

НКИСМ СССР  
ВОРОНЕЖСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ  
ТРУДЫ ВОРОНЕЖСКОГО ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО ИНСТИТУТА

624.011

Серия IV. Вып. I

B-46

Проф. В. К. Вильдеман

Библиотека  
Инженерно-строительного института

СОВМЕСТНАЯ РАБОТА ГВОЗДЕЙ  
И КРУГЛЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ НАГЕЛЕЙ  
В СОПРЯЖЕНИЯХ ДЕРЕВЯННЫХ  
КОНСТРУКЦИЙ

58092



H.O. N 1465

НКПСМ СССР  
ВОРОНЕЖСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

Проф. В. К. Вильдеман

624.011  
В 46

БИБЛИОТЕКА ВОРОНЕЖСКОГО ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО ИНСТИТУТА

СОВМЕСТНАЯ РАБОТА ГВОЗДЕЙ  
И КРУГЛЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ НАГЕЛЕЙ  
В СОПРЯЖЕНИЯХ ДЕРЕВЯННЫХ  
КОНСТРУКЦИЙ

ТРУДЫ ИНСТИТУТА

СЕРИЯ IV



1960 г.

Хронолог. кат № 58092

СИСТЕМ. КАТ. | ОУД. 624.011  
                  | № В-46

Стоимость \_\_\_\_\_ руб. \_\_\_\_\_ в.

Получ. 193 г. \_\_\_\_\_

MP  
58092  
29142  
128298  
125314

624.011

В461

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Принятые условные и сокращенные обозначения . . . . .	3
Введение . . . . .	5
I. Смешанные сопряжения . . . . .	8
II. Критерии для оценки работы нагельных сопряжений . . . . .	24
III. Испытания сопряжений при кратковременном воздействии нагрузки . . . . .	33
IV. Испытания и сопряжений при длительном воздействии нагрузки . . . . .	55
V. Усиление нагельных сопряжений в напряженном состоянии . . . . .	73
Заключение . . . . .	90
Литература . . . . .	92

Редколлегия: Доц. Е. Е. ДОЛЬСКИЙ (отв. редактор),  
доц. М. А. БУТАЕВ, проф. В. К. ВИЛЬДЕМАН,  
проф. К. А. ЖИЛИНСКИЙ, доц. В. Н. КАРГА-  
ШИНСКИЙ

Отв. редактор С. Я. Данилов.

Техн. редактор М. А. Чесноков.

Корректора В. В. Александрова и Э. А. Заварзина.

Сдано в набор 10/V 1940 г. Подписано к печати 15/VII 1940 г. Формат  
бумаги 42×92<sup>1</sup>/<sub>10</sub>. Тираж 250 экз. Бум. листов 3<sup>3</sup>/<sub>8</sub>. Печати. листов 6<sup>3</sup>/<sub>4</sub>.  
Учетно-авт. листов 7,8. Знаков в бум. листе 108800. Изд. инд. 4-Т.В.  
Изд. № 104. Уполн. обллита № 5404. Заказ № 1827.

Тип. изд-ва „Коммуна“, Воронеж, пр. Революции, 51.

## ПРИНЯТЫЕ УСЛОВНЫЕ И СОКРАЩЕННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ.

### 1. Условные обозначения.

- $a$  — толщина крайней доски сопряжения на нагелях  
 $c$  — толщина средней доски сопряжения на нагелях  
 $d_{\Gamma}$  — диаметр гвоздя  
 $d_n$  — диаметр круглого нагеля  
 $\delta$  — деформация соединения, взаимный сдвиг досок сопряжения  
 $\delta_d$  — деформация при допускаемой нагрузке  
 $\delta_o$  — остаточная деформация  
 $f_{\Gamma}$  — стрела изгиба гвоздя  
 $f_n$  — стрела изгиба нагеля  
 $I_{\Gamma}$  — момент инерции сечения гвоздя  
 $I_n$  — момент инерции сечения круглого нагеля  
 $k_n$  — коэффициент в расчетных формулах для нагельных сопряжений  
 $l_{\Gamma}$  — длина гвоздя  
 $l_n$  — расчетная длина нагеля  
 $M$  — марка, сорт древесины  
 $N$  — действующее усилие  
 $[N]$  — допускаемое усилие  
 $n_{\Gamma}$  — число гвоздей в сопряжении  
 $n_n$  — число нагелей в сопряжении  
 $P$  — нагрузка  
 $P_d$  — допускаемая нагрузка  
 $P_{\delta}$  — нагрузка при деформации  $\delta$   
 $P_{\max}$  — наибольшая нагрузка, достигнутая при испытании  
 $P_y$  — нагрузка во время усиления сопряжения  
 $R_{15}$  — временное сопротивление древесины при влажности 15%

624.011

- $[\sigma_n]_n$  — допускаемое напряжение изгиба в нагеле  
 $[\sigma_{см}]_n$  — допускаемое равномерное смятие древесины нагелем  
 $[\sigma_{см}]_б$  — допускаемое бортовое напряжение смятия древесины нагелем  
 $[\sigma_{см}]_б^0$  — то же поперек волокон  
 $T$  — сдвигающее усилие на один шов сопряжения  
 $[T]$  — допускаемое сдвигающее усилие  
 $[T_r]$  — то же на 1 гвоздь  
 $[T_n]$  — то же на 1 круглый нагель

## 2. Сокращенные обозначения.

- ВИСИ** — Воронежский инженерно-строительный институт  
**в-с** — воздушно-сухая  
**ДК** — деревянные конструкции  
**Круглые нагели** — железные нагели из круглого железа в виде штырей или болтов  
**Нагели** — крепи в сопряжениях, работающие на изгиб при смятии древесины  
**Н и Т У** — Нормы и технические условия Д К 1938 г.  
**ОСТ 7063** — Основные строительные нормы, конструкции деревянные, 1934 г.  
**Принцип дробности** — передача усилий с помощью большого числа крепей или элементов конструкции  
**пс** — полусухая  
**Смешанные сопряжения** — дощатые сопряжения на гвоздях и круглых железных нагелях  
**ТУ и Н** — Технические условия и нормы  
**ТУ 31** — Технические условия и нормы проектирования Д К, 1931 г.  
**ТУ 37** — Проект технических условий и нормы проектирования Д К, 1937 г.  
**ЦБС** — Центральное бюро стандартизации строительной промышленности  
**ЦНИПС** — Центральный научно-исследовательский институт строительной промышленности  
**ЭС** — электросушка древесины током большой частоты.  
 \*Объяснения других обозначений приведены в тексте.

## ВВЕДЕНИЕ.

Сопряжения дощатых конструкций на нагелях получили у нас широкое распространение, благодаря простоте производства работ и надежности этого вида соединений.

На первом месте стоят гвоздевые сопряжения, обладающие рядом ценных свойств.

Для забоя гвоздей не требуется каких-либо сложных приспособлений и высокой квалификации рабочих.

Расход металла незначителен.

Вследствие рассредоточенной передачи усилия многими мелкими крепями, неоднородность древесины и местные дефекты ее играют меньшую роль, чем в соединениях на более крупных нагелях и шпонках.

Гвозди сопротивляются сдвигу одинаково хорошо при всех углах между направлениями действующего усилия и волокон древесины. Это большое преимущество перед другими нагелями для узловых сопряжений.

Благодаря податливости гвоздевых соединений, во многих случаях выравниваются неизбежные неравномерности в работе конструкций, что ведет к взаимопомощи элементов и увеличению запаса прочности.

Деформации гвоздевых сопряжений происходят постепенно, и даже при значительном перенапряжении соединений внезапного обрушения конструкции не бывает.

Гвозди сидят всегда плотно и не дают начальных рыхлых деформаций.

Однако гвоздевые соединения имеют и свои недостатки. К ним надо отнести маломощность гвоздей, ограничивающую их применение в сквозных конструкциях.

Ввиду забоя гвоздей, их расстановка относительно диаметра должна быть более редкая, чем для круглых железных нагелей.

Без риска образования трещин в досках можно забивать обыкновенные цилиндрические гвозди лишь диаметром до 6,5 мм.

Гвоздевые соединения дают длительные деформации, величина которых значительна в сравнении с измеренными

после нагрузки. Приходится ограничиваться усилиями, при которых деформации затухают в пределах, допустимых для конструкций.

В большинстве случаев податливость гвоздевых сопряжений определяет их мощность, а не общий запас прочности, отнесенный к разрушающей нагрузке.

Круглые железные нагели, в виде штырей или болтов, являются более мощными крепями, чем гвозди, так как диаметр их в три-четыре раза больше.

Существенным отличием их от гвоздей является зависимость сопротивления сдвигу от угла, под которым усилие направлено к волокнам древесины.

Характер работы гвоздей и круглых нагелей схож, если последние сидят плотно в своих отверстиях; податливость же последних меньше.

Производство работ для сопряжений на круглых нагелях несколько сложнее, чем для гвоздевых, но оно значительно упрощается при сверлении дыр электродрелью.

При назначении допускаемых усилий, указанных в *ТУ* и *Н* 1931 г., податливость нагельных соединений вообще, и особенно гвоздевых, не была достаточно учтена.

Это привело к тому, что многие деревянные конструкции дали чрезмерные деформации.

В *Н* и *ТУ* 1938 г. допускаемые усилия на гвозди, и отчасти на круглые железные нагели, снижены.

Вследствие этого деформации сопряжений будут меньше; уменьшится и мощность соединений, особенно в сквозных конструкциях, где площадь сплачивания ограничена.

Надо учесть и то, что расчетные снеговые и ветровые нагрузки для некоторых районов придется увеличить против действующих норм.

Ввиду изложенного, заслуживает внимания проблема увеличения мощности гвоздевых сопряжений.

Одним из простых решений ее представляется применение смешанных сопряжений на гвоздях и круглых железных нагелях.

Они встречаются иногда в узлах дощатых конструкций, где стяжной болт ставится, как нагель, вместе с гвоздями.

У многих конструкторов, однако, нет уверенности в рациональности смешанных сопряжений, а некоторые относятся к ним отрицательно.

В *Н* и *ТУ* не имеется соответствующих указаний.

В связи с этим находится и вторая проблема — усиление сопряжений в существующих конструкциях.

Необходимость в этом нередко встречается вследствие ряда причин.

Кроме указанного недостатка *ТУ* и *Н* 1931 г., сюда надо отнести ошибки при проектировании или при производстве

работ, низкое качество материала и необходимость увеличения нагрузки, сверх расчетной.

Для усиления существующих сопряжений на круглых железных нагелях гвозди могут быть забиты между нагелями (если имеется запас в сечениях элементов или в дополнительных накладках). Во многих случаях гвоздевой забой — самое удобное средство усиления конструкций. Для усиления существующих сопряжений на гвоздях могут быть поставлены дополнительные круглые нагели (при наличии запаса в сечениях).

Во время усиления конструкция не всегда может быть разгружена, и приходится ставить дополнительные крепы, когда остальные находятся в напряженном состоянии.

Смешанные сопряжения применялись уже при усилении существующих конструкций и, повидимому, с успехом.

Но отсутствие достаточных опытных данных вызвало и здесь неуверенность.

Нашей целью было внесение большей ясности в отношении работы смешанных сопряжений.

Ввиду сложности работы нагельных сопряжений и несовершенства теории их расчета, исследование приходится вести преимущественно экспериментальным путем.

Это относится в большей степени к смешанным сопряжениям, где осложняющий фактор — совместная работа разных нагелей.

В течение 1936-1937 г. в лабораториях Воронежского инженерно-строительного института был выполнен ряд сравнительных испытаний смешанных и гвоздевых сопряжений.

Полученные результаты позволили сделать положительные выводы о характере работы смешанных сопряжений.

При этих опытах представилась возможность широко использовать для сопряжений доски, высушенные длинноволновыми токами большой частоты.

Изучение проблемы электросушки древесины производилось одновременно с нашим исследованием в электрофизической лаборатории кафедры строительных материалов.

Испытания сопряжений, изготовленных из облученной древесины, явились попутно проверкой — как электросушка влияет на гвоздимость древесины, на обработку ее и на работу нагельных сопряжений.

Ввиду новизны проблемы электросушки древесины, вопрос о применении ее для деревянных конструкций представляет интерес, и мы остановимся на нем в описаниях опытов.

## I. СМЕШАННЫЕ СОПРЯЖЕНИЯ.

Под смешанными сопряжениями мы подразумеваем такие, в которых совместно работают крепи разного вида, но близкие по характеру деформаций.

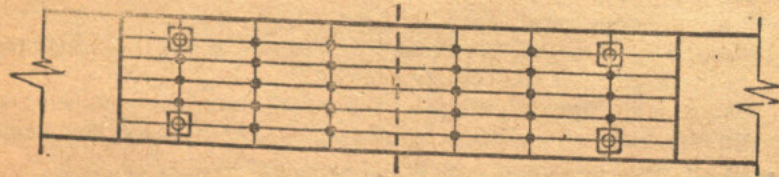


Рис. 1. Стык на гвоздях и круглых нагелях.

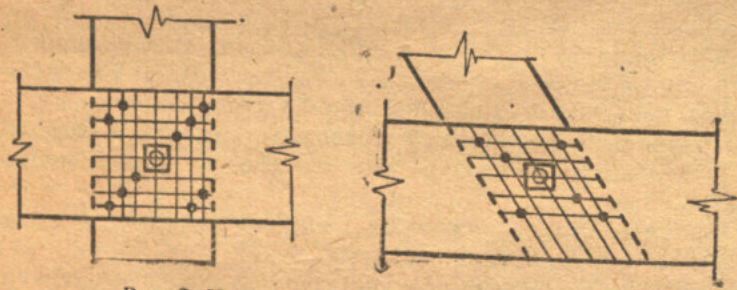


Рис. 2. Узлы на гвоздях и болтовом нагеле.

В нашем случае — это гвозди и круглые железные нагели. Основным случаем являются соединения дощатых конструкций на гвоздях, в которых стяжные болты поставлены как нагели, т. е. сидят плотно в своих отверстиях.

Такие сопряжения получили уже применение в целях увеличения мощности соединения.

Сопротивление круглого железного нагеля в три-четыре раза больше, чем гвоздя.

На рис. 1 указан стык, а на рис. 2 — узел на гвоздях и болтовых нагелях.

Взамен болтовых нагелей могут быть поставлены круглые нагели в виде штырей.

При увеличении числа круглых нагелей допускаемое усилие на сопряжение растет.

На рис. 3 и 4 приведены примеры таких узлов и стыков. Для усиления сопряжений на круглых нагелях в существующей конструкции могут быть забиты дополнительные гвозди, если это допускает сечение элементов (рис. 5 и 6).



Рис. 3. Стыки на гвоздях и круглых нагелях.

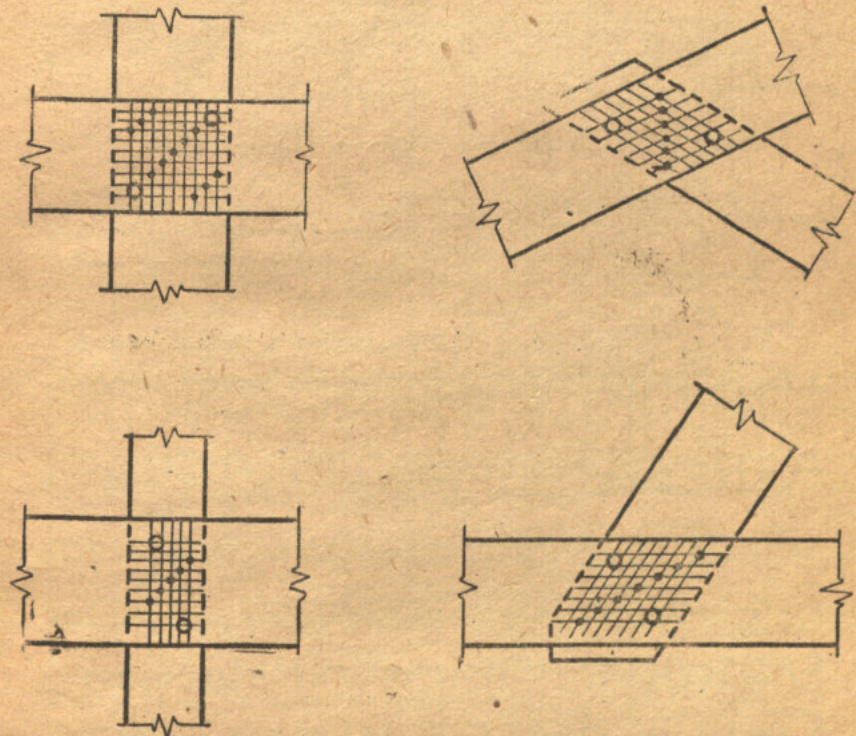


Рис. 4. Узлы на гвоздях и круглых нагелях.

Если нельзя забить достаточного числа гвоздей между круглыми нагелями, то можно усилить сопряжения, в некоторых случаях, другим способом.

На рис. 7 приведен пример усиления стыка на круглых

нагелях, путем перекрытия его дополнительными накладками на гвоздях.

Для усиления существующих сопряжений, гвоздевой за-

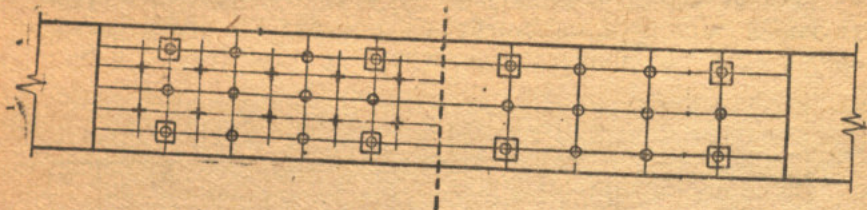


Рис. 5. Усиление стыка на круглых нагелях гвоздевым забоем.

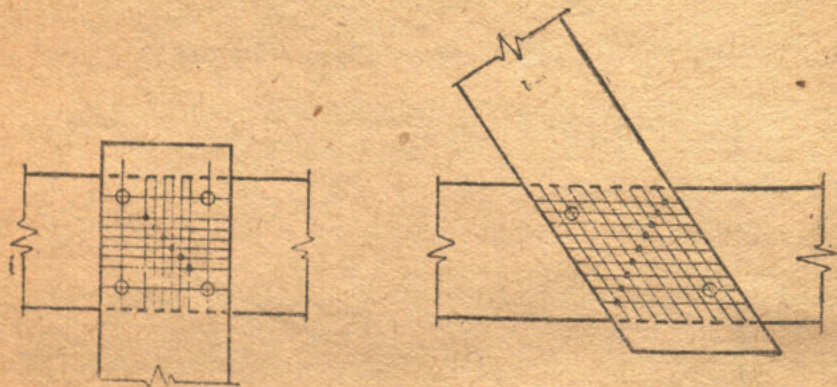


Рис. 6. Усиление узлов на круглых нагелях гвоздевым забоем.

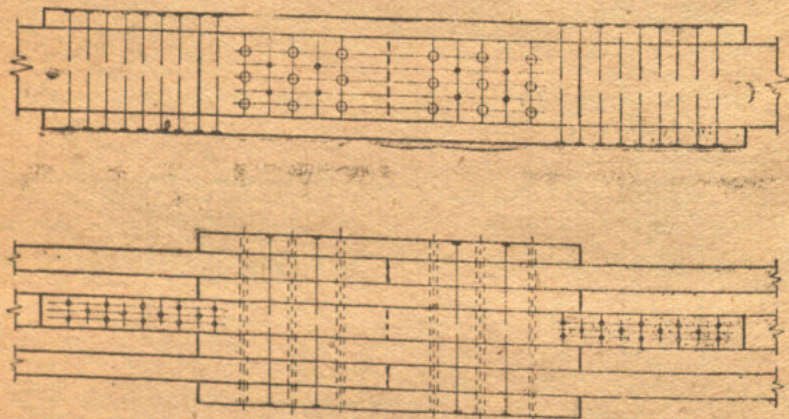


Рис. 7. Усиление стыка на круглых нагелях дополнительными накладками на гвоздях.

бой — самое простое и удобное средство; но можно ставить дополнительно и круглые нагели.

Приведенные примеры смешанных сопряжений на гвоздях и круглых железных нагелях отнюдь не исчерпывают возможные случаи применения их в деревянных конструкциях.

При проектировании смешанных сопряжений надо учесть следующее.

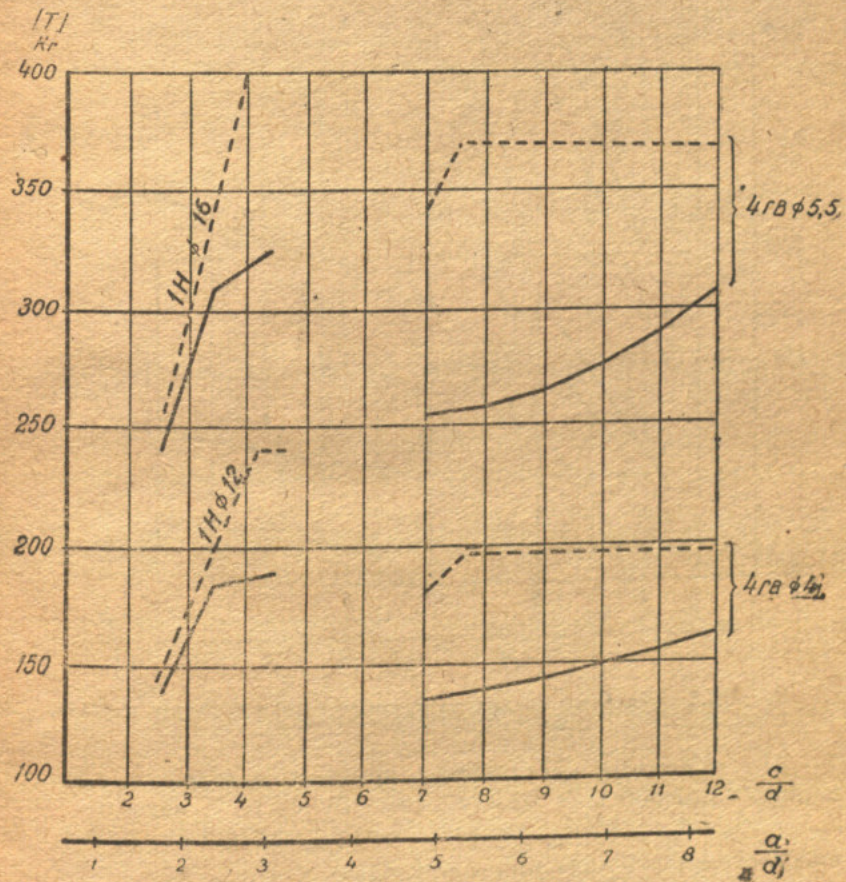
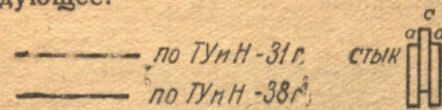


Рис. 8. Допускаемые усилия на круглые нагели и гвозди в стыках.

Круглые нагели на одинаковую площадь сплачивания дают большее сопротивление сдвигу, чем гвозди.

На рис. 8 и 9 даны допускаемые усилия, по Н и ТУ 1938 г. на круглые нагели и на гвозди, при отношении диаметров их около 3.

В стыках усилие на 1 нагель больше, чем усилие на 4 гвоздя, а в узлах, при  $\alpha = 90^\circ$ , оно приблизительно равно усилию на 3 гвоздя.

Разница в допускаемых усилиях в пользу круглых нагелей по Н и ТУ 1938 г. несколько больше, чем по ТУ и Н 1931 г.

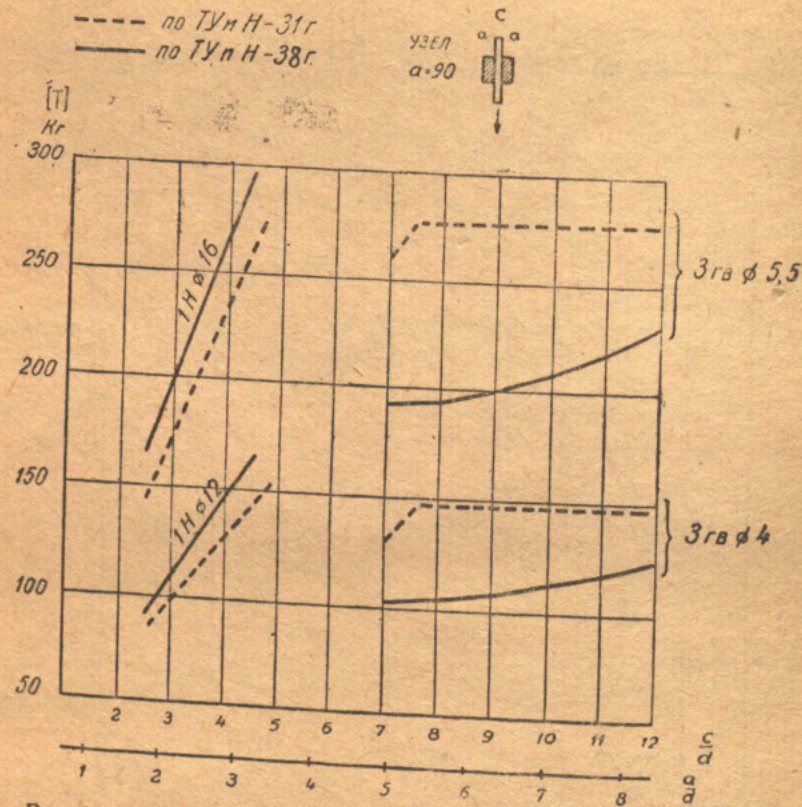


Рис. 9. Допускаемые усилия на круглые нагели и гвозди в узлах.

