



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Белорусский национальный
технический университет**

Кафедра «Железобетонные и каменные конструкции»

ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ И КАМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ

*Методические указания
к выполнению лабораторных работ*

**Минск
БНТУ**
2013

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Железобетонные и каменные конструкции»

ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ И КАМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Методические указания
к выполнению лабораторных работ
для студентов специальности
1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство»

Минск
БНТУ
2013

УДК 624.012.2.04

ББК 38.53я7

Ж51

Составители:

*А. А. Хотько, В. Ф. Зверев, Т. М. Пецольд, Н. А. Рак, А. Н. Лавыгин,
Е. Л. Коршун, Г. Г. Мадалинский, В. И. Смех, А. Е. Шилов,
И. В. Даниленко, В. В. Гринёв, Ф. П. Босович, С. М. Коледа, В. В. Латыш*

Рецензент:

А. Н. Жабинский, зав. кафедрой
«Металлические и деревянные конструкции», канд. техн. наук. доцент

Железобетонные и каменные конструкции : методические указания Ж51 к выполнению лабораторных работ для студентов специальности 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство» / сост.: А. А. Хотько [и др.]. – Минск : БНТУ, 2013. – 62 с.
ISBN 978-985-550-333-1.

Приведены порядок подготовки опытных образцов, порядок их испытания и методика обработки полученных данных для лабораторных работ по дисциплине «Железобетонные и каменные конструкции» в соответствии с требованиями СНБ 5.03.01–2002 (гармонизированными с европейскими нормативными документами).

УДК 624.012.2.04

ББК 38.53я7

ISBN 978-985-550-333-1

© Белорусский национальный
технический университет, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.....	4
Лабораторная работа № 1 ИСПЫТАНИЕ ОБРАЗЦОВ АРМАТУРНОЙ СТАЛИ НА РАСТЯЖЕНИЕ.....	10
Лабораторная работа № 2 ИСПЫТАНИЕ ОБРАЗЦОВ БЕТОНА ПРИ ОСЕВОМ КРАТКОВРЕМЕННОМ СЖАТИИ....	20
Лабораторная работа № 3. ИСПЫТАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ С РАЗРУШЕНИЕМ ПО СЕЧЕНИЮ НОРМАЛЬНОМУ К ПРОДОЛЬНОЙ ОСИ.....	34
Лабораторная работа № 4. ИСПЫТАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ С РАЗРУШЕНИЕМ ПО СЕЧЕНИЮ НАКЛОННОМУ К ПРОДОЛЬНОЙ ОСИ.....	40
Лабораторная работа № 5. ИСПЫТАНИЕ ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТОЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ КОЛОННЫ.....	47
Лабораторная работа № 6. ИСПЫТАНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННОЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ.....	52
ЛИТЕРАТУРА.....	62

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Цель лабораторных работ: углубление и закрепление полученных теоретических знаний о работе конструкций под нагрузкой, приобретение навыков постановки опытов с применением необходимых приборов и оборудования, обработки полученных данных и оформление отчета по результатам испытаний. Кроме того, выполнение лабораторных работ позволяет привить студентам навыки научно-исследовательской работы.

До проведения испытаний конструкций необходимо определить основные прочностные и деформативные характеристики бетона при сжатии, а также механические характеристики рабочей арматуры железобетонного элемента путем испытания контрольных образцов арматуры.

При проведении лабораторных работ, как правило, образцы конструкций испытываются до разрушения, что позволяет изучить их поведение на всех стадиях напряженно-деформированного состояния.

В качестве основных характерных случаев разрушения конструкций под нагрузкой рассматриваются:

●**1-й случай** – разрушение от достижения в рабочей арматуре нормального или наклонного сечения напряжений, соответствующих пределу текучести (условному пределу текучести) стали, ранее раздробления сжатого бетона;

●**2-й случай** – разрушение от раздробления бетона сжатой зоны над нормальной или наклонной трещиной в конструкции до достижения предела текучести (условного предела текучести) стали растянутой арматуры.

После испытаний необходимо провести сравнение опытных и расчетных значений усилий, деформаций, перемещений и дать оценку надежности и достоверности экспериментальных данных с помощью методов математической статистики.

Материалы каждой проведенной лабораторной работы необходимо оформить в виде отчета, в котором должны быть отражены все этапы работы.

Испытательное оборудование и средства измерений

При проведении испытаний для нагружения используется оборудование, обеспечивающее возможность опирания конструкций и приложения к ним нагрузки по заданной схеме и позволяющее производить нагружение с погрешностью не более ± 5 % от контрольной величины.

Рекомендуется использовать для нагружения гидравлические прессы или стенды с гидравлическими домкратами и насосными станциями, а также механические рычажные установки и штучные грузы. Для измерения усилий применяются монометры, динамометры, динаметрические вставки распределительных траверс и нагружающих тяжей.

Для измерения прогибов и перемещений следует применять измерительные приборы и инструменты с ценой деления не более 0,1 мм: прогибомеры, индикаторы часового типа, штангенциркули, нивелиры и теодолиты. Измерение ширины раскрытия трещин рекомендуется проводить измерительными микроскопами, лупами с ценой деления не более 0,05 мм и металлическими шупами.

Методика проведения испытаний

Однопролетные свободно опертые и работающие в одном направлении балки следует опирать при испытании на две шарнирные линейные опоры, одна из которых должна быть неподвижной, а другая подвижной, допускающей перемещение конструкций вдоль пролета. В случаях, когда свободному перемещению испытываемых конструкций вдоль пролета препятствуют загрузочные устройства, опоры должны быть подвижными. Опираие конструкций на шарнирные опоры должно осуществляться через стальные плиты, симметрично расположенные относительно оси опоры.

Нагрузку следует прикладывать поэтапно ступенями (долями), каждая из которых не должна превышать 10 % контрольной нагрузки по прочности и по образованию и ширине раскрытия трещин и 20 % контрольной нагрузки по жесткости.

После каждой доли нагрузки испытываемая конструкция выдерживается под нагрузкой не менее 10 мин. После приложения контрольной нагрузки по жесткости и образованию трещин следует выдерживать конструкцию под этой нагрузкой в течение 30 мин, после чего продолжать поэтапное нагружение.

Во время выдерживания на каждой ступени нагружения необходимо производить осмотр поверхности изделия и фиксировать появившиеся трещины, результаты измерения перемещений, осадки опор, ширину раскрытия трещин и смещения арматуры относительно бетона на торцах изделия. Контролируемые показатели фиксируются в начале и конце каждой выдержки.

В изгибаемых конструкциях ширину раскрытия трещин, нормальных к продольной оси конструкции, измеряют на уровне центра тяжести нижнего ряда арматуры, а ширину раскрытия трещин, наклонных к продольной оси, – на уровне центра тяжести нижнего ряда продольной арматуры и в местах пересечения наклонными трещинами хомутов, а также отогнутых стержней. Во внецентренно сжатых конструкциях ширину раскрытия трещин определяют на уровне центра тяжести наиболее нагруженного ряда растянутой арматуры.

При проверке жесткости изгибаемых конструкций следует измерять перемещения в середине пролета и осадку опор. Прогиб конструкции определяется как разность между значениями перемещений, измеренных в пролете, и полусуммой значений осадок опор.

При испытании конструкции следует доводить до исчерпания прочности, что характеризуется непрерывным нарастанием прогибов, развитием и раскрытием трещин в бетоне при практически неизменной достигнутой максимальной нагрузке (1-й случай разрушения) либо резким снижением нагрузки после достижения ее максимального значения, при котором происходит разрыв арматуры, проскальзывание ее в бетоне или раздробление бетона сжатой зоны (2-й случай разрушения).

Оценка надежности и достоверности результатов

Опытные (фактические) значения исследуемых в лабораторных работах величин в каждом отдельном испытании для одной серии образцов будут, как правило, разными. Под серией подразумевается группа образцов, изготовленных из арматурной стали одной партии и бетона одного замеса. Все образцы одной серии проходят одинаковый цикл термовлажностной обработки (или твердеют в одинаковых естественных условиях). Характеристики прочности арматуры и бетона вычисляются на основании испытаний образцов бетона и арматуры и являются постоянными для одной серии образцов.

Изменчивость опытных (фактических) значений усилий в одной серии образцов является закономерной и объясняется определенными причинами. Поэтому для более обоснованных расчетных и опытных значений усилий и деформаций следует учесть результаты не только настоящих испытаний, но и результаты предыдущих испытаний в одной серии образцов и, выполнив несложную статистическую обработку, дать вероятностную оценку результатам испытаний.

При вероятностной оценке решаются две нижеследующие задачи:

- является ли результат проведенного испытания достоверным или его следует признать неудовлетворительным;
- оценивается сходимость расчетного значения усилия (деформации) с опытными.

Количественная оценка особенности изучаемой величины (фактора, характеристики) производится по его типичной средней величине с помощью среднего арифметического, а ее изменчивость – с помощью среднего квадратического отклонения и точности его определения с помощью средней ошибки среднего арифметического.

Среднее арифметическое вычисляют по формуле

$$X_m = \sum_{i=1}^n X_i / n, \quad (1)$$

где X_i – отдельные наблюдаемые значения измеряемой величины;

n – число измерений.

Среднее квадратическое отклонение

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_m - X_i)^2 / (n-1)}. \quad (2)$$

Пользуясь величиной σ , можно установить, какое количество измерений в данной партии будет находиться в тех или иных заданных пределах отклонения от среднего арифметического.

Для оценки точности определения общего значения среднего арифметического изучаемой величины по среднему арифметическому, найденному из ограниченного (небольшого) количества наблюдений, пользуются средней ошибкой среднего арифметического m , определяемой по формуле

$$m = \pm \sigma / \sqrt{n}. \quad (3)$$

С помощью m можно судить о надежности полученной средней характеристики X_m изучаемой величины: 68,3 % измерений должно находиться в пределах $X_m \pm m$; 95,4 % – в пределах $X_m \pm 2m$; 99,7 % – в пределах $X_m \pm 3m$.

Среди серии результатов необходимо выявить неудовлетворительные («выпадающие») результаты, которые резко отличаются от среднего результата для всей серии. Такие результаты являются следствием плохого качества опытных образцов или ошибок при проведении эксперимента. Подобного рода заключение основывается на принципе, согласно которому отдельный результат испытаний, значительно отличающийся от среднего значения, считается маловероятным и практически невозможным. И если он имеет место, то его отбрасывают.

В технических дисциплинах принято считать, что можно пренебречь результатом, который может встретиться с вероятностью $\alpha = 1\%$ (эта величина называется уровнем значимости). При этом предполагается нормальное распределение результатов. Коэффициенты $g_{\alpha, n}$, соответствующие этому уровню значимости и зависящие от числа испытаний n , приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения коэффициентов $g_{\alpha, n}$ и $t_{\alpha, n}$

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$g_{\alpha, n}$ ($\alpha = 1\%$)	–	–	1,414	1,723	1,995	2,13	2,265	2,374	2,464	2,54
$t_{\alpha, n}$ ($\alpha = 1\%$)	63,66	9,925	5,841	4,604	4,032	3,707	3,499	3,355	3,25	3,169

Отдельный опытный результат признается неудовлетворительным и отбрасывается, если он не удовлетворяет неравенству

$$\left(X_m - \sigma \cdot g_{\alpha, n} \right) < X_i < \left(X_m + \sigma \cdot g_{\alpha, n} \right). \quad (4)$$

Вероятностная оценка сходимости расчетного и опытного значения исследуемой величины в среднем основывается на том принципе, что при нескольких испытаниях образцов из одной серии за ис-

тинное значение опытных величин для данной серии принимается среднее арифметическое значение X_m , с которым и сравнивается расчетное теоретическое значение. Между средним арифметическим X_m и расчетным X допускается некоторая величина расхождения. Расхождение больше этой величины считается с вероятностью $\alpha = 1\%$ практически невозможным. Расхождение Δ между X_m и X вычисляется по формуле

$$\Delta = \pm t_{\alpha, n} \cdot \sigma / \sqrt{n}, \quad (5)$$

где $t_{\alpha, n}$ – коэффициент, принимаемый в зависимости от уровня значимости α и числа испытаний n по табл. 1.1.

