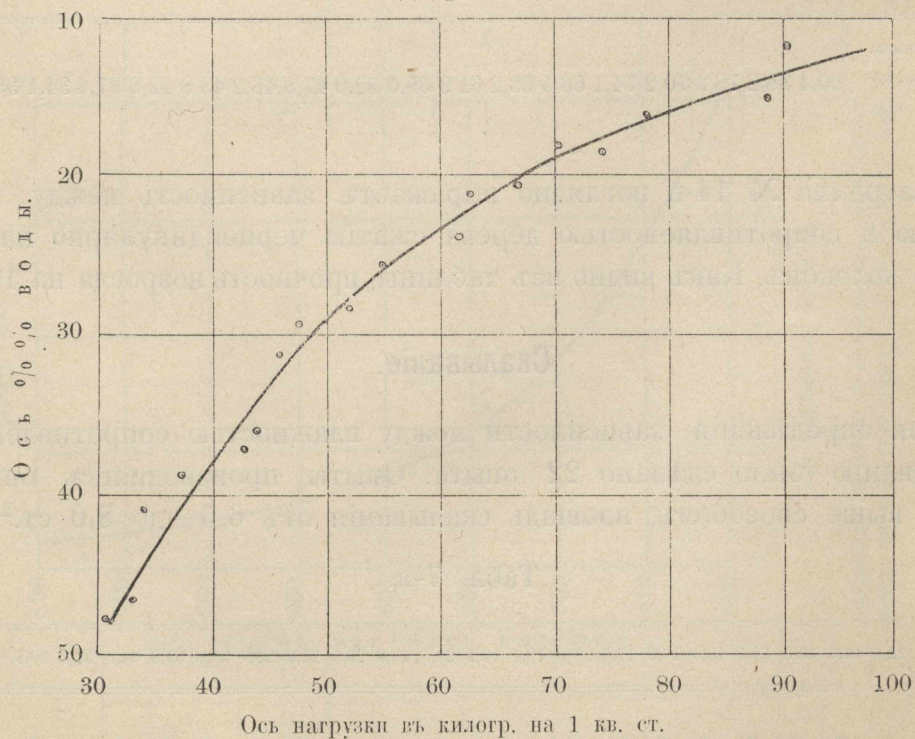
СЖАТІЕ.

Діагр. 13.



Діаграмма № 13-й, показывающая зависимость между влажностью и разрушающей нагрузкой вдоль волоконъ.

Діагр. 14.



Діаграмма № 14, показывающая зависимость между влажностью и сжатіемъ перпенд. направленію волоконъ.

Такимъ образомъ, для скалыванія прочность повышается при пониженіи влажности болѣе, чѣмъ для иныхъ родовъ сопротивленія, и для данныхъ 22-хъ опытовъ повышение сопротивляемости достигаетъ 227⁰/₀.

По недостатку времени мнѣ не удалось произвести аналогичныхъ опытовъ на растяженіе, т. е. изслѣдованія прочности при растяженіи въ зависимости отъ влажности. Но надо полагать, что законъ измѣненія прочности будетъ тотъ же.

IV.

Изслѣдованія прочности въ зависимости отъ разстоянія оси ствола.

Экземпляръ сосны, испытанный для опредѣленія прочности въ зависимости отъ разстоянія отъ оси ствола былъ взятъ изъ провинціи Эскамбія, штатъ Георгія.

Дерево характеризуется данными:

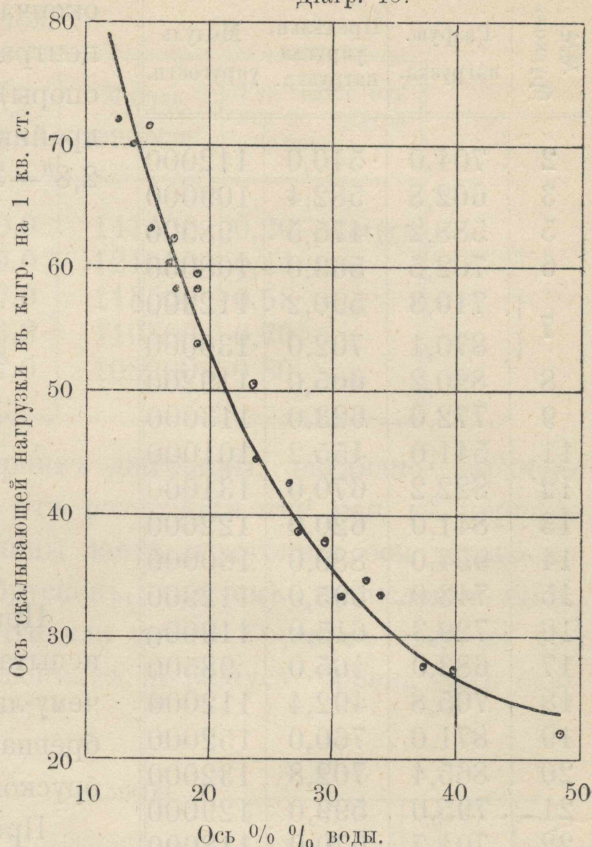
Возрастъ	198 лѣтъ.
Наибольшій діаметръ	30 ¹ / ₄ " (очищен. отъ коры)
Полная высота	120 футовъ
Высота до первыхъ вѣтвей	60 футовъ.

