

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
"Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства"
(ПГУАС)

КОНСТРУКЦИИ ИЗ ДЕРЕВА И ПЛАСТМАСС

Методические указания
к лабораторным работам
по направлению подготовки 08.03.01 "Строительство"

Под общей редакцией доктора технических наук,
профессора Ю.П. Скачкова

Пенза 2015

УДК 624.011(075)
ББК 38.55+38.56я73
К65

*Методические указания подготовлены в рамках проекта
«ПГУАС – региональный центр повышения качества подготовки
высококвалифицированных кадров строительной отрасли»
(конкурс Министерства образования и науки Российской Федерации –
«Кадры для регионов»)*

Рекомендовано Редсоветом ПГУАС
Рецензент – кандидат технических наук, доцент, кафедры
строительных конструкций С.А. Толушов

Конструкции из дерева и пластмасс: методические указания к
К65 лабораторным работам по направлению подготовки 08.03.01
"Строительство" / В.М. Вдовин, В.Н. Карпов; под общ. ред. д-ра
техн. наук, проф. Ю.П. Скачкова. – Пенза: ПГУАС, 2015. – 56 с.

Изложены методика и порядок выполнения 6 лабораторных работ по курсу "Конструкции из дерева и пластмасс"; дано описание испытаний стыков деревянных конструкций на клею, гвоздях и нагелях и трех видов составных балок.

Методические указания подготовлены на кафедре "Строительные конструкции" и базовой кафедре ПГУАС при ООО «Пензастрой» и предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 "Строительство", при выполнении лабораторных работ.

© Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства, 2015

© Вдовин В.М., Карпов, В.Н., 2015

ПРЕДИСЛОВИЕ

Лабораторные занятия являются обязательной составной частью изучения специальных дисциплин, поскольку они позволяют не только закрепить изучаемый теоретический материал дисциплины, но и привить навыки в проведении экспериментальных исследований. В процессе проведения лабораторных работ студент не только подтверждает расчетные положения, заложенные при проектировании соединений и конструкций, но также осмысливает результаты эксперимента, делает анализ и выводы по достоверности расчетных предпосылок. Участие студента в проведении эксперимента способствует более глубокому пониманию действительной работы материала, соединений и конструкции и тем самым позволяет детально оценить их фактическую конструкционную надежность.

Однако в зависимости от количества аудиторных занятий, отводимых на изучение курса, студенты выполняют лишь часть из предлагаемых работ. Перечень необходимых лабораторных работ определяет ведущий преподаватель исходя из материальных возможностей кафедры и степени усвоения студентами тех или иных разделов курса.

Настоящие методические указания включают описание 6 лабораторных работ, охватывающих основные, наиболее важные разделы курса, а также методику их проведения.

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторные работы как важная составная часть курса "Конструкции из дерева и пластмасс" способствуют более глубокому пониманию действительной работы как самого материала, так и конструкций из него, облегчают оценку прочности и деформативности этих конструкций и помогают развитию навыков в проведении экспериментальных научных исследований.

В процессе выполнения лабораторных работ студенты должны:

– провести испытание статической кратковременной нагрузкой соединений на гвоздях, нагелях, клее, составной балки на податливых связях и клеодощатой балки;

– сопоставить результаты, полученные при выполнении эксперимента с данными теоретических расчетов;

– проанализировать результаты эксперимента и теоретических расчетов, а также проверить достоверность расчетных предпосылок.

Каждую из лабораторных работ выполняют в строго определенной последовательности и по единому образцу.

Необходимо отметить, что одной из целей выполнения лабораторных работ, близких по своей тематике, например, № 1, 2 и 3 или № 4, 5 и 6, является привитие студентам учебно-исследовательских навыков. При их выполнении следует обратить особое внимание на принципиальное отличие в характере работы родственных соединений и конструкций, дать экономическую оценку их работы и определить степень соответствия существующих расчетных положений фактическому напряженно-деформированному состоянию.

При этом необязательно все работы выполнять студентами одной и той же группы. При анализе работы можно использовать данные испытаний, проведенных смежными группами, что, в свою очередь, позволит более индивидуализировать структуру и направленность лабораторных работ, проводимых студентами каждой группы.

При выполнении лабораторных работ № 1 и 2 рекомендуется использовать ПЭВМ, моделируя на экране ее монитора напряженные состояния конструкций и схемы их деформирования.

По результатам проведенных лабораторных работ студенты должны составить отчеты. Выполненные и оформленные лабораторные работы подлежат защите до или во время сдачи зачета по курсу "Конструкции из дерева и пластмасс".

Активность студентов при выполнении лабораторных работ оценивается соответствующим баллом по рейтингу оценки знаний студента. Поэтому студент заинтересован как в проявлении своей любознательности непосредственно при проведении лабораторных работ, так и в своевременной защите отчета по каждой работе.

I. СТРУКТУРА И ЦЕЛЕВАЯ НАПРАВЛЕННОСТЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1. Постановка эксперимента и обработка результатов

1.1. Цели эксперимента

Важным этапом при проектировании и изготовлении конструкций из дерева и пластмасс является их испытание. Несмотря на то, что любая из этих конструкций проходит стадию проектирования и всестороннего теоретического обоснования в соответствии с общепринятыми расчетами, полное представление о несущей способности деревянной или пластмассовой конструкции может быть получено лишь из результатов испытания ее до разрушения.

Чтобы ответить на вопрос, имеет ли конструкция, показавшая при испытании разрушающую нагрузку $P_{\text{разр}}$, достаточную несущую способность, нужно предварительно установить необходимый для этого коэффициент безопасности k . Отличительной особенностью испытаний деревянных и пластмассовых конструкций кратковременной нагрузкой является завышенная величина полученной при этом разрушающей нагрузки и, как следствие, достаточно большой коэффициент безопасности – результат неизбежного влияния времени действия нагрузки на прочность древесины. Расчетная несущая способность конструкции, подсчитанная в соответствии с общепринятыми нормами проектирования, представляет собой длительную несущую способность, которой теоретически она должна обладать в конце периода своей службы. Кроме того, фактическая несущая способность конструкции, изготовленной по проекту, имеет отклонения от теоретической (расчетной) величины вследствие колебаний качества материала, неточностей изготовления и неполного соответствия расчетных предпосылок действительной работе такой конструкции. Наличие всех этих факторов и учитывается в коэффициенте безопасности k . Однако в ряде случаев целесообразно выделить временную и вероятностную часть коэффициента безопасности, что и следует учитывать в процессе выполнения лабораторных работ по курсу "Конструкции из дерева и пластмасс".

При проведении испытаний деревянных и пластмассовых конструкций необходимо иметь в виду, что превышение коэффициента безопасности k над единицей еще не свидетельствует о достаточной несущей способности этих конструкций или о достаточном качестве изделия.

Инженер-испытатель должен знать сущность коэффициента безопасности k , понимать его смысл и значимость в процессе оценки качества строительных конструкций.

Первоначальные навыки и представления о проведении испытания деревянных и пластмассовых конструкций, об оценке их несущей способности и жесткости студенты получают в процессе проведения лабораторных работ.

1.2. Обработка экспериментальных данных и оформление отчета

Методика проведения эксперимента, как и ход выполнения всей работы, приводится в описании к работе. Далее приводятся наиболее общие вопросы проведения эксперимента и обработки экспериментальных данных, которые студент должен освоить до начала выполнения конкретных лабораторных работ. К таким общим вопросам следует отнести умение пользоваться измерительными приборами, правильно оценивать их показания, грамотно вести записи в журнале испытания, приобретать навыки в обработке журнальных записей и др.

Для большинства работ измерения фактических деформаций, прогибов, сдвигов осуществляются с помощью тензометров, прогибомеров и индикаторов часового типа.

Индикаторы применяются как для измерения прогибов, так и для измерения деформации сдвига, смятия. Это очень простой механический прибор с точностью измерения 0,01 мм. Он имеет большую и маленькую стрелки и соответствующие им две шкалы на циферблате. Малая шкала разбита на 10 делений, каждое из которых соответствует 1 мм. Отсюда полный рабочий ход прибора составляет 10 мм (1 см). Большая шкала разбита на 100 делений, каждое из которых соответствует 0,01 мм. Один оборот большой стрелки составляет 1 мм. Установка стрелки индикатора производится в зависимости от направления измеряемых деформаций. Если деформации направлены от прибора, то стрелка должна быть установлена на некоторую величину отсчета, так как отсчеты будут уменьшаться. При измерении деформаций, направленных к прибору, стрелка устанавливается близко к нулю, так как отсчеты будут увеличиваться.

Величина измеряемой деформации, мм, по индикатору будет подсчитываться как

$$\Delta = (n_1 - n_0) \cdot 0,01, \quad (1)$$

где n_1 – отсчет по прибору после приложения ступени нагружения;

n_0 – нулевой (или предыдущий) отсчет по прибору.

Аналогичным образом работает и прогибомер (Максимова или Аистова), только у прогибомера нет ограничения "рабочего хода". Хотя у прогибомера имеется три стрелки с соответствующими шкалами, измеряющими "см", "мм", "0,01", он позволяет осуществлять измерения неогра-

ниченых величин перемещений или прогибов. Фактическая измеряемая по прибору величина подсчитывается по формуле (1).

Для измерения деформаций чаще всего используют проволочные датчики сопротивления и электронные измерители деформаций. С помощью этих приборов измеряется относительная деформация (ε). Переход от деформаций (ε) к напряжениям осуществляется по формуле

$$\begin{aligned}\sigma &= E \cdot \varepsilon = E \cdot (n_1 - n_0) \cdot k = 10^5 \cdot (n_1 - n_0) \cdot 10^5 = \\ &= n_1 - n_0 = \Delta n \left(\frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} \right) = 0,1 \Delta n \text{ (МПа)}\end{aligned}\quad (2)$$

где E – модуль упругости материала (для древесины по СНиП II-25-80) $E = 10^4$ МПа = 10^5 кгс/см²;

ε – относительная деформация;

n_1 – отсчет по прибору после приложения нагрузки;

n_0 – предыдущий отсчет по прибору;

Δn – разность отсчета по приборам.

Если для измерения деформаций используются тензометры (Гугенбергера или Аистова) с базой измерения B , то переход от деформации к напряжениям выражается формулой

$$\sigma = E \cdot \varepsilon = E \frac{n_1 - n_0}{B} \cdot m, \quad (3)$$

где n_1 и n_0 – отсчеты по приборам;

m – цена деления по прибору ($m = 0,001$ мм);

B – база прибора (тензометра).

При базе $B=20$ мм и модулю упругости для древесины $E = 10^4$ МПа = 10^5 кгс/см² формула (3) примет вид

$$\sigma = 10^5 \cdot \frac{n_1 - n_0}{20} \cdot 0,001 = 5(n_1 - n_0) = 5 \Delta n \left(\frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} \right) = 0,5 \Delta n \text{ (МПа)}. \quad (4)$$

Испытания образцов производят либо в прессе, либо в испытательной машине (УММ-5, ГРМ-50 и др.), снабженной силоизмерителем. Нагрузка прикладывается ступенями. Величина ступени нагружения должна составлять $\Delta P \approx (0,1 \dots 0,2) P_{\text{расч}}$ ($P_{\text{расч}}$ – расчетная величина нагрузки).

Снятие отсчетов по приборам на каждом этапе нагружения должно производиться в одинаково установленной последовательности.

Результаты испытания по снятым отсчетам по приборам заносят в журнал испытания.

Все необходимые расчеты, записи, построение графиков выполняют в процессе проведения лабораторных работ. После окончания экспериментальной части и обработки результатов испытания составляют заклю-

чение по проведенному эксперименту, в котором дают сравнение значений величин несущих способностей и деформаций, определенных опытным путем, с величинами, полученными в теоретических расчетах, анализируют причины отклонений между ними, подсчитывают коэффициенты безопасности, выясняют характер разрушения и строят графики деформаций.

В отчетах представляют аккуратно оформленные эскизы испытанных образцов с указанием всех необходимых размеров, схемы нагружения и расстановки приборов, разрушения образца, необходимые расчеты, обработку и анализ экспериментальных данных, вывода. Желательна самостоятельная оценка студентами полученных результатов исследования на основе ранее накопленных знаний и путем сравнения их с имеющимися в специальной литературе примерами.

При выполнении этой части работы необходимо особо акцентировать на наличии или отсутствии пороков в древесине образца (сучков, косослоя, трещин и др.), влажности древесины и т.д.

Все расчеты записи в журналах, построение графиков по данным испытания должны по возможности производиться в процессе выполнения лабораторной работы во время аудиторного занятия.

На кафедре строительные конструкции для испытаний образцов с предельной величиной нагрузки не более 500 кН имеется установка П-500, которая позволяет производить испытание образцов на сжатие в автоматическом режиме с выдачей результатов на компьютер. Предварительно в программное обеспечение заносятся через компьютер исходные данные испытаний: степень нагружения, скорость приложения нагрузки, исходные данные по геометрии образца и вида материала и др.

Результаты испытаний выдаются в виде обработанных графиков.

2. Учебно-исследовательская работа студента (УИРС) при выполнении лабораторных работ

В настоящих методических указаниях приведено описание 6 лабораторных работ по наиболее важным разделам курса "Конструкции из дерева и пластмасс". Все эти работы не могут быть выполнены в аудиторные часы, отводимые на изучение курса. Однако наличие методических рекомендаций по их проведению позволит без увеличения часов на аудиторные занятия рассмотреть многие вопросы курса, используя при этом выборочный подход к тематике проводимых занятий и, кроме того, поможет повысить интерес к лабораторной работе с применением определенных элементов научных исследований (УИРС) и ко всему курсу в целом. При этом могут быть использованы результаты работ, проведенных в смежных группах студентов, что даст возможность при

меньших материальных и трудовых затратах расширить цели исследований.

На рис. 1 показано, как при выполнении определенной группы близких по тематике лабораторных работ можно расширить цели учебных исследований, отражающих те или иные особенности изучаемого курса.

Так, при выполнении не более двух лабораторных работ из раздела "Соединения" (см. рис. 1а) следует сделать (помимо выполнения основных целей, поставленных в самой работе) сопоставление полученных результатов, по которым можно судить:

- о влиянии жесткого (клеевого) соединения на работу стыка по сравнению с работой более податливого гвоздевого соединения;
- о влиянии жесткого соединения на работу стыка по сравнению с работой менее податливого соединения на цилиндрических нагелях;
- о степени податливости и ее влиянии на работу стыка различных механических связей (гвоздей, нагелей).

При выполнении же всех трех лабораторных работ сопоставление полученных результатов позволит более многогранно раскрыть влияние податливости различных рабочих связей на работу стыков по сравнению с жестким (клеевым) и дополнительно рассмотреть влияние податливости связей на несущую способность и деформативность стыков.