Если расхождение между X_m и X будет меньше величины Δ , то сходимость между X_m и X признается удовлетворительной, т. е. проверяется неравенство

$$\left(X_m - t_{\alpha, n} \cdot \sigma / \sqrt{n} \right) < X < \left(X_m + t_{\alpha, n} \cdot \sigma / \sqrt{n} \right). \quad (6)$$

Если неравенство не соблюдается (что возможно с вероятностью $\alpha = 1\%$), то это событие считается практически невозможным и соответствующая ему сходимость считается неудовлетворительной.

При увеличении числа испытаний n расхождение между X_m и X уменьшается.

Лабораторная работа № 1

ИСПЫТАНИЕ ОБРАЗЦОВ АРМАТУРНОЙ СТАЛИ НА РАСТЯЖЕНИЕ

Цель работы: определение основных механических характеристик образцов арматурной стали и построение диаграмм деформирования при растяжении.

Задачи:

1. Определить площадь поперечного сечения арматуры.
2. Произвести испытание арматуры.
3. Обработать результаты испытаний и определить характерные точки диаграммы деформирования арматуры.
4. Построить диаграмму деформирования арматуры.
5. Определить начальный модуль упругости.

Данная лабораторная работа является вспомогательной и направлена на получение более точных результатов при испытании опытных образцов конструкций. Для этого необходимо знать фактические прочностные характеристики материалов, из которых изготовлены конструкции.

До проведения испытаний необходимо произвести замеры геометрических размеров образцов и занести их в специальный журнал, а также ознакомиться с оборудованием, используемым для испытаний арматуры.

Общие положения

Механические свойства (прочностные и деформативные) арматурных сталей устанавливают по диаграммам деформирования «напряжения – деформации», полученным при испытании прямым растяжением опытных образцов, вырезаемых непосредственно из арматурного стержня.

В зависимости от механических свойств арматурные стали традиционно принято разделять на две группы: так называемые «мягкие» стали, имеющие физический предел текучести, и «твердые» стали, не имеющие физического предела текучести.

Для «мягких» сталей напряжение f_{yk} , при котором деформации развиваются без заметного прироста нагрузки, называют **физическим пределом текучести**, а напряжение f_t , предшествующее разрыву, носит название **временного сопротивления** арматуры.

Для арматурных сталей, имеющих физический предел текучести, рассматривают следующие деформации, характеризующие основные этапы их работы под нагрузкой (рис. 1.1):

- упругие деформации ε_p , соответствующие напряжению f_p , определяемому по пределу пропорциональности;
- упруго-пластические деформации ε_e , соответствующие напряжению f_e , определяемому как предел упругости;
- деформации ε_{yd} , соответствующие пределу текучести f_y ;
- деформации ε_{sR} , соответствующие разрыву – временному сопротивлению арматуры f_t .

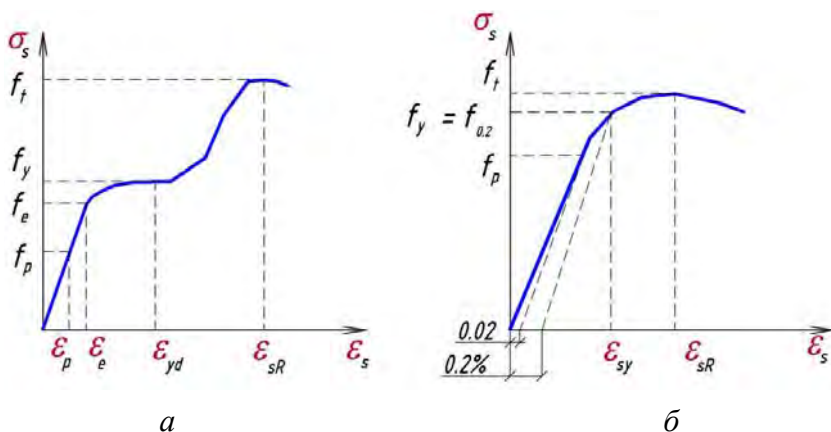


Рис. 1.1. Диаграммы деформирования для мягкой (а) и твердой (высокопрочной) (б) арматурных сталей

Для «твердых» сталей, для которых наблюдается постепенный, плавный переход в пластическую стадию и на кривой « σ_s – ε_s » отсутствует ярко выраженная площадка текучести, вводят понятие условного предела текучести.

Для высокопрочных сталей устанавливают:

- условный предел текучести $\sigma_{0,2} = f_{yk}$ – напряжение, при котором остаточные деформации $\Delta\varepsilon_s$ составляют 0,2 % (рис. 1.1, б);
- условный предел пропорциональности $\sigma_{0,02} = f_p$, соответствующий напряжению, при котором остаточное удлинение составляет 0,02 %;
- предел упругости, принимаемый равным $f_e = 0,8f_y$.

Для арматурных сталей, применяемых в железобетонных конструкциях, установлены следующие прочностные характеристики:

а) мгновенная прочность при растяжении или **временное сопротивление** при разрыве f_t , определяемое непосредственно при испытании образцов, отобранных из партии арматурных стержней;

б) **нормативное временное сопротивление** f_{tk} , определяемое по результатам испытания серии образцов (но не менее 15 штук) одного диаметра из одной марки стали с учетом статистической изменчивости с обеспеченностью не менее 0,95;

в) **нормативное сопротивление арматуры** f_{yk} ($f_{0,2k}$) – наименьшее контролируемое значение физического или условного предела текучести; указанные контролируемые характеристики гарантируются заводами-изготовителями с обеспеченностью не менее 0,95;

г) **расчетное сопротивление арматуры** f_{yd} , определяемое путем деления нормативных сопротивлений f_{yk} ($f_{0,2k}$) на частный коэффициент безопасности по арматуре γ_s , принимается равным: 1,1 – для арматуры классов S240 и S400; 1,15 – для арматуры диаметром 6–22 мм класса S500; 1,2 – для арматуры диаметром 4–5 мм и 25–40 мм класса S500.

Подготовка образцов и порядок их испытания

Испытание арматурных стержней производится согласно ГОСТ 12004-81 «Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение».

Для испытания на растяжение применяются образцы круглого или периодического профиля с необработанной поверхностью либо обточенные образцы цилиндрической формы с головками с сохранением поверхности проката на головках образца.

Полная длина образца l выбирается в зависимости от рабочей длины образцов l_1 и конструкции захвата исполнительной машины.

Рабочая длина образца должна составлять:

– для образца с номинальным диаметром $\varnothing \leq 20$ мм – не менее 200 мм;

– для образца с номинальным диаметром $\varnothing > 20$ мм – не менее $10\varnothing$.

Начальную площадь поперечного сечения необработанных образцов арматуры периодического профиля вычисляют по формуле

$$A_0 = \frac{m}{\rho l}, \text{ мм}, \quad (1.1)$$

где m – масса испытуемого образца, кг;

ρ – плотность стали, 7850 кг/м³;

l – длина испытуемого образца, м.

Диаметры круглых и обточенных образцов арматуры номинальным диаметром от 3,0 до 40,0 мм измеряют штангенциркулем или микрометром.

Для обточенных и круглых образцов арматуры номинальным диаметром от 3,0 до 40,0 мм определяют площадь поперечного сечения измерением диаметра по длине образца в трех сечениях: в середине и по концам рабочей длины; в каждом сечении в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Площадь поперечного сечения образца вычисляют как среднюю арифметическую величину этих шести измерений.

Начальную расчетную длину l измеряют с погрешностью не более 0,5 мм.

Массу испытываемых образцов арматуры периодического профиля номинальным диаметром менее 10 мм определяют с погрешностью не более 1,0 г, образцов арматуры диаметром от 10 до 20 мм – с погрешностью не более 2,0 г, а образцов диаметром более 20 мм – с погрешностью не более 1 % от массы образца. Образцы арматурной стали взвешивают на весах по ГОСТ 13882–68, а длину образца измеряют металлической линейкой по ГОСТ 472–75. Результаты измерений и вычислений заносят в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Определение площади сечения арматурных образцов

№ образца	Длина рабочая l_1 , м	Длина полная l , м	масса m , кг	Номинальная площадь поперечного сечения (формула (1.1)) A_s , мм ²

Перед испытанием образец на длине, большей рабочей длины образца, размечается на n равных частей. Расстояние между метками для арматуры диаметром 10 мм и более не должно превышать величину \varnothing и быть кратным 10 мм. Для арматуры диаметром менее 10 мм расстояние между метками принимается равным 10 мм. Если число интервалов n , соответствующее начальной длине образца, получается дробным, его округляют до целого в большую сторону.

Средняя скорость нагружения при испытании до предела текучести не должна быть более 10 МПа в секунду; за пределом текучести скорость нагружения может быть увеличена так, чтобы скорость перемещения подвижного захвата машины не превышала 0,1 рабочей длины испытуемого образца в минуту; шкала силоизмерителя испытательной машины не должна превышать пятикратного ожидаемого значения наибольшей нагрузки P для испытываемого образца арматуры. Результаты испытаний заносят в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Результаты замеров нагрузок и деформаций при испытании на растяжение образцов арматурной стали

№ п/п	Нагрузка P , Н	Отсчет по шкале тензометра		Деформация $\sum \Delta l \cdot 10^{-2}$, мм	Приращение деформации на одном этапе $l \cdot 10^{-2}$, мм	Упругая деформация $\sum \Delta l_y \cdot 10^{-2}$, мм	Условно-мгновенная деформация $\sum (\Delta l - \Delta l_y) \cdot 10^{-2}$, мм
		левый	правый				
1							
...							
n							

Обработка результатов

Величину относительного удлинения вычисляют по формуле

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \cdot 100, \% \quad (1.2)$$

В зависимости от величины начальной расчетной длины образца к букве добавляют индекс. Например, при начальной расчетной длине, равной $5\emptyset$, – δ_5 , при 100 мм – δ_{100} и т. д.

Конечную расчетную длину образца l_k , включающую место его разрыва, определяют следующим способом.

После испытания части образца тщательно складывают вместе, располагая их по прямой линии (рис. 1.2). От места разрыва в одну сторону откладывают $n/2$ интервалов и ставят метку a . Если величина $n/2$ оказывается дробной, то ее округляют до целого числа в большую сторону.

От места разрыва до первой метки при этом считается как целый интервал. От метки a откладывают в сторону разрыва n интервалов и ставят метку b . Отрезок ab равен полученному по месту разрыва конечной расчетной длине l_k .

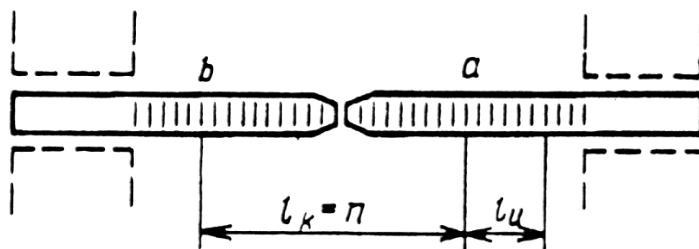


Рис. 1.2. Схема определения конечной расчетной длины образца (вариант 1)

Если место разрыва ближе к краю захвата машины чем величина $n/2$ (рис. 1.3), то полученную после разрыва конечную расчетную длину l_k определяют следующим образом: от места разрыва до крайней метки q у захвата определяют число интервалов, которое обозначают $m/2$. От точки q к месту разрыва откладывают m интервалов и ставят метку c . Затем от метки c откладывают $(n/2 - m/2)$ интервалов и ставят метку e .

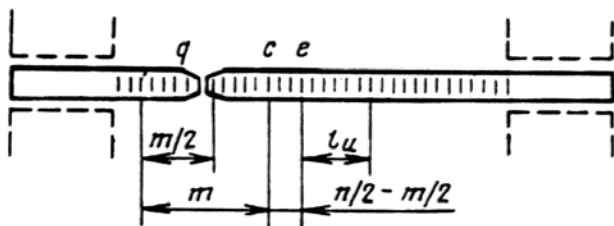


Рис. 1.3. Схема определения конечной расчетной длины образца (вариант 2)

Конечную расчетную длину образца вычисляют по формуле

$$l_k = cq + 2 - e, \text{ мм}, \quad (1.3)$$

где cq – соответственно длина участка образца между точками c и q .

