

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Металлические и деревянные конструкции»

А. И. Згировский
А. В. Оковитый
В. В. Ильючик

КОНСТРУКЦИИ ИЗ ДЕРЕВА И ПЛАСТМАСС

Учебно-методическое пособие
по лабораторным работам
для студентов специальности 1-70 02 01
«Промышленное и гражданское строительство»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением по образованию
в области строительства и архитектуры*

Минск
БНТУ
2016

УДК 624.011.1(076.5)

ББК 38.55я7

3-45

Р е ц е н з е н т ы:

кафедра «Строительство и эксплуатация сооружений»
Межотраслевого института повышения квалификации
и переподготовки кадров по менеджменту и развитию персонала
(зав. кафедрой, канд. техн. наук, доцент *А. С. Стаценко*);
канд. техн. наук *И. В. Башкевич*

Згировский, А. И.

- 3-45 Конструкции из дерева и пластмасс : учебно-методическое пособие по лабораторным работам для студентов специальности 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство» / А. И. Згировский, А. В. Оковитый, В. В. Ильючик. – Минск : БНТУ, 2016. – 54 с.
ISBN 978-985-550-801-5.

Содержатся основные требования к методике проведения лабораторных работ, описание опытных образцов изучаемых конструкций и соединений, указания по подготовке и проведению испытаний, по обработке результатов экспериментальных исследований.

УДК 624.011.1(078)

ББК 38.55я7

ISBN 978-985-550-801-5

© Згировский А. И., Оковитый А. В.,
Ильючик В. В., 2016

© Белорусский национальный
технический университет, 2016

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с учебными планами подготовки студентов строительных специальностей по дисциплине «Конструкции из дерева и пластмасс» значительное место отводится лабораторным работам. Они проводятся с целью облегчения усвоения теоретических положений дисциплины, более глубокого понимания работы конструкций и соединений и методов их расчета, а также приобретения навыков в проведении экспериментальных исследований и анализа полученных результатов.

При подготовке к лабораторной работе студент должен ознакомиться с целью и задачами испытаний, основными положениями теоретического расчета, методикой проведения исследований и требованиями техники безопасности. До начала испытаний производят освидетельствование опытной конструкции или соединения, заключающееся в установлении фактических размеров образца, влажности и пороков древесины (сучков, косослоя, трещин и др.), которые могут повлиять на результаты испытаний, и сопоставление их с нормативными требованиями. Обмер производится металлической линейкой и штангенциркулем. Влажность древесины замеряется электровлагомером.

Перед испытанием выполняется теоретический расчет. Устанавливается теоретическая прогнозируемая несущая способность, количество ступеней нагружения и их величина. Измерительные приборы устанавливаются в соответствии со схемой испытания. При расчете опытных образцов необходимые расчетные сопротивления древесины и поправочные коэффициенты приведены в табл. 6.4 и 6.5 ТКП 45-5.05-146–2009 [1].

В конце каждой работы дается сравнение результатов теоретических расчетов с полученными экспериментальными данными, анализируются причины расхождений между ними, выясняется характер разрушения образца, делается заключение по результатам испытания.

О проделанной лабораторной работе составляется отчет согласно приведенному описанию, в котором должны быть выполнены все необходимые расчеты и рисунки, заполнены и обработаны журналы испытаний, построены графики, сделано заключение по результатам испытаний и даны ответы на контрольные вопросы.

Лабораторная работа № 4 разработана и поставлена бывшим доцентом кафедры Березовским Л.Ф. В разработку и постановку остальных работ значительный вклад внесли доцент Фомичев В.Ф. и доцент кафедры Головач В.Н., разработавшие лабораторный практикум 1981 г. издания.

Лабораторная работа № 1

ИСПЫТАНИЕ СОЕДИНЕНИЯ НА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ НАГЕЛЯХ (СТАЛЬНЫХ НАГЕЛЯХ, ГВОЗДЯХ)

Цель работы: изучить работу стыкового соединения на цилиндрических нагелях.

Задачи: определить прогнозируемую несущую способность и предельную деформацию соединения; определить опытную несущую способность и деформацию соединения; сравнить экспериментальные и теоретические величины и проанализировать результаты испытаний.

1.1. Испытание соединения на стальных нагелях

Установление фактических размеров образца

Образец, предназначенный для испытания, следует обмерить с точностью до 0,5 мм (рис. 1.1). На рисунке необходимо указать толщины элементов: среднего t_2 и крайних t_1 ; расстояния между осями цилиндрических нагелей: вдоль элементов и до торцов S_1 и поперек элементов и до кромок S_2, S_3 . Замерить диаметр нагелей d и проверить правильность их размещения в соответствии с требованиями ТКП 45-5.05-146.

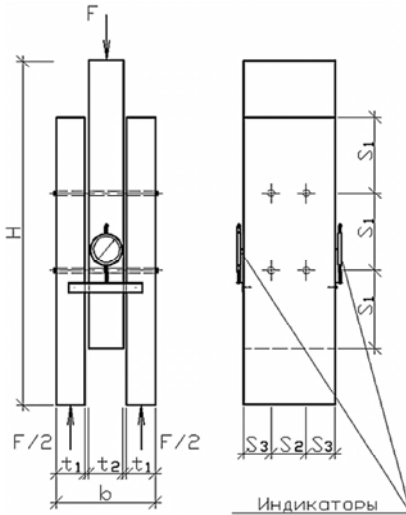


Рис. 1.1. Конструкция соединения на стальных нагелях и схема расстановки приборов

Устанавливаются:

- линейные размеры элементов и соединения в миллиметрах: t_1, t_2, b, H ;
- диаметр нагелей d в миллиметрах и их количество n_n ;
- количество швов (условных срезов) для одного нагеля n_s ;
- расстояние между осями нагелей S_1, S_2, S_3 и соблюдение условий их расстановки;
- порода, сорт и влажность древесины.

Схема нагружения образца и расстановки приборов

Для измерения деформаций сдвига в швах соединения на образце устанавливают два индикатора, которые закрепляют на среднем элементе таким образом, чтобы шток индикатора упирался в уголок, прикрепленный к крайним элементам (см. рис. 1.1). Рекомендуется применять индикаторы часового типа с пределом измерения 10 мм и ценой деления 0,01 мм. Приборы, применяемые при испытании, должны быть пронумерованы и протарированы.

Несущая способность образца. Предельная деформация сдвига соединения

Расчетная несущая способность соединения (в конструкциях при долговременной нагрузке)

$$R_d = R_{1d.min} n_s n_n, \quad (1.1)$$

где n_s – количество швов в соединении для одного нагеля (гвоздя);

n_n – количество нагелей (гвоздей) в соединении;

$R_{1d.min}$ – минимальное значение несущей способности одного среза нагеля (гвоздя – для лаб. работы 1.2), вычисленное из условий смятия древесины элементов под нагелем (гвоздем) и изгиба нагеля (гвоздя):

$$R_{1d.min} = \min \begin{cases} f_{h.1.d} d k_\alpha \\ f_{h.2.d} d k_\alpha \\ f_{n.d} d^2 (1 + \beta_n^2) \sqrt{k_\alpha}, \end{cases}$$

где $f_{h.1.d}$, $f_{h.2.d}$ – расчетные сопротивления смятию древесины в глухом нагельном гнезде (табл. 9.2, 9.3 – [1]);

$f_{n.d}$ – расчетное сопротивление изгибу нагеля (гвоздя) (табл. 9.4 – [1]);

k_α – коэффициент, учитывающий угол между усилием и направлением волокон древесины (табл. 9.5 – [1]).

β_n – коэффициент, зависящий от отношения толщины более тонкого элемента к диаметру нагеля (гвоздя):

$$\beta_n = k_n t_1 / d \leq \beta_{n.\max}.$$

где k_n , $\beta_{n.\max}$ определяют из табл. 9.4 – [1].

Прогнозируемая несущая способность соединения при кратковременной нагрузке в лабораторных условиях

$$R_{d.\text{вр}} = R_d / k_{\text{дл}}, \quad (1.2)$$

где $k_{\text{дл}}$ – коэффициент, учитывающий снижение прочности при длительном действии нагрузки. Принимают $k_{\text{дл}} = 0,67$ (усредненное значение).

Предельная деформация сдвига нагельного соединения в конструкциях при длительном действии нагрузки (табл. 8.1 – [1])

$$\Delta_{\max} = 2 \text{ мм.}$$

Испытание образца

Соединения на цилиндрических нагелях относятся к группе соединений с нелинейной зависимостью деформаций от усилия. Для них критерием оценки экспериментальной несущей способности является или достижение предельно допустимой деформации Δ_{\max} при непрерывном нагружении (метод 1), или резкое возрастание остаточной деформации при нагружении образца ступенями с разгрузкой после каждого цикла (метод 2).

Подготовленный образец испытывают на сжатие на испытательной машине. Для ликвидации рыхлых деформаций образец предварительно загружают нагрузкой в 1 кН (100 кгс), принимаемой в дальнейшем за условный ноль. Нагружение ведут с постоянной скоростью примерно 300 Н/с (30 кгс/с). Снятие отсчетов по индикаторам производится без выдержки образца под нагрузкой. Отсчеты по индикаторам фиксируются в момент, когда нагрузка достигает соответствующей ступени либо условного ноля.

При деформации сдвига 2–3 мм индикаторы снимают и образец доводят до разрушения. Величину разрушающей нагрузки F_{\max} определяют по силоизмерителю машины, когда при непрерывном росте деформации нагрузка не возрастает, или в момент разрушения образца.

Испытание по методу 1 – достижение предельно допустимой деформации

Нагружение осуществляют непрерывно ступенями в 2–4 кН (200–400 кгс), начиная с условного нуля.

При нагрузке, равной прогнозируемой кратковременной несущей способности $R_{d,вр}$, осматривают образец на предмет его целостности и продолжают нагружать до достижения деформации сдвига соединения 2–3 мм, после чего измерительные приборы снимают и образец доводят до разрушения. Отсчеты по индикаторам записывают в журнал испытания (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Журнал испытания нагельного соединения
при непрерывном нагружении

№ этапа	Нагрузка F , кН	Индикаторы				$\Delta C_{ср} = (\Delta C_1 + \Delta C_2) / 2$	Деформация сдвига соединения Δ , мм	Примечание
		И ₁		И ₂				
		Отсчет C_1	Приращение отсчета ΔC_1	Отсчет C_2	Приращение отсчета ΔC_2			

Цена деления индикаторов $m =$ ____ мм.

Разрушающая нагрузка $F_{max} =$ ____ кН.

Характер разрушения образца – _____.

Испытание по методу 2 – определение резкого возрастания остаточной деформации

Нагружение образца осуществляют ступенями в 2–4 кН, начиная с условного нуля, с разгрузкой после каждого цикла. Нагрузка последующего цикла увеличивается на величину ступени. Нагружение

и разгрузку ведут с постоянной скоростью. При достижении деформации сдвига соединения 2–3 мм измерительные приборы снимают и доводят образец до разрушения. Отсчеты по индикаторам записывают в журнал испытания (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Журнал испытания нагельного соединения
при циклическом нагружении

№ цикла нагружения	Нагрузка F , кН	Отсчеты по индикаторам C			Средние деформации сдвига, мм			
		I_1	I_2	Среднее арифметическое C_{cp}	за цикл			Полная деформация соединения D_n
					Полная Δ_n	Остаточная Δ_o	Упругая Δ_y	
1	$F_{H1} = 1$			$C_{H,1} =$				
	$F_{B1} =$			$C_{B,1} =$				
2	$F_{H2} = 1$			$C_{H,2} =$				
	$F_{B2} =$			$C_{B,2} =$				

Цена деления индикаторов $t =$ ____ мм.

Разрушающая нагрузка $F_{max} =$ ____ кН.

Характер разрушения образца – _____ .

Обработка результатов испытания

Обработка по методу 1 – достижение предельно допустимой деформации

Для каждого нагружения вычисляют среднюю деформацию сдвига соединения по показаниям двух индикаторов (см. табл. 1.1). По найденным значениям строят график зависимости деформации сдвига соединения $\Delta_{сдв}$ (мм) от нагрузки F (кН) при непрерывном нагружении.