Еще более широкая направленность исследования может быть достигнута при выполнении работ по разделу "Балки" (рис. 1б).

Так, выполняя только две работы из этого раздела, можно расширить поставленные цели дополнительным изучением влияния на несущую способность и жесткость балок:

- рациональной формы сечения (лабораторные работы № 4, 5);
- податливости соединения (лабораторные работы № 4, 6).

При выполнении же трех лабораторных работ из этого раздела поставленные цели можно дополнить изучением:

- работы клееных балок различной конструкции;
- влиянием различных рабочих связей на работу изгибаемых элементов.

Описание всех лабораторных работ построено по единому принципу, что позволит студентам сократить время на изучение менее важных аспектов работы, уделить больше внимания анализу получаемых результатов.

Следует заметить также, что уже само проведение эксперимента является для студента "маленьким" исследованием. Все, что получает он в процессе проведения эксперимента, для него является новым, неожиданным и интересным. Роль преподавателя при этом состоит в том, чтобы акцентировать важные моменты проводимых испытаний в соответствии с поставленными целями работы и правильно нацелить студента на оценку полученных результатов.

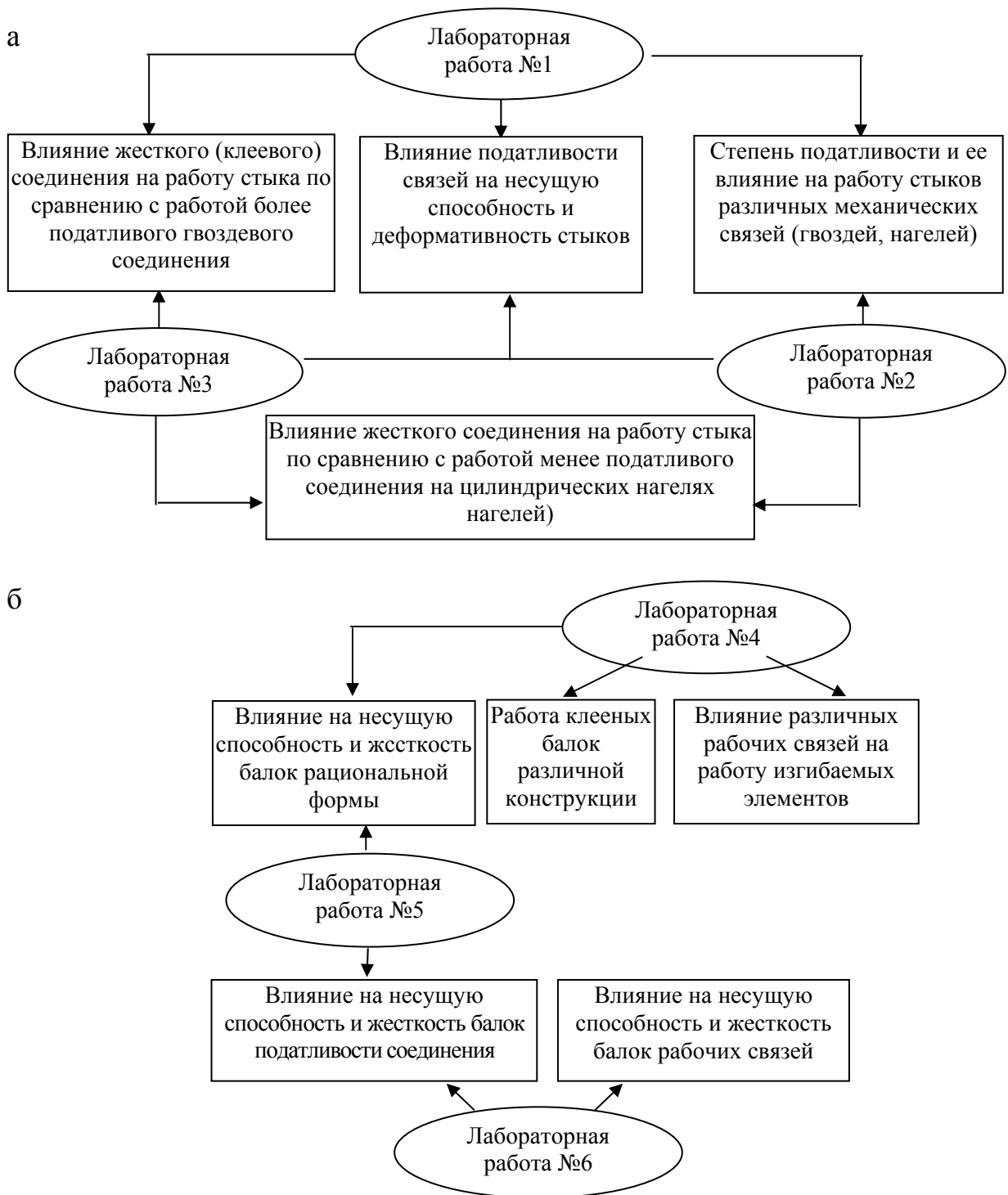


Рис. 1. Схемы последовательности постановки целей УИРС при выполнении лабораторных работ:
 а – разнообразие УИРС по теме "Соединения";
 б – разнообразие УИРС по теме "Балки"

3. Методика проведения лабораторных работ

3.1. Основные этапы проведения лабораторных работ

Если с теоретическими расчетами и обоснованиями студенты знакомятся на лекциях и практических занятиях по курсу, то экспериментальная часть работы выполняется ими самостоятельно и впервые. Однако, несмотря на особенности каждого эксперимента, можно выделить этапы, повторяющиеся при проведении любых испытаний:

- подготовительная работа;
- тарировка приборов и подготовка образцов к испытаниям;
- отработка способов нагружения;
- проведение испытаний и измерений;
- обработка и анализ результатов испытаний;
- составление выводов по испытаниям.

Фактические размеры образцов устанавливаются студентами на основе натуральных замеров, которые выполняются ими до начала испытания и заносятся в журнал записи результатов испытаний. Размеры образца определяют при помощи штангенциркуля с точностью до 0,1 мм.

Перед установкой испытываемого образца на опоры производят тщательный его осмотр с целью выяснения точности изготовления и оценки качества материала, поскольку именно эти факторы, как правило, являются определяющими причинами разрушения этого образца.

Теоретические величины несущей способности, разрушающей нагрузки, деформаций вычисляют до испытаний.

Нагружение образца в процессе проведения испытаний должно осуществляться таким образом, чтобы величина нагрузки на образец на протяжении времени испытания была известна на любой стадии нагружения, а рост нагрузки изменялся с постоянной скоростью, и ступени этой нагрузки выдерживались неизменными в течение заданного времени.

Как правило, нагружение образца производится ступенями (одинаковой величины). После каждой ступени нагружения снимаются отсчеты по приборам. Скорость нагружения при проведении испытаний указана в описании к каждой лабораторной работе.

Фактические деформации, прогибы и сдвиги измеряют с помощью тензометров, прогибомеров и индикаторов часового типа. Процесс перехода от деформаций к напряжениям выражают формулами (2) и (3).

В лабораторных работах могут быть использованы и другие измерители деформаций, например, проволочные датчики сопротивления, электронные измерители деформаций, прогибомеры Максимова, Аистова и др.

По завершению лабораторной работы студенты оформляют отчет согласно требованиям, изложенным в подразд. 1.2.

Выполняется самостоятельная оценка студентами полученных результатов исследования на основе ранее накопленных знаний и путем сравнения их с имеющимися в специальной литературе примерами.

3.2. Применение компьютерной техники в поддержку лабораторных работ

Сегодня трудно переоценить значение компьютерной техники (ПЭВМ) в учебном процессе. Если ценность ее в проведении расчетных работ и в графопостроении общеизвестна и практически компьютерное проектирование по известным программным материалам доминирует в строительной практике, то проведение лабораторных работ, связанных с испытанием моделей строительных конструкций, требует специальные программы, включающие мультимедийные заставки. Использование мультимедии позволяет студентам наглядно увидеть с экрана монитора характер напряженно-деформированного состояния, его изменение в зависимости от величины прикладываемой нагрузки, характер разрушения и другие особенности работы испытываемого образца. Если в реальном испытании все эти особенности могут быть получены только на конечной стадии выполнения задания после обработки результатов эксперимента, то использование компьютерной поддержки позволяет сразу же заинтересовать студента в ожидаемом результате и "заглянуть" как бы во внутреннее состояние испытываемого образца. Желательно только, чтобы программа мультимедийного представления работы включала в себя зарисовки и моменты, отвечающие поставленным целям лабораторной работы.

Для примера в данных методических указаниях приводятся компьютерное представление лабораторной работы № 1 "Испытание соединения на гвоздях" и № 2 "Испытание соединения на нагелях". Структура программного материала включает составные части работы, описанные в методике проведения. Однако важным моментом, на наш взгляд, является то, что компьютер позволяет показать студенту, как деформируется гвоздь или нагель под различными нагрузками, каков характер напряжений и деформаций в древесине соединяемых элементов, какова расчетная схема напряженного состояния, определяющая предельные нагрузки на гвоздевое или нагельное соединение, и другие особенности работы этих соединений, которые не поддаются визуальному просмотру при натурном эксперименте.

Подобная компьютерная поддержка может быть разработана практически для каждой работы, представленной в данных методических указаниях. Очень важно, чтобы разрабатываемая программа включала в себя мультимедийную часть, показывающую ход испытания как бы в движении, с изменением напряженно-деформированного состояния образца и мультимедия отражала особенности работы элементов испытываемого образца. При достаточной подготовленности обучающихся в части применения и использования компьютерной техники, эту работу можно поручить самим студентам при методическом руководстве преподавателя. Выполнение такой работы дает студенту высший балл по рейтингу для получения зачета.

II. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

СОЕДИНЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Соединения элементов применяются с целью повышения несущей способности и жесткости составных конструкций, а также для выполнения различных узловых и стыковых сопряжений элементов конструкций. Практически ни одна несущая и ограждающая конструкция не обходится без применения того или иного вида соединений. Поэтому в практике строительства и изготовления деревянных конструкций существует достаточно большое разнообразие видов соединений: врубки, упоры, нагельные, клеевые, шпоночные и т.п. К наиболее часто встречающимся следует отнести соединения на гвоздях, нагелях и клеях. Этим объясняется выбор ниже приводимых лабораторных работ.

При выявлении несущей способности и жесткости соединений важное место занимает характер работы элементов соединений и степень податливости (или отсутствия ее). Характер работы определяется действительным напряженно-деформированным состоянием элементов соединения, а податливость – величиной взаимного сдвига их в процессе нагружения всего соединения.

От напряженного состояния элементов зависит несущая способность, то есть предельная нагрузка, которую может выдержать то или иное соединение, а степень податливости влияет не только на несущую способность, но и на величину общей деформативности соединения и конструкции в целом, то есть на жесткость конструкции. Изучению в основном этих двух факторов и посвящены работы № 1, 2 и 3.

К опасным видам работы гвоздевого и нагельного соединения относятся смятие древесины крайних и средних элементов под гвоздем или нагелем, изгиб самого гвоздя или нагеля, а также скалывание и раскалывание древесины по плоскостям расположения гвоздей или нагелей. Все эти моменты необходимо выявить в процессе проведения работ № 1, 2.

Исходя из вида напряженного состояния и степени сопротивляемости при этом древесины и материала нагеля (гвоздя), нормы (СНиП II-25-80) дают формулы для подсчета расчетной несущей способности, приходящейся на один условный срез нагеля (гвоздя) (формулы приводятся в описании к работам). В расчет принимают наименьшую величину несущей способности, подсчитанную из условий смятия древесины крайнего элемента, смятия среднего элемента и изгиба нагеля (гвоздя). Обычно, условие, положенное в минимальное значение несущей способности соединения, определяет и характер разрушения образца (хотя в некоторых случаях бывает и отклонение от этого положения).

Гвоздь является одной из разновидностей нагелей, но в целом работа гвоздевого соединения довольно существенно отличается от нагельного.

Гвоздь непосредственно забивается в древесину и при этом создает напряжения раскалывания в соединяемом элементе. Это вызывает большую опасность скалывания и раскалывания соединяемых элементов, что учитывается в нормах путем регламентирования допустимого шага в расстановке гвоздей и нагелей. В гвоздевых соединениях он больше, чем в нагельных. Шаг расстановки гвоздей и нагелей, как по длине, так и ширине соединения пакета досок, заложенный в нормы, должен обязательно соблюдаться.

Гвоздь тоньше нагеля, и поэтому он легче подвергается изгибу. Большие деформации изгиба гвоздя, естественно, приводят к повышенным, по сравнению с нагельным соединением, сдвигам соединяемых элементов относительно друг друга, или иначе гвоздевые соединения обладают большей податливостью. Взаимный сдвиг соединяемых элементов в работах фиксируется индикаторами часового типа. Важно подчеркнуть разницу нарастания этих сдвигов для нагельного и гвоздевого соединения.

Клеевое соединение считается монолитным, поскольку клеевой шов не позволяет сдвигаться элементам относительно друг друга. При появлении таких сдвигов клеевой шов должен разрушаться, то есть соединение должно потерять несущую способность. С другой стороны, прочность клеевого шва должна быть такой, чтобы разрушение соединения проходило не по шву, а по древесине (при обязательном условии соблюдения требований к технологии изготовления клеевых конструкций).

Отсутствие деформации сдвига в клеевом стыке в процессе выполнения работы, а, следовательно, монолитности клеевого образца фиксируется индикаторами.

Следует отметить, что независимо от того, будет ли образец клееный (из трех брусков) или цельный такой же формы, характер эпюры скалывающих напряжений производится введением среднего по площадке скалывания расчетного сопротивления скалыванию древесины, подсчитываемого по формуле

$$R_{\text{ск}}^{\text{ср}} = \frac{R_{\text{ск}}}{1 + \beta \frac{l_{\text{ск}}}{e}} \quad (5)$$

где β – коэффициент, принимаемый равным 0,125, как для промежуточного скалывания;

остальные величины указаны в описании к работе № 3.

В работах № 1, 2 и 3 важно оценить эффективность соединений как по несущей способности так и по деформативности.

Лабораторная работа № 1 Испытание соединений на гвоздях

Л и т е р а т у р а :

1. СНиП II-25–80. Деревянные конструкции: Нормы проектирования. – М., 1982. Пп. 5.13; 5.20; 5.21.

2. Конструкции из дерева и пластмасс. Э.В. Филимонов, Л.К. Ермоленко, М.М. Гапоев и др. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 440 с. Гл. 3.3, § 3.3.4.