Если место разрыва находится на расстоянии от захвата меньшем чем длина двух интервалов, величина расчетной длины не может быть достоверно определена и проводят повторное испытание.

Относительное равномерное удлинение δ_p определяется во всех случаях вне участка разрыва на начальной расчетной длине, равной 50 или 100 мм. При этом расстояние от места разрыва до ближайшей метки начальной расчетной длины для арматуры диаметром 10 мм и более не должно быть менее $3\emptyset$ и более $5\emptyset$, а для арматуры диаметром менее 10 мм – от 30 до 50 мм.

Для определения величины относительного равномерного удлинения δ_p конечная расчетная длина l_u определяется по меткам (см. рис. 1.2 и 1.3).

Величина относительного равномерного удлинения

$$\delta_p = \frac{l_u - l_0}{l_0} \cdot 100, \%. \quad (1.4)$$

Конечные расчетные длины l_k и l_u измеряют с погрешностью не более 0,5 мм.

Относительное удлинение и относительное равномерное удлинение после разрыва вычисляют с округлением до 0,5 %. При этом доли до 0,25 % отбрасывают, а доли 0,25 % и более принимают за 0,5 %.

Временное сопротивление вычисляют с погрешностью не более 5 МПа:

$$f_t = \frac{F_n}{A_{sn}}, \text{ МПа}, \quad (1.5)$$

где F_n – усилие, регистрируемое при разрыве стержня в испытательной машине;

A_{sn} – номинальная площадь сечения стержня.

Предел текучести вычисляют с погрешностью не более 5 МПа по формуле

$$f_y = \frac{F_t}{A_{sn}}, \text{ МПа}. \quad (1.6)$$

Предел упругости вычисляют с погрешностью не более 5 МПа:

$$f_e = \frac{0,8 \cdot F_t}{A_{sn}}, \text{ МПа}, \quad (1.7)$$

Предел пропорциональности вычисляют с погрешностью не более 5 МПа:

$$f_p = \frac{F_p}{A_{sn}}, \text{ МПа}, \quad (1.8)$$

где F_p – усилие участка пропорциональной зависимости « $F - \Delta l$ », определяемое графически по машинной диаграмме.

Условные пределы упругости и текучести могут быть определены аналитическим и графическим способами.

Тензомер на образец устанавливают после приложения начальной нагрузки, соответствующей 0,05–0,10 ожидаемой величины временного сопротивления σ_{sup} .

Нагрузка прикладывается равными или пропорциональными этапами, так чтобы до нагрузки, соответствующей искомому пределу, было не менее 8–10 этапов нагружения, считая от начальной нагрузки.

При достижении суммарной нагрузки, соответствующей 0,7–0,9 искомому пределу, рекомендуется уменьшить величину этапа нагружения в два или четыре раза. Выдержка при постоянной нагрузке на каждом этапе нагружения без учета времени приложения нагрузки должна быть не более 10 с.

При определении условного предела текучести и условного предела упругости графическим способом диаграмму растяжения $P - \Delta l$ (рис. 1.4) строят в таком масштабе, при котором 0,1 % деформации образца соответствовал участок оси ординат длиной не менее 10 мм, а нагрузке, примерно соответствующей условному пределу текучести, – участок оси абсцисс не менее 100 мм.

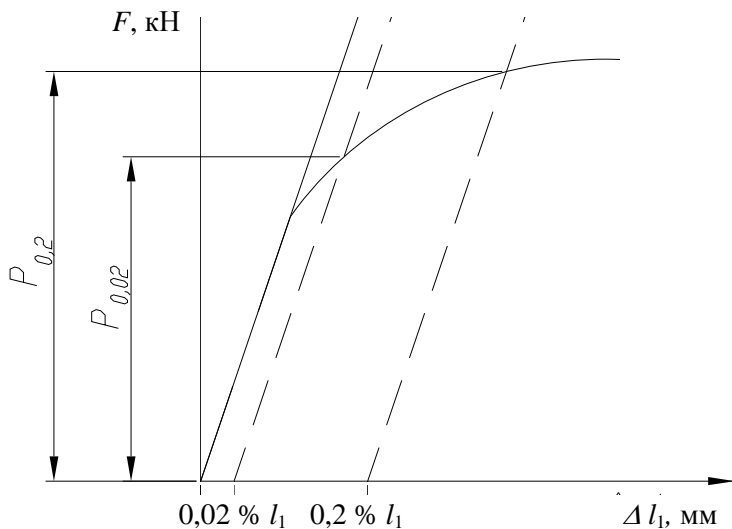


Рис. 1.4. Общий вид диаграммы для определения условного предела текучести

На диаграмме проводится прямая, параллельная участку пропорциональной зависимости $P - \Delta l$ на расстоянии от прямой части диаграммы вправо по оси абсцисс в направлении, равном заданной

величине допуска на условно-мгновенную пластическую деформацию для условных пределов упругости или текучести. Сила, соответствующая пределу упругости или текучести, определяется точкой пересечения этой прямой с диаграммой растяжения.

Начальный модуль упругости равен отношению приращения напряжений в интервале от 0,1 до 0,35 P_{sup} к относительному удлинению образца в том же интервале нагружения.

Начальный модуль упругости определяется с погрешностью не более 1 % по формуле

$$E_s = \frac{(P_{0,35} - P_{0,10}) \cdot l_0}{(\Delta l_{0,35} - \Delta l_{0,10}) A_0}. \quad (1.9)$$

При этом в интервале от 0,1 до 0,35 P_{sup} должно быть не менее трех последовательных этапов нагружения.

Результаты испытаний не учитываются в следующих случаях:

- при разрыве образца по нанесенным меткам, если при этом какая-либо характеристика механических свойств по своей величине не отвечает установленным требованиям;
- при разрыве образца в захватах испытательной машины.

Последовательность выполнения работы

1. Нанести на образец метки через равные расстояния, кратные 10 мм.
2. Измерить полную и рабочую длины образца и определить его массу. Вычислить начальную площадь поперечного сечения образца и занести данные в табл. 1.1.
3. Закрепить образец в захватках испытательной машины, установить тензомер, измерить начальную расчетную длину и базу установки тензометра.
4. Провести испытание нагружением до разрыва, регистрируя результаты замеров нагрузки и деформаций в табл. 1.2.
5. Обработать данные измерений для построения диаграммы деформирования и получения фактических значений механических свойств стали: δ , δ_p , δ_{sup} , δ_b , E_s .

Лабораторная работа № 2

ИСПЫТАНИЕ ОБРАЗЦОВ БЕТОНА ПРИ ОСЕВОМ КРАТКОВРЕМЕННОМ СЖАТИИ

Цель работы: определение основных механических характеристик образцов бетона и построение диаграмм деформирования при кратковременном сжатии, а также определение прочностных характеристик бетона с помощью неразрушающих методов.

Задачи:

1. Определение прочностных характеристик бетона методом пластических деформаций.
2. Определение прочностных характеристик бетона методом стандартного образца.
3. Определение деформационных характеристик бетона.

Общие положения

Прочность на сжатие является важнейшим классификационным показателем, характеризующим технические свойства бетона, как строительного материала. Существует несколько методов испытания бетонов на прочность:

- **Метод стандартных образцов.** Определение прочности бетона заключается в определении напряжений в контрольном образце при его разрушении на прессе.

Стандартными образцами для определения кубиковой прочности $f_{c.cube}^G$ исследуемого бетона при сжатии служат кубы размером 150х150х150 мм либо 100х100х100 мм, испытанные до разрушения.

Прочность бетона на сжатие следует определять на образцах-призмах квадратного сечения или цилиндрах круглого сечения с отношением высоты к ширине (диаметру), равным 4. Ширина (диаметр) образцов должна приниматься равной 70, 100, 150, 200 или 300 мм в зависимости от назначения и вида конструкций и изделий. За базовый принимают образец размерами 150х150х600 мм.

Образцы для испытаний изготавливают из проб бетонной смеси, применяемой при изготовлении контролируемого изделия. Образцы устанавливают в пресс и нагружают его непрерывно и равномерно до разрушения образца. Разрушающая нагрузка фиксируется, и затем по ней рассчитывают прочность бетона.

- **Метод неразрушающего контроля** (ГОСТ 22690). Основное отличие состоит в том, что при использовании этого метода непосредственно измеряемой величиной является не прочность, а какой-либо физический показатель, связанный с измеряемой величиной корреляционной зависимостью. Основных методов неразрушающего контроля, основанных на построении индивидуальных градуировочных зависимостей, несколько.

- **Метод пластической деформации** основан на измерении размеров отпечатка, который остался на поверхности бетона после соударения с ней стального шарика.

- **Метод упругого отскока** заключается в измерении величины обратного отскока ударника при соударении с поверхностью бетона.

- **Метод ударного импульса** заключается в регистрации энергии удара, возникающей в момент соударения бойка с поверхностью бетона.

- **Метод отрыва со скалыванием и скалывания ребра** конструкции заключается в регистрации усилия, необходимого для скалывания участка бетона на ребре конструкции, либо местного разрушения бетона при вырыве из него анкерного устройства.

Метод пластических деформаций. Наиболее широко для таких испытаний используют молоток Кашкарова (рис. 2.1). Молоток состоит из индентора (шарика) диаметром 15 мм, стакана, пружины, корпуса с ручкой, головки и сменного эталонного стержня диаметром 10 мм и длиной 160 мм с одним заостренным концом из арматурной стали класса S240. Поверхность эталонного стержня для лучшей видимости отпечатков не должна быть шлифованной.

При ударе эталонным молотком Кашкарова получают одновременно два отпечатка – на эталоне и бетоне. Отношение диаметров отпечатков бетона и эталона d_6/d_3 не зависит от силы удара. По среднему значению этих отношений при пяти ударах и тарировочной кривой (рис. 2.2) определяют прочность бетона на сжатие.

Нормативные документы определяют прочность бетона на сжатие f_c , как максимальное сжимающее напряжение в бетоне при одноосном напряженном состоянии.



Рис. 2.1. Молоток Кашкарова

Изменчивость свойств исходных материалов, погрешности испытательного оборудования, изменение технологических параметров в процессе изготовления конструкций и многое другое приводит к тому, что прочность бетона обладает статистической изменчивостью. Это значит, что изготовленные из одного и того же состава бетона и испытанные на сжатие для контроля прочности образцы покажут результаты, отличающиеся между собой.

Ранее за основную характеристику бетона принимали среднюю прочность бетонных кубов стандартного размера. Эта прочность называлась *маркой*. Например, марка бетона М200 означала, что кубы из этого бетона должны выдержать при испытаниях на прессе в среднем 200 кг/см^2 . Такой довольно простой и понятный способ определения основной характеристики бетона в то же время не учитывал такого важного показателя как разброс результатов испытаний. Это приводило к тому, что конструкции, изготовленные из бетона одной и той же марки, могли иметь разную надежность.

Поэтому для учета однородности материала было введено в качестве основной характеристики не «марка» бетона, а «класс». *Класс бетона* представлял прочность стандартных кубов с обеспеченностью 0,95. Например, класс бетона В15 говорил о том, что прочность стандартных кубов из данного бетона с обеспеченностью 95 % равна 15 МПа. Кубиковая прочность бетона необходима для контроля качества бетона. В расчетах конструкций использовалась призмная прочность.

В Республике Беларусь согласно СНБ 5.03.01 **класс по прочности на сжатие**, как условная (синтетическая) мера качества бетона, обозначается буквой С и числами, выражающими значения нормативного сопротивления и гарантированной прочности в МПа; например, С12/15: перед чертой – значение нормативного сопротивления f_{ck} , после черты – гарантированная прочность бетона $f_{c.cube}^G$.