Для испытаній было вырѣзано два бревна по 12'8" длиною на высотѣ отъ 10' до 35'4" діаметромъ 29" и 27,5". Мнѣ удалось продѣлать испытаніе лишь перваго бревна и то только на сгибаніе, поэтому я и ограничусь таблицей сгибанія.

Для этихъ изслѣдованій бревно было распилено на 64 бруска размеромъ 64"×4"×4" и 64"×3,5"×3,5". Слѣдовательно, площадь сѣченія бревна давала 32 бруска, какъ показано на фигурѣ 8.

Послѣ просушки распиленныхъ брусковъ влажность ихъ колебалась между 14,5⁰/₀ и 17,5⁰/₀, чему соотвѣтствовалъ удѣльный вѣсъ отъ 0,58 до 0,66. И, наконецъ, послѣ обдѣлки на строгальной машинѣ

Діагр. 15.



Діаграмма № 15, показывающая зависимость между влажностью и скалывающимъ условіемъ.

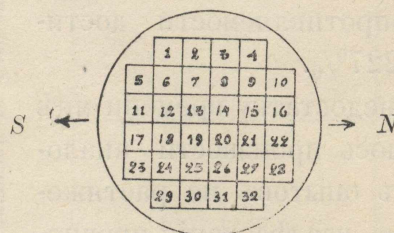
№№ брусковъ	Разруш. нагрузка.	Предѣльн. упругая нагрузка.	Модуль упругости.
2	704,0	540,0	112000
3	662,8	582,4	109000
5	588,2	475,5	98500
6	702,5	563,0	108000
7	710,3	590,2	112300
	870,1	702,0	130000
8	820,2	605,0	119200
9	772,0	623,0	113000
11	541,0	455,2	101000
12	822,2	670,0	131000
13	841,0	620,0	122600
14	954,0	880,0	160000
15	743,0	595,0	112900
16	729,3	615,0	119000
17	683,0	465,0	98500
18	705,8	492,4	112000
19	871,0	760,0	152000
20	865,4	702,8	132000
21	795,0	599,0	129000
22	704,7	570,0	118000
23	598,0	466,0	112800
24	790,0	632,0	125000
25	880,1	605,1	133000
26	751,0	625,0	118000
27	770,0	570,2	128000
28	702,0	591,5	106500
29	486,5	423,0	105400
	795,0	529,4	106600
30	772,0	591,0	119000
31	700,5	608,0	110500
32	699,4	620,0	124000

Табл. 8.

- 1) Для брусковъ №№ 13, 14, 19 и 20-й (центральные).
- 2) " " №№ 7, 8, 12, 15, 18, 21, 25, 26 й.
- 3) " " №№ 6, 9, 24, 27-й.
- 4) " " №№ 2, 3, 11, 16, 17, 22, 30, 31-й.
- 5) " " №№ (1, 4,) 5, (10), 23, 28, 29, 32-й.

Эти среднія ариѳметическія величины для разрушающей и упругой нагрузки, а также и для модуля упругости выражаются въ таблицѣ, приводимой ниже. (табл. 9).

окончательный размѣръ брусковъ былъ: центральныхъ — $l=60''$ (между точками опоры), $h=3,5''-3,7''$, $b=3,5''-3,7''$; крайнихъ — $l=60''$, $h=2,8''-3''$, $b=2,8''-3''$.



Фиг. 8.

Приводимая таблица 8-я даетъ 31 испытаніе, причемъ забракованный почему-либо брусокъ изъ первой части бревна замѣнялся соответственнымъ брускомъ изъ второй части.

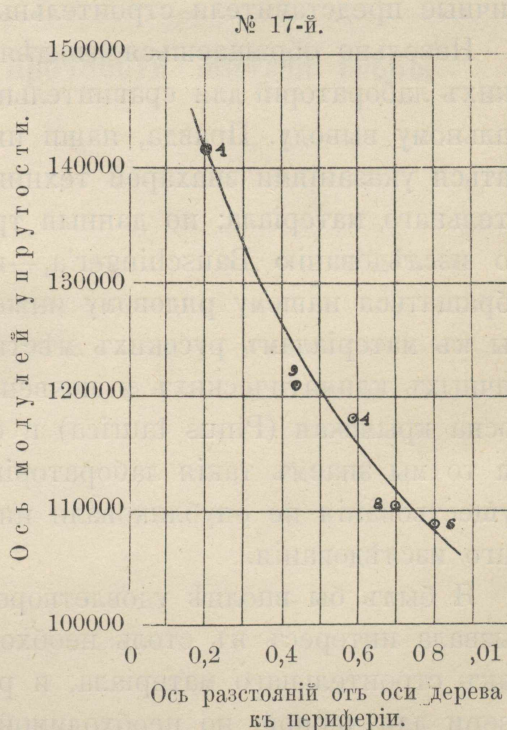
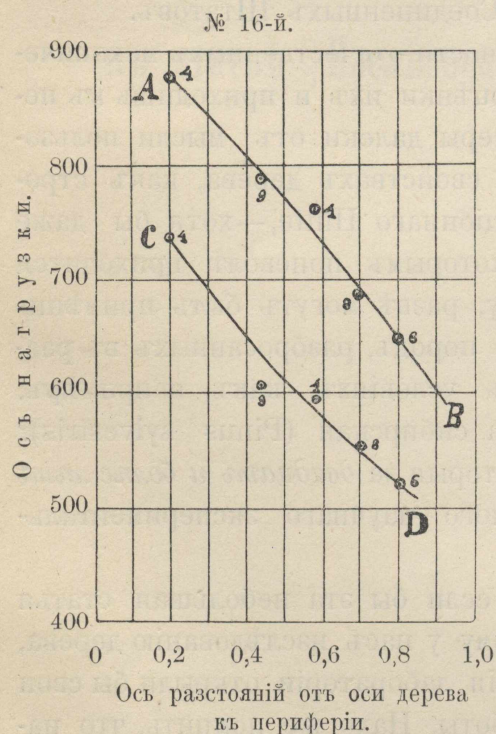
При заготовкѣ брусковъ обнаружилось, что №№ 1, 4 и 10-й не годились для испытаній (слишкомъ малый размѣръ площади поперечнаго сѣченія); для №№ 7 и 29 пришлось сдѣлать повторительныя испытанія въ виду сомнѣнія въ правильности отсчета.

