

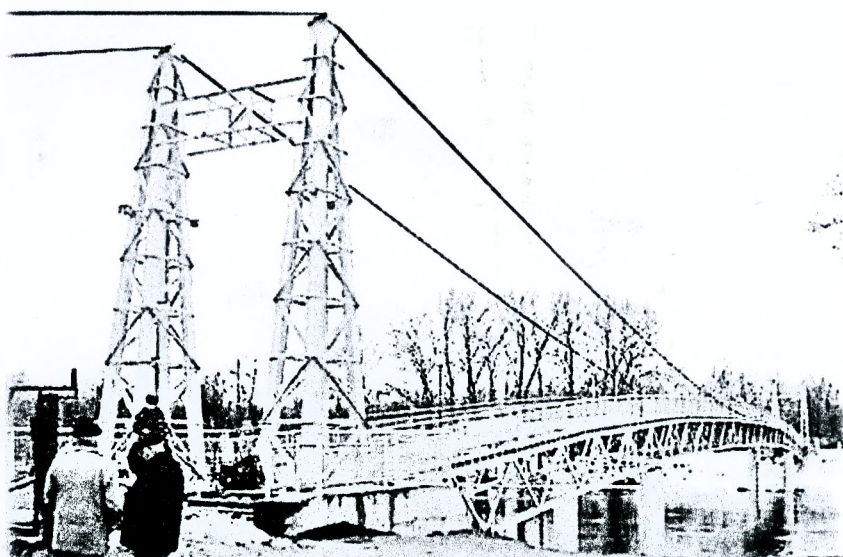
**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**КАФЕДРА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

# **Методические указания и журнал испытаний**

**к выполнению лабораторных работ по дисциплине  
«Инженерные конструкции»  
для студентов дневной формы обучения по специальности  
1-74 05 01 «Мелиорация и водное хозяйство»**



Брест 2022

Методические указания предназначены для выполнения лабораторных занятий по дисциплине «Инженерные конструкции» для студентов специальности 1-74 05 01 «Мелиорация и водное хозяйство» дневной формы обучения I степени высшего образования. Тематика лабораторных работ соответствует учебной программе дисциплины «Инженерные конструкции».

Составители: Шурин А.Б., к.т.н., доцент, зав. кафедрой строительных конструкций;  
Захаркевич И.Ф., к.т.н., доцент, доцент кафедры строительных конструкций;  
Жук В.В., к.т.н., доцент, доцент кафедры строительных конструкций;  
Малиновский В.Н., к.т.н., доцент, профессор кафедры строительных конструкций;  
Шалобьга Н.Н., к.т.н., доцент, доцент кафедры строительных конструкций;  
Кривицкий П.В., к.т.н., доцент, доцент кафедры строительных конструкций;  
Матвеевко Н.В., м.т.н., старший преподаватель кафедры строительных конструкций

Рецензенты: Заместитель директора РУП «Институт БелНИИС»–Научно-технический центр, к.т.н. В. А. Лебедь  
Заведующий кафедрой технологии бетона и строительных материалов, д.т.н., профессор В.В.Тур

## Оглавление

<b>Лабораторная работа № 1</b> .....	<b>4</b>
1.1 Стали .....	4
1.2 Чугуны.....	7
1.3 Алюминиевые сплавы .....	7
1.4 Исследование структуры металлов .....	8
Выводы по работе: .....	9
<b>Лабораторная работа № 2</b> .....	<b>10</b>
2.1 Теоретическая часть .....	10
2.2 Основные положения по расчету сварных соединений.....	10
2.3 Испытание сварных образцов с фланговыми швами при статическом нагружении осевой силой.....	12
2.4 Выводы по работе .....	13
<b>Лабораторная работа № 3</b> .....	<b>14</b>
3.1 Теоретическая часть .....	14
3.2 Расчетная и экспериментальная части.....	15
3.3 Выводы по работе .....	17
<b>Лабораторная работа № 4</b> .....	<b>18</b>
4.1 Методика проведения испытания.....	18
<i>Расчеты</i> .....	19
4.2 Выводы по работе .....	20
Вопросы для самоподготовки.....	20
<b>Лабораторная работа № 5</b> .....	<b>21</b>
5.1 Общие сведения .....	21
5.2 Методика проведения испытаний .....	21
5.3 Выводы по работе: .....	24
Вопросы для самопроверки.....	24
<b>Лабораторная работа № 6</b> .....	<b>25</b>
6.1 Общие сведения .....	25
6.2 Методика проведения испытаний .....	26
6.3 Обработка результатов испытания.....	27
6.4 Выводы по работе .....	31
Вопросы для самоподготовки .....	31
<b>Лабораторная работа № 7</b> .....	<b>32</b>
7.1 Теоретические сведения .....	32
7.2 Выводы по работе: .....	36
<b>Лабораторная работа № 8</b> .....	<b>38</b>
8.1 Теоретическая часть .....	38
8.2 Экспериментальная часть.....	39
8.3 Обработка результатов испытания.....	41
<b>Лабораторная работа № 9</b> .....	<b>43</b>
9.1 Теоретическая часть .....	43
9.2. Экспериментальная часть.....	46
9.3 Обработка результатов испытания.....	47
<b>Список использованных источников</b> .....	<b>49</b>



# Лабораторная работа № 1

## Металлы и сплавы, их классификация и структура

Цель работы: изучить классификацию металлов и сплавов, структуры металлов и сварных швов.

Теоретическая часть (заполнить пробелы)

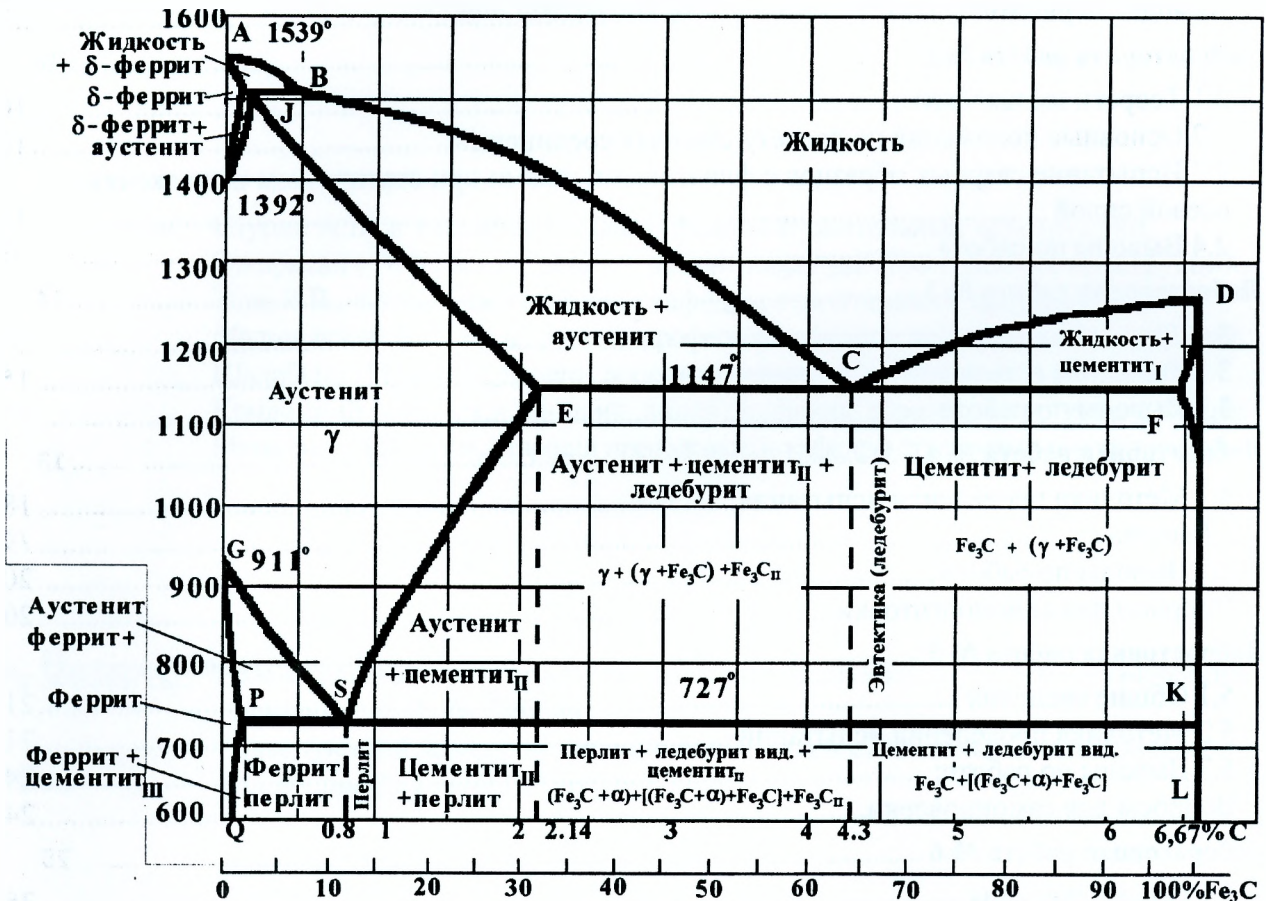


Рисунок 1.1 – Диаграмма состояния железо-углерод Fe–C (железо-цементит Fe–Fe<sub>3</sub>C)

### 1.1 Стали

В зависимости от содержания углерода железоуглеродистые сплавы делят на техническое железо, стали и чугуны.

Сталь (ЕН 10020:2000) – материал (сплав железа с углеродом), в котором массовая доля железа больше, чем массовая доля какого-либо другого элемента, а массовая доля углерода составляет \_\_\_\_\_% и в состав которого входят \_\_\_\_\_.

Сталь для сварных строительных конструкций содержит эквивалентное содержание углерода до \_\_\_\_\_%.

Стали подразделяются:

а) по химическому составу: \_\_\_\_\_

б) по способу производства: \_\_\_\_\_

в) по назначению: \_\_\_\_\_

г) по качеству: \_\_\_\_\_

д) по виду выплавки или степени раскисления: \_\_\_\_\_



### 1.1.1 Углеродистые стали

Свойства углеродистых сталей определяются \_\_\_\_\_

На свойства стали существенно влияет степень раскисления. При одинаковом содержании углерода кипящие, полуспокойные и спокойные стали имеют близкие величины прочностных свойств и различаются значениями характеристик пластичности. Содержание кремния в спокойной стали составляет 0,15...0,35, в полуспокойной 0,05...0,15, в кипящей до 0,05 %. Для раскисления кипящей стали не применяют \_\_\_\_\_, ее раскисляют: \_\_\_\_\_.

Кипящая сталь имеет резко выраженную химическую неоднородность (ликвацию) в слитке. Ее основным преимуществом является высокий \_\_\_\_\_ выход годного металла. Из-за повышенной концентрации кислорода кипящие стали имеют сравнительно высокий порог хладноломкости и их не рекомендуют применять для конструкций, эксплуатирующихся при отрицательных температурах и вибрационных и динамических нагрузках.

Кипящая сталь (кп) в процессе разлива \_\_\_\_\_, что служит признаком процесса раскисления. Спокойная сталь (сп) при разливе \_\_\_\_\_, так как в нее введены \_\_\_\_\_.

Она однородна по химическому составу. Спокойная сталь раскисляется \_\_\_\_\_. Выход годных слитков спокойной стали около \_\_\_\_\_ %, но металл значительно более плотен и имеет более однородный химический состав.

Полуспокойная сталь (пс) занимает промежуточное положение между спокойной и кипящей. У полуспокойной стали выход годного продукта составляет \_\_\_\_\_ %. Она содержит такое количество раскислителей, при котором газов выделяется меньше, чем при затвердевании кипящей стали, и поэтому имеет меньшую химическую неоднородность. Степень раскисления стали отражается в ее маркировке, например \_\_\_\_\_.

До 2005 года заводы-изготовители РФ, Казахстана и РБ осуществляли поставки стали обыкновенного качества по ГОСТ 380 с гарантируемыми показателями по трем группам: группа А гарантирует: \_\_\_\_\_ и по нормируемым показателям делится на три категории, которые обозначаются цифрой в конце марки. Первая категория, а также буква А в написании группы не указываются. Пример маркировки: Ст3кп2, Ст4пс3 и т. д. Группа Б гарантирует \_\_\_\_\_ и имеет две категории. Группа В гарантирует \_\_\_\_\_ и имеет шесть категорий.

### 1.1.2 Качественные углеродистые стали

Качественные углеродистые стали выпускают по ГОСТ 1050. Отличаются от сталей по ГОСТ 380 значительно меньшими отклонениями по процентному содержанию химических элементов. В марках этих сталей указывается слово «Сталь» и цифры от 05, 08, 10, 20 и т. д. до 85 (через 5): например, Сталь 20. Большинство качественных сталей как правило раскисляются. Цифры в марке качественных углеродистых и легированных сталей означают:

Низкоуглеродистые стали 0.8кп, 0.5кп используются для листовой штамповки, а стали 10, 15, ...20, 25 – для изготовления сварных конструкций. Среднеуглеродистые стали 30, 35, 40, 45 и 50 применяются для изготовления (с нормализацией и поверхностной закалкой) деталей, подверженных большим нагрузкам, так, например, стали 45, 50 – для коленчатых валов и других ответственных деталей автотракторных двигателей. Высокоуглеродистые качественные стали 55, 60, 65 и 70 используются для изготовления деталей (пружины, рессоры, зубчатые колеса и т. д.) с последующей их термической обработкой.

### 1.1.3 Легированные стали

Для их получения при плавке или разливке вводятся специальные (легирующие) элементы, изменяющие её свойства (таблица 1.7), также в них могут иметься более одного процента Si или Mn. Легирующие элементы включаются в обозначения марок сталей.

Число в начале марки конструкционной стали указывает содержание углерода в сотых долях процента, а цифры после соответствующих букв – среднее содержание этого химического элемента в %. Если после буквенного обозначения нет цифры, то доля данного элемента в стали составляет до 1 %.

Таблица 1.1 – Влияние химических элементов на свойства сталей

Характеристики	Влияние химических элементов											
	C	Cr	Ni	Mn	Mg	Si	W	V	Cu	S	P	
Прочность на разрыв, $\sigma_u$												
Предел текучести, $\sigma_y$												
Относительное удлинение, $\delta$												
Твердость												
Ударная вязкость, $\alpha_n$												
Усталостная прочность												
Свариваемость												
Коррозионная стойкость												
заполнить таблицу по степени влияния: «+» повышает; «++» значительно повышает; «-» снижает; «0» не влияет												

### 1.1.4 Строительные стали

Горячекатаный прокат (листовой, швеллеры, двутавры, сталь угловую) из углеродистых и низколегированных сталей, предназначенный для изготовления сварных строительных конструкций, вне зависимости от его химического состава (марки стали), а принимая во внимание только механические свойства (предел текучести  $\sigma_y$ ), подразделяют на условные классы строительных сталей.

Таблица 1.2 – Соответствие классам сталей по ГОСТ 27772 марок

Наименование стали	Марки по действующим стандартам		Наименование стали	Марки по действующим стандартам	
	Марка стали	Обозначение стандарта		Марка стали	Обозначение стандарта
C235	Ст3кп2	ГОСТ 380 ГОСТ 535	C375	12Г2С	–
C245	Ст3пс5, Ст3сп5	ГОСТ 380 ГОСТ 535	C375Д	12Г2СД	–
C255	Ст3Гпс, Ст3Гсп	ГОСТ 380	C390	14Г2АФ	ГОСТ 19281
C275	Ст3пс	ГОСТ 380	C390Д	14Г2АФД	ГОСТ 19281
C285	Ст3сп, Ст3Гпс Ст3Гсп	ГОСТ 380	C390К	14Г2АФДпс	ГОСТ 19281
C345	12Г2С 09Г2С	– ГОСТ 19281	C440	16Г2АФ	ГОСТ 19281
C345Д	12Г2СД 09Г2СД	– –	C440Д	16Г2АФД	ГОСТ 19281
C345К	10ХНДП	ГОСТ 19281	C590 C590К	12Г2СМФ 12ГН2МФАЮ	– –
* – буквенные обозначения в классах: С – сталь строительная; К и Д – варианты химического состава					

Расшифруйте следующие обозначения сталей, выпускаемых по европейским стандартам:

S 275N/NL EN 10025-3:2004 – \_\_\_\_\_

S 235W EN 10025-5:2004 – \_\_\_\_\_

S 460Q/QL/QL1 EN 10025-6:2004 – \_\_\_\_\_

## 1.2 Чугуны

Чугун – это сплав железа с углеродом и другими элементами, где углерода от \_\_\_ до \_\_\_%. Чугуны, в которых весь углерод либо его значительная часть находятся в свободном состоянии в виде графита, называются \_\_\_\_\_.

По структуре серые чугуны отличаются от стали только тем, что в них имеются \_\_\_\_\_, предопределяющие специфические свойства чугунов.

Графит в чугунах может быть в четырех основных формах:

- в виде лепестков, пластинок: \_\_\_\_\_
- в виде червеобразных прожилок: \_\_\_\_\_
- в виде округлых включений: \_\_\_\_\_
- в виде равноосных компактных, но не округлых форм: \_\_\_\_\_

Чугуны, в которых весь углерод находится в связанном состоянии, называют \_\_\_\_\_ . Эти чугуны, в зависимости от содержания углерода и структуры, классифицируют на \_\_\_\_\_ (массовая доля углерода в них может быть в интервале \_\_\_\_\_%), \_\_\_\_\_ (массовая доля углерода равна \_\_\_\_\_%) и \_\_\_\_\_ (массовая доля углерода \_\_\_\_\_%).

Они практически не поддаются обработке резанием и используются для последующей переплавки в сталь или ковкий чугун.

## 1.3 Алюминиевые сплавы

Сплавы алюминиевые – сплавы на основе алюминия с добавлением меди, магния, цинка, кремния, лития, кадмия, марганца и других химических элементов. Достоинства алюминиевых сплавов: \_\_\_\_\_.

Недостатки: \_\_\_\_\_.

По способу производства полуфабрикатов алюминиевые сплавы подразделяют на \_\_\_\_\_ и \_\_\_\_\_. В строительстве в основном применяют деформируемые сплавы, полуфабрикаты из которых получают способом деформации в горячем и холодном состоянии:

- прессованием (профили, прутки, трубы, панели);
- прокаткой (листы, ленты);
- волочением (тонкостенные трубы);
- ковкой и штамповкой (фасонные детали).