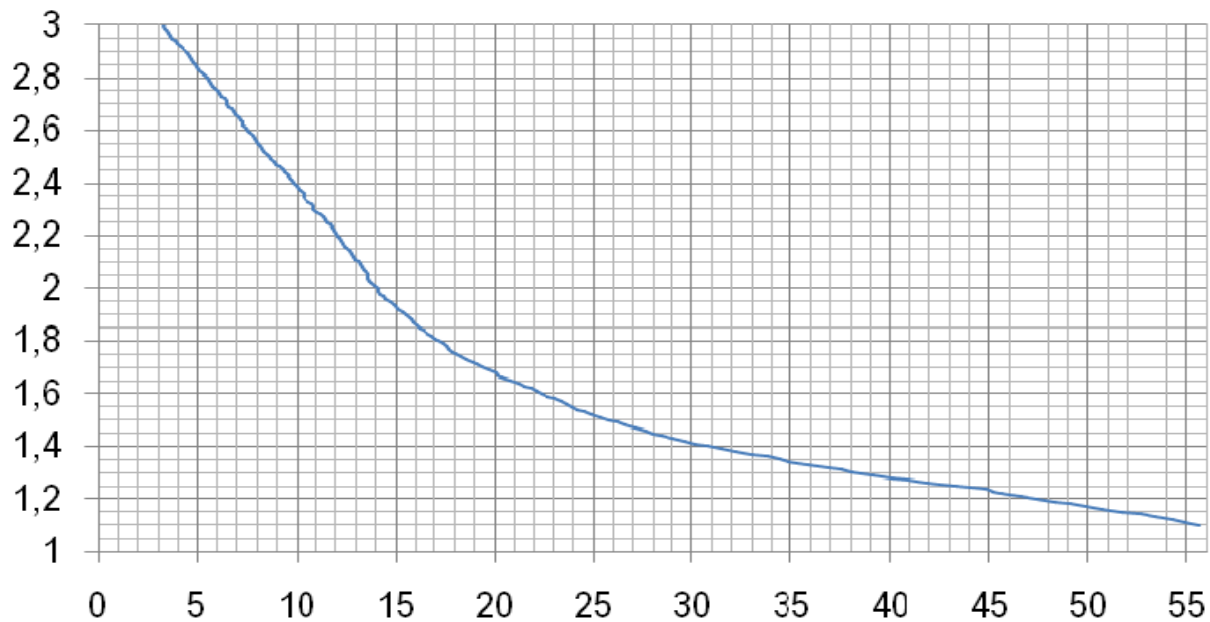


Рис. 2.2. Тарировочная кривая для определения прочности бетона молотком К. П. Кашкарова

Гарантированная прочность бетона $f_{c,cube}^G$ – гарантируемая предприятием-производителем прочность бетона. Определяется как прочность куба (с ребром 15 см $h = 15$ см), в соответствии с требованиями действующих стандартов, твердевшего в нормальных температурных и влажностных условиях ($t = 20 \pm 2$ °С, влажность более 75 %) в возрасте 28 суток бетона на осевое сжатие, установленная с учетом статистической изменчивости с обеспеченностью 0,95.

При определении гарантированной прочности допускается использовать кубы с другими размерами ребра. При этом в расчетах обязательно использовать масштабный коэффициент для приведения данных в соответствии с размерами образца базового размера (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Значение масштабного коэффициента для бетонных образцов различной формы и размеров

Показатель	Куб (ребро) или призма (сторона), мм				
	70	100	150	200	300
Коэффициент α	0,85	0,95	1,0	1,05	1,1

Гарантированная прочность бетона (кубиковая) с учетом статистической изменчивости свойств бетона с обеспеченностью 0,95 определяется по формуле

$$f_{c,005} = f_{c,cube}^G = f_{cm} - t \cdot s, \quad (2.1)$$

где f_{cm} – средняя прочность бетона на сжатие:

$$f_{cm} = \frac{\sum f_{c,i}}{n}, \quad (2.2)$$

здесь n – количество образцов;

s – среднеквадратичное (стандартное) отклонение:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (f_{c,i} - f_{cm})^2}{n}};$$

где t – параметр статистики кривой распределения (при принятой обеспеченности нормативных значений 0,95 параметр $t = 1,64$).

Нормативное (характеристическое) сопротивление бетона осевому сжатию f_{ck} – контролируемая прочностная характеристика бетона, определяемая с учетом статистической изменчивости. В качестве базового числового значения обеспеченности нормативных значений прочностных характеристик принимается величина 0,95. Нормативную прочность получают при испытаниях призм или цилиндров. Данная характеристика используется в расчетах.

В соответствии с требованиями норм нормативное сопротивление бетона допускается определять в зависимости от его гарантированной прочности при постоянном значении переходного коэффициента $k_p = 0,8$:

$$f_{ck} = 0,8 \cdot f_{c.cube}^G, \quad (2.3)$$

где f_{ck} – нормативное сопротивление бетона, соответствующее прочности бетонных, установленной с учетом статистической изменчивости свойств материала; $f_{c.cube}^G$ – гарантированная прочность бетона, установленная при испытании кубов по стандартной методике.

При использовании неразрушающих методов контроля значение гарантированной прочности бетона $f_{c.cube}^G$ согласно СНБ 5.03.01–2002 «Бетонные и железобетонные конструкции», следует принимать равным 80 % от средней прочности бетона, нормативное сопротивление бетона определяется в зависимости от его гарантированной прочности при постоянном значении переходного коэффициента $k_p = 0,8$.

Расчетные сопротивления бетона сжатию f_{cd} следует определять путем деления нормативных сопротивлений бетона соответственно осевому сжатию f_{ck} и осевому растяжению f_{ctk} на частные коэффициенты безопасности по бетону γ_c , принимаемые равными. При расчете по предельным состояниям первой группы для железобетонных конструкций.

Подготовка образцов и порядок их испытания

Определение прочности бетона на сжатие методом пластических деформаций

Производят удары эталонным молотком Кашкарова по кубам K_i , балке B_i и призме P_i . Удары следует наносить перпендикулярно к испытываемой поверхности. Удар следует наносить усилием, обеспечивающим получение отпечатка на бетоне размером 0,3–0,7 диаметра шарика, а на эталонном стержне – не менее 2,5 мм. Удары наносят в разных местах граней кубов в середине и по периметру так, чтобы расстояние между краями соседних лунок было не менее 30 мм, а от ребра – 50 мм. На каждом образце производят удары по одной грани и, перевернув куб, по противоположной. Расстояние между отпечатками должно быть не менее 30 мм на бетоне и 10 мм на эталонном стержне.

Затем измеряют отпечатки с погрешностью не более 0,1 мм на бетоне и эталоне, результаты заносят в журнал испытаний (табл. 2.2). По тарировочной зависимости (рис. 2.2) определяют прочность бетона, после чего рассчитывают гарантированную, нормативную и расчетную прочность бетона.

Таблица 2.2

Определение прочности методом пластических деформаций

Номер образца	d_6 , мм	d_3 , мм	d_6/d_3	f_c , МПа	f_{cm} , МПа	$f_{c.cube}^G$, МПа	f_{ck} , МПа	f_{cd} , МПа
К								
Б								
П								
					общее			

Определение прочности бетона на сжатие по контрольным образцам

Размеры образцов выбираются в зависимости от наибольшей крупности заполнителя бетона. Отклонение размеров и формы образцов от номинальных, неплоскостность их опорных поверхностей, прилегающих к плитам пресса, а также отклонение от перпендикулярности опорных и боковых поверхностей образцов не должны превышать предельно допустимых значений.

Для измерения деформаций следует применять тензометры, обеспечивающие измерение относительных деформаций с точностью не ниже $1 \cdot 10^{-5}$.

Допустимо использовать тензорезисторы, наклеиваемые на поверхность бетона.

Тензометры и индикаторы для измерения деформации устанавливают на образце с помощью прижимных приспособлений (рамок, струбцин, опорных вставок) в соответствии с фиксируемой базой измерения деформаций (рис. 2.3). Прижимные приспособления должны обеспечивать неизменное положение тензометров и индикаторов относительно образца в процессе измерения деформации.

Перед испытанием образцы следует осмотреть, определить имеющиеся дефекты, отдельные выступы на гранях снять наждачным камнем, измерить линейные размеры (табл. 2.3), проверить отклонение формы и размеров.

При определении модуля упругости шкалу силоизмерителя испытательного пресса выбирают из условия, что ожидаемое значение разрушающей нагрузки P_p должно быть от 70 до 80 % от максимальной, допускаемой выбранной шкалой.

Перед испытанием образец с приборами устанавливают центрально по разметке плиты пресса и проверяют совмещение начального отсчета с делением шкалы прибора.

Начальное усилие обжатия образца, которое в последующем принимают за условный нуль, должно быть не более 2 % от ожидаемой разрушающей нагрузки.

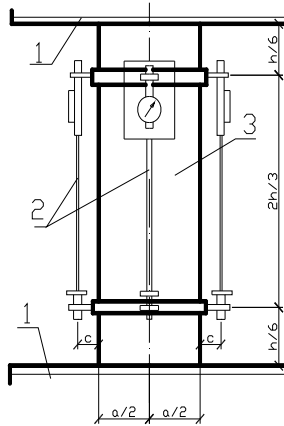


Рис. 2.3. Схема испытания при кратковременном осевом сжатии:
 1 – опорная плита прессы; 2 – индикаторные тензометры; 3 – бетонная призма

Таблица 1.3

Журнал испытания бетонных образцов на сжатие

Номер образца	Размеры, см			Площадь поперечного сечения образца A , см ²	Разрушающая нагрузка Q_{sup} , кН	Прочность образца $f_{c,i}$, МПа
	a_1	a_2	H			
K_1						
среднее значение	$a_1=$	$a_2=$	$H=$			
K_1						
среднее значение						
K_1						
среднее значение						
K_1						
среднее значение						

Значение ожидаемой разрушающей нагрузки при испытании образцов устанавливают по данным о прочности бетона, принятой в технической документации, или по прочности на сжатие изготовленных из одного замеса образцов-кубов. Ее значение при одинаковых сечениях кубов и призм следует принимать от 80 до 90 % от средней разрушающей нагрузки образцов-кубов.

При центрировании образцов необходимо, чтобы в начале испытания от условного нуля до нагрузки, равной $(40 \pm 5 \%) P_p$, отклонения деформаций по каждой грани (образующей) не превышали 5 % их среднего арифметического значения.

При несоблюдении этого требования при нагрузке, равной или большей $(15 \pm 5 \%) P_p$, следует разгрузить образец, сместить его относительно центральной оси разметки плиты прессы в сторону больших деформаций и вновь произвести его центрирование.

Образец бракуют после пяти неудачных попыток его центрирования. При центрировании образцов деформации фиктивных волокон, совпадающих с центрами отверстий, в которых крепят индикаторы, относят к граням образца и определяют по формулам:

$$\Delta_1 = \Delta'_1 + \frac{(\Delta'_2 = \Delta'_1)c}{2c + a}; \quad (2.4)$$

$$\Delta_2 = \Delta'_1 + \frac{(\Delta'_2 = \Delta'_1)(a + c)}{2c + a}, \quad (2.5)$$

где Δ'_1 и Δ'_2 – деформации фиктивных волокон на противоположных гранях образца;

Δ_1 и Δ_2 – деформации, отнесенные к граням образца;

a – размер стороны образца;

c – расстояние от грани образца до центра отверстий, в которых крепят индикаторы.

При определении призмной прочности, модуля упругости бетона нагружение образца до уровня нагрузки, равной $(40 \pm 5 \%) P_p$, следует производить ступенями, равными 10 % ожидаемой разрушающей нагрузки, сохраняя в пределах каждой ступени скорость нагружения $(0,6 \pm 0,2)$ МПа/с.

На каждой ступени следует производить выдержку нагрузки от 4 до 5 и записывать отсчеты по приборам в начале и конце выдержки ступени нагрузки в журнал (табл. 2.4).