По правилам расстановки круглых нагелей и гвоздей площади сплачивания между осями будут на 1 нагель:  $F_n = 3d_n^2$ , а на 1 гвоздь, при косых рядах или шахматном расположении, в среднем:

$$F_r = 3d_r \frac{(15+20)}{2} d_r = 52,5 d_r^2.$$

Принимая во внимание, что 4 гвоздя эквивалентны одному круглому нагелю, получаем при

$$\frac{d_n}{d_r} = 3$$

отношение площадей:

$$\frac{4F_r}{F_n} = \frac{4 \cdot 52,5}{15 \cdot 32} = 1,3 > 1.$$

Если 1 круглый нагель заменяет меньше 4 гвоздей, то и отношение площадей уменьшится.

Величина площадей между осями нагелей торцом и кромками досок больше, чем для гвоздей, но постановка круглых нагелей в смешанных сопряжениях может дать увеличение мощности.

Расход металла при мелких нагелях вообще меньше, чем при крупных. Усилие, которое может быть принято на единицу веса, больше для гвоздей, чем для круглых нагелей.

Гвоздевые соединения обходятся дешевле и вследствие простоты производства работ.

Легче забить 3—4 гвоздя, чем высверлить отверстие, тщательно подобрать круглый нагель и установить его.

Гвозди дают большую податливость сопряжений, чем круглые нагели.

Все перечисленные факторы могут быть учтены при проектировании для обоснования целесообразности смешанных сопряжений в конструкциях.

Но остается ряд существенных вопросов, требующих освещения для устранения неуверенности при применении этих сопряжений.

Вопросы эти можно формулировать так:

1. Следует ли рассчитывать смешанные сопряжения по сумме допускаемых усилий на гвозди и на круглые нагели согласно норм или же надо вводить поправочные коэффициенты?
2. Как влияет совместная работа гвоздей и круглых нагелей на деформации сопряжений?
3. Какая рациональная толщина круглых нагелей в смешанных сопряжениях?
4. Какие должны быть приняты правила расстановки в отношении расстояния между круглыми нагелями и гвоздями вдоль и поперек волокон?
5. Можно ли при усилении существующих конструкций забивать дополнительные гвозди или ставить круглые нагели, если сопряжение находится в напряженном состоянии?

На основании данных о работе сопряжений на гвоздях и круглых нагелях, а также некоторых теоретических соображений, представлялось возможным сделать предварительные выводы о смешанных сопряжениях.

Имелся довольно обширный материал, отчасти опубликованный, о результатах лабораторных исследований нагельных сопряжений и испытаний целых конструкций, а также опытные данные о поведении нагельных соединений в сооружениях, при длительном действии нагрузки.

Имелся довольно обширный материал, отчасти опубликованный, о результатах лабораторных исследований нагельных сопряжений и испытаний целых конструкций, а также опытные данные о поведении нагельных соединений в сооружениях, при длительном действии нагрузки.



Характер работы гвоздей и круглых нагелей, по виду диаграмм деформации, весьма схож.

Главным фактором является смятие древесины, а вторым — изгиб нагелей.

При забое гвоздей сопротивление древесины смятию иное, чем в сверленных отверстиях круглых нагелей.

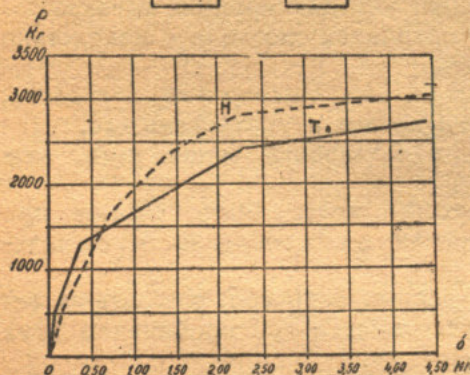
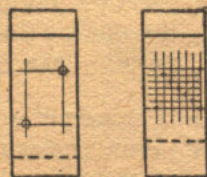


Рис. 10. Кривые деформации стыков на гвоздях и на круглых нагелях.

Если выразить расчетные усилия как функции диаметров в виде:

$$[T] = A d^2$$

или

$$[T] = B d,$$

то коэффициенты  $A$  и  $B$  будут различные для гвоздей и для круглых нагелей.

Это видно и по кривым в графиках на рис. 8 и 9.

Несмотря на это различие, разнородные нагели могут хорошо совместно работать, благодаря своей податливости.

Однородные нагели работают тоже неодинаково в сопряжении, так как сопротивление смятию древесины различно в сердцевинной и ядровой частях. Но характер работы тот же, и допускаемое усилие определяется как средняя для всех нагелей величина.

Кривые деформации сопряжений на гвоздях и сопряжений на круглых нагелях, близких по мощности, отличаются большей частью незначительно.

Моменты сопротивления и инерции гвоздей значительно меньше, чем более толстых нагелей, но холодно тянутый металл гвоздей имеет более высокое временное сопротивление и предел текучести.

Влияние совокупности этих факторов, отчасти противоречивых, довольно значительное.

Практически это отражается в расчетных формулах допускаемых усилий, которые имеют разные коэффициенты, и допускаемых напряжений для гвоздей и для круглых нагелей.

На рис. 10 и 11 показаны сравнительные диаграммы, полученные нами при лабораторных испытаниях симметричных стыков и узлов, равномошных по расчетным усилиям.

Если круглые нагели сидят плотно, то начальные сдвиги досок почти такие же, как при гвоздях, или несколько меньше.

В противном случае получается начальная рыхлая деформация, и кривая имеет обратный выгиб, как показано на рис. 12.

При совместной работе гвоздей и круглых нагелей в смешанных сопряжениях явление осложняется.

В начальных стадиях нагрузки, пока гвозди и круглые нагели имеют упругие деформации, распределение усилия между ними будет зависеть от соотношения их числа и диаметра, а также и от их податливости. Если нагрузка пропорциональна диаметру, то изгиб круглых нагелей, момент инерции которых значительно больше, чем гвоздей, должен быть меньше.

Изгиб нагелей вызывает неравномерное смятие древесины, и по достижении им некоторой величины начинаются пластические деформации.

Податливость сопряжений зависит от относительной гибкости нагелей, но влияют и другие факторы, как сопротивление смятию, при действии усилия вдоль волокон или под углом, и качество металла нагелей.

Определим приблизительно отношение изгибов гвоздей и круглых нагелей при совместной работе в симметричном стыке.

В некоторой стадии нагрузки относительно толстый нагель будет работать почти равномерно; изгиб его и степень защемления в накладках будут весьма малы.

Относительно тонкий гвоздь будет работать неравномерно; изгиб его и степень защемления концов будут больше. Допустим, что распределение давления на круглый нагель и на гвоздь соответствует схемам, указанным на рис. 13.

Для упрощения примем, что распределение давления на

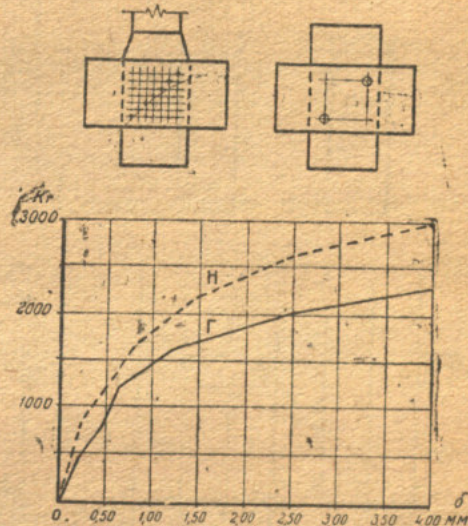


Рис. 11. Кривые деформации узлов на гвоздях и на круглых нагелях.

круглый нагель равномерно, а на гвоздь — в виде треугольников, по схемам на рис. 14.

Мы можем рассматривать круглый нагель как свободно

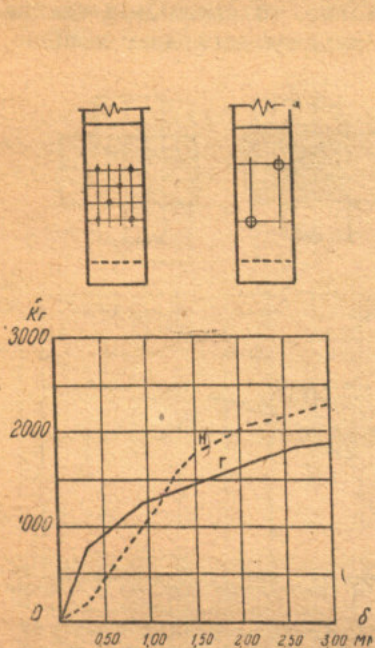


Рис. 12. Кривые деформации стыка на гвоздях и стыка на неплотнотсящих круглых нагелях.

лежащую балку, с пролетом  $l_1$ , нагруженную равномерно по середине на протяжении  $c$ .

При

$$a = c \text{ и } l_1 = 2c$$

прогиб нагеля будет:

$$f_H \approx \frac{P_H c l_1^2}{24 E I_H} \left( 1 + \frac{c}{l_1} - \frac{c^2}{l_1^2} \right) 1,5$$

$$f_H = \frac{7,5 P_H l_1^3}{384 E I_H} \quad (1)$$

Гвоздь можно рассматривать как балку с пролетом

$$l_2 = \frac{5}{3} c,$$

концы которой упруго зашпемлены в крайних досках.

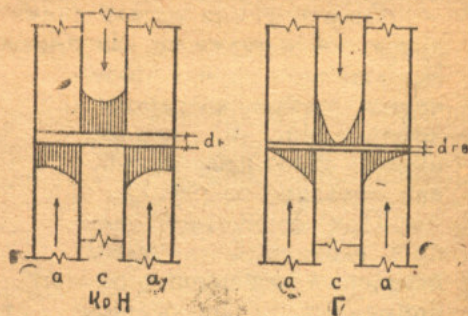


Рис. 13. Схемы распределения давления на круглый нагель и на гвоздь.

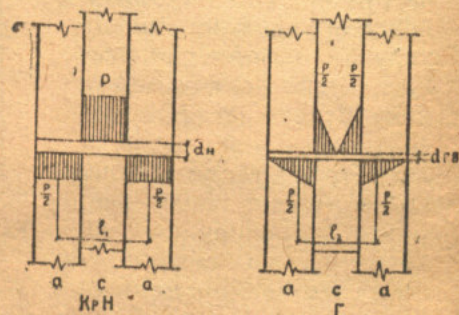


Рис. 14. Упрощенные схемы распределения давления.

Взамен распределения нагрузки по двум треугольникам можно, с достаточной точностью, принять две сосредоточенные силы, приложенные в центрах тяжести их, т. е. в расстоянии  $\frac{c}{6}$  от шва.

Расстояние от силы до опоры будет:

$$\frac{c}{6} + \frac{c}{3} = \frac{c}{2} = \frac{3}{10} l_2.$$

Прогиб гвоздя составит:

$$y_{\max} = y' - y'',$$

где  $y'$  — прогиб свободно лежащей балки, а  $y''$  — изгиб от опорных моментов.

$$y' = \frac{P_r 3 l_2^2}{2 \cdot 6 \cdot 10^3 E I_2} \left( 3 l_2 - \frac{4 \cdot 3 l_2}{10} \right);$$

$$y' = \frac{27}{2000} \frac{P_r l_2^3}{E I_r},$$

$$y'' = \frac{27 P_r l_2^3}{2000 \cdot E I_r}.$$

Опорный момент будет:

$$M_0 = K \frac{P_r 3 l_2 \cdot 7 l_2}{2 \cdot 10 \cdot 10 I_r}.$$

Приняв ориентировочно степень зашпемления

$$K = 0,8,$$

получаем:

$$M_0 = \frac{168}{2000} \cdot P_r l_2;$$

$$y'' = \frac{M_0 l_2^2}{8 E I_r} = \frac{168 P_r l_2^3}{2000 \cdot 8 E I_r} = \frac{21 P_r l_2^3}{2000 E I_r};$$

$$y_{\max} = \frac{27 P_r l_2^3}{2000 E I_r} - \frac{21 P_r l_2^3}{2000 E I_r} = \frac{3 P_r l_2^3}{1000 E I_r} \quad (2)$$

Стрела изгиба гвоздя для хорды  $l_1$  получится, если считать кривую квадратной параболой, из отношения:

$$\frac{f_r}{y_{\max}} = \frac{l_1^2 \cdot 2^2}{2^2 \cdot l_2^2} = \frac{6^2}{5^2} = 1,44.$$

Отсюда находим из (1) и (2) отношение прогибов гвоздя и круглого нагеля:

$$\frac{f_r}{f_H} = \frac{1,44 \cdot 3 \cdot 384 P_r \cdot 5^3 l_1^3 E I_H}{1000 \cdot 7,5 \cdot 6^3 E I_r P_H l_1^3};$$

$$\frac{f_r}{f_n} = 0,19 \frac{P_r l_n}{P_n l_r} \quad (3)$$

Допустив, что усилие распределяется пропорционально диаметрам и числу гвоздей и круглых нагелей, получаем:

$$\frac{P_r}{P_n} = \frac{n_r d_r}{n_n d_n},$$

откуда

$$\frac{f_r}{f_n} = 0,19 \frac{n_r d_r n_n d_n^4}{n_n d_n n_r d_r^4}$$

$$\frac{f_r}{f_n} = 0,19 \frac{d_n^3}{d_r^3}.$$

При отношении диаметров:

$$\frac{d_n}{d_r} = 3$$

$$\frac{f_r}{f_n} = 0,19 \cdot 3^3 \approx 5.$$

Величина эта лишь ориентировочная, ввиду сделанных допущений, но она указывает на то, что круглые нагели должны уменьшать податливость смешанных сопряжений, в сравнении с чисто гвоздевыми.

По мере увеличения нагрузок на сопряжение, отношение прогибов нагелей будет вообще меняться.

Когда напряжение в гвоздях достигнет предела текучести, то сопротивление их начнет уменьшаться, и возрастет нагрузка на круглые нагели и их прогиб.

Если в такой стадии прекратить нагрузку и после разгрузки разрезать сопряжение, то гвозди должны иметь остаточный прогиб, а круглые нагели — нет.

Когда напряжение и в круглых нагелях достигнет предела текучести, то это будет критическая нагрузка сопряжения, после которой деформации его быстро увеличатся.

Если разгрузить сопряжение после достижения критической нагрузки, то гвозди и круглые нагели должны иметь остаточные прогибы разной величины. В случае же дальнейшей нагрузки прогибы будут постепенно выравниваться, пока не наступит полное расстройство сопряжения.

Разрушение нагельных соединений вызывается одной из следующих причин.

1) Большим взаимным сдвигом досок, вследствие смятия древесины и изгиба нагелей.

2) Раскалыванием досок по линии нагелей, что обычно имеет место при относительно жестких нагелях.

3) Разрывом досок, вследствие наличия дефектов древесины или чрезмерного ослабления сечения.

Гвоздевые сопряжения обычно разрушаются по первой причине и имеют высокий коэффициент надежности.

Узлы на круглых нагелях разрушаются как по первой, так и по второй причине, а более жесткие стыки — преимущественно вследствие раскалывания средней доски. Степень надежности последних меньше.

Это должно иметь место и в смешанных сопряжениях, но в меньшей мере, благодаря участию в работе гвоздей.

Для увеличения мощности смешанных сопряжений и уменьшения деформаций, при допустимой нагрузке, желательно увеличить диаметр круглых нагелей, но это ограничивается необходимой степенью надежности.

Рациональность этих сопряжений будет зависеть от надлежащего выбора диаметра круглых нагелей.

В существующих сквозных дощатых конструкциях в стыках обычно ставились круглые нагели с отношением:

$$\frac{c}{d_n} > 3,5.$$

Однако встречаются и более жесткие сопряжения, которые при удовлетворительном качестве древесины работают хорошо в течение продолжительного времени.

В последние годы имеется тенденция к уменьшению жесткости стыков на круглых нагелях для увеличения запаса прочности.

В узлах дощатых конструкций на гвоздях встречаются болты, поставленные по расчету как нагели, при отношении:

$$\frac{c}{d_n} = \text{около } 3,$$

а иногда и меньше. Совместная работа их с гвоздями, по-видимому, хорошая.

Расстановка гвоздей и круглых нагелей в смешанных сопряжениях может быть сделана на основании следующих соображений.

Для смешанных сопряжений желательно применять установленные в *H* и *TU* правила расстановки, взяв между гвоздями и круглыми нагелями полусумму соответствующих величин:

$$S_{см} = \frac{S_r + S_n}{2} \quad (4)$$

Это относится к расстановке как вдоль, так и поперек волокон. Введение новых правил и формул для разбивки нагелей в смешанных сопряжениях затруднило бы и без того сложное проектирование деревянных конструкций.

Применяя формулу (4), определим расстояние вдоль волокон между осями гвоздя и круглого нагеля:

$$S_1 = \frac{\left( 31,7 - 1,67 \frac{c}{d_r} \right) d_r + 6d_n + 0,05 [\Sigma(a+c) - 10d_n]}{2} \quad (5)$$

для  $\frac{c}{d_r} =$  от 4 до 10 и  $\Sigma(a+c) \gg 10d_n$ ,

где  $a$  и  $c$  толщины крайних и средней досок.

Для  $\frac{c}{d_r} = 10$  и  $\Sigma(a+c) = 10d_n$

получим:

$$S_1 = \frac{15d_r + 6d_n}{2}$$

При отношении:

$$\frac{d_n}{d_r} = m$$

$$S_1 = \frac{(15 + 6m)d_r}{2}$$

В таблице 1 указаны величины  $S_1$  как функции от  $d_r$  и  $d_n$  для разных отношений диаметров гвоздя и круглого нагеля.

Таблица 1.

$\Sigma(a+c) = 10d_n$			Расстояние вдоль волокон	
$\frac{c}{d_r}$	$m = \frac{d_n}{d_r}$	$\frac{c}{d_n}$	$S_1$	
10	2,5	4	$15d_r$	$6d_n$
"	3,0	3,3	$16,5d_r$	$5,5d_n$
"	3,5	2,9	$18d_r$	$5,1d_n$

Если отношение  $\frac{c}{d_r} < 10$ , то расстояние  $S_1$  увеличивается, например, при  $\frac{c}{d_r} = 8,8$

$$S_1 = \frac{(17 + 6m)d_r}{2}$$

Для  $m = 2,5$

получаем:  $\frac{c}{d_n} = 3,5$

$$S_1 = 16d_r = 6,4d_n$$

При толщине пакета досок в сопряжении

$$\Sigma(a+c) > 10d_n$$

растет последний член в числителе уравнения (5) и также увеличивается расстояние.

Для  $\frac{c}{d_r} > 10$  и  $\Sigma(a+c) = 30d_n$

получим из формулы (5):

$$S = \frac{15d_r + 7d_n}{2}$$

и при  $\frac{d_n}{d_r} = m$

$$S = \frac{(15 + 7m)d_r}{2}$$

В таблице 2 указаны расстояния  $S_1$ , при разных отношениях  $m$ .

Таблица 2.

$\Sigma(a+c) = 30d_n$			Расстояние вдоль волокон	
$\frac{c}{d_r}$	$m = \frac{d_n}{d_r}$	$\frac{c}{d_n}$	$S_1$	
10	2,5	4	$16,2d_r$	$6,5d_n$
"	3	3,3	$18d_r$	$6d_n$
"	3,5	2,9	$19,8d_r$	$5,6d_n$

Для соотношений, указанных в таблицах 1 и 2, расстояние между осями гвоздя и круглого нагеля вдоль волокон колеблется между  $15d_r$  и  $20d_r$  и между  $5d_n$  и  $6,5d_n$ .

Наименьшие величины  $15d_r$  и  $5d_n$  можно считать допустимыми, ввиду значительной разницы между диаметрами гвоздя и нагеля.

Применяя формулу (4) для расстояния между гвоздями и круглыми нагелями поперек волокон, при шахматной расстановке или косыми рядами (рис. 15), мы получим:

$$S_2 = \frac{3d_r + 3d_n}{2} \quad (6)$$

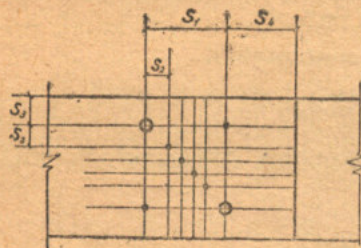


Рис. 15. Взаимное расстояние между гвоздями и круглыми нагелями

В таблице 3 приведены величины  $S_2$  для разных отношений:

$$\frac{d_n}{d_r} = m$$

$$S_2 = \frac{3d_r(1+m)}{2}$$

Таблица 3.

$m = \frac{d_n}{d_r}$	Расстояние поперек волокон $S_2$	
2,5	$5,3 d_r$	$2,1 d_n$
3	$6,0 d_r$	$2,0 d_n$
3,5	$6,8 d_r$	$1,9 d_n$

При косо́й расстановке под углом  $\alpha = 45^\circ$  наименьшее расстояние между осью гвоздя и поверхностью нагеля будет:

$$l = \frac{1,9}{0,71} d_n - 0,5 d_n = 2,2 d_n.$$

Для  $d_n = 14$  мм это дает  $l = 31$  мм.

При таком расстоянии гвоздь удобно забить рядом с нагелем и не приходится опасаться, что они коснутся, вследствие отклонения при забое или увода при сверлении.

Если угол  $\alpha > 45^\circ$ , то расстояние поперек волокон должно быть:

$$S_2 \geq \frac{4d_r + 3d_n}{2} \quad (7)$$

$$S_2 \geq \frac{(4+3m)d_r}{2}$$

При прямых рядах расстояние от гвоздя до поверхности нагеля составит для  $m = 3,5$

$$l = 2,1 d_n - 0,5 d_n = 1,6 d_n.$$

Если  $d_n = 14$  мм, получается  $l = 22$  мм, что значительно меньше, чем при косо́й расстановке.

В смешанных сопряжениях предпочтительны шахматная или косая расстановки.

В случаях прямой расстановки лучше не применять минимальных допустимых расстояний поперек волокон по формуле (7).

При производстве работ могут быть раньше забиты гвозди и затем поставлены круглые нагели, или же забиты гвозди после постановки круглых нагелей.

На основании изложенных выше соображений представляется возможным высказать следующие тезисы:

1. Смешанные сопряжения могут быть рассчитаны по сумме допускаемых усилий, определенных для гвоздей и круглых нагелей, согласно НИТУ 1938 г.

2. Деформации смешанных сопряжений в пределах пропорциональности их усилиям должны быть несколько меньше, чем гвоздевых, если круглые нагели сидят плотно в своих отверстиях.

3. Степень надежности смешанных сопряжений, отнесенная к разрушающей нагрузке, будет лежать между степенями надежности сопряжений на одних гвоздях и на одних круглых нагелях.

4. В смешанных сопряжениях рационально применять круглые нагели, диаметр которых от 2,5 до 3,5 раз больше диаметра гвоздей.

5. Расстановка гвоздей и круглых нагелей в смешанных сопряжениях может быть сделана со взаимными расстояниями между ними, равными полусумме расстояний, определенных для гвоздей и для круглых нагелей.

Для экспериментальной проверки этих положений нами был проведен ряд лабораторных испытаний смешанных сопряжений.

Параллельно проводились подобные же испытания сопряжений на одних гвоздях, при возможно одинаковых условиях.

Метод сравнения смешанных сопряжений с гвоздевыми был принят с тем, чтобы выводы на основании немногочисленных опытов получили достаточную для практических целей убедительность.

Гвоздевые сопряжения уже обстоятельно изучены на основании больших экспериментальных работ ЦНИПС.

Имеются также много данных о работе дощатых конструкций на гвоздях, позволяющих судить о свойствах гвоздевых сопряжений.

Выполненные нами лабораторные испытания сопряжений можно подразделить на следующие группы:

а) Испытания на сжатие и на растяжение в универсальной машине Амслера.

б) Испытания сопряжений на растяжение, при длительном воздействии нагрузки.

Вслед за этими испытаниями, в целях освещения вопроса об усилении существующих конструкций, были проведены:

в) Испытания в машине Амслера сопряжений, усиленных в напряженном состоянии, путем дополнительной забивки гвоздей или постановки круглых нагелей.

Описание этих экспериментальных работ и оценка полученных результатов изложены в следующих главах.

## II. КРИТЕРИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ РАБОТЫ НАГЕЛЬНЫХ СОПРЯЖЕНИЙ.

Работа нагельного сопряжения может быть оценена по величине нагрузки, при которой оно расстраивается, или по величине деформации, соответствующей определенной нагрузке.

Максимальная нагрузка, получаемая при лабораторном испытании, обычно совпадает с концом стадии расстройств сопряжения. Она соответствует окончательному разрушению, если последнее вызывается раскалыванием досок. Это часто имеет место в сопряжениях на круглых нагелях, особенно в растянутых стыках.

Если доски не раскалываются, то и после достижения максимальной нагрузки сопряжение продолжает работать на смятие древесины, при постепенно уменьшающемся усилии и все возрастающей деформации.

Такое явление наблюдается при испытаниях гвоздевых соединений.

Начало расстройств нагельных сопряжений наступает значительно раньше достижения максимальной нагрузки.

Оно соответствует нагрузке, при которой напряжения в древесине и в нагелях достигли предела текучести, и вследствие этого начинается быстрое увеличение деформации.

Нагрузку эту можно считать критической, но определить ее величину затруднительно, так как при нескольких нагелях диаграмма деформаций имеет обычно вид плавной кривой, без точек перелома.

Путем испытания ряда однообразных сопряжений можно найти нагрузку, при которой в нагелях будут остаточные деформации от изгиба. Для этого приходится последовательно нагружать сопряжения до разных ступеней, а затем, после разгрузки, разрезать доски по линиям нагелей и делать промеры их прогибов.

Нагрузку, после которой во всех нагелях будут небольшие остаточные деформации, можно считать близкой к критической.

Способ этот требует изготовления значительного числа одинаковых сопряжений для получения средних величин, и результаты испытаний будут более или менее приближенные.

Значительно проще находить нагрузки, соответствующие заданным величинам сдвига досок сопряжения во время испытания.

Это можно сделать с желательной точностью, путем измерения сдвигов при нагрузке по ступеням и нахождения промежуточных величин интерполяции.

Наконец, можно определить сдвиг досок сопряжения при допускаемой нагрузке.

Эти величины могут быть показательными для характера работы сопряжений и служить для сравнения их достоинств и недостатков.