Ц е л ь р а б о т ы : изучить характер работы гвоздевого соединения; произвести подсчет расчетной нагрузки P^T соединения по действующим нормам; выявить зависимость деформации δ , возникающей в соединении, от нагрузки P ; найти полную величину деформации соединения при расчетной нагрузке; определить разрушающую нагрузку $P_{\text{разр}}$ и подсчитать коэффициент безопасности по формуле:

$$K = \frac{P_{\text{разр}}}{P^T}. \quad (6)$$

1.1. Эскиз и размеры образца

Образец представляет собой двухсрезное симметричное соединение, выполненное из трех коротких сосновых брусков. Влажность древесины образца не превышает 15 %. Форма образца и расстановка в нем гвоздей представлены на рис. 2.

Следует заметить, что в целях выполнения учебных исследований по результатам лабораторных работ № 1, 2 и 3 размеры испытываемых образцов могут быть выбраны по одному из следующих принципов:

– одинаковые габаритные размеры стыков и составляющих его элементов с учетом требований СНиП II-25–80 по расстановке гвоздей и нагелей;

– разные размеры стыков и их элементов, подобранные с учетом равенства расчетных несущих способностей гвоздевого, нагельного и клеевого стыков.

В первом случае студенты имеют возможность оценить преимущества того или иного стыка с точки зрения их несущей способности и

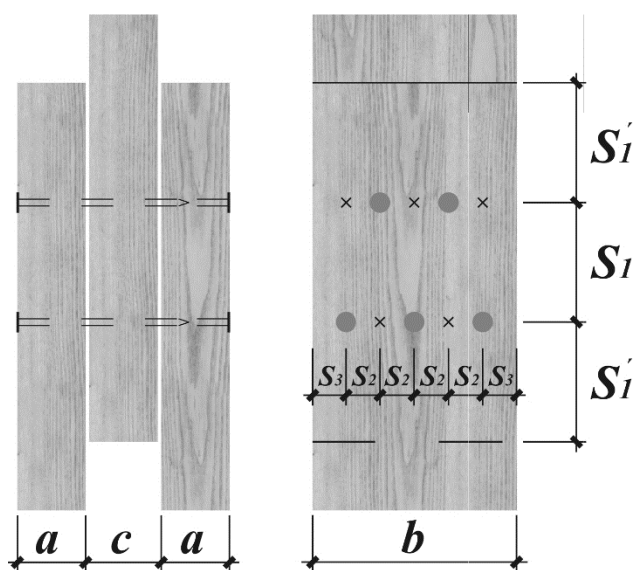


Рис. 2. Образец для испытания соединения на гвоздях

деформативности при одинаковых затратах материала (древесины) на их выполнение.

Во втором случае может быть дана оценка экономической эффективности того или иного стыка по расходу материалов при одинаковой расчетной несущей способности этих стыков.

Учитывая то, что в первом случае все стыки могут быть изготовлены из унифицированных дощатых элементов (а следовательно, более просты в изготовлении), описание лабораторных работ № 1, 2 и 3 ориентировано на использование в стыках дощатых элементов сечением 35×100 мм с длиной нахлестки этих стыков, равной $7d$, где d – диаметр нагеля).

Основные размеры образца записывают по результатам натурального обмера:

- толщина крайних элементов a ;
- толщина среднего элемента c ;
- диаметр гвоздя d ;
- длина гвоздя l ;
- количество гвоздей n .

Расчетные толщины элементов определяют по формулам:

– крайнего

$$a_{\text{расч}} = a - 1,5d \text{ (если гвоздь пробивает пакет);}$$

$$a_{\text{расч}} = l - a - c - 2 \cdot 0,2 - 1,5d \text{ (если гвоздь не пробивает пакет);}$$

– среднего

$$c_{\text{расч}} = c.$$

По результатам обмера образца находят также расстояния:

– от торца элемента до оси первого ряда гвоздей вдоль волокон элемента S'_1 (согласно СНиП II-25-80 $S'_1 \geq 15d$);

– между рядами гвоздей вдоль волокон элемента S_1 (согласно СНиП II-25-80 $S_1 \geq 25d$ при $C = 4d$; $S_1 \geq 15d$ при $C = 10d$);

– между осями гвоздей поперек волокон элемента S_2 (согласно СНиП II-25-80 $S_2 \geq 4d$);

– от кромки элемента до оси первого ряда поперек волокон элемента S_3 (согласно СНиП II-25-80 $S_3 \geq 4d$).

При других значениях C шаг гвоздей S_1 определяют методом интерполяции.

Следует обратить особое внимание на правильность забивки гвоздей в соответствии со СНиП II-25-80, а также на необходимость четкого выполнения этих требований, поскольку в противном случае разрушение стыков может начаться раньше ожидаемого момента в результате раскалывания дощатых элементов.

1.2. Схемы приложения нагрузки и расстановки приборов

Испытание образца производят на машине ГРМ-1 или на другой машине с силоизмерителем до 10 т. Схема приложения нагрузки показана на рис. 3.

Для измерения сдвигов (деформаций) в швах на каждый образец устанавливают два индикатора часового типа (см. рис. 3) с ценой деления $K_{и} = 0,01$ мм, необходимость постановки которых диктуется тем, что в процессе испытания передача нагрузки на образец может осуществляться неравномерно по всей ширине стыка (ввиду неточности изготовления). Наличие же двух приборов позволяет получить среднюю деформацию и тем самым исключить из эксперимента влияние этих неточностей.

Для визуального наблюдения за деформациями сдвига при больших нагрузках (больше расчетной нагрузки P^T) следует до начала испытаний в поперечном направлении стыка (перпендикулярно плоскости сплачивания) провести карандашом прямые линии или наклеить миллиметровую бумажку, разрезанную вдоль плоскости сплачивания элементов.

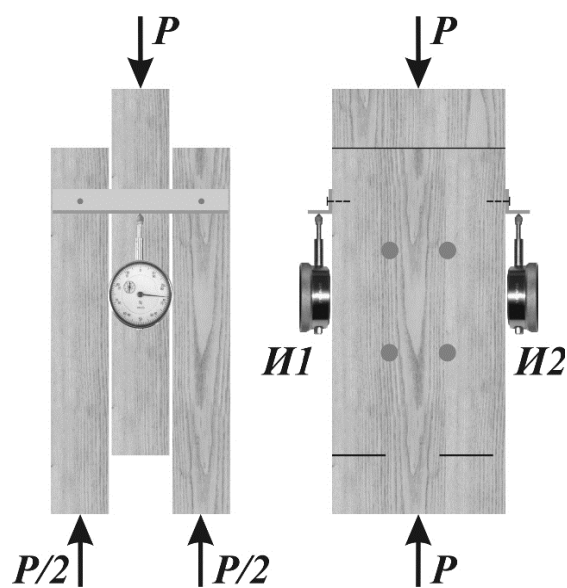


Рис. 3. Схема приложения нагрузки и расстановки приборов

1.3. Определение расчетной нагрузки на образец

Расчетную нагрузку P^T на образец подсчитывают, исходя из полного использования несущей способности соединения.

Опасными видами работы гвоздевого соединения при этом являются:

- смятие древесины под гвоздями в крайних элементах;
- смятие древесины под гвоздями в средних элементах;
- изгиб гвоздей.

Опасность скалывания и раскалывания древесины в стыке ликвидируют правильной (в соответствии с требованиями СНиП II-25-80) забивкой гвоздей (см. п. 2.1).

Расчетная несущая способность соединения составит:

$$P^T = n \cdot m \cdot T^{\min}, \quad (7)$$

где n – количество гвоздей;

m – число срезов одного гвоздя;

T^{\min} – минимальное значение расчетной несущей способности одного условного среза гвоздя, определяемое с учетом:

– смятия крайних элементов:

$$T_{см.а} = 0,8 a d \text{ (кН)} \text{ или } T_{см.а} = 80 a d \text{ (кгс)};$$

– смятия средних элементов:

$$T_{см.с} = 0,5 c d \text{ (кН)} \text{ или } T_{см.с} = 50 c d \text{ кгс)};$$

– изгиба гвоздя:

$$T_{и} = 2,5 d^2 + 0,01 a^2 \text{ (но не более } 4 d^2) \\ \text{или } T_{и} = 250 d^2 + a^2 \text{ (но не более } 400 d^2).$$

При определении расчетной несущей способности одного среза гвоздя (с учетом смятия крайних элементов) необходимо пользоваться не фактической толщиной a элемента, а его расчетной толщиной $a_{расч}$ (см. лабораторную работу № 2, п. 2.1). Гвоздь считается заземленным в пакете, если $a_{расч} \geq 4d$. В таком случае гвоздь будет работать как двухсрезный. В противном же случае работу конца гвоздя не учитывают.

Проделав указанные вычисления, подсчитывают теоретические значения расчетных нагрузок P^T на образец. При этом следует иметь в виду, что значения P^T определены с учетом длительного действия нагрузки и нормальной влажности древесины, равной 12 %.

В результате машинных испытаний получают значение разрушающей кратковременной нагрузки, поэтому с целью получения коэффициента безопасности соединения, исключаяющего длительность действия нагрузки, необходимо расчетную нагрузку P^T привести к кратковременной:

$$P_{кр}^T = \frac{P^T}{K_{дл}}, \quad (8)$$

где $K_{дл}$ – наиболее вероятное значение коэффициента длительности при воздействии постоянных и временных нагрузок ($K_{дл} = 0,66$).

Если минимальное значение расчетной несущей способности одного условного среза гвоздя T^{\min} определено из условия изгиба гвоздя, то в знаменатель указанной формулы необходимо ввести $\sqrt{K_{дл}}$.

1.4. Экспериментальная часть

Образец испытывают на сжатие до разрушения. Во время испытаний измеряют деформации сдвига среднего элемента относительно крайних элементов и определяют разрушающую нагрузку, действующую на образец и прикладываемую поэтапно. Величина этой нагрузки на каждом этапе должна составлять примерно (0,08 - 0,1) $P_{разр}$ ($\approx 2,0$ кН). Результаты испытаний заносят в журнал, представленный в табл. 1.

За разрушающую нагрузку $P_{разр}$ принимают ту ступень нагружения, при которой для прироста деформаций не требуется прироста нагрузки.

После разрушения образца делают его эскиз. При этом разрушенный образец желательно расколоть в плоскости забивки гвоздей с целью более

ясного представления характера деформирования этих гвоздей и древесины под ними.

Т а б л и ц а 1

Результаты определения деформаций соединений

| Нагрузка P , кН | Индикаторы | | | | Среднее значение | |
|----------------------|-----------------|----------------------------|-----------------|----------------------------|--|--|
| | И – 1 | | И – 2 | | приращения $\Delta C_{\text{ср}} = \frac{\Delta C_1 + \Delta C_2}{2}$ | полной деформации $\delta = \sum \Delta C_{\text{ср}} K_{\text{и}}$ |
| | отсчёт C_1 | приращение ΔC_1 | отсчёт C_2 | приращение ΔC_2 | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

1.5. Обработка и анализ результатов испытаний

В графу 7 табл. 1 записывают результаты полной деформации соединения (средняя по двум индикаторам) на каждом этапе нагружения образца как $\sum \Delta C_{\text{ср}} K_{\text{и}}$. На основании этих данных строят зависимость деформации соединения от нагрузки (рис. 4), по которой определяют деформации сдвига от нагрузки, равной кратковременной расчетной несущей способности. Эта деформация может быть определена как разность между полными деформациями при нагрузке, равной $P_{\text{кр}}^T + \Delta P$, и при нагрузке $\Delta P = 2,0$ кН (условный нуль).

Значение полной фактической деформации соединения при расчетной нагрузке $\delta_{\text{факт}}$ сравнивают с теоретической расчетной деформацией сдвига $\delta_{\text{теор}}$ гвоздевых соединений, принимаемой согласно СНИП II-25-80 и равной 2 мм, а затем подсчитывают условный модуль деформаций.

Разрушающую нагрузку $P_{\text{разр}}$ сравнивают с кратковременной теоретической нагрузкой $P_{\text{кр}}^T$ и подсчитывают коэффициент безопасности по формуле

$$K = \frac{P_{\text{разр}}}{P_{\text{кр}}^T}.$$

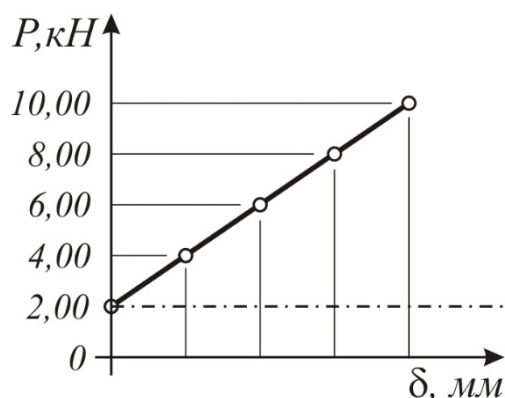


Рис. 4. Зависимость деформаций соединений от нагрузки

1.6. Оформление отчета

Отчет о проделанной работе оформляют согласно требованиям, представленным в п. 1.2 разд. I.

1.7. Компьютерная поддержка работы

Демонстрация компьютерного материала может производиться как до проведения экспериментальной части работы, описанной в п. 1.4, так и после проведения лабораторного опыта. Программа, заложенная в компьютер, включает в себя экранное воспроизведение всех составных этапов выполнения лабораторной работы. Однако преподаватель, ведущий лабораторное занятие, и студенты, выполняющие данную работу, должны более внимательно отнестись к той части демонстрационного материала, где дается иллюстрация основных моментов опасной работы соединения, а именно:

- работа гвоздя на изгиб;
- работа древесины элементов на смятие под гвоздем;
- работа древесины элементов по длине гвоздя (по толщине образца);
- характер эпюры усилий (напряжений, изгибающих моментов) в соединяемых элементах;
- характер разрушения элементов соединения и др.

Положительным эффектом демонстрации указанных явлений является то, что все это может быть показано на экране монитора в мультимедийном изображении, т.е. в движении процессов в зависимости от действующей на образец нагрузки. Так, например, на рис. 5, приводятся несколько стационарных положений гвоздя, показывающих его изгиб при определенных внешних нагрузках. На экране монитора можно увидеть гораздо большее количество подобных положений с изгибом нагеля при различных нагрузках и, кроме того, непосредственно в движении с определенной скоростью изменения нагрузки. Точно так же могут быть продемонстрированы явления смятия древесины в элементах, характер эпюр нормальных напряжений, изгибающих моментов и других факторов, некоторые из этих представлений при определенной нагрузке, действующей на образец, приведены на рис. 6.