Литейные сплавы вследствие их низкой пластичности применяются чрезвычайно редко. Широкое применение в качестве конструкционных материалов имеют сплавы на основе алюминия. Полуфабрикаты из них для строительства делят на листовые (толщиной 0,3...4 мм) и профильные, которые выполняют любой формы в пределах соответствующих ГОСТов и ТУ прокаткой, экструзией. Основными легирующими элементами в алюминиевых сплавах являются: \_\_\_\_\_.

По составу легирующих компонентов алюминиевые сплавы подразделяют на группы:

**1-я группа.** Технически чистым алюмином называют алюминий, общее содержание примесей в котором не превышает \_\_\_\_%. По коррозионной стойкости и высокой пластичности технически чистый алюминий близок к химически чистому. Установлены следующие марки технического чистого алюминия: АД0, АД1 и АД с содержанием примесей соответственно до 0,5, 0,7 и 1,2 %.

**2-я группа.** Сплавы системы Al-Mn. Характерным представителем этой группы является сплав АМц, содержащий 1 —1,6 % марганца. Этот сплав обладает высокой коррозионной стойкостью, хорошо сваривается, легко полируется, однако прочность его невелика.

**3-я группа.** Сплавы системы Al-Mg, называемые \_\_\_\_\_, обозначаются буквами АМг с добавлением цифры, указывающей примерное содержание магния



в процентах (АМг2, АМг3 и т. д.). Эти сплавы содержат также небольшое количество марганца (0,2...0,8 %). Сплавы этой группы обладают высокой стойкостью против коррозии, хорошо свариваются. С увеличением содержания магния прочностные показатели повышаются; однако при содержании магния более 3,5 % пластичность и коррозионная стойкость сплавов заметно снижаются. Для улучшения свойств в качестве добавок используют титан (0,02...0,1 %), бериллий (0,002...0,005 %) и хром (0,05...0,35 %).

**4-я группа.** Сплавы системы Al-Mg-Si, легированные кремнием (0,3...1,2 %) и магнием (0,4...1,4 %), называются \_\_\_\_\_. Обозначаются они буквами АД с добавлением порядкового номера (АД31, АД33, АД35 и т. д.). Сплавы этой группы пластичны, хорошо свариваются, обладают высокой стойкостью против коррозии, хорошо полируются и легко анодируются. К этой же группе относится сплав, дополнительно содержащий до 0,5 % меди. Этот сплав, широко применявшийся ранее в авиастроении и названный поэтому авиалем, обозначается буквами АВ.

**5-я группа.** Сплавы системы Al-Cu-Mg называются \_\_\_\_\_. Они обозначаются буквой Д с добавлением порядкового номера (Д1, Д6, Д16, Д18 и т. д.). Наличие в сплавах этой группы меди в количестве 3,8—4,9 %, способствующей увеличению твердости и прочности его после термической обработки, отрицательно сказывается на его пластичности и коррозионной стойкости. Дуралюмин был первым из сплавов, обладающих высокой прочностью.

**6-я группа.** Сплавы системы Al-Mg-Zn стали применяться сравнительно недавно (с начала 50-х гг.). Отличительной особенностью сплавов, содержащих 3—7 % цинка и около 2 % магния, является их способность к самоупрочнению после прессования полуфабрикатов в горячем виде. Небольшими добавлениями циркония, меди и хрома можно получать более высокопрочные из всех известных алюминиевых сплавов. Поэтому в обозначении сплавов этой группы перед порядковым номером ставится буква В (В94, В95 и т. д.).

#### 1.4 Исследование структуры металлов

К числу методов, используемых для исследования структуры металлов и сплавов, относятся:

**макроскопический анализ** (макроанализ) заключается в определении строения металла невооруженным глазом или через лупу при небольших увеличениях (до 30 раз). Макроструктуру можно изучать непосредственно на поверхности металла, в изломе заготовки, а также после предварительной подготовки исследуемой поверхности, заключающейся в ее шлифовании и травлении специальными реактивами. Поверхность образца (темплета), подготовленная для исследования макроструктуры, называется \_\_\_\_\_;

**микроскопический анализ** (микроанализ) применяют для изучения микроструктуры металлов. Микроструктурой называют внутреннее строение металла, наблюдаемое с помощью микроскопа: оптического (оптическая микроскопия для оценки размеров зёрен) или электронного (электронная микроскопия для оценки плотности дислокаций).

Для микроанализа металлов и сплавов применяются оптические микроскопы.

В структуре железоуглеродистых сплавов (рисунок 1.1) можно выделить следующие компоненты: \_\_\_\_\_.

**Феррит (Ф)** характеризуется низкой прочностью ( $\sigma_b = 250$  МПа,  $\sigma_{0,2} = 120$  МПа) и твердостью (80...100 НВ), высокой пластичностью ( $\delta = 50$  %,  $\psi = 80$  %).

**Цементит (Ц)** – химическое соединение железа с углеродом (карбид железа Fe<sub>3</sub>C), содержит 6,67 % С. Цементит характеризуется высокой твердостью (>800НВ) и очень низкой пластичностью.

**Перлит (П)** – двухфазная (эвтектоидная) механическая смесь феррита и цементита. Перлит может быть пластинчатым (состоящим из чередующихся пластинок цементита и феррита) и зернистым, что определяет механические свойства перлита. При комнатной температуре зернистый перлит имеет прочность  $\sigma_b = 800$  МПа, пластичность  $\delta = 15$  %, твердость 160...200 НВ.



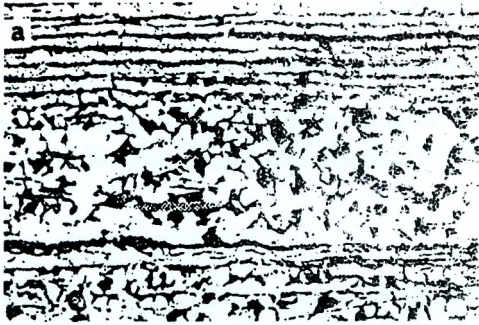


Рисунок 1.2 – Структура кипящей стали с ликвационной полосой (а×100)

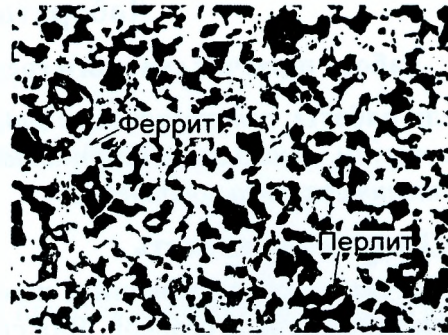


Рисунок 1.3 – Структура стали (0,3 %С) (×200)



Рисунок 1.4 – Серый чугун на ферритно-перлитной основе



Рисунок 1.5 – Доэвтектический (ледебурит, перлит, вторичный цементит) белый чугун

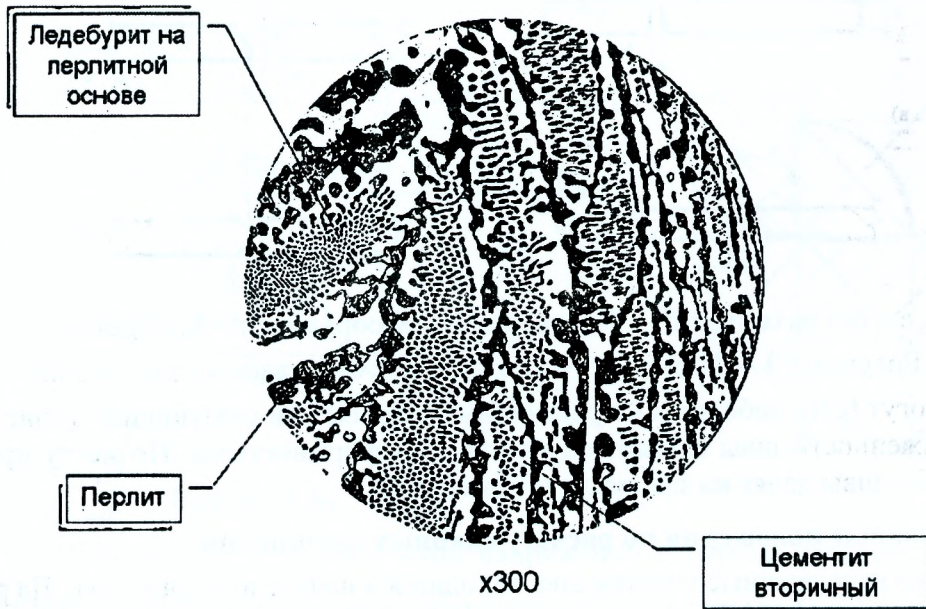


Рисунок 1.6 – Микроструктура эвтектического белого чугуна (4,25С)

**Выводы по работе:**

## Лабораторная работа № 2

### Работа и расчет сварного соединения при статическом нагружении

**Цель работы:** ознакомиться с видами сварных соединений, их напряженным состоянием и расчетом, влиянием конструктивных факторов и сварочных материалов на характер разрушения сварного соединения.

#### 2.1 Теоретическая часть

**Виды сварных соединений и швов.** Сварным соединением называют неразъемное соединение, выполненное сваркой. Вид сварного соединения определяется взаимным расположением свариваемых элементов. Различают *стыковые, угловые, тавровые и нахлесточные* соединения.

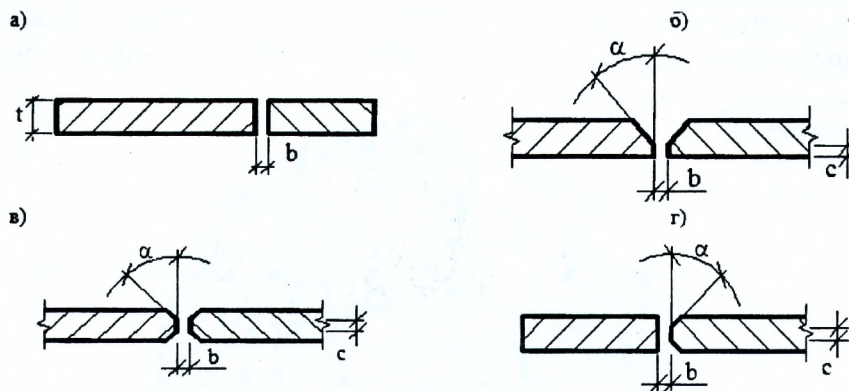
Когда односторонняя или двухсторонняя сварка не позволяет обеспечить полный провар, применяют разделку кромок, которая характеризуется:  $b$  - зазором,  $c$  - притуплением,  $\alpha$  - углом раскрытия стыка.

Участок сварного соединения, образовавшийся в результате кристаллизации металла сварочной ванны, называется **сварным швом**.

По конструктивному признаку швы разделяют на стыковые и угловые (валиковые).

**Типы сварных швов:** стыковые, угловые (сплошные и прерывистые), угловые круговые, пробочные с клинообразным зазором (ТКП EN 1993-1-8 [3]).

По положению в пространстве швы в момент их выполнения подразделяют: нижние, вертикальные, горизонтальные и потолочные.



а – без разделки; б – V-образная; в – X-образная; г – К-образная

Рисунок 2.1 – Форма подготовки кромок свариваемых элементов

Швы могут быть рабочими (передающими усилия) или связующими (конструктивными). По протяженности швы бывают сплошными и прерывистыми. По месту производства сварочных работ швы делят на заводские и монтажные.

#### 2.2 Основные положения по расчету сварных соединений

Наиболее нагруженные участки шва находятся в начале и в конце шва. На рисунке 2.2 показана эпюра распределения касательных напряжений  $\tau$  при  $A_1 < A_2$ . Если  $A_1 = A_2$ , то максимальные касательные напряжения в начале и в конце шва одинаковы. Значение коэффициента концентрации напряжений пропорционально длине шва. Поэтому нормы ограничивают расчетную длину флангового углового шва, которая должна быть не более  $l_w \leq 85 \cdot \beta_f \cdot k_f$ , за исключением швов, в которых усилие действует на всём протяжении шва, где  $k_f$  – катет шва;  $\beta_f$  – коэффициент, определяемый по т. 40 [2].

Согласно [2] расчёт соединения с угловыми швами следует вести по двум сечениям (рисунок 2.2): по металлу шва (*сечение f-f*) и границе сплавления (*сечение z-z*).

При  $\frac{\beta_f \cdot f_{wf}}{\beta_z \cdot f_{wz}} \leq 1$  расчет выполняют по металлу шва



$$\frac{N_{Ed}}{\beta_f \cdot k_f \cdot l_w \cdot f_{wf} \cdot \gamma_c} \leq 1. \quad (2.1)$$

При  $\frac{\beta_f \cdot f_{wf}}{\beta_z \cdot f_{wz}} > 1$  расчет выполняют по границе сплавления

$$\frac{N_{Ed}}{\beta_z \cdot k_f \cdot l_w \cdot f_{wz} \cdot \gamma_c} \leq 1, \quad (2.2)$$

где  $\beta_f$  и  $\beta_z$  – коэффициенты, учитывающие глубину проплавления шва и границы сплавления, т. 40 [2];

$l_w$  – расчетная длина швов в сварном соединении, равная суммарной длине всех его участков за вычетом по 10 мм на каждом непрерывном участке шва;

$f_{wf}$  – расчетное значение прочности угловых швов на срез (условный) по металлу шва (т. Г.2 [2]);

$f_{wz}$  – расчетное значение прочности угловых швов на срез (условный) по металлу границы сплавления,  $f_{wz} = 0,45 \cdot f_{uk}$ ;

$f_{uk}$  – характеристическое (нормативное) значение предела прочности стали, т. 51 [2].

Катеты сварных швов назначаются равными 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 16 мм и они должны удовлетворять условию  $k_{f,\min} \leq k_f \leq 1,2 \cdot t_{\min}$ , где  $k_{f,\min}$  принимается по т. 39 [2];

$t_{\min}$  – наименьшая толщина соединяемых элементов.

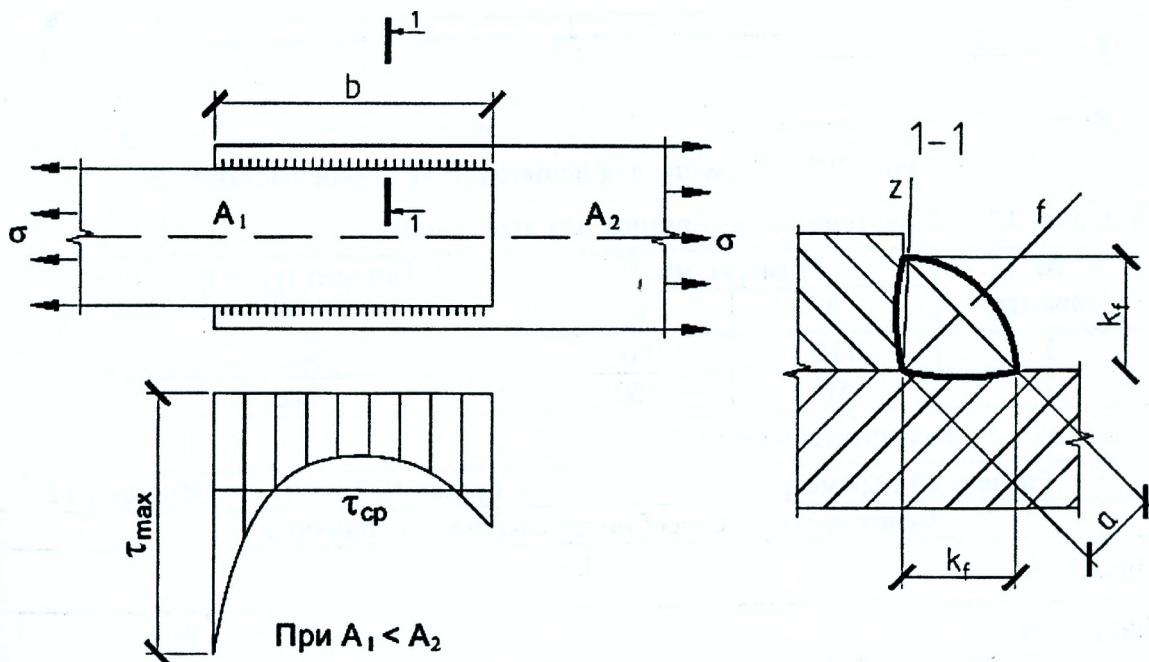


Рисунок 2.2 – Распределение напряжений в сварных соединениях

Расчетная длина углового сварного шва должна быть не менее  $4k_f$  и не менее 40 мм.

В соединениях внахлестку ее размер должен быть не менее 5 толщин наиболее тонкого из свариваемых элементов.

Формулы (2.1) и (2.2) могут быть использованы для определения разрушающей нагрузки  $N_p$ , для чего в этих выражениях расчетные сопротивления  $f_{wf}$  и  $f_{wz}$  следует заменить временными сопротивлениями при сдвиге  $f_{wuk} / \sqrt{3}$  и  $f_{uk} / \sqrt{3}$  ( $f_{wuk}$  определяется по т. Г.2 [2]).

При определении несущей способности  $N$  и разрушающей нагрузки  $N_p$  следует рассмотреть и сечение по основному металлу, то есть

$$N = A_1 \cdot f_{yd}, \quad (2.6)$$

$$N_p = A_1 \cdot f_{ud}. \quad (2.7)$$

### 2.3 Испытание сварных образцов с фланговыми швами при статическом нагружении осевой силой

Схема сварных образцов для статических испытаний осевой силой представлены на рисунке 2.3. Образцы изготовлены из малоуглеродистой листовой стали класса С235 (ГОСТ 27772-88) толщиной 6 мм и отличаются величиной нахлестки  $b$ . Сварка ручная электродуговая по ГОСТ 5264-80 (таблица 2.1).

