

Инж. К. Н. КАРТАШЕВ

ИСПЫТАНИЕ ГВОЗДЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ



Томск
1929

Испытание гвоздевых соединений.

I. Разновидности стержневых соединений.

При возведении деревянных конструкций как временного, так и постоянного характера, нередко приходится применять в виде соединительного средства гвозди, что особенно часто может встретиться там, где требуется быстрая постройка сооружения при отсутствии достаточно высококвалифицированной рабочей силы и при невозможности получения в готовом виде или изготовления на месте работ различных новейших соединений, как-то: колец, различных вкладышей, прокладок и т. п.

Рассматривая в целом группу металлических соединений для деревянных конструкций, в работе которых преобладающее значение имеет место работа на изгиб, мы видим, что она распадается на три основных вида: гвоздь, болт и штифт (рис. 1: а, б, в).

Болт представляет из себя круглый стержень толщиной от 12 до 35—40 мм., снабженный головкой на одном и нарезкой с гайкой — на другом конце, которые и удерживают его в гнезде. Обычно болтовое отверстие, высверливаемое предварительно в соединяемых элементах, в целях облегчения сборки конструкции делается на 1—2 мм. больше диаметра помещаемого в него болта. Поэтому в случае действия внешних сил, прежде чем болт начнет работать на смятие и изгиб, после преодоления незначительных сил трения, вызванных начальным натяжением соединения, произойдет незначительная сдвигка элементов друг относительно друга (рис. 2). При усилиях переменного знака это явление проявляется в еще большей степени при каждом изменении направления действия силы. Изучению соединений этого типа посвящено довольно много исследований, а поэтому мы останавливаться на нем более подробно не будем¹⁾.

Штифт обычно изготавливается в виде цилиндрического стрежня без шляпки и острия из лучших сортов стали с временным сопротивлением достигающим до 10000 кг/кв. см.

При постановке его на место предварительно просверливается отверстие с диаметром на 1—1½ мм. меньше диаметра штифта, который затем вгоняется на место при помощи ударов, для чего довольно часто приспособляются пневматические молотки. Благодаря такому методу производства работ, как показал опыт, штифт сидит туго в своем гнезде в то же время не производя раскалывания дерева и поперечного смятия его волокон и удерживаясь на месте благодаря развивающимся на его поверхности силам трения. Насколько эти силы велики можно видеть хотя бы из следующего примера: при осмотре, через 8 лет эксплуатации, деревянных конструкций паровозного

¹⁾ И. Ф. Иванов, „Деревянные конструкции гражданских зданий“.

Инж. К. Н. Карташов, „Графики для проектирования болтовых соединений в деревянных конструкциях“—Вестник Общества Сибирских Инженеров, 1927 г., № 11—12. Gesteschi „Der Holzbau“.

Schmidtman „Beitrag zur Ermittlung von Fundamentpressungen“.

здания в Корнвестгейме в Германии, построенного по способу фирмы Мельтцер и перекрывающего полезную площадь в 1100 кв. мт. при свободном пролете среднего зала равном 24 метрам, оказалось, что благодаря усыханию леса между отдельными досками составных сечений ферм появились зазоры, в целях уничтожения которых была предпринята подтяжка конструктивных болтов, ставящихся в небольшом расстоянии друг от друга, но, под влиянием усушки и тугой постановки при сборке, штифты оказались настолько сильно зажаты в своих гнездах, что эта мера не привела к желаемым результатам.

Одним из главных достоинств соединений этого типа являются чрезвычайно малые размеры деформаций узлов во время их работы, что вызывается тугой постановкой штифтов и большой жесткостью материала, применяемого для их изготовления. Одновременно они дают незначительное ослабление поперечного сечения соединяемых элементов дырами небольшого диаметра, что влечет за собой общую легкость сооружения и хорошее использование лесного материала (рис. 3).

Нормально диаметр штифтов принимается (фирмы: Meltzer — Darmstadt и Theodor Birkmann — Nürnberg) от 8 до 15 мм. Одновременно необходимо сказать, что возведение сооружений такого вида, сопровождающееся постановкой колоссального количества отдельных штифтов, требует от рабочего большой аккуратности и внимательности и в то же время необходимая доброкачественность сооружения может быть получена лишь при механизации сверления дыр, а отчасти и заколачивания штифтов. Ввиду всего этого трудно рассчитывать на скорое распространение этого способа выполнения деревянных конструкций в наших условиях.

Переходя далее к рассмотрению гвоздевого соединения, мы видим, что оно отличается от описанных выше, главным образом, тем, что в этом случае для металлического стержня предварительно не высверливается отверстие, а он вгоняется в дерево помощью ударов по его снабженному шляпкой концу.

Для облегчения процесса забивки, гвоздь имеет на переднем конце острие, чем отчасти уменьшается нарушение строения волокон дерева. Гвоздь поставленный на место и сидящий в дереве со значительным трением все же вызывает при забивке ряд нежелательных явлений: разрыв волокон, надкалывание в продольном и смятие в поперечном направлении. Кроме того гвозди обычно изготавливаются из мягкого железа, что, естественно, уменьшает их грузоподъемность по сравнению со стальными штифтами.

Несмотря на все эти качества, уменьшающие достоинства гвоздевого соединения, оно имеет и определенные довольно значительные преимущества, ставящие его в некоторых случаях выше других — это быстрота, простота и общедоступность его изготовления, а также и сравнительно невысокая стоимость.

II. Гвоздевое соединение и примеры его применения.

Гвозди бывают кузнечные — кованые и проволочные или машинные (рис. 4). Первые имеют пирамидальную форму с острыми ребрами, способствующими развитию на их поверхности больших сил трения, чем у проволочных гвоздей, но в то же время, ввиду их ручного изготовления, они недостаточно однородны как по своим размерам, так и по материалу и сравнительно дороже чем вторые.

Машинные гвозди имеют стержень с постоянным по всей длине круглым или квадратным поперечным сечением и снабжены шляпкой на одном и острием на другом конце. Ввиду их правильной геометрической формы и более постоянных механических свойств, применение их удобнее как с конструктивной, так и с расчетной стороны, благодаря чему они и получили значительно большее распространение, чем первые.

При возведении различных сооружений с помощью гвоздей могут быть выполнены как конструкции со сплошным поперечным сечением, так и решетчатые. Из первых укажем на двутавровые деревянные балки (рис. 5) образованные из поставленной на ребро доски с нашитыми по краю четырьмя квадратными брусками или квадрантами, полученными продольным распиливанием круглого леса¹⁾. Высота таких балок при брусках колеблется от 18 до 24 см., и при квадрантах от 20 до 34 см. (около 8 верш.). В данном случае наибольшая возможная высота балки определяется наличием досок соответствующей ширины. Прикрепление брусков производится помощью гвоздей или нагелей. При испытании модели такой балки она работала как одно сплошное сечение, при чем разрушение произошло от продольных напряжений, достигших 577 кг./кв. см. Напряжение смятие гвоздя, вычисленное в предположении равномерного распределения его по всей длине стержня, достигло 234 кг./кв. см., что, как мы увидим в дальнейшем, согласуется и с нашими опытами (табл. I и II). Измерение прогибов во время испытания показало, что в пределах пропорциональности они вполне соответствовали расчетным.

Применяя балки этого типа в междуэтажных и чердачных перекрытиях жилых домов, можно перекрывать пролеты до 12 мт.

Следующим образцом двутавровой балки может служить система «Leichtholz» (Wilhelm Rallenbach — Gotha), образованная из трех брусков, соединенных между собой гвоздями и клеем (рис. 6). Применение в этом случае клея объясняется тем, что, при этом типе образования полук двутаврового сечения, в плоскости стыка развиваются напряжения скалывания значительно более высокие, чем в предыдущем случае, благодаря чему одни гвозди уже не в состоянии воспринять на себя всей скалывающей силы. В месте соприкосновения соединяемых досок, по части их длины, при помощи дисковой пилы, делаются пропилы, помеченные на чертеже буквами C_1 и C_{11} . Эти пропилы при склеивании заполняются клеем, образующим род гребня прочно спаянного с деревом. Прежде чем клей окончательно затвердеет, балка сколачивается гвоздями длиной не менее 15 см. и не тоньше 0,5 см. Для уменьшения возможности раскола доски, гвоздям в поперечном направлении поочередно придается наклон в разные стороны. Для еще большего увеличения прочности сопряжения, гвоздям дают некоторый наклон и в продольном направлении.

При переходе к балкам большей высоты, для которых уже не удастся подобрать цельной доски для выполнения вертикальной стенки двутаврового сечения, приходится переходить к типу, показанному на рис. 7. Здесь вертикальная стенка образована двумя перекрещивающимися настилами, наклоненными к средней оси конструкции под углом 40—45°.

В передаче нормальных напряжений изгиба в этой конструкции принимают участие только поясные бруски, так как под влиянием

¹⁾ Работнов. „Двутавровые деревянные балки“—Вестник Инженеров, 1925 г., № 10.

усыхания дерева, особенно сильно сказывающегося поперек волокон, между отдельными досками настила стенки появляются зазоры. Таким образом, в этом случае стенка служит лишь для восприятия поперечных сил. По точно такому способу зачастую выполняются крупные арочные и рамные конструкции, примером чего может служить сооружение ангара в Варнемюнде, возведенное фирмой Karl Tuschcherer и представляющее из себя арочную систему с свободным пролетом 55 мт. (рис. 8).

Заметим, что при расчете таких сооружений, для восприятия скалывающих напряжений, появляющихся в плоскостях сопряжения стенки и полка, за границей принимается, что, при постановке на каждые 50 кв. см. соприкасающихся поверхностей одного гвоздя, может быть воспринято напряжение, равное 2 кгр/кв. см. При помощи гвоздей выполняются также и деревянные арки по общеизвестным системам Де Лорма и Эми (рис. 9 и 9а).

Арки Де Лорма выполняются из нескольких поставленных рядом вертикальных косяков, опиленных по кривой с одной или с обеих сторон и соединенных между собой гвоздями и нагелями. Наиболее часто применяются гвозди для выполнения арок Эми, прямоугольное или двутавровое сечение которых делается из отдельных тонких досок изогнутых в направлении своей наименьшей высоты в целях уменьшения начальных напряжений. Для того, чтобы из отдельных досок получить цельное сечение, по мере накладывания их друг на друга они пришиваются к предыдущим гвоздями. За границей часто вместо гвоздей применяются специальные шурупы.

Из решетчатых конструкций укажем на систему Tuschcherer (рис. 10, 11, 12 и 12а) и Noack (рис. 13 и 14).

В обоих случаях очертание верхнего пояса приближается к параболическому. В фермах выполнявшихся фирмой Тухшерер сжатый пояс осуществлялся или из двух слоев прямолинейных досок стыкаемых через узел в разбежку (рис. 10) или же из гнутых досок, часть которых гнута плашмя, а часть досок, имеющих незначительную ширину, изогнута в вертикальном положении (рис. 11 и 12). Второй прием хотя и создает ряд неудобств и затруднений с точки зрения производства работ, но зато уменьшает до предела количество стыков. Прикрепление к поясам решетки производится через посредство деревянных фасонных узловых листов выполненных из клееной (в 12 слоев) под большим давлением фанеры и прибитых к поясным доскам при помощи гвоздей. Элементы решетки к узловому листу прикрепляются посредством толстого металлического стержня. Недостатком этого типа узла является то, что здесь не достигается правильного пересечения геометрических осей всех стержней в одной точке, а кроме того решетка несимметрична относительно продольной оси фермы, благодаря этому в поясе появляются дополнительные напряжения как от изгиба, так и от кручения. Эти вредные влияния почти полностью устраняются выбором параболического очертания верхнего пояса, благодаря чему при действии постоянной и полной временной нагрузки решетка совершенно не напряжена и в ней появляются лишь при односторонней нагрузке незначительные усилия.

Фирма Ноак выполняет верхний параболический пояс по комбинированной системе Эми и Де Лорма, а именно составляя его из двух рядов вертикальных косяков, между которыми расположены доски гнутые плашмя. Это дает возможность, при сравнительно простом про-

изготовлении работ, получить сжатый пояс достаточно жесткого сечения и в то же время с небольшим количеством стыков. В этих фермах как сами пояса, так и прикрепление к ним решетки, выполняются при помощи гвоздей.

Применение гвоздей встречается также и при устройстве сжатых элементов решетчатой конструкции, если они образованы из тонких досок, отстоящих друг от друга на таком расстоянии, что нет возможности поставить между ними прокладок обычного вида. В таком случае доски соединяются между собой в одно целое трубчатое сечение при помощи деревянной дощатой решетки, прикрепленной к ним при помощи гвоздей (рис. 15).

Мы думаем, что приведенных примеров вполне достаточно, чтобы показать жизненность и важность гвоздевых соединений при возведении как временных, так и постоянных несущих деревянных конструкций.