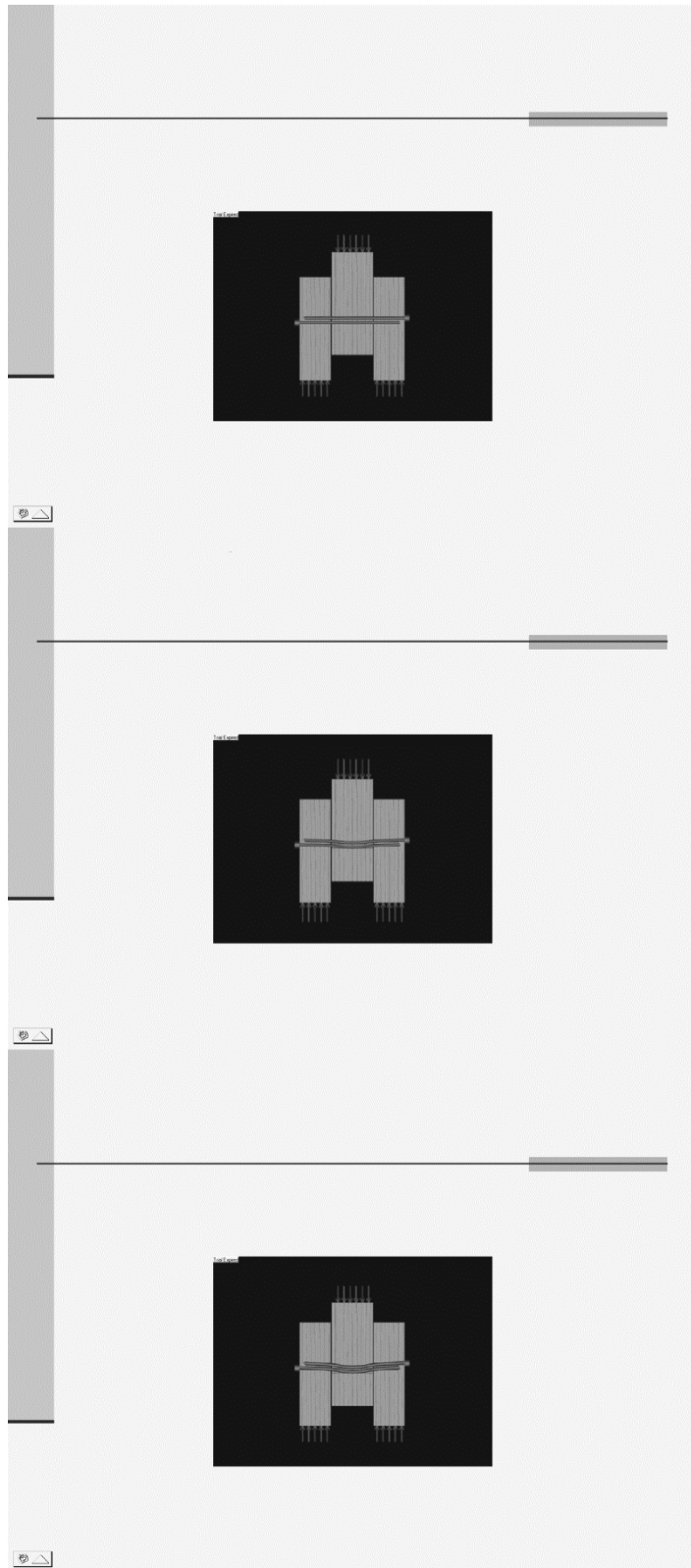


Рис. 5. Работа гвоздя на изгиб при разных уровнях нагрузки

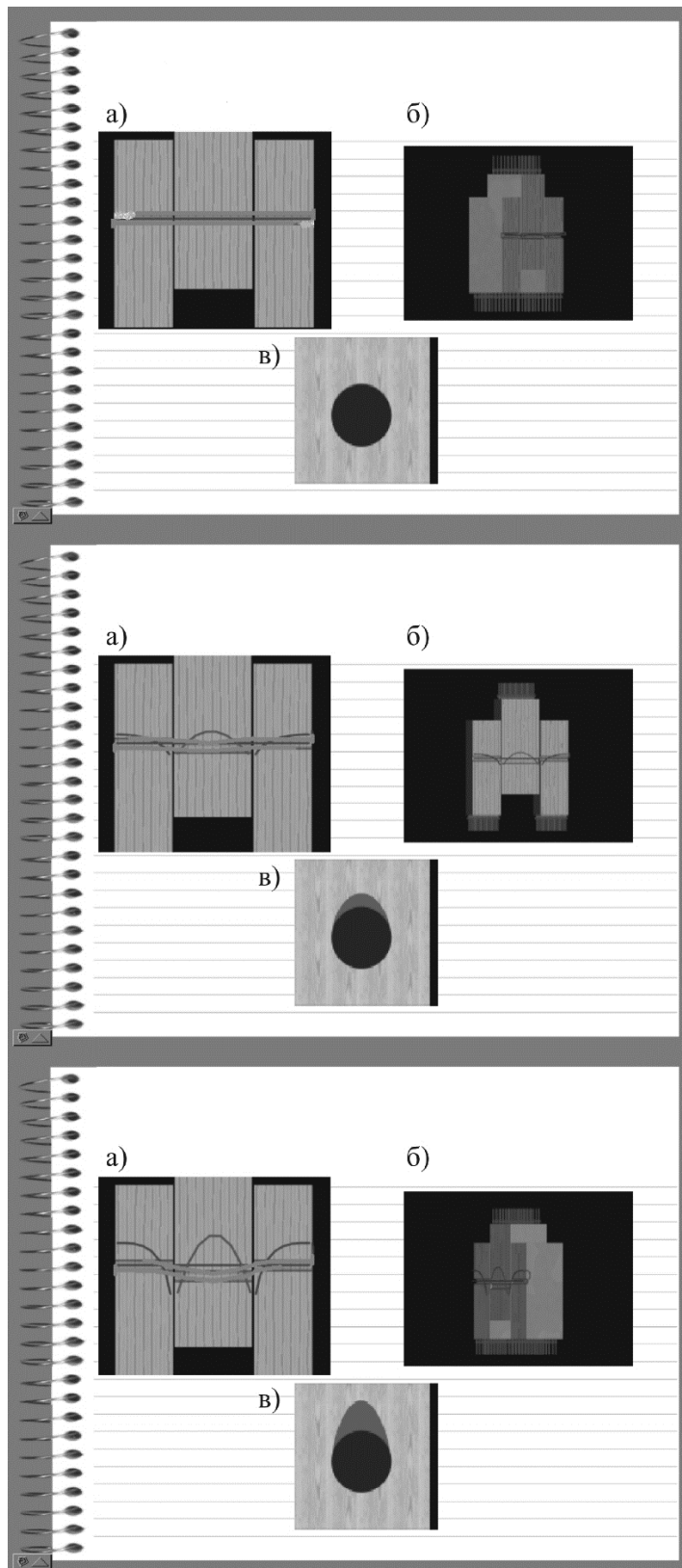


Рис. 6. Напряженное состояние элементов гвоздевого соединения при разных значениях нагрузки:
 а – по толщине образца; б – по толщине образца в аксонометрическом изображении; в – по ширине образца

Контрольные вопросы

1. На что работает гвоздь?
2. На что работает древесина в гвоздевом соединении?
3. Что такое расчетная длина защемления гвоздя?
4. Как определить расчетное число срезов гвоздя?
5. Какие виды соединений на гвоздях называются симметричными, какие – несимметричными?
6. Каковы должны быть расстояния между осями гвоздей в продольном и поперечном направлениях (требования СНиП II-25–80)?
7. Как определяется несущая способность гвоздя?
8. Почему по нормам (СНиП II-25–80) несущая способность рассчитывается на 1 срез гвоздя, а не на весь гвоздь?
9. Что относится к опасным видам работы гвоздевого соединения? Как это учитывается при подсчете несущей способности соединения?
10. Как сказывается направление усилий к волокнам древесины на несущую способность гвоздя?
11. Как экспериментально определяется деформация сдвига в гвоздевом соединении?
12. Для чего в лабораторной работе используются индикаторы часового типа?
13. Как определяется расчетная нагрузка на образец?
14. Как строится график зависимости "деформация – нагрузка"?
15. Что такое коэффициент безопасности?
16. Что такое разрушающая нагрузка?
17. Для чего нужно знать график "деформация – нагрузка"?
18. Как узнать по графику "деформация – нагрузка", где деформации упругие, а где упругопластические?
19. Что такое "рыхлые" деформации? Какова их величина в проведенной работе?

Лабораторная работа № 2

Испытание соединения на цилиндрических нагелях*

Л и т е р а т у р а :

1. СНиП II-25–80. Деревянные конструкции: Нормы проектирования. – М., 1982. Пп. 5.13; 5.14; 5.15; 5.18; 5.19.

2. Конструкции из дерева и пластмасс. Э.В. Филимонов, Л.К. Ермоленко, М.М. Гапоев и др. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 440 с. Гл. 3.3, §§ 3.3.2, 3.3.3.

Ц е л ь р а б о т ы : изучить характер работы соединения на цилиндрических нагелях; подсчитать расчетную нагрузку P^T соединения по действующим нормам; выявить зависимость деформации δ , возникающей в соединении, от величины нагрузки P ; найти полную величину деформации соединения при расчетной нагрузке; определить разрушающую нагрузку $P_{\text{разр}}$, подсчитать коэффициент безопасности по формуле

$$K = \frac{P_{\text{разр}}}{P_{\text{кр}}^T}.$$

2.1. Эскиз и размеры образца

С целью сопоставимости результатов исследования с данными, полученными в лабораторных работах № 1 и 3, все размеры образца (рис. 7) принимают такими же, как и в вышеуказанных работах.

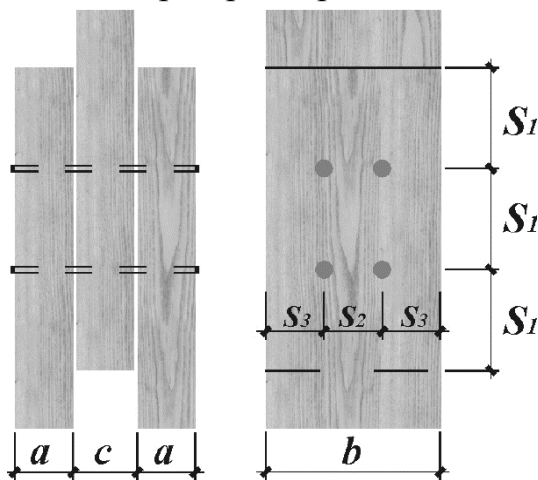


Рис. 7. Общий вид образца

По результатам натурного обмера записывают основные размеры образца:

– толщина крайнего элемента a ;

– толщина среднего элемента c ;

– диаметр нагеля d ;

– длина нагеля l ;

– количество нагелей n ,

а также расстояния:

– от торца элемента до оси первого ряда нагелей и между их рядами вдоль волокон образца S_1 (согласно СНиП II-25–80 $S_1 \geq 7d$);

– между осями нагелей поперек волокон образца S_2 (согласно СНиП II-25–80 $S_2 \geq 3,5d$);

– от кромки элемента до оси первого ряда поперек волокон образца S_3 (согласно СНиП II-25–80 $S_3 \geq 3d$).

* Работа выполняется по плану УИРС.

При толщине пакета меньше $10d$ допускается принимать

$$S_1 \geq 6d; S_2 \geq 3,0d S_3 \geq 2,5d.$$

Расчетные толщины элементов определяют по формулам:

– крайнего

$$a_{\text{расч}} = a;$$

– среднего

$$C_{\text{расч}} = C.$$

2.2. Схемы приложения нагрузки и расстановки приборов

Схема приложения нагрузки и расстановки приборов представлена на рис. 3 и описана в п. 1.2 лабораторной работы № 1.

2.3. Определение расчетной нагрузки на образец

Для определения расчетной нагрузки P^T можно воспользоваться формулой (7). При подсчете минимального значения расчетной несущей способности одного условного среза образца необходимо учесть следующие три условия:

– смятие крайних элементов

$$T_{\text{см.а}} = 0,8 a d \text{ (кН) или } T_{\text{см.а}} = 80 a d \text{ (кгс);}$$

– смятие средних элементов

$$T_{\text{см.с}} = 0,5 c d \text{ (кН) или } T_{\text{см.с}} = 50 c d \text{ (кгс);}$$

– изгиб нагеля

$$T_{\text{и}} = 1,8 d^2 + 0,02 a^2 \text{ (но не более } 2,5 d^2 \text{) (кН)}$$
$$\text{или } T_{\text{и}} = 180 d^2 + 2 a^2 \text{ (но не более } 250 d^2 \text{) (кгс).}$$

Кратковременную расчетную нагрузку $P_{\text{кр}}^T$ на образец подсчитывают по формуле (8).

2.4. Экспериментальная часть

Экспериментальную часть работы выполняют в той же последовательности, что и в лабораторной работе № 1 (п. 1.4).

2.5. Обработка и анализ результатов испытания

Обработку и анализ результатов испытания соединения на цилиндрических нагелях выполняют в той же последовательности, что и в п. 1.5 лабораторной работы № 1.

2.6. Оформление отчета

Общие правила оформления отчета (п. 1.2 разд. I) касаются и лабораторной работы № 2. Однако в ней необходимо произвести более тщательный анализ результатов испытаний, сравнив их с результатами лабораторных работ № 1 и 3 (табл. 2).

При анализе результатов испытания надо обратить внимание не только на простое увеличение прочности образца с повышением жесткости соединения, но и дать оценку работы каждого из видов соединений по всем показателям, представленным в табл. 2, а также объяснить характер разрушения каждого вида соединения.

Следует также уделить должное внимание характеру деформирования древесины в нагельном гнезде по длине нагеля и зависимости деформаций сдвига (податливости) от диаметра связей (нагеля, гвоздя).

Т а б л и ц а 2

Результаты испытания образцов различных соединений
(лабораторные работы № 1, 2, 3)

| Вид соединений | Расчётная несущая способность образца P^T , кН | Кратковременная несущая способность образца $P_{кр}^T$, кН | Разрушающая нагрузка $P_{разр}$, кН | Коэффициент запаса | | Деформации сдвига в швах при нагрузке $P_{кр}^T$ | | Модуль деформации рабочих связей $\frac{P_{кр}^T}{\delta_{изм}}$, МН/мм |
|-------------------------------------|--|---|--------------------------------------|---|---|--|--|--|
| | | | | длительный $K_1 = \frac{P_{разр}}{P^T}$ | кратковременный $K_2 = \frac{P_{разр}}{P_{кр}^T}$ | полная $\delta_{изм}$, мм | относительная $\frac{\delta_{изм}}{\Delta_{расч}}$ | |
| На гвоздях На нагелях На клею | | | | | | | | |

2.7. Компьютерная поддержка работы

Данная компьютерная поддержка аналогична указанной в п. 1.7 и может быть продемонстрирована как до проведения лабораторной работы, так и после ее завершения, т.е. выполнения теоретической и экспериментальной части работы.

