

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

«ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет строительства и архитектуры

Кафедра строительных конструкций

А. Б. ЧАГАНОВ

Д. Н. РОЖИН

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ, ЖЕСТКОСТИ
И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ОПЫТНЫХ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК ПО НОРМАЛЬНОМУ
И НАКЛОННОМУ СЕЧЕНИЮ.
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3**

Учебно-методическое пособие

Киров

2014

УДК 624.156.31(07)

Ч-128

Допущено к изданию методическим советом факультета строительства и архитектуры ФГБОУ ВПО «ВятГУ» для студентов специальности 270102.65 «Промышленное и гражданское строительство» всех форм обучения

Рецензент

доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой
теоретической и строительной механики ФГБОУ ВПО «ВятГУ»

А. В. Алешкин

Чаганов, А. Б.

Ч-128 Определение прочности, жесткости и трещиностойкости опытных железобетонных балок по нормальному и наклонному сечению. Лабораторная работа № 3: учебно-методическое пособие / А. Б. Чаганов, Д. Н. Рожин. – Киров: ФГБОУ ВПО «ВятГУ», 2014. – 21 с.

УДК 624.156.31(07)

Учебно-методическое пособие к лабораторной работе № 3 предназначено для студентов, обучающихся по дисциплине «Железобетонные и каменные конструкции».

Тех. редактор Е. О. Гладких

© ФГБОУ ВПО «ВятГУ», 2013

Содержание

Введение.....	4
Общие указания по проведению лабораторных работ.....	5
Порядок проведения работ.....	5
Техника безопасности при проведении лабораторных работ	6
Механическое оборудование и приборы.....	7
1. Испытание железобетонной балки на изгиб с разрушением по нормальному сечению	10
1.1. Цель работы	10
1.2. Определение геометрических размеров балки и армирования	10
1.3. Испытание балки.....	11
1.4. Обработка опытных данных	12
1.5. Сравнение результатов эксперимента с теоретическими данными	14
1.6. Вопросы для самоконтроля.....	15
2. Испытание железобетонной балки на изгиб с разрушением по наклонному сечению	17
2.1. Цель работы	17
2.2. Исходные данные о железобетонной балке	17
2.3. Испытание балки и обработка результатов.....	17
2.4. Вопросы для самоконтроля.....	19
Библиографический список	20

Введение

Теория сопротивления железобетона основывается на экспериментальных данных и законах механики. Обеспечение высокой эффективности, надежности и качества железобетонных конструкций невозможно без проведения исследовательских, приемочных и контрольных испытаний. Выполнение лабораторных работ позволяет экспериментально подтвердить теоретические положения, принятые в расчетах железобетонных конструкций, способствует более глубокому усвоению и пониманию расчета и конструирования железобетонных конструкций. На лабораторных работах студенты знакомятся с испытательными схемами, механическим оборудованием и приборами. Поэтому основная цель выполнения лабораторных работ – получение фактических навыков в экспериментальных исследованиях работы железобетонных элементов.

Кроме того, задачами выполнения лабораторных работ являются: получение наглядного представления о напряженно-деформированном состоянии железобетонных конструкций при нагружении и особенностях их разрушения, обучение научному анализу экспериментальных данных и закрепление знаний по теории железобетона.

В данных методических указаниях содержатся сведения о характере работы изгибаемых железобетонных элементов при нагружении вплоть до разрушения, основные положения по их расчету, данные о материалах, конструкции экспериментальных образцов, приборах, оборудовании и схемах нагружения, а также рекомендации по обработке экспериментальных данных и составлению обоснованных выводов о результатах испытаний.

Общие указания по проведению лабораторных работ

Порядок проведения работ

Лабораторные работы проводятся по группам параллельно с изучением теории сопротивления железобетона.

К проведению лабораторных работ студент обязан заранее подготовиться, т. е. прочесть соответствующий раздел в учебнике или лекциях, знать задачу, поставленную перед испытанием, познакомиться с методикой проведения испытания и правилами техники безопасности при проведении лабораторных работ.

Перед началом лабораторных работ перед студентами проводят инструктаж по технике безопасности, о чем делают соответствующую запись в специальном журнале.