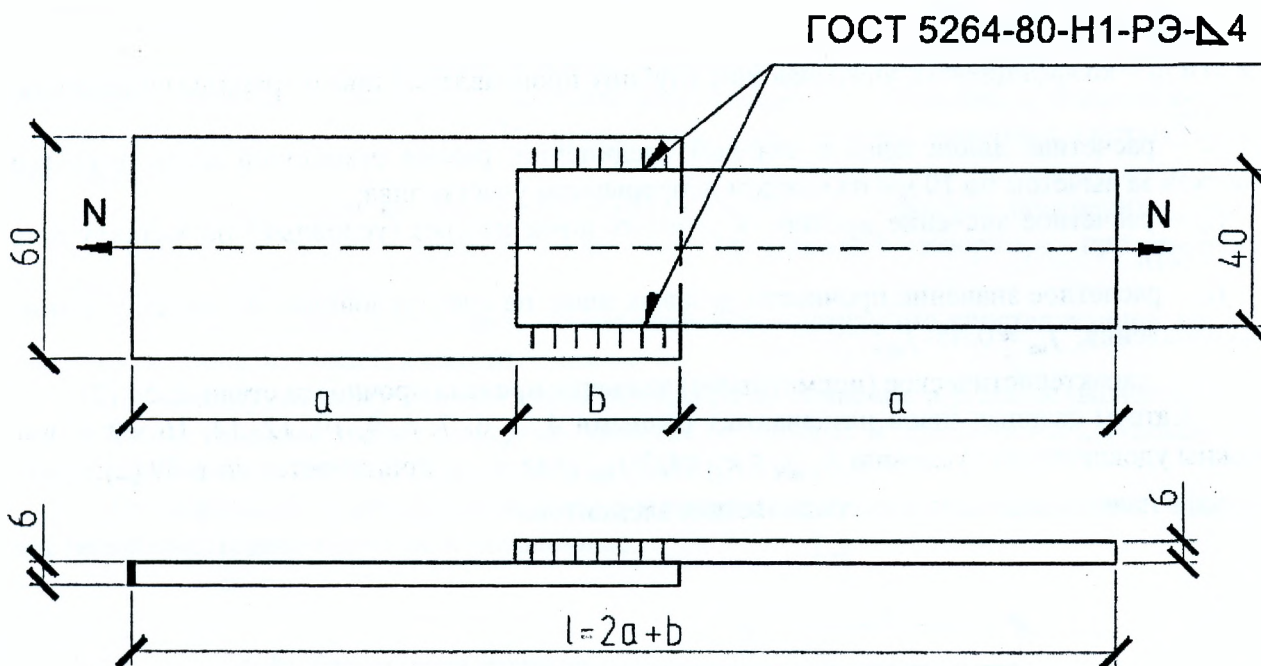


Рисунок 2.3 – Образцы для испытаний на осевое растяжение

Таблица 2.1 – Характеристики образцов для испытаний

№ образца	Размеры, мм		Тип электрода по ГОСТ 9467-75
	$b$	$a$	
1	120	90	Э42
2	50	160	Э42

Таблица 2.2 – Результаты расчета

Расчетный параметр	Образец № 1	Образец № 2
Расчет несущей способности сварного соединения		
Катет шва $k_f =$		
Коэффициенты	$\beta_f =$	$\beta_2 =$
Расчётная длина углового шва $l_w = l - 10 \text{ мм} = b - 10 \text{ мм}$		
Предел прочности $f_{uk} =$		
Расчетное значение прочности углового шва на срез (условный) по:		
– границе сплавления $f_{wz} = 0,45 \cdot f_{uk} =$		
– по металлу шва $f_{wf} =$		
Предел прочности металла шва $f_{wuk} =$		
Несущая способность по металлу шва $N = 2 \cdot f_{wf} \cdot \beta_f \cdot k_f \cdot l_w \cdot \gamma_c =$		

Окончание таблицы 2.2

Расчетный параметр	Образец № 1	Образец № 2
Разрушающая нагрузка по металлу шва $N_p = 2 \cdot (f_{wum} / \sqrt{3}) \cdot \beta_f \cdot k_f \cdot l_w \cdot \gamma_c =$		
Несущая способность по металлу границы сплавления $N = 2 \cdot f_{wz} \cdot \beta_z \cdot k_f \cdot l_w \cdot \gamma_c =$		
Разрушающая нагрузка по металлу границы сплавления $N_p = 2 \cdot (f_{uk} / \sqrt{3}) \cdot \beta_z \cdot k_f \cdot l_w \cdot \gamma_c =$		
Расчет несущей способности основного металла		
Площадь сечения $A_1 =$		
Расчетное сопротивление $f_{yd} =$		
$N_{Ed,y} = A_1 \cdot f_{yd} =$		
$N_{Ed,u} = A_1 \cdot f_{ud} =$		

Таблица 2.3 – Результаты испытаний и определения несущей способности

№ образцов	Размеры, мм		Разрушающая нагрузка, кН		Характер разрушения
			по испытаниям	по СП 5.04.01-2021	
1	120	90			
2	50	160			

2.4 Выводы по работе



## Лабораторная работа № 3

### Изучение работы болтовых соединений

**Цель работы:** исследование работы болтовых соединений на обычном и высокопрочном болтах; проверка несущей способности болтового соединения класса точности В и болтового соединения с высокопрочными болтами.

#### 3.1 Теоретическая часть

**Соединения, болты.** Соединение металлических конструкций, осуществляемое установкой металлических стержней в совмещенные отверстия, относится к классу монтажных соединений на болтах, заклёпках или их модификациях. Неразъёмность соединяемых элементов обеспечивается за счёт скрепления металлических элементов головками, имеющимися на концах стержней.

Если одна из головок формируется за счёт выступающего конца стержня, то данное соединение относится к заклепчному.

В соединениях металлических конструкций принимают болты 16...18 мм грубого класса точности – С, нормального класса точности – В, повышенного класса точности А.

Болты грубой точности ставят в отверстие в 2...3 мм больше диаметра стержня и принимают для нерасчётных монтажных соединений, то есть ставят конструктивно. В соединениях, воспринимающих расчетные усилия, ставят болты класса точности В, которые устанавливают в отверстие 1...1,5 мм больше диаметра стержня, и болты класса точности А, которые ставят в отверстие на 0,25...0,3 мм больше диаметра стержня.

Соединение класса В и А является малодеформативными.

В стальных конструкциях используют болты классов: 4,6; 4,8; 5,6; 5,8; 6,6; 8,8; 10,9. Эти цифры выбиваются на головке болта. Первая цифра умножается на 10 – это предел прочности материала болта кН/см<sup>2</sup>. Вторая цифра – это отношение  $(\sigma_y/\sigma_u) \times 10$  в %. Произведение этих цифр – это предел текучести материала болта кН/см<sup>2</sup>.

Для крепления профилированного настила, панелей к несущим конструкциям зданий применяется самонарезающие болты из стали 30, стали 10 по ГОСТ 1050 по ГОСТ 34-13-018-77 в виде комплект БС6х20МН с металлической или неметаллической шайбой. Для этих же цели применяют самонарезающие винты по ГОСТ 26805-79.

Для соединения листовых конструкций между собой применяют заклепки 3К трубчатые для односторонней клепки тонколистовых стропильных металлоконструкций по ГОСТ 26805-86.

Для соединения алюминиевых конструкций принимают болты из алюминия по ГОСТ 102.299, стальные болты всех видов, винты, заклепки из алюминия.

Для крепления колонн, рам к фундаментам применяют фундаментные болты по ГОСТ 24379 диаметром 12...140 мм, который изготавливается из стали Вст3кп2 болты по ГОСТ 535 09Г2С2 по ГОСТ 19281, 10Г2С1 по ГОСТ 19281, или химические анкеры.

В монтажных соединениях с большими усилиями при динамических и вибрационных воздействиях применяют фрикционные соединения на высокопрочных болтах класса точности В, по ГОСТ 22353, ГОСТ 22356 диаметром 16...48 мм.

**Категории болтовых соединений в соответствии с ТКП EN 1993-1-8:**

– соединения, работающие на сдвиг:

**категория А** – срезное;

**категория В** – фрикционное соединение в предельном состоянии эксплуатационной пригодности;

**категория С** – фрикционное соединение в предельном состоянии несущей способности;

– соединения, работающие на растяжение:

**категория D** – соединение без предварительного натяжения болтов;

**категория С** – соединения с предварительным натяжением болтов.

**Монтаж болтовых соединений.** На высокопрочных болтах собирается обычными, а затягивают динамометрическими ключами после контроля плотностью собранных деталей.

Динамометрические ключи по принципу работы подразделяются на две группы:

- самовыключающиеся предельные с регулируемым крутящим моментом;
- динамические с указанием величины крутящего момента.

### 3.2 Расчетная и экспериментальная части

1. Выполнить измерения деталей болтового соединения, болтов. Доработать чертеж соединений в сборке, указав размеры (рисунок 3.1). Количество пластин, болтов, а также значения толщин пластин и другие размеры занести в таблицу 3.1.

2. По маркировке на головках определить прочностные характеристики болтов, уточнить у преподавателя или лаборанта класс стали пластин и занести эти данные в таблицу 3.1.

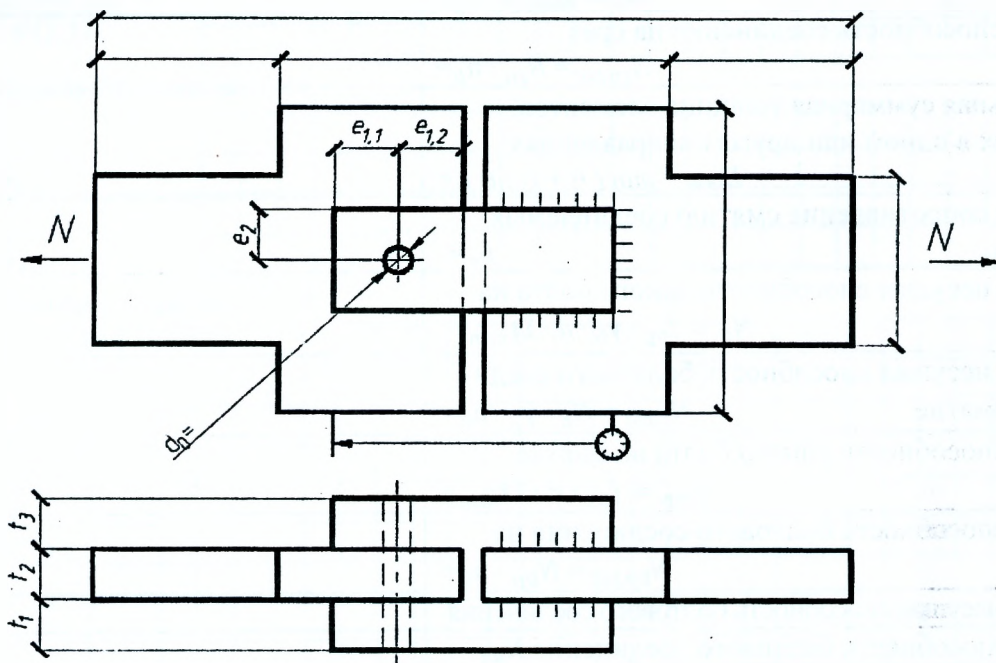


Рисунок 3.1 – Эскиз приспособления для испытания болтовых соединений

Таблица 3.1 – Исходные данные к расчету прочности болтового соединения

Расчетный параметр / Формула расчета	Значение
Число пластин в соединении	$n_p =$
Число расчетных срезов болта	$n_v = n_p - 1 =$
Количество болтов	$n_b =$
Толщина пластин	$t_1 =$
	$t_2 =$
	$t_3 =$
Класс стали пластин	
Класс прочности болта	
Диаметр болта	$d =$
Поперечное сечение болта брутто	$A =$
Поперечное сечение болта нетто	$A_s =$
Диаметр отверстия	$d_0 =$
Расстояния от центра болта до края пластины	
	$e_1 =$
	$e_2 =$

3. Выполнить расчет болтового соединения по СП 5.04.01-2021. Расчет свести в таблицу 3.2.







## Лабораторная работа № 4

### Определение модуля упругости и прочности древесины при статическом изгибе

#### Цель работы:

1. Определить модуль упругости древесины.
2. Определить прочность древесины.
3. Ознакомиться с методикой определения механических характеристик древесины и с приборами, используемыми при испытаниях.

#### 4.1 Методика проведения испытания

Для испытаний изготавливают образцы, которые имеют форму брусков размерами 20х20х300 мм, так, чтобы годовые кольца на торцах были параллельными паре граней. Перед испытанием на середине длины образца измеряют штангенциркулем по ГОСТ 166-80 с точностью до 0,1 мм его ширину и высоту.

При испытаниях образец помещают на неподвижные закругленные опоры радиусом 25 мм. К верхнему захвату испытательной машины прикреплена траверса с двумя валиками с таким же радиусом, как и опоры. Для измерения прогиба в зоне чистого изгиба устанавливают индикатор часового типа (рисунок 4.1).

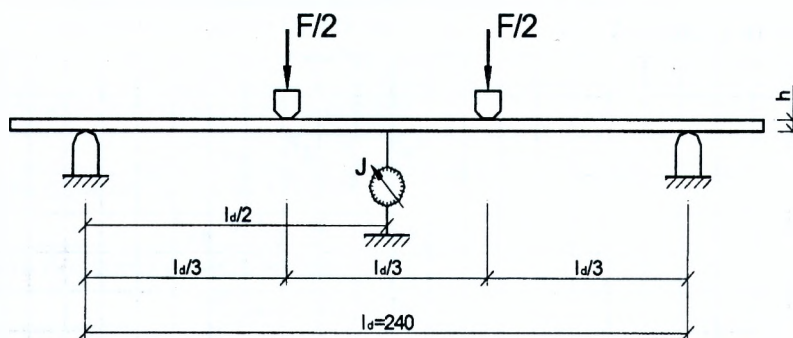


Рисунок 4.1 – Схема испытания образца

Нагрузку на образец прикладывают при постоянной скорости перемещения нагружающего элемента. Скорость должна быть такой, чтобы продолжительность нагружения образца до максимального значения нагрузки составляла не менее 2 и не более 5 минут.

Когда нагрузка достигнет 800 Н, плавно разгружают образец до 200 Н, после чего образец вновь нагружают до 800 Н и разгружают до 200 Н. При последующих трех нагружениях, в момент достижения нагрузки 300 и 800 Н измеряют прогиб с точностью до 0,01 мм. Отсчеты по индикатору заносят в таблицу 4.1. По результатам полученных данных определяют модуль упругости.

После циклического нагружения прикладывают ступенчатую нагрузку через 200 Н для определения прочности при изгибе и построения графика зависимости деформаций от напряжений  $f_m^{w,T} - \Delta u$ . В стадии разрушения фиксируют величину нагрузки.

После испытания с помощью электровлагомера определяют влажность образца и фиксируют температуру воздуха в лаборатории.

Результаты испытаний и вычислений заносят в таблицу 4.2.





$C_v$  – коэффициент изменчивости, равный 0,175;  
 $\alpha$  – поправочный коэффициент, равный 0,04;  
 $\beta$  – поправочное число на температуру, равное 4,5 МПа.

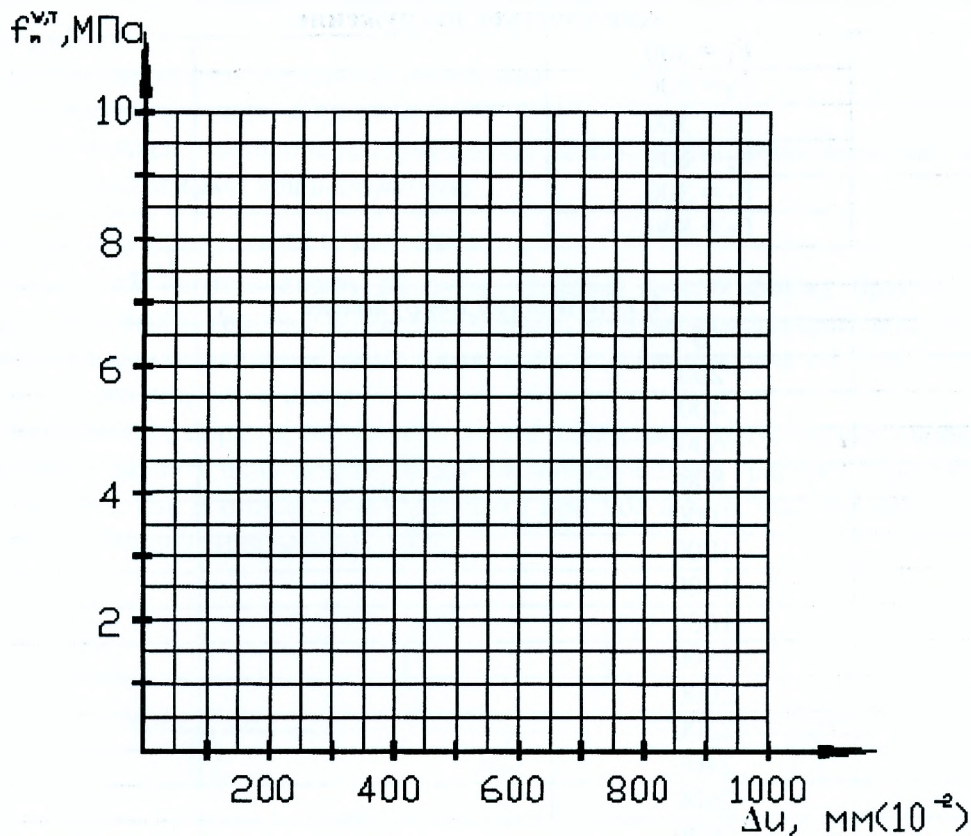


Рисунок 4.2 – Зависимость деформаций от напряжений  $f_m^{w,T} - \Delta u$   
 при статическом изгибе

Рисунок 4.3 – Характер разрушения образца

#### 4.2 Выводы по работе

##### Вопросы для самоподготовки

1. Что такое модуль упругости?
2. Что такое характеристическое значение прочности древесины и как оно определяется?
3. Что характеризует коэффициент изменчивости и от чего он зависит?

## Лабораторная работа № 5

### Испытание соединений деревянных элементов на механических связях

#### Цель работы:

1. Определить максимальную несущую способность соединения и характер деформации разрушения.
2. Определить величину деформаций соединения.
3. Построить график зависимости деформаций сдвига от нагрузки.