Цель и структура демонстрационного материала на экране монитора такие же, как и в лабораторной работе № 1, описанные в п. 1.7, при испытании гвоздевого соединения, поскольку работа нагельного соединения очень близка к работе гвоздевого.

На рис. 8 и 9 представлены стационарные положения образца при определенных нагрузках, показывающих такие явления в его работе, как изгиб нагеля, смятие древесины, характер эпюр нормальных напряжений. На экране монитора все эти явления изображены в динамике, т.е. в движении с изменяющейся нагрузкой.

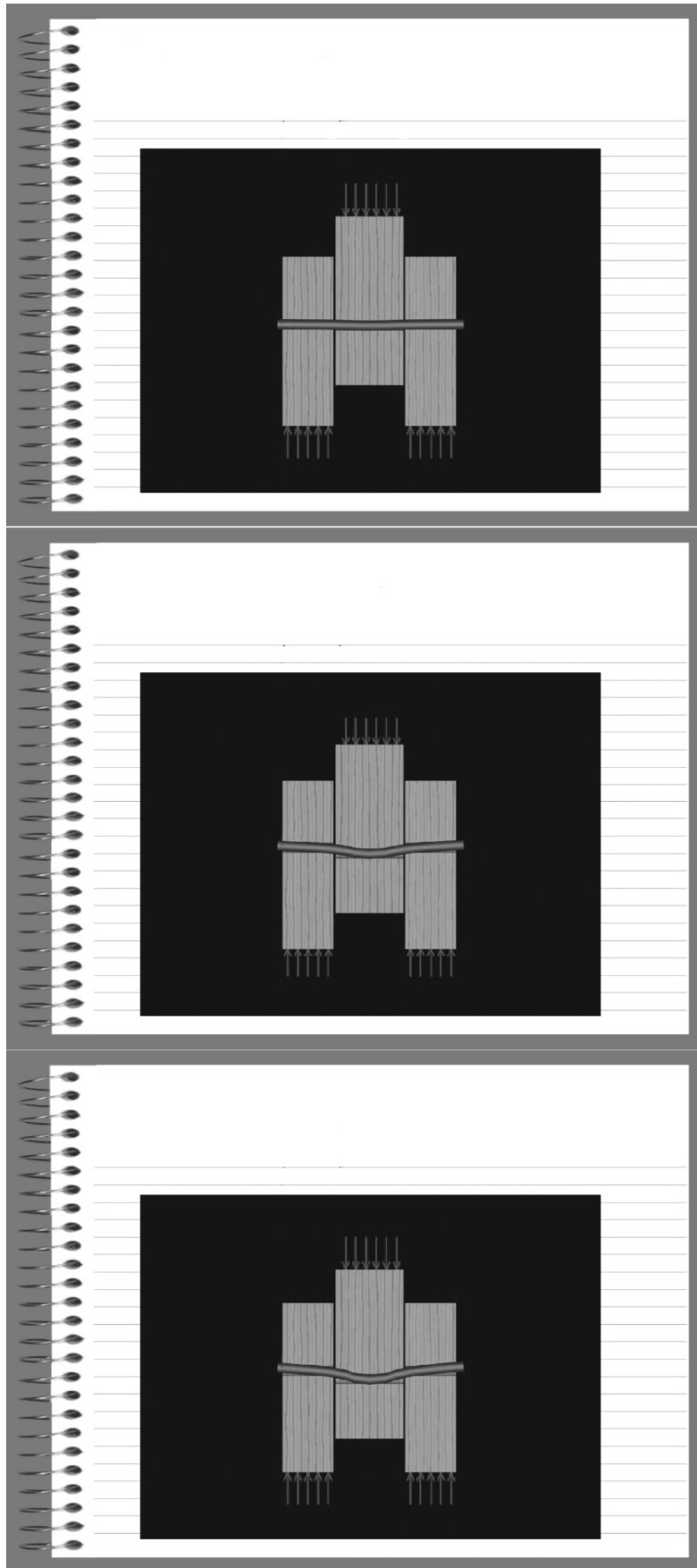


Рис. 8. Работа нагеля на изгиб при разных уровнях нагрузки

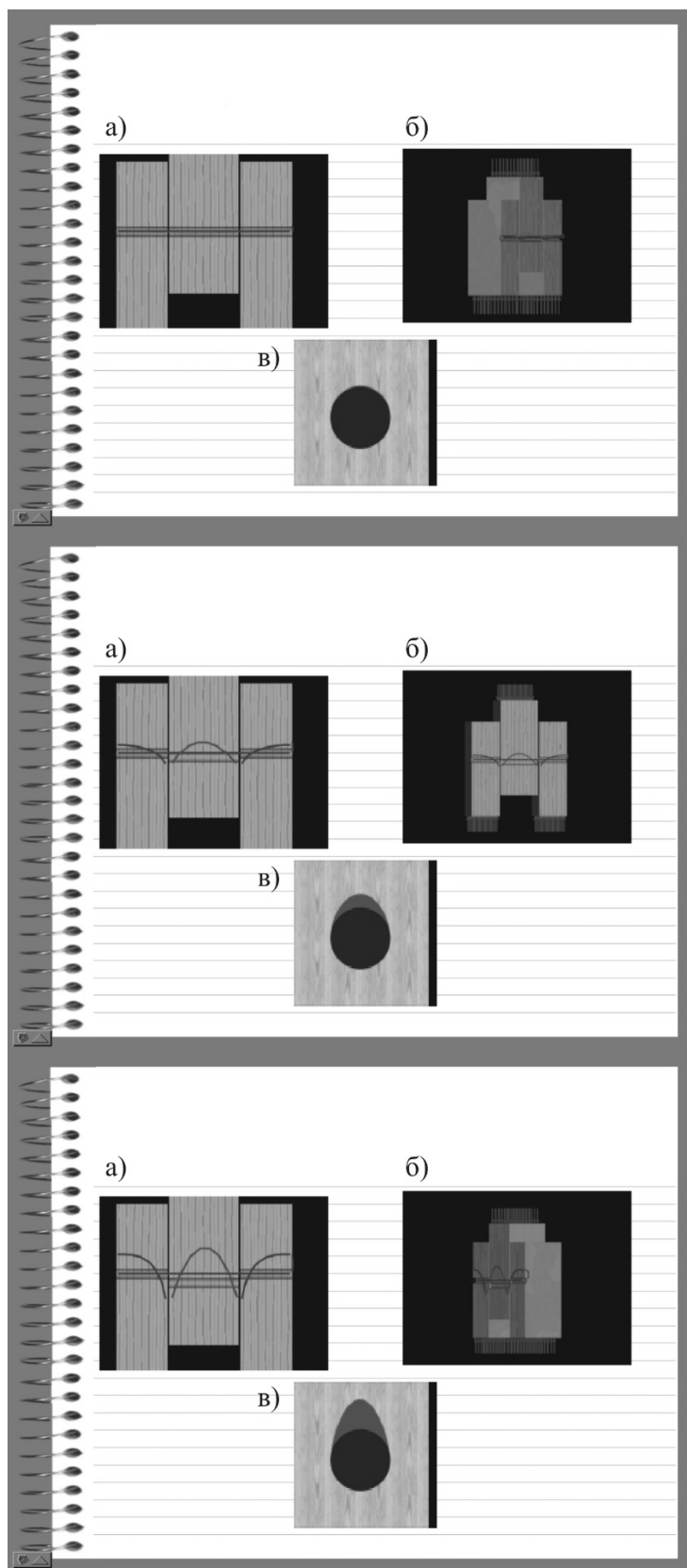


Рис. 9. Напряженное состояние элементов нагельного соединения при разных значениях нагрузки:
 а – по толщине образца; б – по толщине образца в аксонометрическом изображении; в – по ширине образца

Контрольные вопросы

1. На что работает нагель?
2. На что работает древесина в нагельном соединении?
3. Из какого материала могут быть сделаны цилиндрические нагели?
4. Как определить расчетное число срезов нагеля?
5. Какие виды соединений на нагелях называются симметричными, какие – несимметричными?
6. Каковы должны быть расстояния между осями нагелей в продольном и поперечном направлениях (требования СНиП II-25–80)?
7. Как определяется несущая способность одного среза нагеля и всего нагеля?
8. Что относится к опасным видам работы нагельного соединения? Как это учитывается при подсчете несущей способности соединения?
9. Как сказывается направление усилий к волокнам древесины на несущую способность нагеля? Как это учитывается в расчетах?
10. Как экспериментально определяется деформация сдвига в нагельном соединении?
11. Для чего в лабораторной работе используются индикаторы часового типа?
12. Как определяется расчетная нагрузка на образец?
13. Как строится график зависимости деформации соединения от нагрузки?
14. Что такое коэффициент безопасности?
15. Что такое разрушающая нагрузка?

Лабораторная работа № 3 Испытание соединения на клею

Л и т е р а т у р а :

1. СНиП II-25–80. Деревянные конструкции: Нормы проектирования. – М., 1982. Пп. 5.2; 5.3; 5.4; 5.7.

2. Конструкции из дерева и пластмасс. Э.В. Филимонов, Л.К. Ермоленко, М.М. Гапоев и др. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 440 с. Гл. 3.4, §§ 3.4.2, 3.4.3.

Ц е л ь р а б о т ы : изучить характер работы соединения на клею; подсчитать расчетную нагрузку P^T соединения по действующим нормам; экспериментально подтвердить монолитность клеевого соединения путем фиксирования отсутствия сдвигов элементов вдоль клеевого шва; произвести сравнительный анализ напряженно-деформированного состояния стыков, работающих на сдвиг, с учетом результатов лабораторных работ № 1, 2 и 3; определить разрушающую нагрузку $P_{разр}$ и подсчитать коэффициент безопасности по формуле

$$K = \frac{P_{разр}}{P_{кр}^T}.$$

3.1. Эскиз и размеры образца

Для удобства сравнения результатов испытаний различных видов соединений форма и размеры образца принимаются такими же, как и в лабораторной работе № 2 (рис. 10).

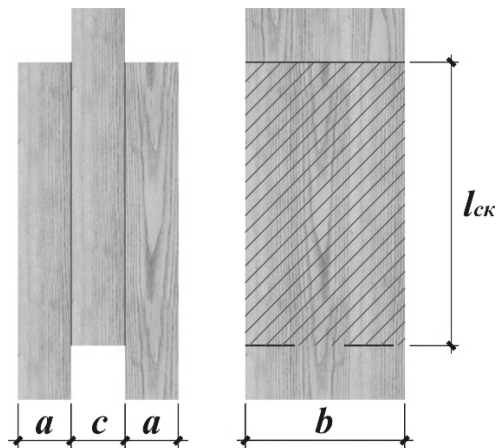


Рис. 10. Общий вид образца

Соединение трех деревянных элементов осуществляют клеем, марку которого указывает преподаватель.

Основные размеры образца записывают по результатам натурного обмера:

- толщина крайнего элемента a ;
- толщина среднего элемента c ;
- толщина пакета b ;
- длина скалывания $l_{ск}$;

- эксцентриситет $e = \frac{a}{2} + \frac{c}{4}$.

3.2. Схемы приложения нагрузки и расстановки приборов

Образец испытывают на сжатие на машине ГРМ-1 или на другой машине с силоизмерителем до 10 т. Схема приложения нагрузки на образец показана на рис. 11.

Для того чтобы убедиться в отсутствии сдвигов, в швах соединения так же, как и в соединении на гвоздях, ставят два индикатора часового типа с ценой деления $K_{и} = 0,01$ мм. Схема их расстановки показана на рис. 11.

Индикаторы желательнее располагать ближе к середине длины $l_{ск}$, поскольку в краевых зонах этой длины может сказаться влияние местных напряжений на измеряемые деформации.

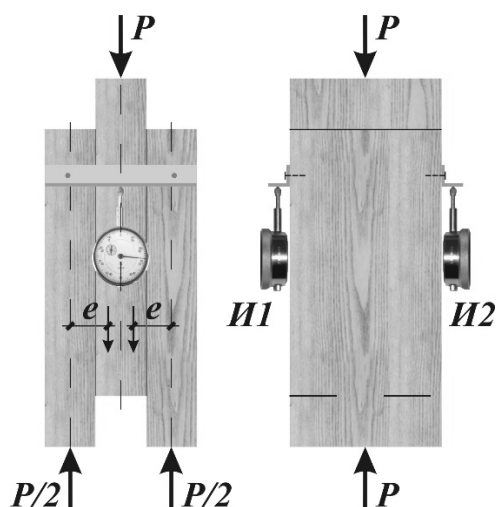


Рис. 11. Схема приложения нагрузки на образец и расстановки приборов

3.3. Определение расчетной нагрузки на образец

Расчетную нагрузку P^T на образец подсчитывают с учетом условия прочности древесины на скалывание, так как прочность клеевого шва согласно требованиям к клеям должна быть не ниже прочности древесины на скалывание. При этом необходимо учесть неравномерность распределения скалывающих напряжений по длине $l_{ск}$ (см. рис. 10). С этой целью несущую способность соединения подсчитывают, исходя из среднего по площадке сдвига расчетного сопротивления древесины скалыванию:

$$R_{ск}^{cp} = \frac{R_{ск}}{1 + \beta \frac{l_{ск}}{e}}, \quad (9)$$

где $R_{ск}$ – расчетное сопротивление древесины скалыванию;

$l_{ск}$ – длина плоскости скалывания;

e – плечо сил скалывания, равное $a/2 + c/4$;

β – коэффициент, принимаемый равным 0,125, при расчете на скалывание элементов с промежуточным (по отношению к местам приложения сил скалывания) расположением площадки скалывания.

Из условия полного использования несущей способности образца на скалывание находят расчетную нагрузку

$$P^T = A \cdot R_{ск}^{cp} \quad (10)$$

где A – площадь скалывания ($A = 2l_{ск} b$).

Кратковременная расчетная нагрузка $P_{кр}^T$ на образец, соответствующая продолжительности действия нагрузки при испытании образца, равна:

$$P_{кр}^T = \frac{P^T}{K_{дл}} = \frac{P^T}{0,66}.$$

3.4. Экспериментальная часть

Экспериментальную часть работы выполняют в той же последовательности, что и в лабораторной работе № 1 (п. 1.4). Однако при проведении эксперимента необходимо иметь в виду, что, приложив нагрузку на образец в несколько этапов (3 – 4) и убедившись в отсутствии деформаций сдвига вдоль клеевых швов, дальнейшее нагружение образца можно осуществлять при снятых приборах плавным приложением этой нагрузки вплоть до самого разрушения образца (при этом следует фиксировать лишь разрушающую нагрузку $P_{разр}$).