Из графика находят:

– экспериментальную несущую способность образца $F_{оп}$, соответствующую нагрузке, при которой достигнута предельно допустимая деформация $\Delta_{max} = 2,0$ мм;

– экспериментальную деформацию сдвига $\Delta_{оп}$, соответствующую прогнозируемой кратковременной несущей способности $R_{d.вр}$.

Обработка по методу 2 – определение резкого возрастания остаточной деформации

Для каждого цикла нагружения вычисляют средние деформации сдвига соединения по показаниям двух индикаторов: полную, упругую и пластическую, и полную деформацию образца (см. табл. 1.2).

Вычисление деформаций за i -й цикл:

– полные $\Delta_{п.i} = (c_{в.i} - c_{н.i}) m$;

– упругие $\Delta_{у.i} = (c_{в.i} - c_{н.i+1}) m$;

– остаточные $\Delta_{о.i} = (c_{н.i+1} - c_{н.i}) m$.

Полная деформация образца:

$$D_{п.i} = (c_{в.посл} - c_{н.1}) m.$$

По найденным значениям деформаций строят график зависимости упругих, остаточных и полных деформаций сдвига от нагрузки для каждого цикла (рис. 1.2).

По найденным значениям упругих и пластических деформаций за каждый цикл в табл. 1.2 строят график зависимости остаточных Δ_o (мм) и упругих Δ_y (мм) деформаций сдвига соединения при соответствующей нагрузке цикла. Каждая точка этого графика соответствует определенной нагрузке.

Из графиков на рис. 1.2 и построенного графика зависимости Δ_o от Δ_y находят:

– экспериментальную несущую способность образца $F_{оп}$, соответствующую наименьшей нагрузке, при котором резко возрастает остаточная деформация (из построенного графика);

– экспериментальную деформацию сдвига $\Delta_{оп}$, равную полной деформации образца $D_{п.i}$ при прогнозируемой кратковременной несущей способности $R_{d.вр}$ (рис. 1.2).

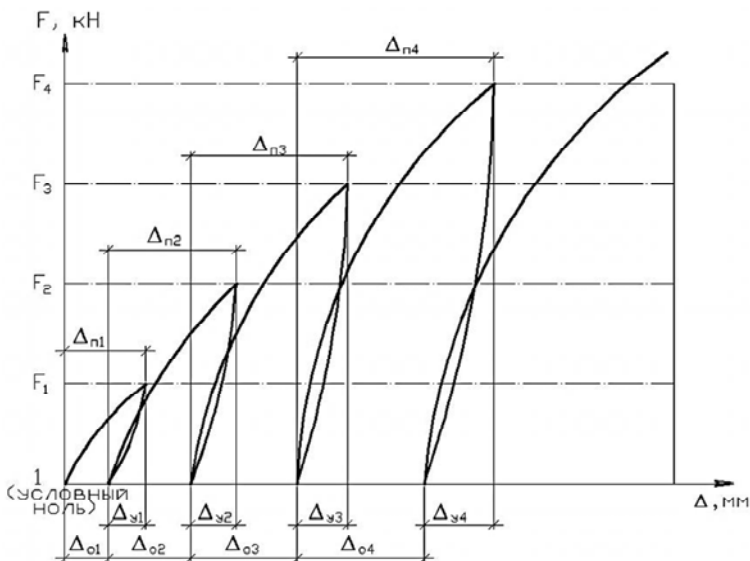


Рис. 1.2. График зависимости деформаций сдвига соединения от нагрузки при циклическом нагружении:

Δ_y – упругие деформации; Δ_o – остаточные деформации;

Δ_n – полные деформации

Сравнение теоретических и экспериментальных величин и анализ результатов испытания

На основе полученных результатов сравниваются при кратковременном нагружении:

- несущая способность соединения: экспериментальная и прогнозируемая кратковременная $F_{оп} / R_{d.вр}$;
- деформация сдвига соединения: экспериментальная и предельная допустимая $\Delta_{оп} / \Delta_{max}$;
- разрушающая нагрузка и прогнозируемая кратковременная несущая способность $F_{max} / R_{d.вр}$.

В конце работы делается заключение по несущей способности и деформации сдвига соединения, о характере разрушения и вероятных причинах расхождения опытных и прогнозируемых величин.

Напряженно-деформированное состояние соединения и нагелей представлено на рисунках приложения 1.

Также необходимо ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Что называется нагелем? Из каких материалов и какой формы могут изготавливаться цилиндрические нагели?
2. Какие существуют схемы расстановки цилиндрических нагелей?
3. Почему рекомендуется размещать цилиндрические нагели в четное количество рядов по ширине (высоте) сечения элементов?
4. Какими приборами измеряется деформация сдвига в соединении?
5. Из каких условий определяют расчетную несущую способность соединения?
6. Почему термин «срез» нагеля является условным?
7. Чем объясняется расхождение между опытными и теоретическими величинами?

1.2. Испытание соединения на гвоздях

Установление фактических размеров образца

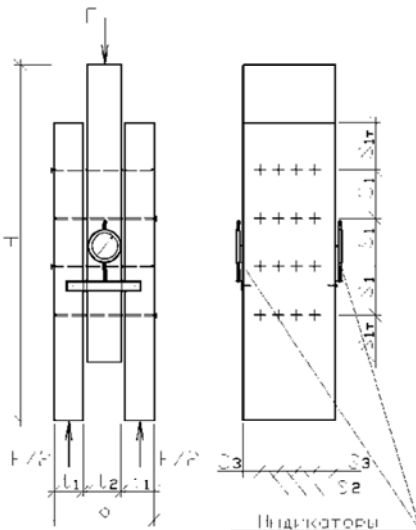


Рис. 1.3. Конструкция соединения на гвоздях и схема расстановки приборов

Образец до начала испытания обмеряют с точностью до 0,5 мм. На рис. 1.3 необходимо указать толщину среднего t_2 и крайних t_1 элементов, расстояние вдоль элементов между осями гвоздей S_1 и до торцов $S_{1,т}$, поперек элементов и до кромок S_2, S_3 . После определения диаметра и длины гвоздей проверяют правильность расположения гвоздей в соответствии с требованиями ТКП 45-5.05-146.

Устанавливаются:

- линейные размеры элементов и соединения в миллиметрах: t_1, t_2, b, H ;
- диаметр и длина гвоздей $d \times l$ в миллиметрах и их количество n_n ;

– количество швов (условных срезов) для одного гвоздя n_s в зависимости от глубины заземления цилиндрической его части $l_{\text{защ}}$ в крайнем элементе;

– расстояние между осями гвоздей $S_1, S_{1.т}, S_2, S_3$ и соблюдение условий их расстановки;

– порода, сорт и влажность древесины.

При определении расчетной длины заземления конца гвоздя заостренную часть гвоздя длиной $1,5d$ не учитывают; кроме того, из длины гвоздя вычитают по 2 мм на каждый шов между соединяемыми элементами. Если расчетная длина заземления конца гвоздя получается меньше чем $4d$, работу конца гвоздя в примыкающем шве не учитывают. При свободном выходе гвоздя из пакета расчетную толщину последнего элемента необходимо уменьшить на $1,5d$ вследствие возможного отщепления слоя доски толщиной приблизительно $1,5d$.

Схема нагружения образца и расстановки приборов

Для измерения деформаций сдвига в швах соединения на образце устанавливают два индикатора, которые закрепляют на среднем элементе таким образом, чтобы шток индикатора упирался в уголок, прикрепленный к крайним элементам (см. рис. 1.3). Рекомендуется применять индикаторы часового типа с пределом измерения 10 мм и ценой деления 0,01 мм. Приборы, применяемые при испытании, должны быть пронумерованы и протарированы.

Несущая способность образца. Предельная деформация сдвига соединения

Расчетная несущая способность соединения (в конструкциях при долговременной нагрузке) и прогнозируемая несущая способность соединения при кратковременной нагрузке в лабораторных условиях рассчитываются по формулам (1.1) и (1.2) соответственно.

Предельная деформация сдвига гвоздевого соединения в конструкциях при длительном действии нагрузки (табл. 8.1 – [1]).

$$\Delta_{\text{max}} = 2 \text{ мм.}$$

Испытание образца

Подготовленный образец испытывают на сжатие на испытательной машине. Для ликвидации рыхлых деформаций образец предварительно загружают нагрузкой в 1 кН (100 кгс), принимаемой в дальнейшем за условный ноль. Последующее нагружение осуществляют ступенями в 2–4 кН (200–400 кгс) с постоянной скоростью, равной примерно 300 Н/с (30 кгс/с).

Для гвоздевых соединений, как и для соединений на стальных нагелях, критерием оценки экспериментальной несущей способности является или достижение предельно допустимой деформации Δ_{\max} при непрерывном нагружении (метод 1), или резкое возрастание остаточной деформации при нагружении образца ступенями с разгрузкой после каждого цикла (метод 2).

Методика определения экспериментальной несущей способности при циклическом нагружении при резком возрастании остаточной деформации приведена в лабораторной работе по испытанию соединения на стальных нагелях (п. 1.1). В данной работе экспериментальная несущая способность соединения определяется достижением предельно допустимой деформации Δ_{\max} при непрерывном нагружении.

Снятие отсчетов по индикаторам производится без выдержки образца под нагрузкой, принятой за условный ноль, и при последующих ступенях нагружения. Отсчеты по индикаторам записывают в журнал испытания (табл. 1.3).

Таблица 1.3

Журнал испытания гвоздевого соединения

№ этапа	Нагрузка F , кН	Индикаторы				$\Delta C_{cp} =$ $=(\Delta C_1 + \Delta C_2) / 2$	Деформация сдвига соединения Δ , мм	Примечание
		I_1		I_2				
		Отсчет C_1	Приращение отсчета ΔC_1	Отсчет C_2	Приращение отсчета ΔC_2			

Цена деления индикаторов $m =$ _____ мм.

Разрушающая нагрузка $F_{\max} =$ _____ кН.

Характер разрушения образца – _____ .

При деформации сдвига 2–4 мм индикаторы снимают и образец доводят до разрушения. Величину разрушающей нагрузки F_{\max} определяют по силоизмерителю машины, когда при непрерывном росте деформации нагрузка не возрастает, или в момент разрушения образца.

Обработка результатов испытания

При обработке результатов испытания вычисляют среднюю деформацию сдвига соединения по показаниям двух индикаторов (см. табл. 1.3). По найденным значениям строят график зависимости деформации соединения $\Delta_{\text{сдв}}$ (мм) от нагрузки F (кН). Соединения на гвоздях относятся к группе соединений с нелинейной зависимостью деформаций от усилия. Для таких соединений критерием оценки экспериментальной несущей способности является или резкое возрастание остаточной деформации (определяется при нагружении образца ступенями с разгрузкой после каждого цикла), или достижение предельно допустимой деформации Δ_{\max} .

Из графика находят:

– экспериментальную несущую способность образца $F_{\text{оп}}$, соответствующую наименьшей нагрузке, при которой или резко возрастает остаточная деформация, или достигнута предельно допустимая деформация $\Delta_{\max} = 2,0$ мм;

– экспериментальную деформацию сдвига $\Delta_{\text{оп}}$, соответствующую прогнозируемой кратковременной несущей способности $R_{d.\text{вр}}$.

Сравнение теоретических и экспериментальных величин и анализ результатов испытания

На основе полученных результатов сравниваются при кратковременном нагружении:

– несущая способность соединения: экспериментальная и прогнозируемая кратковременная $F_{\text{оп}} / R_{d.\text{вр}}$;

– деформация сдвига соединения: экспериментальная и предельно допустимая $\Delta_{\text{оп}} / \Delta_{\max.\text{вр}}$;

– разрушающая нагрузка и прогнозируемая кратковременная несущая способность $F_{\max} / R_{d.\text{вр}}$.

В конце работы делается заключение по несущей способности и деформации сдвига соединения, о характере разрушения и вероятных причинах расхождения опытных и прогнозируемых величин.

Также необходимо ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Какие существуют схемы расстановки гвоздей?
2. Как определяется минимальное расстояние между гвоздями вдоль и поперек элементов?
3. Как определить минимальную длину гвоздя в двухсрезном соединении при толщине крайних элементов t_1 , среднего – t_2 ?
4. Из каких условий определяют расчетную несущую способность соединения на гвоздях?
5. Как назначается величина ступени нагружения при испытании образца?
6. Чем обусловлено предельное состояние гвоздевых соединений?
7. Чем можно объяснить расхождение между опытными и теоретическими величинами?