Последовательность выполнения лабораторных работ:

– определяются и записываются в отчет исходные данные об экспериментальном образце, измеряются размеры поперечного сечения, длину элемента, вскрывается защитный слой бетона для определения площади сечения продольной арматуры, диаметра и шага поперечных стержней. Выполняются необходимые схемы, эскизы, рисунки и др., определяются основные характеристики бетона и арматуры;

– проводятся теоретические расчеты образцов с определением усилий трещинообразования, разрушения, определяются прогибы и ширина раскрытия трещин при нормативной нагрузке;

– проводится испытание конструкций с записью показаний приборов и характерного состояния конструкции по этапам нагружения. В отчете выполняется рисунок испытанной конструкции со схемой трещинообразования, производится обработка экспериментальных данных,

построение графиков, анализ полученных результатов и составление выводов по работе в целом.

Записи, рисунки, схемы, графики и эскизы в отчете по лабораторным работам выполняются от руки. Все расчеты выполняются в системе СИ при фактических прочностных и деформативных характеристиках материалов.

Защита производится после выполнения полного комплекса лабораторных работ. При защите студент должен правильно ответить на все вопросы, приведенные в конце описания каждой лабораторной работы.

Техника безопасности при проведении лабораторных работ

Для обеспечения безопасности при приложении и выдерживании нагрузки должны быть приняты меры на случай разрушения или потери устойчивости испытываемой конструкции. Это достигается в основном за счет достаточного удаления студентов от стенда.

При нахождении в лаборатории все студенты должны соблюдать строгую дисциплину, следовать указаниям ведущего преподавателя, который заранее тщательно готовится к испытаниям.

Преподаватель распределяет обязанности между студентами, назначая 2–3 человека снимать отсчеты по приборам и одного – записывать показания в отчете. Остальные студенты должны находиться на своих местах, наблюдая за проведением испытаний. Студенты, снимающие отсчеты, выполняют операции только по команде преподавателя. Работать на прессе может только лаборант кафедры. В критических ситуациях, при достижении конструкций предельного состояния, все студенты удаляются на безопасное расстояние, но так, чтобы они могли наблюдать разрушение конструкции в предельном состоянии.

Механическое оборудование и приборы

Испытание железобетонных балок производится на гидравлическом прессе ПСУ-50, оборудованном специальным приспособлением. На опорных плитах прессы закрепляются силовые траверсы. Это позволяет получить необходимое расстояние, как между цилиндрическими шарнирными опорами крепления испытываемых балок, так и между центрами приложения сил, при двухточечной схеме загрузки. Схема испытания приведена на рис. 1.

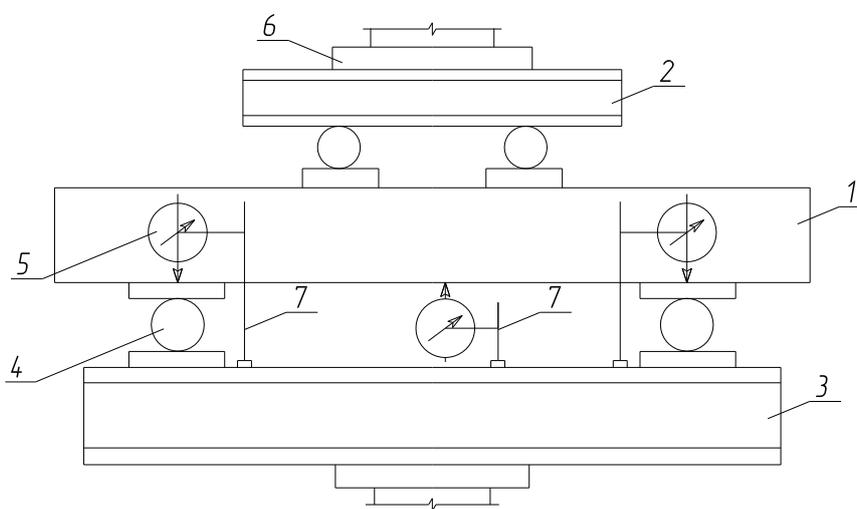


Рис. 1. Схема испытания опытных балок

1 – испытываемая железобетонная балка-образец; 2 – верхняя траверса;
3 – опорная траверса; 4 – шарнирные опоры; 5 – индикатор часового типа;
6 – опора прессы; 7 – магнитный штатив

Двухточечная схема загрузки выбрана с целью получения зоны чистого изгиба на участке балки между силами с нулевыми значениями поперечной силы на этом участке. Шкала прессы градуирована в кгс, цена деления соответствует усилию в 100 кгс. Помещение опорной траверсы на нижнюю плиту прессы приводит к появлению начального отсчета, до передачи усилия на испытываемый элемент. Устранение влияния массы траверсы на значение усилий производится установкой нуля шкалы прессы по установившемуся положению стрелки.