Таблица 2.4

Журнал регистрации отсчетов по приборам

Номер ступени нагрузки	Время приложения ступени нагрузки, мм	Нагрузка на образец, кН	Показание приборов $\Delta l \cdot 10^{-3}$ мм ($\epsilon \cdot 10^{-5}$)								Среднее приращение $\Delta l \cdot 10^{-3}$ мм ($\epsilon \cdot 10^{-5}$)	
			1		2		3		4			
			отсчет	приращение	отсчет	приращение	отсчет	приращение	отсчет	приращение		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
0												
...												
...												
10												

При уровне нагрузки, равной $40 \pm 5 \% P_p$, снимают приборы с образца, если нет других требований, предусмотренных программой испытания. После снятия приборов дальнейшее нагружение образца следует производить непрерывно с постоянной скоростью.

Зарисовывают характер разрушения куба и устанавливают соответствие нормальному разрушению. Возможные случаи разрушения образцов при испытаниях на сжатие показаны на рис. 2.4.

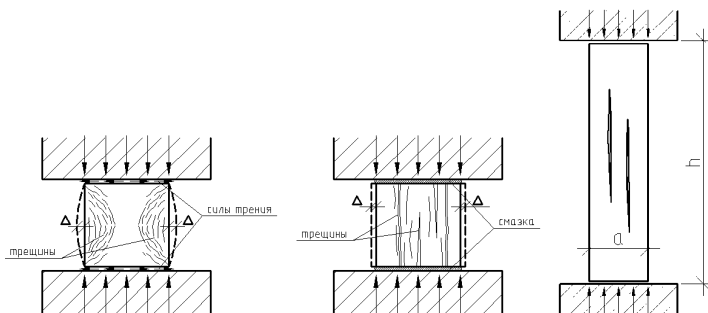


Рис. 2.4. Варианты разрушения бетонных образцов (кубов, призм)

Обработка результатов

Прочность бетона на сжатие f_c вычисляют для каждого образца по формуле

$$f_c = \frac{P_{sup}}{A}, \quad (2.6)$$

где P_{sup} – разрушающая нагрузка, измеренная по шкале силоизмерителя прессы (машины);

A – среднее значение площади поперечного сечения образца, определяемое по его линейным размерам.

Модуль упругости E_c вычисляют для каждого образца при уровне нагрузки, составляющей 30 % от разрушающей:

$$E_c = \frac{\sigma_i}{\varepsilon_{iy}}, \quad (2.7)$$

где $\sigma_i = P_i / A_c$ – приращение напряжения от условного нуля до уровня внешней нагрузки, равной 30 % от разрушающей;

P_i – соответствующее приращение внешней нагрузки;

ε_{iy} – приращение упругомгновенной относительной продольной деформации образца, соответствующее уровню нагрузки $P_1 = 0,3P_{sup}$ и замеренное в начале каждой ступени ее приложения.

В пределах ступени нагружения деформации определяют по линейной интерполяции.

Для описания полной диаграммы деформирования (рис. 2.5) бетона в условиях осевого сжатия используется зависимость

$$\sigma_c = f_c \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k-2)\eta}; \quad 0 \leq |\varepsilon_{c1}| \leq |\varepsilon_{cu}|, \quad (2.8)$$

где f_c – прочность на осевое сжатие (призменная прочность);

$$k = \frac{1,1 \cdot E_c \cdot |\varepsilon_{c1}|}{f_c},$$

здесь E_c – модуль упругости бетона;

$$\eta = \varepsilon_c / \varepsilon_{c1}, \quad (\varepsilon_{c1} < 0),$$

здесь ε_{c1} – относительная деформация, соответствующая пиковой точке диаграммы (см. табл. 6.1 СНБ 5.03.01-02).

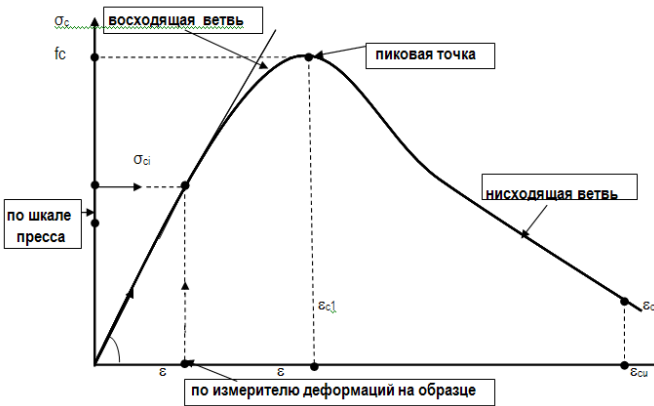


Рис. 2.5. Общий вид диаграммы деформирования бетона при осевом кратковременном сжатии

Проводят статистическую обработку полученных данных (табл. 2.5, 2.6).

Таблица 2.5

Статистический анализ испытания образцов

Номер образца	Прочность образца $f_{c,i}$, МПа	Средняя прочность, f_{cm} , МПа	Среднеквадратичное отклонение S , МПа	Гарантированная прочность бетона $f_{c.cube}^G$, МПа
K_1				
K_i				

Таблица 2.6

Определение нормативного сопротивления бетона

Номер образца	Прочность образца $f_{c,i}$, МПа	Фактическая нормативная прочность бетона, МПа	Нормативная прочность бетона, МПа	Класс бетона	Расчетное сопротивление бетона сжатию f_{cd} , МПа
P_1					
P_i					

В конце работы анализируют полученные данные:

- сравнивают прочностные характеристики бетона, полученные различными методами;
- определяют фактический класс бетона;
- определяют расчетное сопротивление бетона.

Последовательность выполнения работы

1. Определить прочность бетона методом пластических деформаций.
2. Измерить линейные размеры, установить возможные дефекты бетонного образца.
3. Закрепить на боковых гранях бетонной призмы тензометры и определить базу измерения деформаций.
4. Выполнить центрирование образцов призмы в прессе.
5. Испытать призму до разрушения.
6. Обработать данные измерений, построить диаграмму деформирования бетона по зависимости (2.8), используя фактическое значение f_c и E_c .

Лабораторная работа № 3

ИСПЫТАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ С РАЗРУШЕНИЕМ ПО СЕЧЕНИЮ НОРМАЛЬНОМУ К ПРОДОЛЬНОЙ ОСИ

Цель работы: изучить характер напряженно-деформированного состояния балки на всех стадиях работы, включая стадию разрушения по сечению нормальному к продольной оси элемента.

Задачи:

1. Ознакомиться с характером образования и развития трещин, а также с картиной разрушения. После испытания составить карту трещин.
2. Ознакомиться с характером прогибов балки под нагрузкой, построить график прогибов балки.
3. Определить расчетом прогибы (перемещения) балки в середине пролета a и сравнить их с экспериментальными данными.
4. Определить теоретический момент появления первых трещин и сравнить его с полученным из опыта.
5. Определить теоретически разрушающий момент и сравнить его с соответствующим опытным значением.

Подготовка образцов и порядок их испытания

Программой работы предусматривается проведение испытания балки прямоугольного поперечного сечения, опирающейся на две шарнирные линейные опоры. Нагружение конструкции осуществляется гидравлическим домкратом и распределяется стальной траверсой на две сосредоточенные силы, образующие зону чистого изгиба в средней части длины пролета. Нагрузка F контролируется по показаниям манометра m насосной станции, входящего в комплект гидравлического силового оборудования. Градуировочная зависимость « F - m » устанавливается предварительными аттестационными испытаниями с применением образцового динамометра.

Механические характеристики бетона и арматуры балки принимаются по результатам, полученным при испытаниях образцов материалов в лабораторных работах № 1 и № 2.

Фактические геометрические характеристики поперечного сечения и армирования, пролет балки и положение точек приложения сил испытательной нагрузки измеряются линейкой (рулеткой).

До нагружения конструкции необходимо определить контрольные характеристики прочности, жесткости и трещиностойкости путем расчета соответствующих усилий (изгибающих моментов и сосредоточенных сил принятой схемы нагружения), используя фактические данные о механических характеристиках материалов и геометрических параметрах балки. На основании теоретических расчетов следует определить размеры ступеней и число этапов нагружения.

Конструкция балки запроектирована таким образом, что в сечении нормальном к предельной оси элемента в предельной стадии по прочности (3 стадия напряженно-деформированного состояния) предполагается разрушение характерное либо для 1-го (достижение предела текучести стали), либо для 2-го случая (раздробление бетона сжатой зоны до достижения предела текучести стали, арматуры растянутой зоны).

Напряжения (деформации) в растянутой арматуре не измеряются, поэтому в качестве опытного разрушающего момента принимается тот, которому соответствует максимальная нагрузка или максимальное достигнутое давление в домкрате гидравлического силового оборудования.

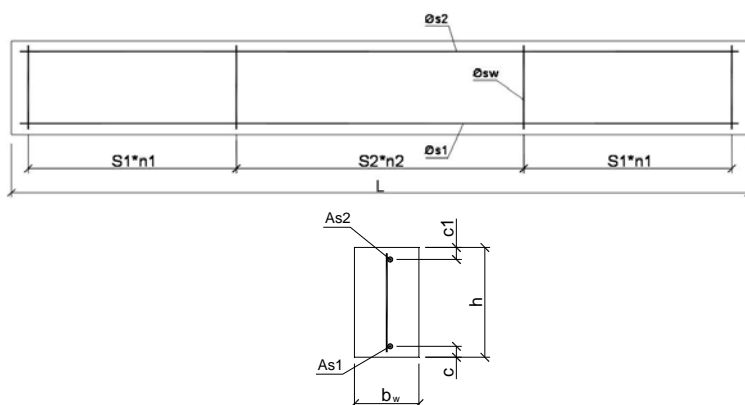


Рис. 3.1. Конструкция железобетонной балки

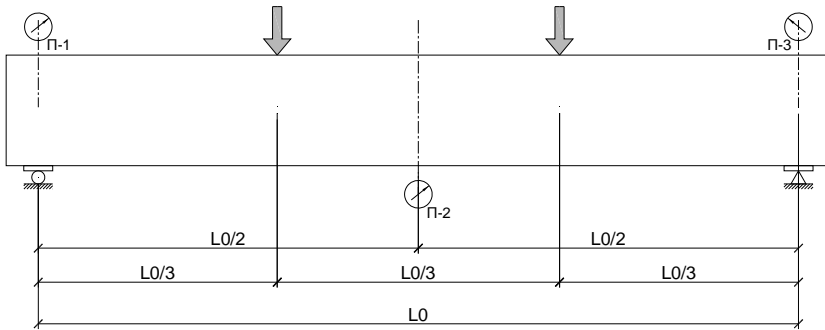


Рис. 3.2. Схема нагружения балки и размещения прогибомеров

Обработка результатов

Прогиб балки в середине пролета вычисляется по формуле

$$a = \Delta_2 - (\Delta_1 + \Delta_3) \cdot 0,5, \quad (3.1)$$

где Δ_2 – перемещение, измеренное прогибомером П-2;

Δ_1, Δ_3 – перемещения (осадки опор), измеренные прогибомерами П-1 и П-3.

Расчетный прогиб балки для стадии работы до образования трещин в бетоне растянутой зоны ($M < M_{crс}$, 1-я стадия напряженно-деформированного состояния) определяется по формуле

$$a_1 = \left(\frac{\alpha}{48} \right) \frac{M \cdot L_0^2}{B_0}, \quad (3.2)$$

где $B_0 = E_c \cdot I_1$ – изгибная жесткость элемента при кратковременных нагрузках.

Момент инерции площади приведенного поперечного сечения

$$I_1 = \vartheta h^3 / 12 + \vartheta h (x_1 - 0,5h)^2 + \alpha_e A_{s2} (x_1 - c1)^2 + \alpha_e A_{s1} (d - x_1)^2.$$

Расстояние от верхней грани до центра тяжести приведенного сечения

$$x_1 = \frac{0,5bh^2 + \alpha_e (A_{s1} \cdot d + A_{s2} \cdot c1)}{bh + \alpha_e (A_{s1} + A_{s2})}$$

Коэффициент приведения площади сечения:

$$\alpha_e = E_s / E_c$$

Расчетный изгибающий момент, соответствующий образованию трещин в бетоне растянутой зоны балки:

$$M_{c2} = f_{ct} \cdot W_c, \tag{3.4}$$

где $W_c = 1,75 \cdot bh^2 / 6$ – упруго-пластический момент сопротивления сечения прямоугольной формы.