При постройкѣ діаграммъ зависимости прочности отъ разстоянія бруска отъ оси ствола беремъ среднее ариѳметическое данныхъ:

Табл. 9.

	Разрушающ. нагрузка.	Предѣлн. упругая на- грузка.	Модуль упругости.	Разстояніе отъ оси до центра бруска.
1)	878,0	740,0	141400	0,20 радиуса
2)	788,0	609,0	121900	0,44 "
3)	758,0	597,0	118500	0,58 "
4)	687,0	553,0	110800	0,70 "
5)	644,0	517,0	108900	0,80 "

По даннымъ этой таблицы строимъ діаграммы, наглядно характеризующія зависимость прочности отъ разстоянія отъ оси къ периферіи ствола. Пятый столбецъ таблицы даетъ разстоянія оси дерева до осей соотвѣствующихъ группъ брусковъ, причемъ вычисления были произведены въ предположеніи, что для всѣхъ брусковъ стороны поперечнаго сѣченія ихъ равны 4 дюймамъ, а радиуса бревна какъ сказано ранѣе, 14,5 дюймовъ.



На № 16-мъ изображено двѣ діаграммы: АВ діаграмма для разрушающей нагрузки и CD — для предѣльной упругой. № 17-й даетъ діаграмму для модулей упругости. Цифры построенныхъ точекъ означаютъ число брусковъ, одинаково отстоящихъ отъ оси, давшихъ среднее арифметическое при окончательномъ подсчетѣ.

Такая рѣзкая разница данныхъ нагрузки и модулей (Табл. 9). даетъ намъ право сказать, что прочность дерева понижается по мѣрѣ удаленія брусковъ отъ оси къ периферіи ствола. Конечно, число сдѣланныхъ опытовъ не такъ велико, чтобы предлагать это въ обобщеніи. Но разъ мы знаемъ, что ядровыя части дерева плотнѣе заболонныхъ, то уже а priori можемъ утверждать, что центральныя части дерева прочнѣе заболонныхъ; а въ такомъ случаѣ предыдущіе опыты приобрятаютъ цѣнность аргумента въ пользу нашего априорнаго соображенія.

Этимъ, собственно говоря, и заканчивается мое изслѣдованіе прочности желтой сосны въ предѣлахъ намѣченной программы. Опыты, конечно, бѣдны количественно и мѣстами не захватываютъ всѣхъ видовъ сопротивленія (въ послѣднемъ отдѣлѣ). Но задача этой статьи—познакомить русскаго техника съ американскими методами изслѣдованій прочности дерева и той рациональной постановкой дѣла, какою вправѣ похвалиться Вашингтонская лабораторія. Эта лабораторія существуетъ лишь 12 лѣтъ, тѣмъ не менѣе ею обслѣдованы почти всѣ типичныя представители строительныхъ Соединенныхъ Штатовъ.

Невольно обращаешься къ дѣятельности отечественныхъ механическихъ лабораторій для сравнительной оцѣнки ихъ и приходишь къ печальному выводу. Правда, наши инженеры далеки отъ мысли пользоваться указаніями знахарей техники о свойствахъ дерева, какъ строительнаго матеріала; но данныя традиціоннаго Hütte,—хотя бы даже по изслѣдованію Bauschinger'a,—къ которымъ поневолѣ приходится обращаться нашему рядовому инженеру, развѣ могутъ быть примѣнимы къ матеріаламъ русскихъ мѣстныхъ породъ, разбросанныхъ въ различныхъ климатическихъ и почвенныхъ условіяхъ, какъ, на примѣръ, сосна крымская (*Pinus taurica*) и сосна сибирская (*Pinus sylvestris*)? За то мы знаемъ такія лабораторіи, которыя за *двадцать и болѣе лѣтъ* существованія не опубликовали ни одного научнаго экспериментальнаго изслѣдованія.

