

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра строительных конструкций

# **ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СОСТАВНОЙ БАЛКИ НА ПЛАСТИНЧАТЫХ НАГЕЛЯХ**

Методические указания

Составители:

В.И. Жаданов, Ю.А. Ловецкая

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом  
федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования «Оренбургский  
государственный университет» для обучающихся по  
образовательным программам высшего образования по  
направлению 08.03.01 Строительство

Оренбург  
2021

УДК 624.011.1  
ББК 38.55  
И 35

Рецензент – доцент, доктор технических наук В.А. Гурьева

И 35 **Исследование напряженно-деформированного состояния составной балки на пластинчатых нагелях:** методические указания / составители В.И. Жаданов, Ю.А. Ловецкая; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2021. – 13 с.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторной работы по дисциплине «Конструкции из дерева и пластмасс» для студентов, обучающихся по программам высшего образования по направлению подготовки 08.03.01 Строительство.

УДК 624.011.1  
ББК 38.55

© Жаданов В.И.,  
Ловецкая Ю.А.,  
составление, 2021  
© ОГУ, 2021

## Содержание

1 Цель и задачи лабораторной работы .....	4
2 Алгоритм расчета составных балок на податливых связях .....	4
3 Конструкция опытного образца .....	6
4 Определение расчетной нагрузки .....	8
5 Описание последовательности выполнения работы .....	8
6 Перечень оборудования, приборов, инструментов, необходимых для проведения лабораторной работы .....	10
7 Указания по технике безопасности .....	10
8 Оформление и порядок сдачи лабораторной работы .....	10
9 Контрольные вопросы .....	12
Список использованных источников .....	13

## **1 Цель и задачи лабораторной работы**

Цель лабораторной работы – исследование фактического напряженно-деформированного состояния составной деревянной балки на податливых связях и сравнение его с теоретическими данными.

Для реализации сформулированной цели необходимо решить ряд взаимосвязанных задач:

- приобрести навыки в определении расчетной несущей способности составной балки по нормальным напряжениям;
- научиться определять теоретическое значение расчетной несущей способности балки из условия работы податливых связей на сдвигающие усилия;
- оценить фактическую предельную несущую способность балки на пластинчатых нагелях;
- овладеть принципами определения величины и характера распределения нормальных напряжений по высоте поперечного сечения балки при нормативной и расчетной нагрузке;
- уметь вычислять теоретическое и экспериментальное значения прогиба балки при нормативной и расчетной нагрузке и характер его изменения при нагружении;
- исследовать экспериментальными методами характер распределения сдвигов по длине балки;
- овладеть рациональными алгоритмами расчета составных изгибаемых деревянных элементов с учетом податливости связей для обеспечения необходимой степени прочности и жесткости проектируемой конструкции.

Кроме этого на заключительном этапе работы студенты сравнивают фактические и теоретические величины нормальных напряжений, прогиба балки, сдвигов по шву, а также сопоставляют работу под нагрузкой балок составного сечения и балок из цельной древесины. Также проводится оценка эффективности применения податливых связей в изгибаемых элементах путем сравнения трех балок с одинаковыми размерами поперечного сечения: монолитная, балка на пластинчатых нагелях и балка-пакет без связей, воспринимающих сдвиговые усилия.

## **2 Алгоритм расчета составных балок на податливых связях**

Из-за ограниченного сортамента цельных деревянных элементов многие деревянные конструкции делают составного поперечного сечения. Отдельные брусья или доски соединяют между собой по высоте с помощью связей, которые могут быть жесткими (клеевые) и податливыми (все остальные). Вид соединения для увеличения размеров поперечного сечения называется сплачивание.

Податливостью называется способность связей при деформации конструкций давать возможность соединяемым брусьям или доскам сдвинуться относительно друг друга. Податливость связей ухудшает работу составного элемента по сравне-

нию с таким же элементом цельного сечения. У составного элемента на податливых связях при таком сравнении уменьшается несущая способность, увеличивается деформативность, изменяется характер распределения сдвигающих усилий по его длине и нормальных напряжений по высоте поперечного сечения.

С другой стороны, в сравнении с балкой-пакетом без связей, воспринимающих сдвиговые усилия, несущая способность и жесткость составного элемента увеличивается в разы, что предопределяет экономическую целесообразность применения составных изгибаемых элементов в строительстве, особенно в районах, где отсутствуют заводы по производству клееных деревянных конструкций.