Средняя скорость загрузки на каждом этапе должна быть постоянной и не превышать 100 кгс/с.

Для определения прогиба балки устанавливаются три индикатора часового типа ИЧ-10/50/. У индикатора данного типа имеются две шкалы – малая показывает перемещение в мм, большая – в 0,01 мм (рис. 2 а). Для определения деформаций берут отсчеты на обеих шкалах до и после загрузки. Разность этих двух отсчетов дает величину перемещения.

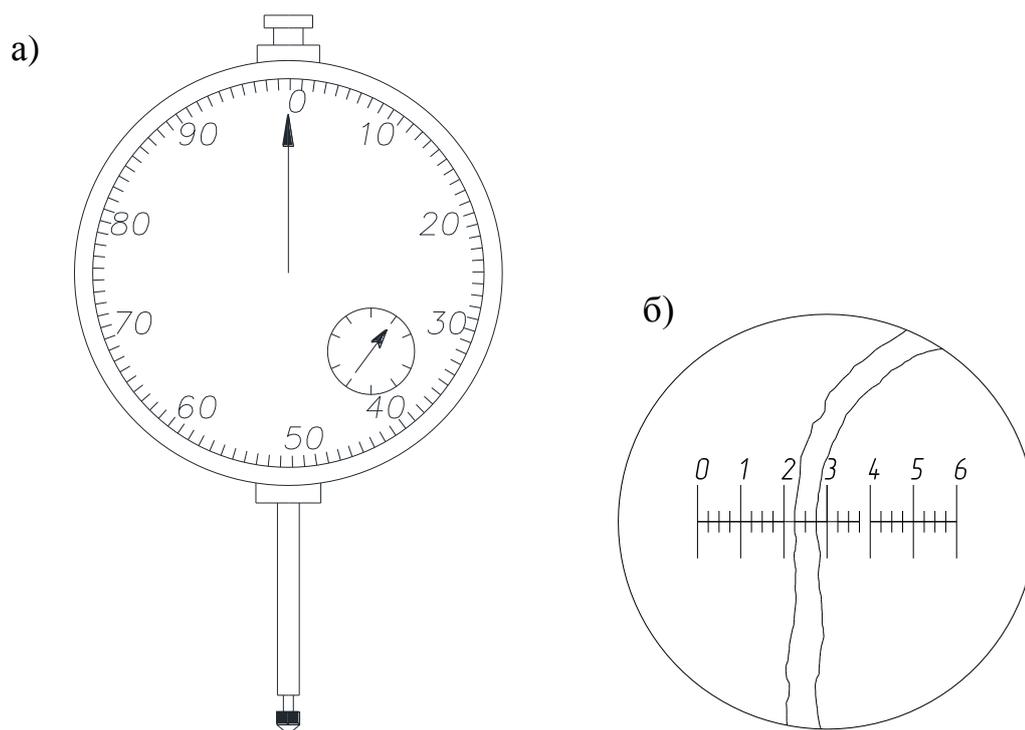


Рис. 2. Снятие отсчетов
а) индикатора часового типа ИЧ-50; б) шкала микроскопа МПБ

Постановка индикаторов на опоры позволяет устранить влияние осадок опор на прогиб балки, вызванных смятием бетона на шарнирах и деформациями упругих прокладок.

Для выявления момента появления трещин на бетонной поверхности используют визуальный способ. Трещины с раскрытием более 0,005 мм могут быть обнаружены при подсветке поверхности. Для измерения ширины раскрытия трещин в лабораторных работах

применяют микроскоп МПБ-2, имеющий увеличение 1:24. Цена деления равна 0,05 мм. Ширина раскрытия трещин определяется на уровне рабочей арматуры, в зоне максимального ее раскрытия. Схема положения трещины в поле микроскопа приведена на рис. 2 б. Шкала микроскопа помещается перпендикулярно направлению трещины. Место первого отсчета на поверхности балки помечается и в дальнейшем отсчеты берутся в этой точке.