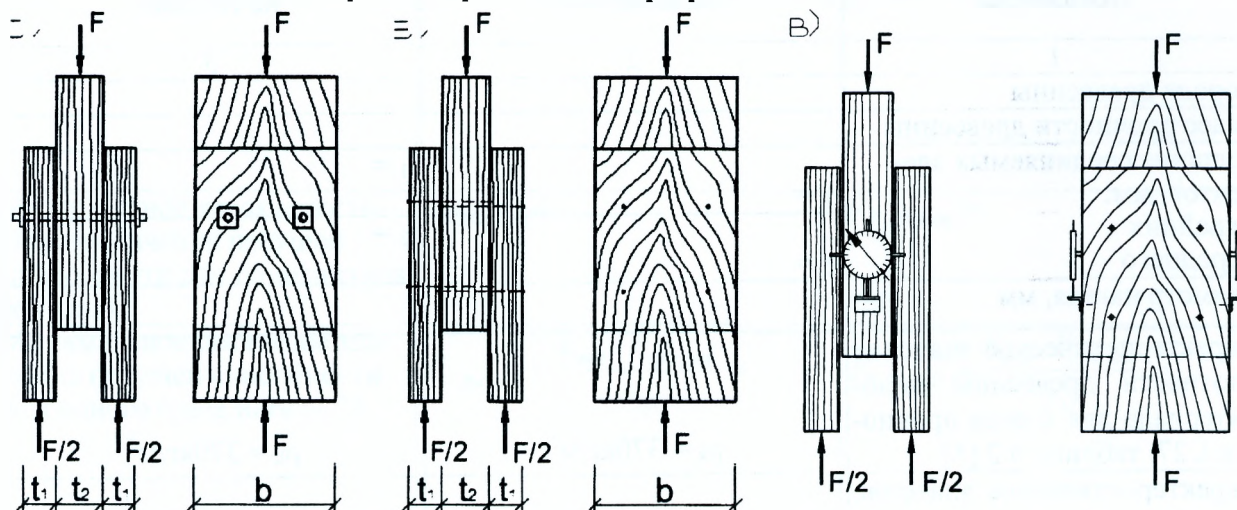
#### 5.1 Общие сведения

Соединения элементов представляют собой важнейшую часть несущих деревянных конструкций, от прочности которых непосредственно зависит надежная служба конструкций. Одним из видов соединения элементов деревянных конструкций являются соединения на механических связях, к которым относятся болты, шпильки, гвозди, шурупы, глухари, шайбы шпоночного типа, нагельные и металлические зубчатые пластины.

Испытание образцов соединений деревянных конструкций необходимо для выяснения основных характеристик его работы под нагрузкой.

#### 5.2 Методика проведения испытаний

Для испытаний изготавливают образцы соединений на стальных стержнях (шпильках) и обычных гвоздях из стальной проволоки. Форма и размеры образцов приведены на рисунке 5.1 «а», «б». Испытание образцов проводится на разрывной машине Р-10.



а) соединение на шпильках; б) соединение на гвоздях; в) схема установки индикаторов

Рисунок 5.1 – Схема испытания и эскизы образцов

Испытание ведется непрерывно с постоянной скоростью, равной примерно 300 Н/сек. Отсчеты по индикатору фиксируют в тот момент, когда нагрузка достигает соответствующей ступени, и заносятся в таблицу 5.1. Установка индикаторов часового типа показана на рисунке 5.1 «в». Величину разрушающей нагрузки устанавливают по силоизмерителю машины, когда при непрерывном росте деформаций нагрузка не увеличивается.

Результаты испытаний элементов деревянных конструкций на шпильках и гвоздях сводятся в таблицу 5.2.

Таблица 5.1 – Показания индикаторов при испытаниях соединений

№№ п/п	На шпильках			На гвоздях		
	Ступени нагрузки F, кН	Отсчеты по инди- катору		Ступени нагрузки F, кН	Отсчеты по инди- катору	
		U, мм	ΔU, мм		U, мм	ΔU, мм
0	0			0		
1	2			1		
2	4			2		
3	6			3		
4	8			4		
5	10			5		
6	12			6		
7	14			7		
8	16			8		
9	18			9		
10	20			10		

Таблица 5.2 – Результаты испытаний соединений

Показатели	на шпильках	на гвоздях
1	2	3
Порода древесины		
Класс прочности древесины		
Толщина соединяемых эле- ментов, мм:		$t_1 =$
– крайних	$t_1 =$	$t_2 =$
– среднего	$t_2 =$	
Диаметр нагеля, мм		
Характеристическое значение плотности древесины пило- материала для класса прочно- сти С27, таблица 6.2 [5]	$\rho_k = 370 \text{ кг/м}^3$	$\rho_k = 370 \text{ кг/м}^3$
Характеристическое значение сопротивления древесины при вдавливании плашмя:		
– шпильки, таблица 9.6 [5]	$f_{h.1.k} = f_{h.2.k} = 0.082(1 - 0.01d) \cdot \rho_k =$	$f_{h.1.k} = f_{h.2.k} = 0.082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0.3} =$
– гвоздя для соединений из древесины без предваритель- ного сверления отверстий, таблица 9.5 [5]		
Прочность материала нагеля на растяжение	$f_{u.k} = 360 \text{ Н/мм}^2$	$f_u = 600 \text{ Н/мм}^2$
Характеристическое значение момента, вызывающего обра- зование пластического шар- нира в поперечном сечении:		
– шпильки, формула 9.35 таб- лицы 9.4 [5]	$M_{y,Rk} = 0,3 f_{u.k} \cdot d^{2,6} =$	$M_{y,Rk} = 0,3 f_k \cdot d^{2,6} =$
– гвоздя, формула 9.32 табли- цы 9.4 [5]		



Окончание таблицы 5.2

1	2	3
Характеристическое значение несущей способности для одного среза нагеля, Н:	$F_{V.Rk} = f_{h.1.k} \cdot t_1 \cdot d =$ $F_{V.Rk} = 0.5 f_{h.2.k} \cdot t_2 \cdot d =$ $F_{V.Rk} = 1,05 \cdot \frac{f_{h.1.k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \times$ $\times \left[ \sqrt{2\beta(1+\beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2+\beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h.1.k} \cdot t_1^2 \cdot d}} - \beta \right]$ $=$ $F_{V.Rk} = 1.15 \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h.1.k} \cdot d}$	$F_{V.Rk} = f_{h.1.k} \cdot t_1 \cdot d =$ $F_{V.Rk} = 0.5 f_{h.2.k} \cdot t_2 \cdot d =$ $F_{V.Rk} = 1,05 \cdot \frac{f_{h.1.k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \times$ $\times \left[ \sqrt{2\beta(1+\beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2+\beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h.1.k} \cdot t_1^2 \cdot d}} - \beta \right]$ $=$ $F_{V.Rk} = 1.15 \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h.1.k} \cdot d}$
Минимальное характеристическое значение несущей способности для одного среза нагеля, Н	$F_{V.Rk.min} =$	$F_{V.Rk.min} =$
Минимальное расчетное значение несущей способности для одного среза нагеля, Н	$F_{V,Rd,min} = \frac{k_{mod} \cdot F_{v,Rk,min}}{\gamma_M} =$	$F_{V,Rd,min} = \frac{k_{mod} \cdot F_{v,Rk,min}}{\gamma_M} =$
Расчетное значение несущей способности соединения, Н	$F_{V.Rd} = F_{V,Rd,min} \cdot n_{ef} \cdot n_s =$	$F_{V.Rd} = F_{V,Rd,min} \cdot n_{ef} \cdot n_s =$
Разрушающая нагрузка, Н		
Нагрузка при деформации сдвига $\delta = 2$ мм, Н	$F =$	$F =$

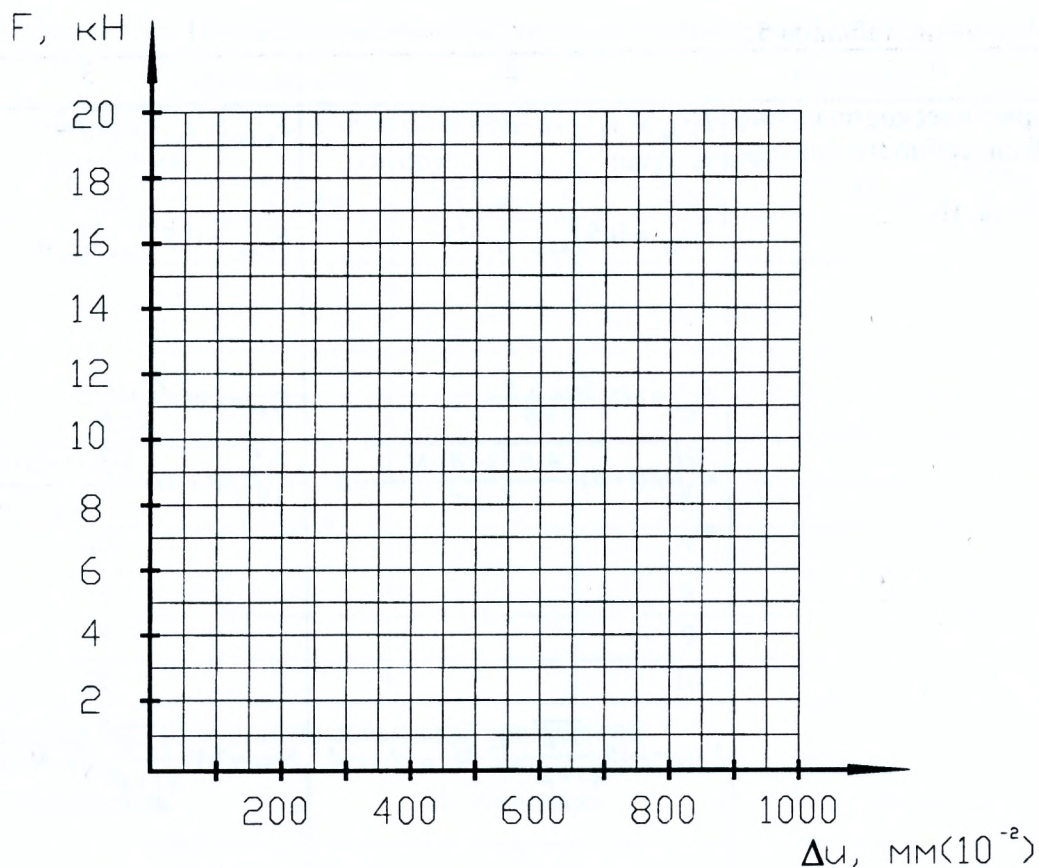
где  $\beta = \frac{f_{h2,k}}{f_{h1,k}} =$  ;

$k_{mod} = 0.6$  – коэффициент модификации, таблица 5.4 [5];

$\gamma_M = 1,3$  – частный коэффициент свойств материала, таблица 5.6 [5];

$n_{ef}$  – число нагелей;

$n_s$  – число плоскостей сдвига.



а) на шпильках; б) на гвоздях

Рисунок 5.2 – Зависимость деформаций от нагрузки

а) на шпильках; б) на гвоздях

Рисунок 5.3 – Характер разрушения образцов

### 5.3 Выводы по работе:

#### Вопросы для самопроверки

1. Как определяется расчетная несущая способность нагеля на один шов сплачивания в соединениях деревянных элементов?
2. Как располагаются нагели в соединениях деревянных элементов на гвоздях и шпильках?

## Лабораторная работа № 6

### Испытание составного элемента на податливых связях на статический изгиб

#### Цель работы:

1. Определить величину и характер распределения нормальных напряжений по высоте поперечного сечения цельного и составного элементов.
2. Построить графики прогибов цельного и составного элементов и сделать их сопоставительный анализ. Построить график деформаций сдвига для составного элемента и определить требуемое количество связей.
3. Для составного элемента определить экспериментальные значения коэффициентов  $k_w$ ,  $k_i$ .

#### 6.1 Общие сведения

Из-за ограниченности сортамента пиломатериалов в деревянных конструкциях применяют составные сечения из досок или брусьев, соединенных между собой различными связями: гвоздями, болтами, шпонками и т.п. Такие связи воспринимают сдвигающие усилия и препятствуют взаимному сдвигу отдельных ветвей составного сечения, обеспечивая их совместную работу.

Так как все виды механических соединений обладают податливостью, то в составных элементах под нагрузкой также происходит частичное смещение отдельных ветвей вдоль рабочих швов. Вследствие этого составные элементы имеют меньшую несущую способность, чем такие же по площади элементы цельного сечения. Особенность расчета составных элементов на податливых связях заключается в учете их податливости. Расчет производится по формулам для элементов цельного сечения с учетом поправочных коэффициентов к геометрическим характеристикам сечения. Для изгибаемого составного элемента на податливых связях геометрические характеристики будут равны:

$$W_{ef} = k_w \cdot W_d;$$

$$I_{ef} = k_i \cdot I_{br},$$

где  $W_d$ ,  $I_{br}$  – расчетный момент сопротивления и момент инерции брутто поперечного сечения элемента относительно нейтральной оси соответственно, определяемые как для цельного сечения;

$k_w$  – коэффициент, учитывающий изменение момента сопротивления для составных балок на податливых соединениях;

$k_i$  – коэффициент, учитывающий изменение момента инерции для составных балок на податливых соединениях.

Число связей на половине пролета определяется по формуле:

$$n_n = \frac{T_{v,d}^{1/2}}{F_{v,Rd,min}},$$

где  $T_{v,d}^{1/2}$  – полное сдвигающее усилие на участке от опоры до сечения с наибольшим моментом

$$T_{v,d}^{1/2} = \frac{S_{br}}{I_{br}} \int_0^{l/2} V \cdot d_x = M_{max} \frac{S_{br}}{I_{br}};$$

$F_{v,Rd,min}$  – минимальное значение несущей способности одного среза нагеля в соединении;

$M_{max}$  – максимальный изгибающий момент;

$S_{br}$  – статический момент брутто сдвигаемой части поперечного сечения относительно нейтральной оси;

$I_{br}$  – момент инерции брутто поперечного сечения элемента относительно нейтральной оси.



## 6.2 Методика проведения испытаний

В работе проводится испытание на статический изгиб одновременно двух элементов – Б1 и Б2. Элемент Б1 имеет цельное сечение, а элемент Б2 представляет собой составное сечение из двух брусков, соединенных по высоте с помощью гвоздей (рисунок 6.1).

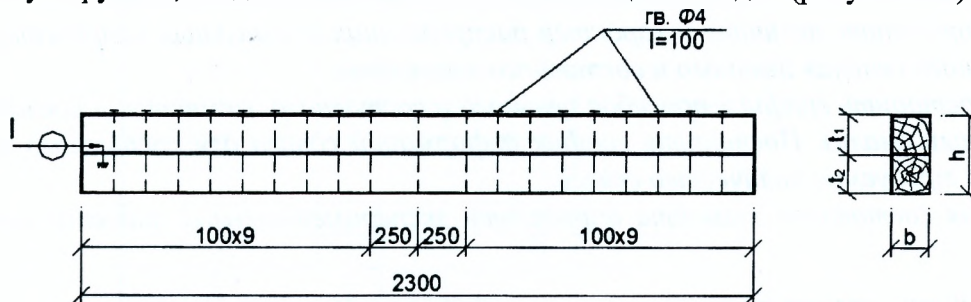


Рисунок 6.1 – Схема расстановки связей в элементе Б2

Оба элемента имеют одинаковые размеры и испытываются одинаковой нагрузкой. Нагружение осуществляется двумя сосредоточенными силами в третях пролета при помощи испытательных грузов (рисунок 6.2). Прогибы элементов посередине пролета определяются при помощи прогибомеров П1 и П2.

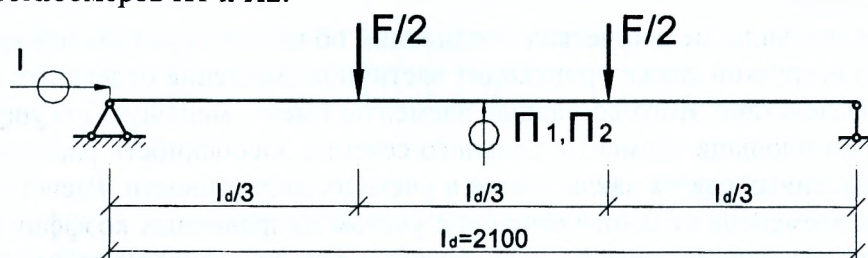
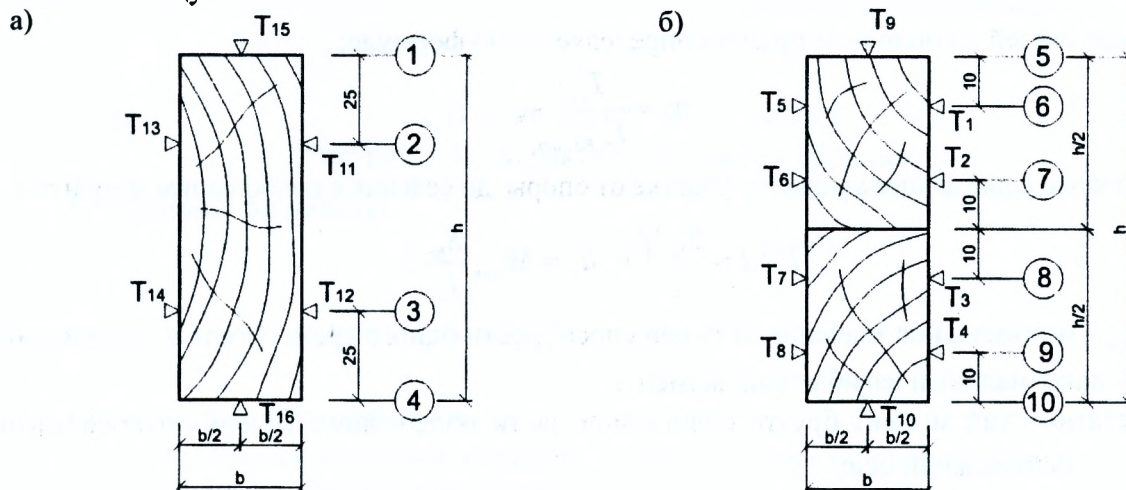


Рисунок 6.2 – Схема испытания элементов Б1 и Б2

Для определения относительных деформаций по сечениям элементов в средней части наклеены тензорезисторы (рисунок 6.3). Отчеты по тензорезисторам осуществляются в автоматическом режиме при помощи специального тензометрического комплекса ТИССА. На опорном участке элемента Б2 установлен индикатор  $I$  для измерения деформаций сдвига брусков в месте их соединения. Нагружение каждого элемента осуществляется ступенями  $\Delta F = 0,2$  кН и доводится до максимальной нагрузки  $F = 1$  кН, что соответствует упругой области работы обоих элементов. Приращение показателей тензорезисторов заносятся в таблицу 6.1. Отсчеты по прогибомерам и индикатору снимаются на каждой ступени нагружения и заносятся в таблицу 6.2.