Я былъ бы вполнѣ удовлетворенъ, если бы эта небольшая статья вызвала интересъ къ столь необходимому у насъ изслѣдованію дерева, какъ строительнаго матеріала, и русскія лабораторіи открыли бы свои двери для черной, но необходимой работы. Надо же помнить, что наша страна самая богатая въ мірѣ лѣсными богатствами—ихъ 300 милліоновъ десятинъ!

П. А. Козьминъ.

ПРИЛОЖЕНІЯ

къ статьѣ „Исслѣдованіе прочности желтой сосны“.

ОПИСАНІЕ МАТЕРІАЛА.

Серія № 1-й.

Серія № 2-й.

Дерево, срубленное лабораторіей.

**Дерево, пріобрѣтенное на рынокѣ
или полученное для испытанія на
заказъ.**

- 1) Испытательная станція:..... Механическая лабораторія Том-
скаго Техн. Института.
- 2) Номеръ бруска: 62—А—I. Номеръ бруска по порядку испы-
танія въ лабораторіи — 540.
- 3) Рыночное имя:..... Желтая сосна, лиственница и проч.
- 4) Ботаническое имя:..... Pinus palustris, Pinus taeda.
- 5) Размеры бруска:.....
- 6) Пріобрѣтено въ..... (Точное мѣсто рубки или рынка).
- 7) Время рубки и распиловки:.....
- 8) Естественная или искусственная сушка (съ указаніемъ времени).
- 9) Рыночная сравнительная оцѣнка:
- 10) Недостатки бруска: *) Сторона *a* (число сучьевъ и трещинъ).
" *b* " " " "
" *c* " " " "
" *d* " " " "
- 11) Процентное количество заболони (по объему и приблизительно)
- 12) Скорость роста:
- 13) Фотографія испытуемаго бруска (Есть или нѣтъ. Если есть, то какія).
.....
- 14) Когда заполненъ бланкъ:
- 15) Примѣчанія:

..... Подпись производителя опыта:.....

*) Эскизъ бруска долженъ быть на обратной сторонѣ бланка. Для эскиза дѣлается (обыкно-
венно печатные чертежи) два квадрата для торцевыхъ сторонъ бруска, чтобы показать мѣсто
его вырѣза изъ бревна, и четыре прямоугольника во всю ширину бланка, на которыхъ показы-
ваютъ расположеніе и число сучьевъ.

ОПРЕДѢЛЕНІЕ ВЛАЖНОСТИ.

- 1) Испытательная станція: Когда испытанъ: марта 20-го 1905 г.
- 2) Диски, прилежащіе къ бруску № Породы дерева:
- 3) Отмѣтка на дискѣ: 62—В—1.
- 4) Характеръ испытанія: Изгибъ, растяженіе, и проч.
- 5) Когда выпізаны диски:
- 6) Когда доставлены въ лабораторію
- 7) Когда произведено опредѣленіе влажности:

ЭСКИЗЪ ДИСКА *)

Отмѣтка или № диска.	Толщина диска.	Вѣсъ диска		°/о жидкихъ тѣхъ.	
		Свѣже-сруб.	Сухого.	Вода.	Смола или масло.
62—В—1	1"—6"	125 kg.	64 kg.	43,5°/о	
				39,9	
				39,2	
				42,6	
				44,1	
				38,9	
				40,8	
				45,2	

7) Средній выводъ процента влажности

9) Примѣчанія:

Подпись производителя опыта:

*) На эскизѣ показывается мѣсто и разстояніе отъ центра испытанныхъ частей диска.

ИСПЫТАНІЕ НА ИЗГИБЪ.

Испытательная станція	Когда испытанъ:
Номеръ бруска: Порода:	Лабораторный № испытанія:
Размѣръ бруска: Полный вѣсъ:	Влажность въ %/0:
Размѣры бруска между точками опоры (пролѣтъ — l)	Удельный вѣсъ:
Машина: — (фирма или конструкція и сила	Скорость машины въ минуту:

РАСПОЛОЖЕНИЕ ВЪ
МАШИНѢ *).

(Эскизъ)

Здѣсь отъ руки изображены торцевыя части бруска съ обозначеніемъ расположенія и числа голицыныхъ слоевъ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНІЯ.

Предельная упругая нагрузка:		килогр.	на 1 кв. ст.
Разрушающая нагрузка:		килогр.	на 1 кв. ст.
Скалывающія усилия:		килогр.	на 1 кв. ст.
Модуль упругости:		килогр.	на 1 кв. ст.
Полная работа нагрузки:		килогр.-метровъ.	
Работа нагрузки до предѣла упругости:		килогр.-метровъ.	
Работа на кубич. сантиметръ или деци- метр (дюймъ) бруса.	{	Упругой нагрузки:	килогр. метр.
	{	Предѣльной нагрузки:	килогр. метр.

[illegible]

*) Эскиз излома изображается на обратной стороне бланка, где для этого отпечатано четыре прямоугольника во всю ширину страницы. Там же производятся подсчеты нагрузок, модуля и проч.

Производитель опыта

Завѣдующій лабораторіей

ИСПЫТАНИЕ НА СЖАТИЕ.

Сжатіе вдоль или поперекъ волоконъ.

Испытательная станція:.....