1. Испытание железобетонной балки на изгиб с разрушением по нормальному сечению

1.1. Цель работы

Целью работы является:

- ознакомиться с техникой испытания статически определимых систем, конструкцией рабочей схемы испытаний балки на прессе, размещением измерительных приборов;
- получить наглядное представление о характере развития напряженно-деформированного состояния балки при нагружении вплоть до разрушения;
- установить экспериментальные значения момента трещинообразования, разрушающего момента, контрольного прогиба, ширину раскрытия трещин. Сопоставить опытные значения с теоретическими, дать анализ полученных результатов и сделать выводы по работе в целом.

1.2. Определение геометрических размеров балки и армирования

Перед испытанием балки производится измерение всех ее геометрических размеров, определяют диаметр продольной арматуры и защитный слой бетона. Эскизы армирования балки и опалубочные размеры зарисовываются в отчет. Пример оформления эскизов приведен на рис. 3.

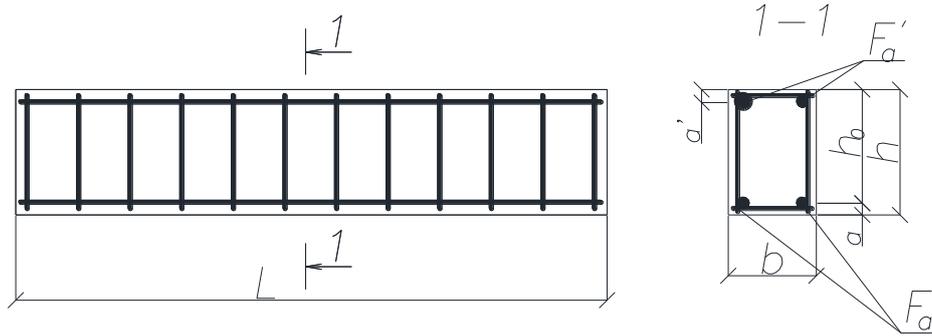


Рис. 3. Схема армирования балки-образца

Армирование балки выполнено одиночным сварным каркасом. В каркасе рабочей арматурой является только продольная растянутая. Для предотвращения ее продергивания концы стержней отгибаются у торцов балки.

1.3. Испытание балки

Испытание начинают с пробного нагружения нагрузкой, составляющей примерно 5 % от разрушающей для проверки работы приборов, «обмятия» бетона и выбирания люфтов. Затем балку частично разгружают до 1 % от разрушающей нагрузки с целью сохранения плотных контактов силовых устройств и приборов с балкой. При этой условной нулевой нагрузке снимают показания приборов, которые считают нулевыми.

Загружение балки производят ступенчато. Величина ступени назначается равной 10 % от теоретической разрушающей нагрузки. На каждой ступени нагрузку выдерживают постоянной не менее 10 минут для развития пластических деформаций бетона.

Во время каждой выдержки фиксируют показания приборов, производят визуальный осмотр балки, выявляют появления первой трещины их развитие при последующем нагружении. Оптическим

микроскопом определяют ширину раскрытия трещин в уровне растянутой арматуры. Трещины обводятся карандашом или мелом, отмечается номер этапа нагружения. Результаты поэтапных измерений записываются в табл. 1, где C_i – отсчет, $\Delta_i = C_{i+1} - C_i$ – разность отсчетов, $\sum \Delta_i$ – сумма с нарастающим итогом.

Таблица 1

Результаты испытаний

Номер этапа	Величина нагрузки, тс	Индикаторы									Прогиб, мм	Ширина раскрытия трещин, мм		Характер трещинообразования
		№ 1			№ 2			№ 3				№ 1	№ 2	
		C_i	$\Delta_i = C_{i+1} - C_i$	$\sum \Delta_i$	C_i	$\Delta_i = C_{i+1} - C_i$	$\sum \Delta_i$	C_i	$\Delta_i = C_{i+1} - C_i$	$\sum \Delta_i$				

При нагрузке, составляющей 80 % от разрушающей, все приборы снимают, чтобы избежать их возможного повреждения.

1.4. Обработка опытных данных

После испытаний составляется карта трещин, изображается характер разрушения на схеме балки (рис. 4), строится график опытных прогибов (рис. 5).

Величину опытного прогиба f_{on} определяют по формуле

$$f_{on} = P_2 - \frac{P_1 + P_3}{2}, \quad (1)$$

где P_2 – разность отсчетов по индикатору, установленному в пролете;

Π_1, Π_3 – разности отсчетов по индикаторам, установленным на опорах для фиксации осадки опор.