При этом желательно по возможности устранить влияние неоднородности древесины и других побочных факторов, затемняющих отличие в работе разных нагельных соединений.

Трудно изготовить несколько сопряжений из одной доски или из одного кряжа так, чтобы в них древесина имела одинаковую твердость, а при значительном числе сопряжений невозможно иметь однородную древесину.

Если испытания производятся одновременно, то и влажность древесины будет большей частью разная, а влияние ее на деформации довольно большое.

Неоднородность древесины дает большую разбросанность тех величин, которые определяются при испытаниях.

При выполнении значительного числа опытов средние величины получаются достаточно показательными.

В нашем исследовании для учета влияния качества древесины на результаты введены соответствующие поправочные коэффициенты.

Для оценки работы нагельных сопряжений нами приняты отношения величин нагрузок, определенных при испытаниях, к допускаемым нагрузкам на эти сопряжения, исчисленным по Н и Т У.

Этот общий знаменатель является условной величиной, но имеет следующие достоинства. Он основан на большом экспериментальном изучении в ЦНИПС сопряжений на гвоздях и сопряжений на круглых железных нагелях.

С другой стороны, допускаемые усилия являются основой для расчета сопряжений в конструкциях.

Поэтому отношения вида

$$\frac{P}{P_d}$$

имеют практическое значение как показатели относительной жесткости и прочности сопряжений.

Для смешанных сопряжений допускаемые нагрузки определены как сумма нагрузок, рассчитанных на гвозди и на круглые нагели:

$$P_d = \Sigma [T_g] + \Sigma [T_n].$$

Для оценки работы смешанных сопряжений принято сравнение величин

$$\frac{P_n}{P_d},$$

полученных при испытании их и при испытании гвоздевых сопряжений.

Нагрузки  $P_n$  взяты для сдвигов, равных 0,5 мм, 1,0 мм и 1,5 мм. В этих пределах находится критическая нагрузка.

Отношения  $\frac{P_n}{P_d}$  в начальной стадии деформации показательны для жесткости соединения.

Подобным же показателем является величина сдвига при допускаемой нагрузке  $P_d$ .

Сравнение отношений  $\frac{P_{max}}{P_d}$

даст запас прочности, отнесенный к разрушающей нагрузке.

Все эти величины зависят более или менее от длительности действия нагрузки, поэтому скорость приложения нагрузки должна быть, для возможности сравнения работы, одинаковая.

При длительном действии нагрузки являются еще другие показатели работы сопряжений на нагелях.

Это упругие и пластические деформации от последствий.

Величина их и скорость затухания характеризуют податливость сопряжений.

Результаты сравнения зависят от условий выполнения опытов, тщательности изготовления сопряжений и точности измерений деформации.

С другой стороны, принятые нами для сравнения показатели зависят от соответствия допускаемых нагрузок  $P_d$  действительной работе нагелей.

Попытки решения задачи о работе нагеля в сопряжении по методу расчета балки на упругом основании, сделанные разными авторами, не дали практических результатов.

Взаимная зависимость между смятием древесины и изгибом нагеля, защемление нагеля в крайних досках и неопределенность изменчивого коэффициента постели древесины делают эту задачу слишком сложной.

Поэтому для расчета нагельных сопряжений пришлось применить упрощенные методы, более соответствующие такому неоднородному материалу, как дерево.

Были предложены разные способы решения по формулам равномерного или неравномерного сжатия древесины нагелем. Так как в этих решениях имелось всегда больше неизвестных, чем уравнений, то делались разные произвольные до-

пущения, например, об одновременном достижении в нагеле и в древесине допускаемых или критических напряжений.

В зависимости от условности принятых допущений и схемы распределения давления нагеля на древесину, такие решения давали приближенные результаты, которые лишь отчасти совпадали с данными, полученными при испытаниях сопряжений.

Для лучшего согласования расчетных формул с опытными данными пришлось ввести эмпирические коэффициенты, зависящие от вида нагелей и от материала.

Некоторые исследователи вопроса о расчете нагельных сопряжений предложили формулы простейшего вида:

$$P_d = k_1 c d$$

$$\text{или } P_d = k_2 d^2,$$

основанные только на экспериментальных данных.

В этих формулах коэффициенты подбирались так, чтобы допускаемая нагрузка составляла определенную часть от максимальной или соответствовала определенной величине допускаемого сдвига досок сопряжения.

Такие формулы могут дать хорошие результаты, если они основаны на средних величинах, полученных из большого числа испытаний разнообразных сопряжений, с правильным учетом деформации и при длительном действии нагрузки.

Широкое применение деревянных конструкций с нагельными сопряжениями в первую пятилетку вызвало необходимость углубленного изучения вопроса о расчете их.

Это выполнено в экспериментально-теоретическом исследовании, продолжавшемся в течение ряда лет в ЦНИПС.

Изложенный в ТУ и Н 1931 г. способ расчета нагельных сопряжений был основан на первом этапе этого исследования.

Расчетные формулы для цилиндрических нагелей имеют такой вид:

$$[T]_n = k_n d^2 \sqrt{[\sigma_n][\sigma_{cm}]_{нз}} \quad (8)$$

$$[T]_n = k_c c d [\sigma_{cm}]_{нз} \quad (9)$$

$$[T]_n = k_a a d [\sigma_{cm}]_{нз} \quad (10)$$

Допускаемое усилие на один срез берется наименьшее из полученных по трем формулам.

При отношениях  $\frac{c}{d_n}$  или  $\frac{a}{d_n}$  меньших определенных величин для каждого вида сопряжений решающим является только смятие древесины, и применяются формулы (9 или 10).

При выводе формул было сделано допущение, что в сопряжении одновременно достигается допустимое напряжение смятия древесины и допустимое напряжение на изгиб нагеля.

Результаты расчета по формуле (9 и 10) согласуются неплохо с экспериментальными данными, но по мере увеличения относительной толщины досок получается несоответствие.

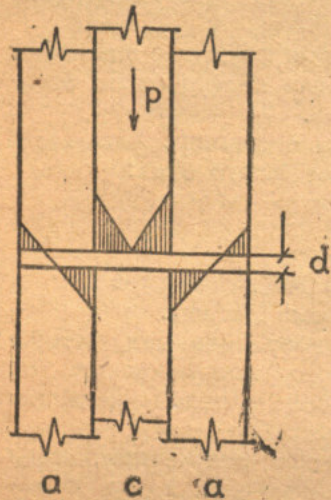


Рис. 16. Рабочая схема распределения давления.

Во многих случаях формулы дают слишком большие допускаемые усилия для гвоздевых сопряжений и для стыков на круглых нагелях.

Это сказывается особенно при расчете допускаемых усилий на гвозди по формуле (8), если толщина средней доски в 8—10 раз больше диаметра гвоздя.

Податливость гвоздевых сопряжений не была достаточно учтена.

Опыт показал, что деформации многих гвоздевых конструкций, при длительном действии нагрузок, были значительно больше, чем ожидалось.

Это привело в некоторых случаях к потере устойчивости конструкций.

В проекте *H* и *TU*, составленном ЦНИПС в 1937 г., в расчет нагельных сопряжений были внесены существенные изменения.

На основании произведенного исследования был принят новый метод расчета. Соответствующая рабочая схема распределения давления на нагель и напряжения смятия древесины для симметричного сопряжения указана на рис. 16.

Установлена в общем случае одна расчетная формула (11), выведенная упрощенным методом, исходя из неравномерного сжатия заделанным в древесине нагелем:

$$[T]_H = k_H l_H d_H [\sigma_{см}]_6 \quad (11)$$

Вместо среднего допускаемого напряжения смятия на рабочей длине введено допускаемое бортовое напряжение смятия. Расчетная длина нагеля в симметричных двухсрезах соединениях равна:  $l_H = 0,5c$ .

Коэффициент  $k_H$  зависит от толщины досок, диаметра нагеля и отношения допускаемых напряжений:

$$\frac{[\sigma_H]_H}{[\sigma_{см}]_6}$$

В таблицах 4 и 5 приведены расчетные величины для

определения допускаемых усилий на круглые железные нагели и гвозди.

Таблица 4.

Расчетные величины	Круглые железн. нагели	Гвозди
$[\sigma_H]_H$	1350	3750
$[\sigma_{см}]_6$	150	150
$\sqrt{\frac{[\sigma_H]_H}{[\sigma_{см}]_6}}$	3	5

Таблица 5.

$\frac{c}{d}$	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,4
$k_H$	0,50	0,46	0,43	0,40	0,38	0,36	0,34	0,33	0,32	0,31	0,29	0,28

Если толщина крайних досок равна  $a \geq 0,6c$ , то сопряжения рассчитываются по формуле:

$$[T_H] = k_H \frac{c}{2} d_H [\sigma_{см}]_6 \quad (12)$$

Для элементов, в которых смятие древесины происходит поперек волокон, допускаемое бортовое напряжение зависит от диаметра нагелей, согласно таблице 8.

Для гвоздей допускаемое смятие вдоль и поперек волокон одинаковое.

Таблица 6.

Диаметр нагеля в мм	< 6,5	8	10	12	12,5	14	15	16	18	20
	$[\sigma_{см}]_{6,90}$ кг/см <sup>2</sup>									
<i>v</i> — сосна	150	105	80	72	70	67	65	64	62	60



В двух срезных узлах, где крайние доски сминаются под углом  $\alpha$ , допускаемое усилие на круглый нагель должно быть рассчитано по формуле:

$$[T_H] = 0,5 a d_H [\sigma_{см}]_{6\alpha} \quad (13)$$

и проверено по формулам (15) и (17)

$$[T_H] = 0,4 d_H^2 \sqrt{[\sigma_H]_H [\sigma_{см}]_{6\alpha}} \quad (14)$$

Из трех величин, как расчетная, берется наименьшая.

Формула (14) будет решающей для относительно тонких нагелей.

Приравняв уравнения (13) и (14), мы получаем отношения толщины крайних досок к диаметру нагеля, при которых должна быть учтена гибкость последнего:

$$\frac{a_H}{d_H} = 0,8 \sqrt{\frac{[\sigma_H]_H}{[\sigma_{см}]_{6\alpha}}}$$

В таблице 7 приведены отношения  $\frac{a}{d_H}$  для узлов под углом  $90^\circ$ , при которых обе формулы дают одинаковые допускаемые усилия на круглые нагели.

Таблица 7.

$d_H$ мм	10	12	14	16	18	20	Узлы с углом $\alpha = 90^\circ$ из в — с сосны
$\frac{a_H}{d_H}$	3,29	3,47	3,59	3,68	3,72	3,80	

при  $\frac{a}{d_H} < \frac{a_H}{d_H}$  расчет по формуле (13)

При введении поправочных коэффициентов для смятия отношения  $\frac{a_H}{d_H}$  изменяются.

Из формул (12) и (13) мы получаем отношение толщины крайних досок к толщине средней, указывающее, когда следует рассчитывать усилие по смятию вдоль или поперек волокон:

$$\frac{a_H}{c} = \frac{k_H [\sigma_{см}]_6}{[\sigma_{см}]_{6\alpha}}$$

В таблице 8 приведены эти отношения.

$d_H$ мм	$\frac{c}{a_H}$					Примечание
	3,3	3,6	3,9	4,2	4,5	
	$\frac{a_H}{c_H}$					
10	0,99	0,87	0,81	0,75	0,72	Узлы с углом $= 90^\circ$
12	1,04	0,96	0,90	0,83	0,79	
14	1,12	1,03	0,96	0,90	0,85	
16	1,17	1,08	1,01	0,94	0,89	
18	1,21	1,11	1,04	0,97	0,92	
20	1,25	1,15	1,07	1,00	0,95	

При  $\frac{a}{c} < \frac{a_H}{c_H}$  и расчете по формуле (13)

Если  $\frac{a}{c} > \frac{a_H}{c_H}$ , то решающей будет формула (12).

Из таблиц 7 и 8 можно проверить, достаточно ли произвести расчет допускаемого усилия на круглый нагель в узле по формуле (13) или требуется применить другие формулы.

Для углов  $\alpha$  между  $0^\circ$  и  $90^\circ$  берутся промежуточные допускаемые напряжения бортового смятия.

Мы не приводим этих данных, так как нами испытывались узлы с углом  $90^\circ$ .

Для узлов на гвоздях при  $d_H = 6,5$  мм

$$[\sigma_{см}]_{6\alpha} = 150 \text{ кг/см}^2.$$

Если  $\frac{a}{c} > 0,6$ , то расчет допускаемого усилия на гвоздь делается по формуле (12).

Допускаемые напряжения изгиба нагелей и смятия древесины назначены в приведенных формулах на основании экспериментальных данных.

Выполненные в ЦНИПС испытания нагельных сопряжений показали, что допускаемые усилия, исчисленные по этим формулам, дают запас по отношению к пределу пропорциональности около 1,8.

Запас прочности, отнесенный к разрушающей нагрузке,

получался достаточно устойчивый и, как правило, не меньше трехкратного.

Мы коснулись здесь лишь допускаемых усилий в симметричных соединениях, для которых имеют значение главным образом смешанные сопряжения. Ввиду ограниченных возможностей, нами и были испытаны лишь симметричные стыки и узлы.

Принимая во внимание, что расчетные формулы проекта *Н* и *ТУ* 1937 г. основаны на новейших данных обстоятельного исследования, нами были взяты эти формулы для определения допускаемых усилий, при сравнении смешанных и гвоздевых сопряжений.

Так как доски в значительной части сопряжений соответствовали по качеству древесине первого сорта, то было условно принято, что конструкции находятся в защищенном сооружении 3-го класса.

Марка древесины определялась по основным строительным нормам *ОСТ* 7063 и по *ОСТ* 7099 пиломатериалов хвойных пород. Для возможности сравнения показателей вида  $\frac{P_n}{P_d}$ , полученных при испытаниях, вводились в расчеты до-

пускаемых усилий поправочные коэффициенты:

а) по качеству древесины	
для марки 0 . . . . .	1,2
„ марки I . . . . .	1
„ марки II . . . . .	0,8
б) по породе на смятие	
для сосны . . . . .	1
„ ели . . . . .	0,85
в) по влажности древесины для	
воздушно-сухой, с влажностью 10-18% . .	1
для полусухой, с влажностью 19-23% . .	0,9

Благодаря вводу этих поправочных коэффициентов, смягчилось влияние побочных факторов на расчетную величину допускаемых усилий.

Так как колебания крепости древесины для каждой марки и процента влажности для воздушно-сухого состояния все же довольно значительны, принятый способ расчета не мог вполне устранить их влияния на полученные показатели работы сопряжений.

В *Н* и *ТУ* 1938 г., утвержденных после окончания нашей работы, был принят, по практическим соображениям, более упрощенный метод расчета нагельных сопряжений, чем в проекте норм *ЦНИПС* 1937 г.

Расчетные формулы новых норм следующие:

$$[T_n] = 0,4 d_n^2 \sqrt{[\sigma_n]_n [\sigma_{cm}]_6} \quad (15)$$

$$[T_n] = 0,25 a d_n [\sigma_{cm}]_6 \quad (16)$$

$$[T_n] = K_{cp} c d_n [\sigma_{cm}]_6 \quad (17)$$

Величины допускаемых напряжений те же, что и в проекте норм *ЦНИПС*, а коэффициент в формуле (17) равен:

для гвоздей 
$$K_{cp} = \frac{0,5}{1 + \frac{c}{5d_n}}$$

для круглых железных нагелей 
$$K_{cp} = \frac{0,5}{1 + \frac{c}{3d_n}}$$

Допускаемые усилия по этим формулам получаются несколько больше, чем исчислено нами по проекту норм для симметричных сопряжений.

### III. ИСПЫТАНИЯ СОПРЯЖЕНИЙ ПРИ КРАТКО-ВРЕМЕННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НАГРУЗКИ.

Сравнительные испытания сопряжений кратковременной нагрузкой производились в вертикальной 50 т машине Амслера.

Испытывались двухсрезовые стыки и узлы на сжатие и на растяжение.

Устройство машины позволяло растягивать сопряжения длиной до 1 м, но мощность их была ограничена захватными приспособлениями, дспускавшими зажим досок, толщиной не более 44 мм.

Кроме смешанных сопряжений на гвоздях и круглых железных нагелях, подобные же сопряжения для сравнения испытывались на одних гвоздях и небольшое число сопряжений на одних круглых нагелях.

В смешанных сопряжениях забивались большей частью сначала гвозди; затем сверлились отверстия и ставились круглые нагели; но для части сопряжений применялся обратный порядок изготовления. Диаметр гвоздей в сопряжениях был от 4 до 6,5 мм, а круглых нагелей — от 10 до 22 мм.

Толщина досок в сопряжениях варьировала между 35 и 54 мм, а отношение толщины крайних досок к средней:

$$\frac{a}{c} = \text{от } 0,7 \text{ до } 1,0$$

Отношение толщины средней доски к диаметру круглых нагелей было в пределах:

$$\frac{c}{d_n} = \text{от } 2,2 \text{ до } 5,$$

а к диаметру гвоздей:

$$\frac{c}{d_r} = \text{от } 7,5 \text{ до } 10,2.$$

Качество древесины было разнообразное: по породе — сосна и ель, по сорту — марка I и 0, а в некоторых сопряжениях марка II.

Влажность досок в большинстве случаев соответствовала воздушно-сухому состоянию.

Изготовление сопряжений из разной древесины вызывалось желанием испытать смешанные сопряжения при разнообразных условиях, а с другой стороны, трудностью получения досок одинакового качества.

Испытанные сопряжения можно разделить, по способу их изготовления, на две группы:

А) Сопряжения, близкие по своим качествам к условиям практического производства деревянных конструкций.

В них не было строгого отбора древесины по крепости и гвоздей по диаметру. Умышленно не оставлялись щели между досками для устранения трения.

Б) Сопряжения, изготовленные из древесины определенной крепости и влажности. Гвозди и круглые нагели тщательно отбирались микрометром.

Между досками оставались щели от 1 до 1,5 мм.

В этой группе влияние побочных факторов на работу сопряжений было по возможности устранено.

Большая часть изготовленных сопряжений испытывалась до разрушения, при максимально достижимой нагрузке.

Нагрузка остальных прекращалась в начальной стадии расстройства соединения, для определения после разгрузки остаточного сдвига досок и остаточного изгиба гвоздей и круглых нагелей.

Во время испытания нагрузка увеличивалась ступенями через 200, 300 или 400 кг, в зависимости от мощности и податливости сопряжений.

Степень соответствовала одной четверти допускаемой нагрузки.

Скорость загрузки составляла от 200 до 300 кг в минуту.

После каждой ступени делался перерыв на 2—3 мин. для измерения сдвига досок.

Для большинства сопряжений величина нагрузки отсчитывалась по 5-тонной шкале машины, с точностью до 5 кг, а для

более мощных сопряжений — по 10-тонной шкале, с точностью до 50 кг.

Взаимные сдвиги досок измерялись по прикрепленным к ним базам с помощью пружинных микрометров, за исключением приспособленных для этого индикаторов.

Отчеты по микрометрам делались с точностью 0,01 мм. При тщательной работе погрешность измерений была в пределах 0,05 мм.

Базы состояли из дубовых пластинок с металлическими шпильками, привинченными с двух сторон к средней и к крайним доскам сопряжения.

Сдвиг средней доски относительно крайних определялся как среднее из величин, измеренных по двум базам.

На основании этих измерений для каждого сопряжения вычерчивалась кривая деформации.

Для контроля служила диаграмма, полученная на барабане машины, но она была менее точна, так как в ней суммировались деформации от сдвига досок и от смятия в торцах, при сжимающем усилии, или в зажимах, при растягивающем усилии.

Полученные диаграммы показательны для общей характеристики работы сопряжений. По виду их можно судить о степени податливости, о наличии начальных рыхлых деформаций, и о крепости древесины.

При сравнении смешанных и гвоздевых сопряжений, одинаковой расчетной мощности, изготовленных из древесины, мало отличающейся по качеству, видно влияние более жестких круглых нагелей.

Для примера приводим на рис. 17 кривые деформации и показатели работы двух узлов, № 26/1 и № 27/1.

Здесь характерны несколько большая жесткость смешанного сопряжения в начальной стадии и относительно меньшая разрушающая нагрузка.

Разница эта не является случайностью, как будет показано в дальнейшем по средним результатам испытаний смешанных и гвоздевых сопряжений. Общий коэффициент запаса в обоих узлах высокий, хотя нагель, при толщине средней доски 35 мм, был относительно жесткий.

На рис. 18 и 19 даны кривые деформации и показатели работы стыков № 42 со смешанными и № 41 с гвоздевыми сопряжениями.

Каждый из этих стыков был изготовлен из одной доски, с отбором гвоздей и круглых нагелей по диаметрам.

Разница в кривых для спаренных сопряжений одного стыка объясняется неоднородностью древесины.

Испытание производилось на растяжение, поэтому максимальная нагрузка определялась разрушением одного из сопряжений.

И здесь показатели жесткости в начальной стадии работы несколько выше для смешанных сопряжений, но запас проч-

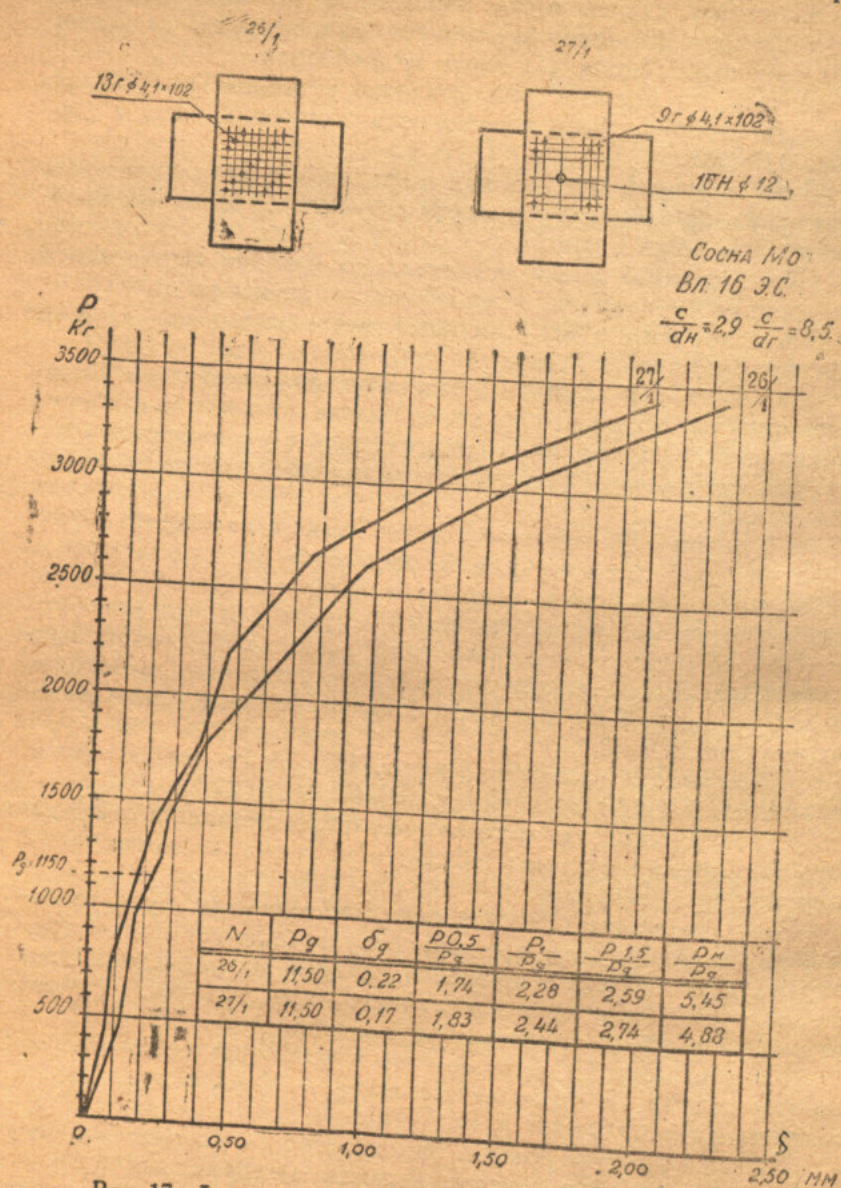


Рис. 17. Деформации смешанного и гвоздевого сопряжения.

ности их, отнесенный к разрушающей нагрузке, значительно меньше, чем для гвоздевых.

Стыки были изготовлены из досок, отнесенных к марке I

по наличию сучков и волосяных трещин, а также по крепости древесины.

Несмотря на относительную жесткость круглого нагеля, при

$$\frac{c}{d_H} = 2,8$$

отношение максимальной нагрузки к допускаемой было больше трех.

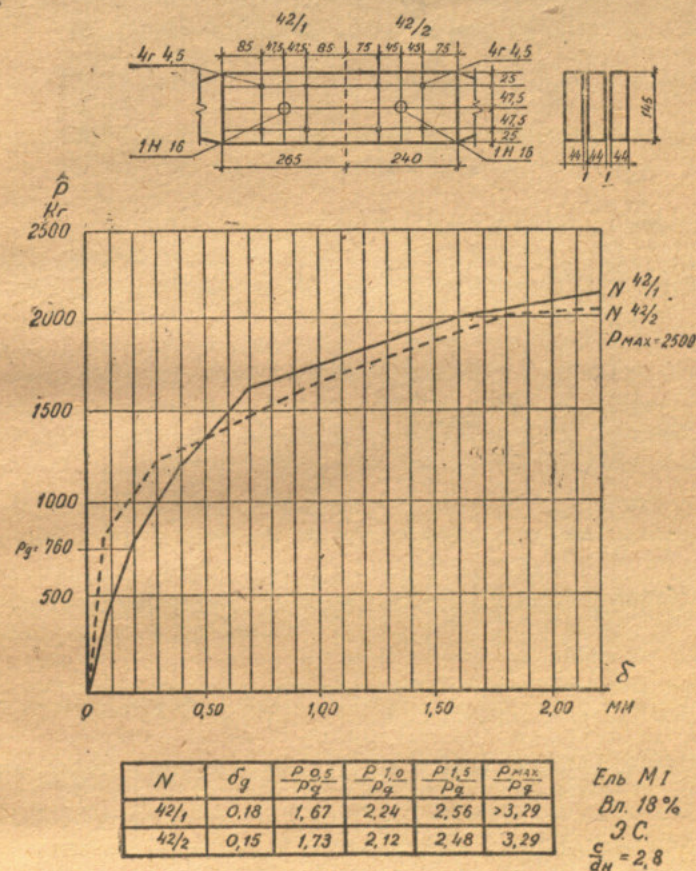


Рис. 18. Деформации стыка № 42 на гвоздях и круглых нагелях.