Результаты вычислений заносят в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Журнал регистрации измерений

№ этапа	Показания манометра, МПа	Величина сосредоточенной силы F , кН	Изгибающий момент, кК · м	Прогибомер П-1 Цена деления шкалы _____		Прогибомер П-2 Цена деления шкалы _____		Прогибомер П-3 Цена деления шкалы _____		Прогиб, мм	Ширина раскрытия трещины, мм
				Отсчет	Перемещение, мм	Отсчет	Перемещение, мм	Отсчет	Перемещение, мм		
0											
:											
i											

Расчетный изгибающий момент, соответствующий исчерпанию прочности балки, вычисляется по методике, приведенной в СНБ 5.03.01-02. В ходе расчета следует использовать фактические механические характеристики материалов железобетонных балок, полученные в лабораторных работах № 1 и № 2.

Опытные и теоретические результаты работы оформляются в табличной форме (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Опытные и теоретические результаты работы

Прогиб балки, мм			Изгибающий момент, соответствующий образованию трещин, кН · м			Разрушающий изгибающий момент, кН · м		
Опыт. a	Расч. a_2	$\frac{a - a_1}{a} \cdot 100$	Опыт. M_{c2}	Расч. M_{c1}	$\frac{M_{c2} - M_{c1}}{M_{c2}} \cdot 100$	Опыт. M_u	Расч. M_{u1}	$\frac{M_u - M_{u1}}{M_u} \cdot 100$

Качественные характеристики трещинообразования и разрушения балки должны быть представлены в графическом виде (рис. 3.3).

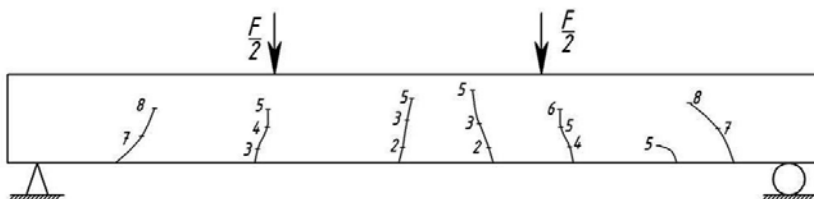


Рис. 3.3. Схема образования трещин и разрушения образцов

Последовательность выполнения работы

1. Измерить и изобразить на чертеже геометрические параметры и армирование конструкции балки (см. рис. 3.1).
2. Изобразить схему испытания балки с описанием испытываемого оборудования и средств измерений (см. рис. 3.2).
3. Определить расчетные значения прогиба (a_1) балки, изгибающего момента образования трещин (M_{c2}), разрушающего изгибающего момента (M_{u1}).

4. Назначить размер ступени нагружения и провести испытания балки, регистрируя результаты измерений в журнале (см. табл. 3.1).
5. Построить график зависимости прогибов от величины изгибающего момента « $a-M$ ».
6. Описать развитие трещин и характер разрушения (см. рис. 3.3).
7. Провести сравнение опытных и теоретических результатов, оформить в табличной форме (см. табл. 3.2).

Лабораторная работа № 4

ИСПЫТАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ С РАЗРУШЕНИЕМ ПО СЕЧЕНИЮ НАКЛОННОМУ ПРОДОЛЬНОЙ ОСИ

Цель работы: изучить характер напряженно-деформированного состояния балки на всех стадиях нагружения, включая стадию разрушения по сечению, наклонному к продольной оси.

Задачи:

1. Ознакомиться с характером разрушения изгибаемых элементов по сечениям, наклонным к продольной оси.
2. Определить расчетное значение ширины раскрытия трещин и разрушающей нагрузки и выполнить их сравнение с опытными значениями.

Подготовка образцов и порядок их испытания

Программой работы предусматривается проведение испытаний балки прямоугольного поперечного сечения, опирающейся на две шарнирные линейные опоры. Нагружение конструкции осуществляется гидравлическим домкратом и распределяется стальной траверсой на две сосредоточенные силы, образующие зону чистого изгиба в средней части пролета. Нагрузка F контролируется по показаниям манометра m насосной станции, входящей в комплект гидравлического силового оборудования. Градуировочная зависимость « F - m » устанавливается предварительными аттестационными испытаниями с применением образцового динамометра.

Механические характеристики бетона и арматуры балки принимаются по результатам, полученным при испытаниях образцов материалов в лабораторных работах № 1 и № 2.

Геометрические параметры поперечного сечения и армирования, пролет балки и положение точки приложения сил при испытании измеряются линейкой и представляются на рис. 4.1.

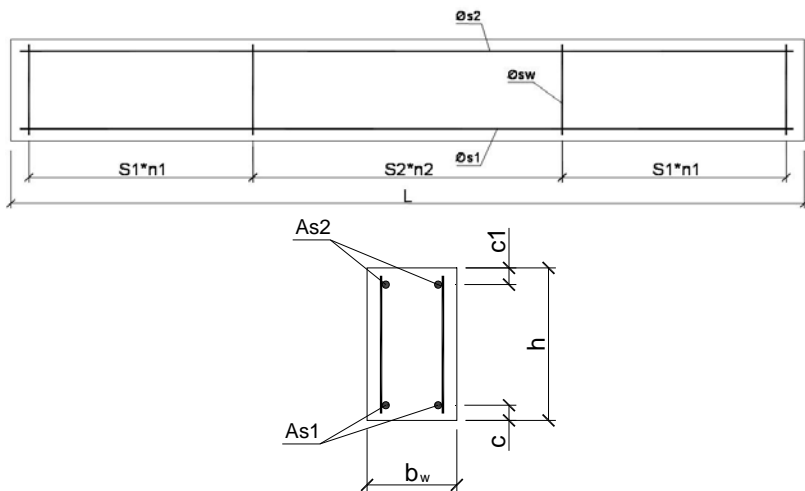


Рис. 4.1. Конструкция железобетонной балки

До нагружения конструкции необходимо определить контрольные характеристики прочности и трещиностойкости путем расчета соответствующих усилий (поперечных сил принятой схемы нагружения), используя фактические данные о механических характеристиках материалов и геометрических параметрах балки. На основании теоретических расчетов следует определить размеры ступеней и число этапов нагружения.

Конструкция балки и схема нагружения балки подбираются таким образом, чтобы получить разрушение образца по наклонной трещине в результате достижения предела текучести поперечной арматуры либо раздробление бетона над вершиной наклонной трещины.

Напряжения (деформации) в поперечной арматуре не измеряются, поэтому за разрушающую поперечную силу принимается максимальная нагрузка.

Схема нагружения балки и размещение измерительных приборов при испытании показаны на рис. 4.2. С помощью рычажного тензомера Т-1 измеряются относительные деформации сжатия, а с помощью тензомера Т-2 – растяжения. Нагрузка на балку прикладывается этапами (ступенями), составляющими не более 5–10 % от разрушающей нагрузки. После каждого этапа нагружения снимаются отсчеты по приборам и заносятся в табл. 4.1.

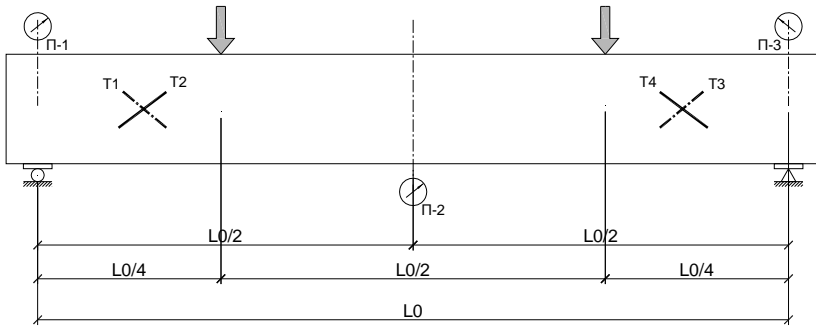


Рис. 4.2. Схема нагружения балки и размещения тензодатчиков

Таблица 4.1

Журнал регистрации измерений

№ этапа	Показание манометра	Поперечная сила F , кН	Изгибающий момент в зоне чистого изгиба	Тензодатчик Т-1 Цена деления _____ База _____			Тензодатчик Т-2 Цена деления _____ База _____			Ширина раскрытия трещин, мм
				Отсчеты	Разность отсчетов	Деформация	Отсчеты	Разность отсчетов	Деформация	
0										
...										
i										

В процессе испытания на боковой поверхности балки карандашом обводятся трещины, а затем составляется карта трещин по масштабной сетке (рис. 4.3). Здесь же отмечается характер разрушения.

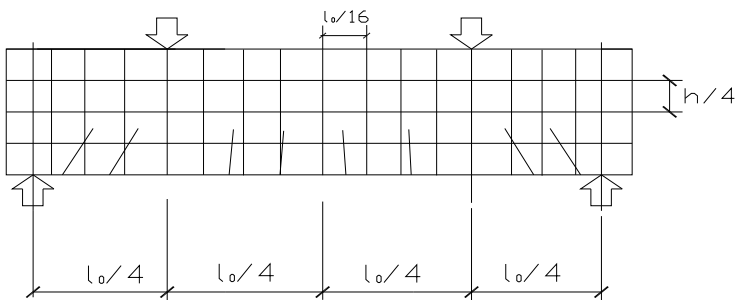


Рис. 4.3. Карта трещин на боковой поверхности и схема разрушения балки

Обработка результатов

Расчетную поперечную силу V_{cl} (рис. 4.4), соответствующую исчерпанию прочности балки вычисляют по формуле

$$V_{cl} = V_{cd} + V_{sw}, \quad (4.1)$$

где V_{cd} – поперечное усилие, воспринимаемое бетоном над вершиной наклонной трещины;

V_{sw} – сумма проекций на нормаль к продольной оси элемента предельных усилий в поперечных стержнях (хомутах), пересекающих опасную наклонную трещину (рис. 4.4).

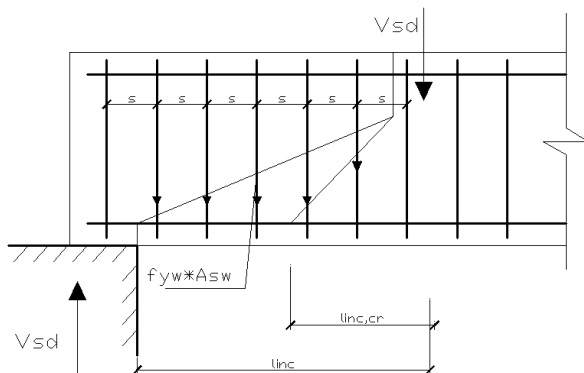


Рис. 4.4. Схема усилий в сечении, наклонном к продольной оси железобетонного элемента, при расчете его на прочность на действие поперечной силы

Поперечное усилие V_{cd} , воспринимаемое бетоном, определяется по формуле

$$V_{cd} = \frac{2 \cdot f_{ct} \cdot b_w \cdot d^2}{l_{inc}}, \quad (4.2)$$

где l_{inc} – длина проекции наиболее опасного сечения на продольную ось элемента.

Для элементов с поперечной арматурой в виде хомутов, нормальных к продольной оси элемента и имеющих постоянный шаг в пределах наклонного сечения длина проекции наклонной трещины

$$l_{inc.cr} = \sqrt{\frac{2 \cdot f_{ct} \cdot b_w \cdot d^2}{v_{sw}}}, \quad (4.3)$$

где v_{sw} – усилие на единицу длины элемента:

$$v_{sw} = \frac{f_{ywd} \cdot A_{sw}}{s}. \quad (4.4)$$

Поперечное усилие

$$V_{sw} = v_{sw} \cdot l_{inc.cr}. \quad (4.5)$$

Расчетная ширина раскрытия наклонных трещин

$$W_k = \beta \cdot S_{r,max} \cdot \varepsilon_{r,max}, \quad (4.6)$$

где β – коэффициент, учитывающий отношение расчетной ширины раскрытия трещин к средней, принимается $\beta = 1,3$ при наименьших размерах поперечного сечения 300 мм и менее;

$S_{r,max}$ – среднее расстояние между трещинами;

$\varepsilon_{r,max}$ – средние относительные деформации арматуры.

