

Министерство образования и науки Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра Металлических и Деревянных конструкций

Конструкции из дерева и пластмасс
ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

*Методические указания к лабораторным работам по дисциплине
«Конструкции из дерева и пластмасс» для обучающихся
по направлению подготовки 08.03.01 Строительство
по профилю «Промышленное и гражданское строительство»*

Составитель: Н.В.Линьков

© Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет, 2018

Москва 2018

УДК 694
ББК 38.55
К47

Рецензент — кандидат технических наук *А.И. Бедов*,
профессор кафедры ЖБК НИУ МГСУ

К47 Конструкции из дерева и пластмасс . Лабораторные работы.

[Электронный ресурс] : методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Конструкции из дерева и пластмасс» для обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 Строительство по профилю «Промышленное и гражданское строительство» / [сост. : Н.В. Линьков] ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Нац. исследоват. Моск. гос. строит. ун-т. — Электрон. дан. и прогр. (1,1 Мб). — Москва : Изд-во Моск. гос. строит. ун-та, 2018.

Содержатся сведения о расчете элементов и соединений конструкций из дерева и пластмасс на основные виды напряженных состояний. Основное внимание уделено вопросам назначения и проверки сечений деревянных элементов и конструированию соединений КДиП. Приведены примеры расчета, дан список рекомендуемой учебной, научной и нормативной литературы.

Для обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 Строительство.

Учебное электронное издание

© Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет, 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Введение	.....	4
	Общие указания	.....	4
	Изготовление образцов.		
	Требования к материалам	.....	6
1	Лабораторная работа № 1.		
	Испытание образца соединения на лобовой врубке	.....	7
2	Лабораторная работа № 2.		
	Испытание соединения на гвоздях	.....	18
3	Лабораторная работа № 3.		
	Испытание составной балки на пластинчатых нагелях	.....	29

Введение

Настоящие Методические указания составлены на основании действующих нормативных документов: СП 64.13330.2011 /1/, основного учебника по дисциплине «Конструкции из дерева и пластмасс» /2/, ГОСТ 33082-2014 по испытанию соединений деревянных конструкций /3/. Методики испытаний и оценки несущей способности и деформативности соединений и моделей деревянных конструкций разработаны в соответствии с /3/.

Лабораторные работы по курсу «Конструкции из дерева и пластмасс» (КДиП) состоят из испытаний образцов соединений или моделей конструкций (образцов). Лабораторные работы должны способствовать более глубокому и полному пониманию учащимися действительной работы соединений и конструкций, оценки их прочности и деформативности, а так же дать учащимся навыки в проведении экспериментальных исследований. Лабораторные работы выполняют после изучения на лекциях соответствующих разделов курса «КдиП».

Общие указания

Цель лабораторных работ: теоретическое и экспериментальное изучение работы образцов соединений и моделей конструкций из дерева и пластмасс под нагрузкой.

Задачи, поставленные в каждой лабораторной работе, определяются темой занятия и объектом исследования и для каждого занятия изложены в соответствующем разделе.

Каждая лабораторная работа рассчитана на занятие продолжительностью два академических часа и состоит из следующих частей:

- Объяснения преподавателя;
- Определение фактических размеров образцов;
- Проведение предварительных расчетов для определения теоретических величин расчетной и разрушающей нагрузок, деформаций образцов соединений или прогибов моделей конструкций;
- Проведение испытаний образцов;
- Обработка результатов испытаний, в т.ч. изучение характера разрушения, оценка фактической несущей способности и

деформативности образцов, сравнение расчетных и экспериментальных данных;

- Составление выводов по выполненной работе;
- Защита лабораторной работы учащимися в форме письменного или устного опроса с индивидуальной оценкой знаний (например по десятибалльной шкале).

Изготовление образцов, расстановку приборов производят до начала лабораторной работы. Для измерения фактических деформаций взаимного сдвига соединяемых элементов в образцах соединений используют индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм. Для измерения прогибов моделей конструкций используют прогибомеры с ценой деления 0,01 мм. Для измерения напряжений в деревянных элементах моделей конструкций используют механические тензометры с ценой деления 0,001 мм или электротензодатчики с базой не менее 20 мм. Допускаются так же другие приборы, обеспечивающие необходимую точность получаемых результатов. Испытания образцов проводят на машине типа Р-5 при шкале силоизмерителя, превышающей предполагаемую максимальную несущую способность образца не более чем в 1.5-2 раза. Измерение влажности деревянных элементов образцов выполняют электровлагомерами типа ИВ-2 или ВПК-12.

Все результаты измерений и испытаний заносят в журнал по мере выполнения работы. Построение графиков выполняют на миллиметровой бумаге с точностью до 0,2 мм измеряемых деформаций. Для обработки результатов испытаний допускается использовать современную вычислительную технику, в т.ч. специально разработанные программы, электронные таблицы и т.п.

В настоящих Методических указаниях приняты следующие обозначения основных величин.

Характеристики нагрузки и несущей способности образца:

N_t - максимальная несущая способность образца (разрушающая нагрузка);

N_{I-II} – нагрузка, соответствующая верхней границе области упругой работы образца;

N_p – нагрузка, соответствующая расчетной несущей способности образца;

N^0 - величина начального нажатия на образец (условная нулевая нагрузка).

Деформационные характеристики образца:

Дп - полные деформации;
До - остаточные деформации;
Ду - упругие деформации;
до - деформации остаточные за цикл;
до - начальная деформация образца. Включает рыхлые деформации соединения и контактные деформации на поверхностях контакта рабочих частей соединения с древесиной.
д_п - полная деформация образца при усилии N_п;
дт - максимальная полная деформация образца при разрушающем усилии N_т или вблизи него.

При определении расчетной несущей способности образцов N_п следует расчетное сопротивление древесины принимать по табл.3 /1/.

Изготовление образцов. Требования к материалам.

Для изготовления деревянных элементов образцов соединений и моделей конструкций следует использовать древесину хвойных пород. Доски для изготовления элементов образцов должны иметь правильную форму и отвечать требованиям, предъявляемым /1, 4/ к древесине хвойных пород 2-го сорта. Влажность древесины досок, предназначенных для изготовления деревянных элементов образцов соединений и моделей конструкций должна составлять не более 12 %. Деревянные элементы образцов должны иметь ширину годичных слоев 1—5 мм, в которых поздняя древесина должна составлять не менее 20%. Древесина должна быть прямослойной, без деструктивной гнили, сучков, сердцевины и других неоднородностей строения.

Для изготовления образцов соединений и моделей конструкций составляют рабочие чертежи с указанием размеров с допусками и маркировкой деревянных элементов. Деревянные элементы образцов соединений и моделей конструкций должны быть изготовлены с обеспечением строгой параллельности боковых граней и перпендикулярности торцевых плоскостей. Допускаемые отклонения от проектных размеров деревянных элементов - не более $\pm 0,5$ мм.

В образце гвоздевого соединения между деревянными элементами оставляют свободный зазор $\delta = 1$ мм. У концов крайних элементов делают скосы на случай перекоса среднего элемента при

приближении нагрузки к разрушающей. Для избежания перекоса крайние элементы образца жестко соединяют между собой деревянными планками (на парных шурупах или лучше на клею). Чтобы устранить соприкосновение со средним элементом, планки утоньшают с внутренней стороны.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1.

ИСПЫТАНИЕ ОБРАЗЦА СОЕДИНЕНИЯ НА ЛОБОВОЙ ВРУБКЕ

Цель работы: теоретическое и экспериментальное изучение работы под нагрузкой образца соединения на лобовой врубке.

Задачи работы:

1. Определить расчетную несущую способность образца соединения на лобовой врубке - N_p , [кН];
2. Определить максимальную несущую способность (разрушающую нагрузку) образца соединения на лобовой врубке - N_t , [кН];
3. Определить деформацию смятия врубки при нагрузке, соответствующей расчетной несущей способности образца - δ_p , [мм];
4. Построить график зависимости деформации смятия образца соединения на лобовой врубке δ_p от нагрузки на образец P ;
5. Выполнить оценку несущей способности и деформативности образца соединения на лобовой врубке по результатам испытаний.

Конструкция образца

Геометрическая схема образца соединения на лобовой врубке и его проектные размеры показаны на рис.1.