III. Общее описание исследования.

В предпринятых автором опытах имелось в виду изучение свойства гвоздевых соединений. Сперва было предположено испытать ряд образцов с гвоздями различной длины и диаметра при разной толщине применяемых для изготовления образцов досок, но затем после предварительных опытов оказалось, что намеченная программа чрезвычайно широка, требует очень большого времени для своего выполнения, а кроме того в отдельных частных случаях в ней появляется некоторый параллелизм. На основании всего этого было решено остановиться более подробно на изучении свойств одного какого либо размера соединения, выявивши влияние на его прочность различных факторов, как например: загиб концов гвоздей навстречу и по направлению действующей силы, предварительного рассверливания отверстий, простружки соприкасающихся поверхностей и пр., что дало бы возможность при необходимости применения конструкции с другими сечениями производить лишь небольшое количество опытов, восстанавливая дальнейшую картину по аналогии с найденным для основной группы образцов.

Независимо от чисто теоретического интереса проводимой работы, размеры образцов были приняты такие, чтобы полученные результаты могли бы быть использованы практикой непосредственно, а именно, были взяты сосновые доски около 25 мм. толщиной и круглые, проволочные, рыночные гвозди длиной 125 мм. (5 дюймов) с диаметром 4, 06 мм. и 4,53 мм. и длиной 100 мм. при диаметре 4,03 мм.

Таким образом была принята конструкция, могущая наиболее часто встретиться в деревянном строительстве, как при образовании арок Эми и Де Лорма, так и при устройстве сплошного поперечного двутаврового сечения со стенкой из перекрещивающихся настилов и пр.

Сперва было проведено испытание 34 продольных и 14 поперечных образцов, но потом, когда появилось сомнение в правильности некоторых полученных результатов, была изготовлена вторая группа образцов, состоящая из 15 продольных и 15 поперечных. Кроме этого было сделано около 250 опытов по определению прочности леса на сжатие и необходимое количество опытов по определению влажности примененного материала.

Первый тип образцов, так называемых «продольных» (рис. 16), состоял из трех отдельных досок размером 29×10 см. сколоченных при помощи пяти гвоздей, концы которых оставлялись незагнутыми, загнутыми вверх или загнутыми вниз, кроме того, у части образцов гвозди помещались в предварительно рассверленные отверстия, а у некоторых, кроме того, еще прострутивались соприкасающиеся поверхности. При испытании такого образца средняя доска продвигалась между крайними, при чем во всех досках материал получал напряжение, действующее вдоль волокон.

В «поперечных» образцах между двумя досками 30×10 см. расположенными также, как и у предыдущих образцов, была помещена доска с перпендикулярным направлением волокон (рис. 17) размером 24×20 см. У этих образцов сперва было предположено, на основании подсчета предполагаемой разрушающей силы, из условия работы средней доски поперек волокон, передавать на среднюю доску давление по двум боковым площадкам длиной 7 см. каждая, но первый же образец показал ошибочность этого подсчета, сила превзошла усилие, являвшееся разрушающим для аналогичного продольного образца, после чего последовало разрушение, но не от преодоления прочности гвоздевого соединения, а от сильного смятия (до 1,5 см.) средней доски по площади давления и выпучивания ее в сторону под влиянием явления продольного изгиба (рис. 18). Оба вида деформаций достигли столь большой величины и так быстро продолжали возрастать, что опыт пришлось прервать и отбросить образец как совершенно испорченный.

При испытании следующих, изготовленных ранее неудачного испытания первого из них, пришлось искусственно увеличить площадь давления при помощи устройства по всей длине средней доски подкладки из квадратного железного стержня сечения 22×22 мм. При изготовлении второй группы образцов длина средней доски была увеличена до 35 см., что в связи с сохранением металлической подкладки совершенно исключило возможность появления нежелательных явлений, описанных выше.

Испытание образцов производилось на большой, рычажной пятидесятитонной машине Ольсен¹⁾ с автоматическим регулированием нагрузки и самопишущим прибором для записывания диаграмм. На этой машине есть возможность в пределах от нуля до пяти тонн определять нагрузку с точностью до 0,1 кг., что было в данном случае более чем достаточно.

Кроме записывания диаграмм, в пределах приблизительно до 1,0—1,3 мм. перемещение средней доски относительно крайних измерялось в четырех точках помощью приборов Кеннеди¹⁾ с точностью до $\frac{1}{300}$ мм., способ установки которых на образцы ясен из рисунков 19, 20, 21, откуда видно и расположение точек, в которых производились измерения. После того, как перемещения достигали указанной величины, приборы снимались ввиду того, что стрелка выходила за пределы сектора и дальше, вплоть до момента полного разрушения образца, производилась лишь запись диаграммы в масштабе вполне доста-

¹⁾ Описание машины Ольсена и приборов Кеннеди см. книгу проф. Н. Н. Митинского „Сопротивление материалов“ стр. 227 и 251.

точном для ее чтения (рис. 22—23)¹⁾, а именно с масштабом деформаций 1 мм. деформации = 4 мм. и масштабом сил 1000 кг. = 25 мм.

При испытании первых пяти образцов нагрузка увеличивалась от нуля до максимума с интервалами через 100 кг. (в приведенных ниже таблицах ради экономии места интервалы взяты почти везде через 200 кг.) при последующих же образцах после каждого измерения деформации образец разгружался и измерялась остаточная деформация, что в некоторых случаях дало довольно характерные явления, о чем будет сообщено ниже.

Заметим, что, при измерении деформаций у продольных образцов, можно считать, что место их измерения не отзывается на результаты ввиду незначительности действующих в поперечном сечении элементов сжимающих напряжений (не выше 90—100 кг/кв. см. для средней доски) и большого модуля упругости первого рода для дерева вдоль волокон. Совершенно иная картина получается в образцах с поперечной средней доской, на которую передается усилие (рис. 20) по линии *аа*. При таком способе передачи давления перемещение в точке *с* будет значительно больше, чем в точке *с'*, так как в первой из них оно будет обуславливаться не только работой самого соединения, как это имеет место в точке *с'*, но и деформациями, вызванными напряжением сжатия поперек волокон, которое не редко превосходило допустимые величины (в некоторых образцах напряжение доходило до 55 кг/кв. см.).

На основании этого, так как в практике нормально деформации вызываются в таких конструкциях, главным образом, лишь работой самого соединения, измерение таковых производилось в точках *с'*, что ясно видно из чертежей, показывающих установку приборов.

При изготовлении образцов были применены сосновые прямо-слоистые доски с влажностью от 12 до 15% и прочностью кубиков на сжатие от 424 до 570 кг/кв. см. и лишь в одном случае только 312 кг/кв. см. Первоначально были произведены испытания леса на сжатие для каждой из примененных для изготовления образцов досок, но затем было обнаружено, что некоторые из них обладают сильно отличающейся прочностью в своей вершинной и комлевой частях, поэтому для всех испытанных образцов, из неразрушенной части, были дополнительно выпилены кубики и подвергнуты испытанию на сжатие, а при дальнейшем изготовлении образцов доски резались по определенной системе так, чтобы через каждые 100—120 см., необходимые на изготовление двух образцов, была произведена проба на сжатие. Это все дало возможность для каждой группы образцов точно установить соответствующую им прочность леса. Испытание кубиков производилось на прессе Амслера.

После разрушения образцов вырезались небольшие куски для определения влажности, которые до испытания помещались в банки с притертыми пробками, а затем измельчались до размера зерна в 1—1½ мм. и просушивались в специальном шкафу (в мукомольной лаборатории С. Т. И.), в которых при помощи электрических нагревательных приборов температура поддерживалась на уровне 110° Ц. Каждое испытание состояло из 4—5 отдельных опытов, длившихся до тех пор, пока периодические взвешивания не показывали, что вес пробы перестал убывать.

¹⁾ На этих рисунках приведена только часть наиболее характерных диаграмм из второй серии опытов.

Разрушающий груз кг.	1760	1953	2038	2023	1850	2203	1490	2222	2610	2033	2272
Средн. напряжение в средней доске σ_0 кг/кв. см.	334	385	361	357	318	406	292	379	474	359	451
Коэффициент n при $C = 2500$ кг/куб. см. . .	1,065	1,055	1,087	1,089	1,087	1,074	1,130	1,102	1,079	1,089	1,122
Наибольшее краевое напряжение $\sigma = \sigma_0$ п кг/кв. см.	356	396	392	389	346	436	330	419	511	391	506
σ приведенное к прочности сжатия 500 кг/кв. см.	346	385	344	378	334	389	316	382	482,5	357	485
%	100,0	111,2	99,5	109,4	96,5	110,6	91,3	104,0	133,2	97,3	132,1
Коэффициент n_1 при $C = 1100$ кг/куб. см. .	—	—	—	—	—	—	—	1,045	1,034	1,039	1,056
Наибольшее краевое напряжение $\sigma_1 = \sigma_1$ п кг/кв. см.	—	—	—	—	—	—	—	396,5	490	373	504
σ_1 приведенное к прочности сжатия 500 кг/кв. см.	—	—	—	—	—	—	—	361,5	469,5	340	483
%	—	—	—	—	—	—	—	100,0	130,0	94,1	133,6

Среднее напряжение σ'_0 кг/кв. см.	—	—	—	—	—	—	—	213	232	233	222
Коэффициент n при $C = 2500$ кг/куб. см. . .	—	—	—	—	—	—	—	4,102	4,079	4,089	4,122
Наибольшее краевое напряжение $\sigma'' = \sigma'_0$ п кг/кв. см.	—	—	—	—	—	—	—	874	946	830	915
σ'' приведенное к прочности сжатия 500 кг/кв. см.	—	—	—	—	—	—	—	797	906	757	877
%	—	—	—	—	—	—	—	100,0	113,6	95,0	110,0

III. Таблица данных, полученных из испытания первой серии образцов (30 шт.).

[illegible]

Разрушающий груз Р кг.

	1470	2073	1283 1396	1432	1220	1923	2470	1770	1925	1818
Среднее напряжение σ_0 кг/кв. см.	258	363	224 244	267	233	320	411	320	373	338
Коэффициент n при $C=2500$ кг/куб. см. . .	1,185	1,183	1,188	1,147	1,132	1,239	1,239	1,165	1,126	1,159
Наибольш. краевое на- пряж. $\sigma=\sigma_0$ п кг/кв. см.	306	434	266 290	306	264,5	393	505	373	420	392
σ приведен. к прочн. сжатия 500 кг/кв. см. . .	351	497	305 333	351	424	402,5	518	382	495	440
%	100,0	141,0	87,0 95,0	100,0	121,0	114,6	147,6	109,8	141,0	125,3
Коэффиц. n' при $C=1100$ кг/куб. см.	—	—	—	—	—	1,11	1,11	1,073	1,057	1,072
Наибольшее краевое напряж. $\sigma'=\sigma_0$ п' кг/кв.см.	—	—	—	—	—	355	456	344	394,5	363
σ' приведенная к проч- ности сжатия 500 кг/кв. см.	—	—	—	—	—	363	517	352,5	465	408
%	—	—	—	—	—	100,0	142,4	97,1	128,1	112,1

Для средних досок.

Среднее напряжение σ'_0 кг/см.²Коэффициент n при $C=$
2500 кг/куб. см.Наибольшее краевое
напряжение $\sigma''=\sigma'_0$ п
кг/кв. см. σ'' приведен. к прочн.
сжатия 500 кг/кв. см. . .

%

Среднее напряжение σ'_0 кг/см. ²	—	—	—	—	—	157	205	148,5	182,5	166,2
Коэффициент n при $C=$ 2500 кг/куб. см.	—	—	—	—	—	4,229	4,229	4,165	4,126	4,159
Наибольшее краевое напряжение $\sigma''=\sigma'_0$ п кг/кв. см.	—	—	—	—	—	664	867	619	753	691
σ'' приведен. к прочн. сжатия 500 кг/кв. см. . .	—	—	—	—	—	681	899	635	888	776
%	—	—	—	—	—	100,0	131,5	93,2	130,2	113,8

Для крайних досок.

IV. Результаты наблюдений и выводы.

Все необходимые данные и результаты, полученные из произведенных опытов, как для первой, так и для второй группы, внесены в приведенные таблицы, где для отдельных типов образцов взяты ради экономии места средние величины из целого ряда испытаний, при чем для каждого образца деформации определялись как средняя величина из отсчетов четырех приборов Кеннеди.

Для того чтобы получить сравнимые результаты из всех разнообразных опытов с образцами с разной прочностью леса, разной толщиной досок, разным диаметром гвоздей и кроме того с различными типами загиба, был избран способ расчета доктора Шнидмана¹⁾, применяемого в случае рассмотрения стержневых соединений в деревянных конструкциях. В таком случае для определения наибольших действующих напряжений смятия для средней доски имеем формулу:

$$\sigma = \frac{576 N + 2,35}{576 N + 1,1} \cdot \frac{2 P}{l d} = n \frac{2 P}{l d}$$

и для крайней доски:

$$\sigma = 4 \frac{576 N + 2,35}{576 N + 1,1} \cdot \frac{P}{l d} = m \frac{P}{l d},$$

где $N = \frac{E_c J}{C l^3 d}$ и $m = n + 3$.

Здесь мы обозначаем:

P — сила действующая по одной крайней доске;

l — толщина доски;

d — диаметр гвоздя;

E_c — модуль упругости железа, принятый в данном случае 2100000 кг/кв. см.

J — момент инерции поперечного сечения гвоздя;

C — коэффициент постели дерева, принимаемый нами при расчете продольных образцов, согласно опытам Жаксона и Графа, равным 2500 кг/куб. см. и для средней доски поперечных образцов 1100 кг/куб. см.²⁾.