Эти узлы и стыки принадлежали к числу сопряжений, которые были изготовлены из досок, предварительно высушенных электрическим длинноволновым током большой частоты.

Сырая древесина доводилась этим способом, в течение нескольких часов, до воздушно-сухого состояния.

После облучения доски выдерживались несколько дней в помещении с повышенной влажностью воздуха. В это время наблюдалось дополнительное снижение влажности древесины на 1—2%.

Изготовление первых сопряжений из таких досок выявило некоторые особенности, которые приходилось учесть в дальнейшем.

При электросушке обнаруживались имевшиеся в древесине,

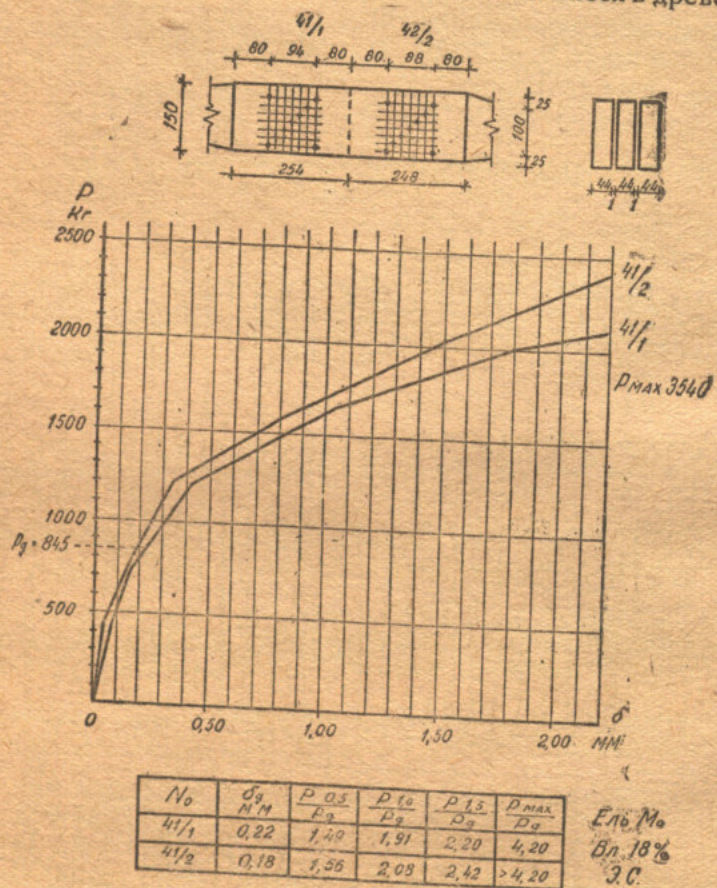


Рис. 19. Деформации стыка № 41 на гвоздях.

не видные на глаз, мелкие трещины, которые раскрывались во время сушки.

При достаточно мягком режиме облучения длина и глубина трещин не увеличивалась.

Обработка древесины после электросушки была несколько труднее, чем при воздушной, что указывает на большую твердость ее. Это замечалось главным образом при острожке досок.

Сверление дыр для нагелей и забивка гвоздей производились нормально, при минимальных расстояниях по правилам расстановки.

Лишь одна доска, сильно пересушенная вследствие жесткого режима облучения, растрескалась от гвоздевого забоя.

После установления в лаборатории надлежащего режима сушки, оказалась хорошая гвоздимость досок с влажностью и менее 10%.

Испытания нагельных сопряжений из досок, высушенных электрическим током, показали, что они работают не хуже, чем при хорошей воздушной сушке.

При электросушке легко было довести влажность древесины до 10—12%.

В сводных таблицах испытаний сопряжения, изготовленные из досок, высушенных электрическим током, отмечены условным обозначением ЭС.

В таблице 9 приведены данные о смешанных сопряжениях на гвоздях и круглых нагелях.

Сопряжения подразделены на две группы А и Б по способу их изготовления, как выше указано.

Для древесины в сопряжениях группы А применялась воздушная сушка, а для группы Б преимущественно электросушка.

В таблице 10 даны для сопряжений, приведенных в таблице 9, расчетные допускаемые нагрузки  $P_d$  и отношения допускаемого усилия на гвозди  $P_r$  ко всему допускаемому усилию  $P_d$ .

Как результаты испытаний, приведены: величина сдвига  $\sigma_d$  при допускаемой нагрузке  $P_d$ , величины нагрузки по ступеням, соответствующие сдвигам через 0,5 мм, и достигнутая максимальная нагрузка.

По этим данным исчислены показатели работы сопряжений в виде отношений:  $\frac{P_n}{P_d}$

Определены средние величины сдвигов  $\sigma_d$  и отношений  $\frac{P_n}{P_d}$ , отдельно для групп А и Б.

Затем вычислены коэффициенты изменчивости этих показателей по формуле:

$$K_u = \frac{100 \sqrt{\frac{\sum x^2}{n-1}}}{M_{cp}}$$

где  $x = M - M_{cp}$ ;

$$M_{cp} = \frac{\sum M}{n}$$

$n$  — число наблюдений,  
 $M$  — величина, полученная при испытании.

Степень разбросанности для группы А больше, чем для группы Б, вследствие влияния побочных факторов, зависящих от способа изготовления сопряжений.

Особенно сильно это влияние в начальной стадии деформации, как видно по сдвигам  $\delta_d$  и отношениям  $\frac{P_{0,5}}{P_d}$ .

В сопряжениях группы Б были устранены трение между досками и начальные рыхлые деформации, что снизило разбросанность показателей.

По мере увеличения нагрузки и деформации влияние побочных факторов уменьшается, и для отношений  $\frac{P_{max}}{P_d}$  степень разбросанности почти одинаковая.

Для сопряжений, попарно соединенных во время испытания, величина  $P_{max}$  получена для более слабого из двух. Для более сильного сопряжения в таблице указано, что  $P_{max}$  и  $\frac{P_{max}}{P_d}$  больше полученных величин.

Вследствие этого истинная средняя величина  $\frac{P_{max}}{P_d}$  для группы Б несколько больше, чем исчислено в таблице 13, но разница должна быть незначительна. Если допустить, что  $P_{max}$  для парных сопряжений могло различаться на 15%, то это для отношений  $\frac{P_{max}}{P_d}$  дает разницу менее 3%.

В таблицах 11 и 12 приведены данные по испытаниям гвоздевых сопряжений в таком же виде, как и для смешанных.

Так как сопряжения №№ 36/1, 38/1 и 41/2 были спарены при испытании с другими, которые разрушились раньше их, то среднее отношение  $\frac{P_{max}}{P_d}$  в группе Б и здесь несколько больше указанного.

Обращает внимание увеличенная деформативность сопряжений №№ 38/1, 17/1 и 18/2, в которых временное сопротивление древесины смятию было пониженное, но это, однако, не повлияло на запас прочности, отнесенный к максимальной нагрузке.

Этим подтверждается, что максимальная нагрузка при разрушении не может служить показателем для действительной работы сопряжения в конструкциях.

Для проверки влияния круглых нагелей на работу сме-

шанных сопряжений было выполнено небольшое число испытаний стыков и узлов на одних круглых нагелях.

В таблицах 13 и 14 приведены данные об этих сопряжениях и результаты их испытания.

Ввиду малого числа сопряжений не сделано подразделения на группы, а дана характеристика их в таблицах.

Как и при смешанных сопряжениях, деформации в начальной стадии работы зависят от того, насколько плотно круглые нагели сидят в своих отверстиях, но по мере увеличения нагрузки влияние этого фактора уменьшается.

В целях выяснения, какая величина нагрузки является критической для смешанных сопряжений, был произведен ряд испытаний до разных ступеней деформации, с последующим измерением остаточного сдвига после разгрузки.

Затем доски сопряжений разрезались по линиям гвоздей и круглых нагелей, и измерялись остаточные прогибы их.

Данные об этих испытаниях и полученные результаты приведены в таблице 15 и 16.

Как видно, во всех случаях, когда нагрузка в машине вызвала сдвиг в 1 мм, получался остаточный прогиб гвоздей и круглых нагелей.

Величина остаточного сдвига зависит от пластических деформаций древесины и нагелей, а кроме того, от начальных рыхлых деформаций, если нагели сидели неплотно.

В последнем случае остаточные сдвиги большие, как например, в сопряжении № 14/1.

Остаточные сдвиги в сопряжениях, начальные деформации которых нормальны, значительно меньше, например, в узлах №№ 15/1 и 55.

Остаточные прогибы гвоздей и круглых нагелей указывают на то, что напряжения в них превысили предел текучести.

На рис. 20 показана кривая деформации смешанного сопряжения № 14/1, а на рис. 21 — узла № 54 на гвоздях. Нагрузка, вызвавшая сдвиг в 1 мм, была несколько больше критической.

Остаточные прогибы гвоздей и круглых нагелей определены как средние, причем принимались в расчет лишь гвозди, которые не были искривлены при забое, вследствие увода их древесиной. Это проверялось по сеткам разбивки, нанесенным с двух сторон сопряжения.

Во всех случаях остаточный прогиб круглых нагелей меньше, чем гвоздей, что подтверждают изложенные выше предварительные соображения о работе круглых нагелей в смешанных сопряжениях.

По мере увеличения нагрузки разница между изгибом гвоздей и круглых нагелей уменьшается, и в стадии разрушения сопряжения прогибы почти равны, как видно по фотографии на рис. 22.

№ пор.	№ сопряжения	Вид сопряжения	Круглые жел. нагели		Гвозди		Доски толщина		Древесина				Отношения			Условия	Примечание	
			дн мм	высота мм	дг мм	высота мм	а мм	с мм	Марка	Рс 15 кг/см <sup>2</sup>	% влажности	Сушка	с дн	с с	дг			
Группа А.																		
1	3/1	Стык	10	1	5,0	125	4	40	50	Сосна	1	300	в-с	возд.	5	10	сжат	
2	3/2	"	10	1	5	125	4	40	49	"	"	"	"	4,9	9,8	"		
3	8/1	"	12	2	5,1	125	5	40	50	"	"	"	"	4,2	9,8	"		
4	7/1	"	12,1	2	6,5	130	4	39	49	"	"	"	"	4,0	7,5	"	Щели 1 мм	
5	6/1	"	13,5	1	5	125	4	39	50	"	"	"	пс	3,7	10	"	Щели 1,5-2 мм	
6	6/2	"	13,5	1	5	125	4	39	49	"	"	"	"	3,6	9,8	"		
7	22/1	Узел	14	1	5	125	4	40	50	"	0	350	"	3,6	10	"		
8	22/2	"	14	1	5	125	4	39	48	"	0	"	в-с	3,4	9,6	"		
9	10/1	Стык	15	1	5,2	127	4	40	50	"	1	300	"	3,3	9,6	"		
10	25/1	Узел	16	1	5	125	4	52	51	"	"	"	пс	3,2	10,2	"	Щели 1-1,5 мм	
11	10/2	Стык	16,3	1	5,2	127	4	39	49	"	"	"	"	3,0	9,4	"		
12	11/1	"	16,7	1	5,2	127	6	40	50	"	"	"	в-с	3,0	9,4	"	Щели 1-1,5 мм	
13	11/2	"	16,7	1	5,2	127	6	40	50	"	"	"	"	3,0	9,4	"	Щели 1-1,5 мм	
14	12/1	"	18	1	5	125	4	39	48	"	"	"	"	2,7	9,5	"		

15	12/2	"	18	1	5	125	4	40	50	"	"	"	"	2,8	10	"	
16	30/1	Узел	22	1	5	125	4	40	48	"	"	"	пс	2,2	9,6	"	

## Группа Б.

17	27/1	Узел	12	1	4,1	102	9	35	35	Сосна	0	350	16	эс	2,9	8,5	сжат.	Сопряжения гр. Б имели между досками щели в 1-1,5 мм
18	27/2	"	12	1	4,1	102	9	35	35	Ель	1	260	16	"	2,9	8,5	"	
19	27/3	"	12	1	4,1	102	9	35	35	Сосна	1	300	16	"	2,9	8,5	"	
20	20/1	"	12,6	2	5,3	127	5	39	50	"	0	370	15	возд.	4,0	9,4	"	
21	56	"	13	1	4,5	104	6	35	40	"	0	490	9	эс	3,1	8,9	"	
22	23/1	"	16	1	4,5	125	4	44	44	"	0	380	11	"	2,8	9,8	"	
23	25/2	"	16	1	5	150	4	51	52	"	0	355	12	"	3,3	10,4	"	
24	37/1	"	16	1	4,5	125	4	44	44	"	1	300	18	"	2,8	9,8	раст.	
25	39/1	"	16	1	4,5	125	4	44	44	Ель	1	300	11	"	2,8	9,8	"	
26	40/1	"	16	1	4,5	125	6	44	44	"	0	320	11	"	2,8	9,8	"	
27	40/2	"	16	1	4,5	125	6	44	44	"	0	310	11	"	2,8	9,8	"	
28	42/1	Стык	16	1	4,5	125	4	44	44	"	1	300	18	"	2,8	9,8	"	
29	42/2	"	16	1	4,5	125	4	44	44	"	1	300	18	"	2,8	9,8	"	
30	43/1	"	16	1	4,5	125	6	44	44	"	1	290	18	"	2,8	9,8	"	
1	43/2	"	16	1	4,5	125	6	44	44	"	1	290	18	"	2,8	9,8	"	

Результаты испытаний смешанных сопряжений.

№	№ сопряжения	Вид сопряжения	$R_d$ кг	$R_r$ $\frac{R_r}{R_d}$	$\delta_d$ мм	$R_{0,5}$ кг	$R_{1,0}$ кг	$R_{1,5}$ кг	$R_{max}$ кг	$\frac{R_{0,5}}{R_d}$	$\frac{R_{1,0}}{R_d}$	$\frac{R_{1,5}}{R_d}$	$\frac{R_{max}}{R_d}$	Примечание
Группа А														
1	3/1	Стык	720	0,64	0,11	1280	1700	1930	3900	1,78	2,36	2,69	5,40	Нач. рыхлае деформ.
2	3/2	"	715	0,64	0,38	810	1400	1680	4200	1,13	1,96	2,35	5,86	
3	8/1	"	1325	0,45	0,30	1580	2700	3090	6550	1,18	2,04	2,33	4,95	
4	7/1	"	1455	0,49	0,23	2250	3250	3600	7550	1,55	2,24	2,48	5,20	
5	6/1	"	820	0,50	0,28	1160	1540	1760	2860	1,42	1,88	2,15	3,50	
6	6/2	"	820	0,51	0,21	1070	1500	1850	3080	1,31	1,83	2,26	3,75	
7	22/1	Узел	905	0,55	0,43	980	1550	1970	5100	1,08	1,72	2,18	5,64	Нач. рыхлае деформ.
8	22/2	"	970	0,56	0,21	1600	2250	2670	5200	1,65	2,32	2,68	5,35	
9	10/1	Стык	1030	0,47	0,08	2140	2600	2900	4700	2,06	2,53	2,82	4,56	Нач. рыхлае деформ.
10	25/1	Узел	895	0,47	0,65	770	1230	1500	4450	0,86	1,38	1,68	4,95	
11	10/2	Стык	1070	0,45	0,07	1930	2400	2650	4600	1,80	2,24	2,48	4,30	
12	11/1	"	1360	0,54	0,14	3010	3420	3700	4700	2,22	2,52	2,72	3,46	
13	11/2	"	1360	0,54	0,20	2650	3430	3720	5550	1,95	2,52	2,73	4,08	Нач. рыхлае деформ.
14	12/1	"	1105	0,41	0,25	2250	3400	3870	4400	2,04	3,08	3,50	3,98	

15	12/2	Стык	1135	0,41	0,08	3030	3600	3900	5660	2,67	3,17	3,44	4,95	Нач. рыхлае деформ.	
16	30/1	Узел	870	0,47	0,50	870	1220	1550	5250	1,00	1,40	1,78	6,02		
Средние по группе А . . .				—	0,26	—	—	—	—	1,54	2,20	2,46	4,74		
Коэффициенты изменчивости %				—	63	—	—	—	—	33	23	20	18		
Группа Б.															
17	27/1	Узел	1150	0,68	0,17	2220	2800	3140	5630	1,93	2,44	2,74	4,88	Испытывалась вместе с № 40/2	
18	27/2	"	815	0,68	0,10	1650	2170	2460	4070	2,03	2,66	3,01	5,00		
19	27/3	"	960	0,68	0,18	1660	2150	2230	5100	1,73	2,24	2,32	5,32		
20	20/1	"	1580	0,48	0,25	2500	3360	3800	6200	1,58	2,13	2,40	3,92		
21	56	"	1020	0,63	0,17	1980	2540	2785	4500	1,94	2,49	2,74	4,42		
22	23/1	"	980	0,45	0,12	1900	2360	2630	4600	1,92	2,42	2,69	4,70		
23	25/2	"	1180	0,47	0,28	1790	2420	280	4850	1,52	2,05	2,37	4,10		
24	37/1	"	820	0,45	0,27	1180	1640	1900	3950	1,44	2,00	2,32	4,83		
25	39/1	"	835	0,55	0,15	1400	1680	1840	3380	1,68	2,02	2,21	4,05		
26	40/1	"	1040	0,55	0,23	1570	2110	2350	4480	1,51	2,03	2,26	4,32		
27	40/2	"	1040	0,55	0,10	2020	2260	2470	4450	1,94	2,17	2,37	4,31		
28	42/1	Стык	760	0,42	0,18	1270	1700	1950	2500	1,67	2,24	2,56	3,29		Испытывалась вместе с № 42/2
29	42/2	"	760	0,42	0,15	1320	1610	1880	2500	1,73	2,12	2,48	3,29		
30	43/1	"	915	0,51	0,27	1230	1720	2080	2860	1,34	1,88	2,28	3,13		Испытывалась вместе с № 43/2
31	43/2	"	915	0,51	0,27	1330	1750	2020	2860	1,45	1,92	2,21	3,13		
Средние по группе Б . . . .				0,19						1,55	2,19	2,45	4,18		
Коэффициенты изменчивости %				34						17	10	9	17		



## Гвоздевые сопряжения.

№ сопряжения	№ Вид сопряжения	Гвозди		Доски		Древесина			Отнош.		Усилие	Примечание			
		d <sub>г</sub> мм	l <sub>г</sub> мм	число	а мм	с мм	По-рода	Мар-ка	R <sub>c15</sub> кг/см <sup>2</sup>	% влаж-ности			Суш-ка	с	d <sub>г</sub>
Группа А.															
1	1/1	Стык	5,2	127	4	40	48	Сосна	I	300	в-с	возд.	9,3	сжат.	
2	1/2	"	5	125	4	39	48	"	I	"	пс	"	9,6	"	Щели 1—1,5 мм
3	2/1	"	5,2	127	6	39	47	"	I	"	пс	"	9,0	"	Щели 1—1,5 мм
4	33/1	"	5	150	6	48	48	"	I	"	в-с	"	9,6	"	
5	33/2	"	5	150	6	48	48	"	I	"	в-с	"	9,6	"	
6	16/1	Узел	5	125	4	40	50	"	I	"	в-с	"	10	"	
7	16/2	"	5	125	4	40	49	"	I	"	пс	"	9,8	"	
8	18/1	"	5,3	127	9	40	50	"	I	"	в-с	"	9,4	"	Щели 1—1,5 мм
Группа Б.															
9	26/1	Узел	4,1	102	13	35	35	Сосна	O	350	16	возд.	8,5	сжат.	Все сопряжения груп-пы Б имели между доска-ми щели 1—1,5 мм
10	36/1	"	4,5	125	9	44	44	"	I	315	18	ес.	9,8	раст.	
11	38/1	"	4,5	125	9	44	44	Ель	I	260	11	"	9,8	"	
12	41/1	Стык	4,5	125	9	44	44	"	O	340	18	"	9,8	"	
13	41/2	"	4,5	125	9	44	44	"	O	340	18	"	9,8	"	
14	17/1	Узел	5,3	127	5	38	46	Сосна	II	280	11	возд.	9,2	сжат.	
15	18/2	"	5,2	127	9	40	50	"	II	280	18	ес.	9,6	"	

## Результаты испытаний гвоздевых сопряжений.

№	№ сопряжения	Вид сопряжения	R <sub>д</sub> кг	δ <sub>д</sub> мм	R <sub>0,5</sub> кг	R <sub>1,0</sub> кг	R <sub>1,5</sub> кг	R <sub>max</sub> кг	R <sub>0,5</sub> / R <sub>д</sub>	R <sub>1,0</sub> / R <sub>д</sub>	R <sub>1,5</sub> / R <sub>д</sub>	R <sub>max</sub> / R <sub>д</sub>	Примечание
Группа А.													
1	1/1	Стык	490	0,20	760	1150	1350	2450	1,55	2,36	2,76	5,02	
2	1/2	"	410	0,23	650	880	1020	1810	1,58	2,15	2,49	4,40	
3	2/1	"	660	0,28	930	1260	1500	3200	1,41	1,91	2,27	4,84	
4	33/1	"	685	0,14	1110	1500	1600	3780	1,63	2,19	2,34	5,50	
5	33/2	"	685	0,35	960	1400	1540	4300	1,41	2,05	2,26	6,30	
6	16/1	Узел	460	0,17	860	1100	1300	2250	1,87	2,40	2,82	4,90	
7	16/2	"	410	0,23	630	840	980	1670	1,52	2,05	2,39	4,07	
8	18/1	"	1135	0,28	1810	2150	2350	4300	1,59	1,89	2,07	3,80	
Средние по группе А. . . . .													
Коэффициент изменчивости %													
29													
Группа Б.													
9	26/1	Узел	1150	0,22	2000	2610	2980	6250	1,74	2,27	2,59	5,45	Испытывался вместе с № 37/1
10	36/1	"	830	0,14	1930	2150	2300	3950	2,35	2,60	2,82	>4,75	Испытывался вместе с № 39/1
11	38/1	"	705	0,41	860	1430	1700	3380	1,22	2,03	2,41	>4,80	
12	41/1	Стык	845	0,22	1260	1610	1860	3540	1,49	1,91	2,20	4,20	
13	41/2	"	845	0,18	1320	1700	2040	3540	1,56	2,02	2,42	>4,20	
14	17/1	Узел	500	0,32	670	1010	1180	2350	1,34	2,02	2,35	4,70	
15	18/2	"	920	0,45	1010	1610	1980	4400	1,10	1,75	2,16	4,78	Испытывался вместе с № 41/1
Средние по группе Б. . . . .													
0,28													
Коэффициенты изменчивости %													
43													

Сопряжения на круглых нагелях.

№ пор.	№ сопряжения	Вид сопряжения	Нагели		Доски		Древесина				Уси-лине	Примечание	
			ди м	число	а м	с м	Порода	Марка	R <sub>15</sub> кг/см <sup>2</sup>	% влаж.			% в-с
1	13/1	Стык	12,2	2	39	47	Сосна	0	350	в-с	возд.	3,9	сжат.
2	19/1	Узел	12,6	2	39	47	"	0	350	в-с	"	3,7	"
3	53/1	"	13	2	35	35	Ель	1	270	10	эс	2,7	"
4	53/2	"	13	2	35	35	"	0	320	10	эс	2,7	"
5	9/3	Стык	16	2	48	54	Сосна	0	350	12	эс	3,4	"
6	24/1	Узел	16	2	48	48	"	1	300	в-с	возд.	3,0	"
7	9/1	Стык	16,5	2	39	50	"	1	300	в-с	"	3,0	"

Щели 1—1,5 мм  
Щели 1 мм  
Щели 1 мм  
Щели 1 мм  
Щели 1 мм  
Щели 1 мм

Нагели сидят неплотно

Таблица 14.

Результаты испытаний сопряжений на круглых нагелях.

№ пор.	№ сопряжения	Вид сопряжения	ди м	число	R <sub>d</sub> кг	δ <sub>d</sub> мм	R <sub>0,5</sub> кг	R <sub>1,0</sub> кг	R <sub>1,5</sub> кг	R <sub>max</sub> кг	R <sub>0,5</sub> / R <sub>d</sub>	R <sub>1,0</sub> / R <sub>d</sub>	R <sub>1,5</sub> / R <sub>d</sub>	R <sub>max</sub> / R <sub>d</sub>	Примечание
1	13/1	Стык	885	0,30	1270	1960	2410	3280	1,43	2,21	2,73	3,70			
2	19/1	Узел	830	0,14	1770	2200	2300	3840	2,13	2,65	2,77	4,73			
3	53/1	"	640	0,19	1190	1810	2170	3420	1,86	2,82	3,40	5,34			
4	53/2	"	770	0,14	1340	1960	2210	2350	1,74	2,54	2,87	3,05			
5	9/3	Стык	1470	0,56	1220	2500	3200	5700	0,83	1,70	2,18	3,88			Нач. рыхлае деформ.
6	24/1	Узел	980	0,26	1220	1600	1950	5700	1,24	1,63	1,99	5,80			
7	9/1	Стык	1235	0,10	2080	2650	2880	4700	1,68	2,15	2,33	3,80			
		Средние величины	0,24						1,55	2,25	2,75	4,34			
		Коэфф. надежности, %	66						21	20	18	22			

Таблица 15.

Сопряжения, для которых определены остаточные деформации.