а) элемент цельного сечения Б1; б) составной элемент Б2

Рисунок 6.3 – Схема расстановки тензорезисторов

Таблица 6.1 – Результаты экспериментальных исследований

№№ тензорезисторов	T, x 10 <sup>-5</sup>	Сечения элементов	Относительные деформации ε, x10 <sup>-5</sup>	Нормальные напряжения σ <sub>i</sub> =ε·E <sub>0</sub> , МПа
T <sub>1</sub>		1		
T <sub>2</sub>		2		
T <sub>3</sub>		3		
T <sub>4</sub>		4		
T <sub>5</sub>		5		
T <sub>6</sub>		6		
T <sub>7</sub>		7		
T <sub>8</sub>		8		
T <sub>9</sub>		9		
T <sub>10</sub>		10		
T <sub>11</sub>				
T <sub>12</sub>				
T <sub>13</sub>				
T <sub>14</sub>				
T <sub>15</sub>				
T <sub>16</sub>				

Таблица 6.2 – Показания приборов при нагружении элементов

Ступени нагруж. F, кН	Элемент Б1			Элемент Б2			
	Прогибомер П1		Прогиб U, мм	Прогибомер П2		Индикатор I, мм	Деформации сдвига V, мм
	U, мм	ΔU, мм		U, мм	Прогиб U <sub>ef</sub> , мм		
0							
0,2							
0,4							
0,6							
0,8							
1							

### 6.3 Обработка результатов испытания

В каждом сечении элементов (сечения на рисунке 6.3 обозначены цифрами в кружочках) определяются относительные деформации как среднее арифметическое ΔT тех тензорезисторов, которые находятся в данном сечении. Нормальные напряжения в указанных сечениях вычисляются после определения модуля упругости древесины по формуле таблицы 6.3 с использованием данных таблицы 6.2 (графа 3).

В таблице 6.2 значения ΔU (графа 3) определяются как разница между смежными показаниями, соответствующими ΔF = 0,2 кН. Значения прогибов и деформаций сдвига (графы 4, 6, 8) определяются как приращения по отношению к нулевой степени нагружения.

По значениям нормальных напряжений (экспериментальные – таблица 6.1, теоретические – таблица 6.3) строятся эпюры для элементов Б1 и Б2, а по значениям деформаций (таблица 1.2) графики прогибов и сдвига при увеличении нагрузки F = 0 – 1 кН.

В таблице 6.3:

$$W_a = b \cdot h^2 / 6 =$$

– расчетный момент сопротивления

поперечного сечения цельного элемента;

$$W_{d.c.} = b \cdot h^2 / 12 =$$

– расчетный момент сопротивления

поперечного сечения составного элемента при отсутствии связей.

Таблица 6.3 – Результаты испытаний

Показатели	Расчеты
Класс прочности древесины	C27
Расчетный пролет	$l_d =$
Размеры, мм	
- элемента, Б1	$b =$ $h =$
- элемента, Б2	$b =$ $h = t_1 + t_2 =$
Модуль упругости древесины, МПа	$E_0 = \frac{23 \cdot \Delta F \cdot J_d^3}{108 \cdot b \cdot h^3 \cdot \Delta U_{cp}} =$
Максимальные теоретические напряжения при $F=1$ кН в цельном элементе Б1, МПа	$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W_d} =$
Максимальные теоретические напряжения при $F=1$ кН в составном элементе Б2 (при отсутствии связей), МПа	$\sigma_{0,max} = \frac{M_{max}}{W_{d.c.}} =$
Поправочные коэффициенты для составного элемента Б2: - к моменту сопротивления  - к моменту инерции	$k_w = \frac{\sigma_{ef}}{\sigma} =$  $k_i = \frac{U}{U_{ef}} =$
Требуемое количество связей на половине пролета составного элемента Б2	$n_n = \frac{M_{max} \cdot S_{br}}{I_{br} \cdot F_{V,Rd,min}} =$
Фактическое количество связей на половине пролета	$n_n =$

Используя эпюры экспериментальных значений (рисунки 6.4 и 6.5) определяют средние значения нормальных напряжений:

– для сечения цельного элемента Б1:

$$\sigma = \frac{|\sigma_c| + |\sigma_t|}{2} = \quad , \text{ где } \sigma_c \text{ и } \sigma_t - \text{ значение нормальных}$$

напряжений в сечении 1 и 4 соответственно (см. рисунок 6.3а);

– для сечения составного элемента Б2:

$$\sigma_{ef} = \frac{|\sigma_1| + |\sigma_2| + |\sigma_3| + |\sigma_4|}{4} = \quad , \text{ где } \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \text{ и } \sigma_4 -$$

значение нормальных напряжений в сечении 5, 10 и по плоскости соединения элементов балки (см. рисунок 6.3б и 6.5).

Определяют характеристические значения несущей способности гвоздя в соединении  $F_{V,Rk}$  по ниже приведенным формулам:

$$1) F_{V,Rk} = f_{h.1.k} \cdot t_1 \cdot d =$$

$$2) F_{V,Rk} = f_{h.2.k} \cdot t_2 \cdot d =$$

$$3) F_{V,Rk} = \frac{f_{h.1.k} \cdot t_1 \cdot d}{1 + \beta} \cdot \left[ \sqrt{\beta + 2 \cdot \beta^2 \cdot \left[ 1 + \frac{t_2}{t_1} + \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right]} + \beta^3 \cdot \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 - \beta \cdot \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} =$$



$$4) F_{V,Rk} = 1,05 \cdot \frac{f_{h1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left[ \sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h1,k} \cdot t_1^2 \cdot d}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} =$$

$$=$$

$$5) F_{V,Rk} = \frac{1,05 \cdot f_{h1,k} \cdot t_2 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left[ \sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (1 + 2 \cdot \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h1,k} \cdot t_2^2 \cdot d}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} =$$

$$=$$

$$6) F_{V,Rk} = 1,15 \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} =$$

$$=$$

где  $f_{h1,k} = f_{h2,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{0,3} =$

характеристическое значение сопротивления древесины вдавливанию гвоздя плашмя для элемента  $t_1$ , таблица 9.5 [5];

$\rho_k = 370 \text{ кг/м}^3$  – характеристическое значение плотности древесины пиломатериала для класса прочности C27, таблица 6.2 [5];

$t_1$  – толщина элемента в который забивается гвоздь;

$t_2$  – величина забитой части гвоздя с острием;

$d$  – диаметр гвоздя;

$$\beta = \frac{f_{h2,k}}{f_{h1,k}} =$$

$$F_{ax,Rk} = f_{ax,Rk} \cdot t_{pen} \cdot d =$$

характеристическое значение несущей способности гвоздя при его выдергивании из элемента соединения, формула (9.72) [5];

$$f_{ax,Rk} = 20 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2 =$$

характеристическое значение сопротивления гвоздя выдергиванию из древесины;

$t_{pen} = t_2$  – расчетная длина заземленной части гвоздя со стороны острия;

$$M_{y,Rk} = 0,3 f_u \cdot d^{2,6} =$$

характеристическое значение момента, вызывающего образование пластического шарнира в поперечном сечении гвоздя, формула 9.32 таблицы 9.4 [5];

$f_u = 600 \text{ Н/мм}^2$  – прочность материала гвоздя на растяжение.

Минимальное расчетное значение несущей способности гвоздя равно

$$F_{V,Rk \min} =$$

Минимальное расчетное значение несущей способности гвоздя определяется по формуле

$$F_{V,Rd,\min} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot F_{V,Rk,\min}}{\gamma_M} =$$

где  $k_{\text{mod}} = 0,6$  – коэффициент модификации, таблица 5.4 [5];

$\gamma_M = 1,3$  – частный коэффициент свойств материала, таблица 5.6 [5].

Вычисленное значение  $F_{V,Rd,\min}$  подставляется в формулу таблицы 6.3 для определения требуемого количества гвоздей в соединении.

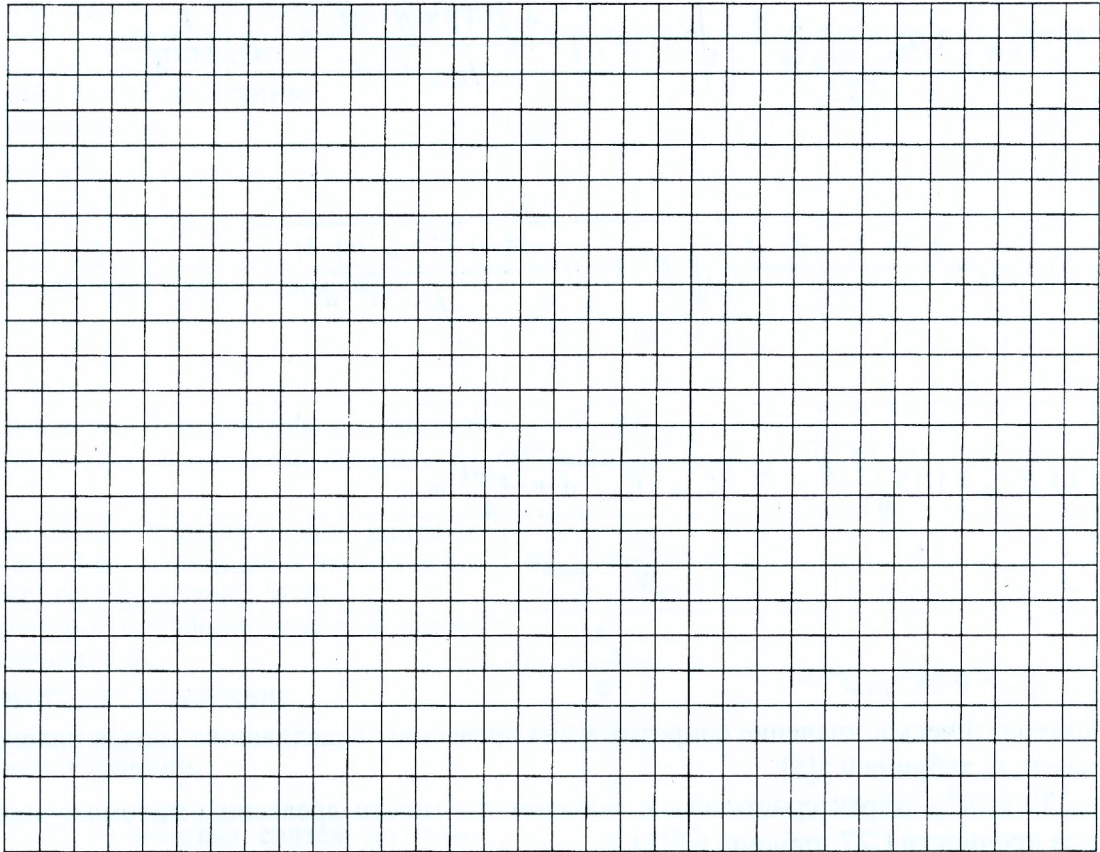


Рисунок 6.4 – Распределение нормальных напряжений по высоте поперечного сечения элемента Б1

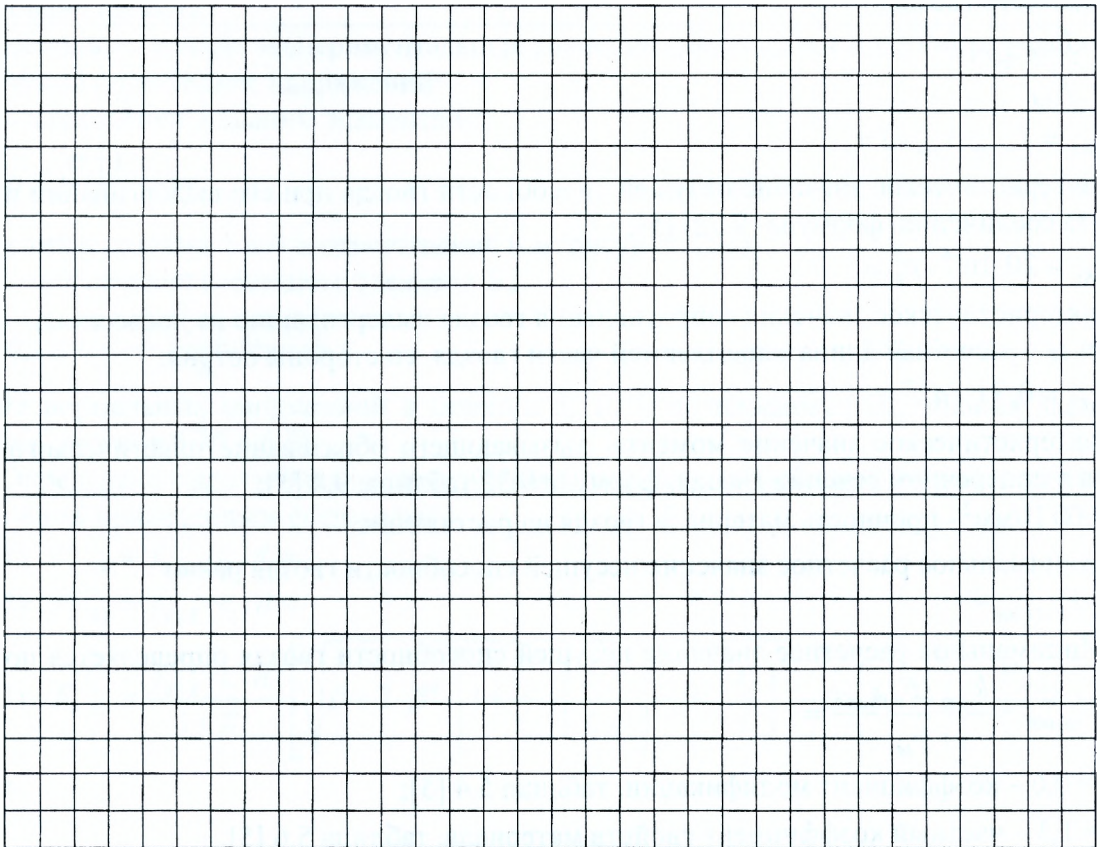
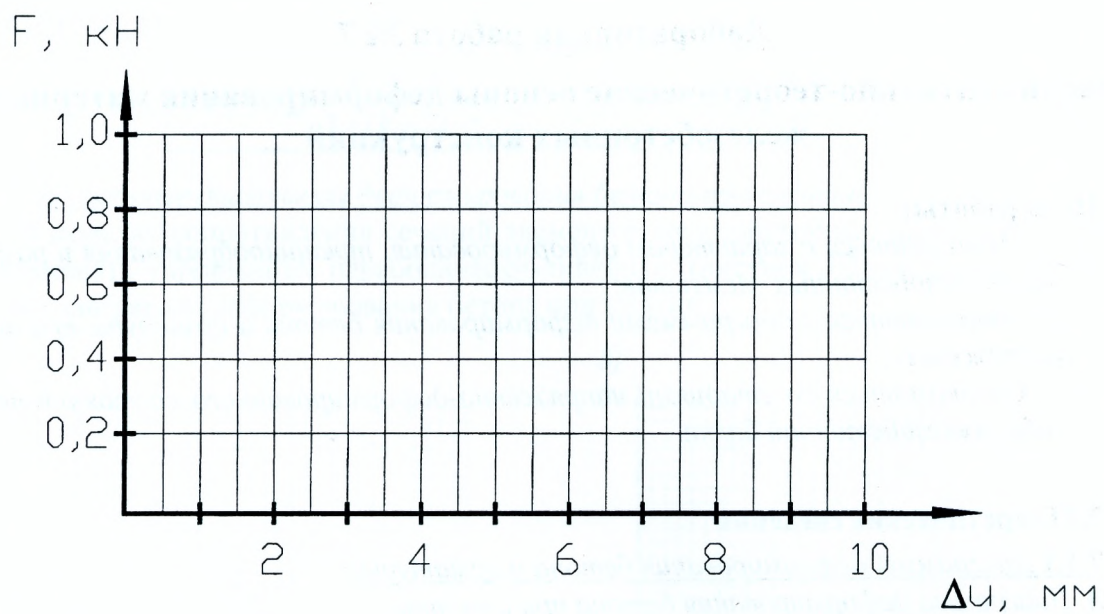


Рисунок 6.5 – Распределение нормальных напряжений по высоте поперечного сечения элемента Б2





а) – для балки цельного сечения; б) – для балки составного сечения  
 Рисунок 6.6 – Зависимость деформаций от нагрузки

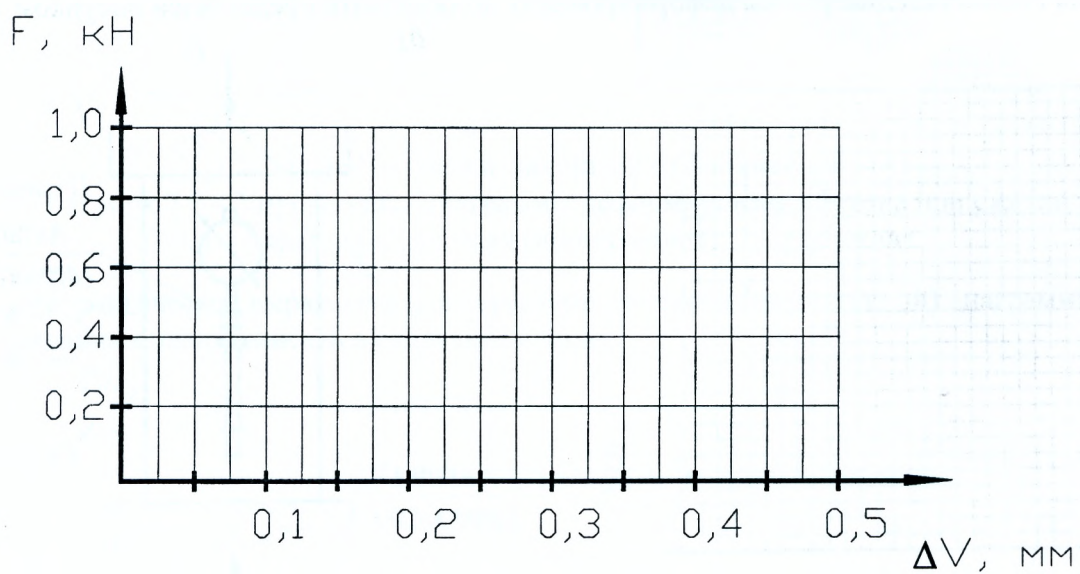


Рисунок 6.7 – Зависимость деформаций сдвига от нагрузки

#### 6.4 Выводы по работе

##### Вопросы для самоподготовки

1. Почему прогиб балки составного сечения больше, чем балки цельного сечения?
2. В чем заключается особенность расчета балки составного сечения?