Нормативные краевые напряжения в составной балке на податливых связях проверяются по формуле

$$\sigma_u = \frac{M_{max}}{W_{рас}} \leq R_u, \quad (1)$$

где  $M_{max}$  – значение максимального изгибающего момента;

$W_{рас}$  – расчетный момент сопротивления;

$R_u$  – расчетное сопротивление древесины при изгибе, определяемое по таблице 3/1/.

Расчетный момент сопротивления определяется по формуле

$$W_{рас} = k_w \cdot W_u, \quad (2)$$

где  $W_u$  – момент сопротивления балки цельного сечения.

$k_w$  – коэффициент, учитывающий податливость пластинчатых нагелей в составной балке, определяется по таблице 13/1/.

Прогиб балки составного сечения на податливых связях определяется с учетом расчетного момента инерции:

$$J_{рас} = k_{ж} \cdot J_u, \quad (3)$$

где  $J_u$  – момент инерции балки цельного сечения.

$k_{ж}$  – коэффициент, учитывающий податливость пластинчатых нагелей в составной балке, определяется по таблице 13/1/.

Расчет на сдвигающие усилия сводится к определению количества связей (пластинок) на половине пролета балки  $n_c$ . С учетом формы эпюры поперечных сил.

$$n_c = \frac{M_{max} \cdot S_{оп}}{J_u \cdot T_{nl}}, \quad (4)$$

где  $S_{бр}$  – статический момент брутто сдвигаемой части сечения относительно центральной оси.

$T_{пл}$  – несущая способность одной пластинки.

Статический момент брутто  $S_{бр}$  определяется по формуле

$$S_{бр} = \frac{b \cdot h^2}{8}, \quad (5)$$

где  $b, h$  – размеры поперечного сечения балки.

Несущая способность одной пластинки определяется по формуле

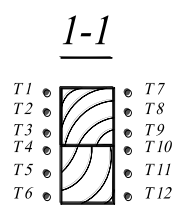
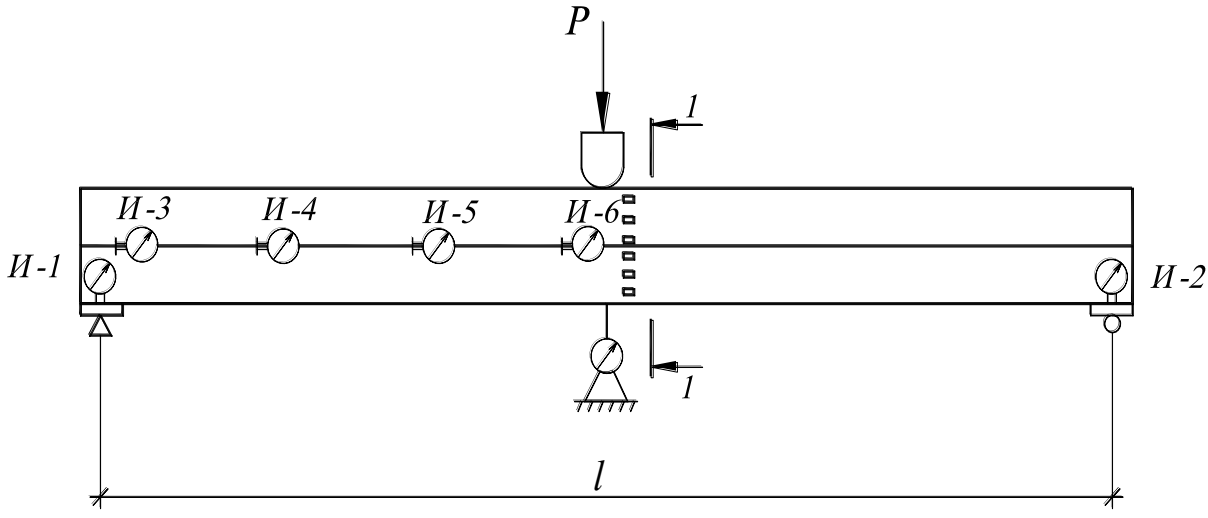
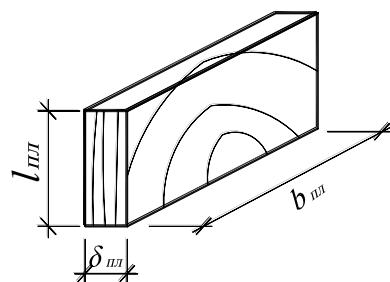
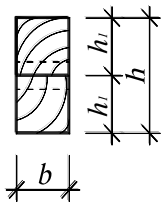
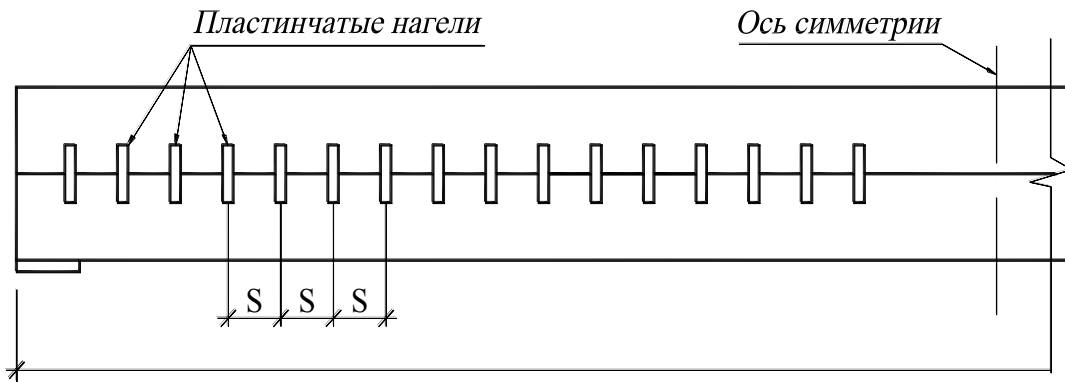
$$T_{пл} = 14 \cdot l_{пл} \cdot b_{пл}, \quad (6)$$