3.5. Обработка и анализ результатов испытания

По результатам обработанных данных (см. табл. 4) делают вывод об отсутствии или практической незначительности деформаций сдвига вдоль швов соединяемых элементов, что свидетельствует о монолитности соединения. На диаграмме "нагрузка P – деформация δ " это фиксируют более крутой ломаной линией, идущей вдоль ординаты P .

Разрушающую нагрузку $P_{разр}$ сравнивают с расчетной кратковременной нагрузкой $P_{кр}^T$, после чего вычисляют коэффициент безопасности по формуле

$$K = \frac{P_{разр}}{P_{кр}^T}.$$

Затем проводят сравнение фактической несущей способности и деформативности образцов соединений на гвоздях и на клею (то есть результатов лабораторных работ № 1 и 3), записывают характер разрушения образца, указывают площади разрушения по клею и древесине и оценивают качество клеевого шва (степень "непроклея").

3.6. Оформление отчета

Отчет о проделанной работе оформляют согласно требованиям, представленным в п. 1.2 разд. I.

Контрольные вопросы

1. Что такое клей?
2. Назовите основные требования к клеям, применяемым в несущих строительных конструкциях?
3. Какие требования по прочности предъявляются к клеям, используемым в клееных деревянных конструкциях?
4. Что такое адгезия и когезия клеевой композиции?
5. Какие клеи следует применять в несущих конструкциях?
6. Какие виды клеевых соединений применяются для сращивания досок?
7. Какие ограничения в размерах по ширине и толщине досок используют при изготовлении клеенощитых конструкций?
8. Какая максимальная влажность древесины допускается при склеивании досок?
9. Какое давление создают при опрессовке склеиваемых досок?
10. Как определяются несущая способность клеевого соединения?
11. Как определяется расчетная нагрузка на испытываемый образец?
12. Для чего в лабораторной работе используются индикаторы часового типа?
13. Что такое коэффициент безопасности?
14. Что такое разрушающая нагрузка?
15. Почему при расчете клеевых стыковых соединений вводится среднее расчетное сопротивление древесины скалыванию?
16. Что такое плечо сил скалывания? Как оно подсчитывается?
17. Как определяется площадь скалывания?
18. От чего зависит коэффициент β в формуле подсчета $R_{ск}^{cp}$?
19. Что такое жесткость клеевого шва?
20. Почему клеевые соединения считаются монолитными?
21. В чем преимущество монолитного соединения перед податливым (например, гвоздевым)?
22. Дайте отличительную оценку работы стыков клееного и на гвоздях?
23. Есть ли экономический эффект применения клеевых соединений по сравнению с нагельным? В чем он выражается?

СОСТАВНЫЕ СТЕРЖНИ, РАБОТАЮЩИЕ НА ПОПЕРЕЧНЫЙ ИЗГИБ

Составные деревянные балки относятся к наиболее распространенным видам деревянных конструкций. Для соединения элементов в балках использовались ранее и используются сейчас различные виды механических связей (гвозди, нагели, шпонки нагельные пластины и др.) и клеи. В связи с этим балки имеют названия: дощатогвоздевые, на пластинчатых нагелях, на шпонах, клееные и т.п. Для сравнения работы балок под нагрузкой может быть взята еще балка целого сечения или составная балка без каких-либо связей.

Учитывая особую стесненность и ограниченные материальные возможности в проведении лабораторных работ, эксперименты проводят не на реальных конструкциях балок, а на их моделях, т.е. на уменьшенных (в масштабном коэффициенте) размерах этих балок. При этом проводимые лабораторные испытания должны дать возможность оценить особенности работы балочных составных конструкций.

К особенностям работы предлагаемых к испытанию моделей конструкций можно отнести следующие:

- степень монолитности клееных балок и ее влияние на прочность и жесткость балок;
- влияние формы поперечных сечений клееных балок (прямоугольное, двутавровое) на их несущую способность и экономичность;
- влияние армирования на несущую способность и экономические показатели балок;
- определение степени податливости соединения и оценка ее влияния на несущую способность и жесткость составной балки на пластинчатых нагелях;
- оценка степени деформативности балок различного конструктивного исполнения;
- характер разрушения балки и оценка его с учетом теоретических нормативных положений и расчетов.

Это основные предпосылки и особенности работы составных балок, которые учитываются в поставленных целях проводимых работ. Для их достижения методика проведения работ предусматривает экспериментальное и теоретическое изучение таких важных характеристик работы балок, как величина и характер распределения напряжений и прогибов, зависимость их от внешней нагрузки, податливости соединений, ее влияние и др. Для получения экспериментальных величин этих характеристик в работе указаны типы приборов и схема их установки, а для теоретических вычислений даны формулы с учетом особенностей расчета конструкций, изложенных в СНиП II-25-80.

Несущая способность составной балки при изгибе по нормальным напряжениям определяется как

$$[M] = R_{и} \cdot W_{расч}, \quad (11)$$

где $R_{и}$ – расчетное сопротивление древесины изгибу;

$W_{расч}$ – расчетный момент сопротивления поперечного сечения.

К особенностям работы предлагаемых для испытания балок относится прежде всего подсчет величины $W_{расч}$.

Расчетное сопротивление $W_{расч}$ следует определять по формулам:

- для клееных балок прямоугольного сечения (размером $b \times h$)

$$W_{расч} = W_{ц} = \frac{b \cdot h^2}{6}; \quad (12)$$

- для клееных балок двутаврового сечения

$$W_{расч} = m_{ф} \cdot W_{ц} = m_{ф} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6}, \quad (13)$$

где $m_{ф}$ – коэффициент, учитывающий форму сечения, принимается по табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Коэффициент $m_{ф}$

| $b_{ст} / b_n$ | 1/2 | 1/3 | 1/4 |
|----------------|-----|-----|------|
| $m_{ф}$ | 0,9 | 0,8 | 0,75 |

- для клееных армированных балок

$$W_{расч} = W_{пр} = \frac{2J_{пр}}{h}, \quad (14)$$

где $J_{пр} = J_{др} + \frac{E_a}{E_{др}} J_a$ – приведенный момент инерции армированного сечения

- для составной балки на податливых связях

$$W_{расч} = k_w \cdot W_{ц} = k_w \cdot \frac{b \cdot h^2}{6}, \quad (15)$$

где k_w – коэффициент снижения $W_{расч}$ за счет податливости связей, находится по табл. 4.

Т а б л и ц а 4

Значения коэффициентов k_w и $k_{ж}$

| Обозначения | Число слоев в элементе | Значения k_w и $k_{ж}$ при пролетах | | | |
|-------------|------------------------|---------------------------------------|------|------|-----------|
| | | 2 | 4 | 6 | 9 и более |
| k_w | 2 | 0,7 | 0,85 | 0,90 | 0,90 |
| | 3 | 0,6 | 0,80 | 0,85 | 0,90 |
| | 10 | 0,4 | 0,70 | 0,80 | 0,85 |
| $k_{ж}$ | 2 | 0,45 | 0,65 | 0,75 | 0,80 |
| | 3 | 0,25 | 0,50 | 0,60 | 0,70 |
| | 10 | 0,07 | 0,20 | 0,30 | 0,40 |

Как видно из приводимых формул, величина расчетного момента сопротивления для различных конструкций балок отличается довольно существенно, поэтому и несущая способность их при прочих одинаковых условиях будет различной. Этот фактор должен подтвердиться результатами эксперимента.

Жесткость балок определяется величиной, равной

$$D = E \cdot J_{\text{расч}}, \quad (16)$$

где E – модуль упругости древесины;

$J_{\text{расч}}$ – расчетный момент инерции поперечного сечения балки.

Так же, как и $W_{\text{расч}}$, расчетный момент инерции для каждой балки определяется по-разному, а именно:

- для клееной балки прямоугольного и двутаврового сечения постоянной высоты

$$J_{\text{расч}} = J_{\text{пр}} = \frac{b \cdot h^3}{12}; \quad (17)$$

- для клееной армированной балки

$$J_{\text{расч}} = J_{\text{пр}} = J_{\text{др}} + \frac{E_a}{E_{\text{др}}} \cdot J_a; \quad (18)$$

- для составной балки на податливых связях

$$J_{\text{расч}} = k_{\text{ж}} \cdot J_{\text{ц}}, \quad (19)$$

где $k_{\text{ж}}$ – коэффициент жесткости (см. табл. 4).

Величина модуля упругости древесины балки при подсчете теоретической величины прогиба может быть принята в первом приближении по СНиП II-25–80, т.е. $E = 10^4$ МПа, с уточнением по времени действия нагрузки (поделенной на временно-деформационный коэффициент $n_{\text{вр}}$).

При подсчете фактических напряжений по измеренным в процессе эксперимента относительным деформациям ($\sigma = E \cdot \varepsilon$) рекомендуется пользоваться величиной модуля упругости $E = E_{\text{эксп}}$, полученной из формулы экспериментального прогиба балки

$$f = \frac{1}{48} \cdot \frac{P \cdot \ell^3}{E \cdot J_{\text{расч}}} = f_{\text{эксп}}, \quad (20)$$

откуда

$$E_{\text{эксп}} = \frac{P \cdot \ell^3}{48 \cdot J_{\text{расч}} \cdot f_{\text{эксп}}}, \quad (21)$$

где $f_{\text{эксп}}$ – фактический прогиб балки при нагрузке, равной P .

Лабораторная работа №4 Испытание модели клееной балки

Л и т е р а т у р а :

1. СНиП II-25–80. Деревянные конструкции: Нормы проектирования. – М., 1982. Пп. 4.9; 4.10; 4.32; 4.33; 6.19.
2. Конструкции из дерева и пластмасс. Э.В. Филимонов, Л.К. Ермоленко, М.М. Гапоев и др. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 440 с. Гл. 5,3, § 5.3.2.
3. Руководство по проектированию клееных деревянных конструкций. – М., 1977. Пп. 4.2; 6.1; 6.2; 6.5; 6.6.

Ц е л ь р а б о т ы : изучить характер работы клееной балки под нагрузкой; определить расчетную нагрузку P^T , при которой клееная балка достигает предельного состояния, и произвести подсчет прогиба балки при условной нормативной нагрузке

$$P^H = \frac{P^T}{1,2}$$

(где 1,2 – условный коэффициент надежности по нагрузке); выявить зависимость прогиба f балки от нагрузки P и подсчитать фактическую величину модуля упругости древесины балки; установить характер распределения нормальных напряжений по высоте поперечного сечения балки и сравнить его с теоретическим; определить разрушающую нагрузку $P_{\text{разр}}$ для балки и подсчитать коэффициент безопасности по формуле

$$K = \frac{P_{\text{разр}}}{P_{\text{кр}}^T}.$$

4.1. Эскиз и размеры образца

Испытанию подлежит балка прямоугольного поперечного сечения (рис. 13), склеенная из трех брусков размером $b \times \delta = 6 \times 2$ см.* Влажность древесины брусков не превышает 15 %.

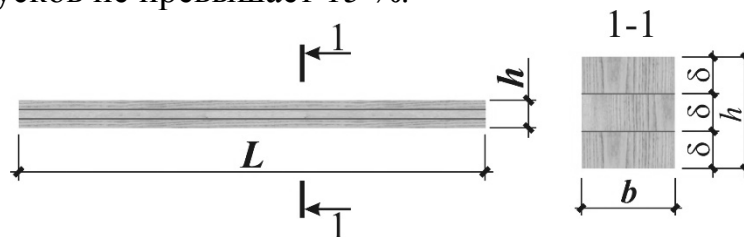


Рис. 13. Общий вид образца балки

Основные размеры балки записывают по результатам натурального обмера:

- ширина b ;

* Размеры поперечного сечения брусков и их количество в сечении балки принимают одинаковыми для лабораторных работ 4, 5, 6,.

- высота h ;
- общая длина L ;
- расчетный пролет l_p ;

а затем подсчитывают геометрические характеристики поперечного сечения:

- площадь сечения $A = b \cdot h$;
- момент инерции $J = \frac{bh^3}{12}$;
- момент сопротивления $W = \frac{bh^2}{6}$;
- статический момент полусечения $S = \frac{bh^2}{8}$;
- статический момент верхнего бруска $S_1 = b \cdot \delta \left(\frac{h}{2} - \frac{\delta}{2} \right)$.

4.2. Схемы приложения нагрузки и расстановки приборов

Испытание балок производят на машине ГРМ-1 с предельной нагрузкой на силоизмерителе (рис. 14), равной 100 кН (шкала А), или на универсальной машине УММ-5.

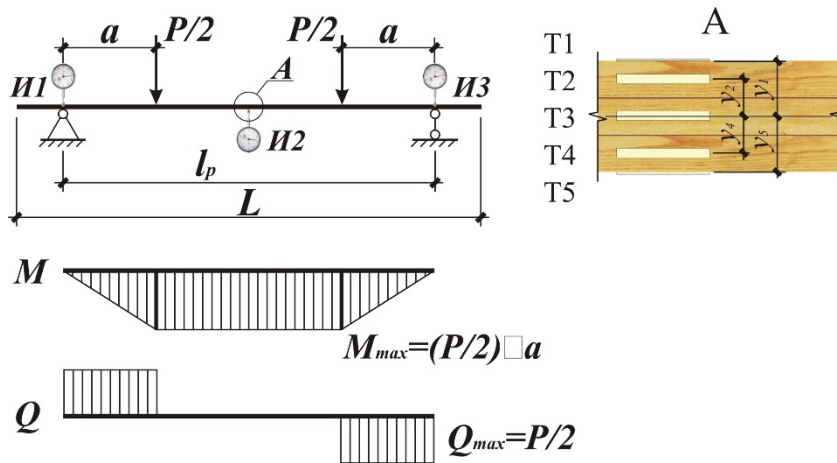


Рис. 14. Схема нагружения балки (а) и расстановки приборов (б):
 П – прогибомеры; Т – тензомеры (тензодатчики)

В процессе испытания балки измеряют прогибы в середине пролета и деформации продольных волокон в поперечном сечении, отстоящем на расстоянии $a = l/2$ от одной из опор. Для измерения прогибов балки ставят три индикатора часового типа с ценой деления $K_{и} = 0,01$ мм. Осадки опор измеряют индикаторами П-1 и П-3, а прогиб балки в середине пролета с учетом осадки опор – индикатором П-2.

Продольные деформации балки определяют проволоочными тензодатчиками. По высоте балки ставят пять тензодатчиков: датчик Т-3 на продольной оси балки, датчики Т-1 и Т-5 – на максимально возможном

удалении от продольной оси, остальные датчики – в промежутках между указанными датчиками.