Фактические размеры образца устанавливаются непосредственным измерением образца перед испытанием:

Ширина поясов $b = \underline{\hspace{2cm}}$ мм ;

Высота нижнего пояса $h = \underline{\hspace{2cm}}$ мм ;

Глубина врубки $h_{вр} = \underline{\hspace{2cm}}$ мм ;

Длина площадки скалывания $L_{ск} = \underline{\hspace{2cm}}$ мм ;

Плечо пары сил $e = \underline{\hspace{2cm}}$ мм ;

Угол между верхним и нижним поясами $\alpha = 30^\circ$

Данные для расчета

Материал _____ (сосна 2-й сорт)

Влажность древесины $W =$ _____ % .

Расчетное сопротивление древесины смятию вдоль волокон (см. табл.3/1/)

$R_{см} =$ _____ МПа;

Расчетное сопротивление древесины смятию поперек волокон (см. табл. 3 /1/)

$R_{см90} =$ _____ МПа;

Расчетное сопротивление древесины смятию под углом $\alpha = 30^\circ$ к волокнам

$$R_{см\alpha} = \frac{R_{см}}{1 + \left(\frac{R_{см}}{R_{см90}} - 1 \right) \sin^3 \alpha} = \text{-----} =$$

_____ МПа ,

где $R_{см\alpha}$ - расчетное сопротивление древесины смятию под углом α ;

$R_{см}$ - расчетное сопротивление древесины смятию вдоль волокон;

$R_{см90}$ - расчетное сопротивление древесины смятию поперек волокон.

Максимальное расчетное сопротивление скалыванию вдоль волокон (см. табл. 3 /1/)

$R_{ск}^{max} =$ _____ МПа;

Среднее расчетное сопротивление скалыванию вдоль волокон

$$R_{ск}^{cp} = \frac{R_{ск}^{max}}{1 + \beta * \left(\frac{L_{ск}}{e} \right)} = \text{-----} = \text{_____ МПа} ,$$

где $R_{ск}$ - расчетное сопротивление древесины скалыванию вдоль волокон для максимального напряжения, МПа;

$L_{ск}$ - длина площадки скалывания;

e - плечо сил скалывания; $\beta=0.25$ при односторонней схеме скалывания;

$\beta=0,25$, так как скалывание одностороннее (см. эпюру скалывающих напряжений по длине площадки скалывания, приведенную на рис.2).

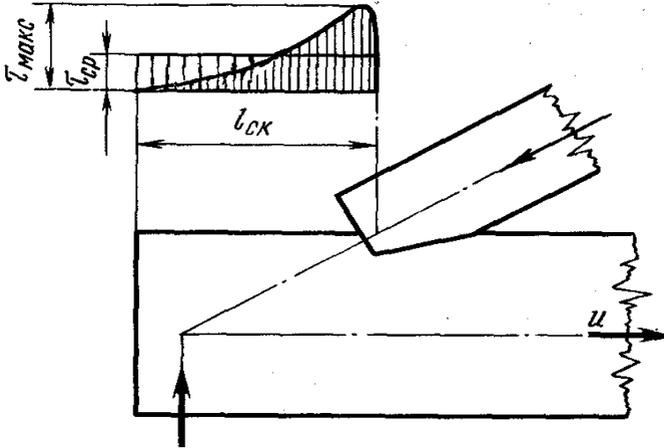


Рис.2. Эпюра скалывающих напряжений

Определение расчетной несущей способности образца соединения на лобовой врубке

а). Статический расчет образца

Из диаграммы усилий (рис.3):

$$U = \frac{P}{2 * \operatorname{tg} \alpha} ; \text{ где } \operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} 30^{\circ} = 0,577 , \text{ откуда}$$

$$P = 2 * U * \operatorname{tg} \alpha = 2 * 0,577 * U \cong 1,15 * U$$

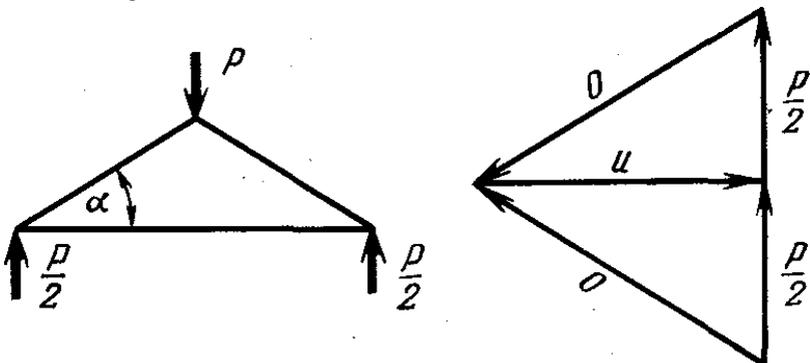


Рис.3. Диаграмма усилий в образце соединения на лобовой врубке

б). Определение величин расчетных усилий в образце соединения на лобовой врубке

Из условия скалывания

$$U_{ск} = R_{ск}^{средн.} * L_{ск} * b = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ кН.}$$

Из условия смятия

$$U_{см} = R_{см.а} * h_{вр} * b = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ кН.}$$

в). Определение нагрузки, соответствующей расчетной несущей способности образца соединения на лобовой врубке $N_{п}$

$$\text{Из условия скалывания } P_{ск} = N_{п.ск} = 1.15 * U_{ск} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ кН.}$$

$$\text{Из условия смятия } P_{см} = N_{п.см} = 1.15 * U_{см} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ кН.}$$

г). Определение теоретического значения максимальной несущей способности образца соединения на лобовой врубке (разрушающей нагрузки) $N_{т.теор}$ при кратковременном машинном испытании.

Теоретическое значение разрушающей нагрузки $N_{т.теор}$ определяем из условия скалывания. Расчетная нагрузка, полученная из условия скалывания, меньше, чем из условия смятия. Однако разрушение врубки под нагрузкой происходит именно от скалывания. Объясняется это тем, что расчетное сопротивление древесины скалыванию (табл. 3 /1/) устанавливают из условия предела прочности материала, а расчетное сопротивление древесины смятию - из условия ограничения деформаций смятия.

Расчетное сопротивление древесины учитывает /2/: снижение прочности материала во времени при длительном действии нагрузки, статистическую изменчивость свойств материала, а так же наличие пороков в древесине (сучки, косослой и др.), количество и геометрические параметры которых определяются сортом древесины /4/.

Определяя теоретическое значение разрушающей нагрузки $N_{т.теор}$ следует учесть кратковременность ее действия на образец при машинных испытаниях, а так же однородность материала и отсутствие пороков в деревянных элементах образца:

$$N_{т.теор} = \frac{N_{п.ск}}{m_{дл} * K_C} * \gamma_m = \underline{\hspace{2cm}} * \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ кН}$$

где $m_{дл} = 0,66$ - коэффициент, учитывающий снижение прочности древесины при длительном действии нагрузки; $K_C = 0,7$ - коэффициент, учитывающий статистическую изменчивость свойств

древесины, если расчетная несущая способность образца N_p определялась по расчетному сопротивлению для древесины 2-го сорта. При наличии в древесине образца сучков и других пороков в пределах, соответствующих 2-му сорту согласно требованиям ГОСТ /4/, $K_c=1$; $Y_m=1.1$ - коэффициент надежности по материалу /2/.

Указания к выполнению работы

Испытания можно проводить на машине типа Р-5 при шкале силоизмерителя до 20 кН. При испытании образца определяют деформации смятия врубки D_p и разрушающую нагрузку N_t .

Образец соединения на лобовой врубке с указанием схемы расстановки приборов и схемы приложения нагрузки показан на рис. 4. Измерение деформаций смятия врубки следует производить индикаторами часового типа с ценой деления 0.01 мм, установленными симметрично с противоположных сторон образца. Перед началом нагружения с индикаторов снимают нулевые отсчеты (при $N=0$). Показания приборов записывают в журнал испытаний (табл. 1). Загружение образца производят ступенями до разрушения, с равномерной скоростью нагружения без разгрузки. Величина ступени нагружения - 1 кН. Для определения деформаций смятия D_p врубки при достижении каждой ступени нагружения производят запись отсчетов по двум индикаторам (см. табл.1). При достижении 8-й - 10-й ступени индикаторы снимают и производят дальнейшее нагружение образца до его разрушения. Обычно разрушение происходит мгновенно в результате скальвания.

Определение полных деформаций смятия врубки производят в табл. 1 по отсчетам индикаторов: по каждому индикатору из отсчета при нулевой нагрузке нужно вычесть отсчет при нагрузке, соответствующей очередной ступени нагружения. Затем для каждой ступени нагружения следует определить среднее (осевое) значение полной деформации D_p по двум индикаторам. По вычисленным средним значениям полной деформации строят график зависимости деформации смятия врубки от нагрузки (рис.5). По этому графику определяют величину полной деформации смятия врубки при расчетной нагрузке d_p , а также величины рыхлой $\delta_{рыхл}$ и упругой $\delta_{упр}$ деформаций смятия (рис.6) образца соединения на лобовой врубке.