## Лабораторная работа № 7

### Экспериментально-теоретические основы деформирования материалов железобетонных конструкций

#### Цель работы:

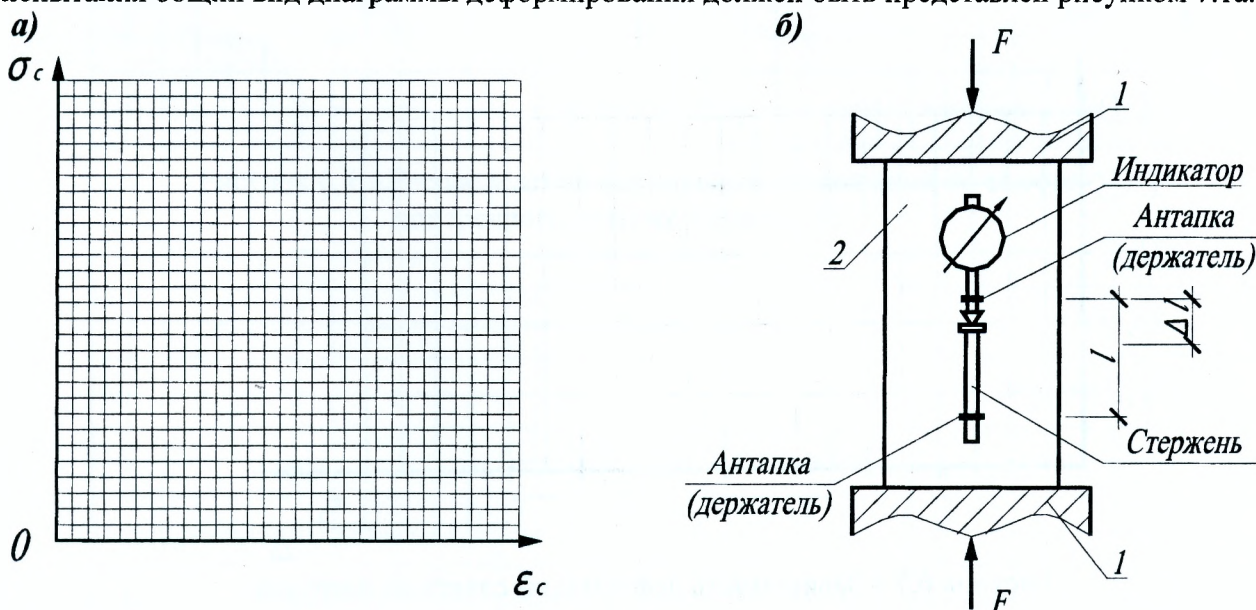
1. Ознакомиться с характером деформирования, трещинообразования и разрушения железобетонных элементов;
2. Ознакомиться с диаграммами деформирования бетона и арматуры при осевом нагружении;
3. Ознакомиться со стадиями напряжённо-деформированного состояния при изгибе железобетонной балки.

#### 7.1 Теоретические сведения

##### 7.1.1 Диаграммы деформирования бетона и арматуры:

###### А. Диаграмма деформирования бетона при сжатии.

Для построения диаграммы деформирования бетона на сжатие производят испытание образцов в виде призм или цилиндров по стандартной схеме (см. рисунок 7.1б). В результате испытания общий вид диаграммы деформирования должен быть представлен рисунком 7.1а.



- а) общий вид диаграммы деформирования бетона при осевом кратковременном сжатии;  
б) схема испытания опытных образцов при сжатии

Рисунок 7.1 – К построению диаграммы деформирования бетона при осевом сжатии:

1 – опорные плиты испытательной машины; 2 – опытный образец

$f_c'$  – кратковременная прочность бетона на осевое сжатие;

$f_{cm}$  – средняя прочность бетона на осевое сжатие;

$f_{ck}$  – характеристическая прочность бетона на осевое сжатие;

$f_{cd}$  – расчетная прочность бетона на сжатие для железобетонных и предварительно напряженных конструкций ( $f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c, \gamma_c = 1,5$ );

$\epsilon_{c1}, \epsilon_{c2}, \epsilon_{c3}$  – относительные деформации бетона, соответствующая пиковой точке полной (идеализированной), характеристической и расчетной диаграммам;

$\epsilon_{cu}$  – относительная деформация, соответствующая предельной сжимаемости бетона;

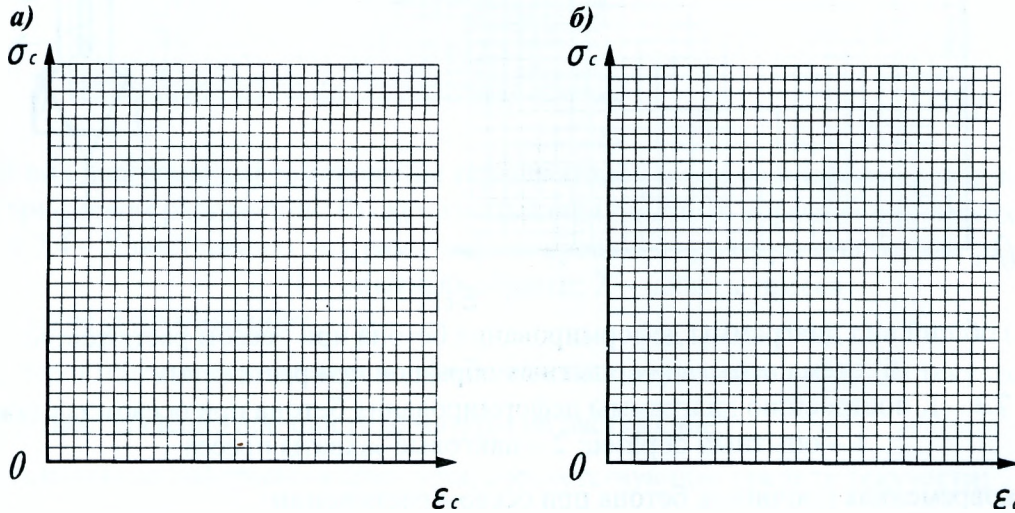
Математическое выражение для полной диаграммы деформирования бетона представляется в следующем виде:

при  $0 \leq |\varepsilon_c| \leq |\varepsilon_{c1}|$ :

$$\sigma_c = f_{cm} \cdot \frac{k \cdot \eta - \eta^2}{1 + (k - 2) \cdot \eta}; \quad \eta = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c1}}; \quad k = 1,1 \cdot E_{cm} \frac{\varepsilon_{c1}}{f_{cm}}.$$

Упрощённые диаграммы деформирования бетона при сжатии

В моделях сопротивления сечений элементов железобетонных конструкций допускается применять упрощенные параболически-линейную (рисунок 7.2а) и билинейную (рисунок 7.2б) диаграммы деформирования бетона при сжатии.



а) параболически-линейная; б) билинейная

Рисунок 7.2 – Упрощенные диаграммы деформирования бетона при сжатии  
1 – характеристическая (нормативная); 2 – расчетная

Математическое выражение для характеристической (нормативной) диаграммы деформирования можно записать в следующем виде:

при  $0 \leq |\varepsilon_c| \leq |\varepsilon_{c2}|$ :

$$\sigma_c = f_{ck} \cdot \left( 1 - \left( 1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}} \right)^2 \right),$$

при  $|\varepsilon_{c2}| \leq |\varepsilon_c| \leq |\varepsilon_{cu2}|$ :

$$\sigma_c = f_{ck}.$$

Математическое выражение для расчетной диаграммы деформирования представляется в следующем виде:

при  $0 \leq |\varepsilon_c| \leq |\varepsilon_{c2}|$ :

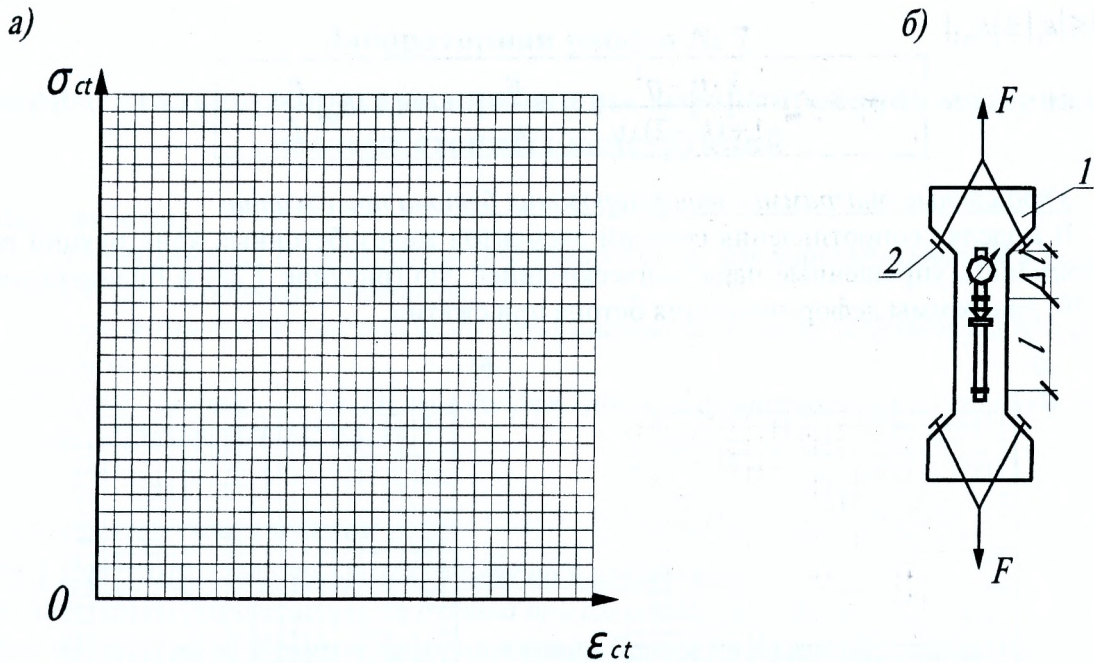
$$\sigma_c = f_{cd} \cdot \left( 1 - \left( 1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}} \right)^2 \right),$$

при  $|\varepsilon_{c2}| \leq |\varepsilon_c| \leq |\varepsilon_{cu2}|$ :

$$\sigma_c = f_{cd}.$$

Б. Диаграмма деформирования бетона при осевом растяжении может быть получена в результате испытаний образцов в виде бетонных «восьмерок» по схеме согласно рисунку 7.3б. Диаграмма деформирования бетона на осевое растяжение при этом будет иметь вид, представленный рисунком 7.3а:





а) общий вид диаграммы деформирования бетона при осевом растяжении;  
 б) схема испытания опытных образцов при растяжении

Рисунок 7.3 – К построению диаграммы деформирования бетона при осевом растяжении:  
 1 – опытный образец; 2 – цапговые захваты прессы

$f_{ct}'$  – кратковременная прочность бетона при осевом растяжении;

$f_{ctm}$  – средняя прочность бетона при осевом растяжении;

$f_{ctk0,05}$  – характеристическая прочность бетона при осевом растяжении;

$f_{ctd}$  – расчетная прочность бетона при растяжении для железобетонных и предварительно напряженных конструкций;

$\epsilon_{ct1} = 44 f_{ct}' \cdot 10^{-6}$  – относительная деформация бетона, соответствующая прочности при растяжении  $f_{ct}'$ ;

$\epsilon_{ctu}$  – относительная деформация, соответствующая предельному растяжению бетона.

Математическое выражение диаграммы для восходящей и нисходящей ветвей диаграммы можно записать в следующем виде:

при  $\epsilon_{ct} \leq \epsilon_{ct1}$  имеем:

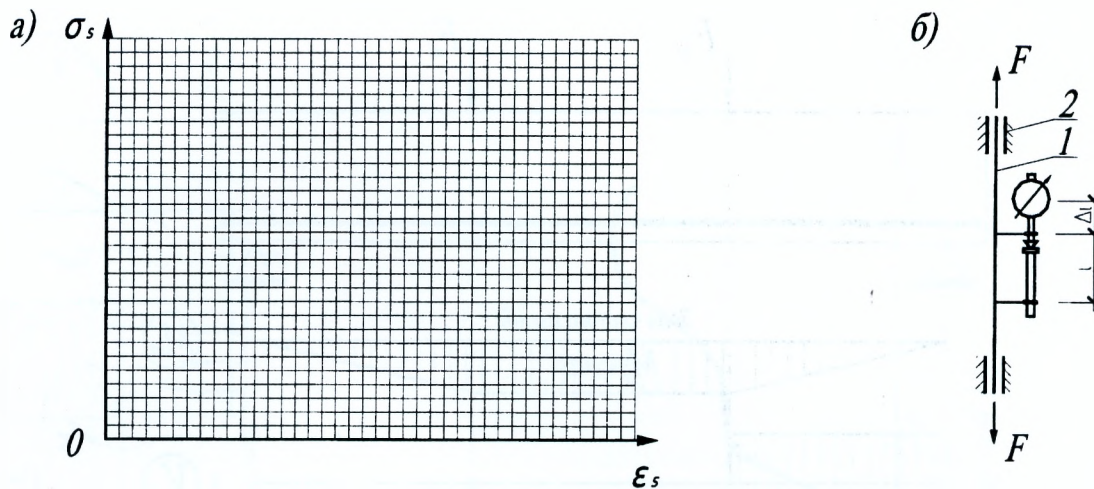
$$\sigma_{ct} = 1.2 \cdot f_{ct}' \cdot \left( \frac{\epsilon_{ct}}{\epsilon_{ct1}} \right) - 0.2 \cdot \left( \frac{\epsilon_{ct}}{\epsilon_{ct1}} \right)^6,$$

при  $\epsilon_{ct1} \leq \epsilon_{ct} \leq \epsilon_{ctu}$  имеем:

$$\sigma_{ct} = \frac{f_{ct}' \cdot \left( \frac{\epsilon_{ct}}{\epsilon_{ct1}} \right)}{0,312 \cdot (f_{ct}')^2 \cdot \left( \left( \frac{\epsilon_{ct}}{\epsilon_{ct1}} \right) - 1 \right)^{1,7} + \left( \frac{\epsilon_{ct}}{\epsilon_{ct1}} \right)}.$$

В. Для построения диаграммы деформирования горячекатаной и холоднодеформированной арматуры производят испытания образцов на растяжение согласно действующим нормативно-техническим стандартам. Диаграммы деформирования имеют вид:





а) общий вид диаграмм деформирования горячекатаной и холоднодеформированной арматуры при осевом растяжении; б) схема испытания опытных образцов при растяжении  
 Рисунок 7.4 – К построению диаграмм деформирования арматуры при осевом растяжении  
 1 – опытный образец; 2 – захваты пресса

$f_t$  – временное сопротивление;

$f_{yk(0,2k)}$  – характеристическое значение физического или условного предела текучести;

$f_{yd}$  – расчетное значение прочности арматуры на растяжение;

$\epsilon_{yd}$  – относительная деформация арматуры, соответствующая пределу текучести;

$\epsilon_{su}$  – предельное значение относительного удлинения, равное  $10^\circ / \dots$ .

Математическое выражение расчётной (характеристической) диаграммы на участке упругой работы при  $0 < \epsilon_s \leq \epsilon_{yd}$  имеет вид:

$$\sigma_s = E_s \cdot \epsilon_s,$$

при  $\epsilon_s > \epsilon_{yd}$  имеет вид:

$$\sigma_s = f_{yk}, \sigma_s = f_{yd}.$$

### 7.1.2 Стадии напряжённо-деформированного состояния (НДС) нормального сечения балки при изгибе

При изменении изгибающего момента от внешней нагрузки, от начального значения до разрушающего (рисунок 7.5), в нормальном сечении происходит изменение напряжений и деформаций. Выделяют три характерные стадии напряженно-деформированного состояния (НДС):

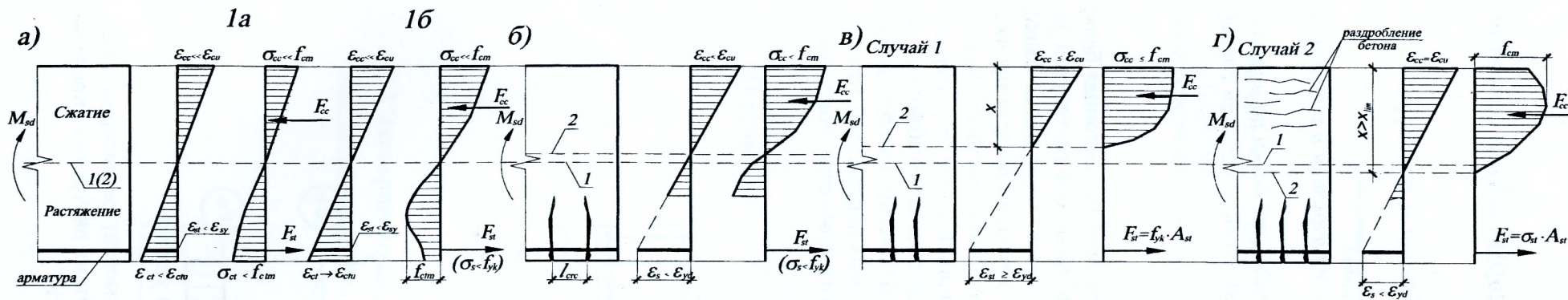
Стадия 1 характеризует напряженно-деформированное состояние железобетонного элемента, работающего без трещин в растянутой зоне. При этом удобно рассматривать два промежуточных состояния, зависящих от величины относительных деформаций наиболее растянутых волокон сечения

Стадия 1а (рисунок 7.6 а) имеет место на начальных этапах нагружения элемента, когда значение действующего усилия на элемент не велико. В этом случае бетон как в сжатой, так и в растянутой зонах работает в области упругих деформаций (участок ОА и О'А' на рисунке 7.7 а, б). Эпюры распределения напряжения в сжатой и растянутой зонах сечения носят в этом случае линейный характер и представляются двумя треугольниками.