Когда испытанъ:

Брусокъ №.....

Порода:.....

Отмѣтка на испытующемъ брускѣ:

Лабораторный № испытанія:

Высота:.....Площадь поперечнаго сѣченія:.....

Вѣсъ:..... Влажность:

Машина:

Скорость машины

ЭСКИЗЪ.

Изображают торцевые
стороны бруска.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНІЯ.

Предельная упругая нагрузка:..... кил. на 1 кв. ст.

Разрушающая нагрузка: кил. на 1 кв. ст.

Модуль упругости; кил. на 1 кв. ст.

УДЕЛЬНЫЙ вѣсь

Продолжительность опыта.	Нагрузка.	Отсчитывание.	Величина сжатія.	Замѣчанія.

ЭСКИЗЪ БРУСКА ПОСЛѢ ОПЫТА.

Здѣсь изображены всѣ четыре боковыя стороны съ эффектами разрушенія.

Производитель опыта

Завѣдующій лабораторіей.....

ИСПЫТАНИЕ НА СКАЛЫВАНИЕ.

Испытательная станція	Когда произведенъ опытъ:
Изъ бруска №	Порода:
Отмѣтка на испытуемомъ брускѣ	Лабораторный № испытанія
Площадь скалыванія:	Вѣсъ бруска: Влажность
Число годовичныхъ колецъ на дюймъ:	Машина:

ЭСКИЗЪ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНІЯ.

Скальваюче	{	радіального скальвання	кил. на 1 кв. ст.
усиліє для		тангентального скальвання:	кил. на 1 кв. ст.

Продолжительность опыта.	Нагрузка.	Замѣчанія.

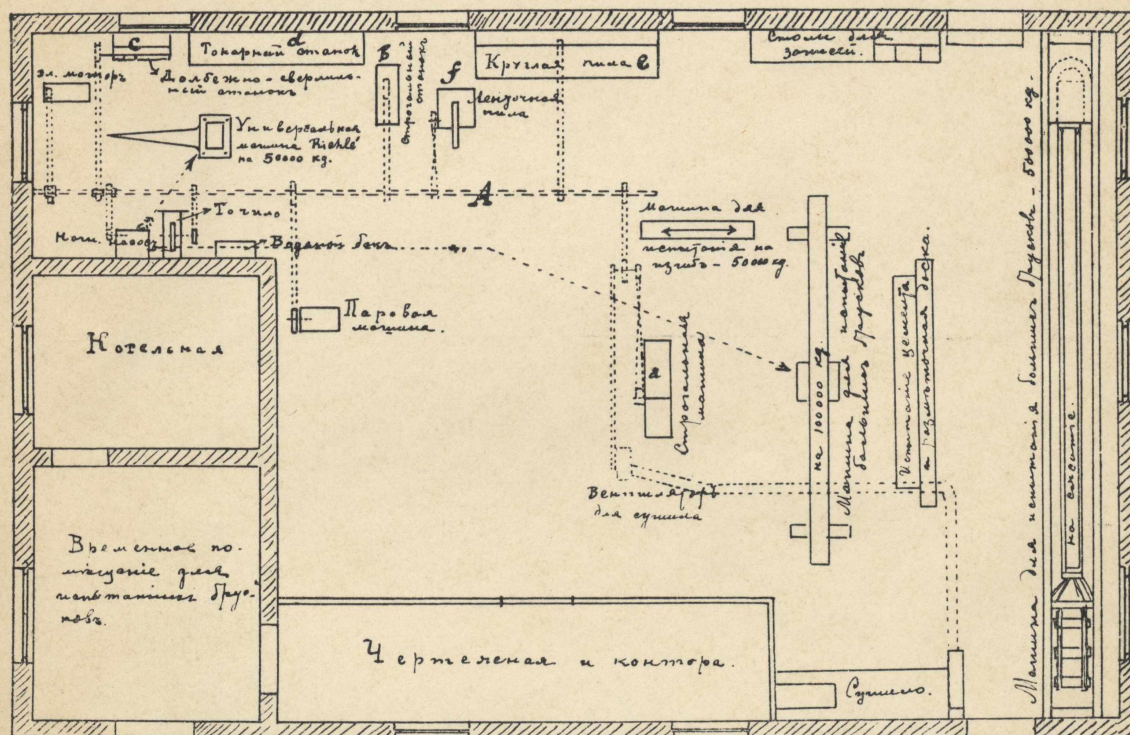
ЭСКИЗЪ БРУСКА ПОСЛѢ ОПЫТА.

Производитель опыта:.....

Завѣдующій лабораторіей:

Механическая лабораторія

при Вашингтонскомъ университетѣ въ St. Louis, Mo.