На основании приведенных формул были вычислены помещенные ниже две таблицы коэффициентов n и n_1 для принятых в опытах трех диаметров гвоздей, ширины досок от 2 до 3 см. и при обоих возможных значениях коэффициентов постели, что полностью охватило все имеющиеся в опытах случаи.

III. Таблица величин n при $C = 2500$ кг/куб. см.

Толщина доски см.		2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
Диаметр гвоздя в мм.	4,03	1,052	1,076	1,106	1,145	1,193	1,251
	4,06	1,050	1,073	1,101	1,139	1,185	1,240
	4,53	1,036	1,052	1,074	1,102	1,135	1,175

¹⁾ 1) Жаксон А. „Деревянные конструкции“.

2) Карташов К. Н. „Графики для проектирования болтовых соединений в деревянных конструкциях“.

3) Иванов „Деревянные конструкции гражданских сооружений“.

²⁾ Н. Seitz „Grundlagen des Ingenieurholzbaues“.

Жаксон А. „Деревянные конструкции“.

IV. Таблица величин n_1 при $C = 1100$ кг/куб. см.

Толщина доски в см.		2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
Диаметр гвоздя в мм.	4,03	1,025	1,034	1,047	1,066	1,087	1,114
	4,06	1,023	1,031	1,045	1,062	1,082	1,108
	4,53	1,016	1,020	1,032	1,045	1,060	1,079

При помощи этих таблиц был построен график (рис. 24), кривые которого дают зависимость между величинами n и l , что позволило без труда с достаточной степенью точности найти величины n и m для любой толщины досок и по ним вычислить, как напряжения действовавшие в образцах при различных величинах внешней силы P , так и наибольшее напряжение при разрушении образца. Приводя затем величины напряжения при разрушении к прочности леса равной, например, 500 кг/куб. см., мы получаем сравнимые результаты, выраженные в процентах от напряжения для неструганных образцов с незагнутыми гвоздями.

Определяя напряжения разрушения, мы сперва определили их из условия работы средней доски вдоль волокон (в том числе для сравнения условно и для поперечных образцов), затем только для поперечных образцов из условия работы средней доски поперек волокон и, наконец, крайних досок вдоль волокон. Последнее условие принято только для поперечных образцов на том основании, что они все, за редкими исключениями, разрушались от раскалывания крайних досок (рис. № 27) и лишь изредка из-за полного отгиба и выдергивания гвоздей.

Для большей наглядности приводим выборку процентных отношений прочности разных типов и строим для основных групп образцов диаграммы (рис. 28—31) зависимости между действующим наибольшим краевым напряжением и соответствующей полной (верхняя кривая) и остаточной (нижняя кривая) деформациями.

Рассматривая в совокупности результаты отдельных наблюдений и проводя их сравнение, приходим к ряду выводов, приводимых ниже.

V. Сравнительная таблица разрушающих напряжений.

О Б Р А З Ц Ы			I серия опытов с гвоздями 4,53 мм.			II серия опытов с гвоздями 4 06 мм.		
			C—2500 кг/см. ³	1100	2500	2500	1100	2500
			Средняя доска		Крайние	Средняя доска		Крайние
Продольные.	Не струганные	Не загну. . .	100,0	—	—	100,0	—	—
		Загиб вверх .	111,2	—	—	141,0	—	—
		Загиб вниз .	99,5	—	—	87,0 95,0	—	—
		Не загну. рас- свер. . . .	109,5	—	—	—	—	—

О Б Р А З Ц Ы			I серия опытов с гвоздями 4,53 мм.			II серия опытов с гвоздями 4,06 мм.		
			С—2500 кг/см. ³	1100	2500	2500	1200	2500
			Средняя доска		Крайние	Средняя доска		Крайние
Продольные	Струганн.	Не загн. .	96,5	—	—	100,0	—	—
		Загн. вверх .	—	—	—	121,0	—	—
		Загн. вверх рассвер. .	110,6	—	—	—	—	—
	Не струг.	Не загн. диам. 4,03	83,0	—	—	—	—	—
П о п е р е ч н ы е	Не струг.	Не загн. . .	106,7	100,0	100,0	114,6	100,0	100,0
		Загн. вверх .	133,2	130,0	113,0	147,6	142,4	131,6
	Струг.	Не загн. . .	97,3	94,1	95,0	109,8	97,1	93,2
		Загн. вверх .	—	—	—	141,0	128,1	130,2
	Не струг.	Не загн. диам. 4,03	132,1	133,6	110,0	125,3	112,4	113,8
	Не струг.	Не загн. . .	106,7	100,0	100,0	114,6	100,0	100,0
		Загн. вверх .	133,2	130,0	113,0	147,6	142,4	131,6
	Струг.	Не загн. . .	97,3	94,1	95,0	109,8	97,1	93,2

1) В образцах с незагнутыми гвоздями не было замечено более быстрого перемещения относительно средней доски той из крайних досок, которая находилась со стороны незагнутых концов гвоздей. Это показывает на то, что несмотря на наблюдавшееся некоторое незначительное вмятие шляпок в дерево, все же они не оказали скольнибудь заметного влияния.

2) При нагрузках близких к разрушению, когда деформации образца достигали 2 — 2½ см. и концы гвоздей сильно отгибались вверх (см. второй справа образец на рисунках № 25 и 26), в некоторых образцах происходило соскальзывание досок по отогнутым свободным концам гвоздей, сопровождавшееся резким скрипом.

3) Рассматривая приведенные на рисунке 22 диаграммы деформаций продольных образцов, независимо от способа загиба концов гвоздей, замечаем, что для всех случаев без исключения разрушение протекало совершенно одинаково, при чем ясно обозначались следующие характерные явления: при возрастании нагрузки деформации возрастали сперва почти по закону прямой линии до величины 1 — 1,5 мм., где пропорциональность нарушалась и диаграмма становилась значительно более пологой, но все же нагрузка еще продолжала возрастать до некоторой максимальной величины, после чего при постоянной или едва заметно изменяющейся нагрузке деформации сильно увеличивались вплоть до момента разрушения.

Это явление объясняется тем, что при тонких стержнях, каковыми в нашем случае являются гвозди, напряжение смятия скорее бывает превзойдено, чем напряжение скалывания, тем более, что меж-

ду отдельными гвоздями и гвоздями и торцем достаточно большое расстояние, чтобы не произошло выкалывания или раскалывания доски. Под влиянием больших напряжений при круглом сечении гвоздя дерево сминается не только вдоль волокон, но гвоздь как бы раздвигает находящиеся на его пути волокна и продвигается в толще дерева, прорезая его на своем пути (см. рис. 25), что ясно видно на разрезах продольных образцов после их разрушения, особенно же у средней доски образца с гвоздями загнутыми вверх, у которой путь пройденный гвоздем наибольший из всех.

Так как при своем продвижении гвоздь встречает равное и постоянное сопротивление окружающей среды (в данном случае леса вдоль волокон), то и диаграмма при этой нагрузке изображается горизонтальной или слабо наклонной линией.

4) При изготовлении поперечных образцов оказалось, что несмотря на то, что применялся лес довольно хорошо просушенный и образцы испытывались через 2—3 дня после их изготовления, у некоторых из них под влиянием усыхания и уменьшения ширины зажатой поперечной доски появились вдоль нее трещины, вызванные тем, что гвозди препятствовали ей свободно деформироваться. Такие образцы при определении деформацией до 1—1,5 мм. во внимание не принимались, так как в них при малых нагрузках вся сила передавалась на нижние гвозди до тех пор, пока не закрывалась трещина усыхания, после чего лишь вступали в работу верхние гвозди.

Это показывает на то, что где бы перемещения не были измерены, все равно они не могли бы быть отнесены к работе всех пяти имеющихся гвоздей ввиду неодинакового участия их в восприятии внешней нагрузки. На основании этого поперечных образцов было изготовлено больше, с тем расчетом, что часть из них испортится до испытания, но все же такие образцы подвергались разрушению для определения наибольшей силы P и для получения полной диаграммы деформаций при перемещении средней доски на 2,5—3,0 см., на что незначительная трещина влияния не оказывала.

Это еще лишний раз показывает на то, что при изготовлении таких конструкций надо применять хорошо просушенный лес.

5) Разрушение поперечных образцов носит несколько иной характер, чем образцов продольных. Под влиянием все возрастающего напряжения и прогиба гвоздя волокна средней доски начинают сильно уплотняться как это имеет место вообще при сжатии леса поперек волокон, но уплотнение получается значительно большее у краев доски, чем в середине, при чем в этом случае из диаграммы видно, что после предела пропорциональности нагрузка продолжает неизменно, хотя и медленнее увеличиваться. Уплотняющиеся волокна, благодаря незначительности абсолютной величины действующей силы, не перерезаются гвоздем, что обуславливается большой прочностью на перерезание в перпендикулярном направлении, а только сильно изгибаются, что вызывает разрыв по линии $а а'$ (рис. 32), начало чему было уже положено при забивке гвоздя, при которой всегда появляется незначительное надкалывание дерева (рис. 1). Прогнутые волокна натягиваются и, наконец, разрываются по линии $ав$ и $а'в'$, при чем получающийся разрыв имеет самое большое раскрытие вверху у наружной поверхности доски и уменьшается как вниз, так и вглубь, т. е. по мере уменьшения прогиба, а, следовательно, и вытягивания соответствующего волокна.

Начало разрушения образца и резкое уменьшение внешней нагрузки, обычно, наступало в поперечных образцах под влиянием раскалывания крайних досок. Как показывает подсчет напряжений, несмотря на то, что напряжения в крайних досках теоретически превышают напряжение средних досок приблизительно в два раза, все же в продольных образцах разрушение обычно происходило из-за раскалывания средней доски, а поэтому, естественно, что образцы с поперечной средней доской, разрушающиеся от той причины, от которой не могут разрушиться продольные образцы, показали во всех случаях без исключения большую прочность.

6) Обращаясь к рассмотрению индивидуальных свойств отдельных групп из таблиц I, II и V мы видим, что загиб гвоздя отражается на прочности образца, а именно загиб вверх дает во всех случаях повышение прочности от 9,8 до 41%, загиб же вниз дает понижение прочности до 13%.

Это явление может быть объяснено следующим образом: при незагнутом конце гвоздь, сильно прогибаясь под влиянием действующих на его поверхности напряжений, беспрепятственно вытягивается по мере прогиба внутрь образца, получая двоякую кривизну с двумя точками перегиба (рис. 33), при наличии загиба острого конца вверх (рис. 34) кроме таких же вертикальных напряжений появляются еще и горизонтальные у шляпки и загнутого конца под влиянием чего гвоздь получает силы натяжения, создающие обратные изгибающие моменты стремящиеся его распрямить, благодаря чему в этих образцах гвоздь прогибается значительно меньше, распределение напряжений получается более равномерное, а кроме того сила натягивающая гвоздь сжимает образец в направлении перпендикулярном деформациям и вызывает дополнительные силы трения в поверхностях соприкосновения досок, не говоря уже о том, что при самом сколачивании этих образцов доски их бывают значительно плотнее прижаты, чем в образцах с незагнутыми гвоздями. Под влиянием стремления концов гвоздя при прогибе отогнуться вверх с увеличением нагрузки загнутый вверх конец все плотнее и плотнее прижимается к своему гнезду. В виду того, что под влиянием сильного натяжения гвоздя происходит некоторое вмятие его шляпки и крючка в точке его перегиба вверх, в целях увеличения прочности соединения под шляпку и загиб иногда подкладываются небольшие металлические шайбы.

При загибе гвоздя вниз появляется картина обратного порядка, т. е. понижение прочности соединения. Это явление объясняется тем, что отогнутый вниз конец свободно отходит от своего гнезда (рис. 35) и, ввиду того, что здесь уже предварительно создан перегиб конца вниз, уменьшает силу необходимую для изгиба гвоздя.

После того, как образец сильно деформировался — 1,5—2,0 см. и конец с загибом начал вытягиваться в толщу образца опять начинается увеличение внешней силы, ввиду необходимости разгиба отогнутого конца, что вызывает как появление новых площадей смятия, так и некоторое натяжение гвоздя и дополнительные силы трения. Вообще же заметим, что даже и в последней стадии работы эти образцы дают величины разрушающей силы приближающейся лишь к той, которую мы имели при незагнутых концах¹⁾.

¹⁾ Наличие второго максимума P было обнаружено только во время испытания второй серии образцов.

7) При незагнутых концах гвоздей простружка соединяемых досок почти не сказывается на величине разрушающей силы. Наибольшее, наблюдавшееся в одном случае, понижение прочности на 6,8% может быть отнесено за счет других факторов, так как простым спиванием досок невозможно достигнуть скольнибудь значительных поперечных сил, могущих вызвать трение на соединяемых поверхностях. При применении образцов с загнутыми вверх гвоздями в продольных образцах наблюдалось значительное понижение прочности, что можно было бы объяснить тем, что при струганных поверхностях коэффициент трения понижается, но в то же время при поперечных образцах этого понижения не наблюдалось. Все это показывает на то, что вообще при струганных досках приходится ожидать понижение прочности соединения, что можно отнести также и к соединениям при помощи других средств, в которых имеется поперечная сжимающая сила, обусловленная начальным натяжением болта, но для установления более точных данных произведенных опытов недостаточно и требуются еще дополнительные изыскания.