Среднее расстояние между наклонными трещинами $S_{r,max}$ определяют по формуле

$$S_{r,\max} = \frac{1}{\frac{\sin \theta}{S_{r,\max,x}} + \frac{\cos \theta}{S_{r,\max,y}}}, \quad (4.7)$$

где $S_{r,\max,x}$ – средний шаг трещин в направлении, параллельном продольной оси;

$S_{r,\max,y}$ – средний шаг трещин в направлении, перпендикулярном к продольной оси элемента;

θ – угол между продольной осью элемента и направлением главных сжимающих напряжений. Значение θ принимается из расчета прочности наклонных сечений (допускается принимать $\theta = 45^\circ$).

Средние расстояния $S_{r,\max,x}$ и $S_{r,\max,y}$

$$S_{r,\max} = 2 \left(C_x + \frac{S_x}{10} \right) + 0,25 K_1 \frac{\varnothing_{bx}}{\rho_{ix}}, \quad (4.8)$$

$$S_{r,\max} = 2 \left(C_y + \frac{S_y}{10} \right) + 0,25 K_1 \frac{\varnothing_{sw}}{\rho_{sw}}, \quad (4.9)$$

где \varnothing_{bx} , \varnothing_{sw} – соответственно диаметры продольных и поперечных стержней;

C_x , C_y – расстояния до центра продольной и поперечной арматуры от центра тяжести;

K_1 – коэффициент, учитывающий сцепление арматуры с бетоном, равный 0,8 для стержней периодического профиля, 1,6 – для гладких стержней.

Среднее значение относительных деформаций растяжения для железобетонного элемента с диагональными трещинами ε_{sm} определяют из расчета с использованием общей деформационной модели при совместном действии изгибающих моментов и поперечных сил.

Опытные и теоретические результаты работы оформляются в табличной форме (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Опытные и теоретические результаты

Ширина раскрытия наклонных трещин, мм			Разрушающая поперечная сила, кН		
Опытное W_{k2}	Расчетное W_{k1}	$\left(\frac{W_{k2} - W_{k1}}{W_{k1}}\right) \cdot 100\%$	Опытное V_{c2}	Расчетное V_{c1}	$\left(\frac{V_{c1} - V_{c2}}{V_{c1}}\right) \cdot 100\%$

Последовательность выполнения работы

1. Измерить и изобразить на чертеже геометрические параметры и армирование балки (см. рис. 4.1).
2. Изобразить схему испытания балки с описанием испытательного оборудования и средств измерения (см. рис. 4.2).
3. Определить расчетное значение разрушающей поперечной силы V_{c1} и ширины W_{k1} раскрытия наклонной трещины по формулам (4.1)–(4.7).
4. Назначить размер ступени нагружения и провести испытания балки, регистрируя результаты измерения в журнале (см. табл. 4.1).
5. Описать развитие трещин и характер разрушения (см. рис. 4.3).
6. Провести сравнение опытных и теоретических результатов, оформить в табличной форме (см. табл. 4.2).

Лабораторная работа № 5

ИСПЫТАНИЕ ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТОЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ КОЛОННЫ

Цель работы: изучить характер напряженно-деформированного состояния внецентренно сжатого железобетонного элемента на всех стадиях нагружения, включая стадию разрушения.

Задачи:

1. Ознакомиться с характером разрушения внецентренно сжатых железобетонных элементов.
2. Построить опытные зависимости относительных деформаций в бетоне сжатой и растянутой зоны ε_{pm} от величины нагрузки F .
3. Определить расчетное значение разрушающей нагрузки и выполнить ее сравнение с опытным значением.

Подготовка образцов и порядок их испытания

Программой работы предусматривается проведение испытания колонны прямоугольного сечения, опирающейся на две шарнирные опоры, находящиеся на расстоянии e_0 от оси колонны.

Нагрузка на колонну передается через оголовки, установленные по торцам колонны. Нагрузка F контролируется по показаниям силовой измерителя прессы.

Механические характеристики бетона и арматуры колонны принимаются по результатам, полученным при испытаниях образцов материалов в лабораторных работах № 1 и № 2.

Геометрические параметры поперечного сечения и армирования, длина колонны и положение точек приложения сил испытательной нагрузки измеряется линейкой, рулеткой и штангенциркулем (рис. 5.1).

До нагружения конструкции необходимо определить контрольные характеристики прочности путем расчета соответствующих усилий (сосредоточенных сил принятой схемы нагружения), используя фактические данные о механических характеристиках материалов и геометрических параметрах колонны. На основании теоретических расчетов следует определить размеры ступеней и число этапов нагружения.

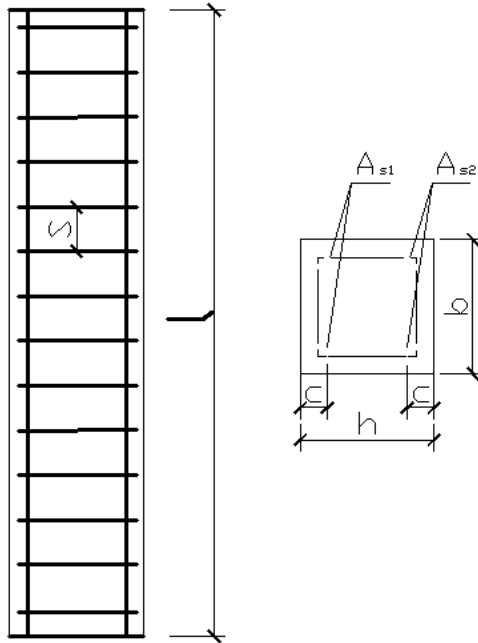


Рис. 5.1. Геометрические размеры и армирование колонны

Конструкция колонны и приложение нагрузки запроектирована таким образом, чтобы получить разрушение при раздроблении бетона сжатой зоны до достижения предела текучести арматуры растянутой зоны.

Деформации в растянутой и сжатой зоне бетона измеряются при помощи индикаторных тензометров, установленных на растянутой и сжатой гранях колонны (рис. 5.2). По результатам этих измерений строятся графики деформирования бетона сжатой и растянутой зоны, результаты заносятся в табл. 5.1. За опытную разрушающую продольную силу принимается максимальная нагрузка гидравлического силового оборудования.

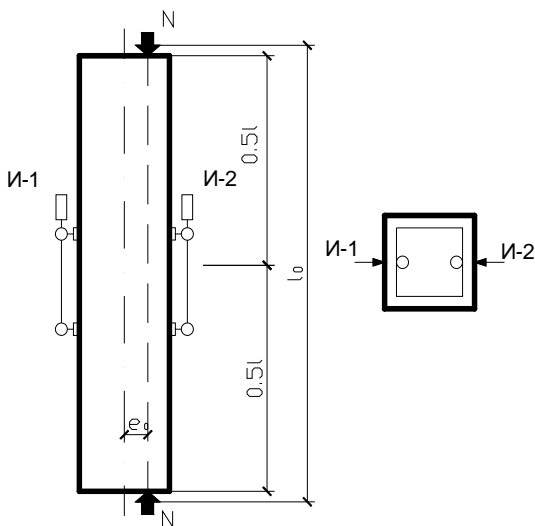


Рис. 5.2. Схема загрузки колонны и размещения измерительных приборов

Таблица 5.1

Журнал регистрации измерений

№ этапа	Показание манометра	Продольная сила N	Изгибающий момент в зоне чистого изгиба	Индикатор И-1 Цена деления _____ База _____			Индикатор И-2 Цена деления _____ База _____		
				Отсчеты	Разность отсчетов	Деформации	Отсчеты	Разность отсчетов	Деформации
0									
1									
2									
3									
4 и т. д.									

Обработка результатов

Расчетное значение разрушающей продольной силы $N_{и1}$ вычисляется по методике СНБ 5.03.01-02 либо с использованием программных комплексов (например, «Бета»).

Опытные и теоретические результаты работы оформляются в табличной форме (табл. 5.2).

Таблица 5.2

Опытные и теоретические результаты

Разрушающая продольная сила, кН		
Опытное значение N_u	Расчетное значение $N_{и1}$	$\frac{N_u - N_{и1}}{N_u} \cdot 100\%$

Сравнение опытной (фактической) разрушающей продольной силы N_u с расчетной (теоретической) $N_{и1}$ выполняется так же, как и в предыдущих лабораторных работах, в ходе выполнения которого следует использовать фактические механические характеристики материалов железобетонных колонн, полученные в лабораторных работах № 1 и № 2.

Качественные характеристики трещинообразования и разрушения колонны должны быть представлены в графическом виде (рис. 5.3).

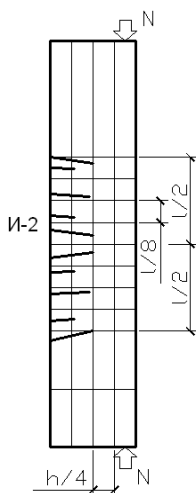


Рис. 5.3. Карта трещин и схема разрушения

Последовательность выполнения работы

1. Измерить и изобразить на чертеже геометрические параметры и армирование колонны (см. рис. 5.1).
2. Изобразить схему испытания колонны с описанием испытательного оборудования и средств измерения (см. рис. 5.2).
3. Определить расчетное значение разрушающей продольной силы.
4. Построить графики зависимости относительных деформаций в бетоне сжатой и растянутой зоны ε_{pm} от величины нагрузки F .
5. Назначить размер ступени нагружения и провести испытание колонны, регистрируя результаты измерения в журнале (см. табл. 5.1).
6. Описать развитие трещин и характер разрушения (см. рис. 5.3).
7. Провести сравнение опытных и теоретических результатов, оформить в табличной форме (см. табл. 5.2).

Лабораторная работа № 6

ИСПЫТАНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННОЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ

Цель работы: изучить жесткость и трещиностойкость предварительно напряженной железобетонной балки при изгибе.

Задачи:

1. Ознакомление с технологией натяжения арматуры на бетон.
2. Установление напряженного состояния железобетонной балки в процессе натяжения арматуры на бетон.
3. Установление напряженно-деформированного состояния балки при загрузении.
4. Анализ результатов, полученных при испытании, сравнение их с результатами расчета.

Подготовка образцов и порядок испытания

Программой работы предусматривается проведение испытания предварительно напряженной балки прямоугольного поперечного сечения, опирающейся на две шарнирные линейные опоры. Нагрузку конструкции осуществляется гидравлическим домкратом и распределяется стальной траверсой на две сосредоточенные силы, образующие зону чистого изгиба в средней части пролета. Нагрузка F контролируется по показаниям манометра m насосной станции, входящего в комплект гидравлического силового оборудования. Градуировочная зависимость « $F - m$ » устанавливается предварительными аттестационными испытаниями с применением образцового динамометра.

Испытываемая балка прямоугольного сечения (рис. 6.1) состоит из трех железобетонных блоков, стянутых предварительно напрягаемым стержнем, пропущенным в канале. Балка изготовлена из тяжелого бетона за один прием, при этом для образования блоков, плотно прилегающих торцами друг к другу, в опалубку устанавливались металлические разделительные пластинки. Продольные каналы в блоках были образованы пустотообразующими пластиковыми трубками.

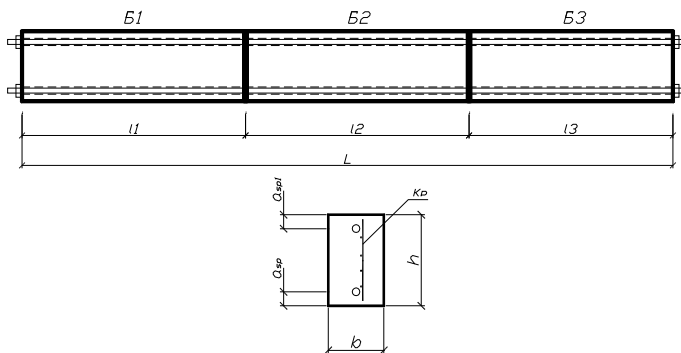


Рис. 6.1. Геометрические размеры и армирование балки

Механические характеристики бетона и арматуры балки принимаются по результатам, полученным при испытаниях образцов материалов.