№ пор.	№ сопряжения	Вид сопряжения	Круг. нагели		Гвозди		Доски		Древесина				Уси-лине	Примечания			
			ди м	число	d <sub>г</sub> мм	l <sub>г</sub> мм	а мм	с мм	Порода	Марка	R <sub>15</sub> кг	% влаж.			Сухка		
1	15/1	Узел	13	1	4,2	102	6	35	35	Сосна	I	320	17	эс	2,7	8,4	Щели 1—1,5 мм
2	55	"	13	1	4,7	104	7	35	40	"	0	360	12	возд.	3,1	8,5	Щели "
3	14/1	Стык	13	2	4,6	125	7	40	45	"	0	360	12	эс	3,5	9,8	Щели "
4	60/1	"	13	2	4,5	125	7	35	45	"	0	360	11	"	3,5	10	"
5	14/2	"	13	2	4,6	125	7	40	45	"	0	380	12	"	3,5	9,8	Щели 1—1,5 мм
6	21/1	Узел	13	1	4,2	102	6	35	40	"	I	349	15	"	3,1	8,4	Щели "
7	21/2	"	13	1	4,2	102	6	35	40	"	I	346	13	"	3,1	8,4	Щели "
8	60/2	Стык	13	2	4,5	125	7	35	45	"	0	360	11	"	3,5	10	"
9	28/1	Узел	19,6	1	6,5	127	4	40	50	"	II	260	23	возд.	2,5	7,8	Щели 1—1,5 мм
10	28/2	"	20,3	1	6,5	127	4	40	50	"	II	260	23	"	2,5	7,8	Щели "
11	5/1	Стык	14,2	1	6,5	127	4	40	50	"	I	320	20	"	3,5	7,8	Щели "
12	54	Узел	—	—	4,7	103	10	35	40	"	0	560	12	эс	—	8,5	Щели "

Результаты и испытания для определения остаточных деформаций.

Таблица 16.

№ пор.	№ сопряжения	Вид сопряжения	R <sub>д</sub> кг	P <sub>г</sub> кг	δ <sub>д</sub> мм	δ <sub>н</sub> мм	δ <sub>о</sub> мм	δ <sub>о</sub> δ <sub>н</sub>	P <sub>0,5</sub> кг	P <sub>1,0</sub> кг	P <sub>1,5</sub> кг	Остат. прогиб		Примечания
												f <sub>н</sub> мм	f <sub>г</sub> мм	
1	15/1	Узел	795	0,60	0,19	1,03	0,20	0,20	1,55	2,02	—	0,2	0,6	3
2	55	"	1220	0,69	0,18	1,00	0,21	0,21	1,69	2,10	—	0,4	0,8	2
3	14/1	Стык	1700	0,45	0,43	1,00	0,40	0,40	1,38	2,02	—	0,2	0,5	2,5
4	60/1	"	1760	0,45	0,28	1,02	0,45	0,45	1,56	2,21	—	0,4	0,8	2
5	14/2	"	1700	0,45	0,30	1,11	0,54	0,48	1,38	2,02	—	0,4	0,9	2,2
6	21/1	Узел	810	0,60	0,31	1,50	0,50	0,33	1,35	1,91	2,22	0,2	0,6	3
7	21/2	"	810	0,60	0,33	1,50	0,54	0,36	1,33	2,08	2,60	0,3	0,6	2
8	60/2	Стык	1760	0,45	0,11	1,66	0,90	0,55	1,93	2,44	2,76	0,7	1,0	1,4
9	28/1	Узел	865	0,60	0,14	1,74	1,10	0,63	1,90	2,46	2,95	0,3	1,1	3,7
10	28/2	"	865	0,60	0,19	2,67	1,50	0,56	1,91	2,31	2,82	0,7	1,3	1,9
11	5/1	Стык	905	0,59	0,17	2,94	2,00	0,68	1,78	2,31	2,70	1,9	2,7	1,4
12	54	Узел	1150	1	0,12	1,02	0,38	0,37	1,58	2,13	—	—	0,7	—

нач. рыхлые деформ.

Условные обозначения:

- δ<sub>д</sub> — сдвиг при допускаемой нагрузке
- δ<sub>н</sub> — сдвиг при нагрузке P<sub>н</sub>
- δ<sub>о</sub> — остаточный сдвиг после разгрузки
- f<sub>н</sub> — средний остаточный прогиб круглых нагелей
- f<sub>г</sub> — средний остаточный прогиб гвоздей

Для сравнения полученных при испытаниях показателей работы сопряжений в таблице 17 сопоставлены средние величины, взятые из таблиц 10, 12 и 14.

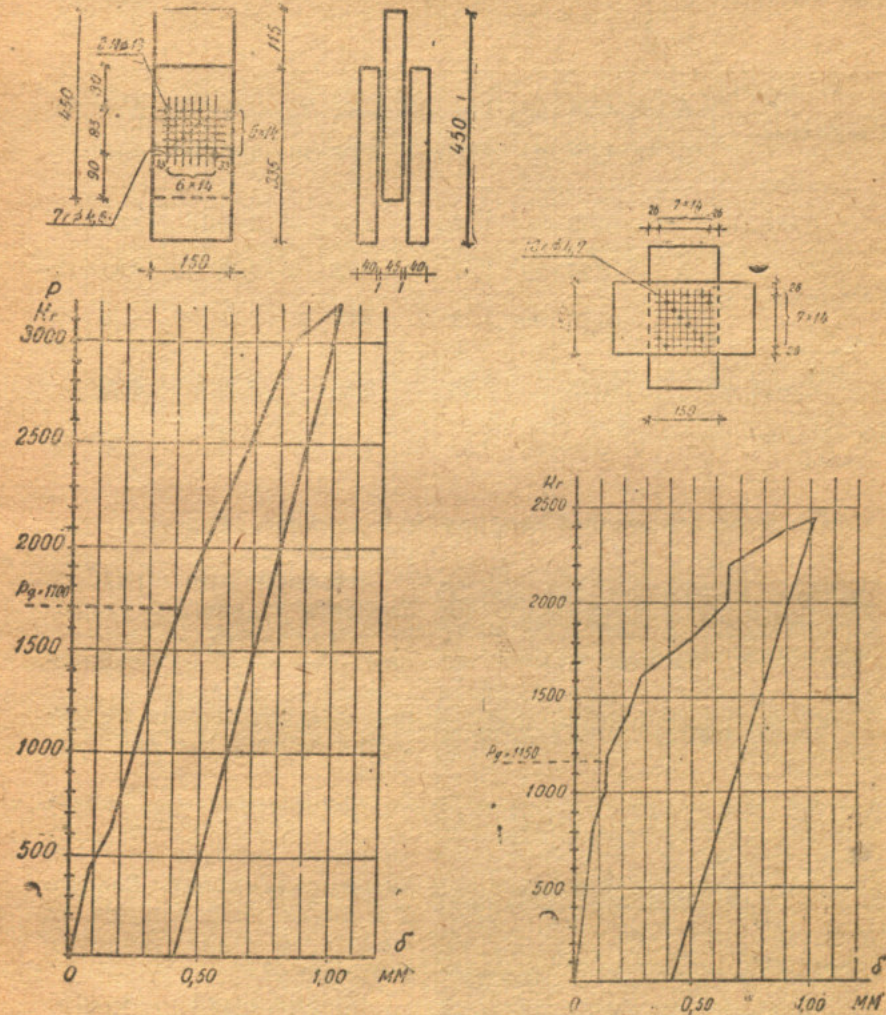


Рис. 20 Деформации стыка № 14/1 на гвоздях круглых нагелях.

Рис. 21. Деформации узла № 54 на гвоздях.

Средние величины всех показателей для трех видов сопряжений отличаются относительно мало, но степень разбросанности их различная.

Наибольшие коэффициенты изменчивости получены для сдвигов δ<sub>д</sub>, на величину которых влияют начальные рыхлые деформации и трение между досками, при отсутствии щелей. Это видно по сопряжениям на круглых нагелях и по группе А смешанных сопряжений.

Таблица 17.

Вид сопряжен.	Группа	Число	Сдвиги		Отношения							
			$\delta_d$ мм	$k_u$ %	$\frac{P_{0,5}}{P_d}$	$k_u$ %	$\frac{P_{1,0}}{P_d}$	$k_u$ %	$\frac{P_{1,5}}{P_d}$	$k_u$ %	$\frac{P_{max}}{P_d}$	$k_u$ %
Смешанные	А	16	0,26	63	1,54	33	2,20	23	2,46	20	4,74	18
	Б	15	0,19	34	1,55	17	2,19	10	2,45	9	4,18	17
Средние			0,23		1,54		2,20		2,46		4,53	
Гвоздевые	А	8	0,24	29	1,57	9	2,12	9	2,43	10	4,85	12
	Б	7	0,28	43	1,54	27	2,10	13	2,41	9	4,70	9
Средние			0,26		1,56		2,11		2,42		4,46	
На круг. нагелях		7	0,24	66	1,55	21	2,25	20	2,75	18	4,34	22

По мере увеличения деформаций влияние этих факторов уменьшается.

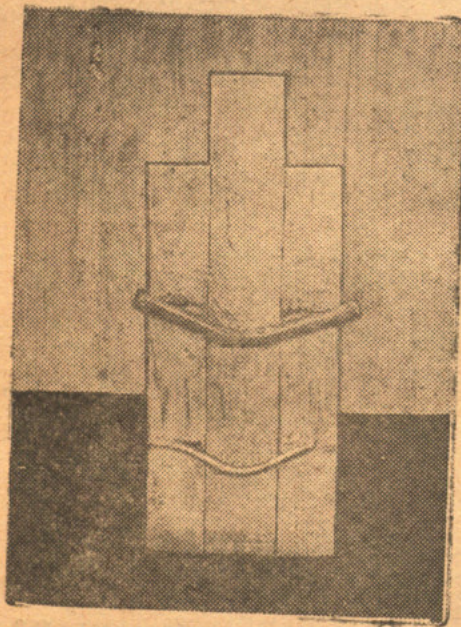


Рис. 22. Деформации гвоздя и круглого нагеля в стадии разрушения сопряжения.

Наименьшую разбросанность имеют отношения  $\frac{P_{1,0}}{P_d}$  и  $\frac{P_{1,5}}{P_d}$ , полученные для смешанных сопряжений группы Б и для гвоздевых.

Отношения  $\frac{P_{max}}{P_d}$  получились в среднем для всех видов сопряжений больше 4 и почти одинаковые для смешанных и для гвоздевых сопряжений.

Наименьший коэффициент изменчивости имеют здесь гвоздевые сопряжения; это объясняется тем, что разрушение их реже вызывается раскалыванием досок.

В таблице 18 даны средние величины  $\frac{P_{max}}{P_d}$  отдельно для узлов и для стыков.

Узлы—менее жесткие соединения, чем стыки, так как решающим является смятие крайних досок поперек волокон. Поэтому запас прочности узлов, при наличии круглых нагелей в соединении, больше, чем стыков.

Таблица 18.

Вид сопряжений	Узлы		Стыки	
	Число	$\frac{P_{max}}{P_d}$	Число	$\frac{P_{max}}{P_d}$
Смешанные . . . . .	15	4,78	16	4,19
Гвоздевые . . . . .	8	4,66	7	4,90
На круглых нагелях . . . . .	4	4,69	3	3,78

Отношения  $\frac{P_{max}}{P_d}$  для трех видов сопряжений в узлах почти одинаковые, а в стыках для гвоздевых больше.

Смешанные сопряжения занимают среднее место между стыками на гвоздях и на круглых нагелях.

Влияние гибкости круглых нагелей на запас прочности стыков видно по данным таблицы 19.

С уменьшением гибкости средние величины  $\frac{P_{max}}{P_d}$  падают.

БИБЛИОТЕКА ВОРОНЕЖСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Вид сопряжений	Стыки			
	$\frac{c}{d_n}$		Число сопряжений	Среднее $\frac{P_{max}}{P_d}$
	от—до	среди.		
Смешанные . . . . .	4—5	4,5	4	5,32
” . . . . .	3—3,7	3,2	6	3,93
” . . . . .	2,7—2,9	2,8	6	3,68

В узловых сопряжениях гибкость круглых нагелей не играет такой роли, как видно по данным таблицы 20.

Таблица 20.

Вид сопряжений	Узлы			
	$\frac{c}{d_n}$		Число сопряжений	Среднее $\frac{P_{max}}{P_d}$
	от—до	средн.		
Смешанные . . . . .	3,1—4	3,4	6	4,72
" . . . . .	2,7—2,9	2,8	8	4,66

В начальной стадии деформации смешанных сопряжений влияние гибкости круглых нагелей довольно значительно, причем с увеличением диаметров нагелей относительная величина сдвигов уменьшается.

Это видно по отношениям  $\frac{P_n}{P_d}$ , приведенным в таблицах 21 и 22 для стыков и узлов.

Таблица 21.

Вид сопряжений	Число сопряжений	Стыки				
		$\frac{c}{d_n}$		$\frac{P_{0,5}}{P_d}$	$\frac{P_{1,0}}{P_d}$	$\frac{P_{1,5}}{P_d}$
		от—до	среднее			
Смешанные . . . . .	4	4—5	4,5	1,41	2,15	2,46
" . . . . .	6	3—3,7	3,3	1,80	2,25	2,54
" . . . . .	6	2,7—2,9	2,8	1,82	2,40	2,74
Наибольшая разница в % . . . . .				29	12	11

Величина сдвига  $\delta_d$  при допустимой нагрузке менее показательна, вследствие зависимости ее от других побочных факторов, что видно по большому коэффициенту изменчивости, полученному при наших опытах.

Таблица 22.

Вид сопряжений	Число испытаний	Узлы				
		$\frac{c}{d_n}$		$\frac{P_{0,5}}{P_d}$	$\frac{P_{1,0}}{P_d}$	$\frac{P_{1,5}}{P_d}$
		от—до	среднее			
Смешанные . . . . .	6	3,1 до 4	3,4	1,42	2,03	2,41
" . . . . .	8	2,7 до 2,9	2,8	1,76	2,24	2,42
Наибольшая разница в % . . . . .				24	10	0

Влияние гибкости круглых нагелей на величину сдвигов падает по мере увеличения нагрузки, что усматривается из разницы отношений  $\frac{P_n}{P_d}$ .

Полученные при машинных испытаниях показатели податливости смешанных сопряжений проверены при длительном действии нагрузки, о чем будет сказано в следующей главе.

## ВЫВОДЫ.

Результаты, полученные при испытаниях с кратковременно действующей нагрузкой, благоприятны для смешанных сопряжений.

Сравнение показателей работы выявило меньшую податливость их в сравнении с гвоздевыми сопряжениями.

Запасы прочности, отнесенные к нагрузке, близкой к критической, почти равны в обоих видах.

Для узлов получены высокие запасы прочности, отнесенные к разрушающей нагрузке и при жестких нагелях с отношением  $\frac{c}{d_n} < 3$ .

Для стыков отношения  $\frac{P_{max}}{P_d}$  смешанных сопряжений уменьшаются с увеличением жесткости нагелей.

При  $\frac{c}{d_n} < 4$

они меньше, чем для гвоздевых, но больше, чем для сопряжений на одних круглых нагелях.

Для смешанных сопряжений представляется возможным применять в узлах более жесткие нагели, чем в стыках.

Это желательно для увеличения мощности узлов, площадь сплавивания которых обычно мала.

## IV. ИСПЫТАНИЯ СОПРЯЖЕНИЙ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НАГРУЗКИ.

Деформации нагельных сопряжений во времени зависят от величины нагрузки, продолжительности действия ее и от крепости древесины.

Кроме того, влияют на величину деформации род нагелей, трение между досками, влажность древесины, температура воздуха и вид сопряжения.

Пока имеется еще мало данных для оценки значимости



а гвоздей отношению:

$$\frac{c}{d_r} = 8,5.$$

Каждая пара сопряжений делалась из отрезков одной доски, подобранных так, чтобы качество древесины было по возможности одинаковое.

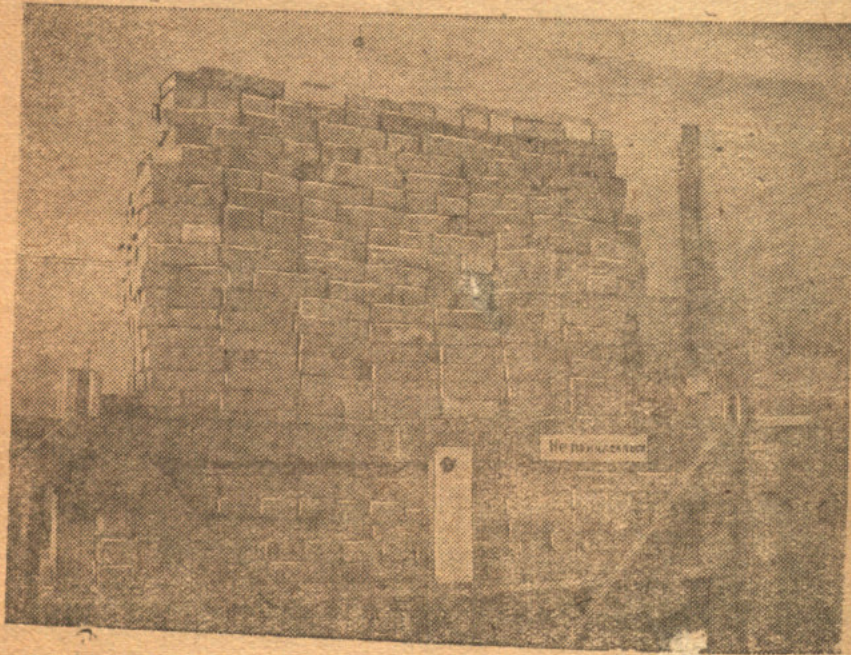


Рис. 26. Вид установки с загруженной платформой.

Доски, толщиной 4 см, были высушены в лаборатории длинноволновым током большой частоты до влажности от 10 до 15%, а в среднем до 12,5%.

Из отрезков каждой доски в шахматном порядке вырезывались нормальные образцы  $2 \times 2 \times 3$  см и испытывались на сжатие.

Высушенные и остроганные доски, а затем изготовленные сопряжения хранились до начала испытания в помещении лаборатории, с определенным влажностным режимом.

Помещение это находилось в первом этаже северной части здания и было защищено от резких колебаний температуры. Для производства длительного испытания сопряжений была устроена специальная установка с погрузочной платформой, на бетонном полу, с выверкой ее горизонтальности. Все сопряжения испытывались на растяжение.

Из узлов и стыков были составлены четыре отдельных элемента, на которых висела погрузочная платформа, как видно на рис. 25 и 26.

Для нагрузки служил кирпич, средний вес которого был определен после высушивания его.

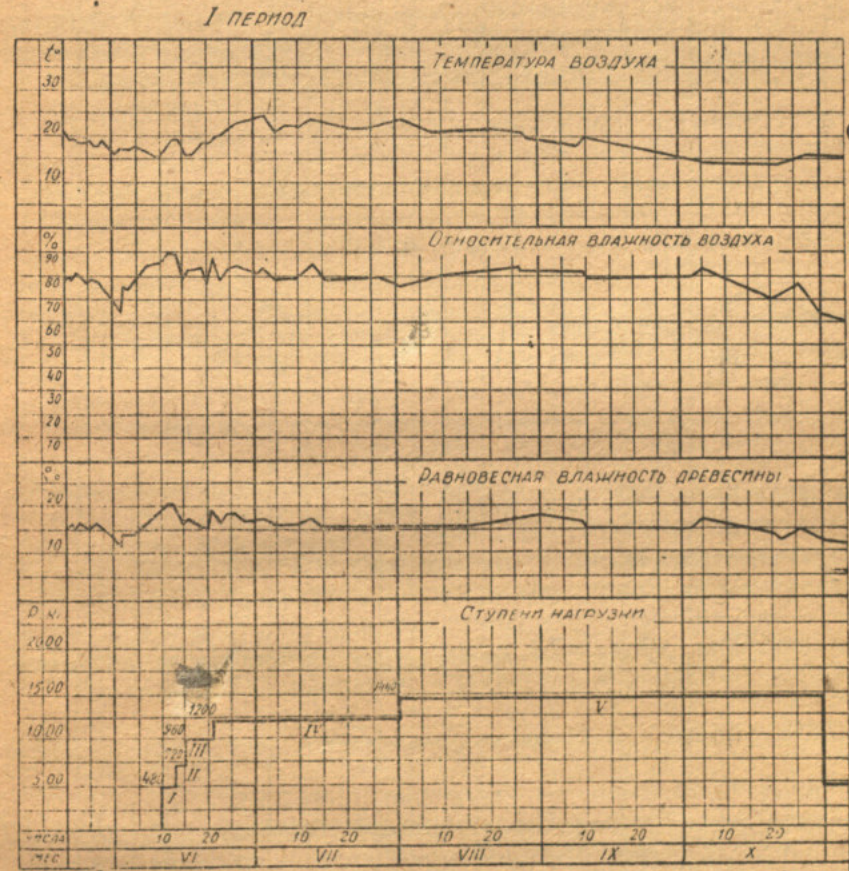


Рис. 27. Длительность действия нагрузки и влажностный режим.

Загрузка производилась ступенями так, чтобы на каждое сопряжение приходилось в ступени 240 кг.

В первой ступени был учтен вес платформы, определенный взвешиванием ее частей.

Кирпич накладывался равномерно с тем, чтобы на каждое сопряжение приходилась четвертая часть всей нагрузки.

Измерения деформаций сопряжений делались микрометрами по 32 базам, прикрепленным к доскам с двух сторон.

Промеры делались до и после каждого загрузки и

## II ПЕРИОД

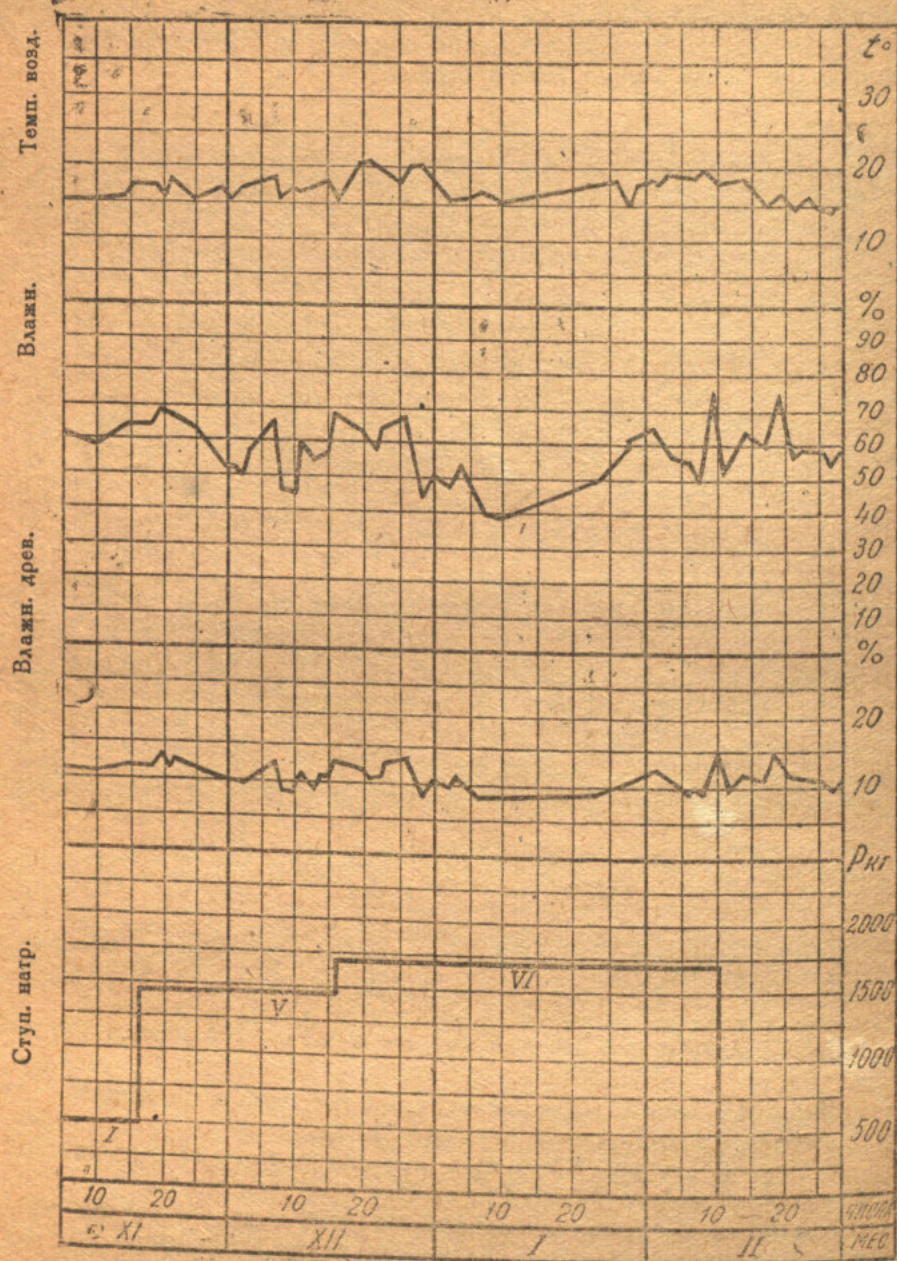


Рис. 28. Длительность действия нагрузки и влажностный режим.

периодически, в течение действия каждой ступени нагрузки, для определения характера затухания деформаций.

Всего для 16 сопряжений было выполнено 1440 промеров. Результаты испытания заносились в журнал и вслед за этим вычерчивались диаграммы деформаций.

Это давало возможность уже во время испытания оценить влияние величины нагрузки и длительности действия ее на деформации смешанных и гвоздевых сопряжений.

Сборка сопряжений и монтаж установки были выполнены в середине мая 1937 г.

После проверки действия установки, при временной нагрузке, меньше допускаемой, испытание началось в первой половине июня. Оно продолжалось, при разных ступенях нагрузки, в течение 8 месяцев. На графике рис. 27 и 28 показаны длительность действия и величина нагрузки, а также температурные и влажностные условия в течение испытания.