8) Предварительное рассверливание дыр для гвоздей уменьшает возможность раскалывания гвоздем доски, что и видно из первой серии образцов, где при незагнутых концах получилось повышение прочности на 9,5%, а при загнутых вверх концах и струганных досках на 10,6. В последнем случае это повышение прочности можно рассматривать таким образом: как видно из II серии образцов простружка досок уменьшает при продольных образцах выгоду загиба почти точно в два раза, следовательно здесь из имеющихся 10,6% можно отнести 5,6% за счет загиба и остальные 5% — за счет рассверливания дыр. Параллельно с выгодным действием рассверливания приходится указывать и на увеличение деформаций как упругих, так и остаточных у образцов с незагнутыми концами во все время увеличения нагрузки, а у образцов с загибом вверх при низких нагрузках, при более же высоких нагрузках деформации выравниваются с таковыми для нерассверленных образцов.

Это явление легко объясняется тем, что при рассверленных отверстиях нет такого плотного прилегания стержня гвоздя к дереву, какое наблюдается при обычной забивке гвоздей.

9) Из таблиц I и II и диаграммы деформаций (рис. 28—31) мы видим, что в начале работы соединения остаточные деформации составляют почти у всех образцов около 30% от полной и возрастают быстрее, чем полная деформация, достигая при деформации в 1 мм. для продольных образцов 60—75% и для поперечных 45—60%.

Соответственно с прочностью, образцы с загибом вверх дают уменьшение деформаций, с загибом вниз увеличение и проструганные с незагнутыми гвоздями такие-же, как и неструганные образцы с незагнутыми гвоздями. Простружка также, как и рассверливание дыр сильно увеличивает деформации образцов с гвоздями загнутыми вверх.

10) Обращая внимание на результаты, полученные от испытания тонких гвоздей, мы замечаем, что более тонкие гвозди в продольных образцах оказывают меньшее сопротивление, так как они свободнее прорезают дерево и легче производят его раскалывание.

В поперечных образцах появляется обратная картина, т. е. относительное увеличение прочности, что обуславливается большей прочностью дерева на скалывание в поперечном направлении. Отсюда следует, что при толстых гвоздях больше сказывается на прочности об-

разца временное сопротивление дерева на сжатие, а при тонких на скалывание.

11) Производя сравнение первой и второй серий образцов в целом, замечаем, что в первом случае влияние различных особенностей изготовления образцов сказывается значительно слабее, чем во втором случае, что можно объяснить тем, что во втором случае был применен лес меньшей прочности, т. е. рассматриваемые влияния слабее сказываются при прочном лесе, чем при слабом.

V. Заключение.

Подводя итоги настоящей статьи и производя сравнение на основании таблиц I, II и V разрушающих напряжений для различных типов образцов с учетом прочности леса, мы можем заключить, что при применении тонких стержневых соединений, каковыми являются и гвозди, величина разрушающего дырового напряжения не зависит от угла между направлением силы и волокна, при чем при расчете по примененным формулам можно считать, что оно равняется для средних досок $0,7 R$ и для крайних — $1,3 R$, где R — временное сопротивление сжатия, т. е., например, принимая, что лес имеет прочность 500 кг/кв. см., мы получим разрушающее напряжение смятия соответственно:

$$\begin{aligned}\sigma &= 0,7 \cdot 500 = 350 \text{ кг/кв. см.} \\ \text{и } \sigma &= 1,3 \cdot 500 = 650 \text{ кг/кв. см.,}\end{aligned}$$

ниже которых напряжение полученное из опытов незначительно опускалось только в единичных случаях.

Определяя допускаемое напряжение, мы можем исходить из двух основных положений: во первых допустить определенный запас прочности и во вторых допустить некоторую наибольшую деформацию соединения. Принимая запас прочности трехкратный, мы получим допустимое расчетное напряжение, равное:

$$\begin{aligned}\frac{1}{3} \cdot 350 &= 116 \text{ кг/кв. см. и} \\ \frac{1}{3} \cdot 650 &= 216 \text{ кг/кв. см.}\end{aligned}$$

Первая из полученных цифр почти точно согласуется с действующими у нас нормами, дающими наибольшее допустимое дыровое напряжение равными 110 кг/кв. см.

Принимая второй путь и задаваясь величиной допустимого перемещения в 1 мм. (черт 28—31), мы получим для средней доски для продольных образцов 140 — 160 кг/кв. см. и для поперечных 130 — 140 кг/кв. см. и соответственно для крайних досок от 220 до 330 кг/кв. см.

В случае применения гвоздей с загнутыми концами, проструганных досок, рассверленных дыр и т. д. полученные выше величины могут быть изменены в соответствии с таблицами I, II и V и чертежами 28—31, т. е. из таблиц мы возьмем первоначальный коэффициент, а по графикам проверим не превосходят ли ожидаемые деформации допустимые величины.

При применении леса высокого качества лучше пользоваться данными, полученными из первой серии образцов, для которой во всех случаях прочность леса была выше 500 кг/кв. см., но в то же время не сильно от нее отличалась, при слабом же лесе применять данные второй серии.

Рассматривая теперь частный случай — соединение гвоздями элементов не толще 3 см. при гвоздях не тоньше 4,03 мм. и $\sigma = 500$ кв./кв. см., на основании таблиц III и IV мы могли бы в заведомый запас прочности принять в расчет для средней доски напряжение равномерно распределенное по всей площади давления гвоздя равное:

$$\sigma_{\text{ср}} = \frac{116}{1,251} = 92,7 \text{ кг/кв. см.} \approx 90 \text{ кг/кв. см.}$$

и для крайник досок:

$$\sigma_{\text{ср}} = \frac{216}{4,251} = 50,8 \text{ кг/кв. см.} \approx 50 \text{ кг/кв. см.}$$

или при указанных размерах один гвоздь, помещенный в крайнюю доску, может выдержать силу $P = 50 \cdot 3 \cdot 0,403 = 60,5$ кг. и при гвозде диам. 4,53 мм. $P = 50 \cdot 3 \cdot 0,453 = 68$ кг.

Для средней доски сила соответственно получается:

$$P = 90 \cdot 3 \cdot 0,403 = 109 \text{ кг.}$$

$$P = 90 \cdot 3 \cdot 0,453 = 122 \text{ кг.}$$

Профессор П. Я. Каменцев дает в этом случае для 3" гвоздя силу 40 кг.; для 5" — силу 70 кг. и для 7" гвоздя — 100 кг. независимо от его толщины¹⁾.

Полагая, что на каждые 50 кв. см. соприкасающихся поверхностей имеется 1 гвоздь, получим скалывающее напряжение воспринимаемое соединением соответственно 1,21; 1,32; 2,18 и 2,44 кг/кв. см. в то время как германские фирмы при таких условиях принимают 2 кг/кв. см.

В заключении еще лишний раз необходимо подчеркнуть, что гвозди, являясь одним из наиболее простых и дешевых соединений, со временем должны получить широкое распространение при возведении крупных ответственных сооружений, но для этого еще необходимо провести ряд исследований лабораторного характера и получить практический материал по наблюдению за существующими конструкциями, чтобы дать проектировщику в руки достаточно надежный материал для правильного проектирования

1928 г.

¹⁾ Справочник для инженеров строительной специальности. Том I-й стр. 427.

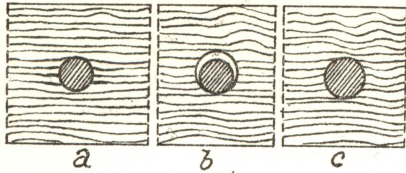


Рис. 1.

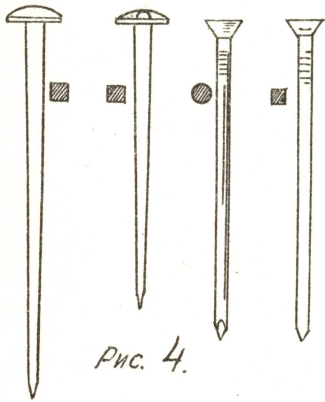


Рис. 4.

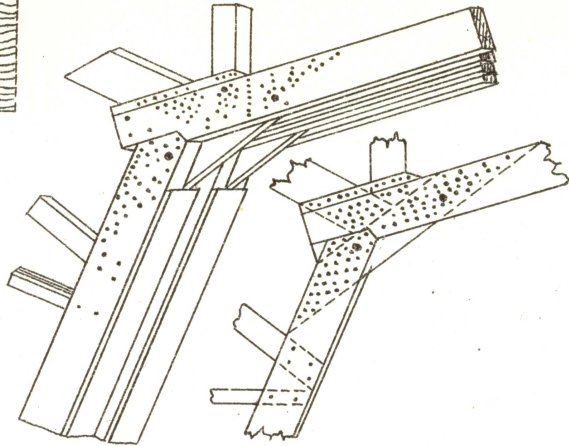


Рис. 3.

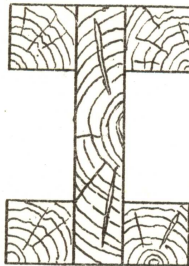
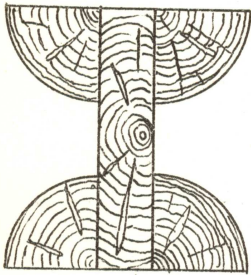


Рис. 5

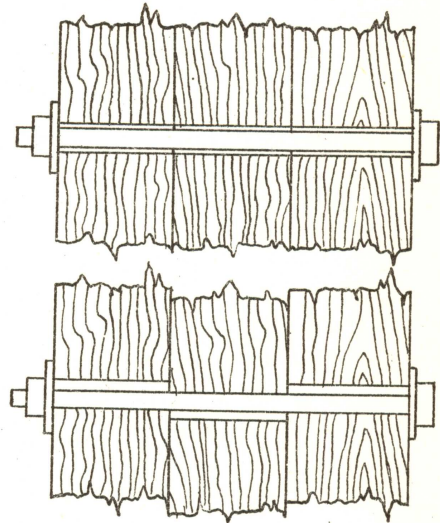


Рис. 2.

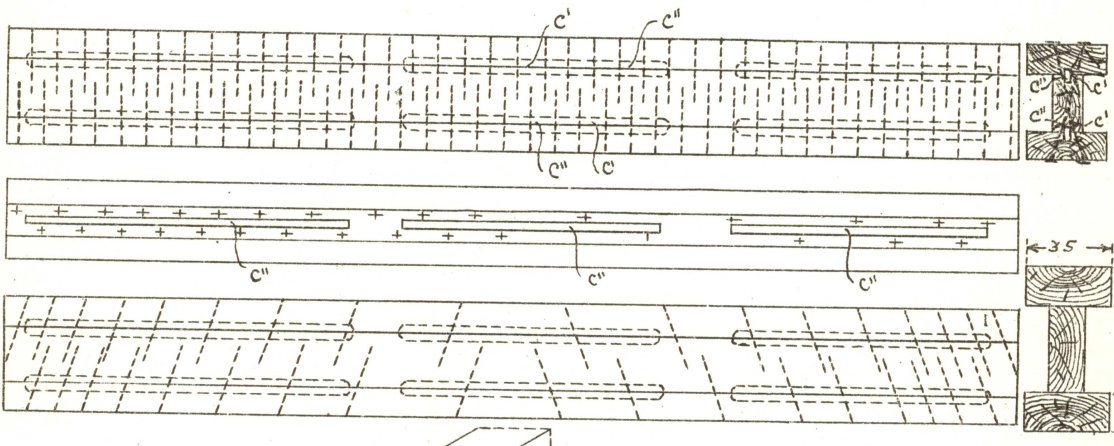
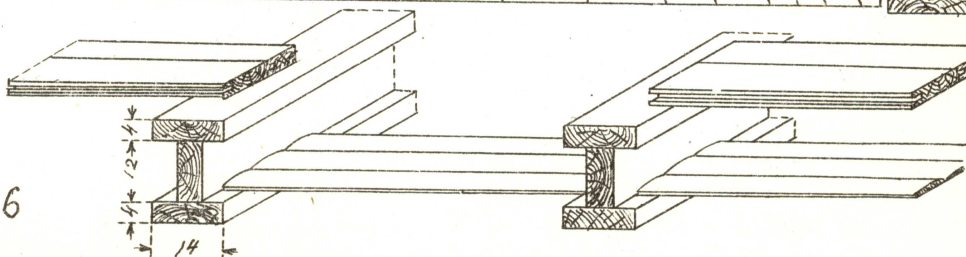