где  $l_{пл}$  и  $b_{пл}$  – соответственно высота и ширина пластинчатого нагеля в сантиметрах.

### 3 Конструкция опытного образца

Испытанию подвергается составная балка, выполненная из двух брусков, соединенных между собой пластинчатыми нагелями. Древесина брусков – сосна, пластинчатых нагелей – береза (дуб). Испытуемый образец, схема его загрузки, размеры и оснащение измерительными приборами показана на рисунке 1.

При испытании балки измеряют прогибы балки в середине пролета, деформации сдвига соединяемых элементов составного сечения, величину и характер распределения напряжений по высоте поперечного сечения балки в средней её части. Прогибы измеряют прогибомером П1, осадка опор учитывается дополнительно установленными индикаторами И1 и И2. Сдвиги измеряются индикаторами И3-И6. Распределение напряжений в сечении балки определяется замером линейных деформаций волокон древесины с помощью тензорезисторов с базой 50 мм. Т1-Т12.



- а) – конструкция опытного образца;
- б) – схема нагружения и расстановки приборов

Рисунок 1 – Испытуемый образец и схема его загрузки

## 4 Определение расчетной нагрузки

С учетом принятой схемы загрузки расчетная нагрузка определяется из двух условий:

- по прочности при действии нормальных напряжений при изгибе с учетом (1) и (2):

$$P = \frac{2 \cdot R_u \cdot k_w \cdot h^2}{3 \cdot l}, \quad (7)$$

- из условия достижения расчетной несущей способности пластинчатого нагеля с учетом формул (4), (5) и (6):

$$P = \frac{8 \cdot h \cdot n_c \cdot T_{пл}}{3 \cdot l}, \quad (8)$$

где  $n_c$  – фактическое количество нагелей на половине пролета балки.

Из двух значений за расчетное принимается минимальное значения силы  $P$ .

## 5 Описание последовательности выполнения работы

1 Определяют и заносят в отчет по лабораторной работе следующие исходные данные и размеры:

- влажность древесины  $W =$  %
- пролет балки  $l =$  см
- ширину сечения балки  $b =$  см
- высоту сечения балки  $h =$  см
- шаг расстановки нагелей  $S =$  см
- количество нагелей на половине пролета балки  $n_c =$  шт.
- толщину пластинчатого нагеля  $\delta_{пл} =$  см
- длину пластинчатого нагеля  $l_{пл} =$  см

2 Проверяют соотношение размеров нагелей и правильность их расстановки.