Лабораторная работа № 2

ИСПЫТАНИЕ ТРЕУГОЛЬНОЙ БРУСЧАТОЙ ФЕРМЫ НА ЛОБОВЫХ ВРУБКАХ

Цель работы: изучить работу опорного узла фермы на лобовой врубке с одним зубом.

Задачи: определить прогнозируемую нагрузку на ферму и предельную деформацию смятия соединения на врубке; определить опытную нагрузку на ферму и деформацию смятия соединения на врубке, нормальные напряжения в нижнем поясе; сравнить экспериментальные и теоретические величины и проанализировать результаты испытаний.

Установление фактических размеров образца

Конструкция образца фермы на лобовых врубках с одним зубом представлена на рис. 2.1. Перед началом испытания производится освидетельствование опытного образца. Замеряются размеры поперечных сечений элементов. На стержни нижнего и верхнего поясов наносятся геометрические оси. В образце из брусков центрирование опорных узлов производится с учетом ослабления нижнего пояса врубками. Определяются высота образца, расчетный пролет, глубина врубки и длина площадки скалывания. Замеряется угол наклона верхнего пояса. Выявляются пороки древесины и проверяется их допустимое соответствие нормативным документам. Особое внимание следует обратить на наличие пороков древесины в зонах площадок скалывания.

Устанавливаются:

– линейные и угловые размеры элементов и образца фермы, размеры поперечного сечения элементов: l , H , L_v , L_n , $b_n \times h_n$, $b_v \times h_v$ – в миллиметрах, α – в градусах;

– глубина врубки h_1 и длина площадки скалывания l_v в миллиметрах. Глубина врубки в опорных узлах должна быть не менее 20 мм и не более $\frac{1}{3}$ высоты сечения нижнего пояса, длина площадки скалывания – не менее 1,5 высоты сечения нижнего пояса и не более $10h_1$ (во избежание скалывания нижнего пояса по площадке скалывания с выходом на верхнюю грань пояса вследствие наклона волокон);

Для измерения деформаций смятия в лобовой врубке на боковых гранях одного из узлов фермы устанавливают два индикатора часового типа, которые крепят к наклонному поясу таким образом, чтобы шток индикатора упирался в уголок, прикрепленный к нижнему поясу (см. рис. 2.1). Рекомендуется применять индикаторы часового типа с пределом измерения 10 мм и ценой деления 0,01 мм. Приборы, применяемые при испытании, должны быть пронумерованы и протарированы.

Для определения нормальных напряжений в нижнем поясе в ослабленном врубкой и неослабленном (посередине длины) сечениях у верхней и нижней кромок крепятся тензометры или наклеиваются тензорезисторы – по 2 в каждом сечении.

***Расчетная нагрузка на образец.
Предельная деформация смятия соединения.***

Расчетную долговременную нагрузку F_d на образец определяют по расчетной несущей способности элементов и соединений фермы:
а) из условия скалывания нижнего пояса врубки

$$\tau_{v.mod.d} = N_t / A_v \leq f_{v.mod.d} k_x k_{mod},$$

где $N_t = N_v$ – расчетное усилие скалывания, равное по величине усилию растяжения в нижнем поясе:

$$N_v = N_t = F_d / (2 \operatorname{tg} \alpha);$$

A_v – расчетная площадь скалывания:

$$A_v = b_H l_v;$$

k_x – переходный коэффициент, учитывающий породу древесины (табл. 6.5 – [1]);

k_{mod} – коэффициент, учитывающий условия эксплуатации и продолжительность действия нагрузок (табл. 6.3 – [1]);

$f_{v.mod.d}$ – расчетное среднее по площадке скалывания сопротивление древесины скалыванию вдоль волокон:

$$f_{v.mod.d} = f_{v.0.d} / (1 + k_{v1} (l_v / e)),$$

где $f_{v.0.d}$ – расчетное сопротивление древесины скалыванию вдоль волокон (в лобовых врубках для максимального напряжения – табл. 6.4 – [1]).

k_{v1} – коэффициент, принятый равным 0,25 (при одностороннем скалывании – п. 9.3.6 – [1]);

e – плечо сил скалывания:

$$e = 0,5h_{н.}$$

Откуда расчетная нагрузка на ферму из условия скалывания

$$F_{v.d} = f_{v.mod.d} k_x k_{mod} b_{н} l_v 2tg \alpha;$$

б) из условия смятия нижнего пояса врубки

$$\sigma_{cm.a.d} = N_c / A_{cm} \leq f_{cm.a.d} k_x k_{mod},$$

где N_c – расчетное усилие сжатия:

$$N_c = F_d / (2\sin \alpha);$$

A_{cm} – расчетная площадь смятия:

$$A_{cm} = b_{\min} h_1 / \cos \alpha;$$

$f_{cm.a.d}$ – расчетное сопротивление смятию под углом α древесины нижнего пояса:

$$f_{cm.a.d} = f_{cm.0.d} / (1 + (f_{cm.0.d} / f_{cm.90.d} - 1) \sin^3 \alpha),$$

где $f_{cm.0.d}$, $f_{cm.90.d}$ – расчетное сопротивление древесины смятию соответственно вдоль и поперек волокон (табл. 6.4 – [1]).

Откуда расчетная нагрузка на ферму из условия смятия

$$F_{cm.d} = f_{cm.a.d} k_x k_{mod} b_{\min} h_1 2tg \alpha,$$

где b_{\min} – меньшая из ширин сечения нижнего и верхнего поясов;

в) из условия разрыва нижнего пояса в ослабленном врубкой сечении (при центрировании узла по оси нетто)

$$\sigma_{t.0.d} = N_t / A_{inf} \leq f_{t.0.d} k_x k_{mod},$$

где N_t – расчетное усилие растяжения в нижнем поясе:

$$N_t = F_d / (2\text{tg}\alpha);$$

A_{inf} – площадь ослабленного врубкой сечения нижнего пояса:

$$A_{\text{inf}} = b_{\text{H}} (h_{\text{H}} - h_1);$$

$f_{t.0.d}$ – расчетное сопротивление древесины растяжению вдоль волокон нижнего пояса (табл. 6.4 – [1]).

Откуда расчетная нагрузка на ферму из условия растяжения нижнего пояса в ослабленном сечении

$$F_{t1.d} = f_{t.0.d} k_x k_{\text{mod}} b_{\text{H}} (h_{\text{H}} - h_1) 2\text{tg}\alpha;$$

г) из условия разрыва нижнего пояса в неослабленных сечениях (внецентренное растяжение)

$$\sigma_{t.0.d} = N_t / A_{\text{sup}} + M_d f_{t.0.d} / (W_{\text{sup}} f_{m.d}) \leq f_{t.0.d} k_x k_{\text{mod}},$$

где A_{sup} , W_{sup} – соответственно площадь поперечного сечения и момент сопротивления брутто нижнего пояса.

$$A_{\text{sup}} = b_{\text{H}} h_{\text{H}},$$

$$W_{\text{sup}} = b_{\text{H}} h_{\text{H}}^2 / 6;$$

M_d – изгибающий момент в нижнем поясе от внецентренного приложения продольного усилия:

$$M_d = N_t e;$$

$f_{m.d}$ – расчетное сопротивление древесины изгибу (табл. 6.4 – [1]).

Откуда расчетная нагрузка на ферму из условия растяжения нижнего пояса в неослабленных сечениях

$$F_{t2.d} = f_{t.0.d} k_x k_{\text{mod}} 2\text{tg}\alpha / (1 / (b_{\text{H}} h_{\text{H}}) + 6e' f_{t.0.d} / (b_{\text{H}} h_{\text{H}}^2 f_{m.d}));$$

д) из условия прочности на центральное сжатие верхнего пояса (при гибкости $\lambda = L_B / (0,289b_B) < 35$)

$$\sigma_{c.0.d} = N_c / A_{\text{sup}} \leq f_{c.0.d} k_x k_{\text{mod}},$$

где N_c – расчетное усилие сжатия в верхнем поясе;

A_{sup} – площадь сечения верхнего пояса;

$f_{c.0.d}$ – расчетное сопротивление древесины сжатию вдоль волокон верхнего пояса (табл. 6.4 – [1]).

Откуда расчетная нагрузка на ферму из условия сжатия верхнего пояса

$$F_{c.d} = f_{c.0.d} k_x k_{\text{mod}} b_B h_B 2 \sin \alpha.$$

Расчетная долговременная нагрузка на ферму (минимальная из условия):

$$F_d = F_{\text{min } d}.$$

Прогнозируемая кратковременная нагрузка на образец (при кратковременном нагружении в лабораторных условиях)

$$F_{d,\text{вр}} = F_d / k_{\text{дл}},$$

где $k_{\text{дл}}$ – коэффициент, учитывающий снижение прочности при длительном действии нагрузки. Принимают $k_{\text{дл}} = 0,67$ (усредненное значение).

Предельная деформация смятия лобовой врубки в конструкциях при длительном действии нагрузки

$$\Delta_{\text{max}} = 1,5 \text{ мм (табл. 8.1 – [1]).}$$

Испытание образца

Испытание образца фермы производится на балочном испытателе. При испытании измеряется деформация смятия врубки, деформация волокон древесины нижнего пояса в ослабленном и неослабленном сечениях и определяется разрушающая нагрузка. Нагружение опытного образца производится ступенями приблизительно по 20 % от величины прогнозируемой нагрузки равномерно со скоростью 5 ± 2 кН/мин.

Разрушение лобовой врубки чаще всего происходит хрупко от скалывания древесины. Разрушающая нагрузка при этом фиксируется по силоизмерителю балочного испытателя.

При испытании необходимо выполнять требования техники безопасности. Образец должен быть закреплен от возможного падения при разрушении, против торцов образца необходимо устанавливать защитные козырьки. Во избежание несчастных случаев во время испытания нельзя находиться напротив торцов образца.

Обработка результатов испытания

Определение деформаций смятия врубки

По данным отсчета индикаторов в табл. 2.1 вычисляют полные средние деформации смятия врубки. После этого строят график зависимости деформаций смятия врубки $\Delta_{см}$ (мм) от нагрузки F (кН). По графику при прогнозируемой кратковременной нагрузке на образец из условия смятия $F_{см.д.вр} = F_{см.д} / k_{дл}$ определяют величину полной деформации смятия $\Delta_{см.полн}$, в том числе величину рыхлой $\Delta_{см.рыхл}$ (если имеется) и упругой $\Delta_{см.упр}$ деформаций. Опытная деформации смятия $\Delta_{см.оп} = \Delta_{см.полн} - \Delta_{см.рыхл}$.

По величине предельно допустимой деформации смятия $\Delta_{max} = 1,5$ мм (если такая деформация достигнута) определяют экспериментальную несущую способность образца $F_{оп.см}$ из условия смятия врубки.

Определение нормальных напряжений в нижнем поясе

По данным отсчета тензорезисторов или тензометров в табл. 2.1, используя закон Гука, вычисляют нормальные напряжения в ослабленном врубкой и неослабленном сечениях нижнего пояса (рис. 2.2) при прогнозируемой кратковременной нагрузке $F_{д.вр}$

$$\sigma_{оп} = \varepsilon E_0,$$

где E_0 – модуль упругости древесины (п. 6.1.5.1 – [1]). Принять $E_0 = 8500$ МПа;

ε – относительная деформация:

$$\varepsilon = \Delta l_0 / l_0 = \Sigma \Delta c \cdot m / l_0,$$

где $\Sigma \Delta c$ – сумма приращений отсчетов;

m и l_0 – соответственно цена деления и база измерения прибора.

Относительная деформация волокон древесины может определяться измерительной многооборотной головкой ИГМ-1 с пределом измерения 1 мм, или цифровой тензометрической станцией NS32L1 и последующим вычислением напряжений с помощью компьютера.

Определяется максимальное нормальное напряжение растяжения $\sigma_{оп.макс}$ и строятся эпюры нормальных напряжений в двух сечениях нижнего пояса: опытные и теоретические (при $F_{d.вр}$).