Рис. 6



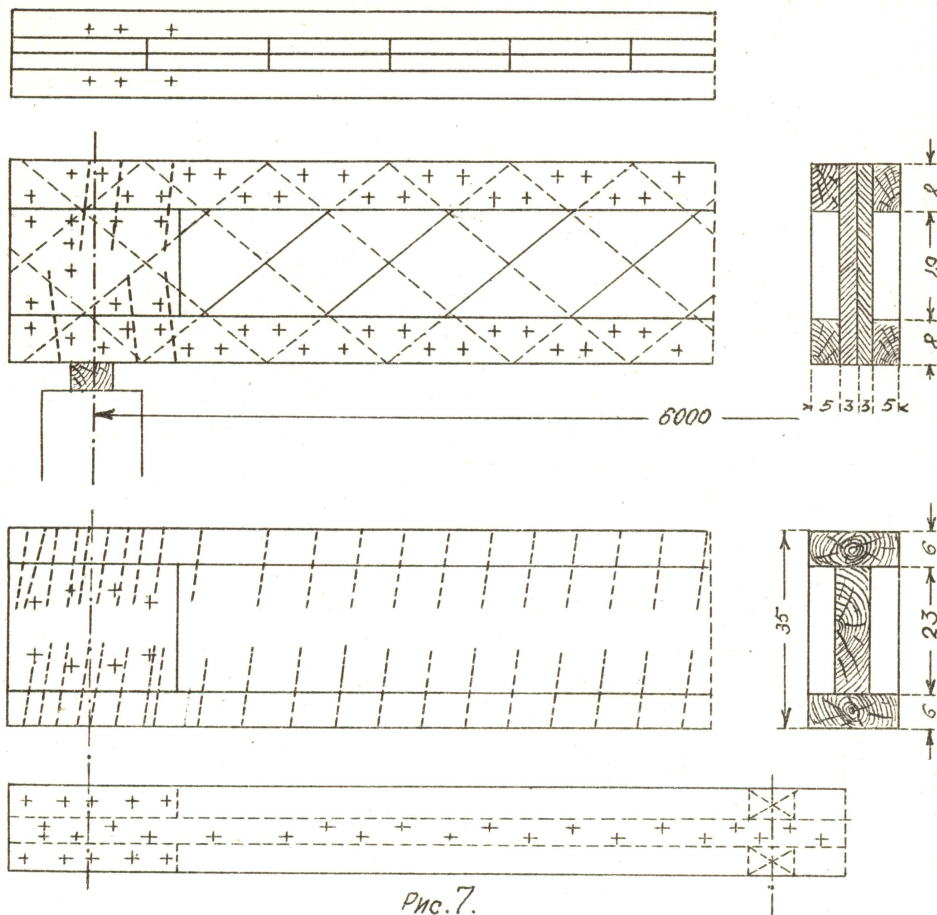


Рис. 7.

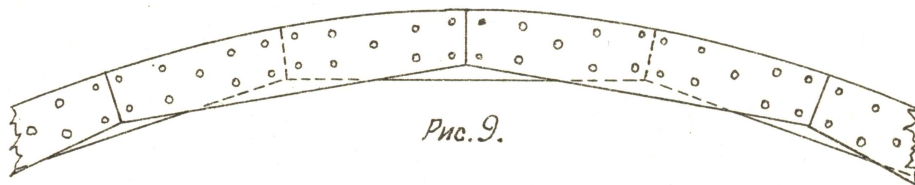
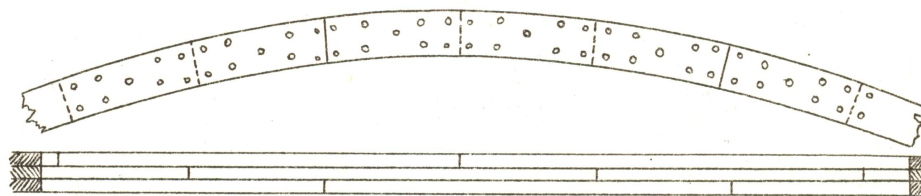


Рис. 9.



Рис. 9а

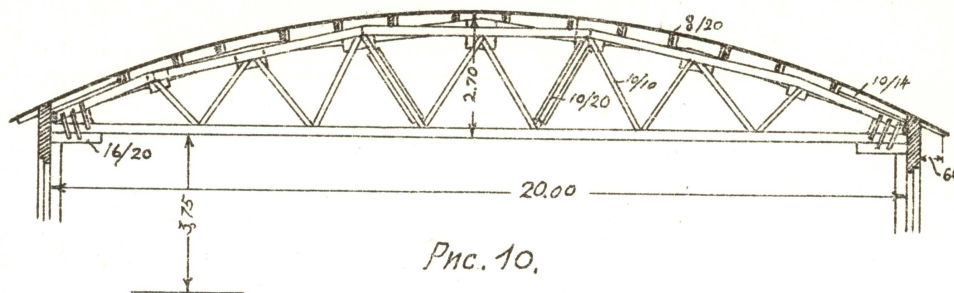


Рис. 10.

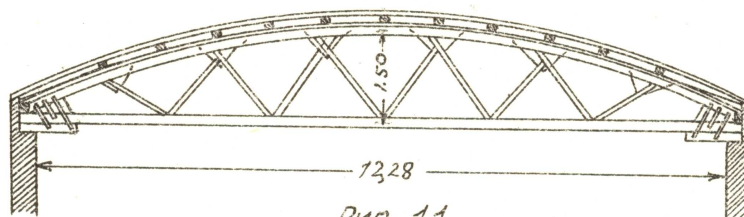


Рис. 11.

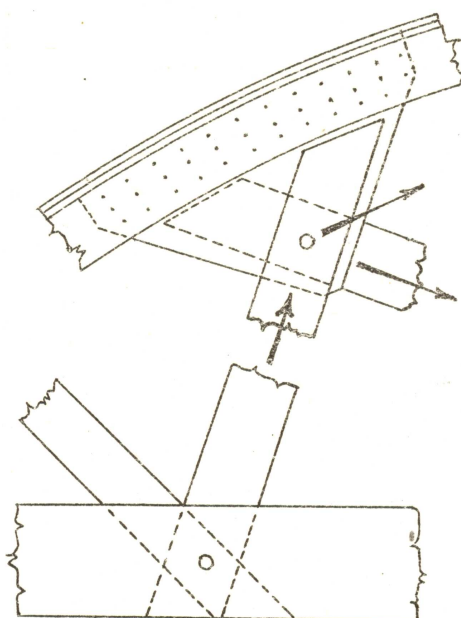


Рис. 12.

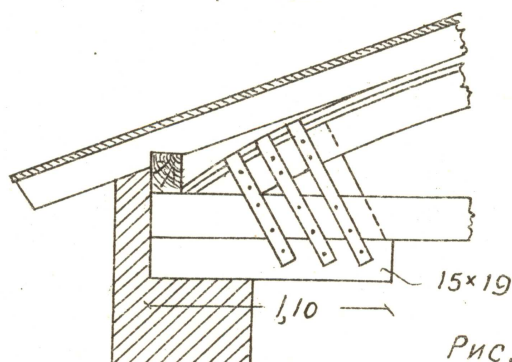
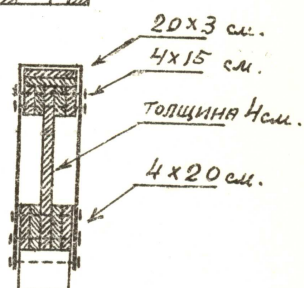


Рис. 12 а



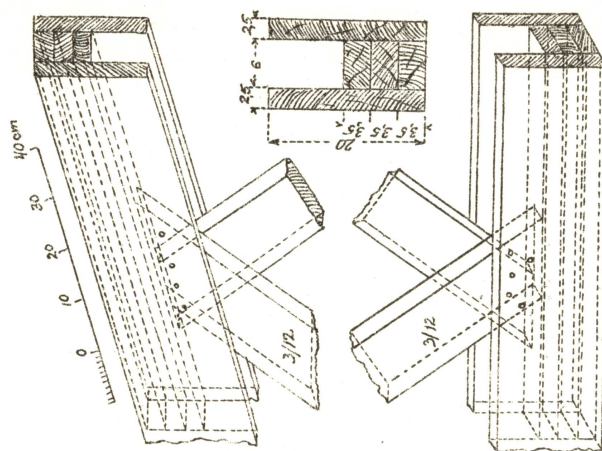
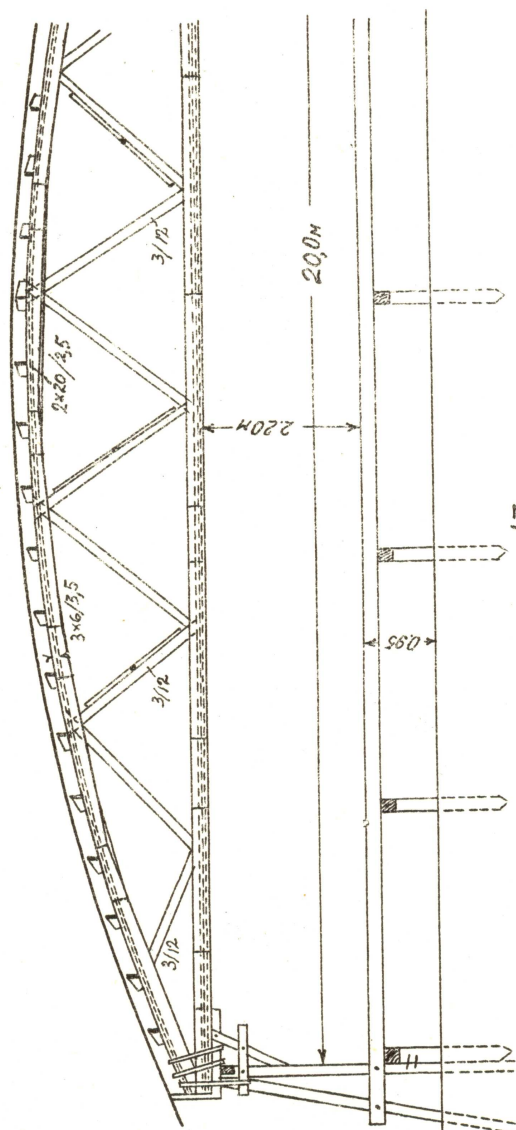
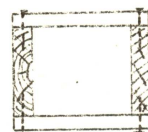


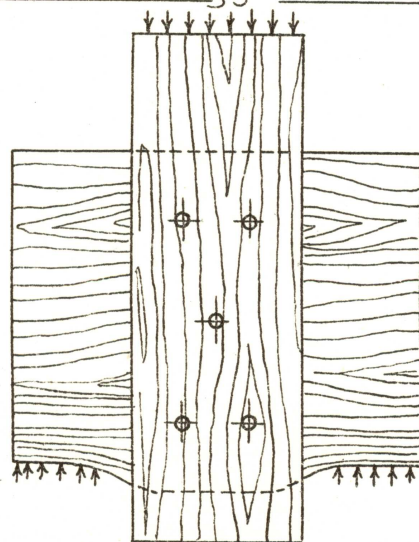
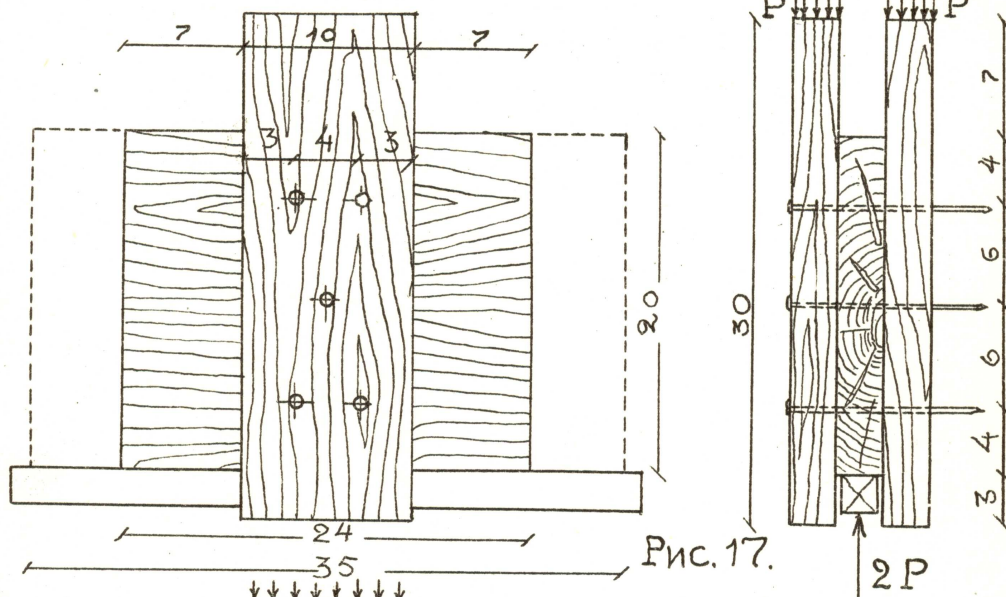
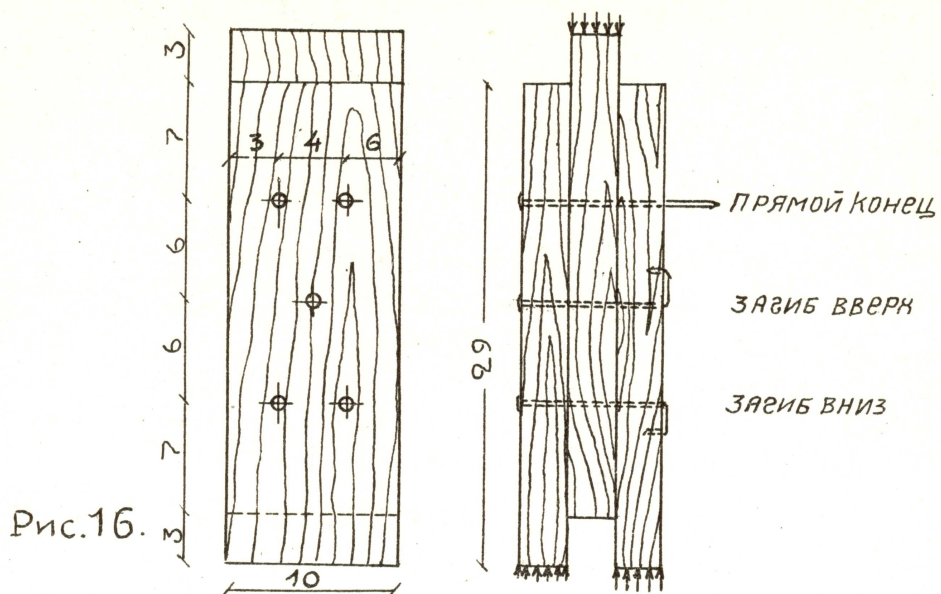
Рис. 14.