Для обеспечения равнопрочности пластинчатого нагеля по смятию и изгибу должно быть выдержано соотношение  $l_{пл} = 4 \cdot \delta_{пл}$ . Для исключения скалывания древесины сплавляемых элементов между нагельными гнездами шаг расстановки нагелей должен быть не менее минимальной величины, равной  $9 \cdot \delta_{пл}$  (п. 5.28/1/).

3 Определяют расчетное значение нагрузки  $P$  по пункту 4 настоящих методических указаний, предварительно определив значение коэффициентов  $k_w$  и  $k_{ж}$  по таблице 13/1/.

4 Вычисляют теоретические значения:

- нормальных напряжений  $\delta_{теор}$  по формуле (1);



- прогиба при расчетной нагрузке  $f_{\text{теор}}$ , исходя из схемы загрузки по формуле

$$f_{\text{теор}} = \frac{P \cdot l^3}{48 \cdot E_{\partial} \cdot J_u \cdot k_{\text{жс}}}, \quad (9)$$

где  $E_{\partial} = 140000 \text{ кгс/см}^2$  – кратковременный модуль упругости древесины;

- максимального сдвига соединяемых элементов  $\Delta_{\text{теор}}$  по формуле

$$\Delta_{\text{теор}} = \Delta'_{\text{теор}} \cdot k_{\text{дл}} \quad (10)$$

где  $\Delta'_{\text{теор}} = 2 \text{ мм}$  – максимальный сдвиг соединяемых элементов с учетом действия нагрузки, принимается по таблице 15/1/;

$k_{\text{дл}} = 0,66$  – коэффициент длительного сопротивления древесины

5 Измеряют диаметр поршня домкрата и его площадь. Вычисляют величину расчетного давления.

6 Проводят испытание балки, прикладывая расчетную нагрузку  $l'$  за ступень. Отсчеты по приборам берут 2 раза – при отсутствии нагрузки и при расчетной нагрузке  $P$  и заносят в таблицы 1,2,3. Нагрузку и разгрузку повторяют 3 раза, за результат замеров принимают среднее из трех.

7 По Таблице 1 определяют значение экспериментального прогиба  $f_{\text{экс}}$ , по таблице 2 строят эпюру сдвигов по шву, по данным таблицы 3 строят эпюру распределения нормальных напряжений по высоте поперечного сечения.

8 Сравнивают теоретические и экспериментальные данные по формулам

$$\frac{\delta_{\text{экс}}^{\text{max}} - \delta_{\text{теор}}}{\delta_{\text{теор}}} \cdot 100\%, \quad (11)$$

$$\frac{f_{\text{экс}} - f_{\text{теор}}}{f_{\text{теор}}} \cdot 100\%, \quad (12)$$

$$\Delta_{\text{экс}}^{\text{max}} < \Delta_{\text{теор}}, \quad (13)$$

9 Сопоставляют характер работ составной балки с характером работы балки цельного сечения. Для этого значения краевых напряжений сравниваются с напряжениями  $\delta_q$  в балке цельного сечения, работающей в аналогичных условиях

$$\delta_q = \frac{1,5 \cdot p \cdot l^3}{b \cdot h^2}, \quad (14)$$

Отношение  $\delta_q / \delta_{\text{экс}}$  сравнивается с коэффициентом  $k_w$ . Величина максимального прогиба балки  $f_{\text{экс}}$  сравнивается с прогибом балки цельного-сечения  $f_q$ , работающей в аналогичных условиях

$$f_q = \frac{0,25 \cdot p \cdot l^3}{E \cdot b \cdot h^3}, \quad (15)$$

Отношение  $f_q/f_{\text{экс}}$  сравнивается с коэффициентом  $k_w$ .

10 Оформляют отчет по лабораторной работе.

## **6 Перечень оборудования, приборов, инструментов, необходимых для проведения лабораторной работы**

Испытательный стенд с составной деревянной балкой с тензодатчиками, сопротивлению.

Насосная станция с гидродомкратом НСМ-400 – 1 шт.

Многоканальная тензометрическая система ММТС- 64.01 – 1 шт.

Переключатель датчиков – 1 шт.

Прогибомер – 1 шт.

Индикатор часового типа – 1 шт.

Штангенциркуль – 1 шт.

Рулетка – 1 шт.

Линейка – 1 шт.