Заключительным этапом работы является сравнение фактических величин разрушающей нагрузки и деформаций смятия врубki, полученных в результате испытания, с их теоретическими значениями, определенными в настоящей работе.

Таблица 1

ЖУРНАЛ ИСПЫТАНИЯ К РАБОТЕ 1

Определение деформаций смятия соединения на лобовой врубке

Нагр кН	Индикатор № 1		Индикатор № 2		Средняя (осевая) полная деформация Dп, мм
	отсчет по прибору, мм	полная деформа- ция, мм	отсчет по прибору, мм	полная деформа- ция, мм	
0					
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
Разрушающая нагрузка			Nt, кН		
		Деформации рыхлые*		$\delta_{рыхл}$	
		Деф.упругие*		$\delta_{упр}$	
Деформации полные при расчетной нагрузке**				$\delta_{п}$	
Деформации предельные для соединения на лобовой врубке				$\delta_{теор}$	

* - определяются по графику (см. рис. 6);

** - определяются как разница между полной деформацией образца при расчетной нагрузке и рыхлой деформацией образца $\delta_{п} = D_{п(Nп)} - \delta_{рыхл}$;

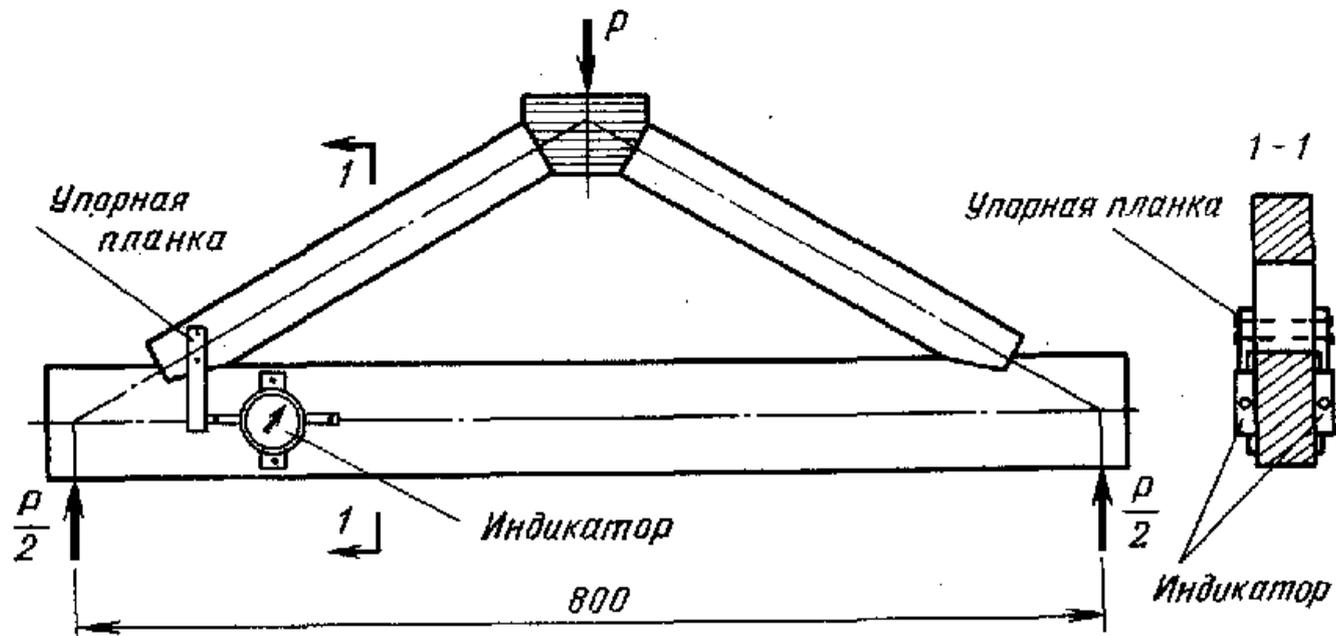


Рис. 4. Образец соединения на лобовой врубке. Схема испытания. Схема расстановки приборов.

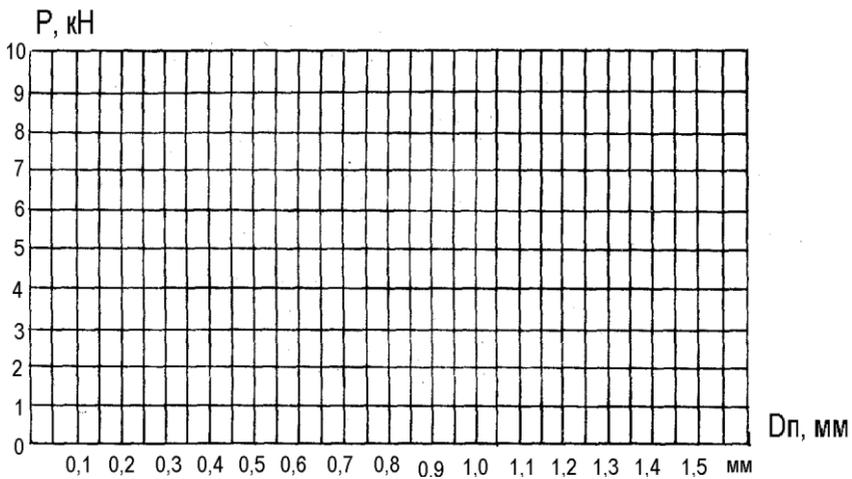


Рис.5. График зависимости деформации смятия D_p от нагрузки P для образца соединения на лобовой врубке.

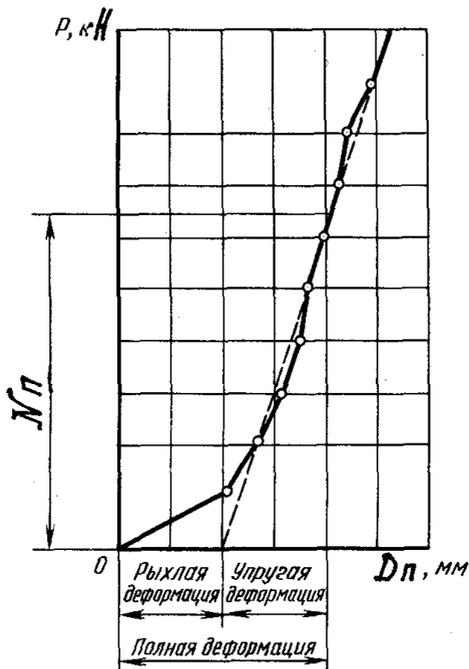


Рис.6. Определение рыхлой $\delta_{рыхл}$ и упругой $\delta_{упр}$ деформаций смятия образца соединения на лобовой врубке.

Техника безопасности при испытаниях

Образец должен быть закреплен.

Должны быть установлены защитные козырьки против торцов образца.

Во избежание несчастных случаев во время испытаний нельзя находиться против торцов образца.

Оценка несущей способности образца соединения на лобовой врубке

(сравнение экспериментальных данных с теоретическими)

1. Экспериментальное значение максимальной несущей способности (разрушающей нагрузки) N_t образца соединения на лобовой врубке

$$N_t = \text{_____} \text{ кН}$$

Теоретическое значение максимальной несущей способности (разрушающей нагрузки) $N_{t_{\text{теор}}}$ образца соединения на лобовой врубке

$$N_{t_{\text{теор}}} = \text{_____} \text{ кН}$$

$$\frac{N_t - N_{t_{\text{теор}}}}{N_{t_{\text{теор}}}} * 100\% = \text{-----} * 100\% = \text{_____} \% .$$

2. Коэффициент надежности фактический к величине разрушающего усилия составляет

$$K_{\text{факт}} = \frac{N_t}{N_{t_{\text{теор}}}} = \text{-----} = \text{_____}$$

3. Экспериментальное значение деформации смятия врубки δ_{Π} при нагрузке, соответствующей расчетной несущей способности образца

$$\delta_{\Pi} = \text{_____} \text{ мм}$$

Предельная деформация соединения на лобовой врубке

$$\delta_{\text{теор}} = \text{_____} \text{ мм}$$

$$\frac{\delta_{\Pi} - \delta_{\Pi_{\text{теор}}}}{\delta_{\Pi_{\text{теор}}}} * 100\% = \text{-----} * 100\% = \text{_____} \% .$$

Предельную деформацию смятия для соединения на лобовой врубке $\delta_{\text{теор}}$ принимают по табл.18 /1/ .