Стадия 1б (рисунок 7.6 а) по мере увеличения нагрузки происходит рост относительных деформаций в бетоне в сжатой и растянутой зонах. Сжатый бетон до образования трещин продолжает работать практически упруго, и эпюру сжимающих напряжений без особых погрешностей можно считать треугольной (рисунок 7.6 а). Связь между напряжениями и деформациями в бетоне растянутой зоны полностью повторяет диаграмму деформирования при растяжении (участок О'А'В'С' рисунок 7.6 а). Накануне образования первых трещин относительные деформации на наиболее растянутой грани сечения стремятся к своему предельному значению (рисунок 7.6 а).



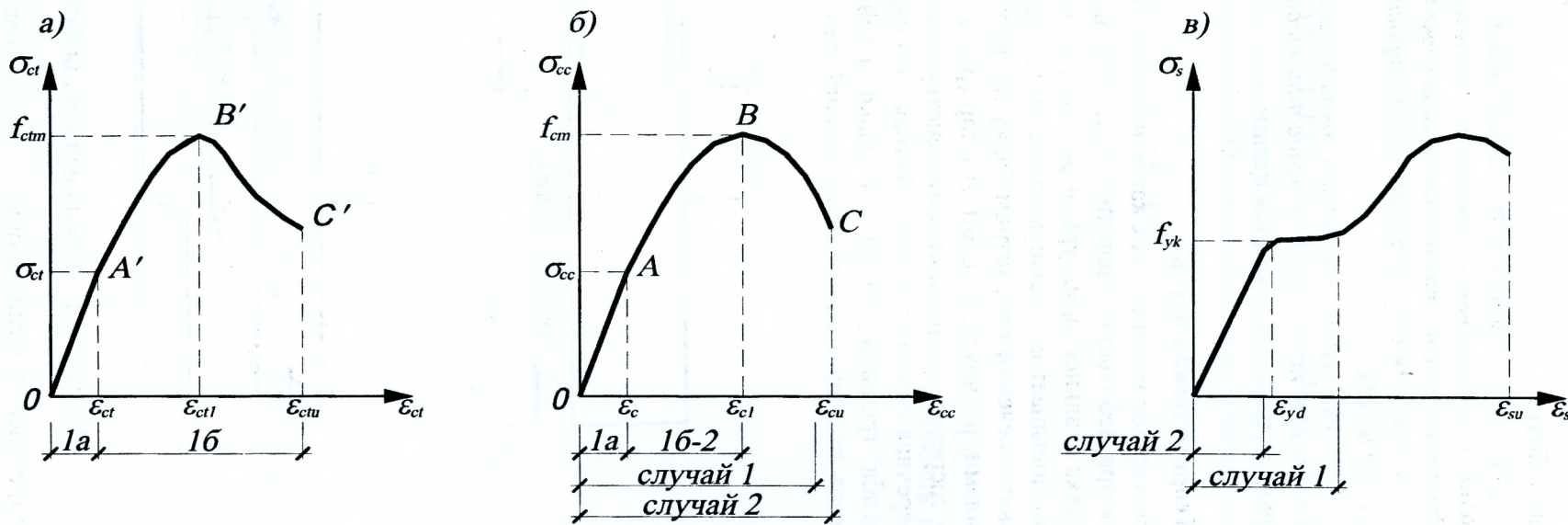




а) стадия 1 ; б) стадия 2 ; в) стадия 3, случай 1 ; г) стадия 3, случай 2

1 - ось центра тяжести сечения; 2 - нейтральная ось

Рисунок 7.6 Стадии напряженно-деформированного состояния



а) бетона на растяжение ; б) бетона на сжатие ; в) арматуры на растяжение

Рисунок 7.7 Диаграммы деформирования материалов



## Лабораторная работа № 8

### Испытание железобетонной балки на прочность по нормальным сечениям

#### Цель работы:

1. Определить сущность железобетона и назначение бетона и арматуры в комплексном строительном материале – железобетоне;
2. Ознакомиться с техникой и методикой проведения эксперимента;
3. Ознакомиться с характером деформирования, трещинообразования и разрушения балки при изгибе;
4. Проверить точность совпадения несущей способности балки по нормальным сечениям, полученной на основании теоретических расчетов, с несущей способностью, полученной опытным путем.

#### 8.1 Теоретическая часть

Бетон хорошо работает на сжатие и хуже в 10..15 раз на растяжение. Бетонная балка разрушается при небольших значениях  $F_{sd}/2$  (рисунок 8.1) от разрыва бетона растянутой зоны. Постановка стальной арматуры в растянутой зоне отдалает момент разрушения балки, существенно повышает ее несущую способность. Для получения методики расчета прочности нормальных сечений рассмотрим балку на двух опорах, нагруженную двумя сосредоточенными силами, равноудалёнными от опор (рисунок 8.1). При данной схеме нагружения в зоне между сосредоточенными силами действует постоянный по величине изгибающий момент, а поперечная сила отсутствует. Данная зона называется зоной “чистого изгиба”. В зоне “чистого изгиба” трещины образуются только от действия нормальных напряжений, что позволяет оценить несущую способность сечений без влияния других факторов (поперечных сил).

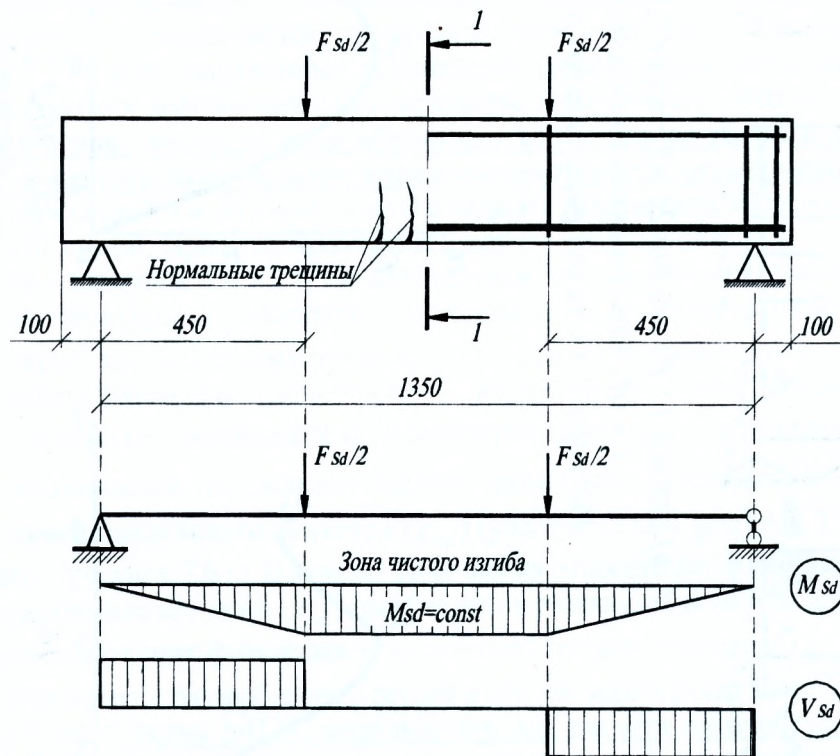


Рисунок 8.1 – Схема испытания балки с эпюрами усилий

Для определения разрушающего усилия (изгибающего момента) рассмотрим фрагмент балки, в котором показано усилие от внешней нагрузки и система внутренних предельных усилий (уравновешивающий внутренний момент) (рисунок 8.2).

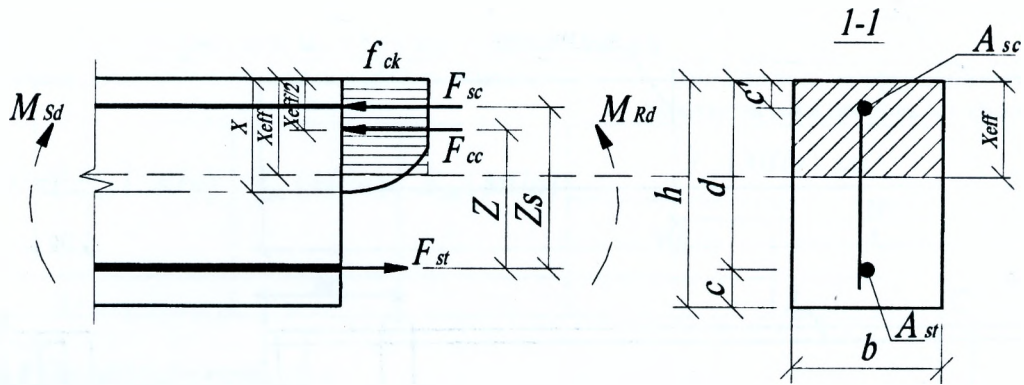


Рисунок 8.2 – Схема для определения внутренних усилий в нормальном сечении

Теоретический разрушающий момент в нормальном сечении по методу предельных усилий определяется как сумма моментов внутренних усилий относительно центра растянутой арматуры:

$$M_{Rd} = F_{cc} \cdot z + F_{sc} \cdot z_s = F_{cc} \cdot \left( d - \frac{x_{eff}}{2} \right) + F_{sc} \cdot (d - c)$$

$$F_{cc} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} \cdot x_{eff} \cdot b - \dots$$

$$F_{sc} = f_{yk} \cdot A_{sc} - \dots$$

$$F_{st} = f_{yk} \cdot A_{st} - \dots$$

Эффективная высота сжатой зоны определяется из условия равновесия внутренних предельных усилий и внешних сил:

$$F_{cc} + F_{sc} - F_{st} = 0,$$

$$\alpha_{cc} \cdot f_{ck} \cdot x_{eff} \cdot b + f_{yk} \cdot A_{sc} - f_{yk} \cdot A_{st} = 0.$$

Откуда:

$$x_{eff} = \frac{f_{yk} \cdot A_{st} - f_{yk} \cdot A_{sc}}{\alpha \cdot f_{ck} \cdot b},$$

где  $b$  – .....

$x_{eff}$  – .....

$\alpha_{cc}$  – .....

$f_{ck}$  – .....

$f_{yk}$  – .....

$A_{st}$  – .....

## 8.2 Экспериментальная часть

### 8.2.1 Схема испытания, расстановки приборов и армирования опытной балки (рисунок 8.3, 8.4)

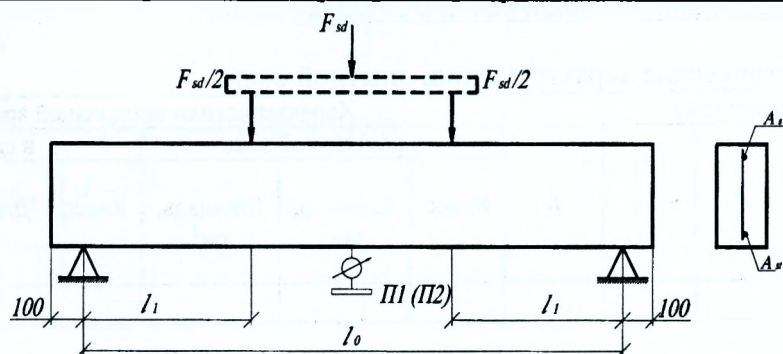


Рисунок 8.3 – Схема испытания и схема расстановки приборов опытной балки

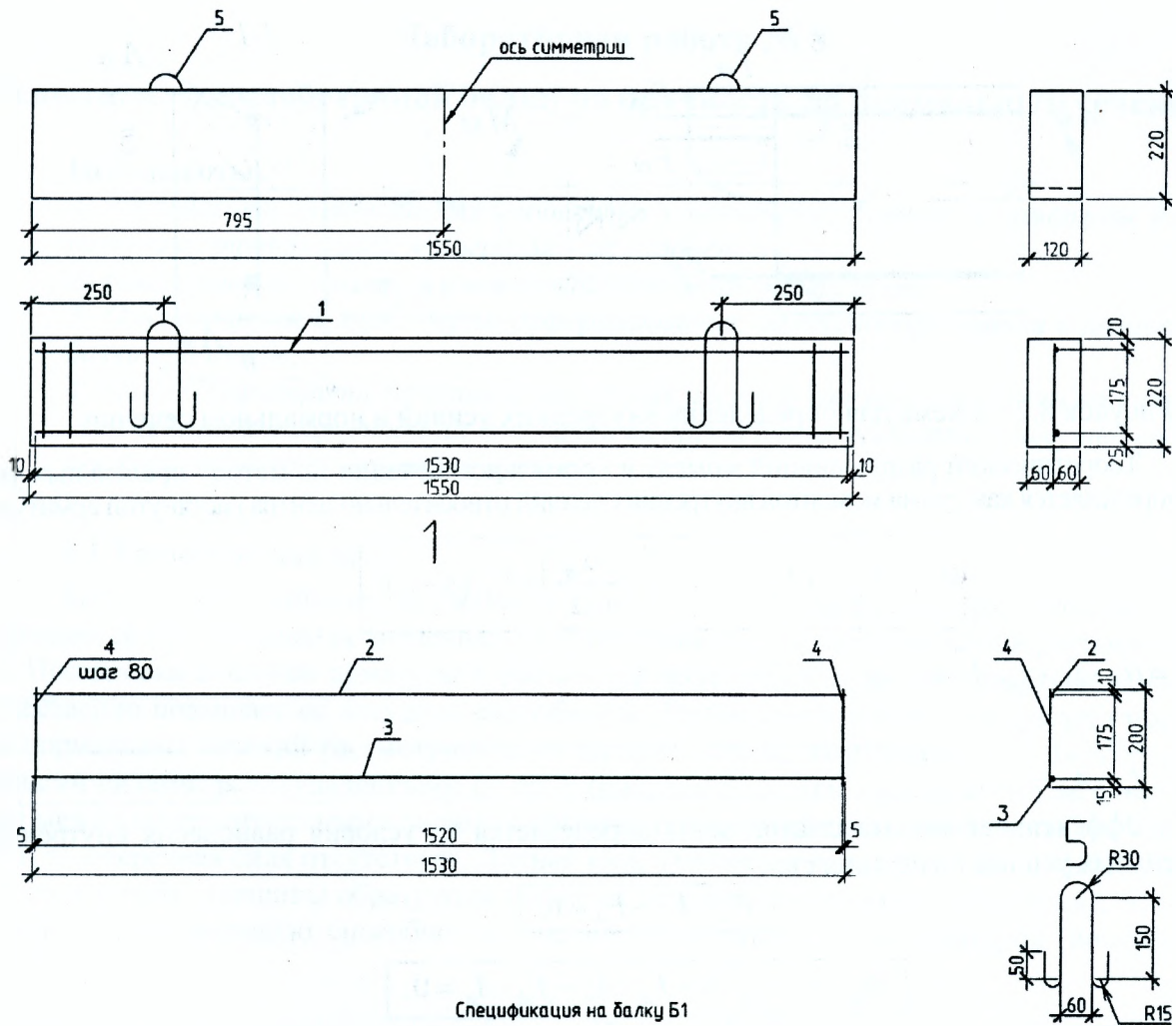


Рисунок 8.4 – Армирование балки

### 8.2.2 Характеристики опытной балки и её материалов

Таблица 8.1 – Геометрические характеристики опытной балки

Размеры балки (см)						Характеристики продольной арматуры							
b	h	c	d	l	l <sub>1</sub>	в растянутой зоне			в сжатой зоне				
						Класс	Диаметр, мм	Площадь, см²	Класс	Диаметр, мм	Площадь, см²		









## Лабораторная работа № 9

### Испытание железобетонной балки на прочность по наклонным сечениям

#### Цель работы:

1. Ознакомиться с техникой и методикой эксперимента;
2. Выяснить особенность напряженного состояния изгибаемых элементов в приопорной зоне;
3. Ознакомиться с характером деформирования, трещинообразования и разрушения балки по наклонным сечениям;
4. Проверить точность совпадения несущей способности балки по наклонным сечениям, полученной на основании теоретических расчетов, с несущей способностью, полученной опытным путем.

#### 9.1 Теоретическая часть

9.1.1 В приопорных зонах изгибаемые элементы испытывают сложное напряженное состояние (плоское, рисунок 9.1). Нормальные напряжения являются функцией от величины изгибающего момента  $\sigma = f_1(M_{Sd})$ , а касательные напряжения – функцией от поперечных сил  $\tau = f_2(V_{Sd})$ . В зонах сложного напряженного состояния оценка производится по величине действующих в рассматриваемом сечении главных растягивающих ( $\sigma_1$ ) и главных сжимающих ( $\sigma_2$ ) напряжений.