4.3. Определение расчетной нагрузки P^T , подсчет прогибов и напряжений

Для принятой схемы нагружения максимальный изгибающий момент и максимальную поперечную силу определяют по формулам:

$$M = \frac{P \cdot \ell_p}{6} = 20P,$$

$$Q = \frac{P}{2} = 0,5P,$$

где $\ell_p = 120$ см – расчетный пролет балки.

Расчетную нагрузку P^T подсчитывают по минимальной несущей способности балки с учетом:

– прочности балки по нормальным напряжениям

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{20P}{W} \leq m_{\text{сл}} \cdot R_u$$

откуда при $P = P^T$ получим

$$P^T = \frac{R_u \cdot m_{\text{сл}} \cdot W}{20}; \quad (22)$$

– прочности балки по скалывающим напряжениям

$$\tau = \frac{Q \cdot S}{J \cdot b} = \frac{0,5 \cdot P \cdot S}{J \cdot b} \leq m_{\text{сл}} \cdot R_{\text{ск}},$$

откуда при $P = P^T$ получим

$$P^T = \frac{m_{\text{сл}} \cdot R_{\text{ск}} \cdot J \cdot b}{0,5 \cdot S}; \quad (23)$$

где b – ширина сечения;

$R_{\text{ск}}$ – расчетное сопротивление древесины скалыванию, принимаемое по СНиП II-25–80, п. 5 б, табл.3 (для клееной древесины);

$m_{\text{сл}}$ – коэффициент, учитывающий толщину слоя δ . Окончательно за расчетную нагрузку принимают наименьшую величину, подсчитанную с учетом вышеназванных условий.

С целью сравнения разрушающей нагрузки, полученной в результате кратковременных машинных испытаний, с теоретической расчетной нагрузкой P^T , необходимо подсчитать кратковременную расчетную нагрузку

$$P_{кр}^T = \frac{P^T}{K_{дл}}, \quad (24)$$

где $K_{дл}$ – наиболее вероятное значение коэффициента длительности для древесины при действии постоянных и временных нагрузок ($K_{дл} = 0,66$).

Теоретическое значение максимального прогиба для принятой схемы нагружения балки подсчитывают по формуле:

$$f = 0,0178 \frac{\ell_p^3}{J} \cdot \frac{P^*}{f^*}. \quad (25)$$

Из формулы (25) на основе экспериментальной зависимости "прогиб f – нагрузка P " можно получить действительное (с некоторым приближением, так как в формуле (25) не учитывается влияние сил Q) значение модуля упругости древесины для конкретного образца:

$$E^* = 0,0178 \frac{P \cdot \ell_p^3}{J} \cdot \frac{P^*}{f^*}, \quad (26)$$

где P^* – нагрузка, действующая на балку;
 f^* – прогиб балки при нагрузке, равной P^* .

Теоретическое значение относительного прогиба балки при действии нормативной нагрузки

$$\frac{f}{\ell_p} = 0,0178 \frac{P \cdot \ell_p^2}{\gamma_f \cdot E \cdot J}, \quad (27)$$

где γ_f – условный коэффициент надежности ($\gamma_f = 1,2$);

E – модуль упругости древесины вдоль волокон, принимаемый, согласно СНиП II-25–80, равным 10000 МПа.

В формуле (27) дополнительную поправку на время действия нагрузки делать не следует, так как нагрузку, действующую на балку P , и модуль упругости древесины вдоль волокон E принимают с учетом длительности действия нагрузки.

Полученную по формуле (27) величину сравнивают с предельным отношением прогиба к пролету:

$$[f/l] = 1^*/300.$$

* Принята согласно СНиП II-25–80, табл.16 (как для балок покрытия).

Изгибающий момент балки в месте постановки тензодатчиков при действии расчетной нагрузки P^T равняется:

$$M = \frac{P^T \cdot \ell_p}{6}.$$

Теоретические значения нормальных напряжений в поперечном сечении на уровне постановки равны:

– тензодатчика Т-1

$$\sigma_1 = -\frac{M}{J} y_1;$$

– тензодатчика Т-2

$$\sigma_2 = -\frac{M}{J} y_2;$$

– тензодатчика Т-3

$$\sigma_3 = 0; \tag{28}$$

– тензодатчика Т-4

$$\sigma_4 = \frac{M}{J} y_4;$$

– тензодатчика Т-5

$$\sigma_5 = \frac{M}{J} y_5.$$

По формулам (28) вычисляют значения нормальных напряжений σ_1 , σ_2 , σ_4 , σ_5 .

4.4. Экспериментальная часть

Балку устанавливают на опоры испытательной машины ГРМ-1 и нагружают через распределительную траверсу сосредоточенной силой в середине пролета. С целью более полного включения всех приборов, проверки их работы и исключения обмятий балки в местах приложения сосредоточенных сил нагружение балки производят два раза.

Первое нагружение балки осуществляют от нулевой нагрузки до нагрузки, равной теоретической расчетной нагрузке P^T (при этом снимают отсчеты по приборам до и после нагружения образца). Затем производят разгрузку до нуля, снимают отсчеты по приборам и создают второе нагружение балки. При втором нагружении балки нагрузку прикладывают поэтапно. Нагрузку на каждом этапе принимают равной $\approx 0,2 P^T$.

На каждом из этих этапов снимают отсчеты по индикаторам и по тензодатчикам и записывают их в журнал по форме табл. 5 и 6.

Если для измерения деформаций используются тензометры, то при нагрузке, равной расчетной P^T , тензометры убирают и продолжают испытание балки до разрушения образца. Перед разрушением балки, то есть при нагрузке $P = 2P^T$, снимают индикаторы во избежание их поломки.

Зафиксированное значение разрушающей нагрузки $P_{\text{разр}}$ заносят в журнал по форме табл.8.

4.5. Обработка и анализ результатов испытания

Результаты измерения прогибов балки на каждом этапе нагрузки, занесенные в журнал по форме табл.8, обрабатывают. На основании этих данных строят график зависимости "нагрузка P – деформация f " (рис. 15).

По этому графику определяют отношение P^*/f^* и, пользуясь формулой (26), вычисляют модуль упругости для древесины балки. Затем находят прогиб балки, соответствующий условной нормативной нагрузке, равной

$$P^H = \frac{P^T}{1,2}.$$

Подсчитав относительную величину f/l_p , сравнивают ее с предельно допустимой величиной, равной $\left[\frac{1}{300} \right] l_p$.

При обработке журнала (см. табл. 9) сначала подсчитывают средние величины приращения отсчетов $\Delta C_{\text{ср}i}$ за два нагружения балки расчетной нагрузкой P^T . Затем определяют средние значения относительных деформаций по формулам:

$$\varepsilon_i = \frac{\Delta C_{\text{ср}i}}{B} K_T = 5 \cdot 10^{-5} \Delta C_{\text{ср}i} \text{ – при измерении деформации тензометрами;}$$

$$\varepsilon_i = \sum \Delta C_i \cdot K_{\text{тр}} = \sum \Delta C_i \cdot 10^{-5} \text{ – при измерении деформации тензодатчиками,}$$

где B – база тензометра ($B = 20$ мм);

K_T – цена деления тензометра ($K_T = 0,001$ мм);

$K_{\text{тр}}$ – цена деления измерителя деформаций ($K_{\text{тр}} = 10^{-5}$).

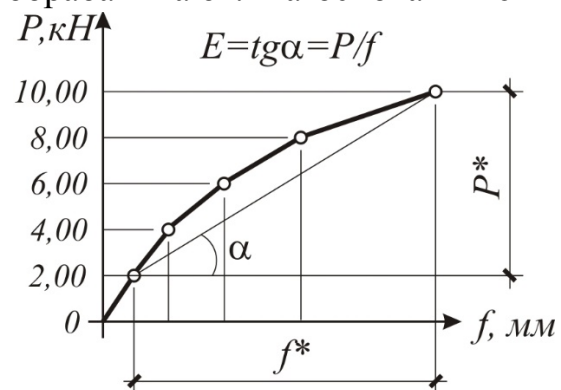


Рис. 15. Нарастание прогибов балки в зависимости от нагрузки

С учетом модуля упругости E^* , подсчитанного по формуле (26), и значения относительных деформаций, которые получены при испытании образца, по закону Гука, выраженному формулой $\sigma = E^* \varepsilon$, вычисляют экспериментальные величины σ_3 ; затем строят графики распределения нормальных напряжений σ_3 по высоте сечения балки (рис. 16) и сравнивают полученные из опыта напряжения с теоретическими, определенными по формулам (28).

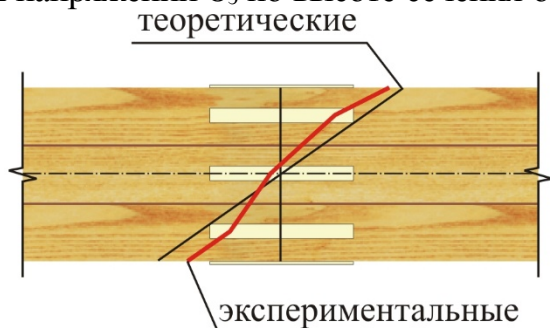


Рис. 16. Распределение нормальных напряжений по высоте сечения балки

По найденной расчетной нагрузке находят коэффициент безопасности K и дают оценку полученному значению этого коэффициента, а также характеру разрушения балки.

4.6. Оформление отчета

Отчет о проделанной работе оформляют согласно требованиям, представленным в п. 1.2 разд. I.

Контрольные вопросы

1. Что такое клей?
2. Назовите основные требования к клеям, применяемым в несущих строительных конструкциях?
3. Какие клеи следует применять в несущих конструкциях?
4. Какие виды соединений применяются для склеивания досок?
5. Какие размеры по ширине и толщине досок рекомендуются при изготовлении клеенощитых конструкций?
6. Какая максимальная влажность древесины допускается при склеивании досок?
7. Почему ограничиваются размеры досок и влажность древесины при изготовлении клеенощитых конструкций?
8. Как определяется несущая способность клеенощитой балки?
9. Как определяются теоретические значения напряжений в поперечном сечении балки?
10. Для чего в лабораторной работе используется индикатор часового типа?
11. Для чего в лабораторной работе используются тензодатчики?
12. Что такое коэффициент безопасности?
13. Что такое разрушающая нагрузка?
14. Почему нагрузка на образец прикладывается в виде двух сосредоточенных сил?
15. Как определяются экспериментальные значения напряжений в поперечном сечении балки?

Лабораторная работа № 5

Испытание модели двутавровой клееной балки

Л и т е р а т у р а:

1. СНиП II-25–80. Деревянные конструкции: Нормы проектирования. — М., 1982. Пп. 4.9; 4.10; 4.32; 4.33; 6.19.
2. Конструкции из дерева и пластмасс. Э.В. Филимонов, Л.К. Ермоленко, М.М. Гапоев и др. — М.: Изд-во АСВ, 2004. — 440 с. Гл. 5.3, § 5.3.2.
3. Руководство по проектированию клееных деревянных конструкций. — М., 1977. Пп. 4.2; 6.1; 6.2; 6.5; 6.6.

Ц е л ь р а б о т ы : изучить характер работы клееной деревянной балки двутаврового поперечного сечения; выявить эффективность рациональных форм поперечных сечений клееных балок путем сравнения результатов испытания балок прямоугольного (см. лабораторную работу № 4) и двутаврового поперечных сечений.

5.1. Эскиз и размеры образца

С целью выявления рациональности формы поперечного сечения образец (рис. 17) выполняют из таких же трех брусков, что и в лабораторной работе № 4 (только средний брусок здесь поставлен на ребро). Это позволяет более обстоятельно сравнивать работу двух балок, так как они равновелики и по объему расходуемой древесины, и по площади поперечного сечения.

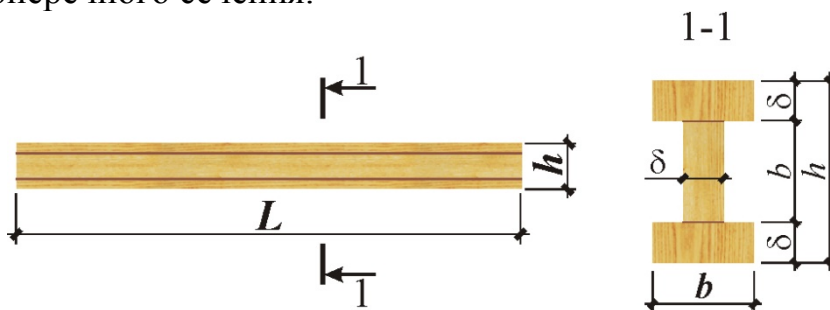


Рис. 17. Общий вид образца балки

Основные размеры балки записывают по результатам натурного обмера:

- ширина b ;
- высота h ;
- общая длина L ;
- расчетный пролет l_p ;

а затем подсчитывают геометрические характеристики поперечного сечения:

- площадь A ;
- момент инерции J ;
- момент сопротивления W ;

- статический момент полусечения S ;
- статический момент верхнего бруска S_1 .

Испытание двутавровой балки осуществляют по методике, описанной в лабораторной работе № 5.

5.2. Схемы нагружения балки и расстановки приборов

Схемы приложения нагрузки и расстановки приборов описаны в подразд. 4.2 лабораторной работы № 4.

5.3. Определение расчетной нагрузки P^T на образец

Определение расчетной нагрузки P^T осуществляют в той же последовательности, что и в подразд. 4.3 лабораторной работы № 4.

5.4. Экспериментальная часть

Экспериментальную часть работы выполняют в той же последовательности, что и в подразд. 4.4 лабораторной работы № 4.

5.5. Обработка и анализ результатов испытания

По результатам испытания дают сравнительную оценку клееных балок прямоугольного и двутаврового поперечных сечений (табл. 7).

Т а б л и ц а 7

Результаты испытаний балок различных конструкций

| № п/п | Пролёт l , см | Площадь поперечного сечения F , см ² | Момент инерции J , см ⁴ | Прогиб при нагрузке P^H , мм | | Максимальные нормальные напряжения σ при нагрузке P^T , МПа | | Расчётная нагрузка P^T , кН | Разрушающая нагрузка $P_{разр}$, кН | Коэффициент запаса k | Отношение $\frac{P^I_{разр}}{P^II_{разр}}$ |
|-------|-----------------|---|--------------------------------------|--------------------------------|-------------------|--|-------------------|-------------------------------|--------------------------------------|------------------------|--|
| | | | | теоретический | экспериментальный | теоретическое | экспериментальное | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1 | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | |

5.6. Оформление отчета

Отчет о проделанной работе оформляют согласно требованиям, представленным в п. 1.2 разд. I.