Заключение по результатам испытания

В заключении:

- отразить результаты испытаний – разрушающую нагрузку N_t , нагрузку соответствующую верхней границе области упругой работы N_{I-II} соединения на лобовой врубке;
- отразить деформации полные и разности полны при нагрузках N_{I-II} и нагрузке, соответствующей расчетной несущей способности соединения, рыхлые деформации соединения.
- сопоставить результаты расчета конструкции узла с результатами испытаний, определить фактический коэффициент надежности для образца соединения, сопоставить деформации соединения при нагрузке, соответствующей расчетной несущей способности узла с предельной деформацией для соединений на лобовой врубке.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2.

ИСПЫТАНИЕ СОЕДИНЕНИЯ НА ГВОЗДЯХ

Цель работы: теоретическое и экспериментальное изучение работы под нагрузкой образца соединения на гвоздях деревянных элементов.

Задачи работы:

1. Определить расчетную несущую способность образца соединения на гвоздях - N_p , [кН];
2. Определить максимальную несущую способность (разрушающую нагрузку) образца соединения на гвоздях - N_t , [кН];
3. Определить нагрузку, соответствующую верхней границе области упругой работы образца соединения на гвоздях - $N_{1-п}$, [кН];
4. Определить деформацию соединения при нагрузке, соответствующей расчетной несущей способности образца - δ_p , [мм];
5. Выполнить оценку несущей способности и деформативности образца соединения на гвоздях по результатам испытаний.

Конструкция образца гвоздевого соединения

Образец симметричный, двухсрезный, предназначен для испытания по сжатой схеме. Конструкция образца и его проектные размеры показаны на рис.7.

Фактические размеры образца устанавливают непосредственным измерением образца перед испытанием:

Толщина крайних элементов $a =$ _____ см .

Толщина среднего элемента $C =$ _____ см .

Диаметр гвоздей $d_{гв} =$ _____ см .

Длина гвоздей $L_{гв} =$ _____ см .

Расстояние вдоль волокон деревянных элементов от торцов элементов до оси гвоздей $S_1 =$ _____ см .

Расстояние между осями гвоздей поперек волокон деревянных элементов $S_2 =$ _____ см .

Расстояние от кромки доски до оси гвоздя поперек волокон $S_3 =$ _____ см .

Данные для расчета

Материал деревянных элементов _____ .

Влажность деревянных элементов $W =$ _____ % .

Количество "срезов" гвоздя $n_{ср} =$ _____ .

Количество гвоздей $n_{гв} =$ _____ .

Определение расчетной несущей способности одного "среза" одного гвоздя

Расчетную несущую способность одного среза одного гвоздя определяют по формулам табл. 20 /1/.

1. Из условия смятия крайних элементов:

а). Для шва со стороны забивки гвоздя расчетная толщина крайнего деревянного элемента равна толщине доски

$$a_{расч} = a = \text{_____} \text{ см.}$$

$$T_{a1} = 0,8 * a_{расч} * d_{гв} = \text{_____} = \text{_____} \text{ кН.}$$

б). Для шва со стороны заострения гвоздя расчетная толщина крайнего деревянного элемента уменьшается на $1,5 d_{гв}$, так как гвоздь пробивает крайнюю доску насквозь и возможен отщеп волокон в крайнем элементе

$$a_{расч} = a - 1,5 * d_{гв} = \text{_____} = \text{_____} \text{ см.}$$

$$T_{a2} = 0,8 * a_{расч} * d_{гв} = \text{_____} = \text{_____} \text{ кН.}$$

2. Из условия смятия среднего элемента

$$T_c = 0,5 * C * d_{гв} = \text{_____} = \text{_____} \text{ кН.}$$

3. Из условия изгиба гвоздя

а). Для шва со стороны забивки гвоздя

$$T_{и1} = 2,5 * d_{гв}^2 + 0,02 * a^2 = \text{_____} = \text{_____} \text{ кН.}$$

б). Для шва со стороны заострения гвоздя

$$T_{и2} = 2,5 * d_{гв}^2 + 0,02 * a_{расч}^2 = \text{_____} = \text{_____} \text{ кН.}$$

$$\text{Но не более } T_{и'} = 4 * d_{гв}^2 = \text{_____} = \text{_____} \text{ кН.}$$

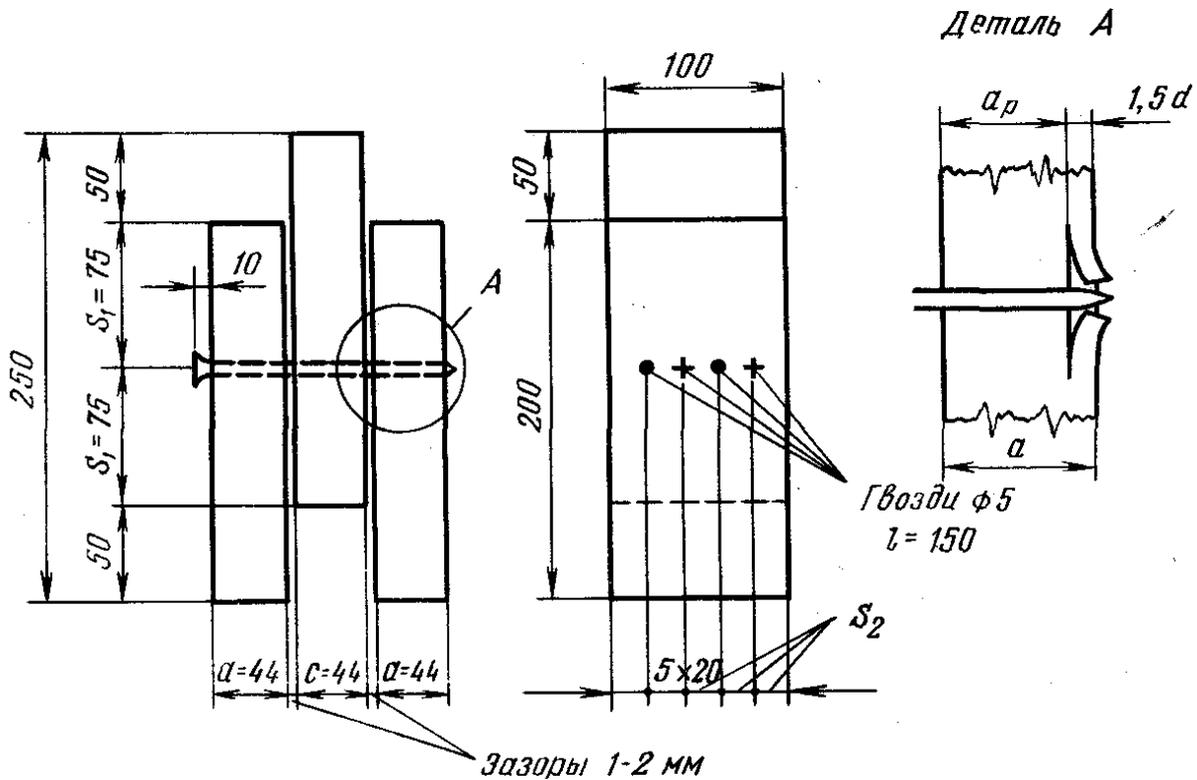


Рис.7. Конструкция образца соединения на гвоздях

Определение расчетной несущей способности образца соединения на гвоздях

Минимальная расчетная несущая способность одного "среза" одного гвоздя:

а). Для шва со стороны забивки гвоздя $T_{\min 1} = \underline{\hspace{2cm}}$ кН ;

б). Для шва со стороны заострения гвоздя $T_{\min 2} = \underline{\hspace{2cm}}$ кН .

Минимальная расчетная несущая способность одного "среза" одного гвоздя

$$T_{\min} = (T_{\min 1} + T_{\min 2}) / 2 = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ кН} .$$

Расчетная несущая способность образца соединения на гвоздях составит

$$N_{\Pi} = T_{\min} * n_{cp} * n_{гв} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ кН} .$$

Теоретическую величину нагрузки N_{I-II} , соответствующей верхней границе области упругой работы соединения определим, используя неравенство, предназначенное для оценки несущей способности соединений на гвоздях /3/

$$\frac{N_{I-II}}{N_{\Pi}} \leq 1,3 \quad , \quad \text{Откуда}$$

$$N_{I-II, \text{теор}} = 1.3 * N_{\Pi} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ кН} .$$

Указания по выполнению работы

Во время испытания образца определяют разрушающую нагрузку N_t , а также деформации соединения. Испытание проводят на машине типа Р-5 при шкале силоизмерителя не более 20 кН. В ходе испытания измеряют и записывают в журнал (табл.2) деформации соединения по данным двух индикаторов часового типа с ценой деления 0.01 мм. Индикаторы устанавливают симметрично с противоположных сторон образца. Каждый индикатор закрепляют на планке, соединяющей крайние элементы образца. Упор для штифта индикатора устанавливают на среднем элементе. Схема приложения усилий при испытании образца и схема расстановка приборов показана на рис. 8.