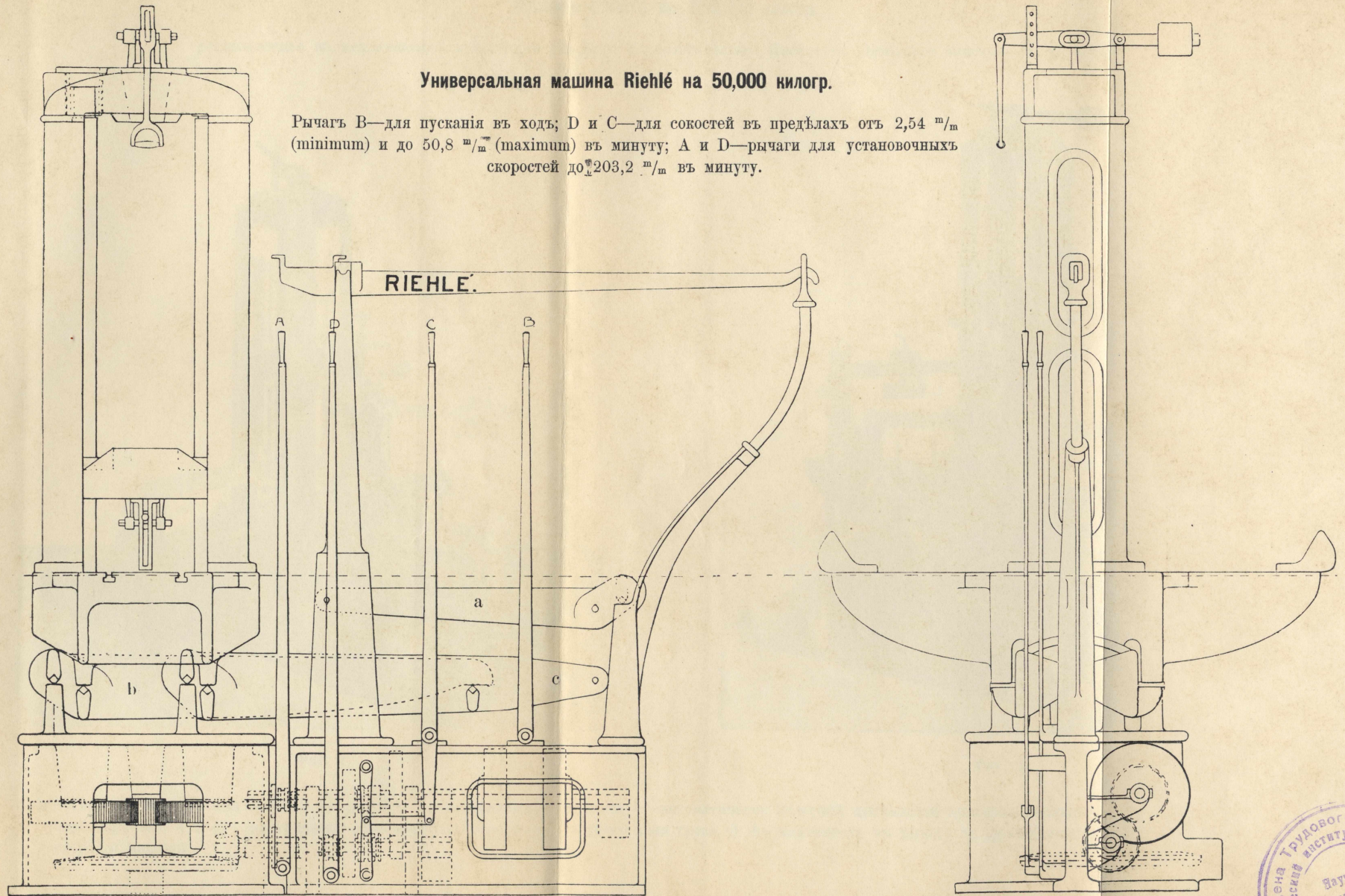
Площадь лабораторіи:—71'×46'. Машины для обработки брусковъ, заготовляемыхъ для испытанія, получаютъ движеніе отъ паровой машины и электромотора при посредствѣ главнаго вала А. Изъ деревообдѣлочныхъ машинъ въ лабораторіи имѣются:—2 строгальныхъ станка (а—строганіе съ четырехъ сторонъ, b—однобарабанный), с—долбежно-сверлильный станокъ, d—токарный, e—круглая пила, f—ленточная пила.

Машины для испытаній:—универсальная машина Riehlé на 50,000 kg.; машина для сгибанія малыхъ брусковъ на 50,000 kg.; машина для сгибанія большихъ брусковъ на 100,000 kg.; машина для испытанія цемента; машина для испытанія большихъ брусковъ на сжатіе.

Кромѣ того, въ лабораторіи помѣщается сушило, работающее отработаннымъ паромъ.