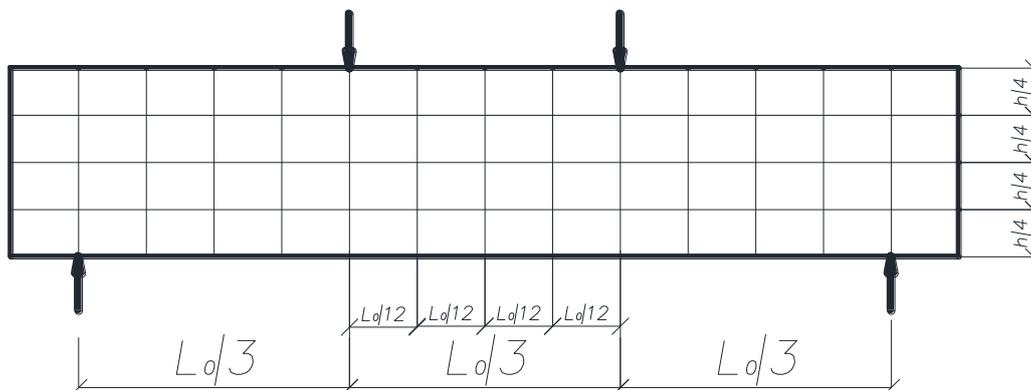


Рис. 4. Схема (заготовка) карты трещин и характера разрушения

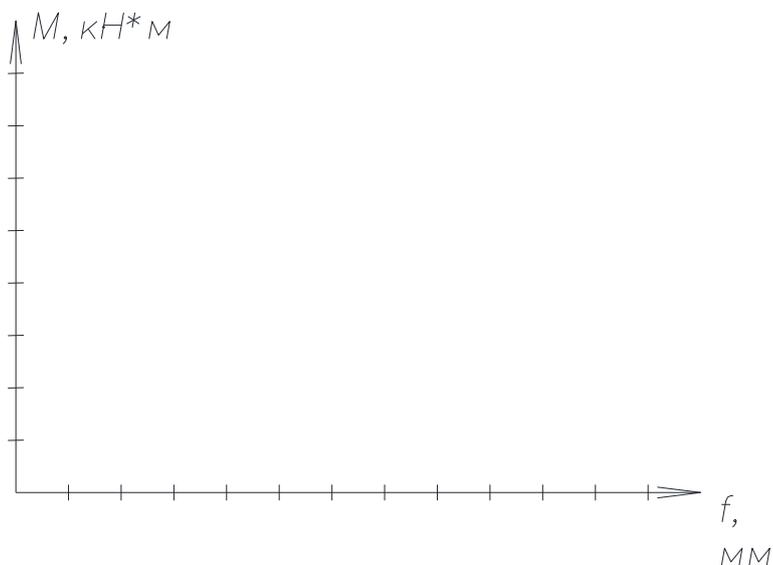


Рис. 5. График прогибов (заготовка)

Опытный изгибающий момент M_{on} вычисляют по формуле

$$M_{on} = \frac{p \cdot a}{2}, \quad (2)$$

где p – величина испытательной нагрузки;

a – расстояние от опоры до точки приложения нагрузки.

1.5. Сравнение результатов эксперимента с теоретическими данными

После испытания балки производится сравнение опытных результатов и данных, полученные расчетным путем, определяется относительное расхождение результатов в процентах для разрушающего изгибающего момента, момента появления трещин, ширины раскрытия трещин и прогибов при контрольной нагрузке. Сопоставление данных производят в форме табл. 2.

Таблица 2

Сопоставление результатов работы

Показатели	Контрольные характеристики			
	M	M_{cr}	a_{cr}	f
Опытные значения T_{on}				
Расчетные значения $T_{теор}$				
Отклонения $\pm\Delta = T_{on} - T_{теор}$				
Погрешность $\frac{\pm\Delta}{T_{on}} \cdot 100\%$				

Допустимые различия опытных и расчетных величин определяются с учетом надежности используемых методов статистического расчета и расчета сечений, а также способов определения прочностных свойств материалов. Ориентировочно величину погрешности по прочности можно принять равной $-5 \text{ } +10 \%$; по трещиностойкости, жесткости и ширине раскрытия трещин $\pm 15 \%$.

В выводах необходимо отметить: по какому сечению и случаю было разрушение балки, характер разрушения, запасы по прочности, жесткости и трещиностойкости, особенности деформирования балки на всех этапах и другие наиболее характерные особенности проведенных исследований.