Для ликвидации рыхлых деформаций образец предварительно загружают нагрузкой $N_0 = 1$ кН, которая при дальнейших испытаниях принимается за условную нулевую нагрузку.

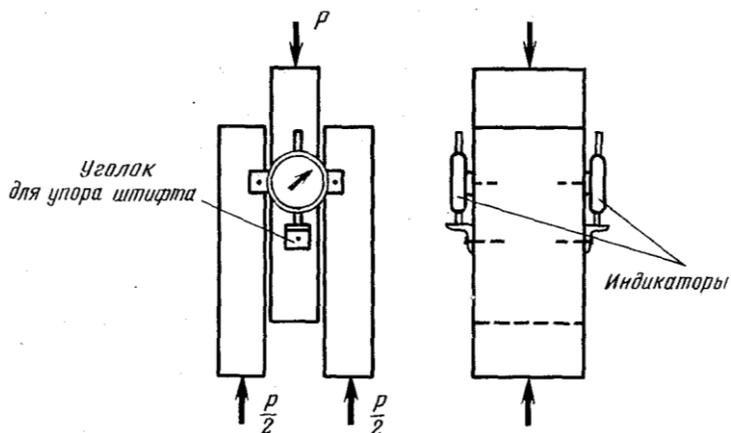


Рис. 8. Схема испытания образца соединения на гвоздях.
Схема расстановки приборов на образце.

Испытание образца ведется непрерывно, нагружением ступенями, с периодической разгрузкой, с постоянной скоростью нагружения и разгрузки. Режим испытания нагружением ступенями с периодической разгрузкой представлен на рис. 9 на графике в координатах «Нагрузка на образец N – время испытания t ». Интервал испытания, включающий нагружение образца до очередной ступени и его последующую разгрузку до условной нулевой нагрузки N^0 называют циклом. Номер цикла обозначают индексом « i ».

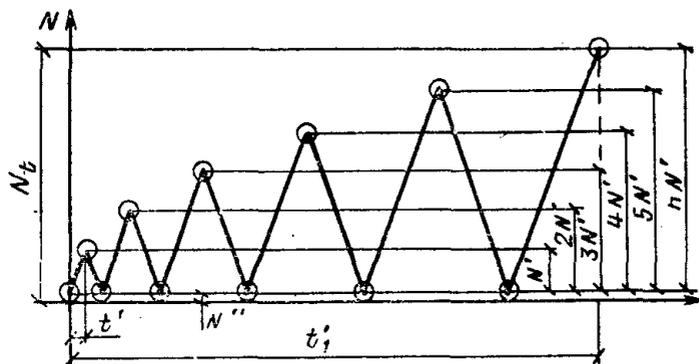


Рис. 9. Режим испытания с периодической разгрузкой (Нагрузка на образец N – время испытания t)

Скорость нагружения и разгрузки должна оставаться постоянной на протяжении всего испытания и составлять 0,30 кН/сек. Нагрузка, передаваемая на образец, увеличивается ступенями в 2 кН с разгрузкой в каждом цикле до условной нулевой нагрузки N^0 (рис. 10).

Перед началом испытания фиксируют отсчеты по индикаторам до приложения нагрузки на образец (при $N=0$). Затем фиксируют отсчеты по приборам при первом нагружении образца нагрузкой $N^0=1$ кН. Далее в процессе испытания отсчеты по индикаторам фиксируют в каждом цикле нагружения:

- в момент, когда нагрузка на образец, увеличиваясь, достигает очередной ступени;
- в момент, когда при последующей разгрузке образца нагрузка уменьшается до значения N^0 .

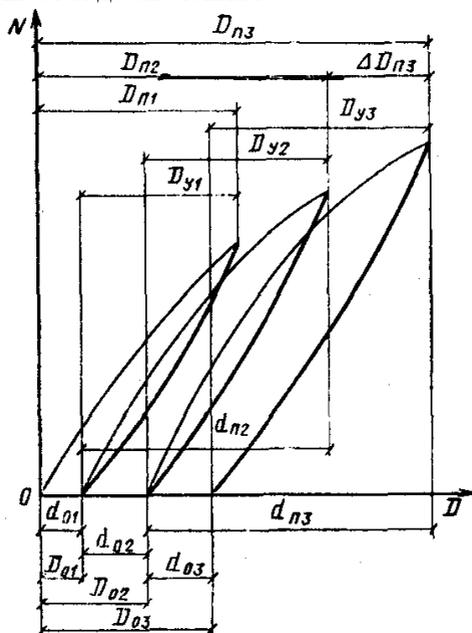


Рис.10. Деформации образца соединения на гвоздях при испытании нагружением с периодической разгрузкой

Величину разрушающей нагрузки N_t устанавливают по силомерителю машины, когда при непрерывном росте деформаций соединения нагрузка на образец не увеличивается.

При обработке показаний индикаторов вычисляют для каждого цикла нагружения осевые (средние по двум индикаторам) деформации образца соединения на гвоздях: деформации полные $D_{пi}$, остаточные Do_i , упругие Dy_i и остаточные за цикл do_i . Вычисления производят в соответствии со схемой, представленной на рис.10 в табличной форме (см. табл. 2). Деформации $D_{пi}$ и Do_i вычисляют как средние по двум индикаторам, предварительно определив полные и остаточные деформации образца по каждому прибору. Обозначив индексом « i » номер цикла нагружения, определяют упругие и остаточные за цикл деформации по формулам:

$$Dy_i = D_{пi} - Do_i - \text{упругие деформации};$$

$$do_i = Do_i - Do_{i-1} - \text{остаточные за цикл деформации}.$$

Нагрузка на образец, после которой резко возрастают остаточные за цикл деформации соединения, называется верхней границей области упругой работы соединения N_{I-II} . Величину нагрузки N_{I-II} для образца соединения на гвоздях определяют по результатам испытаний в следующей последовательности:

1. По форме табл. 2 вычисляют деформации образца на всех циклах нагружения.

2. Строят, как показано на рис.11, график зависимости между упругими деформациями Dy_i и остаточными за цикл деформациями do_i (рис.12). Каждой ступени нагружения образца соответствует определенная точка на этом графике. Нагрузка на образец, начиная с которой наблюдается резкое возрастание остаточных за цикл деформаций do_i , является верхней границей области упругой работы соединения N_{I-II} .

3. По графику « $Dy - do$ » находят нагрузку N_{I-II} , при которой резко возрастают остаточные деформации.

4. По экспериментальным данным определяют полную деформацию образца соединения на гвоздях $d_{п}$ при расчетной нагрузке на образец $N_{п}$. Деформацию $d_{п}$ определяют, считая от начала испытания, т.е. от нагрузки $N=0$. Полная деформация $d_{п}$ соединения на гвоздях при расчетной нагрузке равна среднему арифметическому разностей, вычисленных по каждому индикатору, между отсчетом по каждому прибору при расчетной нагрузке и отсчетом по каждому прибору до начала испытания.

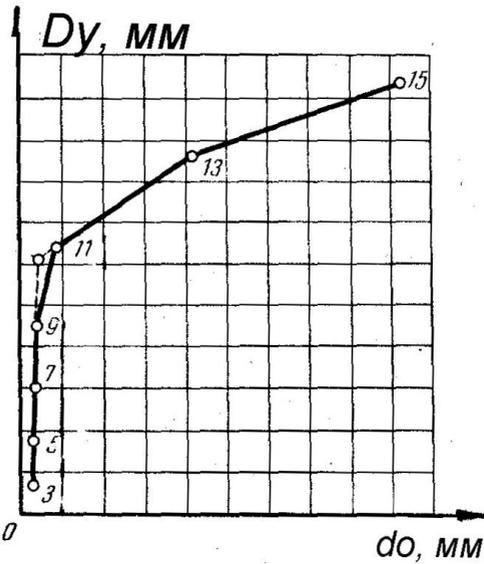


Рис.11. График зависимости между упругой деформацией D_u и остаточной за цикл деформацией d_0 .