Enc. 13.



Pnc. 15.



Примечание: на всех проекциях
ПРАВЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ЯСНОСТИ
УБРАНЫ.

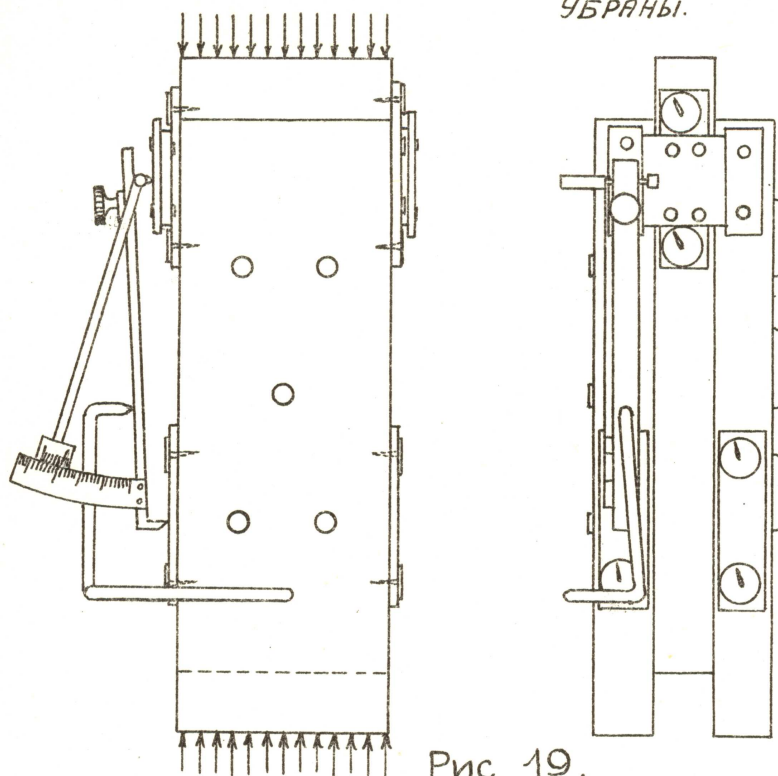


Рис. 19.

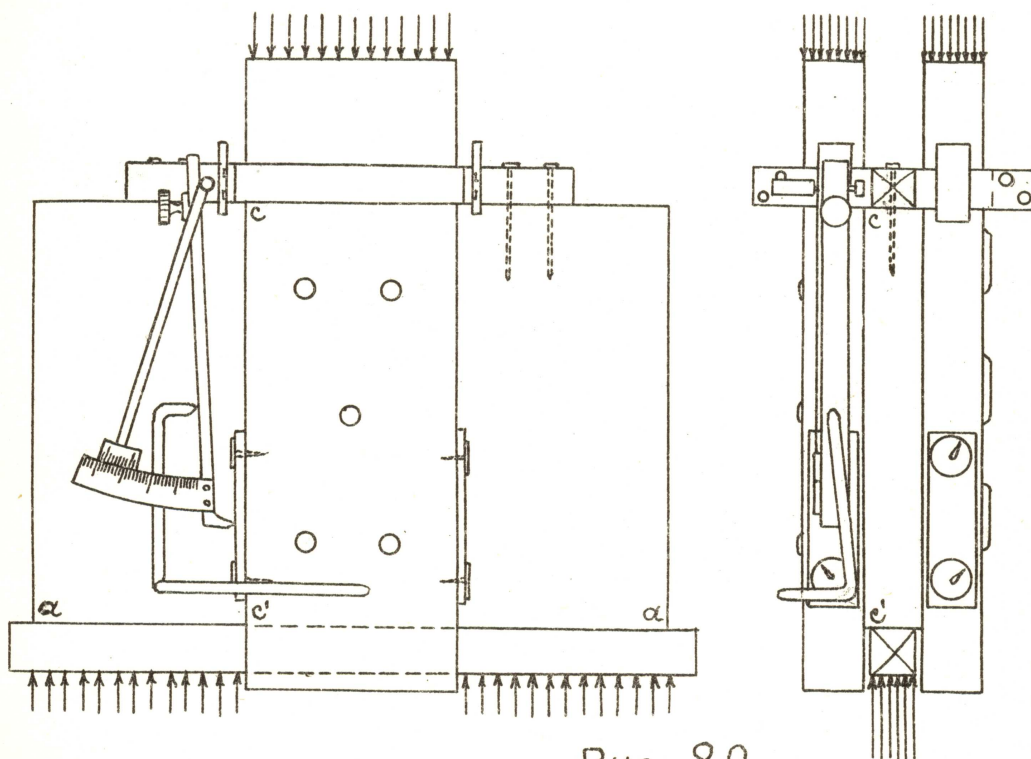


Рис. 20.

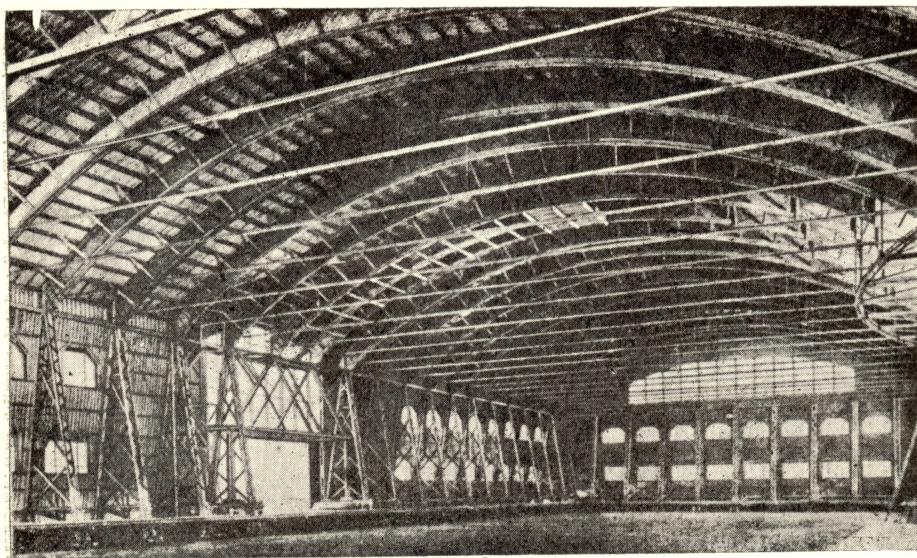


Рис. 8.

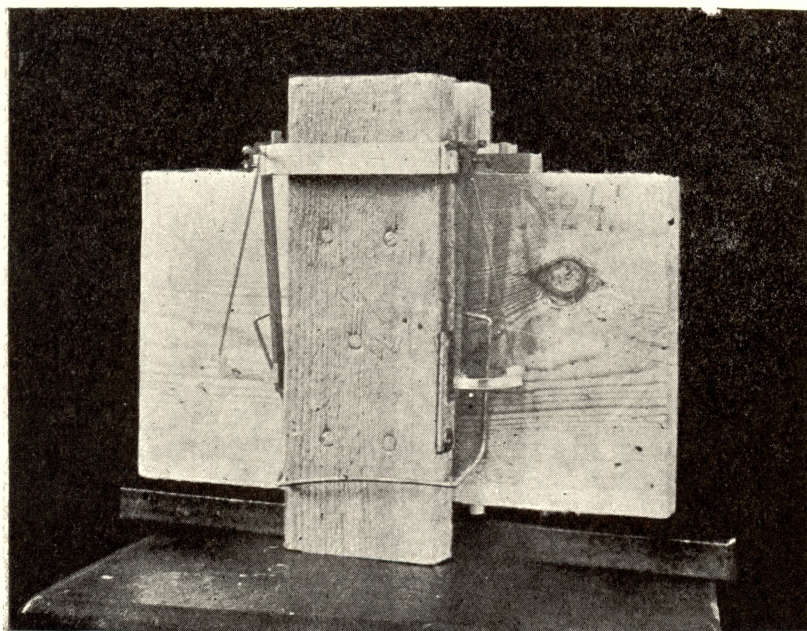


Рис. 21.

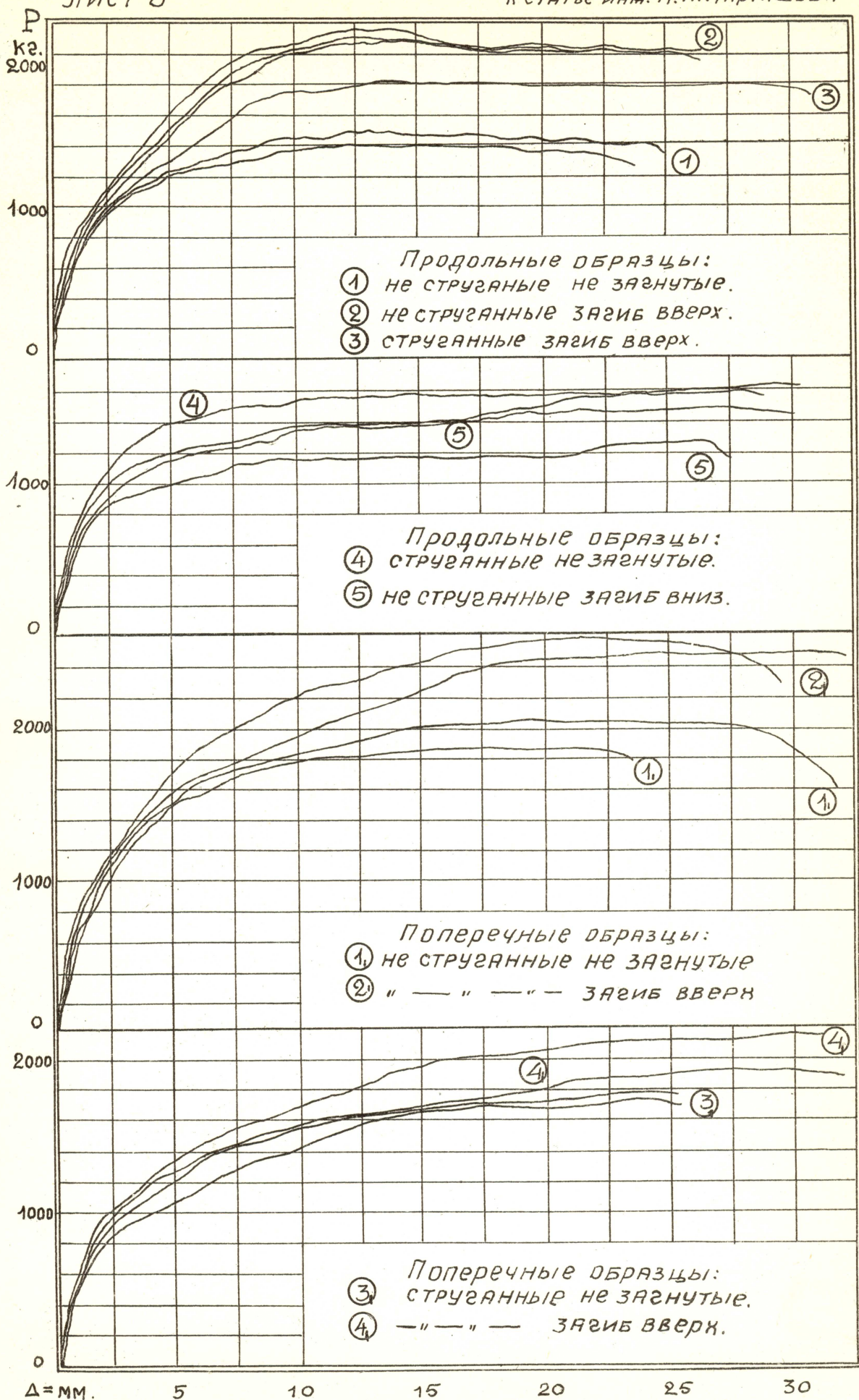


Рис. 22 и 23.