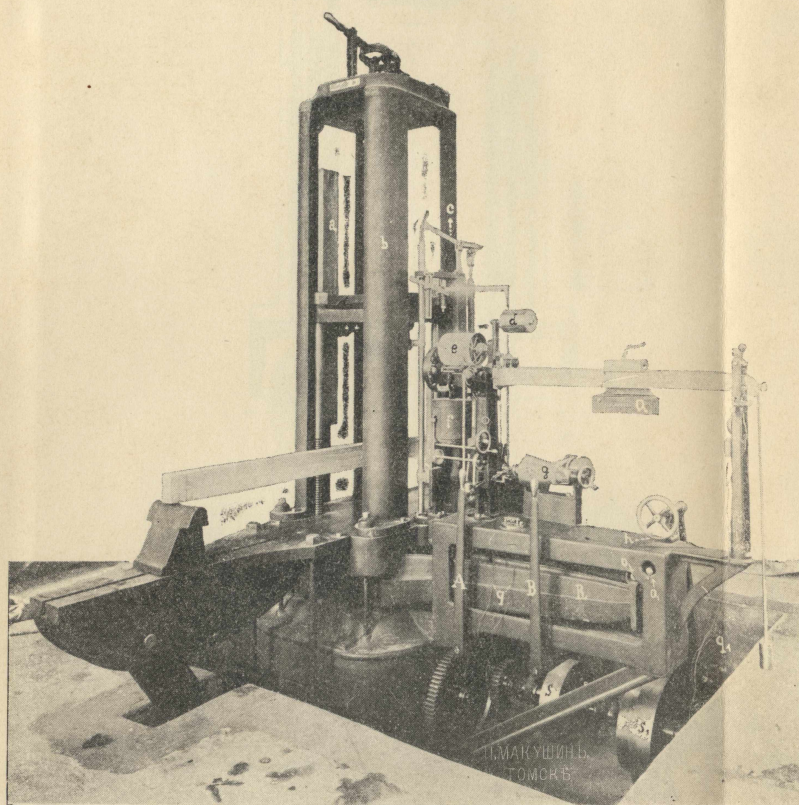
Универсальная машина Riehle на 50,000 килогр.

Рычаг В—для пуска в ходъ; D и C—для сокоств в предѣлахъ отъ 2,54 $\frac{m}{m}$ (minimum) и до 50,8 $\frac{m}{m}$ (maximum) вь минуту; A и D—рычаги для установочныхъ скоростей до 203,2 $\frac{m}{m}$ вь минуту.

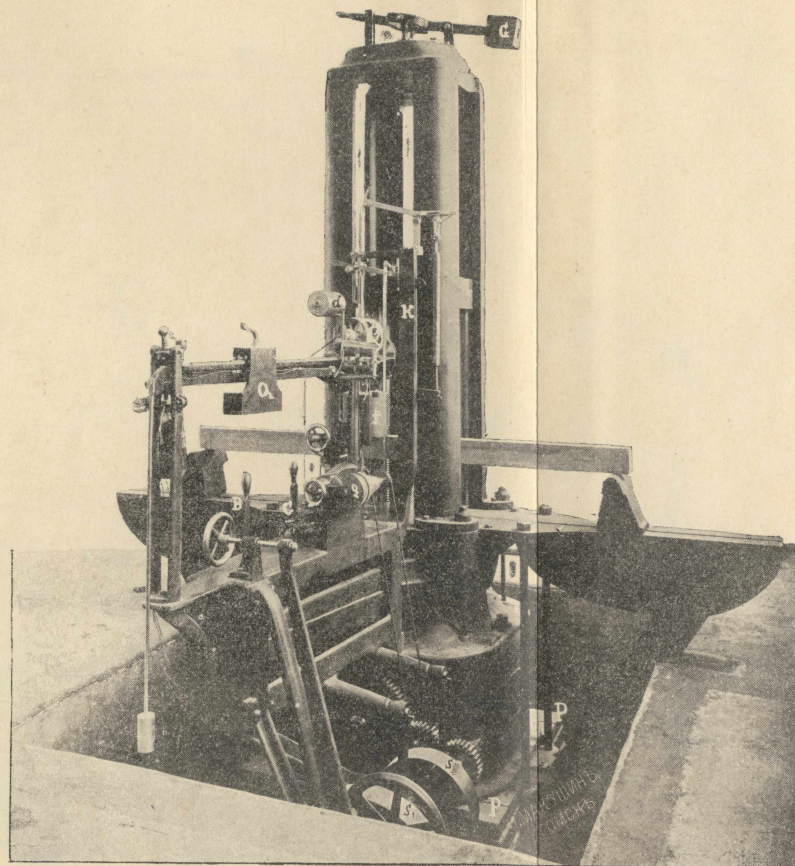


Машина Olsen'a на 100,000 килогр.,

установленная въ механической лабораторіи Томскаго Технологическаго Института. Детальное описаніе см. по чертежу.



Фиг. 1.