## **7 Указания по технике безопасности**

При выполнении лабораторной работы необходимо соблюдать следующие правила:

- 1) Перед проведением работы убедиться в исправном состоянии всех приборов, используемых для испытаний.
- 2) Проверить наличие заземления у ММТС- 64.01.
- 3) Не дотрагиваться до корпуса ММТС- 64.01 во включенном его состоянии.
- 4) Не наступать на переходные провода и «шлейфы».
- 5) После проведения испытаний убедиться в том, что нагрузка снята (между поршнем домкрата и балкой стенда есть зазор), а приборы обесточены.

## **8 Оформление и порядок сдачи лабораторной работы**

В отчете по лабораторной работе следует привести:

- 1) Цели лабораторной работы.
- 2) Обмерочный чертеж балки.
- 3) Схему испытательной установки с размещением приборов и тензодатчиков.
- 4) Проверку правильности расстановки нагелей в балке.
- 5) Вычисление теоретических значений величин  $\sigma_{\text{теор}}$ ,  $f_{\text{теор}}$ ,  $\Delta_{\text{теор}}$ , также расчетной нагрузке.
- 6) Таблицы 1, 2, 3 с комментариями по вычислению величин.
- 7) Эпюры распределения нормальных напряжений по высоте сечения и сдвигов по шву.
- 8) Выводы по работе с анализом причин о возможных расхождениях экспериментальных и теоретических данных.

Таблица 1 – Определение прогибов балки

№ загр.	Нагр., Р кгс	И-1		И-2		Р1		Прогиб $f$ $f = \Delta_3 - \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2}$	Средний прогиб, мм
			$\Delta_1$		$\Delta_2$		$\Delta_3$		
1	0  Р=								

Таблица 2 – Определение сдвигов по длине балки

№ загр.	Нагрузка, Р кгс	И-3		И-4		И-5		И-6	
			$\Delta$		$\Delta$		$\Delta$		$\Delta$
	0  Р=								
Средний сдвиг, мм									

Таблица 3 – Определение напряжений в сечении балки

№ загр.	Наименование	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>
1	Начал. отсчет Конеч. отсчет Разность отсчет $\Delta$						
Средняя разность $\Delta_{ср}$							
Напряжения кгс/см <sup>2</sup>							

## 9 Контрольные вопросы

- 1) Из каких условий назначается минимальный шаг нагелей в балках составного сечения?
- 2) Из каких соображений назначена длина пластинчатых нагелей ( $4,5 \cdot \delta_{пл}$ )?
- 3) Как располагаются волокна пластинчатых нагелей относительно между соединяемыми элементами в балках Деревягина?
- 4) Как учитывается податливость нагельных соединений при определении прогиба балок составного сечения на прочность по нормальным напряжениям при изгибе?
- 5) От каких параметров зависят и как определяются коэффициенты  $k_w$  и  $k_{ж}$ ?
- 6) Как определить расчетную нагрузку на составную балку на податливых связях?
- 7) Как может произойти разрушение балки Деревягина?
- 8) В какой зоне по длине балки на нагелях действуют большие усилия?
- 9) Как определяется количество пластинок в балках Деревягина при действии равномерно-распределительной нагрузки?
- 10) Зачем при испытании устанавливаются на балке индикаторы на опорах?
- 11) Какова эпюра сдвигов по шву в балках составного сечения на податливых связях?
- 12) Каковы эпюры нормальных напряжений по высоте поперечного сечения составной балки? Цельной балки? Балки из двух брусьев без связей?

## Список использованных источников

1. СП 64.13330.2017. Деревянные конструкции.
2. Карлсен Г.Г. Конструкции из дерева и пластмасс. – М.: Стройиздат. 1980. – 543с.
3. Зубарев Г.Н., Лялин И.М. Конструкции из дерева и пластмасс. – М.: Высшая школа. 1980. – 311с. Режим доступа: [https://dl.booksee.org/genesis/839000/a659b432f5de7edbf8c912ae8cc508ed/\\_as/\[Zubarev\\_G.\]\\_Konstrukcii\\_iz\\_dereva\\_i\\_plastmass\(BookSee.org\).pdf](https://dl.booksee.org/genesis/839000/a659b432f5de7edbf8c912ae8cc508ed/_as/[Zubarev_G.]_Konstrukcii_iz_dereva_i_plastmass(BookSee.org).pdf)