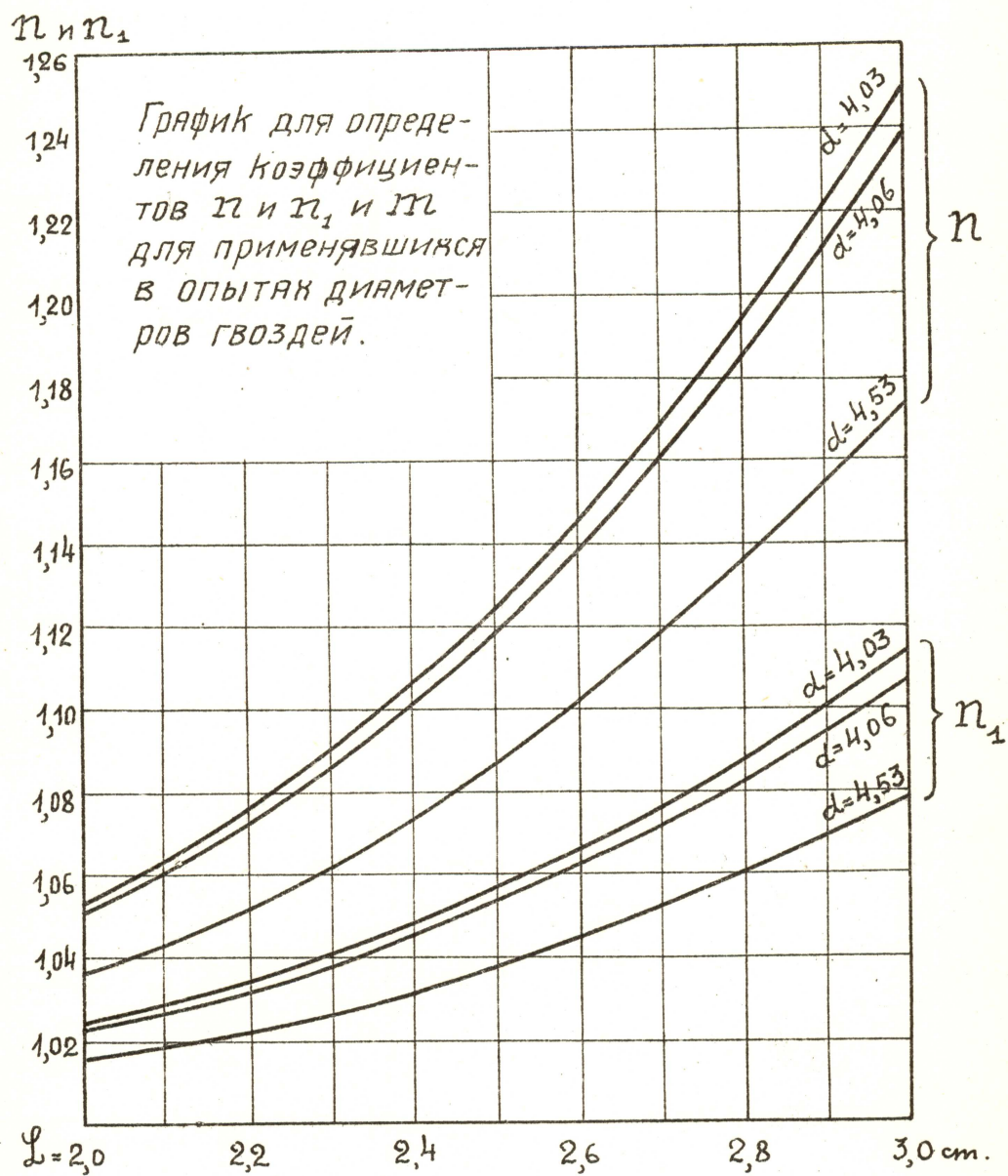


Рис. 24.

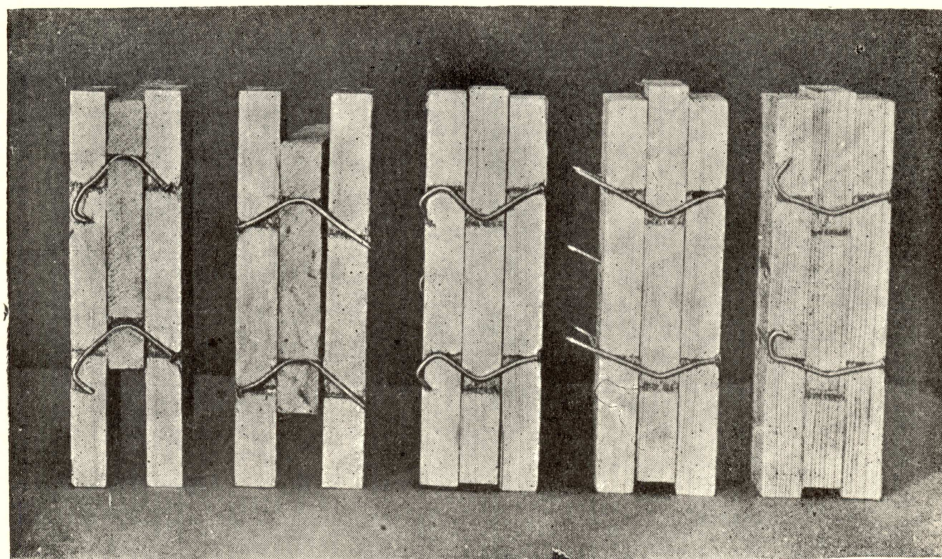


Рис 25.

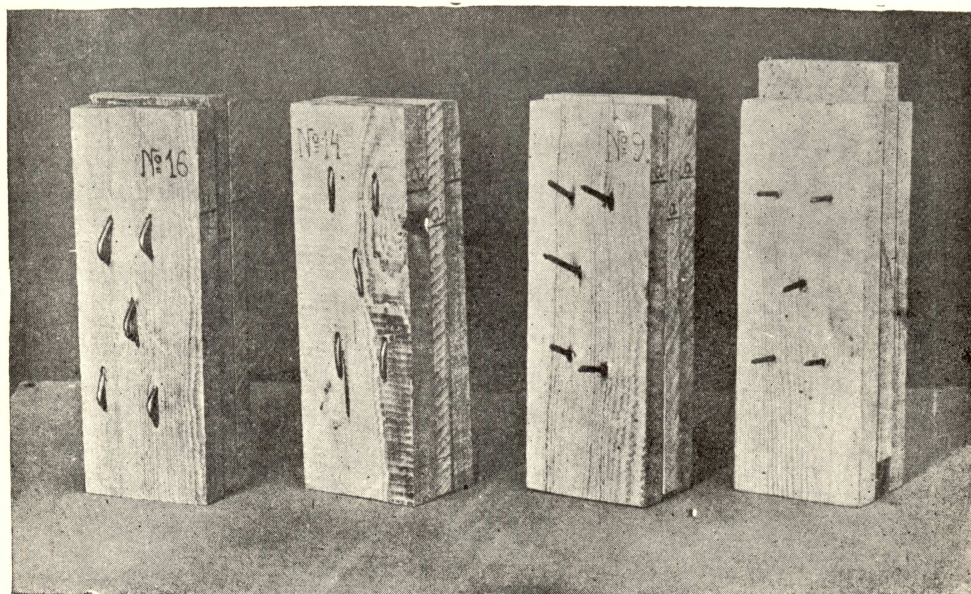


Рис. 26.

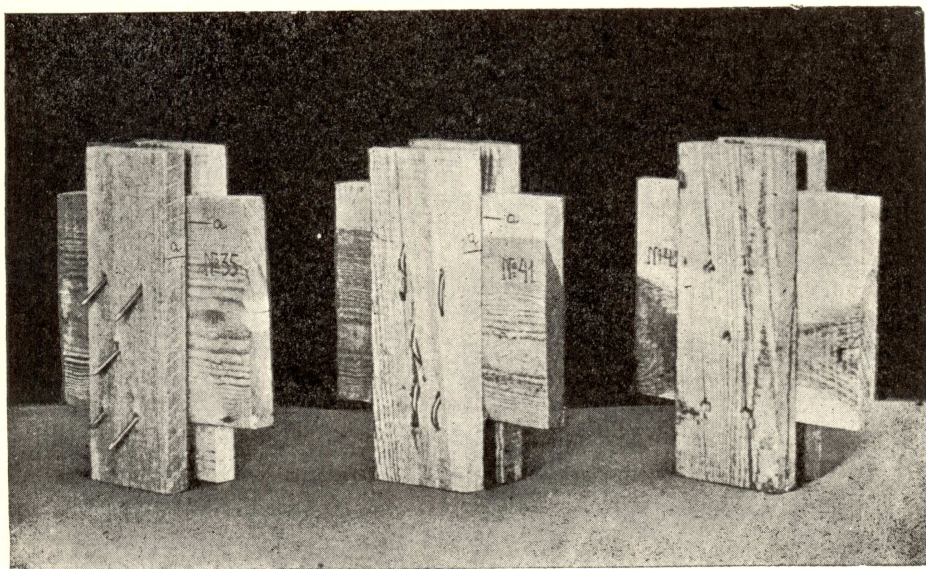


Рис. 27.

I группа образцов

Лист 12И
Δ - мм x 100

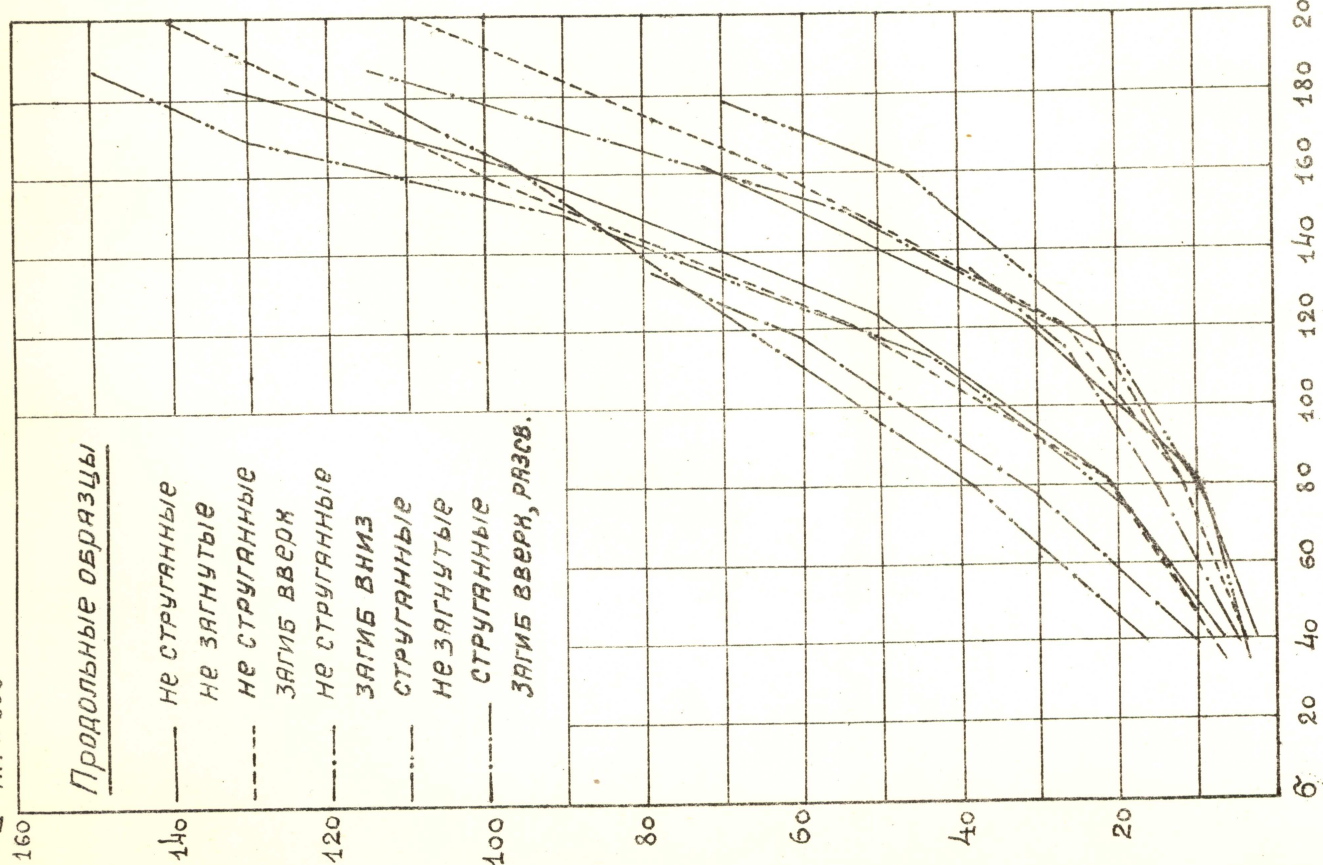


Рис. 28.

и статье инж. К. Н. КАРТАШОВА.