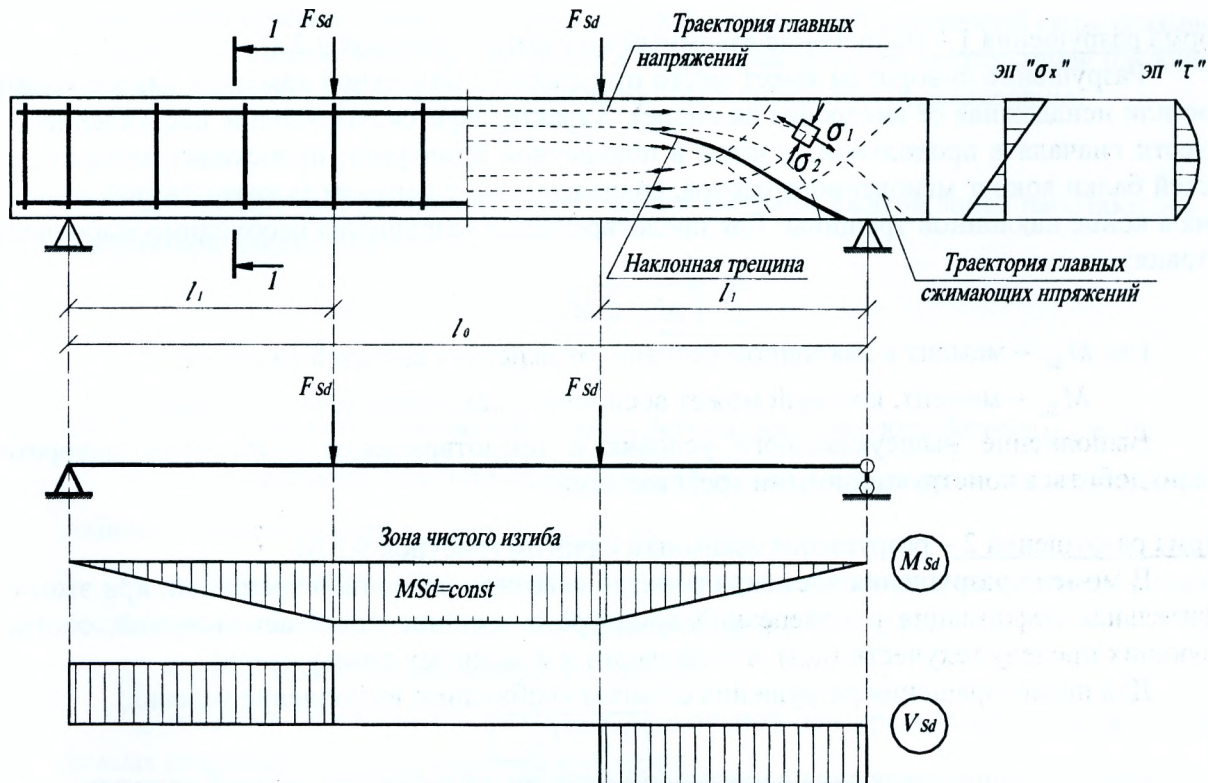
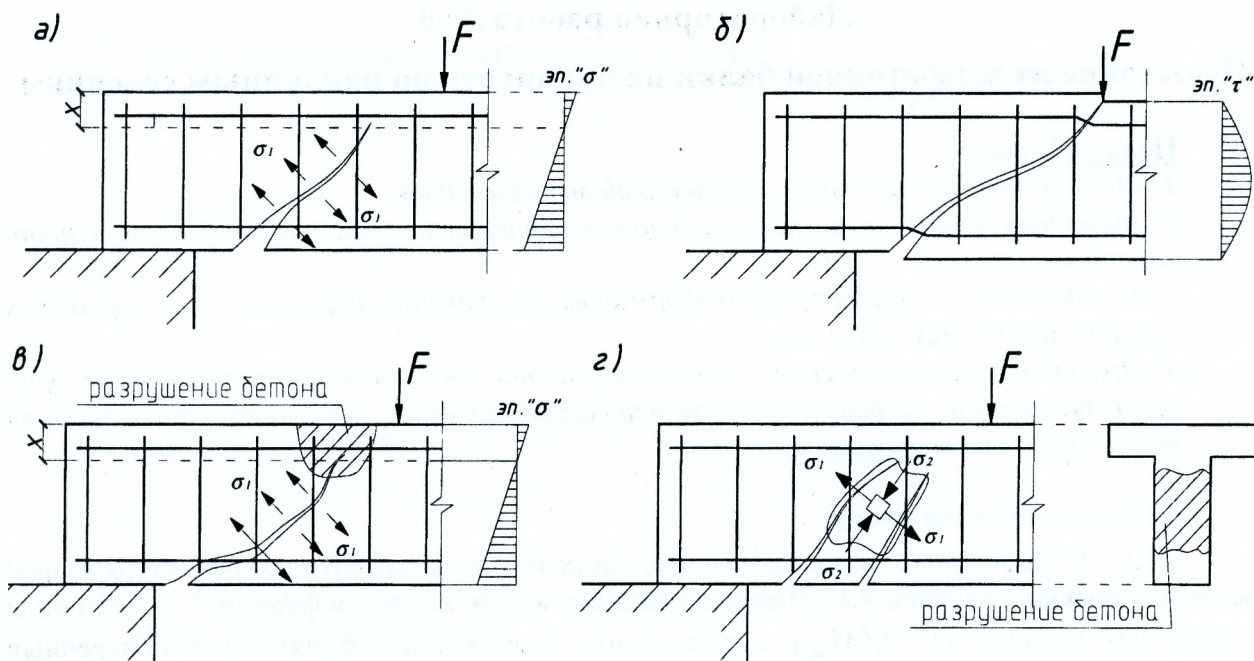


Рисунок 9.1 – Схема испытания и характер напряженного состояния балки

При увеличении внешней нагрузки ( $M_{Sd}$  и  $V_{Sd}$ ) преодолевается прочность бетона растяжению, появляются наклонные трещины, разделяющие бетон на ряд блоков, соединённых между собой сжатой зоной бетона и арматурой, пересекаемой наклонной трещиной.

При дальнейшем увеличении внешней нагрузки, в зависимости от прочности бетона и арматуры, характера армирования, формы поперечного сечения и т.д., может произойти разрушение опытной балки по наклонной трещине по одной из 4-х форм (рисунок 9.2 а-г).





- а) разрушение взаимным поворотом; б) разрушение взаимным сдвигом;  
 в) разрушение по диагональной трещине (с раздроблением или срезом бетона сжатой зоны);  
 г) разрушение по наклонной сжатой бетонной полосе

Рисунок 9.2 – Возможные формы разрушения опытной балки

**Форма разрушения 1** – разрушение взаимным поворотом (рисунок 9.2 а).

Разрушение поворотом имеет место при слабой продольной арматуре (малое количество или ненадёжная её анкеровка на опоре). Характеризуется разрушением наступлением текучести сначала в продольной, а затем в поперечной арматурах; происходит поворот двух частей балки вокруг мгновенного центра, совпадающего с центром тяжести сжатой зоны бетона в конце наклонной трещины. Для предотвращения разрушения необходимо выполнение условия:

$$M_{Sd} \leq M_{Rd},$$

где  $M_{Sd}$  – момент в наклонном сечении, от действия внешней нагрузки;

$M_{Rd}$  – момент, который может воспринять наклонное сечение балки.

Выполнение вышеуказанного условия и предотвращение разрушения поворотом можно добиться конструктивными требованиями.

**Форма разрушения 2** – разрушение взаимным сдвигом (рисунок 9.2 б).

В момент разрушения элемент пронизан сквозной наклонной трещиной, при этом относительная деформация в поперечной арматуре в трещине достигает значений, соответствующих пределу текучести ( $f_{ywk}$ ), что приводит к взаимному сдвигу частей.

Для предотвращения разрушения сдвигом необходимо выполнение условия:

$$V_{Sd} \leq V_{Rd},$$

где  $V_{Sd}$  – поперечная сила в наклонном сечении, от действия внешней нагрузки;

$V_{Rd}$  – поперечное усилие, воспринимаемое поперечной арматурой и бетоном в наклонном сечении.

**Форма разрушения 3** – разрушение по диагональной трещине (рисунок 9.2 в).

Разрушение по диагональной трещине имеет место при низкой прочности бетона на сжатие и при переармировании сечения. Разрушение сечения начинается со сжатой кромки, где происходит раздробление бетона ( $\sigma_c = f_{cm}$ ); в этот момент относительная деформация в продольной растянутой арматуре не достигает значений, соответствующих пределу текучести.

Форма разрушения 4 – разрушение по наклонной сжатой бетонной полосе (рисунок 9.2 г).

В балках таврового и двутаврового поперечного сечения наклонные трещины образуются в стенке (ребре) и развиваются по направлению к сжатой и растянутой граням. Достигнув сжатой полки, трещина проникает в нее или развивается вдоль ее нижней грани. В свою очередь, наличие «мощного» рабочего продольного армирования в нижней зоне препятствует к чрезмерному раскрытию трещин. В результате чего, разрушение балок таврового и двутаврового поперечного сечения происходит из-за раздробления бетона в наклонной полосе, образовавшейся между смежными диагональными трещинами.

**9.1.2 Теоретические вычисления разрушающей поперечной силы (рисунок 9.3)**

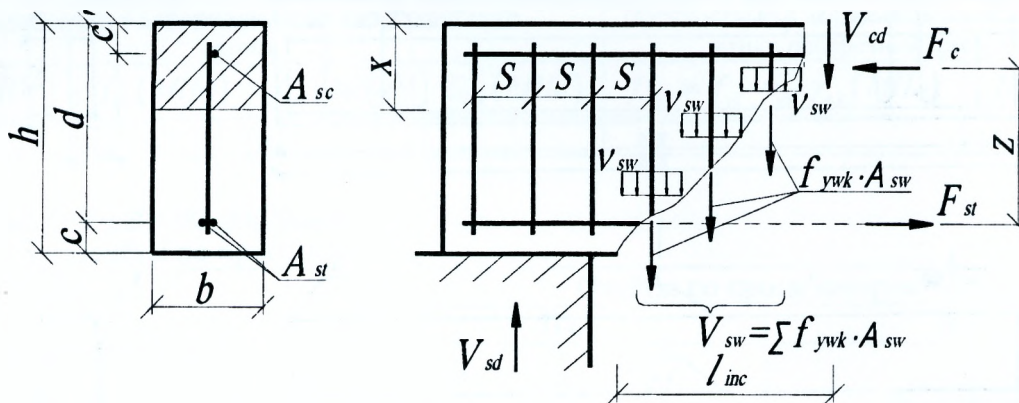


Рисунок 9.3 – К расчёту прочности по наклонному сечению

В наклонном сечении, перед разрушением, действие внешней поперечной силы оказывает сопротивление бетон сжатой зоны над трещиной и поперечная арматура, пересекаемая наклонной трещиной. Тогда прочность наклонного сечения может быть определена по выражению:

$$V_{Rd} = V_{cd} + V_{sw},$$

где  $V_{cd}$  – поперечное усилие, воспринимаемое бетоном сжатой зоны, работающим на срез над вершиной наклонной трещины:

$$V_{cd} = \frac{\eta_{c2} (1 + \eta_f + \eta_N) \cdot f_{ctk} \cdot b \cdot d^2}{l_{inc}},$$

где  $\eta_{c2}$  – коэффициент, зависящий от вида бетона (для тяжёлого бетона  $\eta_{c2} = 2$ );

$\eta_f$  – коэффициент, учитывающий влияние свесов сжатых полок на несущую способность элементов (для прямоугольного  $\eta_f = 0$ );

$\eta_N$  – коэффициент, учитывающий влияние продольных сил на несущую способность (для изгибаемых элементов без преднапряжения  $\eta_N = 0$ );

$l_{inc}$  – длина проекции наклонной трещины;

$V_{sw}$  – сумма проекций на нормаль к продольной оси предельных усилий в поперечных стержнях по длине наклонной трещины;

$$V_{sw} = \sum f_{ywk} \cdot A_{sw} = \sum v_{sw} \cdot S = v_{sw} \sum S = v_{sw} \cdot l_{inc},$$

$$v_{sw} = \frac{f_{ywk} \cdot A_{sw}}{S},$$

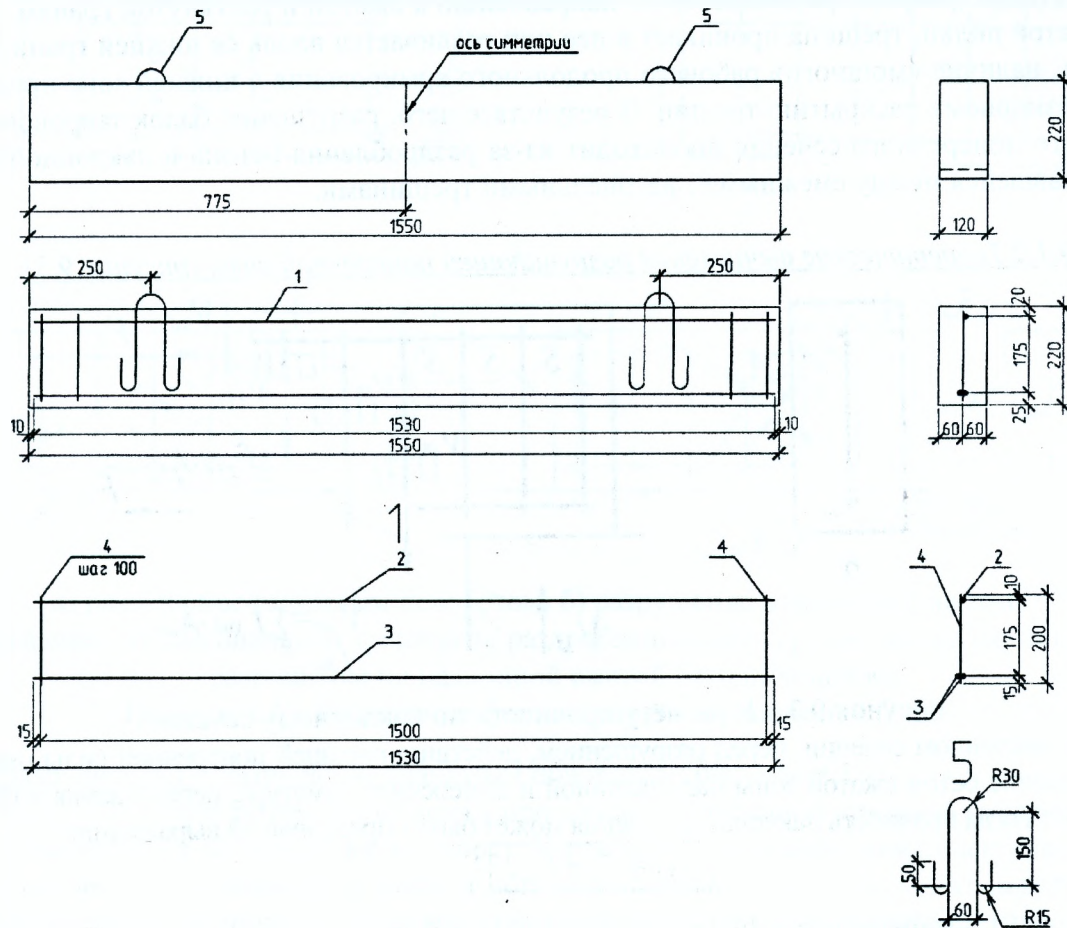
где  $v_{sw}$  – интенсивность поперечного армирования (погонное усилие) в поперечных стержнях;

$S$  – шаг поперечной арматуры.



## 9.2. Экспериментальная часть

### 9.2.1. Армирование опытной балки и схема испытания с расстановкой приборов (рисунок 9.4, 9.5)



Спецификация на балку Б2

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Масса ед., кг	Примечание
1		Каркас плоский КП-1	1	6.088	
		Детали			
2		Ø4 S500 СТБ1706-2012 L=1530	1	0.138	
3		Ø14 S500 СТБ1706-2012 L=1530	2	2.414	
4		Ø4 S500 СТБ1706-2012 L=200	15	0.038	
5		Ø8 S240 СТБ1706-2012 L=588	2	0.232	
		Бетон С16/20	н <sup>1</sup>	0.042	

Рисунок 9.4— Армирование балки

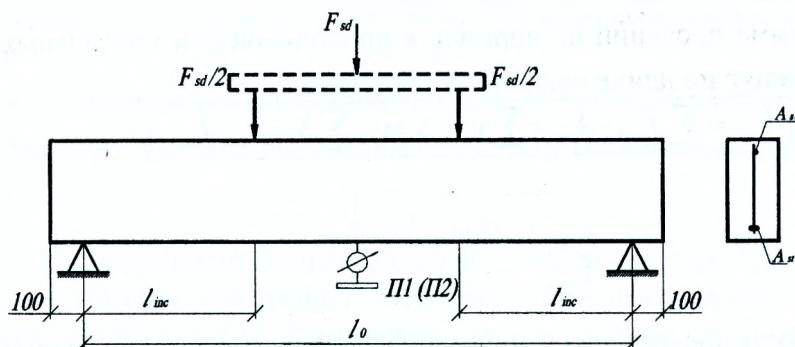


Рисунок 9.5 – Схема испытания и схема расстановки приборов опытной балки







## Список использованных источников

1. Металлические конструкции / А. Б. Шурин [и др.] ; под ред. А. Б. Шурина. – Брест: Издательство БрГТУ, 2020. – 177 с.
2. Стальные конструкции : СП 5.04.01-2021. – Введ. 29.07.2021. – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2021. – 147 с.
3. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-8. Расчет соединений : ТКП EN 1993-1-8. – Введ. 10.12.2009. – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2015. – 147 с.
4. Шурин, А.Б. Нормативные и справочные материалы для проектирования стальных конструкций / А.Б. Шурин, А.В. Мухин, В.И. Драган. – 3-е изд. – Брест: Издательство БрГТУ, 2014. – 159 с.
5. Деревянные конструкции. Строительные правила Республики Беларусь. СП 5.05.01-2021. – Введ. 01.06.2021. – Минск: Минстройархитектуры, 2021. – 115с.
6. Конструкции из дерева и пластмасс: учеб. для вузов / Ю.В.Слицкоухов [и др.]; под ред. Г.Г.Карлсена и Ю.В.Слицкоухова.-5-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1986.– 543 с.
7. Боровиков, А.М. Справочник по древесине: справочник / А.М. Боровиков, Б.Н. Уголев; под ред. Б.Н. Уголева. – М.: Лесная промышленность, 1989. – 296 с.
8. Михайличенко, А.Л. Древесиноведение и лесное товароведение / А.Л Михайличенко, Ф.П. Садовничий. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1978. – 224 с.
9. Рекомендации по испытанию соединений деревянных конструкций / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1980. – 40 с.
10. Рекомендации по методам испытаний древесных плит для строительства / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1986. – 49 с.
11. Бетонные и железобетонные конструкции Строительные правила Республики Беларусь: СП 5.03.01-2020. – 16.11.2020. – Минск: М-во архит. и строит. РБ, 2020. – 244 с.
12. Железобетонные конструкции. Основы теории, расчета и конструирования : учеб. пособие / Н.П. Блещик [и др.] ; под ред. Т.М. Пецоьлда, В.В. Тура – Брест.: БрГТУ, 2003. – 380 с.



Учебно издание

**Составители:**

*Шурин Андрей Брониславович  
Захаркевич Иван Филиппович  
Жук Василий Васильевич  
Малиновский Василий Николаевич  
Шалобыта Николай Николаевич  
Кривицкий Павел Васильевич  
Матвеев Никифор Викторович*

# **Методические указания и журнал испытаний**

к выполнению лабораторных работ по дисциплине  
«Инженерные конструкции»  
для студентов дневной формы обучения по специальности  
1-74 05 01 «Мелиорация и водное хозяйство»

***Текст печатается в авторской редакции  
орфографии и пунктуации***

Ответственный за выпуск: Шурин А. Б.  
Редактор: Митлошук М. А.  
Компьютерная вёрстка: Шурин А. Б.

---

Подписано в печать 20.07.2022 г. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Бумага «Performer».  
Гарнитура «Times New Roman». Усл. печ. л. 6,05. Уч. изд. л. 6,50. Заказ № 874. Тираж 24 экз.  
Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный  
технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 1/235 от 24.03.2014 г.