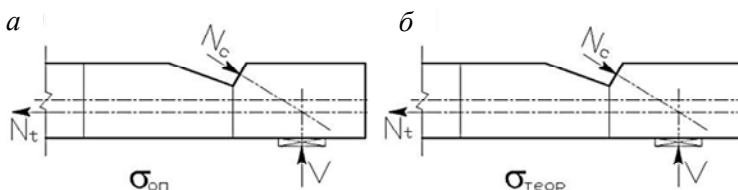


Рис. 2.2. Эпюры нормальных напряжений в ослабленном и неослабленном сечениях нижнего пояса:
a – опытные; *b* – теоретические

Величина теоретических нормальных напряжений может быть найдена как величина расчетного сопротивления растяжению, взятая пропорционально отношению прогнозируемых кратковременных нагрузок на ферму: $F_{d.вр}$ и из условия растяжения нижнего пояса соответственно в ослабленном и неослабленном сечениях

$$\sigma_{теор} = f_{i,0,d} F_{d.вр} / (F_{t,d} / k_{дл}),$$

где $F_{t,d} = F_{t1,d}$ или $F_{t2,d}$, принимаемая при определении напряжений соответственно в ослабленном сечении (усредненного у нижней кромки и у верхней грани под ослаблением) и максимального в неослабленном сечении у нижней кромки (величина напряжения у верхней кромки меньше, чем у нижней, и для построения эпюры может быть принята произвольной).

Сравнение теоретических и экспериментальных величин и анализ результатов испытания

На основе полученных результатов сравниваются при кратковременном нагружении:

- нагрузка на образец из условия смятия врубки: экспериментальная и прогнозируемая $F_{оп.см} / (F_{см.д} / k_{дл})$;
- деформация смятия врубки: экспериментальная и предельно допустимая $\Delta_{см.оп} / \Delta_{макс}$;
- разрушающая и прогнозируемая нагрузки на образец $F_{макс} / F_{д.вр}$;
- нормальные напряжения при прогнозируемой нагрузке $F_{д.вр}$ в ослабленном и неослабленном сечениях: экспериментальные и теоретические.

В конце работы делается заключение по нагрузке на образец фермы и деформации смятия врубки, по нормальным напряжениям в нижнем поясе, о характере разрушения и вероятных причинах расхождения опытных и прогнозируемых величин.

Распределение напряжений в элементах соединения представлено на рисунках приложения 2.

Также необходимо ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Как необходимо центрировать лобовые врубки с одним зубом?
2. В каких пределах должны находиться глубина врубки h_1 и длина площадки скалывания l_v ?
3. Из каких условий определяют прогнозируемую нагрузку на образец фермы на лобовых врубках?
4. Чему равна прогнозируемая предельная деформация смятия в лобовой врубке?
5. Как определить среднее скалывающее напряжение и среднее расчетное сопротивление скалыванию по длине площадки скалывания лобовой врубки?
6. Для чего нужны в опорном узле фермы аварийный болт, подферменная подкладка, опорная подушка?
7. Чем можно объяснить причины расхождения между опытными и теоретическими величинами?

Лабораторная работа № 3

ИСПЫТАНИЕ КЛЕЕНОЙ ДЕРЕВЯННОЙ БАЛКИ

Цель работы: изучить работу клеодощатой балки на поперечный изгиб.

Задачи: определить прогнозируемую несущую способность и предельный прогиб балки; определить опытную несущую способность и прогиб балки, модуль упругости клееной древесины, нормальные напряжения в зоне чистого изгиба; сравнить экспериментальные и теоретические величины и проанализировать результаты испытаний.

Установление фактических размеров образца

Образец клеодощатой балки прямоугольного сечения склеивают из слоев, получаемых фрезерованием сосновых или еловых досок с влажностью $10 \pm 2\%$, с допустимыми по нормам пороками при помощи синтетических водостойких клеев типа фенолоформальдегидных, резорциноформальдегидных или алкилрезорциновых (рис. 3.1). Стыкование слоев по длине может осуществляться посредством соединения на зубчатый шип, в этом случае в смежных слоях стыки располагают вразбежку во избежание ослабления поперечного сечения со стыками. В крайних зонах (нижней и верхней) высотой не менее 0,15 высоты поперечного сечения балки слои могут быть более высокого качества (на один сорт выше) по сравнению со слоями средней зоны.

До начала испытания производится освидетельствование опытного образца. Замеряются размеры поперечного сечения и толщина слоев с точностью до 0,5 мм, пролет балки с точностью до 1 мм. Выявляются пороки древесины и проверяется их допустимое соответствие нормативным документам. Устанавливаются:

- линейные размеры образца балки (пролет), размеры поперечного сечения и толщина слоев: $l, b \times h, \delta$ – в миллиметрах;
- положение тензорезисторов по высоте поперечного сечения y – в миллиметрах;
- порода и сорт слоев древесины.

Схема нагружения образца и расстановки приборов

Образец опирается на две шарнирные опоры, одна из которых подвижная. Испытание образца на поперечный изгиб производят на балочном испытателе двумя сосредоточенными силами $F' = F / 2$, приложенными в третях пролета. Такое приложение нагрузки позволяет получить зону «чистого» изгиба, где действуют только нормальные напряжения σ и отсутствуют касательные напряжения τ (рис. 3.1).

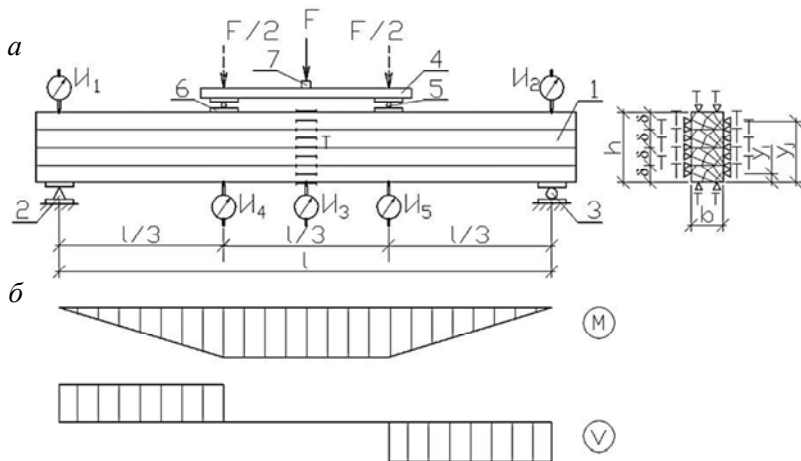


Рис. 3.1. Образец балки:

- a* – схема нагружения балки и расстановки приборов:
1 – клеодощатая балка; 2, 3 – неподвижная и подвижная опоры;
4 – распределительная траверса; 5 – стальной валик; 6 – металлическая подкладка;
7 – нагружающая траверса; Т – тензорезисторы; И – индикаторы;
б – эпюры М и V

Для измерения прогибов балки и модуля упругости клееной древесины в зоне чистого изгиба устанавливают пять индикаторов: в середине пролета, под нагрузками и на опорах. Приборы перед испытанием должны быть протарированы и пронумерованы.

В середине пролета балки наклеивают тензорезисторы для определения деформации волокон древесины: на верхней и нижней кромках и по высоте сечения.

**Расчетная нагрузка на образец.
Предельный прогиб**

Расчетную долговременную нагрузку на образец F_d определяют по расчетной несущей способности:

а) из условия прочности по нормальным напряжениям

$$\sigma_{m,d} = M_d / W_d \leq f_{m,d} k_{\text{mod}} k_{\delta},$$

где M_d – расчетный изгибающий момент:

$$M_d = F_d l / 6;$$

W_d – расчетный момент сопротивления сечения:

$$W_d = b h^2 / 6;$$

$f_{m,d}$ – расчетное сопротивление древесины изгибу (табл. 6.4 – [1]);

k_{mod} – коэффициент, учитывающий условия эксплуатации и продолжительность действия нагрузок (табл. 6.3 – [1]);

k_{δ} – коэффициент, учитывающий толщину слоев δ (табл. 6.9 – [1]).

Откуда расчетная нагрузка на балку из условия прочности по нормальным напряжениям

$$F_{\sigma,d} = f_{m,d} k_{\text{mod}} k_{\delta} b h^2 / l;$$

б) из условия прочности от действия скалывающих напряжений

$$\tau_{v,0,d} = V_d S_d / (I_d b) \leq f_{v,0,d} k_{\text{mod}} k_{\delta},$$

где V_d – расчетная поперечная сила:

$$V_d = F_d / 2;$$

S_d – расчетный статический момент половины поперечного сечения:

$$S_d = b h^2 / 8;$$

I_d – расчетный момент инерции поперечного сечения:

$$I_d = b h^3 / 12;$$

$f_{v.0.d}$ – расчетное сопротивление древесины скалыванию вдоль волокон (табл. 6.4 – [1]).

Откуда расчетная нагрузка на балку из условия прочности по скалывающим напряжениям

$$F_{\tau.d} = 4 / 3 f_{v.0.d} k_{\text{mod}} k_{\delta} b h;$$

в) из условия достижения предельного прогиба (в предположении балки как элемента покрытия от действия постоянной и временной снеговой нагрузок)

$$u = u_0 (1 + k_v (h / l)^2) \leq f_u,$$

где k_v – коэффициент, учитывающий деформации сдвига (ползучесть во времени) от поперечной силы ($\alpha = 1 / 3$. $\beta = 1$ (табл. 8.2 – [1]):

$$k_v = (45 - 24\alpha (1 - \beta) + 3\beta) / (3 - 4\alpha^2) = 15,65;$$

f_u – предельный прогиб от полной нормативной нагрузки (п. 10.6 – [2, 3]):

$$f_u = l / 150;$$

u_0 – прогиб низкой балки (при $l / h > 20$) постоянной высоты сечения без учета деформаций сдвига:

$$u_0 = 1 / 56,35 F_k l^3 / (E_0 k_{\text{mod}} I_{\text{sup}});$$

где E_0 – модуль упругости древесины вдоль волокон при расчете по предельным состояниям второй группы (п. 6.1.5.1 – [1]). Значение можно принять равным 8500 МПа;

I_{sup} – момент инерции сечения брутто: $I_{\text{sup}} = b h^3 / 12$.

F_k – нормативная нагрузка на балку:

$$F_k = F_d / \gamma_{f,\text{cp}};$$

где $\gamma_{f,\text{cp}}$ – коэффициент надежности по нагрузке, среднее значение которого можно принять равным 1,35.

Откуда расчетная нагрузка на балку из условия достижения предельного прогиба

$$F_{u,d} = 0,507E_0 k_{\text{mod}} I_{\text{sup}} / (l^2 (1 + 15,65 (h / l)^2)).$$

Расчетная долговременная нагрузка на балку (минимальная из условия)

$$F_d = F_{\text{min},d}.$$

Прогнозируемая кратковременная нагрузка на образец (при кратковременном нагружении в лабораторных условиях)

$$F_{d,\text{вр}} = F_d / k_{\text{дл}},$$

где $k_{\text{дл}}$ – коэффициент, учитывающий снижение прочности при длительном действии нагрузки. Принимают $k_{\text{дл}} = 0,67$ (усредненное значение).

Предельный прогиб балки при длительном действии нагрузки от полной нормативной нагрузки (п. 10.6 – [2, 3])

$$f_u = l / 150.$$

Испытание балки

Испытание образца балки производят на балочном испытателе. Сначала определяют модуль упругости клееной древесины в зоне чистого изгиба. Для этого балку нагружают равномерно возрастающей нагрузкой со скоростью 5 ± 2 кН/мин. При достижении нагрузки, равной $F_{\text{в}} = (0,55-0,60) F_{d,\text{вр}}$ – верхняя граница, балку плавно разгружают до нагрузки $F_{\text{н}} = (0,20-0,25) F_{d,\text{вр}}$ – нижняя граница, затем снова нагружают до нагрузки $F_{\text{в}}$ и разгружают до нагрузки $F_{\text{н}}$. При последующих четырех циклах «нагружение–разгружение» в момент достижения нагрузок $F_{\text{н}}$ и $F_{\text{в}}$ по индикаторам I_3 , I_4 и I_5 снимают отсчеты и записывают в журнал испытания (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Журнал определения модуля упругости
клееной древесины при изгибе

Циклы нагружения	Ступени нагружения, кН	Отсчеты по индикаторам С				Приращение отсчетов ΔC		Прогиб $U_{от}$, мм	Примечание
		И ₃	И ₄	И ₅	(И ₄ + И ₅) / 2	ΔC_3	$(\Delta C_4 + \Delta C_5) / 2$		
3	$F_n =$								
	$F_b =$								
4	$F_n =$								
	$F_b =$								
5	$F_n =$								
	$F_b =$								
6	$F_n =$								
	$F_b =$								
							$U_{cp} =$		

Индикаторы: цена деления – 0,01 мм.