Контрольные вопросы

1. Что такое клей?
2. Назовите основные требования к клеям, применяемым в несущих строительных конструкциях?
3. Какие клеи следует применять в несущих конструкциях?
4. Что вызывает внутренние напряжения в клеевых швах?
5. Какие размеры по ширине и толщине досок рекомендуются при изготовлении клеенощитых конструкций?
6. Какая максимальная влажность древесины допускается при склеивании досок?
7. Почему ограничиваются размеры досок и влажность древесины при изготовлении клеенощитых конструкций?
8. Как определяется несущая способность двутавровой клееной балки?
9. Как определяются теоретические значения напряжений в поперечном сечении балки?
10. Для чего в лабораторной работе используется индикатор часового типа?
11. Для чего в лабораторной работе используются тензодатчики?
12. Что такое коэффициент безопасности?
13. Что такое разрушающая нагрузка?
14. Почему нагрузка на образец прикладывается в виде двух сосредоточенных сил?
15. Как определяются экспериментальные значения напряжений в поперечном сечении балки?

Лабораторная работа № 6

Испытание модели составной балки на податливых связях*

Л и т е р а т у р а :

1. СНиП II-25–80. Деревянные конструкции: Нормы проектирования. – М., 1982. Пп. 4.9, 4.11, 4.33, 6.17, 6.18.

2. Конструкции из дерева и пластмасс. Э.В. Филимонов, Л.К. Ермоленко, М.М. Гапоев и др. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 440 с. Гл. 5.3, § 5.3.1.

Ц е л ь р а б о т ы : исследовать работу балки составного сечения на податливых связях при статическом изгибе; определить расчетную нагрузку P^T , при которой балка достигает предельного состояния, и подсчитать прогиб балки при условной нормативной нагрузке

$$P^n = \frac{P^T}{\gamma_f} = \frac{P^T}{1,2};$$

найти зависимость прогиба f балки от нагрузки P и определить фактический прогиб балки при условной нормативной нагрузке; установить характер распределения нормальных напряжений по высоте поперечного сечения балки и сравнить его с теоретическим; выявить деформацию сдвига соединяемых элементов вдоль шва сплачивания и произвести замер их максимальной величины вблизи одной из опор; определить разрушающую нагрузку $P_{\text{разр}}$ для балки и подсчитать коэффициент безопасности K ; сравнить работу клееных балок и балки на податливых связях.

6.1. Эскиз и размеры образца

Испытанию подвергают составную балку (рис. 18), выполненную из трех брусков, которые соединены между собой гвоздями.

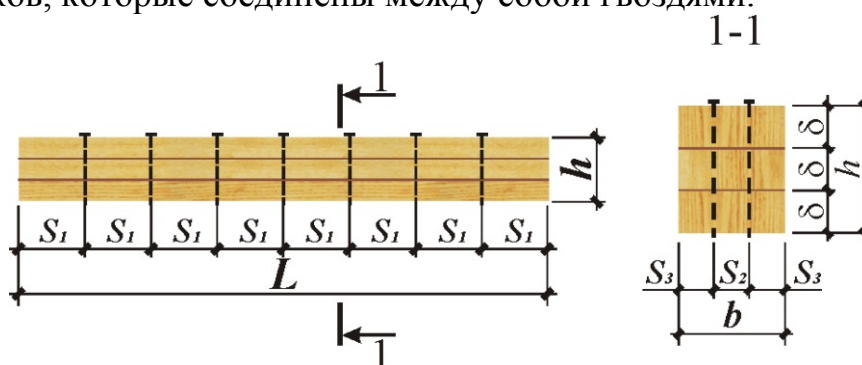


Рис. 18. Общий вид испытываемого образца балки

* В качестве податливых связей могут быть использованы пластинчатые нагели, болты или гвозди. Настоящая работа ориентирована на использование гвоздей как наиболее доступного способа соединения, тем более, что такой вид соединения обладает ярко выраженной податливостью.

Размеры брусков принимают такими же, как и у балок, испытываемых в лабораторных работах № 4 и 5. Древесина брусков – сосна. Влажность древесины не превышает 15 %.

По результатам натурного обмера записывают размеры балки:

- толщина брусков a ;
- ширина брусков b ;
- высота брусков h ;
- общая длина брусков L ;
- расчетный пролет l ;
- диаметр гвоздей d ;
- длина гвоздей $l_{гв}$;
- количество гвоздей n ;
- расстояния S'_1 (согласно СНиП II-25–80 $S'_1 \geq 15d$); S_1 (согласно СНиП II-25–80 $S_1 \geq 25d$); S_2 (согласно СНиП II-25–80 $S_2 \geq 3d$); S_3 (согласно СНиП II-25–80 $S_3 \geq 4d$);
- количество гвоздей (нагелей) на половине пролета n_1 , а также вычисляют геометрические характеристики поперечного сечения:
 - площадь (брутто) A ,
 - момент инерции J ;
 - расчетный момент инерции $J_{расч} = k_{ж} \cdot J$;
 - расчетный момент сопротивления $W_{расч} = k_w \cdot W$;
 - статический момент полусечения $S = \frac{bh^2}{b}$.

(при подсчете расчетного момента инерции $J_{расч}$ и расчетного момента сопротивления $W_{расч}$ вводят коэффициенты соответственно $k_{ж}$ и k_w , с помощью которых учитывают податливость соединений (см. СНиП II-25-80, табл. 13)).

6.2. Схемы нагружения балки и расстановки приборов

Схема нагружения балки, виды используемых приборов и расстановка их приняты такими же, как в лабораторной работе № 4 (подразд. 4.2). Дополнительно к этому в балке на податливых связях для измерения деформаций сдвига вблизи одной из опор на вертикальную грань балки наклеивают миллиметровую бумажку или наносят вертикальные риски.

6.3. Определение расчетной нагрузки P^T , подсчет прогибов и напряжений

Расчетную нагрузку P^T для составной балки подсчитывают с учетом податливости соединения по минимальной несущей способности, исходя из двух условий:

– прочности балки по нормальным напряжениям

$$M^T = R_{и} W_{расч} = R_{и} k_w W; \quad (29)$$

– восприятия гвоздями максимально возможных сдвигающих усилий

$$M^T = \frac{n_1 \cdot J \cdot T_{гв}}{1,2S}, \quad (30)$$

здесь $T_{гв}$ – минимальная несущая способность одного гвоздя, которую подсчитывают с учетом смятия древесины под гвоздем $T_{гв а} = 35a_p d$ (где $a_p = a - 1,5d$ — расчетная толщина бруска) и изгиба гвоздя $T_{гв.и} = 250d^2 + a_p^2$ (но не более $400 d^2$).

Приравнивая наименьшее значение теоретического изгибающего момента M^T , взятого из выражений (29) и (30), к фактически действующему в балке изгибающему моменту $M = 20P$ (см. п. 4.3), получают расчетную нагрузку

$$P^T = \frac{M^T}{20}.$$

Теоретические величины прогиба и нормальных напряжений составной балки подсчитывают по формулам (25) и (28) (см. лабораторную работу № 4), но с введением в них расчетного момента инерции

$$J_{расч} = k_{ж} J,$$

где $k_{ж}$ – коэффициент, учитывающий податливость связей.

6.4. Экспериментальная часть

Экспериментальную часть работы выполняют в той же последовательности, что и в лабораторной работе № 4 (п. 4.4).

6.5. Обработка и анализ результатов испытания

Результаты измерения прогибов и продольных деформаций (см. табл. 5 и 6) обрабатывают так же, как и в лабораторной работе № 4. На основании этих данных строят график нарастания прогибов и распределения нормальных напряжений по высоте поперечного сечения балки. С помощью приборов фиксируют деформации сдвига брусков вдоль шва и измеряют их максимальную величину. По известной величине разрушающей нагрузки подсчитывают коэффициент безопасности k .

Дополнительные исследования в работе связаны с оценкой действительного напряженно-деформированного состояния составной балки на податливых связях. Эту оценку осуществляют в сравнении с результатами испытаний клееных балок, полученных в лабораторных

работах № 4 и 5. (оценку результатов производят по форме табл. 10). Сравнению подлежат также графики деформаций, прогибов и напряжений.

6.6. Оформление отчета

Отчет о проделанной работе оформляют согласно требованиям, представленным в п. 1.2 разд. I.

Контрольные вопросы

1. Что такое податливость связей?
2. Как влияет податливость связей на несущую способность балки?
3. Как влияет податливость связей на деформативность балки?
4. Как учитывается податливость связей при расчете составных балок на поперечный изгиб?
5. Когда в деревянных конструкциях применяют составные стержни?
6. Как определяется расчетная нагрузка на составную балку?
7. Для чего в лабораторной работе используется индикатор часового типа?
8. Для чего в лабораторной работе используются тензодатчики?
9. Что такое коэффициент безопасности?
10. Что такое разрушающая нагрузка?
11. Как определяется теоретическое значение напряжений составной балки?
12. Как определяется теоретическое значение прогиба составной балки?
13. Из каких условий определяется минимальная несущая способность одного гвоздя?
14. Как определяются экспериментальные значения напряжений в поперечном сечении балки?
15. Как строится график нарастания прогибов и распределения нормальных напряжений по высоте поперечного сечения балки?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В методических указаниях описаны лабораторные работы по наиболее важным разделам курса "Конструкции из дерева и пластмасс", а именно: работа гвоздевых, нагельных и клеевых соединений балочных конструкций. Материал изложен с учетом проверенной методики проведения лабораторных занятий на кафедре "Строительные конструкции" Пензенского государственного университета архитектуры и строительства. Опыт проведения занятий показал успешное овладение студентами тем курса, которые подкрепляются лабораторными испытаниями и вызывают особый интерес у них к проведению экспериментальных исследований и анализу результатов испытаний.

Важными этапами для закрепления полученных знаний являются также практические занятия и проведение контрольных опросов, представленных в конце каждой работы, и ответы которых являются частью общей модульно-рейтинговой оценки знаний студентов по дисциплине "Конструкции из дерева и пластмасс".

О Г Л А В Л Е Н И Е

| | |
|--|----|
| ПРЕДИСЛОВИЕ | 3 |
| ВВЕДЕНИЕ | 4 |
| I. СТРУКТУРА И ЦЕЛЕВАЯ НАПРАВЛЕННОСТЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ | 5 |
| 1. Постановка эксперимента и обработка результатов | 5 |
| 1.1. Цели эксперимента | 5 |
| 1.2. Обработка экспериментальных данных и оформление отчета | 6 |
| 2. Учебно-исследовательская работа студента (УИРС) при выполнении лабораторных работ | 8 |
| 3. Методика проведения лабораторных работ | 11 |
| 3.1. Основные этапы проведения лабораторных работ | 11 |
| 3.2. Применение компьютерной техники в поддержку лабораторных работ | 12 |
| II. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ | 13 |
| СОЕДИНЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ | 13 |
| Лабораторная работа № 1 | |
| Испытание соединений на гвоздях | 15 |
| 1.1. Эскиз и размеры образца | 15 |
| 1.2. Схемы приложения нагрузки и расстановки приборов | 17 |
| 1.3. Определение расчетной нагрузки на образец | 17 |
| 1.4. Экспериментальная часть | 18 |
| 1.5. Обработка и анализ результатов испытаний | 19 |
| 1.6. Оформление отчета | 20 |
| 1.7. Компьютерная поддержка работы | 20 |
| Лабораторная работа № 2 | |
| Испытание соединения на цилиндрических нагелях | 24 |
| 2.1. Эскиз и размеры образца | 24 |
| 2.2. Схемы приложения нагрузки и расстановки приборов | 25 |
| 2.3. Определение расчетной нагрузки на образец | 25 |
| 2.4. Экспериментальная часть | 25 |
| 2.5. Обработка и анализ результатов испытания | 25 |
| 2.6. Оформление отчета | 26 |
| 2.7. Компьютерная поддержка работы | 26 |

| | |
|--|----|
| Лабораторная работа № 3 | |
| Испытание соединения на клею..... | 30 |
| 3.1. Эскиз и размеры образца | 30 |
| 3.2. Схемы приложения нагрузки и расстановки приборов..... | 31 |
| 3.3. Определение расчетной нагрузки на образец..... | 31 |
| 3.4. Экспериментальная часть | 32 |
| 3.5. Обработка и анализ результатов испытания..... | 32 |
| 3.6. Оформление отчета | 32 |
| СОСТАВНЫЕ СТЕРЖНИ, РАБОТАЮЩИЕ НА ПОПЕРЕЧНЫЙ | |
| ИЗГИБ | 34 |
| Лабораторная работа №4 | |
| Испытание модели клеедощатой балки | 37 |
| 4.1. Эскиз и размеры образца | 37 |
| 4.2. Схемы приложения нагрузки и расстановки приборов..... | 38 |
| 4.3. Определение расчетной нагрузки P^T , подсчет прогибов | |
| и напряжений | 39 |
| 4.4. Экспериментальная часть | 41 |
| 4.5. Обработка и анализ результатов испытания..... | 43 |
| 4.6. Оформление отчета | 44 |
| Лабораторная работа № 5 | |
| Испытание модели двутавровой клееной балки | 45 |
| 5.1. Эскиз и размеры образца | 45 |
| 5.2. Схемы нагружения балки и расстановки приборов..... | 46 |
| 5.3. Определение расчетной нагрузки P^T на образец..... | 46 |
| 5.4. Экспериментальная часть | 46 |
| 5.5. Обработка и анализ результатов испытания..... | 46 |
| 5.6. Оформление отчета | 46 |
| Лабораторная работа № 6 | |
| Испытание модели составной балки на податливых связях | 48 |
| 6.1. Эскиз и размеры образца | 48 |
| 6.2. Схемы нагружения балки и расстановки приборов..... | 49 |
| 6.3. Определение расчетной нагрузки P^T , подсчет прогибов | |
| и напряжений | 49 |
| 6.4. Экспериментальная часть | 50 |
| 6.5. Обработка и анализ результатов испытания..... | 50 |
| 6.6. Оформление отчета | 51 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 52 |

Учебное издание

Вдовин Вячеслав Михайлович
Карпов Владимир Николаевич

КОНСТРУКЦИИ ИЗ ДЕРЕВА И ПЛАСТМАСС

Методические указания к лабораторным работам
по направлению подготовки 08.03.01 "Строительство"

Под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Ю.П. Скачкова

В авторской редакции
Верстка Н.В. Кучина

Подписано в печать 20.11.15. Формат 60×84/16.
Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 3,255. Уч.-изд. л. 3,5. Тираж 80 экз.
Заказ № 408.

Издательство ПГУАС.
440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28.