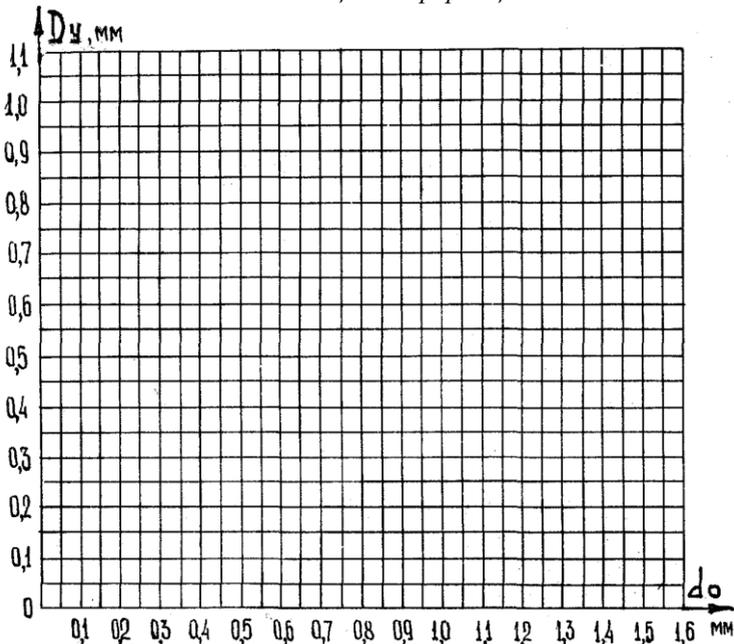


Рис.12. Поле для построения графика зависимости между упругой деформацией D_u и остаточной за цикл деформацией d_0 .

Заключительным этапом работы является сравнение фактических (полученных экспериментально) и соответствующих им теоретических (определенных расчетом или по действующим нормам /1/) величин, характеризующих несущую способность и деформативность гвоздевого соединения, в т.ч. :

- Нагрузки N_{I-II} , соответствующей верхней границе области упругой работы соединения;
- деформаций δ_P соединения на гвоздях при нагрузке N_P , соответствующей расчетной несущей способности образца.

Сравнение экспериментальных данных с теоретическими

1. Максимальная несущая способность образца соединения на гвоздях составила

$$N_t = \underline{\hspace{2cm}} \text{ кН.}$$

2. Коэффициент надежности фактический k величине разрушающего усилия составил

$$K_{\text{ФАКТ}} = \frac{N_t}{N_{II}} = \text{-----} =$$

3. Экспериментальное значение нагрузки, соответствующей верхней границе области упругой работы образца соединения на гвоздях составило

$$N_{I-II} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ кН.}$$

Теоретическое значение нагрузки, соответствующей верхней границе области упругой работы образца соединения на гвоздях составило

$$N_{I-II.\text{теор.}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ кН.}$$

$$\frac{N_{I-II} - N_{I-II.\text{Теор.}}}{N_{I-II.\text{Теор.}}} * 100\% = \text{-----} * 100\% = \underline{\hspace{1cm}} \%$$

4. Экспериментальное значение полной деформации δ_P соединения на гвоздях при расчетной нагрузке составило

$$\delta_P = \underline{\hspace{2cm}} \text{ мм.}$$

Теоретическое значение полной деформации $\delta_{P.\text{теор}}$ соединения при расчетной нагрузке составило

$$\delta_{P.\text{теор}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ мм.}$$

$$\frac{\delta_P - \delta_{P.\text{Теор.}}}{\delta_{P.\text{Теор.}}} * 100\% = \text{-----} * 100\% = \underline{\hspace{1cm}} \%$$

Заключение по выполненной работе

В заключении:

- отразить результаты испытаний – разрушающую нагрузку N_t , нагрузку соответствующую верхней границе области упругой работы N_{I-II} гвоздевого соединения;
- отразить деформации полные D_n , остаточные D_o , упругие D_y , остаточные за цикл do при нагрузке N_{I-II} и нагрузке, соответствующей расчетной несущей способности соединения, рыхлые деформации соединения.
- сопоставить результаты расчета конструкции узла с результатами испытаний, определить фактический коэффициент надежности для образца соединения, сопоставить деформации соединения при нагрузке, соответствующей расчетной несущей способности узла с предельной деформацией для гвоздевых соединений.

ЖУРНАЛ ИСПЫТАНИЙ
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ СОЕДИНЕНИЯ НА ГВОЗДЯХ

Нагрузка на образец, кН	Индикатор 1			Индикатор 2			Средние деформации образца, мм			
	Отсчет по прибору	Деформации полные Дп, мм	Деформации остаточные До, мм	Отсчет по прибору	Деформации полные Дп, мм	Деформации остаточные До, мм	Деформации полные Дп, мм	Деформации остаточные До, мм	Деформации упругие Ду, мм	Деф. остаточные за цикл до, мм
0										
1										
3										
1										
5										
1										
7										
1										
9										
1										
11										
1										
13										
1										
15										
1										

ИСПЫТАНИЕ СОСТАВНОЙ БАЛКИ НА ПЛАСТИНЧАТЫХ НАГЕЛЯХ (БАЛКИ ДЕРЕВЯГИНА)

Цель работы: теоретическое и экспериментальное изучение работы под нагрузкой балки составного сечения с соединениями на пластинчатых нагелях.

Задачи работы:

1. Определить расчетную несущую способность балки составного сечения с соединениями на пластинчатых нагелях - N_p [кН]:

- Из условия действия нормальных напряжений;
- Из условия работы пластинчатых нагелей;

2. Определить максимальную несущую способность (разрушающую нагрузку) балки составного сечения с соединениями на пластинчатых нагелях - N_t [кН];

3. Определить величину и характер распределения нормальных напряжений по высоте поперечного сечения балки в середине пролета конструкции при нагрузке N_p , соответствующей расчетной несущей способности балки;

4. Определить экспериментально прогибы в середине пролета балки в процессе нагружения;

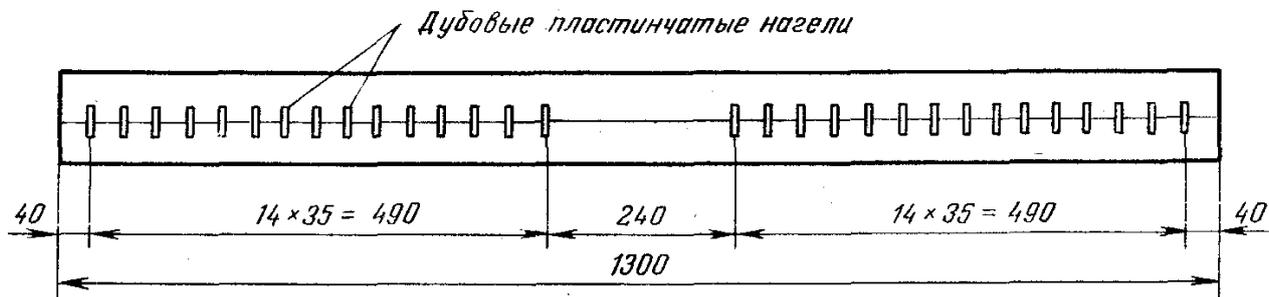
5. Определить теоретическое и экспериментальное значение прогиба в середине пролета балки при нагрузке N_p , соответствующей расчетной несущей способности балки;

6. Определить экспериментальную величину и установить характер распределения деформаций взаимного сдвига брусьев в составном сечении по длине балки при нагрузке N_p , соответствующей расчетной несущей способности балки;

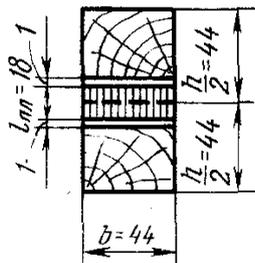
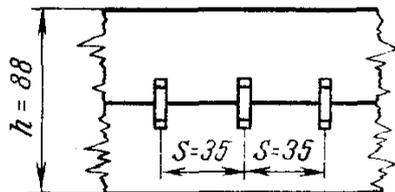
7. Выполнить оценку несущей способности балки составного сечения с соединениями на пластинчатых нагелях по результатам испытаний.

Конструкция образца и его расчетная схема

В качестве образца составной балки на податливых связях принята модель балки составного сечения из двух брусьев с соединениями на пластинчатых нагелях.



Деталь расположения нагелей



Пластинчатый нагель

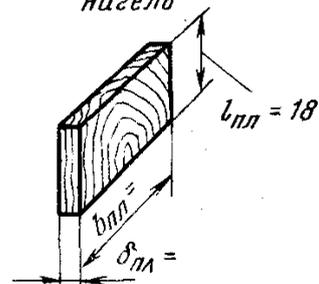


Рис. 14. Конструкция деревянной балки составного сечения с соединениями на пластинчатых нагелях.