После окончания циклических нагружений балку разгружают, после чего определяют прогиб балки и нормальные напряжения в зоне чистого изгиба.

Образец нагружают равномерно возрастающей нагрузкой ступенями, равными примерно 20 % от прогнозируемой нагрузки со скоростью 5 ± 2 кН/мин. Прогиб балки в середине пролета и вертикальные перемещения на опорах фиксируются индикаторами И₁, И₂ и И₃. Для определения нормальных напряжений по высоте сечения балки измеряют деформации волокон древесины тензорезисторами Т₁–Т₁₈. Отсчеты по приборам снимают на каждой ступени нагружения, а также при расчетной прогнозируемой нагрузке и записывают в журналы испытания (табл. 3.2, 3.3).

Таблица 3.2

Журнал определения прогиба балки

№ этапа нагружения	Нагрузка F , кН	Отсчеты по индикаторам C			Приращение отсчетов ΔC		Прогиб $U_{\text{оп}}$, мм	Примечание
		I_1	I_2	I_3	$\Delta C_{\text{ср}} = (\Delta C_1 + \Delta C_2) / 2$	ΔC_3		
					/ / / /	/ / / /		

Индикаторы: цена деления – 0,01 мм.

Таблица 3.3

Журнал определения нормальных напряжений в поперечном сечении балки

Показатели		Тензорезисторы*								
		$\frac{T_1}{T_{10}}$	$\frac{T_2}{T_{11}}$	$\frac{T_3}{T_{12}}$	$\frac{T_4}{T_{13}}$	$\frac{T_5}{T_{14}}$	$\frac{T_6}{T_{15}}$	$\frac{T_7}{T_{16}}$	$\frac{T_8}{T_{17}}$	$\frac{T_9}{T_{18}}$
Отсчеты при:	$F = 0$									
	$F_{d, \text{вр}} =$									
	$F = 0$									
Разность отсчетов										
Напряжение σ , МПа										

* При измерении деформаций цифровой тензометрической станцией NS32L1 и последующим вычислением напряжений с помощью компьютера сразу будут получены значения нормальных напряжений.

Тензорезисторы: база – 50 мм, $R = 400$ Ом.

Обработка результатов испытания

Определение модуля упругости клееной древесины в зоне чистого изгиба

По данным отсчета индикаторов в табл. 3.1 вычисляют экспериментальный прогиб балки и определяют усредненный модуль упругости клееной древесины в зоне чистого изгиба с округлением до 100 МПа по формуле

$$E_{\text{оп}} = 1 / 36 F_{\text{ц}} l^3 / (b h^3 u_{\text{оп}}),$$

где $F_{\text{ц}}$ – нагрузка цикла, равная разности верхнего и нижнего пределов нагружения:

$$F_{\text{ц}} = F_{\text{в}} - F_{\text{н}};$$

$u_{\text{оп}}$ – среднеарифметический прогиб зоны чистого изгиба балки, равный разности прогибов при верхнем и нижнем пределах нагружений

$$u_{\text{оп}} = u_3 - (u_4 + u_5) / 2.$$

Для справки: модуль упругости при изгибе чистой без пороков древесины малых стандартных образцов влажностью 12 % составляет (по данным БГТУ): сосны – 12 200 МПа, ели – 9 600 МПа (табл. 41 – [8]).

Определение прогиба балки

По данным отсчета индикаторов в табл. 3.2 определяют экспериментальный прогиб балки и строят график зависимости прогибов u (мм) от нагрузки F (кН). Прогиб для этапа нагружения вычисляют из выражения

$$u_{\text{оп}} = (\Delta C_3 + |\Delta C_{\text{сп}}|) m,$$

где m – цена деления индикатора.

Теоретический (прогнозируемый при кратковременном нагружении без учета ползучести древесины) прогиб вычисляют по формуле

$$u_{\text{теор}} = 1 / 56,35 F l^3 / (E_0 / k_{\text{дл}} I_{\text{sup}}).$$

Для построения теоретического графика прогиб определяют в двух точках: при $F = 0$ и при $F = F_{d.вр}$.

*Определение нормальных напряжений
в зоне чистого изгиба*

По данным отсчета тензорезисторов в табл. 3.3, используя закон Гука, вычисляют нормальные напряжения в сечениях балки при прогнозируемой кратковременной нагрузке $F_{d.вр}$

$$\sigma_{оп} = \varepsilon E_{оп},$$

где ε – относительная деформация:

$$\varepsilon = \Delta l_0 / l_0 = \Sigma \Delta C \cdot m / l_0;$$

$\Sigma \Delta C$ – сумма приращений отсчетов;

m и l_0 – соответственно цена деления и база измерения прибора;

$E_{оп}$ – модуль упругости древесины в зоне чистого изгиба, определенный экспериментальным путем.

Относительная деформация волокон древесины может определяться измерительной многооборотной головкой ИГМ-1 с пределом измерения 1 мм, или цифровой тензометрической станцией NS32L1 и последующим вычислением напряжений с помощью компьютера.

Строят эпюры нормальных напряжений по высоте сечения балки: опытные и теоретические при $F_{d.вр}$ (рис. 3.2).

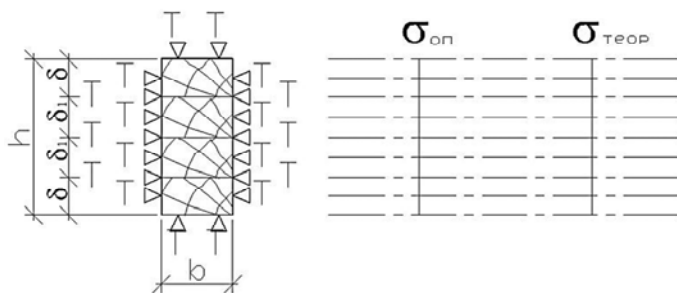


Рис. 3.2. Экспериментальная и теоретическая эпюры напряжений σ по высоте сечения балки

Величина теоретических нормальных напряжений (максимальных по нижней и верхней кромкам) может быть найдена как величина расчетного сопротивления изгибу, взятая пропорционально отношению прогнозируемых кратковременных нагрузок на балку: $F_{d,вр}$ и из условия прочности по нормальным напряжениям

$$\sigma_{теор} = f_{m,d} F_{d,вр} / (F_{\sigma,d} / k_{дл}),$$

где $F_{\sigma,d} / k_{дл}$ – прогнозируемая нагрузка на балку из условия прочности по нормальным напряжениям.

Сравнение теоретических и экспериментальных величин и анализ результатов испытаний

На основе полученных результатов сравниваются при кратковременном нагружении:

- прогиб балки: экспериментальный и теоретический $u_{оп} / u_{теор}$;
- максимальные нормальные напряжения по верхней и нижней кромкам $\sigma_{оп} / \sigma_{теор}$: экспериментальные и теоретические.

В клееных конструкциях их качество определяет в большей мере качество склеивания, поэтому при их изготовлении постоянно контролируется качество клеевых швов (стыков слоев по длине, послойных швов по пластям).

В конце работы делается заключение по прогибам балки, по нормальным напряжениям по высоте сечения и о вероятных причинах расхождения опытных и прогнозируемых величин.

Распределение напряжений и деформированное состояние балки представлены на рисунках приложения 3.

Также необходимо ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Какие требования предъявляют к древесине и клеям при склеивании?
2. Какой метод принят в СНГ для расчета деревянных конструкций, его сущность?
3. Как определяется модуль упругости клееной древесины при изгибе?

4. Как определяются экспериментальные нормальные напряжения в балке при изгибе?

5. Какие формы разрушения могут быть в клеенощатых балках?

6. Чем можно объяснить расхождение между экспериментальными и теоретическими величинами?

Лабораторная работа № 4

ИСПЫТАНИЕ МЕТАЛЛОДЕРЕВЯННОЙ ФЕРМЫ

Цель работы: изучить работу металлодеревянной фермы.

Задачи: определить прогнозируемую нагрузку на ферму, расчетные усилия в наиболее нагруженных элементах, теоретический прогиб фермы; определить опытные прогиб фермы и продольные усилия в наиболее нагруженных деревянных элементах фермы; сравнить экспериментальные и теоретические величины и проанализировать результаты испытаний.

Установление фактических размеров образца

Для испытаний принят образец металлодеревянной трапециевидной фермы, конструкция которой показана на рис. 4.1. Верхний пояс и элементы решетки изготовлены из брусков, нижний пояс – из парных стальных уголков. Бруски верхнего пояса в узлах 2, 4 и 6 сопрягаются через стальные вкладыши с эксцентриситетом, позволяющим прикладывать внеузловую нагрузку.

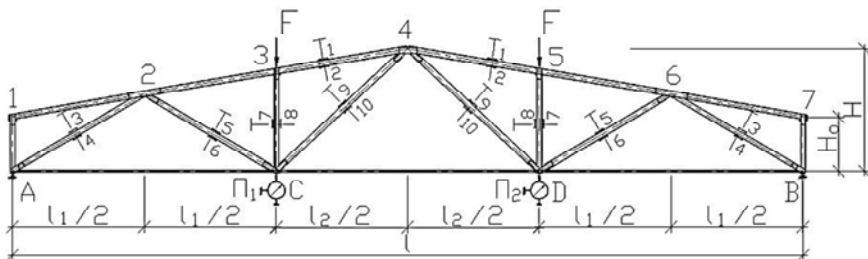


Рис. 4.1. Конструкция, схема нагружения фермы и расстановки приборов:
Т – тензорезисторы; П – прогибомеры

Перед началом испытания производится освидетельствование опытного образца. Замеряются размеры поперечных сечений и длины всех элементов. Выявляются пороки древесины и проверяется их допустимое соответствие нормативным документам. Устанавливаются:

- линейные размеры образца фермы с точностью до 1 мм: $l, l_1, l_2, H_0, H, b_b \times h_b$ – в миллиметрах;
- размеры поперечного сечения $b \times h$ с точностью до 0,5 мм, длины L с точностью до 1 мм и материал элементов фермы и заносятся в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Размеры и материал элементов фермы

Параметр	Верхний пояс			Нижний пояс		Раскосы			Стойки	
	1-2 6-7	2-3 5-6	3-4 4-5	A-C B-D	C-D	A-2 B-6	C-2 D-6	C-4 D-4	A-1 B-7	C-3 D-5
Поперечное сечение, мм										
Длина, мм										
Материал										

Модуль упругости: – древесины $E_0 = 0,85 \cdot 10^4$ МПа;
 – стали $E_{ст} = 2,06 \cdot 10^5$ МПа.

Схема нагружения образца и расстановка приборов

Образец фермы устанавливается на две шарнирные опоры, одна из которых подвижная. Образец в узлах 3 и 5 с помощью гидравлического домкрата нагружается симметрично двумя сосредоточенными силами F . Для измерения прогиба фермы в узлах C и D устанавливают прогибомеры ценой деления 0,01 мм. Приборы, применяемые при испытании, должны быть пронумерованы и протарированы.

Для определения нормальных напряжений в сечениях деревянных элементов фермы по кромкам наклеиваются тензорезисторы – по два в каждом сечении (см. рис. 4.1).

Расчетная нагрузка на образец и продольные усилия в элементах фермы. Теоретический прогиб

Расчетную долговременную нагрузку на образец F_d определяют по расчетной несущей способности наиболее нагруженных деревянных элементов фермы:

а) из условия прочности панелей верхнего пояса (см. рис. 4.1) 2–3–4 (4–5–6) при внецентренном сжатии

$$\sigma_{c.0.d} = N_{c.d} / A_{\text{inf}} + M_d / (k_{m.c} W_{\text{inf}}) \leq f_{c.0.d} k_{\text{mod}},$$

где $N_{c.d}$, M_d – соответственно расчетные усилия сжатия (табл. 4.2) и изгибающий момент от внецентренного приложения продольного усилия с эксцентриситетом e :

$$M_d = e N_{c.d};$$

A_{inf} , W_{inf} – соответственно площадь и момент сопротивления поперечного сечения нетто с учетом ослабления отверстиями диаметром d_0 под болты:

$$A_{\text{inf}} = b (h - 2d_0);$$

$$W_{\text{inf}} = b (h - 2d_0)^2 / 6;$$

$f_{c.0.d}$ – расчетное сопротивление древесины сжатию (табл. 6.4 – [1]);

k_{mod} – коэффициент, учитывающий условия эксплуатации и продолжительность действия нагрузок (табл. 6.3 – [1]);

$k_{m.c}$ – коэффициент, учитывающий увеличение напряжений при изгибе от действия продольной силы:

$$k_{m.c} = 1 - / (k_c A_{\text{sup}} f_{c.0.d} k_{\text{mod}}),$$

$$k_c = C / \lambda^2,$$

$$\lambda = L_{2-3} / (0,289h).$$

$k_{m.c}$ вычисляют последовательным приближением при подстановке $N_{c.d} \approx N_{d1}$. Приближенно можно принять $k_{m.c} \approx 0,8$.