В зависимости от температуры и относительной влажности воздуха по диаграмме Н. И. Чулицкого определена равновесная влажность древесины, указанная на графике.

В течение первого периода испытания, с июня по октябрь, влажностный режим был устойчив и соответствовал приблизительно влажности досок около 15%.

Во второй период, после пуска водяного отопления и затем после наступления морозов, относительная влажность воздуха снизилась, и соответственно уменьшилась равновесная влажность древесины. Это должно было повлиять на упругость ее и относительно уменьшить деформации при дальнейшем испытании.

В таблице 23 приведены данные об испытанных сопряжениях, указаны размеры и число гвоздей и круглых нагелей, качество древесины, а также допускаемые нагрузки по проекту ТУ и Н 1937 г.

Доски сопряжений, выпиленные из одного бруса, обозначены общей литерой. Так как доски литеры К имели значительно меньшее сопротивление сжатию, чем остальное, то число гвоздей в сопряжениях, изготовленных из них, было соответственно увеличено.

Допускаемые нагрузки, рассчитанные по проекту ТУ и Н 1937 г., для парных смешанных и гвоздевых сопряжений получились почти одинаковые, за исключением стыков № 62/1 и № 62/2.

Небольшая разница, в среднем около 1%, не имеет значения для сравнения их работы, так как влияние неоднородности древесины на результаты испытания больше.

При величине нагрузки, меньшей и равной допускаемой по проекту ТУ и Н 1937 г., влияние последствия было незначительно, и деформации затухали относительно быстро.



Сопряжения, подвергнутые длительному испытанию.

Таблица 23.

№ пор.	№ сопряжения	Вид сопряжения	Нагели		Гвозди			Древесина				Допускаемые нагрузки		Примечания		
			дн мм	число	д <sub>г</sub> мм	l <sub>г</sub> мм	число	Литеры досок	Порода	Rc <sub>15</sub> кг/см <sup>2</sup>	Re <sub>15</sub> кг/см <sup>2</sup>	Марка	P <sub>д</sub> кг		P <sub>асм</sub> P <sub>дг</sub>	
1	61/1	Узел	—	—	4,1	102	16	к	к	ель	270	230	II	1010	—	а) Средняя влажность досок после электро-сушки К, Л и М — 13%, О и Н — 12% б) Отношения: $\frac{c}{d_H} = 2,9$ $\frac{c}{d_r} = 8,5$ в) Между досками были оставлены щели в 1,5 мм
2	61/2	"	12	1	4,1	102	12	к	к	"	"	"	"	1010	1,00	
3	62/1	Стык	—	—	4,1	102	12	к	к	"	"	"	"	600	—	
4	62/2	"	12	2	4,1	102	8	к	к	"	320	230	0	825	1,38	
5	63/2	"	12	2	4,1	102	5	к	л	"	240	320	II	1010	1,02	
6	63/1	"	—	—	4,1	102	13	л	л	"	320	320	0	990	—	
7	64/2	Узел	12	1	4,1	102	9	л	л	"	"	"	"	990	1,00	
8	64/1	"	—	—	4,1	102	13	л	л	"	"	"	"	990	—	
9	65/1	"	—	—	4,1	102	13	л	л	"	"	"	"	990	—	
10	65/2	"	12	1	4,1	102	13	н	н	сосна	350	350	0	1150	—	
11	66/2 <sup>в</sup>	Стык	12	2	4,1	102	5	н	н	"	"	"	"	1160	1,00	
12	66/1	"	—	—	4,1	102	13	м	м	"	300	350	I	1200	1,04	
13	67/1	"	—	—	4,1	102	13	м	м	"	"	"	"	1150	—	
14	67/2	"	12	2	4,1	102	5	м	м	"	360	360	I	1150	—	
15	68/2	Узел	12	1	4,1	102	9	о	о	"	360	360	0	1200	1,04	
16	68/1	"	—	—	4,1	102	13	о	о	"	360	360	0	1160	1,00	

Общая величина деформации складывается из упругих и пластических деформаций.

По мере увеличения нагрузки растет и отношение пластической деформации к упругой, пока она не переходит в неза-тухающую ползучую.

При нагрузке, близкой к допускаемой, уже выявилось, что гвоздевые сопряжения податливей, чем смешанные.

Дальнейшее увеличение нагрузки дало для большинства сопряжений значительную разницу.

На рис. 29 и 30 даны диаграммы деформации узлов № 61/1 и № 61/2, изготовленных из еловых досок, а на рис. 31 и 32 — диаграммы узлов № 65/1 и № 65/2, изготовленных из сосновых досок.

Меньшая податливость смешанных сопряжений видна по суммарной величине деформаций при разных ступенях нагрузки, а также по деформации после уменьшения нагрузки с 1440 кг до 480 кг.

На рис. 33 и 34 показаны диаграммы деформаций стыков из еловых досок, а на рис. 35 и 36 — стыков из сосновых досок.

В таблице 24 указаны ступени нагрузки и длительность действия их.

Так как при первых трех ступенях нагрузки деформации от последствия были очень малы, то уже через 11 дней после начала испытания перешли на четвертую ступень, которая давала 1200 кг на каждое сопряжение.

Это соответствовало приблизительно допускаемой нагрузке, по проекту ТУиН 1937 г., на сопряжения из сосновых досок.

Допускаемые усилия на сопряжения из еловых досок были меньше.

Таблица 24.

Ступени нагрузки.

Периоды	Ступени	Величина нагрузки на каждое сопряжение кг	Длительность действия нагрузки	
			в ступени сутки	в периоде сутки
Первый	I	480	3	159
	II	720	2	
	III	960	6	
	IV	1200	41	
	V	1440	91	
Второй	I	480	16	70
	V	1440	28	
"	VI	1680	42	

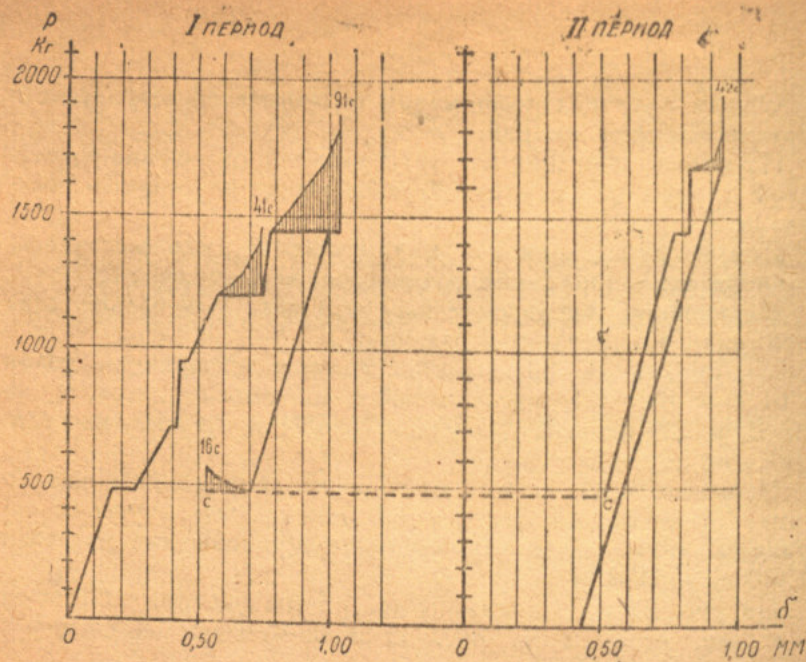


Рис. 29. Диаграмма деформации узла № 61/1 на гвоздях.

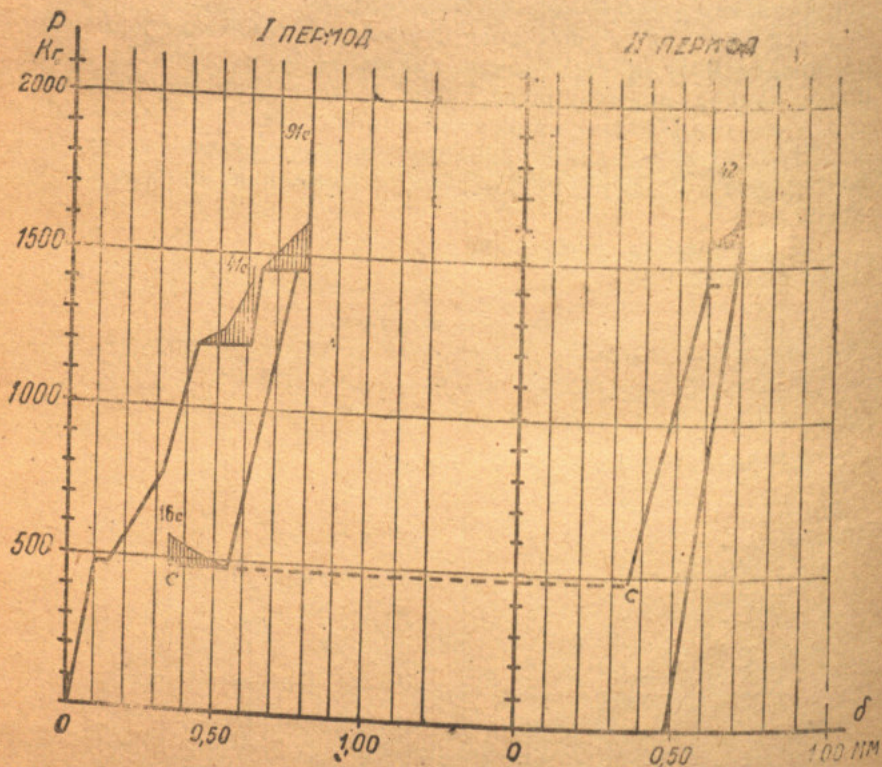


Рис. 30. Диаграмма деформации узла № 61/2 на гвоздях и круглом нагеле.

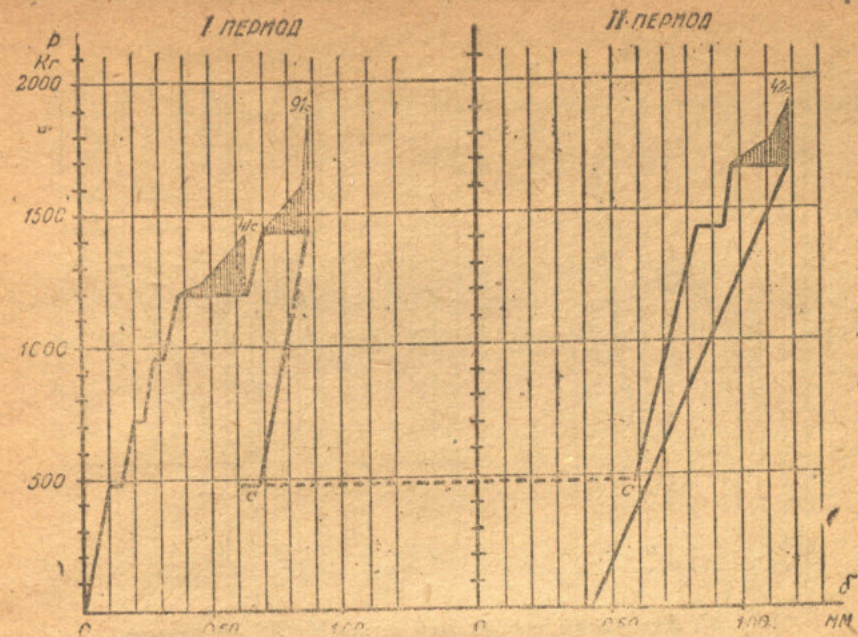


Рис. 31. Диаграмма деформации узла № 65/1 на гвоздях.

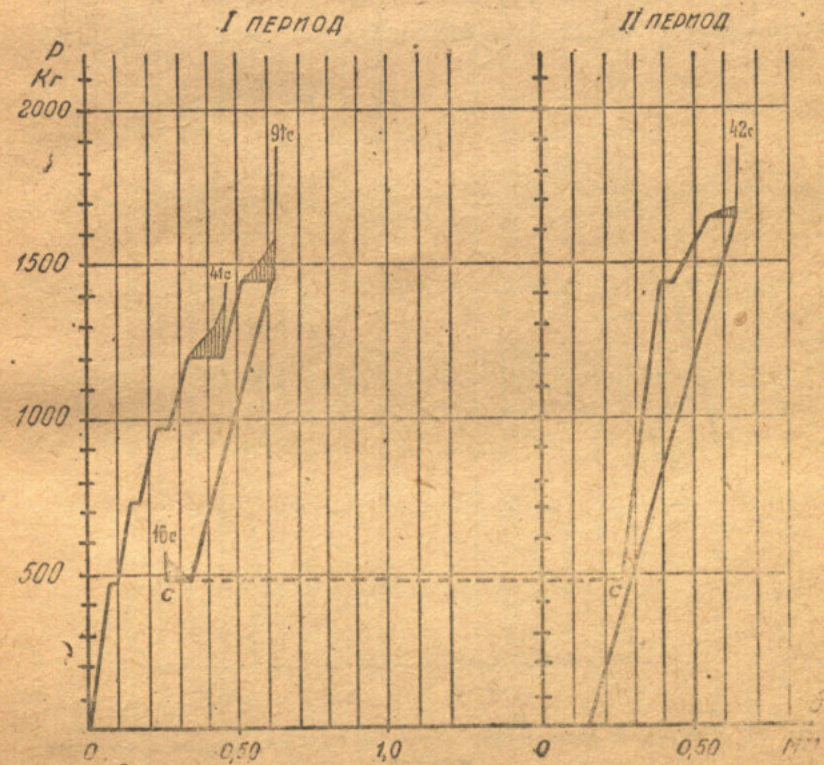


Рис. 32. Диаграмма деформации узла № 65/2 на гвоздях и круглом нагеле.

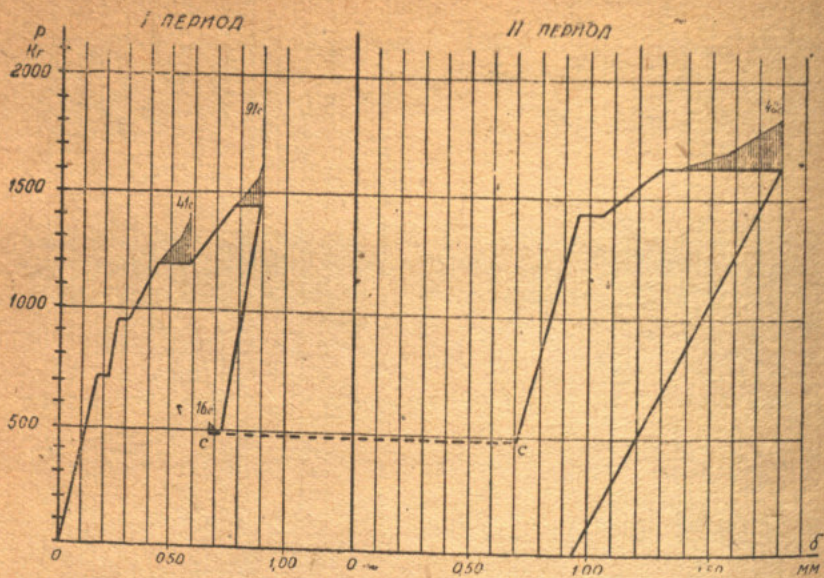


Рис. 33. Диаграмма деформаций стыка № 63/1 на гвоздях.

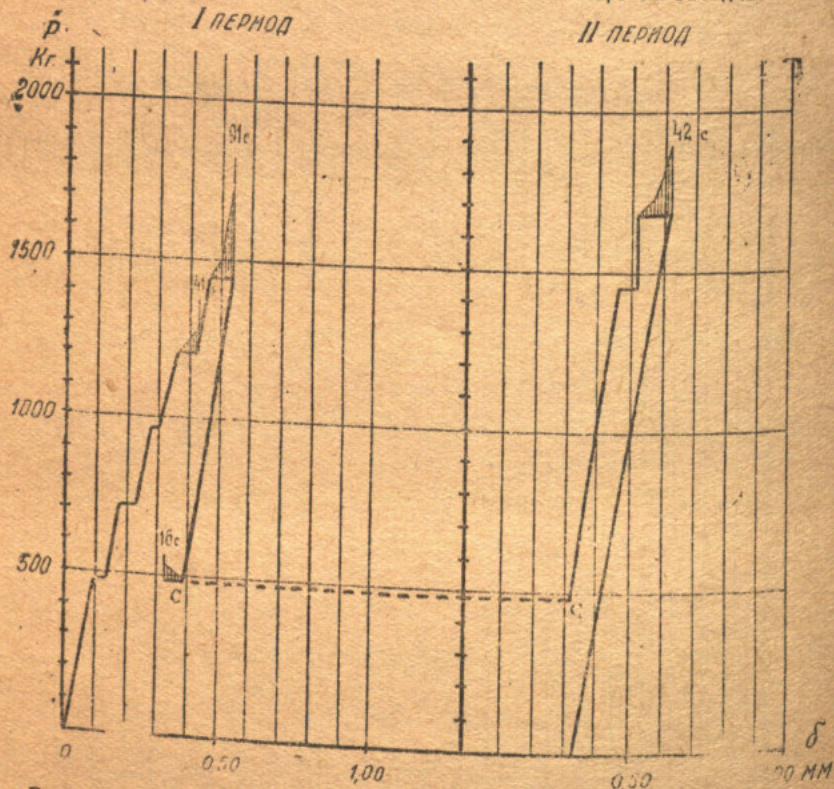


Рис. 34. Диаграмма деформации стыка № 63/2 на гвоздях и круглых нагелях

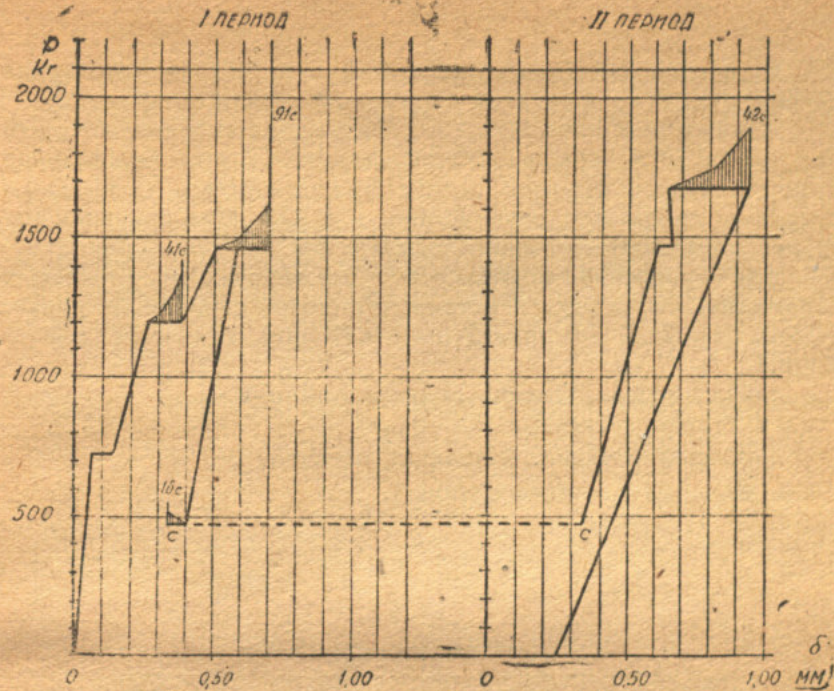


Рис. 35. Диаграмма деформаций стыка № 66/1 на гвоздях.

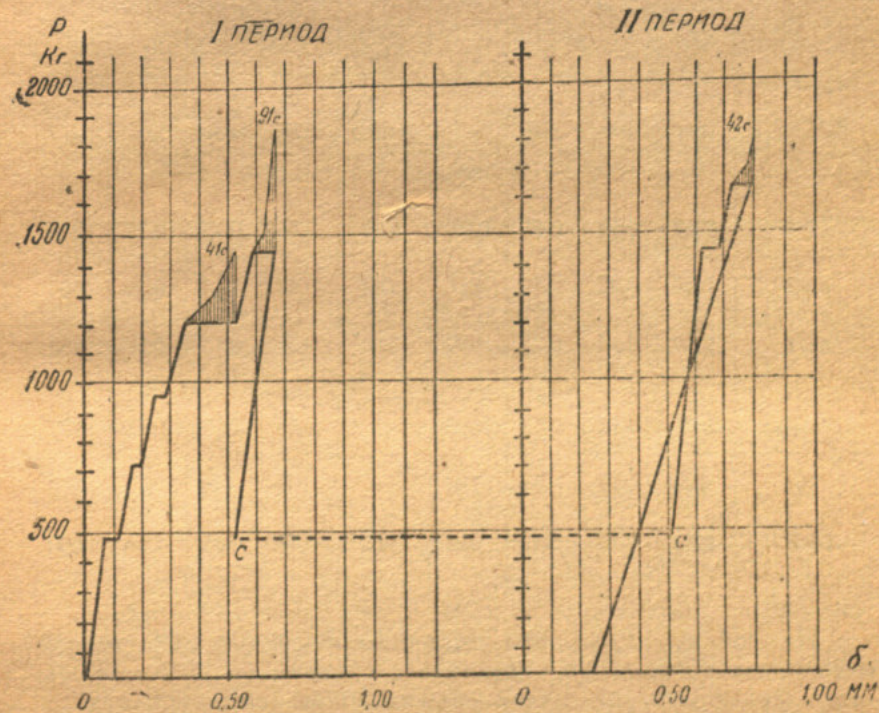


Рис. 36. Диаграмма деформаций стыка № 66/2 на гвоздях и круглых нагелях.

В течение действия четвертой ступени нагрузки ползучие деформации в большинстве сопряжений почти затухли.

Исключение составлял стык № 62/1 на гвоздях, который нес двойную против расчетной нагрузку и поэтому сильнее деформировался. По его работе представлялось возможным судить о вероятных деформациях в следующих ступенях нагрузки остальных гвоздевых сопряжений.

Для сравнения податливости смешанных и гвоздевых сопряжений, во время действия четвертой ступени нагрузки, в таблицах 25 и 26 приведены следующие величины деформации:

сдвиг непосредственно после наложения  
IV ступени нагрузки . . . . .  $\delta_n$   
приращение сдвига в течение 41 суток . . . . .  $\delta_p$   
суммарная величина сдвига . . . . .  $\delta$

Таблица 25.

IV ступень нагрузки P = 1200 кг									
Сопряжения из еловых досок									
№ сопряжения	Смешанные				№ сопряжения	Гвоздевые			
	$\delta_n$ мм	$\delta_p$ мм	$\delta$ мм	$P_d$ кг		$\delta_n$ мм	$\delta_p$ мм	$\delta$ мм	$P_d$ кг
61/2	0,43	0,18	0,61	1010	61/1	0,56	0,17	0,73	1010
63/2	0,36	0,07	0,43	1010	63/1	0,43	0,16	0,59	990
64/2	0,59	0,14	0,73	990	64/1	0,39	0,17	0,56	990
Средн.	0,46	0,13	0,59	1003		0,46	0,17	0,63	997
%	100	77	94	100		100	100	100	100
62/2	0,38	0,14	0,52	825	62/1	0,79	0,35	1,14	600

Из таблиц видно, что величины ползучих деформаций смешанных сопряжений оказались в среднем на 25% меньше, чем в гвоздевых, при почти равных допускаемых усилиях.

Таблица 26.

IV ступень нагрузки P = 1200 кг									
Сопряжения из сосновых досок									
№ сопряжения	Смешанные				№ сопряжения	Гвоздевые			
	$\delta_n$ мм	$\delta_p$ мм	$\delta$ мм	$P_d$ кг		$\delta_n$ мм	$\delta_p$ мм	$\delta$ мм	$P_d$ кг
65/2	0,35	0,11	0,46	1160	65/1	0,39	0,25	0,64	1150
66/2	0,34	0,19	0,53	1200	66/1	0,26	0,13	0,39	1150
67/2	0,20	0,05	0,25	1200	67/1	0,17	0,11	0,27	1150
68/2	0,41	0,09	0,50	1160	68/1	0,21	0,12	0,33	1150
Средн.	0,32	0,11	0,43	1180		0,26	0,15	0,41	1150
%	123	73	105	103		100	100	100	100

Суммарные величины сдвигов к концу действия IV ступени нагрузки отличаются незначительно, вследствие влияния на них начальных деформаций, зависивших от того, насколько плотно сидели круглые нагели в своих отверстиях. Сопряжения № 62/2 и № 61/1 исключены из сравнения, ввиду разности допускаемых нагрузок на них.

Таблица 27.

V ступень нагрузки P = 1440 кг									
Сопряжения из еловых досок									
№ сопряжения	Смешанные				№ сопряжения	Гвоздевые			
	$\Sigma \delta_p$ мм	$\delta$ мм	$P_d$ кг	$\frac{P}{P_d}$		$\Sigma \delta_p$ мм	$\delta$ мм	$P_d$ кг	$\frac{P}{P_d}$
61/2	0,42	0,77			61/1	0,51	1,01		
63/2	0,24	0,54			63/1	0,37	0,90		
64/2	0,36	0,94			64/1	0,51	0,86		
Средн.	0,34	0,75	1003	1,44		0,46	0,92	997	1,45
%	74	82		100		100	100		100
62/2	0,29	0,62	825	1,75	62/2	0,96	1,66	600	2,40

Таблица 28.

V ступень нагрузки P = 1440 кг									
Сопряжения из сосновых досок									
№ сопряжения	Смешанные				Гвоздевые				
	$\Sigma \delta_{II}$	$\delta$	$R_d$	$R$	№ сопряжения	$\Sigma \delta_{II}$	$\delta$	$R_d$	$R$
	мм	мм	кг	$R_d$		мм	мм	кг	$R_d$
65/2	0,28	0,61			65/1	0,49	0,88		
66/2	0,35	0,66			66/1	0,30	0,58		
67/2	0,18	0,36			67/1	0,26	0,52		
68/2	0,24	0,63			68/1	0,24	0,46		
Средн.	0,26	0,57	1180	1,22		0,32	0,61	1150	1,25
%	81	93		98		100	100		100

В таблицах 27 и 28 приведены суммарные величины ползучих деформаций для ступеней I—V и общие деформации по окончании действия пятой ступени нагрузки.