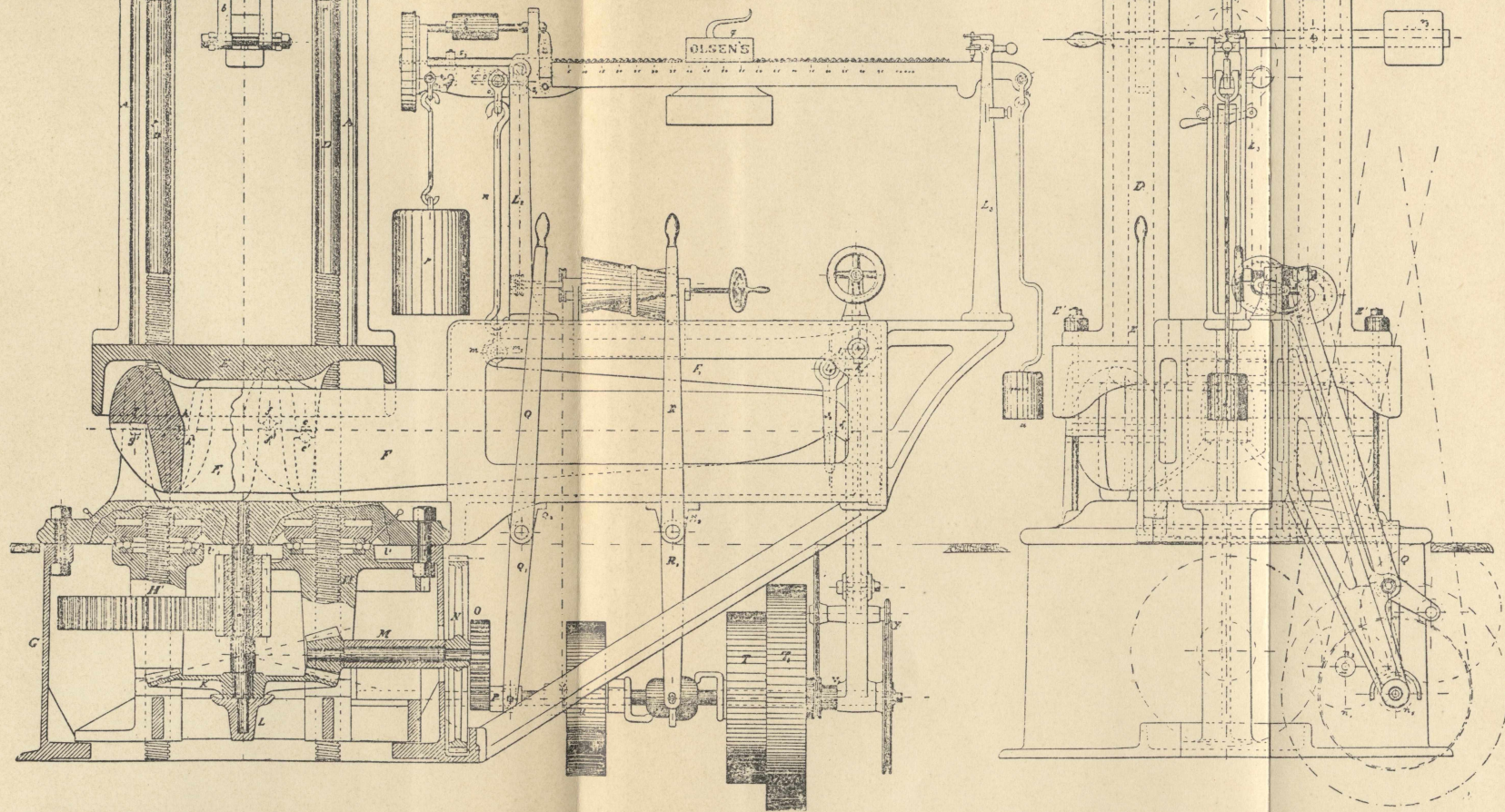
Фиг. 2.

b—основныя колонны для опытовъ на разрывъ; a—направляющая колонка; e—автоматически пишущій діаграмный приборъ; c—приборъ для вращенія діаграмнаго барабана; q и q₁—электрическіе контакты для передняго и задняго хода груза Q; h—маховичекъ къ рычагу съ фрикціонной передачей для измѣненія скорости машины.



Испытательная машина Olsen'a на 100,000 килогр.

Вашингтонской лаборатории и механич. лаборатории Томского Технологического Института.



Е—платформа, передающая давление на рычаги F, F₁ и F₂;
 F₁ и F₂—крайние рычаги.
 h и h₁—призмы платформы для рычагов F₁ и F.
 e и e₁—призмы платформы для среднего рычага F₂.
 g и g₁—призмы рычагов F₁ и F, опирающиеся на раму машины.
 f и f₁—призмы среднего рычага F₂, опирающиеся на раму машины.
 Концы рычагов F, F₁ и F₂ опираются на призму δ.
 Плечи рычагов: gh = 114,5 м/м; gδ = 1834,5 м/м—для крайних рычагов.
 fe = 92 м/м; fδ = 1477 м/м—для среднего роста.
 F₃—второй рычаг, опирающийся на призму k; F₃ соединен с рычагами F, F₁ и F₂ с помощью скобы l₃, опирающейся на призмы l₂ и δ. Рычаг F₃ с призмой m соединен посредством скобы и тяги n с вѣсовым рычагом. Плечи рычага F₃—kl = 77 м/м, km = 955 м/м.

На вѣсовом рычагѣ имѣется:—
 Грузъ q, получающій автоматическое передвиженіе при помощи вращения винта, на которомъ грузъ насаженъ съ помощью гайки. Скорость движенія груза регулируется коническими муфтами.
 Грузъ r—для уравниванія вѣсового рычага.
 Грузъ d—для уравниванія испытываемого бруска и установки общаго равновѣсія машины.
 Рычагъ R служитъ для пуска машины на передній и задній ходъ; рычагъ Q—для измѣненія скоростей; T и T₁ шкивы для приѣма съ трансмиссіи; шкивъ U служитъ для обратнаго хода машины.
 Размѣры плечъ рычаговъ сняты при установкѣ машины въ механической лабораторіи Томскаго технологическаго института. Другія детали см. по фотографическому снимку съ той же машины, приспособленной также и на изгибъ.