1.6. Вопросы для самоконтроля

1. Как выглядит диаграмма $\sigma - \varepsilon$ бетона при сжатии? То же, мягких сталей при растяжении?
2. Что такое ползучесть бетона; релаксация?
3. Чем характеризуется каждая из стадий напряженно-деформированного состояния при изгибе?
4. Случаи разрушения по нормальному сечению при изгибе.
5. Назначение продольной арматуры в изгибаемых элементах.
6. Почему кубиковая прочность бетона больше призмной?
7. Чем отличается по внешнему виду арматура класса А-I, А-II, А-III и Вр-I?
8. Почему при расчете прочности нормальных сечений не учитывается работа бетона на растяжение?
9. Виды деформаций бетона.
10. Какие расчеты элементов выполняются по 1 группе предельных состояний? То же по 2-й?
11. Прочностные характеристики материалов, система коэффициентов.
12. Виды классов и марок бетонов. Классификация арматуры.
13. Основные недостатки железобетона.
14. По какой стадия напряженного состояния производится расчет прочности? То же, жесткости и трещиностойкости.

15. Как численно устанавливается граница между случаем 1 и 2 разрушения?

16. Какое армирование считается одиночным и двойным?

17. Когда по расчету требуется сжатая арматура? Когда она учитывается?

18. Какие стали называются твердыми и мягкими? Как определяется предел текучести для твердых сталей?

19. На каких участках изгибаемых элементов появляются нормальные трещины?

20. Назначение защитного слоя бетона.

21. Сцепление арматуры с бетоном.

2. Испытание железобетонной балки на изгиб с разрушением по наклонному сечению

2.1. Цель работы

Ознакомиться с характером образования и развития наклонных трещин при нагружении балки вплоть до разрушения по наклонному сечению.

Установить экспериментальные значения усилия, при котором появляются наклонные трещины, разрушающего усилия, ширины раскрытия трещины.

Сопоставить теоретические результаты расчета с экспериментальными, дать выводы по работе в целом.

2.2. Исходные данные о железобетонной балке

Перед испытанием балки необходимо произвести замеры геометрических характеристик, зарисовать эскиз армирования (см. требования и схему п. 2.2).

2.3. Испытание балки и обработка результатов

Методика испытания балки с разрушением по наклонному сечению та же, что и по нормальному. Нагружение балки производить ступенчато, величину ступени назначают равной 0,1–0,2 от ожидаемой разрушающей нагрузки. Значение поперечной силы $Q = P/2$.

Следует помнить, что прочность наклонного сечения обеспечивается сопротивлением разрушению бетона и хомутов. Разрушение носит хрупкий характер, поэтому испытание балки необходимо производить с особой осторожностью.

В процессе испытания отмечается нагрузка, вызывающая появление первой трещины, производится зарисовка трещин, замеряется ширина раскрытия наклонной трещины.

После испытания необходимо записать в отчет недостающие сведения о балке (величину горизонтальной проекции наклонной трещины, число хомутов в наклонном сечении и др.), сделать рисунок разрушенной балки.

Результаты наблюдений заносятся в табл. 3.

Таблица 3

Результаты испытаний

№ этапа загрузки	Величина нагрузок, тс	Ширина раскрытия трещин, мм		Характер трещинообразования
		№ 1	№ 2	

При сопоставлении полученных теоретических и экспериментальных данных необходимо сравнить следующие контрольные характеристики: значение разрушающей поперечной силы, усилия появления наклонных трещин, ширину раскрытия трещин при контрольной нагрузке. Сравнение производить в табличной форме, по аналогии с табл. 2.

Следует иметь в виду, что из-за несовершенства методики расчета прочности и трещиностойкости наклонных сечений расхождение между опытными и расчетными данными может оказаться значительным.

В выводах по работе необходимо отразить вид, характер и случай разрушения, особенности трещинообразования, запасы прочности,

трещиностойкости, величины ширины раскрытия трещин и другие характерные особенности поведения опытной балки при нагружении.