Суммарные величины ползучих деформаций в смешанных сопряжениях получились меньше, чем в гвоздевых на 26% и 19%, в зависимости от отношения  $\frac{P}{R_d}$ .

Общие величины сдвигов в смешанных сопряжениях меньше, чем в гвоздевых. Для сопряжений из еловых досок разница составляет 18%.

Когда ползучие деформации при V ступени нагрузки затухли, была произведена разгрузка, доведенная до I ступени.

Остаточные деформации непосредственно после разгрузки (см. Рис. 29) и после затухания обратного движения отличались в среднем на 20%.

Необратимая часть деформации была равна разнице между измеренной остаточной и упругой деформаций, при первой ступени нагрузки.

Она в среднем для каждой группы сопряжений близка к величине суммарной ползучей деформации, от I до V ступени нагрузки.

Ползучие деформации являются в большей части пластическими.

В отношении остаточных деформаций существенного отличия между смешанными и гвоздевыми сопряжениями не было.

Таблица 29.

VI ступень нагрузки P = 1680 кг									
Смешанные сопряжения				Гвоздевые сопряжения					
Доски	№ сопряжения	$\delta$	$\frac{P}{R_d}$	Доски	№ сопряжения	$\delta$	$\frac{P}{R_d}$	$\delta$	$\frac{P}{R_d}$
Еловые	61/2	0,69		Еловые	61/1	0,90			
"	63/2	0,63		"	63/1	1,80			
"	64/2	1,14		"	64/1	1,47			
Средние		0,82	1,68			1,38	1,69		
%		60	100			100	100		
	62/2	0,73	2,04		62/1	2,20	2,80		
Соснов.	65/2	0,88		Сосновые	65/1	1,19			
"	66/2	0,80		"	66/1	0,95			
"	67/2	0,33		"	67/1	0,80			
"	68/2	0,84		"	68/1	0,80			
Средние		0,71	1,43			0,94	1,46		
%		76	98			100	100		

Второй период испытания длился с середины ноября до конца января. Нагрузка была поднята с I ступени до V, а затем до VI, при P = 1680 кг.

В таблице 29 приведены отношения этой нагрузки к средней, допускаемой для каждой группы сопряжений, и указаны суммарные величины сдвигов.

Для смешанных сопряжений они получились в среднем меньше, чем для гвоздевых, при еловых досках на 40% и при сосновых — на 24%.

Для отдельных сопряжений кривые деформации при вторичном загрузении получились несколько отличными от кривых первого периода испытания. Это указывает на не вполне равномерное распределение усилий от нагрузки в зависимости от несовершенства испытательной установки.

Но существенного влияния на полученные средние величины деформаций это не могло иметь.

Таблица 30.

Разрушающая нагрузка									
Смешанные сопряжения					Гвоздевые сопряжения				
№ сопряжения	$R_{д}$ кг	$R_{д}''$ кг	$R_{max}$ кг	$\frac{R_{max}}{R_{д}''}$	№ сопряжения	$R_{д}$ кг	$R_{д}''$ кг	$R_{max}$ кг	$\frac{R_{max}}{R_{д}''}$
Узлы									
61/2	1010	1210	6100	5,0	61/1	1010	1210	6450	5,3
64/2	990	1190	5300	4,5	64/1	990	1190	5350	4,5
65/2	1160	1390	5850	4,2	65/1	1150	1380	6850	5,0
68/2	1160	1390	7200	5,2	68/1	1150	1380	6400	4,6
Средн. .				4,7					4,9
% . . .				96					100
Стыки									
62/2	825	990	3500	3,5	62/1	600	720	3400	4,7
63/2	1010	1210	5350	4,4	63/1	990	1190	4440	3,7
66/2	1200	1440	4100	2,8	66/1	1150	1380	6250	4,5
67/2	1200	1440	5200	3,6	67/1	1150	1380	6150	4,4
Средн.				3,6					4,3
% . . .				84					100

После окончательной разгрузки установок, конструкции были разрезаны на отдельные сопряжения, которые испытывались на сжатие в машине Амслера для определения запаса прочности, отнесенного к разрушающей нагрузке.

В таблице 30 приведены результаты этого испытания.

Учитывая уменьшенную к концу второго периода испытания влажность древесины, близкую к 10%, допускаемые нагрузки соответственно увеличены на

$$0,04 (15-10) 100 = 20\%.$$

$$R_{д}'' = 1,2 R_{д}.$$

Коэффициент  $K_{вл} = 0,04$  принят применительно к § 4 проекта ТУ и Н 1937 г.

Для узлов при смешанных и гвоздевых сопряжениях средние коэффициенты запаса прочности получены почти одинаковые.

Для стыков при смешанных сопряжениях и здесь получены меньшие коэффициенты запаса.

В среднем они больше 3,5, но для одного стыка получился

$$\frac{R_{max}}{R_{д}''} = 2,8, \text{ при отношении } \frac{c}{d_n} = 2,9.$$

## ВЫВОДЫ.

Результаты сравнительных испытаний сопряжений при длительном воздействии нагрузки подтвердили, что податливость смешанных сопряжений меньше, чем гвоздевых.

Разница в деформациях получена большая, чем при машинных испытаниях, что надо отнести к влиянию пластических деформаций.

При нагрузках, близких к допускаемым, ползучие деформации затухали и суммарная величина сдвигов была меньше 1 мм.

В эксплуатационных условиях, менее благоприятных для деревянных конструкций, чем лабораторные, деформации сопряжений при таких же нагрузках были бы больше.

Работа сопряжений, изготовленных из досок, высушенных электрическим током, при длительном испытании оказалась хорошей.

## V. УСИЛЕНИЕ НАГЕЛЬНЫХ СОПРЯЖЕНИЙ В НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ.

Усиление сопряжений в существующих конструкциях может потребоваться, если допускаемые на них усилия оказываются меньше максимальных расчетных, и вследствие этого получается недопустимое снижение запаса прочности или чрезмерные деформации.

Постановка дополнительных нагелей в сопряжениях, находящихся в напряженном состоянии, имеет значение для усиления конструкций, полная разгрузка которых во время производства работ затруднительна или невозможна.

Обозначим через

$N$  — расчетное усилие,

$[N]$  — допускаемое усилие на сопряжение до усиления,

$N_1$  — усилие, действующее во время производства работ по усилению.

Потребное усиление в процентах будет:

$$100 \frac{N - [N]}{[N]} \%$$

Возможное усиление сопряжения зависит от имеющегося запаса в сечениях сопрягаемых элементов конструкции и от

свободного места для постановки дополнительных круглых нагелей или забивки гвоздей.

Действующее усилие во время усиления должно быть как правило, не больше допускаемого.

$$N_1 < [N].$$

Рассмотрим вопрос о вероятных деформациях начального сопряжения, усиленного в напряженном состоянии.

В пределах допускаемых усилий можно с достаточной точностью считать, что деформации сопряжений пропорциональны усилиям.

Из диаграммы усиления сопряжения на рис. 37 видно, что после постановки дополнительных нагелей при увеличении нагрузки получается перелом прямой.

Прямая идет дальше параллельно тому направлению, которое соответствует деформации сопряжения, в котором основные и дополнительные нагели были поставлены до нагрузки.

Из подобия треугольников имеем:

$$\frac{\delta - \delta_1}{N - N_1} = \frac{\delta_d}{N}$$

$$\delta = \delta_1 + \delta_d \frac{N - N_1}{N} \quad (18)$$

В схеме 1 принято, что величина сдвига при допускаемых усилиях, до и после усиления, — постоянная величина.

Так как

$$\frac{\delta}{\delta_1} = \frac{[N]}{N_1},$$

то

$$\delta_d = \delta_1 \frac{[N]}{N_1}.$$

Подставляя в (18), получаем:

$$\delta = \delta_1 + \delta_1 \frac{[N]}{N_1} - \delta_1 \frac{[N]}{N}$$

$$\frac{\delta}{\delta_1} = 1 + \frac{[N]}{N} \left( \frac{N}{N_1} - 1 \right) \quad (19)$$

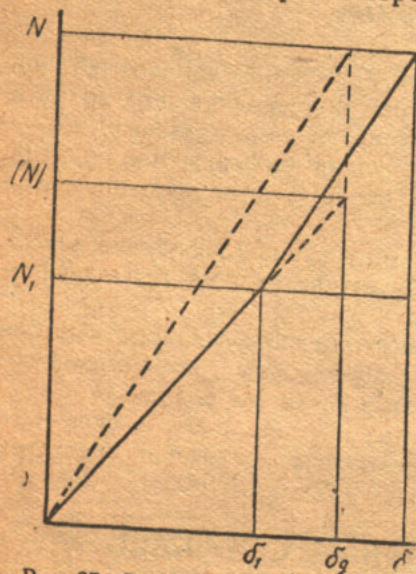


Рис. 37. Диаграмма деформации сопряжения усиленного в напряженном состоянии.

Подставляя в (18)

$$\delta_1 = \delta_d \frac{N_1}{[N]}$$

получаем:

$$\frac{\delta}{\delta_d} = 1 + \left( \frac{N}{[N]} - 1 \right) \frac{N_1}{N}, \quad (20)$$

При постоянной величине  $\frac{[N]}{N}$  уравнение (19) дает кривую, а уравнение (20) прямую, выражающие зависимость деформации от отношения усилий  $\frac{N_1}{N}$  (рис. 38).

В таблице 31 указаны величины  $\frac{N_1}{[N]}$  для разных отношений усилий  $\frac{[N]}{N}$  и  $\frac{N_1}{N}$ .

Возможность усиления сопряжения существующей конструкции больше, чем на две трети, мало вероятно.

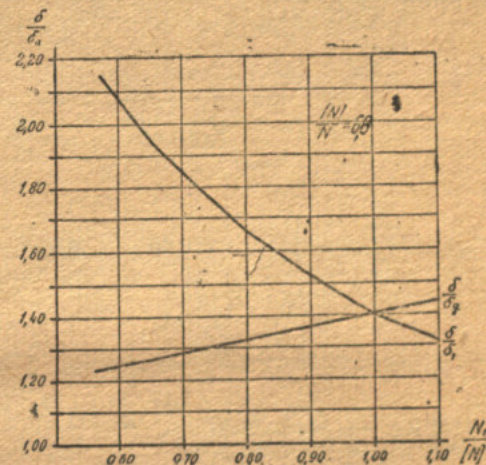


Рис. 38. Зависимость отношений величины деформаций от отношений усилий.

Таблица 31.

Усиление	25%	43%	67%
$\frac{[N]}{N}$	0,80	0,70	0,60
$\frac{N_1}{N}$	$\frac{N_1}{[N]}$	$\frac{N_1}{[N]}$	$\frac{N_1}{[N]}$
0,40	0,50	0,57	0,67
0,50	0,63	0,71	0,83
0,60	0,75	0,86	1
0,70	0,88	1	1,17

Из формулы (20) следует, что для определенного отношения  $\frac{[N]}{N}$  наибольшая деформация после усиления будет тем меньше, чем меньше усилие  $N_1$ , при котором делается усиление сопряжения.

В таблице 32 приведены относительные величины деформаций в зависимости от отношений  $\frac{N_1}{N}$ , при усилении сопряжения на 43%.

Таблица 32.

Усиление сопряжений на 43%				
$\frac{N_1}{N}$	0,40	0,50	0,60	0,70
$\frac{N_1}{[N]}$	0,57	0,71	0,86	1
$\frac{\delta}{\delta_d}$	1,17	1,21	1,26	1,30

Если бы сопряжение не было усилено, то увеличение усилия на 43% сверх допустимого вызвало бы значительно большие деформации, особенно при длительном действии нагрузки.

Для определения таковых мы воспользовались результатами испытаний гвоздевых сопряжений, приведенными в предыдущих главах.

По средним величинам деформаций при допустимой нагрузке и по отношениям  $\frac{P_{0,5}}{P_d}$ , полученным при машинном испытании, найдены путем интерполяции величины деформации, соответствующие увеличению нагрузки на 43% сверх допустимой.

Изменение величины деформации принято по закону прямой линии, согласно схемы на рис. 39.

Отношение деформации  $\frac{\delta'}{\delta_d}$  определено по формуле:

$$\frac{\delta'}{\delta_d} = 1 + \frac{(0,5 - \delta_d) 0,43}{\delta_d \left( \frac{P_{0,5}}{P_d} - 1 \right)} \quad (21).$$

Как среднее, для 15 гвоздевых сопряжений получено:

$$\frac{\delta'}{\delta_d} = 1,71,$$

а для 7 сопряжений на круглых железных нагелях:

$$\frac{\delta'}{\delta_d} = 1,85.$$

Для 8 сопряжений на гвоздях, испытанных при длительном воздействии нагрузки, получено в среднем:

$$\frac{\delta'}{\delta_d} = 2,28.$$

Все эти отношения  $\frac{\delta'}{\delta_d}$  значительно больше, чем отношения  $\frac{\delta}{\delta_d}$  для усиленных сопряжений, указанные в таблице 32.

При выводе формулы (20) было принято, что деформация  $\delta_d$  — постоянная величина.

Если нагели, поставленные первоначально, и при усилении в ненапряженном состоянии разные, как в смешанных сопряжениях, то деформации при допустимых усилиях могут получиться неодинаковыми.

По результатам испытаний сопряжений, приведенным выше, видно, что разница средних величин  $\delta_d$  для разного рода сопряжений незначительна.

При усилении нагельных сопряжений в напряженном состоянии приходится все же учитывать эту разницу.

Допустим, что

$$\delta' = \eta \delta_d,$$

где

$\delta'_d$  — средняя деформация при допустимом усилии в смешанных сопряжениях,

$\delta_d$  — средняя деформация при допустимом усилии в сопряжениях на однородных нагелях,

$\eta = \frac{\delta'_d}{\delta_d}$  может быть больше или меньше единицы.

На рис. 40 показана диаграмма деформации, при  $\eta > 1$ . Из подобия треугольников имеем:

$$\frac{\delta - \delta'}{N - N_1} = \frac{\delta'_d}{N}$$

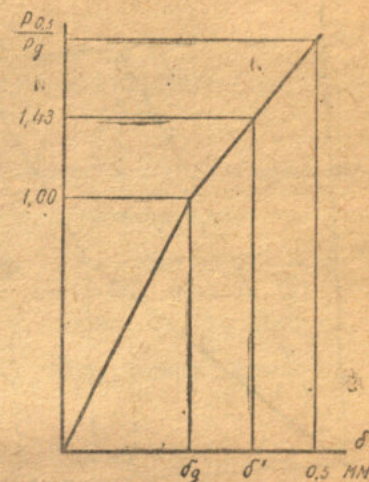


Рис. 39. Диаграмма деформации неусиленных сопряжений.



$$\delta = \delta_1 + \delta_{\lambda'} - \delta_{\lambda} \frac{N'}{N} \quad (22)$$

Подставив в (22)

$$\delta_{\lambda'} = \eta \delta_{\lambda} = \eta \delta_{\lambda} \frac{[N]}{N_1}$$

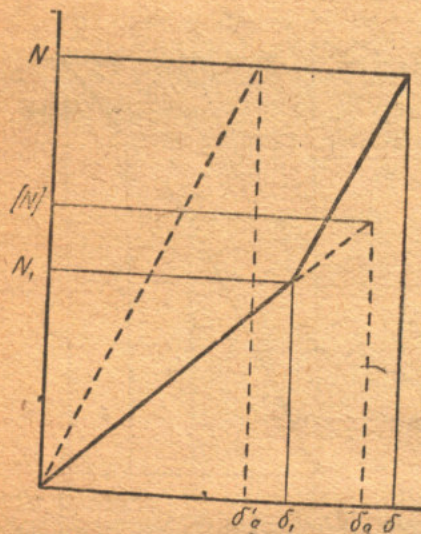


Рис. 40. Диаграмма деформации сопряжения, усиленного в сопряженном состоянии.

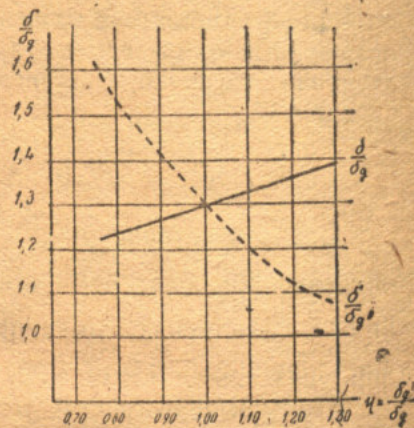


Рис. 41. Зависимость отношений величин сдвигов от величины  $\eta$ .

получаем:

$$\delta = \delta_1 + \eta \delta_1 \frac{[N]}{N_1} - \eta \delta_1 \frac{[N]}{N},$$

откуда

$$\frac{\delta}{\delta_1} = 1 + \eta \frac{[N]}{N} \left( \frac{N}{N_1} - 1 \right); \quad (23)$$

так как

$$\delta_1 = \delta_{\lambda} \frac{N_1}{[N]},$$

то

$$\frac{\delta}{\delta_{\lambda}} = \frac{N_1}{[N]} + \eta \left( 1 - \frac{N_1}{N} \right) \quad (24)$$

Величина  $\eta$  может быть определена из (25)

$$\eta = \frac{N_1 \left( \frac{\delta}{\delta_1} - 1 \right)}{[N] \left( 1 - \frac{N_1}{N} \right)} \quad (25)$$

Возьмем случай усиления сопряжения на 43%, указанный в таблице 32.

В графике на рис. 41 показана определенная по формуле (24) зависимость отношений деформаций от величины при отношении усилий:

$$\frac{N_1}{N} = 0,70$$

$$\frac{N_1}{[N]} = 1.$$

Как видно, влияние колебания величины  $\eta$  в пределах  $\pm 30\%$  на отношение деформаций  $\frac{\delta}{\delta_{\lambda}}$  незначительно.

При испытании разных нагельных сопряжений полученные нами средние величины  $\eta$  отличались не более, чем на 20%.

В таблице 33 приведены величины отношений деформации  $\frac{\delta}{\delta_{\lambda}}$ , определенные по формуле (24), при разных степенях усиления и напряженности.

Таблица 33.

Усиление сопряжения на	43%		67%		
	Отношение $\frac{[N]}{N}$		Отношение $\frac{[N]}{N}$		
	0,70		0,60		
"	$\frac{N_1}{[N]}$	0,5    1	0,5    1		
"	$\frac{N_1}{N}$	0,35    0,70	0,30    0,60		
Отношения	$\eta = 1,1$	1,22	1,33	1,27	1,44
	$\eta = 1,2$	1,28	1,36	1,34	1,48
	$\eta = 1,3$	1,35	1,39	1,41	1,52

Из таблицы видно, что для уменьшения деформации усиленного сопряжения надо, возможно, уменьшить степень напряженности во время усиления.

Кроме того, следует стремиться к снижению величины  $\eta$ , что легче всего достичь при усилении сопряжений дополнительным гвоздевым забоем.

Если для усиления ставятся дополнительно круглые нагели, то они должны быть тщательно отобраны по диаметру,

чтобы не было начальных рыхлых деформаций, увеличивающих  $\delta_d'$  и, следовательно,  $\eta$ .

Для экспериментальной проверки влияния усиления сопряжений в напряженном состоянии на деформации и на запас прочности был проведен ряд испытаний стыков и узлов.

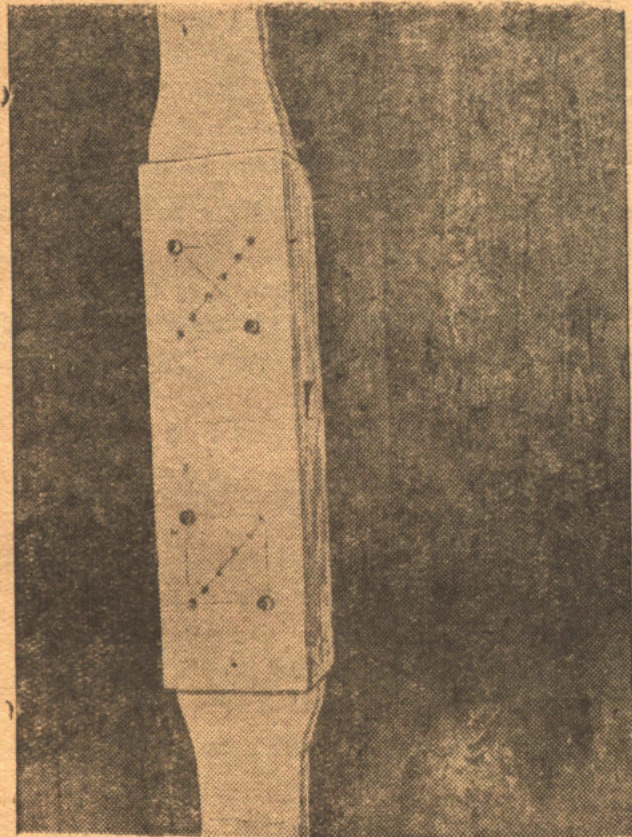


Рис. 42. Усиление стыка в напряженном состоянии.

В целях устранения влияния побочных факторов, мы применили и здесь метод сравнения, а именно, аналогичных смешанных сопряжений, усиленных и нормальных.

Были изготовлены парные сопряжения, связанные между собою, которые растягивались в машине Амслера. Каждая пара составлялась из отрезков одной доски, предварительно высушенной и остроганной.

Древесина испытывалась на сжатие в нормальных образцах, вырезанных из досок, во время изготовления сопряжений.

Гвозди и круглые железные нагели тщательно отбирались по диаметру, причем последние брались на 0,5 мм больше, чем диаметр сверла электродрели.

В стыках одно сопряжение при изготовлении делалось на круглых нагелях и гвоздях, а второе на одних круглых нагелях с тем, чтобы забить гвозди во время усиления.

При растяжении стыка, когда усилие было близко к допускаемому для более слабого сопряжения, загонялся дубовый клин в щель, оставленную между средними досками (рис. 42).

Клин забивался легкими ударами молотка до тех пор, пока стрелка на указателе машины не начинала отходить назад.

Затем сопряжение вынималось из машины и усиливалось путем забивки недостающих гвоздей, после чего вновь вставлялось в машину.

До и после расклинивания, а также после усиления производились промеры сдвигов досок по базам, причем получались незначительные деформации, в пределах до 0,10 мм, вызванные этой операцией.

Вслед за этим продолжалось растягивание стыка, и клин освобождался.

Нагрузка производилась ступенями, со скоростью 200 кг в минуту до полуторной допускаемой, а дальше 400 кг/мин.

После каждой ступени делались промеры деформаций.

Испытание продолжалось до разрушения одного из сопряжений.

Всего было испытано, таким образом, шесть стыков, усиленных гвоздями в напряженном состоянии.

Для проверки, как работают сопряжения на гвоздях, усиленные круглыми нагелями, было испытано два спаренных узла на растяжение и два узла на сжатие.

Узлы с углом  $90^\circ$  делались на 6 гвоздях и усиливались одним круглым железным нагелем.

Из спаренных узлов 1 был на 6 гвоздях и 1 круглом нагеле, а 2-ой лишь на 6 гвоздях. Узлы эти соединялись посредством 4 стяжных болтов так, чтобы между средними досками оставалась щель, для забивки клина во время испытания.

Расклинивание производилось, как в стыках, но усиление делалось не вынимая узел из машины. После забивки клина электродрелью просверливалось отверстие и легкими ударами молотка загонялся круглый нагель. Затем продолжалось испытание до разрушения одного из сопряжений.

Два узла, испытанные на сжатие, при усилении их в напряженном состоянии, были изготовлены из тех же досок и той же мощности, как узлы, которые испытывались при длительном воздействии нагрузки.

В таблице 34 приведены данные, характеризующие сопряжения, испытанные при усилении их в напряженном состоянии.

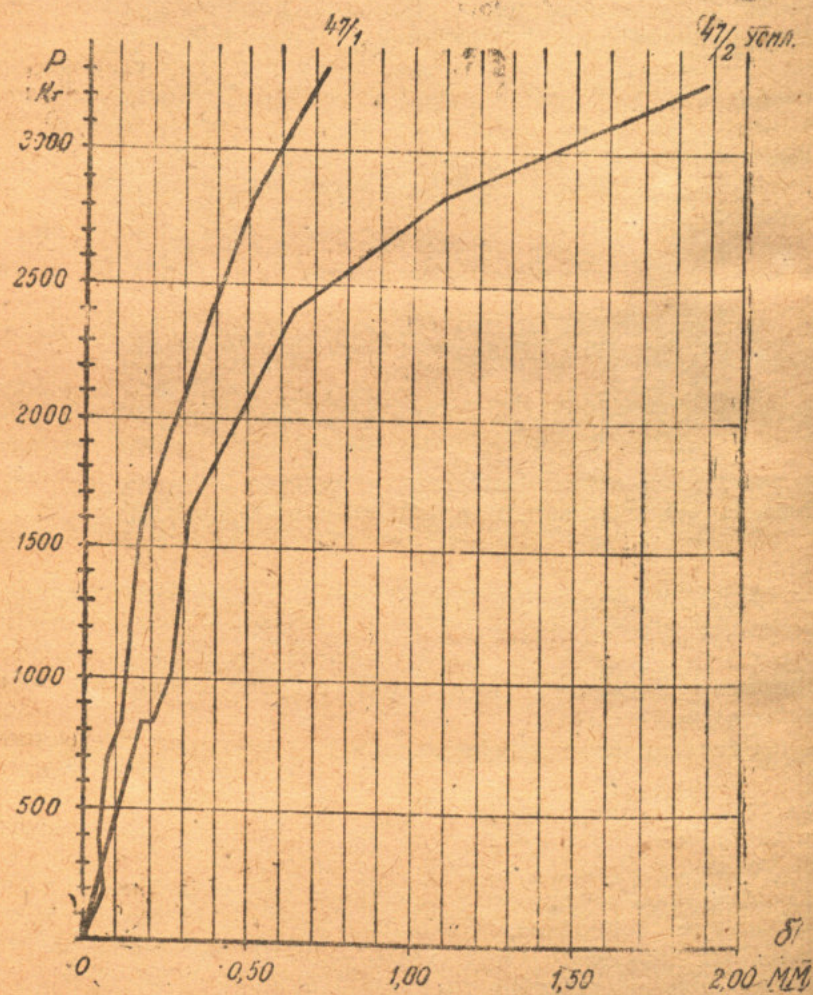
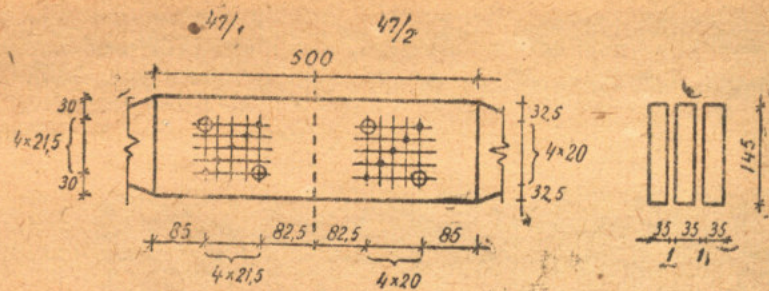


Рис. 43.  
Деформации стыка № 47.