Определение величины расчетной нагрузки на образец

Расчетную нагрузку на образец определяют как нагрузку, равную расчетной несущей способности N_{II} деревянной балки составного сечения из двух брусьев с соединениями на пластинчатых нагелях, с ее фактическими размерами (см. рис. 14) и в соответствии со схемой приложения нагрузки при испытаниях (см. рис. 13).

Величину нагрузки N_{II} определяют исходя из расчетной величины минимального изгибающего момента M_{\min} , который выдержит деревянная балка составного сечения с соединениями на пластинчатых нагелях.

В соответствии со схемой приложения нагрузки при испытаниях (см. рис. 13):

$$M_{\min} = \frac{P_{\text{расч}} * L}{6},$$

откуда расчетная несущая способность образца составит

$$N_{II} = P_{\text{расч}} = \frac{6 * M_{\min}}{L}.$$

Расчетную величину минимального изгибающего момента M_{\min} определяют из условия работы балки составного сечения на поперечный изгиб: из условия действия в балке нормальных напряжений и из условия работы пластинчатых нагелей на восприятие сдвигающего усилия, возникающего в шве сплачивания при изгибе составной балки.

1). Определение величины расчетного изгибающего момента из условия действия нормальных напряжений

Коэффициент условия работы (см. табл. 16 /2/) для балок составного сечения из двух брусьев $K_w=0,9$.

Момент сопротивления балки цельного сечения

$$W_x = \frac{b * h^2}{6} = \text{-----} = \text{-----} \text{ мм}^3.$$

Расчетный изгибающий момент, соответствующий расчетной несущей способности балки составного сечения с соединениями на пластинчатых нагелях из условия действия нормальных напряжений

$$M_{расч\ w} = R_{и} * W_{х} * K_{w} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Н*мм.}$$

2). Определение величины расчетного изгибающего момента из условия работы пластинчатых нагелей на восприятие сдвигающего усилия

Количество пластинчатых нагелей на половине пролета балки, необходимое для восприятия сдвигающего усилия, возникающего при изгибе составной балки в шве сплачивания определяется по формуле

$$n = 1,2 * \frac{M * S_{\acute{o}p}}{J_{\acute{o}p} * [T_{нл}]},$$

$$\text{откуда } M_{расч} = \frac{n * J_{\acute{o}p} * [T_{нл}]}{1,2 * S_{\acute{o}p}}$$

В формулах:

Статический момент брутто сдвигаемой части поперечного сечения составной балки относительно нейтральной оси

$$S_{\acute{o}p} = \frac{b * h^2}{8} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ мм}^3;$$

Момент инерции брутто поперечного сечения составной балки относительно нейтральной оси

$$J_{\acute{o}p} = \frac{b * h^3}{12} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ мм}^4;$$

Расчетная несущая способность пластинчатого нагеля

$$[T_{пл}] = 1,4 * L_{пл} * b_{пл} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Н}$$

где $L_{пл}$ и $b_{пл}$ подставлять в формулу в [мм] .

Расчетный изгибающий момент из условия работы пластинчатых нагелей на восприятие сдвигающего усилия

$$M_{расч\ пл} = \frac{n * J_{\acute{o}p} * [T_{нл}]}{1,2 * S_{\acute{o}p}} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Н*мм .}$$

Определение расчетной нагрузки

Величину расчетной нагрузки на образец определяют исходя из минимального значения расчетного изгибающего момента, которое выбирают как наименьшее значение из рассчитанных выше величин $M_{расч_в}$ и $M_{расч_{пл}}$:

$$M_{\min} = \text{-----} \cdot H \cdot m_m,$$

откуда расчетная несущая способность балки и расчетная нагрузка, передаваемая на балку при испытаниях, составит

$$N_n = P_{расч} = \frac{6 \cdot M_{\min}}{L} = \text{-----} = \text{-----} \text{ Н.}$$

Определение теоретического значения разрушающей нагрузки при кратковременном машинном испытании

Теоретическое значение разрушающей нагрузки $N_{т.теор}$ определяют исходя из расчетной несущей способности образца N_p .

Расчетное сопротивление древесины учитывает (см. /2, 3/) снижение прочности материала во времени при длительном действии нагрузки, статистическую изменчивость свойств материала, а так же наличие пороков в древесине (сучки, косослой и др.), количество и геометрические параметры которых определяются сортом древесины /4/.

Определяя теоретическое значение разрушающей нагрузки, следует учесть кратковременность ее действия на образец при машинных испытаниях, а так же однородность материала и отсутствие пороков в деревянных элементах образца:

$$N_{т.теор.} = \frac{N_n}{m_{дл} \cdot K_c} \cdot Y_m = \text{-----} = \text{-----} \text{ Н}$$

где $m_{дл} = 0,66$ - коэффициент, учитывающий снижение прочности древесины при длительном действии нагрузки; $K_c = 0,47$ - коэффициент, учитывающий статистическую изменчивость свойств древесины при изгибе, если N_p образца определялась по расчетному сопротивлению для древесины 2-го сорта. При наличии в древесине образца сучков и других пороков в пределах, соответствующих 2-му сорту согласно требованиям ГОСТ / 4/, $K_c = 1$; $Y_m = 1,1$ - коэффициент надежности по материалу /2/.

Определение прогиба в середине пролета балки при расчетной нагрузке

Прогиб балки в середине пролета при нагрузке N_{II} , соответствующей расчетной несущей способности балки:

$$f_{II_{теор}} = \frac{0,852}{48} * \frac{N_{II} * L^3}{E * J_{II} * K_{ж}} = \text{-----} = \text{-----} \text{ мм}$$

где $E=10000$ МПа - расчетный модуль упругости древесины;

$$J_{II} = \frac{b * h^3}{12} - \text{момент инерции поперечного сечения балки без учета}$$

податливости связей сдвига; $K_{ж} = 0,75$ - коэффициент, учитывающий снижение жесткости поперечного сечения балки из двух брусков за счет податливости пластинчатых нагелей (см. табл. 16 /1/).

Указания по выполнению работы

а). Оборудование и приборы

Для подготовки и проведения испытаний необходимы:

- Штангенциркуль для измерения поперечного сечения балки с точностью до 0.2 мм;

- Электротензодатчики и компьютеризированный тензометрический комплекс для измерения относительных деформаций в крайних волокнах каждого бруска в составном поперечном сечении балки в середине ее пролета;

- Прогибомер или индикатор часового типа с ценой деления 0,01 мм для измерения прогибов балки в середине пролета;

- индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм для измерения , на опоре деформаций взаимного сдвига брусков, составляющих поперечное сечение балки. Сдвиги так же измеряют в нескольких точках на полупролете балки с помощью миллиметровой бумаги, наклеенной на боковую поверхность балки и разрезанной по шву сплачивания брусков. Величину сдвига определяют при нагрузке, соответствующей расчетной несущей способности образца, как расстояние между вертикальными рисками, нанесенными на бумаге до начала нагружения.

Схема испытания и схема расстановки приборов представлены на рис. 15.

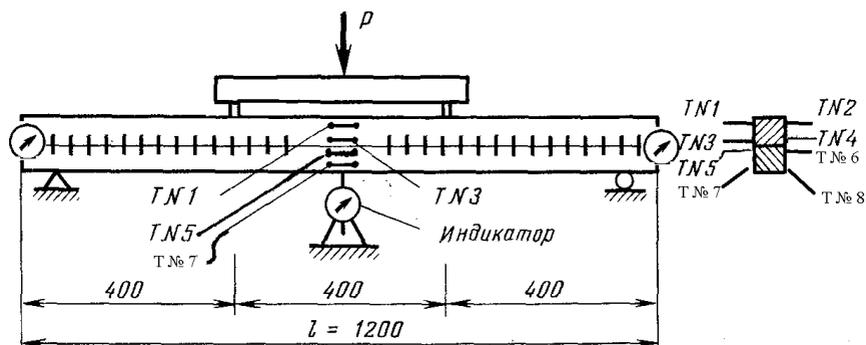


Рис. 15. Схема испытания составной балки с соединениями на пластинчатых нагелях. Схема расстановки приборов на образце.

До начала испытания балки при нагрузке $N=0$ снимают показания приборов – прогибомера и электротензометрических датчиков. Показания приборов записывают в журнал. Испытания балки проводят на машине типа Р-5 при шкале силоизмерителя 20 кН. Нагрузку на балку передают в третях пролета через стальную распределительную траверсу. Нагружение балки производят ступенями по $0,25 \cdot N_{п}$. На каждой ступени нагружения снимают и записывают в журнал испытаний (табл. 3) показания прогибомера. Показания электротензометрических датчиков снимают и записывают в журнал испытаний (табл. 4) при нагрузке $N_{п}$, соответствующей расчетной несущей способности образца.