Тогда несущая способность внецентренно-сжатых панелей верхнего пояса

$$N_{d1} = f_{c.0.d} k_{\text{mod}} / (1 / A_{\text{inf}} + e / (k_{m.c} W_{\text{inf}})).$$

Откуда расчетная нагрузка на ферму по несущей способности панелей верхнего пояса

$$F_{d1} = N_{d1} / |N_{F=1}|;$$

б) из условия устойчивости опорного раскоса А–2 (В–6) при осевом сжатии (при $\lambda \geq 35$)

$$\sigma_{c.0.d} = N_{c.d} / (k_c A_{\text{sup}}) \leq f_{c.0.d} k_{\text{mod}},$$

где k_c – коэффициент продольного изгиба:

$$k_c = 1 - 0,8 (\lambda / 100)^2 \quad \text{при} \quad \lambda = L_{A-2} / (0,289 b) \leq \lambda_{\text{rel}} = 70.$$

Тогда несущая способность опорного сжатого раскоса

$$N_{d2} = f_{c.0.d} k_{\text{mod}} k_c A_{\text{sup}}.$$

Откуда расчетная нагрузка на ферму из условия несущей способности опорного раскоса

$$F_{d2} = N_{d2} / |N_{F=1}|.$$

в) из условия прочности раскоса С–2 (D–6) при осевом растяжении

$$\sigma_{t.0.d} = N_{t.d} / A_{\text{inf}} \leq f_{t.0.d} k_{\text{mod}} k_o,$$

где A_{inf} – площадь поперечного сечения нетто с учетом ослабления отверстиями диаметром d_o под болты: $A_{\text{inf}} = b (h - 2d_o)$;

$f_{t.0.d}$ – расчетное сопротивление древесины растяжению (табл. 6.4 [1]);

k_o – коэффициент условий работы для растянутых элементов с ослаблением в расчетном сечении (п. 6.1.4.7 [1]). Принять $k_o = 0,8$.

Тогда несущая способность растянутого раскоса С–2 (D–6)

$$N_{d3} = f_{t.0.d} k_{\text{mod}} k_o A_{\text{inf}}.$$

Откуда расчетная нагрузка на ферму из условия несущей способности раскоса С–2 (D–6)

$$F_{d3} = N_{d3} / N_{F=1}.$$

Расчетная долговременная нагрузка на ферму (минимальная из условия)

$$F_d = F_{\min.d.}$$

Прогнозируемая кратковременная нагрузка на образец (при кратковременном нагружении в лабораторных условиях)

$$F_{d.вр} = F_d / k_{дл},$$

где $k_{дл}$ – коэффициент, учитывающий снижение прочности при длительном действии нагрузки. Принимают $k_{дл} = 0,67$ (усредненное значение).

Усилия в элементах фермы $N_{F=1}$ от сосредоточенных нагрузок $F = 1$ кН, приложенной в узлах 3 и 5, определяют одним из методов строительной механики и приводят в табл. 4.2. Расчетные усилия в элементах фермы N_d от прогнозируемой нагрузки $F_{d.вр}$ вычисляют умножением усилия $N_{F=1}$ от единичной нагрузки на величину прогнозируемой нагрузки $F_{d.вр}$.

Таблица 4.2

Расчетные усилия в элементах фермы
и теоретический прогиб в узлах C и D

№ элемента	Усилие $N_{F=1}$ от нагрузки $F = 1$, кН	Расчетное усилие N_d от $F_{d.вр}$, кН	Усилие N_1 от $G = 1$ (в узлах C и D)	Количество элементов n , шт.	Прогиб $u_{теор}$, мм
1–2, 6–7					
2–3, 5–6					
3–4, 4–5					
A–C, D–B					
C–D					
A–2, B–6					
C–2, D–6					
C–4, D–4					
A–1, B–7					
C–3, D–5					
$\Sigma u =$					

Для нахождения вертикальных перемещений в узлах фермы C и D рассматриваются два состояния: первое – при действительном нагружении фермы прогнозируемой нагрузкой $F_{d.вр}$ в узлах 3 и 5 и вто-

рое – при нагружении нагрузками $G = 1$ в узлах C и D . Теоретический прогиб определяют по формуле Мора:

– для деревянных элементов

$$u_{\text{теор}} = n N_1 N_d L / (E_0 A_{\text{sup}});$$

– для стальных элементов

$$u_{\text{теор}} = n N_1 N_d L / (E_{\text{ст}} A_{\text{sup}}),$$

где N_1 – безразмерные величины;

L – длина элемента.

Величины прогибов заносят в табл. 4.2.

Испытание фермы

Испытание образца фермы производится на балочном испытателе. При испытании измеряется прогиб фермы в узлах C и D с помощью прогибомеров Π_1 и Π_2 и деформация волокон древесины элементов фермы с помощью тензорезисторов. Нагружение опытного образца производится ступенями по 20 % от величины прогнозируемой нагрузки равномерно со скоростью 5 ± 2 кН/мин.

Отсчеты по прогибомерам и тензорезисторам записывают в журналы испытания (табл. 4.3, 4.4).

Таблица 4.3

Журнал определения прогиба фермы

№ этапа нагружения	Нагрузка F , кН	Прогибомеры				$\Delta C_{\text{ср}} = (\Delta C_1 + \Delta C_2) / 2$	Прогиб $U_{\text{оп}}$, мм	Примечание
		Π_1		Π_2				
		отсчет C_1	приращение отсчета ΔC_1	отсчет C_2	приращение отсчета ΔC_2			

Прогибомеры: цена деления – 0,01 мм.

Таблица 4.4

**Журнал определения нормальных напряжений
в поперечном сечении элементов**

Показатели		Тензорезисторы*									
		T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀
Отсчеты при:	$F = 0$										
	$F_{d.вр} =$										
	$F=0$										
Разность отсчетов											
Напряжение σ , МПа											

* При измерении деформаций цифровой тензометрической станцией NS32L1 и последующим вычислением напряжений с помощью компьютера сразу будут получены значения нормальных напряжений.

Тензорезисторы: база – 50 мм, $R = 400$ Ом.

Обработка результатов испытания

Определение прогиба фермы

По данным отсчета прогибомеров в табл. 4.3 определяют экспериментальный прогиб фермы и строят график зависимости прогибов u (мм) от нагрузки F (кН).

Теоретический прогиб вычислен в табл. 4.2. Для построения теоретического графика прогиб берут в двух точках: при $F = 0$ и при $F = F_{d.вр}$.

*Определение нормальных напряжений
и продольных усилий в элементах фермы*

По данным отсчета тензорезисторов в табл. 4.4, используя закон Гука, вычисляют нормальные напряжения в сечениях элементов фермы при прогнозируемой кратковременной нагрузке $F_{d.вр}$

$$\sigma_{\text{оп}} = \varepsilon E_0,$$

где E_0 – модуль упругости древесины (п. 6.1.5.1 – [1]). Принять $E_0 = 8500$ МПа;

ε – относительная деформация:

$$\varepsilon = \Delta l_0 / l_0 = \Sigma \Delta c \text{ м} / l_0,$$

где $\Sigma \Delta c$ – сумма приращений отсчетов;

m и l_0 – соответственно цена деления и база измерения прибора.

Относительная деформация волокон древесины может определяться измерительной многооборотной головкой ИГМ-1 с пределом измерения 1 мм, или цифровой тензометрической станцией NS32L1 и последующим вычислением напряжений с помощью компьютера.

Строят эпюры экспериментальных нормальных напряжений по высоте сечения наиболее нагруженных элементов фермы (рис. 4.2).

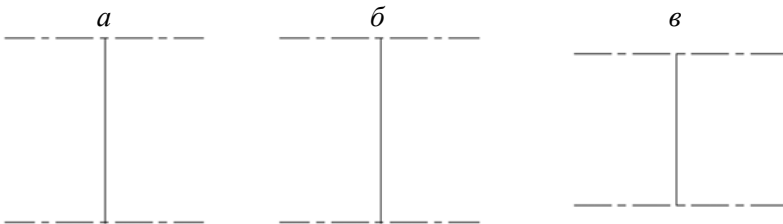


Рис. 4.2. Экспериментальные эпюры напряжений σ по высоте сечения наиболее нагруженных элементов фермы при $F_{d, \text{вр}}$, кН:

a – панели верхнего пояса 2–3–4 (4–5–6);

$б$ – опорного раскоса А–2 (В–6); $в$ – раскоса С–2 (D–6)

Продольные экспериментальные усилия в элементах фермы вычисляются по формуле

$$N_{\text{оп}} = \sigma_{\text{ср}} A_{\text{суп}},$$

где $\sigma_{\text{ср}}$ – среднеарифметическое значение напряжения (одного знака) по показаниям двух тензорезисторов, установленных в поперечном сечении одного элемента.

Сравнение теоретических и экспериментальных величин и анализ результатов испытания

На основе полученных результатов сравниваются при кратковременном нагружении:

- прогиб фермы: экспериментальный и теоретический $u_{\text{оп}} / u_{\text{теор}}$;
- продольные усилия в наиболее нагруженных элементах фермы при $F_{d,\text{вр}}$: экспериментальные и расчетные.

В конце работы делается заключение по прогибам фермы, по продольным усилиям в наиболее нагруженных элементах фермы и о вероятных причинах расхождения опытных и прогнозируемых величин.

Также необходимо ответить на контрольные вопросы.

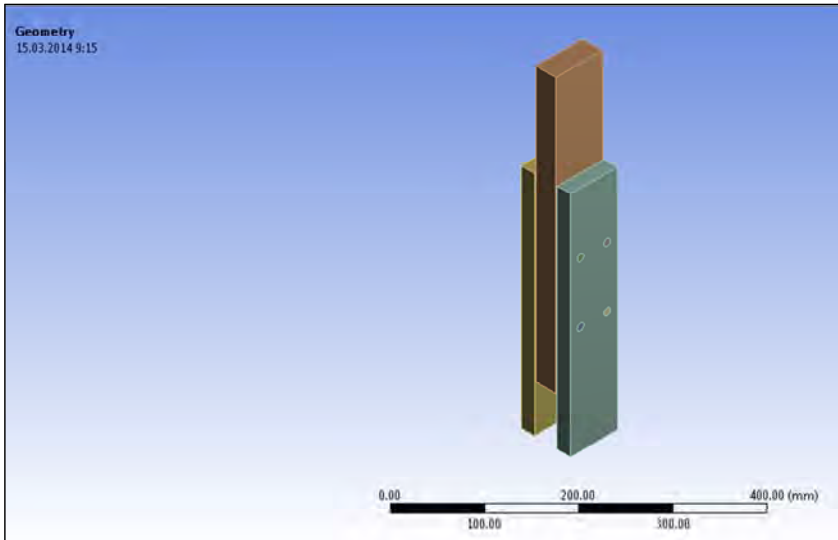
Контрольные вопросы

1. Какие элементы металлодеревянной фермы изготавливают из стали?
2. Как определяется теоретический прогиб фермы?
3. Как определяются экспериментальные продольные усилия в элементах фермы?
4. Чем можно объяснить расхождение между опытными и теоретическими величинами?