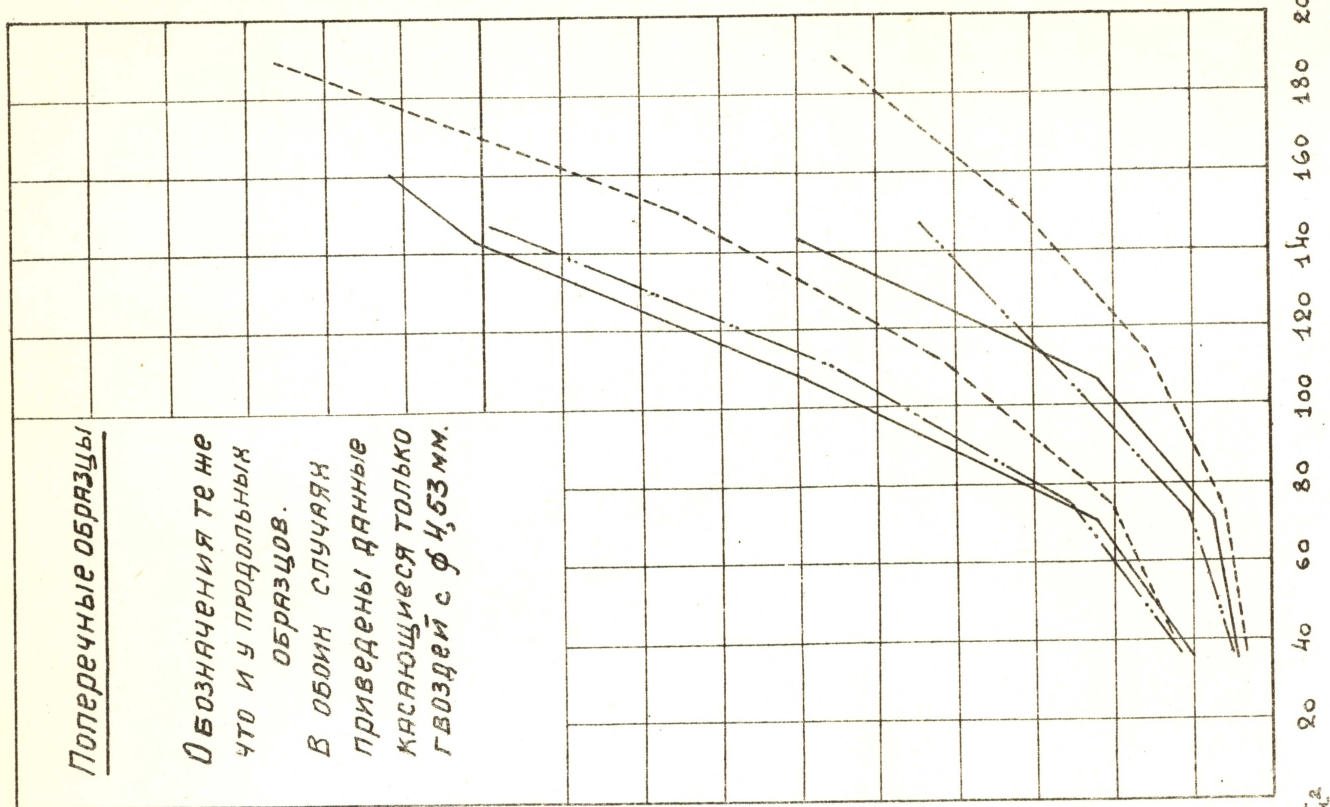


Рис. 29.

II группа образцов

к статье инж. К. Н. МАРТАШОВА

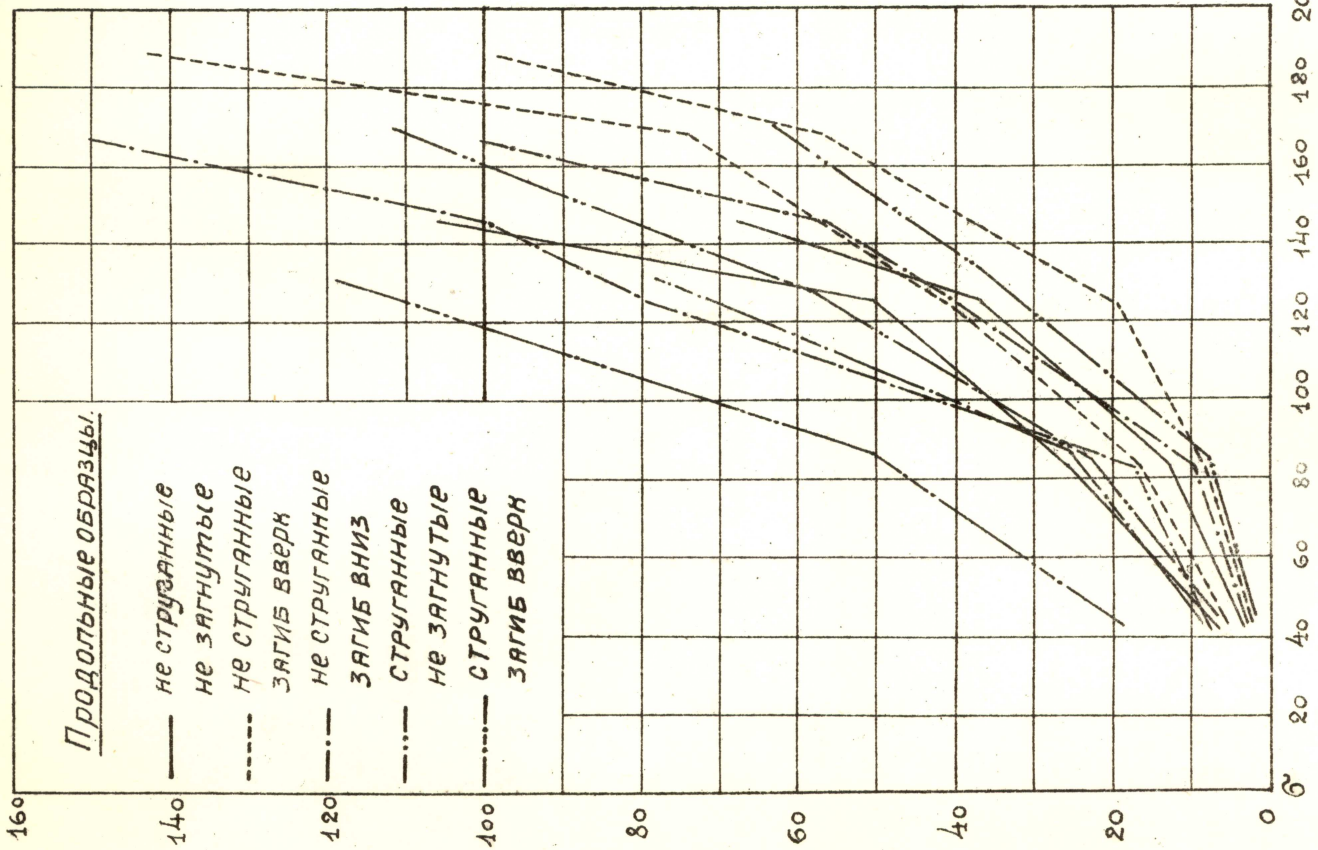


Рис. 30.

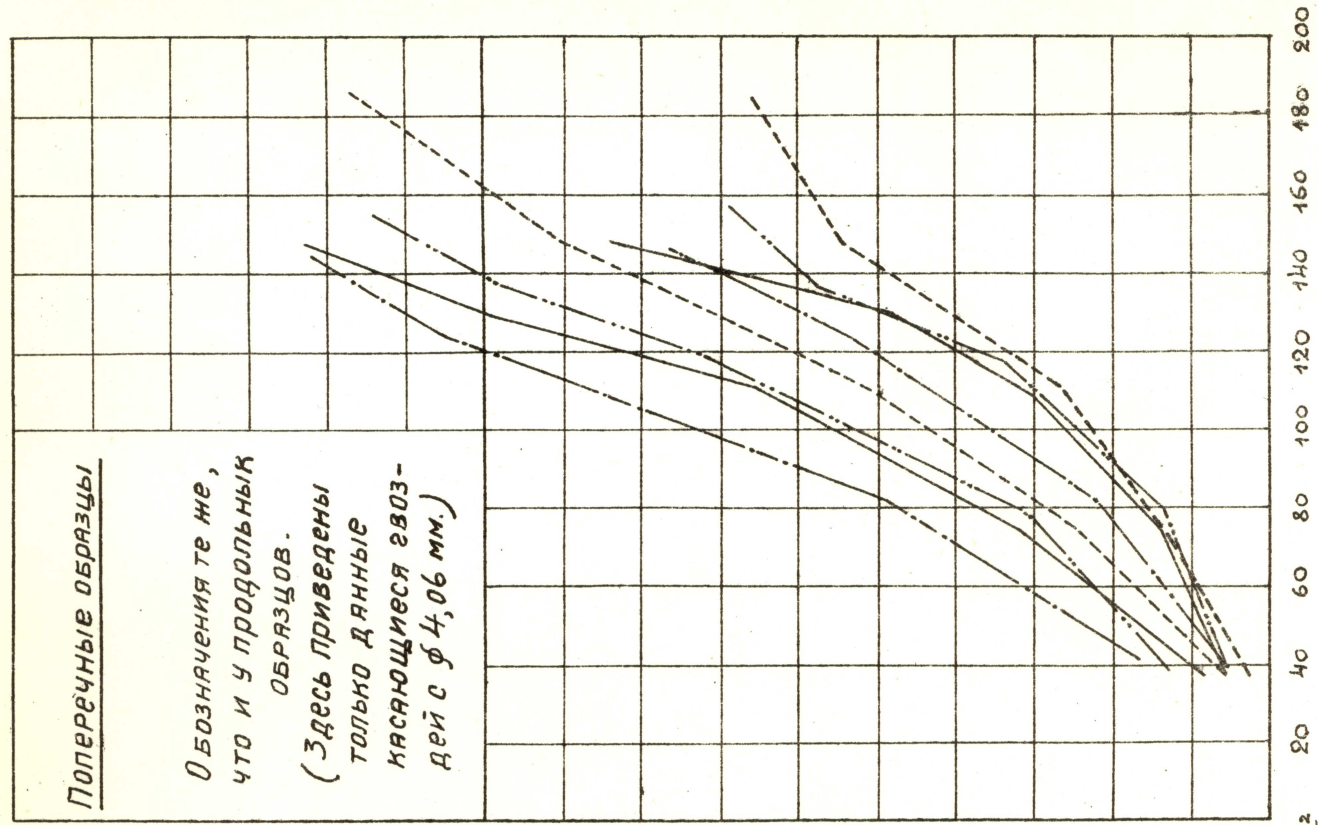


Рис. 31.

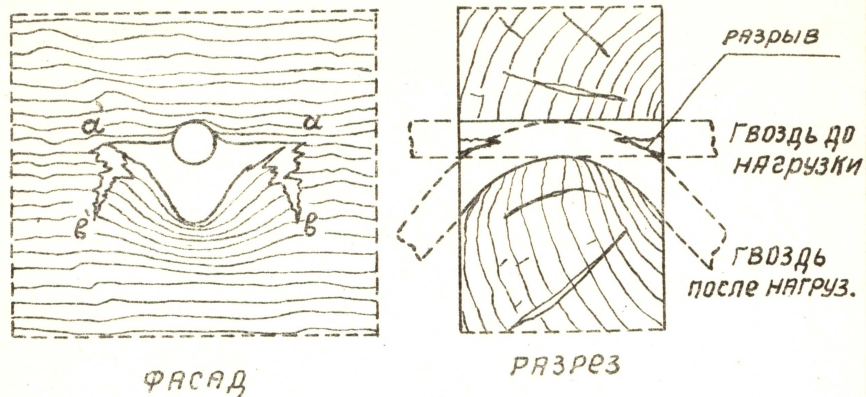


Рис. 32.

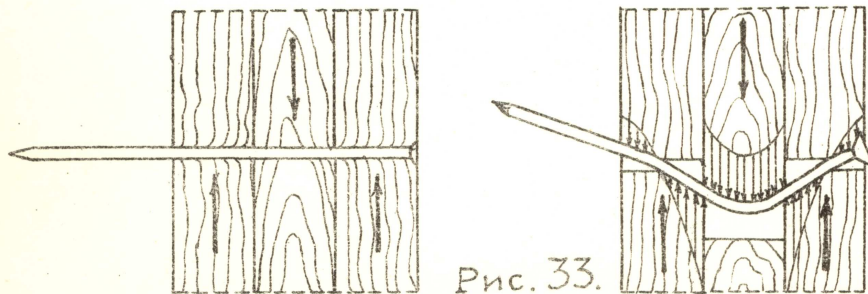


Рис. 33.

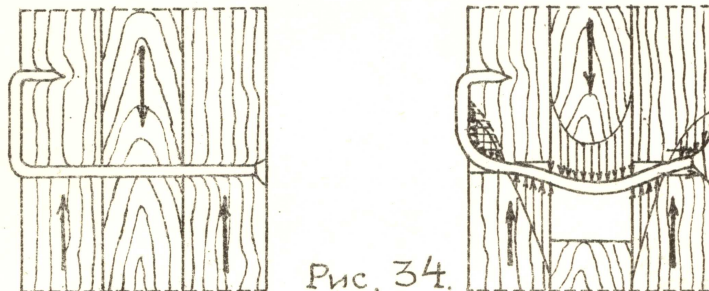


Рис. 34.

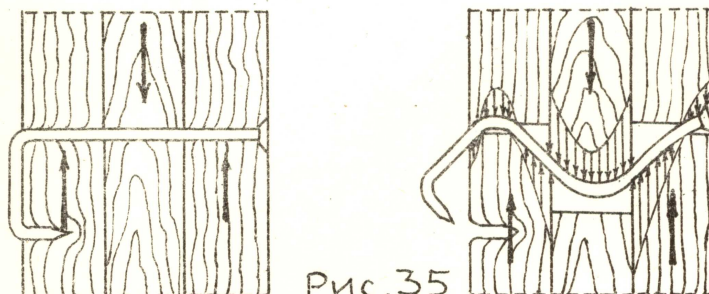


Рис. 35.