2.4. Вопросы для самоконтроля

1. Причины появления наклонных трещин. На каких участках лабораторной балки возможно их появление?
2. Чем воспринимается поперечная сила в наклонных сечениях?
3. Случаи разрушения изгибаемых элементов по наклонным сечениям.
4. Почему $RSW < RS$ и на какую величину?
5. Из каких условий назначается шаг хомутов?
6. На действие какого усилия рассчитывается прочность наклонных сечений?
7. Основные конструктивные требования, обеспечивающие прочность наклонных сечений по изгибающему моменту?
8. Условие, предотвращающее разрушение наклонного сечения от действия главных сжимающих напряжений.
9. При каком условии хомуты по расчету потребуются?
10. Учитывается ли при расчете прочность наклонных сечений наличие продольной силы в элементе?
11. Какое армирование более эффективно: хомутами или отгибами и почему?

Библиографический список

1. Байков В. Н. Железобетонные конструкций [Текст] : общий курс / В. Н. Байков, Э. Е. Сигалов. – Москва : Стройиздат, 1991. – 767 с.
2. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения [Электронный ресурс] : актуализир. ред. СНиП 52-01-2003 : от 29.12.2011 N 63.13330.2012. – Введ. с 01.01.2013. – Москва : Минрегион России, 2012. – Доступ из нормативно-технической базы «Техэксперт».
3. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения в арматуре [Электронный ресурс]. – Действ. с 01.03.2004. – Москва : ЦПП, 2004. – Доступ из справ.-поиск. системы «Техэксперт».
4. Испытания сборных железобетонных конструкций [Текст] : учеб. пособие / [А. Г. Комар и др.]. – Москва : Высшая школа, 1980. – 268 с.
5. Интерполяционные формулы для определения начального модуля упругости бетона [Текст] / О. П. Квирикадзе // Бетон и железобетон. – 1990. – № 4. – С. 36.
6. ГОСТ 12004-81. Сталь арматурная. Методы испытаний на растяжение. [Электронный ресурс]: с Изменениями № 1, 2. – Действ. с 01.07.1983. – Москва : Стандартиформ, 2009. – Доступ из нормативно-технической базы «Техэксперт».
7. ГОСТ 10884-94. Сталь арматурная термомеханически упрочненная для железобетонных конструкций. Технические условия. [Электронный ресурс]. – Действ. с 01.01.1996. – Москва : Стандартиформ, 2009. – Доступ из справ.-поиск. системы «Техэксперт».
8. ГОСТ 5781-82. Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия [Электронный

ресурс]: с Изменениями № 1–5. – Действ. с 01.07.1983. – Москва : Стандартиформ, 2009. – Доступ из справ.-поиск. системы «Техэксперт».

9. ГОСТ Р 52544-2006. Прокат арматурный свариваемый периодического профиля классов А500С и В500С для армирования железобетонных конструкций. Технические условия. [Электронный ресурс]. – Действ. с 01.01.2007. – Москва : Стандартиформ, 2006. – Доступ из справ.-поиск. системы «Техэксперт».

10. ГОСТ 18105-2010. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности. [Электронный ресурс]. – Действ. с 01.09.2012. – Москва : Стандартиформ, 2012. – Доступ из справ.-поиск. системы «Техэксперт».

11. ГОСТ 28570-90. Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобраным из конструкций. [Электронный ресурс]. – Действ. с 01.01.1991. – Москва : Издательство стандартов, 1990. – Доступ из справ.-поиск. системы «Техэксперт».

12. ГОСТ 18105-2010. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности [Электронный ресурс]. – Действ. с 01.09.2012. – Москва : Стандартиформ, 2012. – Доступ из справ.-поиск. системы «Техэксперт».

13. ГОСТ 8829-94. Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости [Электронный ресурс]. – Действ. с 01.01.1998. – Москва : Госстрой России, 1997. – Доступ из справ.-поиск. системы «Техэксперт».

14. ГОСТ 13015-2012. Изделия бетонные и железобетонные для строительства. Общие технические требования. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения [Электронный ресурс]. – Действ. с 01.01.2014. – Москва : Стандартиформ, 2013. – Доступ из справ.-поиск. системы «Техэксперт».

Учебное издание

Чаганов Алексей Борисович

Рожин Дмитрий Николаевич

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ, ЖЕСТКОСТИ И
ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ОПЫТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ
БАЛОК ПО НОРМАЛЬНОМУ И НАКЛОННОМУ СЕЧЕНИЮ.
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Учебно-методическое пособие

Подписано в печать 26.06.2014. Печать цифровая. Бумага для офисной техники.

Усл. печ. л. 1,61. Тираж 100 экз. Заказ № 1736.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Вятский государственный университет».

610000, г. Киров, ул. Московская, 36, тел.: (8332) 64-23-56, <http://vyatsu.ru>