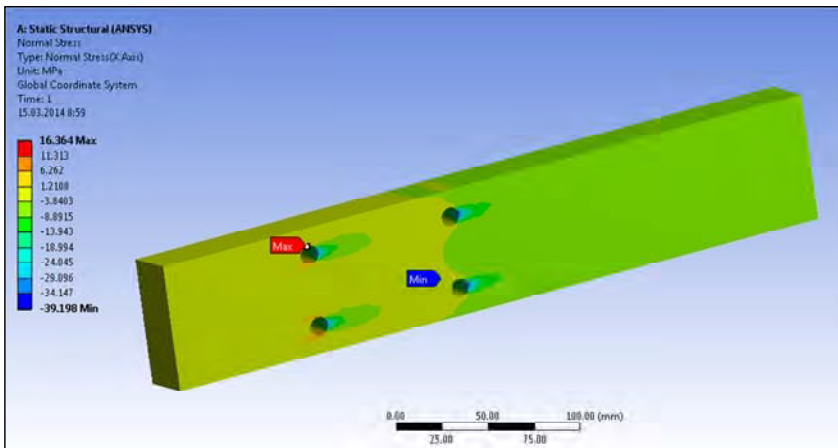
ЛИТЕРАТУРА

1. Деревянные конструкции. Строительные нормы проектирования : ТКП 45-5.05-146-2009 / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск : РУП «Минсктипроект», 2009. – 63 с.
2. Нагрузки и воздействия : СНиП 2.01.07-85 / Госстрой СССР. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 36 с.
3. Нагрузки и воздействия. Дополнения. Разд. 10. Прогибы и перемещения : СНиП 2.01.07-85. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 11 с.
4. Конструкции из дерева и пластмасс : учеб. / Э. В. Филимонов [и др.]. – М. : Издательство АСВ, 2010. – 440 с.
5. Фомичев, В. Ф. Конструкции из дерева и пластмасс : лабораторный практикум для студентов специальности 1202 «Промышленное и гражданское строительство» / В. Ф. Фомичев, В. Н. Головач. – Минск : БПИ, 1981. – 48 с.
6. Березовский, Л. Ф. Конструкции из дерева и синтетических материалов : лабораторный практикум для студентов специальности 1219 «Строительство» / Л. Ф. Березовский. – Минск : БПИ, 1981. – 44 с.
7. Конструкции из дерева и пластмасс : лабораторные работы / М. Е. Каган и [др.]. – М. : Высшая школа, 1969. – 80 с.
8. Федоров, Н. И. Древесиноведение и лесоматериалы. Практикум : учебное пособие / Н. И. Федоров, Э. Э. Пауль. – Минск : БГТУ, 2006. – 292 с.

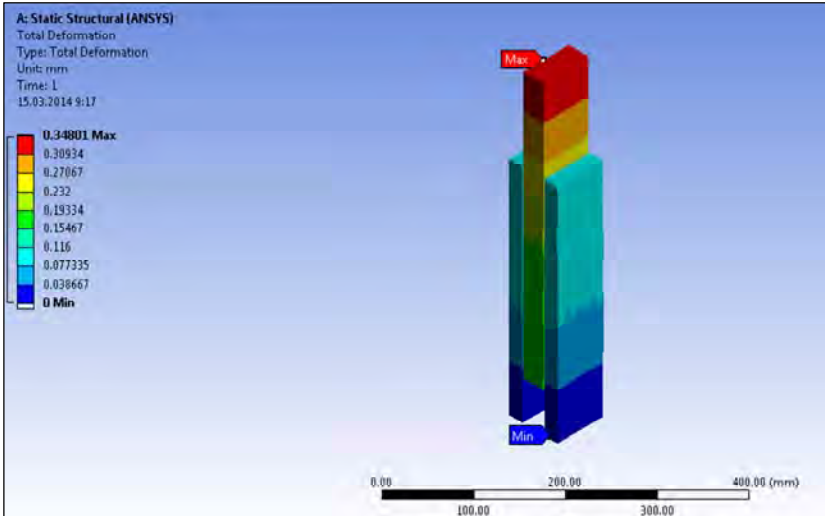
ПРИЛОЖЕНИЕ 1



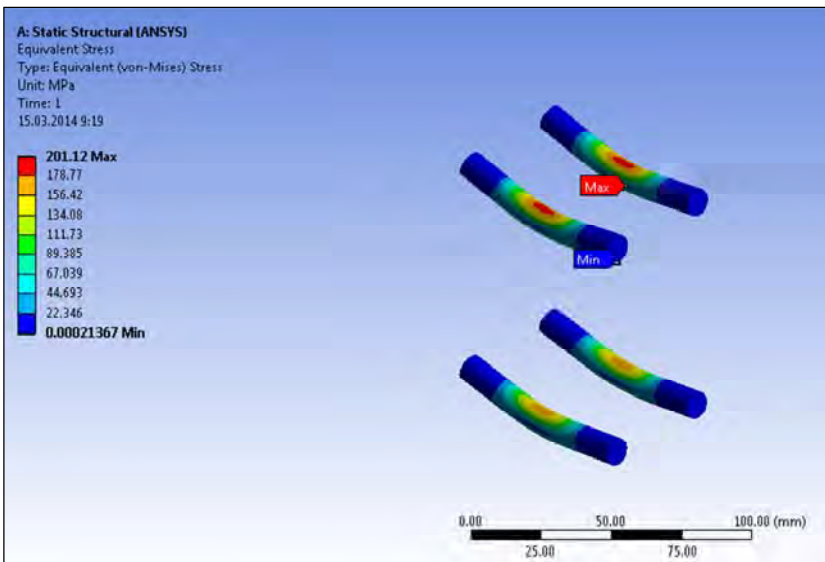
Общий вид модели



Распределение нормальных напряжений
в среднем элементе нагельного соединения

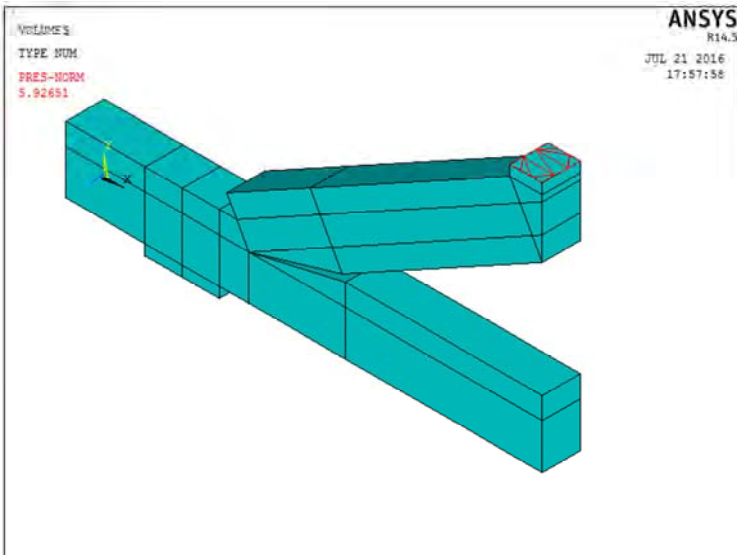


Деформированное состояние нагельного соединения, увеличенное в 70 раз

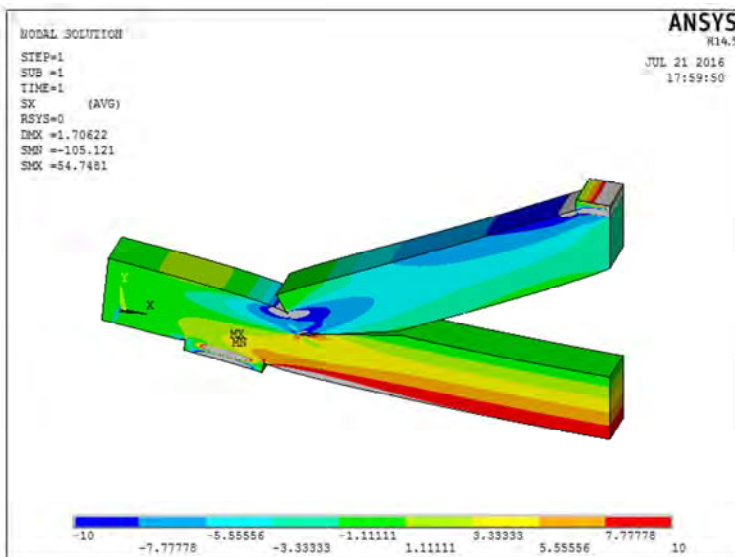


Деформированное состояние нагелей с распределением эквивалентных напряжений, увеличенное в 70 раз

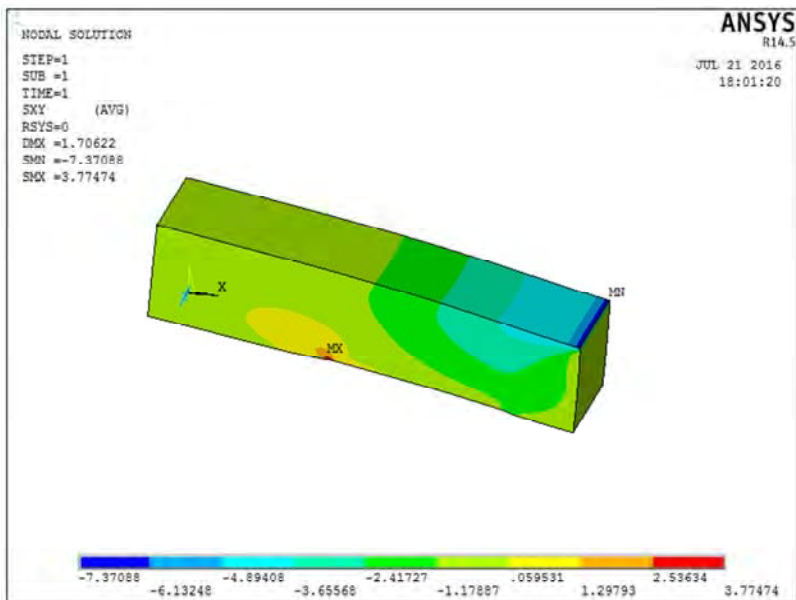
ПРИЛОЖЕНИЕ 2



Общий вид конечно-элементной модели



Теоретическое распределение нормальных напряжений



Теоретическое распределение касательных напряжений по площадке скальвания

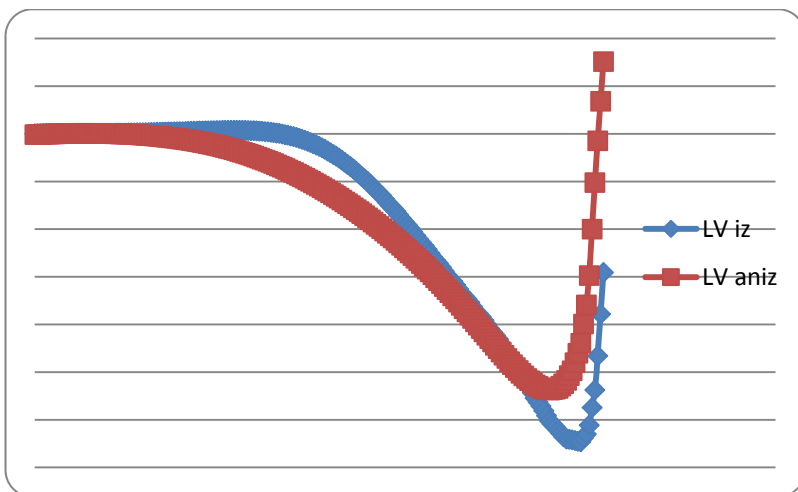
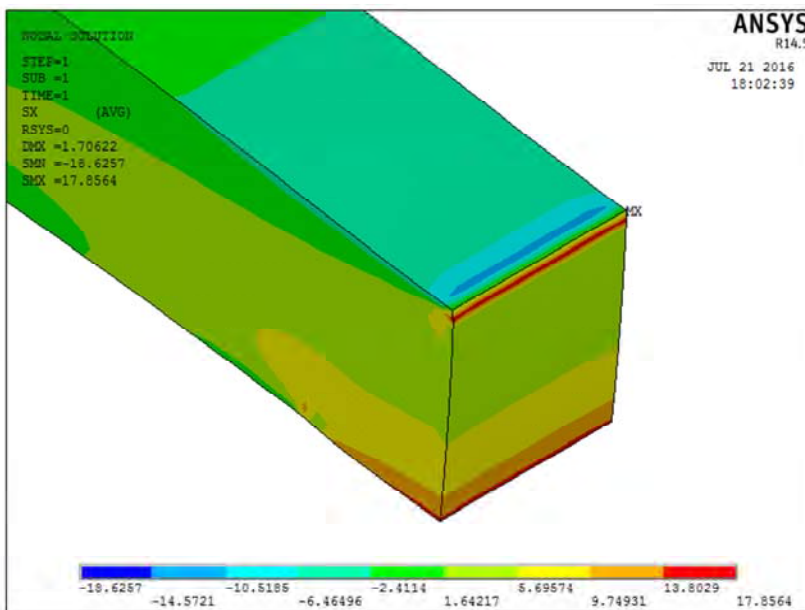