На рис. 43 и 44 показаны сравнительные диаграммы деформаций стыков, в которых одно сопряжение было усилено в напряженном состоянии. После усиления обе кривые идут почти concentрично.

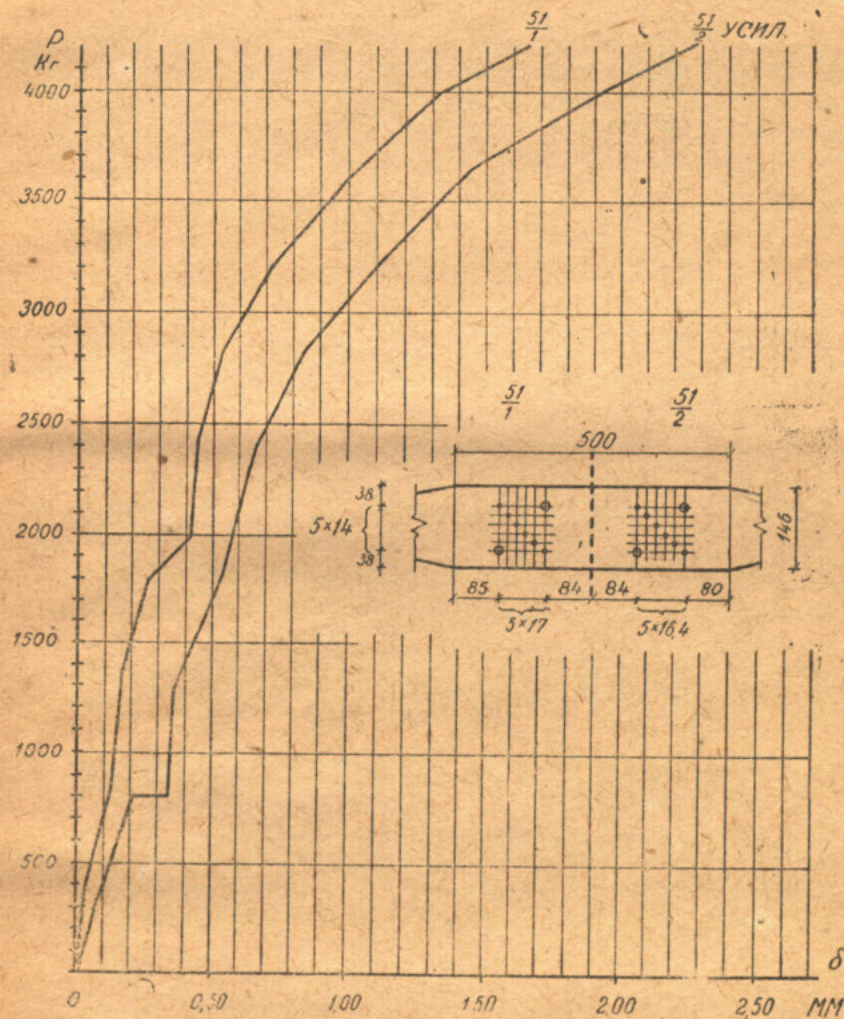


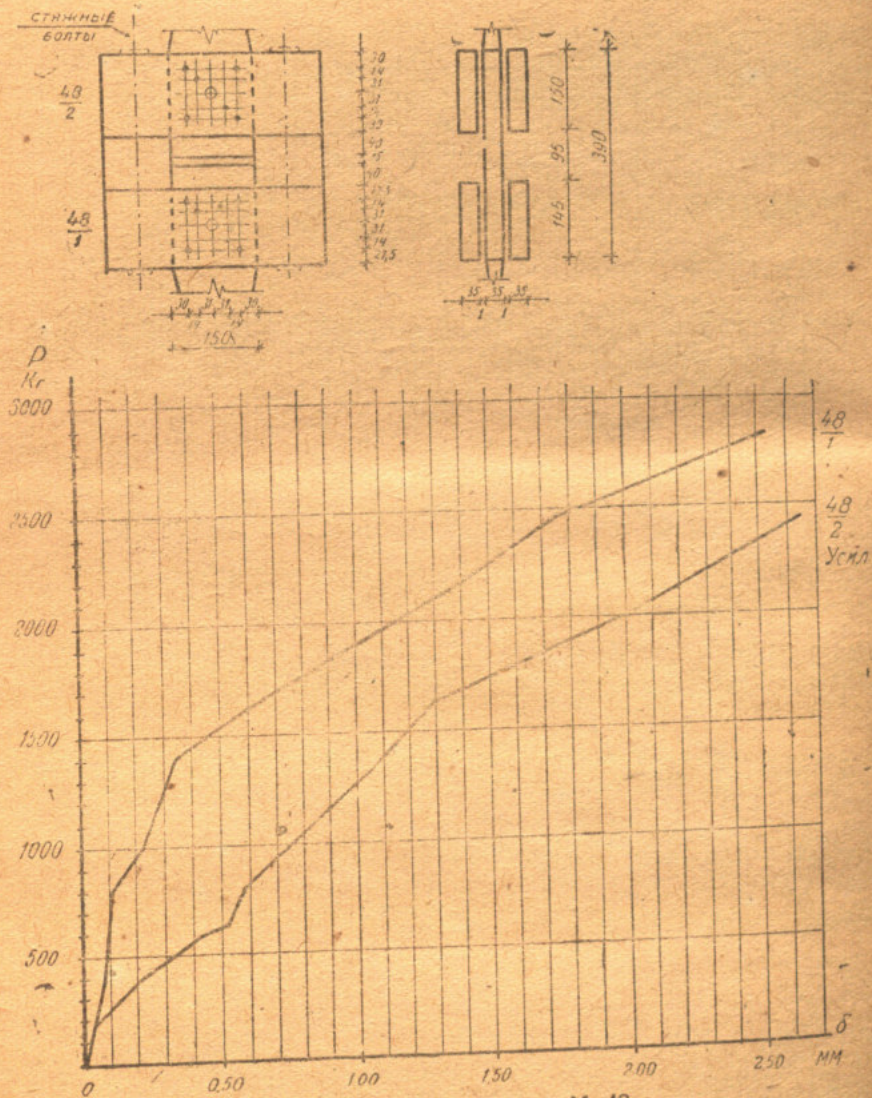
Рис. 44.  
Деформации стыка № 51.

По виду диаграмм можно заключить, что нет существенной разницы в работе смешанных сопряжений, нормальных и усиленных в напряженном состоянии.

На рис. 45 показаны сравнительные диаграммы растянутых парных узлов, из которых один был усилен круглым

нагелем при действии нагрузки, равной допускаемой на гвозди.

Характер работы усиленного узла такой же, как стыков, но здесь особенно заметно резкое изменение наклона кривой



после постановки круглого нагеля. Если бы узел 48/2 усилен не был, его кривая легла бы значительно ниже.

На рисунке № 46 показана диаграмма работы сжатого узла № 58 на гвоздях, усиленного в напряженном состоянии круглым нагелем.

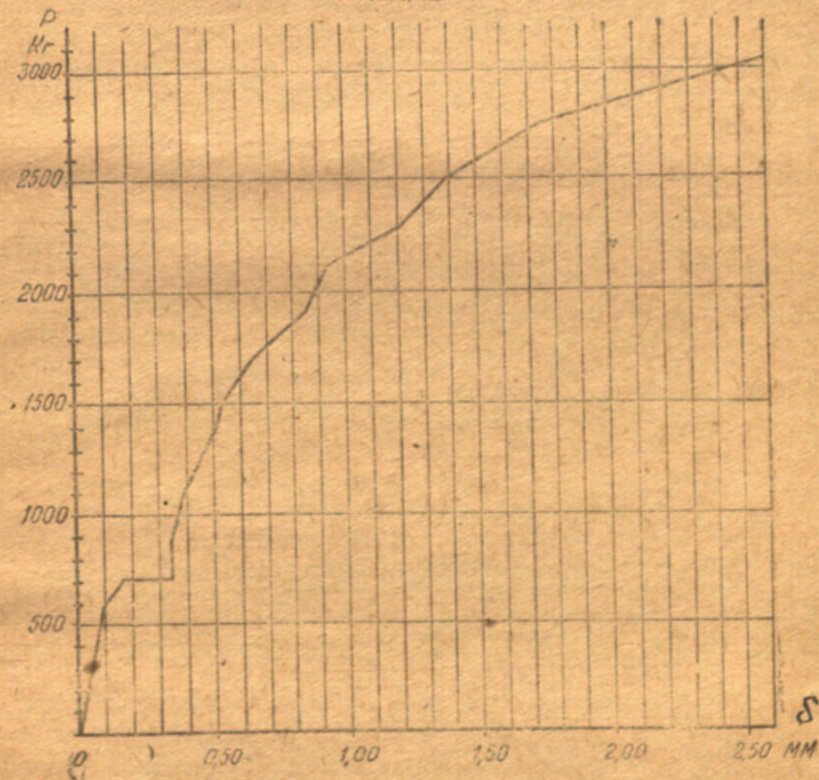
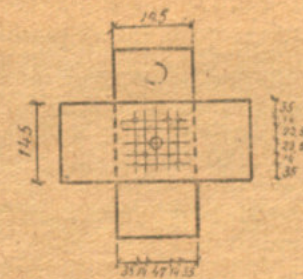


Рис. 46. Деформации узла № 58.

Сопряжения, испытанные при усилении в напряженном состоянии

Таблица 34.

№ пор.	№ сопряжения	Вид сопряжения	Усиление	Натяги		Гвозди		Доски		Древесина сосна			Отношен.		Доп. усилии		Усиление	Примечания
				$d_n$	$d_r$	$d_r$	$l_r$	$a$	$c$	Марка	$R_{с, 15}$	Живучесть %	Суш-ка	$\frac{c}{d_n}$	$\frac{c}{d_r}$	$R'_A$		
1	46/1	Стык	—	16	2	5,5	130	44	44	1	320	16	возд.	2,7	8,0	—	1368	раст.
2	46/2	"	гвозд.	16	2	5,5	130	44	44	1	320	16	"	2,7	8,0	848	1368	"
3	47/1	"	—	13	2	4,4	104	35	35	1	340	10	вс.	2,7	8,0	—	1100	"
4	47/2	"	гвозд.	13	2	4,4	104	35	35	1	340	10	"	2,7	8,0	680	1100	"
5	50/1	"	—	13	2	4,2	104	35	40	0	350	13	"	3,1	9,5	—	1510	"
6	50/2	"	гвозд.	13	2	4,2	104	35	40	0	350	13	"	3,1	9,5	936	1510	"
7	50/3	"	—	13	2	4,2	104	35	40	0	380	17	"	3,1	9,5	—	1510	"
8	50/4	"	гвозд.	13	2	4,2	104	35	40	0	380	17	"	3,1	9,5	936	1510	"
9	51/1	"	—	13	2	4,5	104	35	40	0	360	16	"	3,1	8,9	—	1570	"
10	51/2	"	гвозд.	13	2	4,5	104	35	40	0	360	16	"	3,1	8,9	936	1570	"
11	52/1	"	—	13	2	4,2	104	35	40	0	440	15	"	3,1	9,5	—	1510	"
12	52/2	"	гвозд.	13	2	4,2	104	35	40	0	440	15	"	3,1	9,5	936	1510	"
13	48/1	Узлы	—	13	1	4,2	102	35	35	0	360	11	"	2,7	8,4	—	940	"
14	48/2	"	наг.	13	1	4,2	102	35	35	0	360	11	"	2,7	8,4	562	940	"
15	49/1	"	—	13	1	4,2	104	35	40	0	370	15	"	3,1	9,5	—	955	"
16	49/2	"	наг.	13	1	4,2	104	35	40	0	370	15	"	3,1	9,5	575	955	"
17	58	"	"	13	1	4,2	102	35	35	0	350	10	"	2,7	8,4	675	1130	"
18	59	"	"	13	1	4,2	102	35	35	0	350	10	"	2,7	8,4	675	1130	"

Таблица 35.

Деформации усиленных сопряжений.

№ сопряжения	Вид сопряжения	Усилия			N [N]	% Усиле-ния	$\frac{[N]}{N}$	$\frac{N_1}{[N]}$	$\frac{N_1}{N}$	Деформации		Эксперимен.		Теоретич.		Разница %	Примечания		
		$R'_A$	$R_A$	$N_1$						$\delta_1$	$\delta_A$	$\frac{\delta}{\delta_1}$	$\frac{\delta}{\delta_A}$	$\eta$	$\frac{\delta}{\delta_A}$				
52/2	Стык	936	1510	500	1,61	61	0,62	0,53	0,33	0,18	0,34	0,42	2,34	1,24	1,06	1,24	0	Между досками сопряжений оставлены щели около 1 мм	
51/2	"	936	1570	800	1,67	67	0,60	0,86	0,51	0,27	0,32	0,44	1,63	1,38	1,10	1,40	2		
50/2	"	936	1510	800	1,61	61	0,62	0,86	0,53	0,17	0,20	0,20	1,18	1,00	0,33	1,02	2		
50/4	"	936	1510	810	1,61	61	0,62	0,87	0,54	0,16	0,19	0,21	1,31	1,10	0,57	1,14	4		
46/2	"	848	1368	900	1,61	61	0,62	1,06	0,66	0,38	0,35	0,54	1,42	1,54	1,31	1,51	2		
47/2	"	680	1100	800	1,62	62	0,62	1,18	0,73	0,19	0,15	0,26	1,37	1,73	1,61	1,62	6		
Средние величины														1,33	0,99	1,32	1		
48/2	Узел	562	940	550	1,67	67	0,60	0,98	0,58	0,42	0,44	0,70	1,67	1,59	1,60	1,65	4		
49/2	"	575	955	600	1,66	66	0,60	1,05	0,63	0,48	0,45	0,71	1,48	1,58	1,33	1,55	2		
58	"	675	1130	700	1,68	68	0,60	1,04	0,62	0,34	0,34	0,41	1,21	1,21	0,57	1,26	4		
59	"	675	1130	800	1,68	68	0,60	1,18	0,71	0,29	0,24	0,36	1,24	1,50	0,96	1,46	3		
Средние величины															1,53	1,12	1,48	3	

Объяснения обозначений:

 $R'_A$  — допускаемая нагрузка на сопряжение до усиления, $\delta_A$  — соответствующий ей сдвиг, $R_A$  — допускаемая нагрузка после усиления, $\delta$  — соответствующий ей сдвиг, $R_U$  — нагрузка, при которой произведено усиление, $\delta_U$  — сдвиг при нагрузке  $R_U$

В таблице 34 дана характеристика всех испытанных сопряжений, а в таблице 35—деформации сопряжений, усиленных в напряженном состоянии.

Сопряжения были усилены максимально до 68%, при разных отношениях действующей нагрузки к допускаемой.

Как видно из таблицы, отношения величины деформации сопряжений до и после усиления, полученных при испытаниях, сходятся достаточно хорошо с отношениями, вычисленными по формулам (24) и (25).

Это подтверждает наши предварительные соображения о деформации усиленных сопряжений.

Несколько повышенная величина сдвигов в части сопряжений, как № 46/2, № 48/2 и № 49/2, вызвана расклиниванием и сотрясением, которым они подвергались при усилении в напряженном состоянии.

В таблице 36 приведены данные о достигнутых при испытаниях максимальных нагрузках и запасах прочности сопряжений.

Для попарно связанных сопряжений разрушающая нагрузка могла быть определена лишь для того сопряжения, которое раньше разрушилось. Поэтому в таблице указано, что максимальное усилие на второе сопряжение и его запас прочности больше.

Для стыка № 46 не удалось достичь максимальной нагрузки при разрушении сопряжения, вследствие разрыва средней доски в месте зажима ее.

В стадии разрушения деформации сопряжений так значительны, что величина начальных сдвигов, повидимому, не играет существенной роли.

Запас прочности сопряжений, усиленных в напряженном состоянии, в пяти случаях из семи оказался больше, чем в спаренных с ними нормальных сопряжениях той же мощности.

Таблица 36.

№ сопряжения	Вид сопряжения	Усиление %	Отнош. $\frac{c}{d_n}$	$R_d$ кг	$R_{max}$ кг	$\frac{R_{max}}{R_d}$	Примечание
46/1	Стык	—	2,7	1368	>3670	>2,68	Разрыв средней доски в зажиме
46/2	"	61	2,7	1368	>3670	>2,68	
47/1	"	—	2,7	1100	>3200	>2,91	
47/2	"	62	2,7	1100	3200	2,91	

№ сопряжения	Вид сопряжения	Усиление %	Отнош. $\frac{c}{d_n}$	$R_d$ кг	$R_{max}$ кг	$\frac{R_{max}}{R_d}$	Примечание
50/1	Стык	—	3,1	1510	4930	3,26	Средняя доска имела трещину до испытания
50/2	"	61	3,1	1510	>4930	>3,26	
50/3	"	—	3,1	1510	3800	2,52	
50/4	"	61	3,1	1510	>3800	>2,52	
51/1	"	—	3,1	1570	4980	3,17	
51/2	"	67	3,1	1570	>4980	>3,17	
52/1	"	—	3,1	1510	4020	2,66	
52/2	"	61	3,1	1510	>4020	>2,66	
48/1	Узел	—	2,7	940	>4070	>4,30	
48/2	"	67	2,7	940	4070	4,30	
49/1	"	—	3,1	955	3620	3,80	
49/5	"	66	3,1	955	>3620	>3,80	
58	"	68	2,7	1130	4500	4,03	
59	"	68	2,7	1130	4700	4,16	

Отсюда видно, что запас прочности усиленных сопряжений, отнесенный к разрушающей нагрузке, не меньше, чем в нормальных смешанных сопряжениях.

И здесь получено для узлов, при одинаковой гибкости круглых нагелей, значительно больший запас прочности, чем для стыков. В узлах жесткость круглых нагелей может быть принята большая, чем в стыках.

## ВЫВОДЫ.

На основании приведенных соображений и экспериментальных данных об усилении нагельных сопряжений, производство усиления под нагрузкой можно считать допустимым.

Прибегнуть к усилению сопряжений, в напряженном состоянии, следует в тех случаях, когда полная разгрузка конструкций практически невозможна, а некоторое дополнительное увеличение деформаций усиленных сопряжений роли не играет.

Действующее на сопряжение усилие должно быть во время усиления возможно меньше и не больше допускаемого.

Стыки на круглых нагелях рационально усилить забивкой гвоздей между нагелями или в дополнительные накладки, в зависимости от имеющегося свободного места и от запаса в сечениях досок.

Узлы на гвоздях могут быть усилены постановкой круглых нагелей, если для этого имеется свободное место. В некоторых случаях может быть поставлен болтовой нагель, взамен более тонкого стяжного болта, или же круглый нагель, взамен гвоздя, удаляемого для освобождения места.

В узлах круглые нагели могут быть относительно жесткие, с отношением  $\frac{c}{d_n}$  около трех.

Работы по усилению сопряжений должны выполняться по проекту, с особой тщательностью, под постоянным наблюдением технического надзора.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Результаты исследования совместной работы гвоздей и круглых железных нагелей, в сопряжениях дощатых конструкций, дают основание к следующим выводам:

1. Между характером работы обоих видов нагелей нет существенной разницы, поэтому возможна хорошая совместная работа их. Для смешанных сопряжений получены вполне удовлетворительные показатели их деформативности и запаса прочности.

2. Смешанные сопряжения отличаются от гвоздевых несколько меньшей податливостью, особенно при длительном воздействии тяжелой нагрузки.

3. По запасу прочности относительно критической нагрузки смешанные сопряжения мало отличаются от гвоздевых, а относительно разрушающей нагрузки смешанные сопряжения занимают, по запасу прочности, среднее место между сопряжениями на гвоздях и на круглых нагелях.

4. Смешанные сопряжения более мощны, чем гвоздевые, при одинаковой площади сплачивания. Это дает возможность передавать в узлах дощатых конструкций большие усилия.

5. Гвоздевой забой в существующих конструкциях является наиболее простым способом усиления стыков на круглых нагелях.

6. Допускаемые усилия на смешанные сопряжения могут быть определены как сумма расчетных для гвоздей и для круглых нагелей.

7. При определении толщины круглых железных нагелей в смешанных сопряжениях можно придерживаться следующих отношений. Диаметр круглых нагелей должен быть приблизительно в три раза больше, чем диаметр гвоздей.

Отношение толщины средней доски симметричного сопряжения к диаметру круглого нагеля может быть в узлах:

$$\frac{c}{d_n} = \text{ок. } 3,$$

а в стыках

$$\frac{c}{d_n} > 3,5.$$

8. Диаметр нагелей из круглого железа должен быть подобран так, чтобы он был на 0,5 мм больше диаметра сверла, чем обеспечивается плотность касания его.

Желательно отверстия для круглых нагелей сверлить электродрелью.

Круглые нагели предпочтительно делать из стали 4 или стали 5 повышенной.

9. Взаимные расстояния между круглыми нагелями и гвоздями в смешанных сопряжениях могут быть назначены как полусумма взаимных расстояний, по нормам для круглых нагелей и для гвоздей:

$$s = \frac{s_n + s_r}{2}.$$

В смешанных сопряжениях предпочтение надо дать шахматной расстановке или наклонным рядам гвоздей перед прямыми рядами.

10. Усиление нагельных сопряжений существующих конструкций возможно при действии части общей нагрузки.

Если усилие не превышает допускаемого на сопряжение, то после усиления смешанные сопряжения работают хорошо, и относительное увеличение деформаций незначительно.

Усиление нагельных сопряжений в напряженном состоянии не вызывает уменьшения запаса прочности.

11. Электросушка строительной древесины при испытаниях дощатых сопряжений на нагелях дала хорошие результаты. Этот способ сушки заслуживает внимания строителей.

12. Смешанные сопряжения на гвоздях и круглых железных нагелях могут быть рекомендованы для более широкого применения как простое и надежное средство увеличения мощности дощато-гвоздевых конструкций.

Последние еще продолжительное время сохраняют свое значение, благодаря простоте выполнения и надежности.

ЛИТЕРАТУРА.

- ВСУ РККА. Конструктивные детали зданий. Деревянные фермы, 1934 г.  
 Гестеши Т. Деревянные сооружения, 1931 г.  
 Главстройпром НКТП. Проектирование промышленных зданий. Деревянные конструкции, 1935 г.  
 Карлсен Г. Г. Дерево в гражданском строительстве, сборник № 1. Материалы ко II В. конференции по ДК, 1936 г.  
 Керстен К. Современные инженерные деревянные конструкции 1932 г.  
 Коченов В. М. К проекту ТУ и Н проектирования ДК. Проект и стандарт № 10, 1937 г.  
 Леяшии А. В. Расчет нагельных сопряжений ЦНИПС. Сборник статей и аннотаций по ДК, 1934 г.  
 Николаи Б. Л. Теория расчета нагельных сопряжений в деревянных конструкциях, 1935 г.  
 Перельгин Л. М. и Певцов А. Х. Механические свойства и испытания древесины, 1934 г.  
 Промстройпроект. Справочник проектировщика. Деревянные конструкции, 1937 г.  
 ТУ и Н. Проектирования деревянных конструкций. Проект ЦБС НКТП 1937 г. Проект и стандарт № 10 и № 12, 1937 г.  
 Цвингман Г. А. Гвоздевые сопряжения. Справочник проектировщика промсооружений. Деревянные конструкции, 1937 г.  
 ЦНИПС. Отчет инж. В. С. Дерягина по теме: Упругое последствие древесины, 1935 г.  
 ЦНИПС. Отчеты инж. Ю. М. Иванова: Действительная работа деревянных конструкций, 1936 г. Пластические деформации в сопряжениях 1937 г.

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

к книге проф. В. К. Вильдеман

«Совместная работа гвоздей и круглых железных нагелей в сопряжениях деревянных конструкций»

Стр.	Строка	Напечатано	Следует читать	По чьей вине
75	6 строки сверху	в дополнительных накладках	в дополнительные накладки	Автора
11	Рис. 8	— — — 31 г. — — — 38 г.	— — — 31 г. — — — 38 г.	} Автора
14	26—27 строки сверху	и допускаемых напряжений	и допускаемые напряжения	

БИБЛИОТЕКА ВОРОН.  
 ИВАНОВО-ВОЗНЕСЕНСКОГО КОЛЛЕКТИВА



Цена 4 рубля

СКЛАДЫ ИЗДАНИЙ: 1) КОГИЗА,  
ВОРОНЕЖ, ПР. РЕВОЛЮЦИИ, ДОМ  
КНИГИ. 2) ОТДЕЛЪ КУЛЬТОВА-  
РОВ ВОРОНЕЖСКОГО ОБЛПО-  
ТРЕВСОЮЗА, 3-я ПЕШЕ-СТРЕЛЕЦ-  
КАЯ, 18.