При испытании определяют:

- максимальную несущую способность балки составного сечения с соединениями на пластинчатых нагелях (разрушающую нагрузку) N_t ;
- прогибы f балки составного сечения в процессе нагружения;
- прогибы $f_{п}$ балки составного сечения при нагрузке $N_{п}$, соответствующей расчетной несущей способности образца;
- величину и характер распределения нормальных напряжений по высоте составного поперечного сечения балки в середине пролета балки при нагрузке $N_{п}$, соответствующей расчетной несущей способности образца;
- величину и характер распределения взаимного сдвига $\delta_{п}$ брусьев в составе поперечного сечения на опоре балки при нагрузке

Нп, соответствующей расчетной несущей способности образца.

По экспериментальным данным выполняют построение эпюры нормальных напряжений по высоте поперечного сечения балки (рис.16). Эпюру нормальных напряжений для балки составного сечения сравнивают с теоретическими эпюрами нормальных напряжений для балки цельного сечения и для балки составного сечения без связей сдвига, значения напряжений для которых получены при тех же расчетных условиях, что и для основного образца.

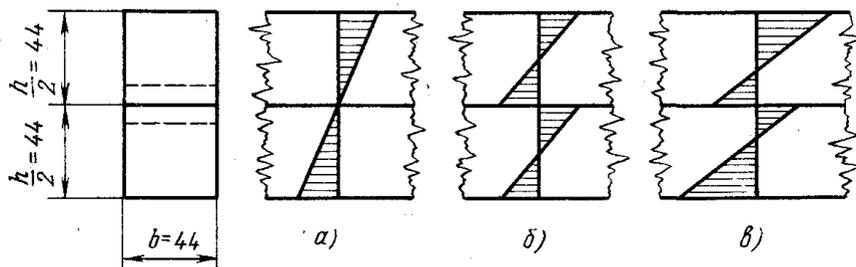


Рис.16. Эпюры нормальных напряжений по высоте поперечного сечения балки: а - эпюра напряжений в балке цельного сечения (без учета податливости связей); б - эпюра напряжений в балке из двух брусьев без связей; в - эпюра напряжений в балке из двух брусьев с соединениями на пластинчатых нагелях (с учетом податливости связей).

Таблица 3

ЖУРНАЛ ИСПЫТАНИЯ К РАБОТЕ № 3

Определение прогибов балки составного сечения с соединениями на пластинчатых нагелях

Нагрузка на образец		Отсчет по прогибомеру, мм	Прогиб, мм
В долях от нагрузки Нп	кН		
0			
0,25			
0,5			
0,75			

1,0			
1,25			
1,50			
1,75			
2,0			
2,25			
2,5			

Таблица 4

ЖУРНАЛ ИСПЫТАНИЯ К РАБОТЕ № 3

**Определение напряжений в брусках составного сечения балки
(при нагрузке N_p , соответствующей расчетной несущей способности балки)**

Наименование параметра	Электротензодатчики (база = 20 мм, коэффициент преобразования)							
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8
Начальные отсчеты при $N=0$								
Отсчеты при $N = N_p$ кН								
Разность отсчетов								
Средняя разность по двум тензодатчикам								
Напряжения $\sigma_i, МПа$								

По экспериментальным данным выполняют построение графика зависимости прогибов балки составного сечения от нагрузки (рис.17).

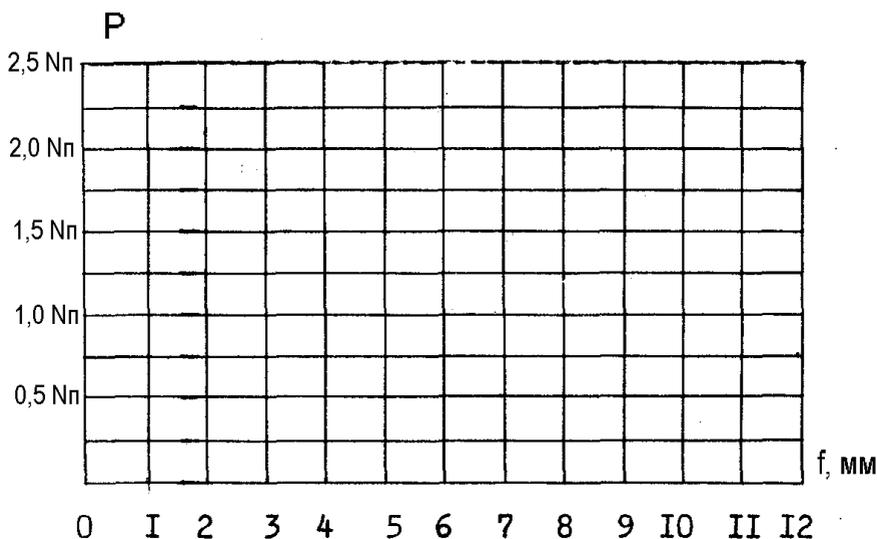


Рис. 17. Поле для построения графика зависимости прогибов f балки составного сечения от нагрузки на балку N .

Если сдвиги определяли в нескольких точках по длине балки, то строят кривую распределения деформаций сдвига брусьев по длине балки составного сечения. Эта же кривая характеризует распределение сдвигающих усилий по длине балки.

Заключительным этапом работы является сравнение экспериментальных данных с расчетными: фактических (полученных в результате испытания) величин разрушающей нагрузки, нормальных напряжений, прогиба балки составного сечения с соединениями на пластинчатых нагелях, с соответствующими теоретическими величинами, определенными по вышеприведенным формулам.

Оценка несущей способности балки составного сечения с соединениями на пластинчатых нагелях

(сравнение экспериментальных данных с теоретическими)

1. Экспериментальное значение максимальной несущей способности (разрушающей нагрузки) N_t балки составного сечения с соединениями на пластинчатых нагелях

$$N_t = \underline{\hspace{2cm}} \text{ кН}$$

Теоретическое значение максимальной несущей способности (разрушающей нагрузки) Nt деревянной балки составного сечения с соединениями на пластинчатых нагелях

$$Nt_{\text{теор}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ кН}$$

$$\frac{Nt - Nt_{\text{теор}}}{Nt_{\text{теор}}} * 100\% = \text{-----} * 100\% = \underline{\hspace{2cm}} \%$$

2. Коэффициент надежности фактический к величине разрушающего усилия составляет

$$K_{\text{факт}} = \frac{Nt}{Nt_{\text{теор}}} = \text{-----} = \underline{\hspace{2cm}}$$

3. Экспериментальное значение прогиба балки составного сечения f_{Π} при нагрузке, соответствующей расчетной несущей способности образца

$$f_{\Pi} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ мм}$$

Предельный прогиб балки по эстетико-психологическому признаку (принят по СП 20.13330.2011)

$$f_{\text{теор}} = 1/200 * L = \underline{\hspace{2cm}} \text{ мм,}$$

где L – расчетный пролет балки.

$$\frac{f_{\Pi} - f_{\Pi_{\text{теор}}}}{f_{\Pi_{\text{теор}}}} * 100\% = \text{-----} * 100\% = \underline{\hspace{2cm}} \%$$

4. Экспериментальное значение нормальных напряжений в середине пролета балки составного сечения σ_{Π} при нагрузке, соответствующей расчетной несущей способности образца

$$\sigma_{\Pi} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ МПа}$$

составляет от расчетных напряжений при нагрузке N_{Π}

$$\sigma_{\text{теор}} = R_{\text{и}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ МПа}$$

$$\frac{\sigma_{\Pi} - \sigma_{\text{теор}}}{\sigma_{\text{теор}}} * 100\% = \text{-----} * 100\% = \underline{\hspace{2cm}} \%$$

Заключение по результатам испытания

(Выводы по выполненной работе)

В заключении:

- отразить результаты испытаний – разрушающую нагрузку N_t , нагрузку соответствующую верхней границе области упругой работы N_{I-II} составной балки с соединениями на пластинчатых нагелях;
- отразить прогибы балки при нагрузке N_{I-II} и нагрузке, соответствующей расчетной несущей способности соединения N_p ;
 - сопоставить результаты расчета конструкции балки составного сечения с результатами испытаний, определить фактический коэффициент надежности для конструкции, сопоставить прогибы составной балки при нагрузке, соответствующей расчетной несущей способности конструкции с предельными прогибами балки.