График распределения касательных напряжений по площадке скальвания для изотропного и анизотропного материала



Распределение нормальных напряжений в ослабленном сечении

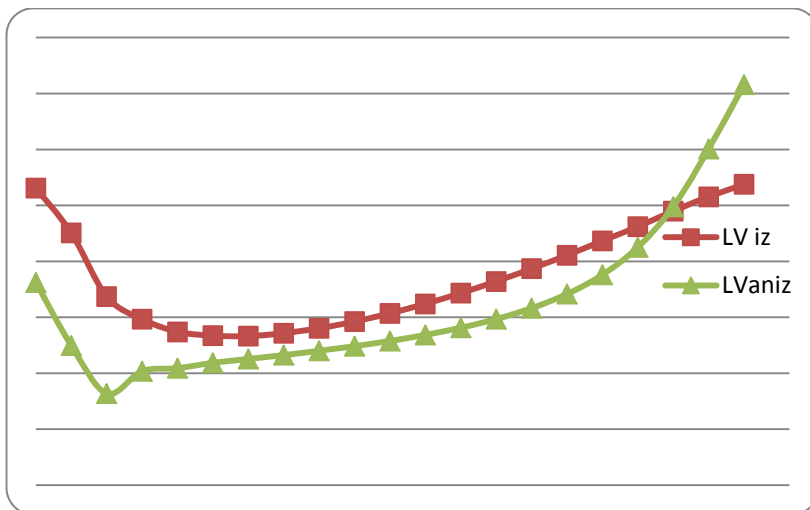
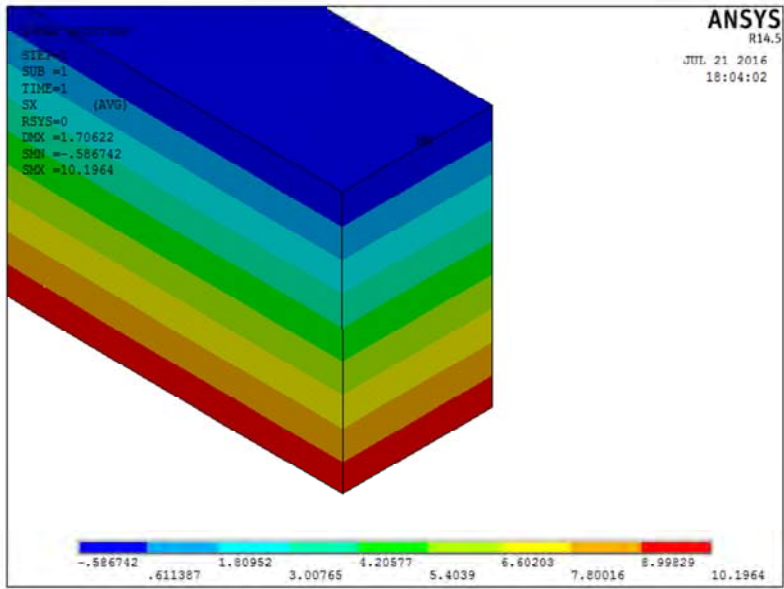


График распределения нормальных напряжений в ослабленном сечении для изотропного и анизотропного материала



Распределение нормальных напряжений в неослабленном сечении для изотропного и анизотропного материала

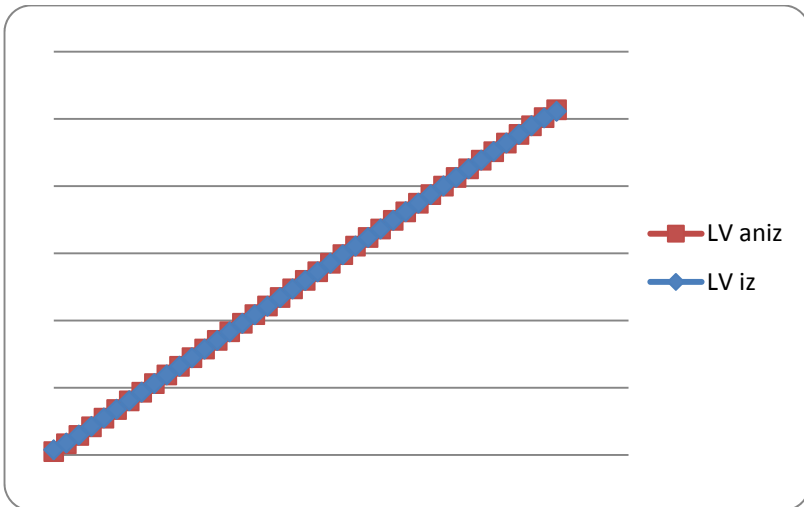
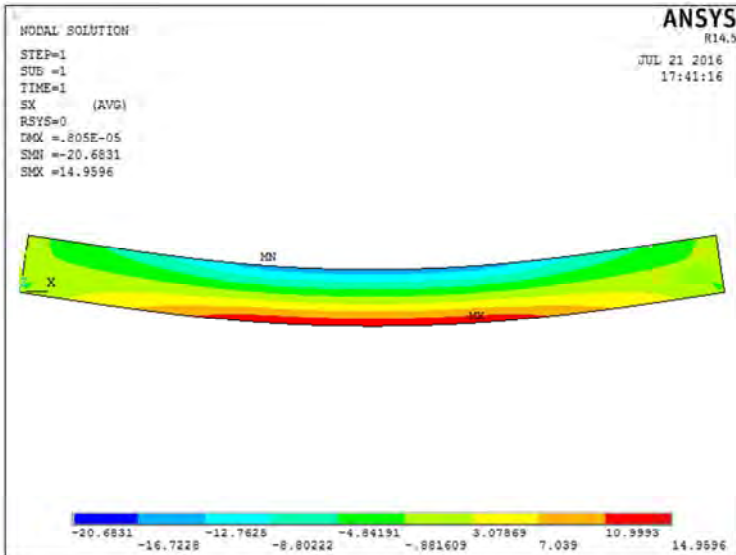
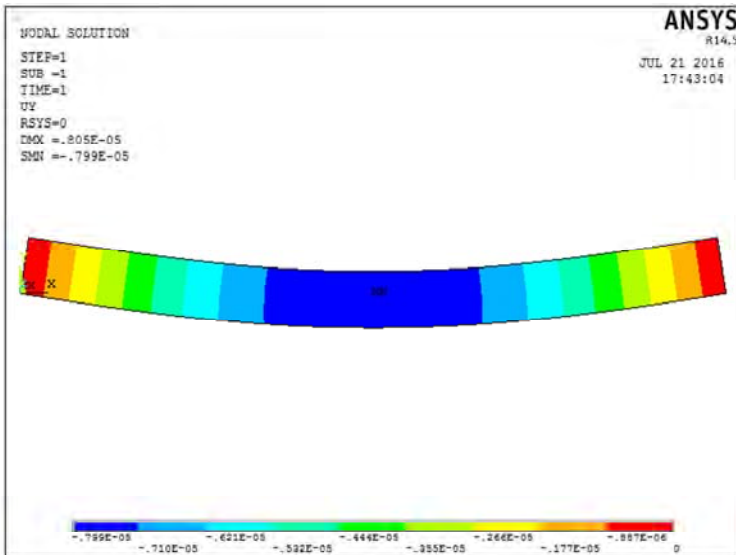


График распределения нормальных напряжений в ослабленном сечении для изотропного и анизотропного материала

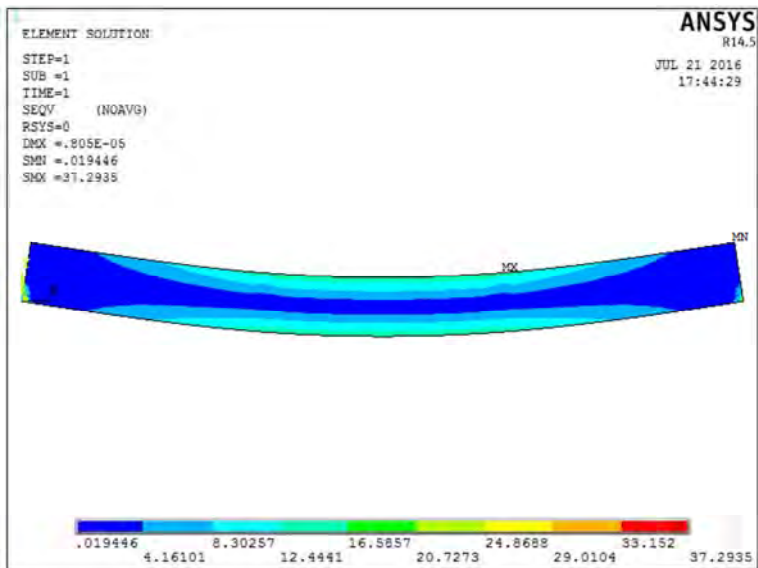
ПРИЛОЖЕНИЕ 3



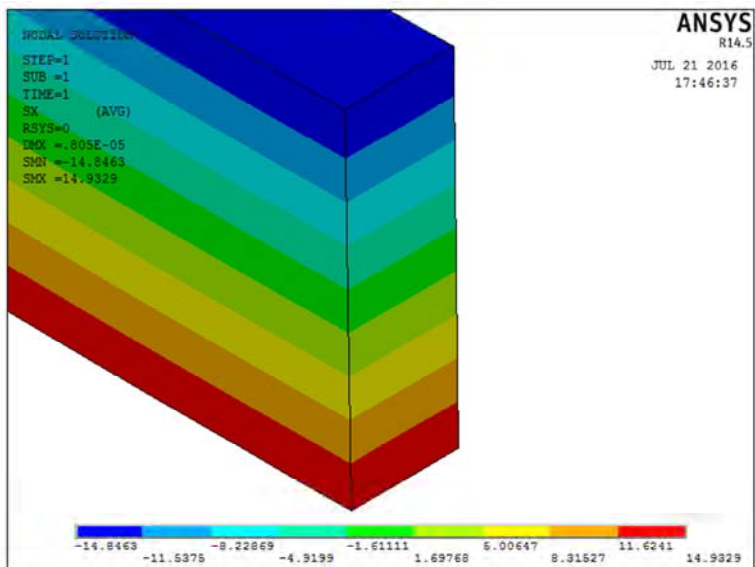
Распределение нормальных напряжений в балке при действующей нагрузке 10 кН



Деформированное состояние балки



Распределение напряжений по Мизесу



Распределение нормальных напряжений по сечению
в середине балки

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Лабораторная работа № 1. ИСПЫТАНИЕ СОЕДИНЕНИЯ НА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ НАГЕЛЯХ (СТАЛЬНЫХ НАГЕЛЯХ, ГВОЗДЯХ).....	4
1.1. Испытание соединения на стальных нагелях	4
1.2. Испытание соединения на гвоздях	11
Лабораторная работа № 2. ИСПЫТАНИЕ ТРЕУГОЛЬНОЙ БРУСЧАТОЙ ФЕРМЫ НА ЛОБОВЫХ ВРУБКАХ	16
Лабораторная работа № 3. ИСПЫТАНИЕ КЛЕЕНОЙ ДЕРЕВЯННОЙ БАЛКИ.....	26
Лабораторная работа № 4. ИСПЫТАНИЕ МЕТАЛЛОДЕРЕВЯННОЙ ФЕРМЫ.....	36
ЛИТЕРАТУРА	45
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	46
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	48
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	52

Учебное издание

ЗГИРОВСКИЙ Александр Игоревич
ОКОВИТЫЙ Анатолий Владимирович
ИЛЬЮЧИК Виктор Владимирович

КОНСТРУКЦИИ ИЗ ДЕРЕВА И ПЛАСТМАСС

Учебно-методическое пособие
по лабораторным работам
для студентов специальности 1-70 02 01
«Промышленное и гражданское строительство»

Редактор *А. Е. Дарвина*
Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 29.07.2016. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 3,20. Уч.-изд. л. 2,50. Тираж 300. Заказ 317.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.