Геометрические параметры поперечного сечения и армирования, длина отдельных блоков балки, пролет балки и положение точек приложения сил испытательной нагрузки измеряются линейкой (рулеткой). Основные размеры балки, характеристики бетона и арматуры заносятся в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Характеристики предварительно напряженной балки

№ п/п	Наименование величин, единица измерения	Обозначения	Фактические значения
1	Длина балки, мм	L	
2	Ширина балки, мм	b	
3	Высота балки, мм	H	
4	Расстояние от нижней грани до центра тяжести растянутой арматуры, мм	a_{sp}	
5	Площадь поперечного сечения предварительно напряженной растянутой арматуры, мм ²	A_{sp}	
6	Напряжения в натянутой арматуре при нулевых напряжениях в бетоне, МПа	σ_{sp}	

№ п/п	Наименование величин, единица измерения	Обозначения	Фактические значения
7	Расстояние от верхней грани до центра тяжести сжатой арматуры, мм	a_{sp1}	
8	Площадь поперечного сечения сжатой арматуры, мм ²	A_{sp1}	
9	Модуль упругости арматуры, МПа	E_s	
10	Модуль упругости бетона, МПа	E_c	
11	Расчетный пролет балки, мм	L_0	
12	Расстояние от опор до сил F , мм	a_f	

К концам арматурного стержня с помощью контактной сварки приварены коротыши с резьбой, на которые накручиваются гайки, обеспечивающие натяжение и анкеровку арматуры.

Лабораторная работа начинается с укрупнительной сборки балки и натяжения арматуры. Бетонные блоки Б-1...Б-3 устанавливаются на ровную горизонтальную поверхность; в канал блоков вставляется стержень предварительно напрягаемой арматуры. В швы между блоками в нижней части вставляется фольга. При закручивании гаек на торцах балки в стержне предварительно напряженной арматуры создается напряжение около 50 МПа. В результате этого бетонные блоки объединяются в единую конструкцию. Собранный железобетонная балка устанавливается на опоры стенда (рис. 6.2). Устанавливаются индикаторы часового типа И-1...И-3, предназначенные для измерения перемещений, а также для измерения деформаций бетона и арматуры.

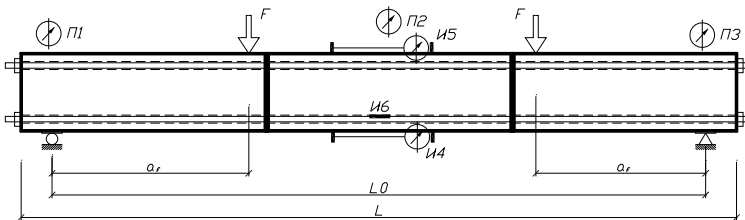


Рис. 6.2. Схема загрузки и размещения приборов

С помощью ключа или гидравлического домкрата напряжение в арматуре доводится ступенями по 5...10 МПа до значения σ_{con} , вычисленного по формуле (6.8). После приложения каждой ступени нагрузки предварительного напряжения дается выдержка, по истечении которой снимаются и заносятся в ведомость показания прибора (табл. 6.2).

Таблица 6.2

Журнал регистрации измерений

№ этапа	Показания манометра, МПа	Величина сосредоточенной силы F , кН	Изгибающий момент, кН·м	Деформации арматуры		Деформации растянутой грани бетона		Деформации сжатой грани бетона		Прогибомер П-1 Цена деления шкалы _____		Прогибомер П-2 Цена деления шкалы _____		Прогибомер П-3 Цена деления шкалы _____	
				Отсчет	Деформации, мм	Отсчет	Деформации, мм	Отсчет	Деформации, мм	Отсчет	Перемещение, мм	Отсчет	Перемещение, мм	Отсчет	Перемещение, мм
Натяжение арматуры P															
0															
...															
i															
Загружение силами F															
0															
...															
i															

Затем производится загрузка балки двумя сосредоточенными силами P , приложенными на расстоянии a_F от опор. Силы увеличиваются ступенями, после каждой ступени снимаются отсчеты по приборам и заносятся в ведомость испытаний. Загружение прекращается при достижении нулевых суммарных напряжений по нижней грани балки. В этот момент листик фольги, вложенный в нижнюю часть шва между блоками, будет вытаскиваться.

Обработка результатов

После окончания испытаний производится обработка результатов испытаний. В ведомости испытаний вычисляются значения деформаций арматуры и бетона (по показаниям тензоаппаратуры, снятым с тензорезисторов ТР-1...ТР-3), а также перемещений балки на опорах (индикаторы И-1 и И-3) и в середине пролета (индикатор И-2).

Напряжения в арматуре и бетоне определяются по формулам

$$\sigma_S = \varepsilon_C \cdot E_S;$$

$$\sigma_C = \varepsilon_C \cdot E_C.$$

Прогиб балки в середине пролета

$$a = \Delta_2 - (\Delta_1 + \Delta_3) \cdot 0,5, \quad (6.1)$$

где Δ_2 – перемещение, измеренное прогибометром П-2;

Δ_1, Δ_3 – перемещения (осадки опор), измеренные прогибомерами П-1 и П-3.

На основе полученных данных строятся эпюры напряжений в бетоне: а) от усилия предварительного обжатия; б) от внешней нагрузки на одном из этапов загрузения; суммарная эпюра (рис. 6.3), а также графики прогибов балки от усилия предварительного напряжения (рис. 6.4, а) и внешней нагрузки (рис. 6.4, б).

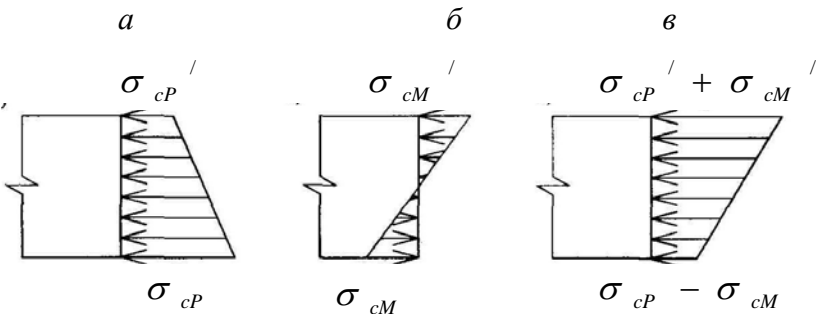


Рис. 6.3. Эпюры напряжений в бетоне:
а) от усилия предварительного обжатия; б) от внешней нагрузки на одном из этапов загрузения; в) суммарная эпюра

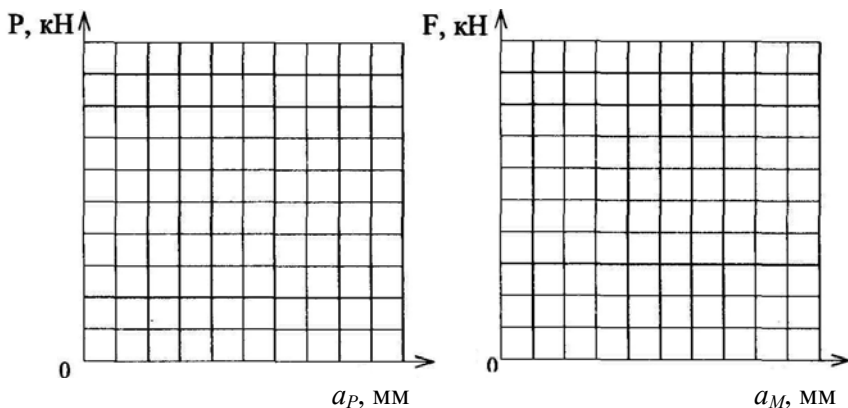


Рис. 6.4. Графики прогибов балки от усилий предварительного напряжения (а) и внешней нагрузки (б)

Напряжение в натянутой арматуре задается преподавателем равным примерно 60–80 % от предела упругости арматуры. Усилия предварительного напряжения

$$P = \sigma_{SP} \cdot A_{SP}. \quad (6.2)$$

Напряжения в бетоне от усилия предварительного напряжения

$$\sigma_{cP} = \frac{P}{A_{red}} \pm \frac{P \cdot e_{op}}{I_{red}} \cdot y, \quad (6.3)$$

где A_{red} – приведенная площадь поперечного сечения бетона:

$$A_{red} = bh + \alpha \cdot A_{SP};$$

I_{red} – приведенный момент инерции сечения:

$$I_{red} = \frac{bh^3}{12} + bh \cdot (0,5h - y_1)^2 + \alpha A_{SP} \cdot y_{SP}^2; \quad (6.4)$$

y_1 – расстояние от нижней грани до центра тяжести приведенного сечения (рис. 6.5):

$$y_1 = \frac{0,5bh^2 + \alpha A_{SP} \cdot a_{SP}}{A_{red}}; \quad (6.5)$$

e_{op} – расстояние от центра тяжести приведенного сечения до напряженной арматуры:

$$e_{op} = y_{SP} = y_1 - a_{SP}; \quad (6.6)$$

y – расстояние от центра тяжести приведенного сечения до волокон, в которых определяется напряжение.

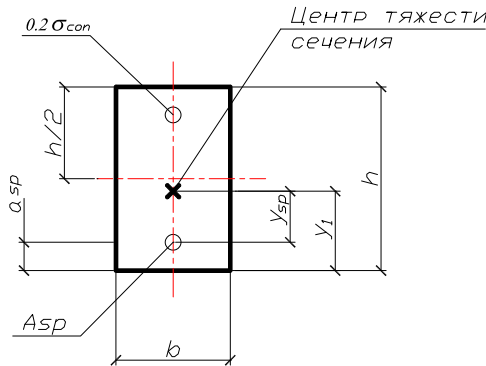


Рис. 6.5. Сечение балки

Напряжения в бетоне на уровне натянутой арматуры ($y = e_{op}$)

$$\sigma_{cP} = \frac{P}{A_{red}} + \frac{P \cdot e_{op}^2}{I_{red}}. \quad (6.7)$$

Величина начального контролируемого напряжения в арматуре

$$\sigma_{con} = \sigma_{SP} - \alpha \sigma_{cP}. \quad (6.8)$$

Усилие в натянутой арматуре

$$P_{con} = \sigma_{con} \cdot A_{SP}. \quad (6.9)$$

Напряжения в бетоне от момента $M = F \cdot a_F$:

$$\sigma_{cM} = \pm \frac{M}{I_{red}} \cdot y = \frac{F \cdot a_F}{I_{red}} \cdot y. \quad (6.10)$$

Суммарное напряжение в волокнах бетона, расположенных на расстоянии y_i от центра тяжести приведенного сечения:

$$\begin{aligned} \sigma_c &= \sigma_{cP} = \sigma_{cM} = \\ &= \frac{P}{A_{red}} \pm \frac{P \cdot e_{op}}{I_{red}} \cdot y_1 \pm \frac{M \cdot y_1}{I_{red}}. \end{aligned} \quad (6.11)$$

Закрывание швов начинается тогда, когда напряжения в нижних волокнах балки будут равны нулю. Момент образования трещин

$$M_{crc} = \frac{\sigma_{cP} \cdot I_{red}}{y_1} = \sigma_{cP} \cdot W_{red}, \quad (6.12)$$

где W_{red} – приведенный момент сопротивления сечения по нижней зоне:

$$W_{red} = \frac{I_{red}}{y_1}.$$

Величина силы F , соответствующая этому моменту:

$$F_{crc} = M_{crc} / a_F. \quad (7.13)$$

Перемещение вверх середины балки от усилия предварительного напряжения:

$$a_p = \frac{1}{r3} \cdot S \cdot l_0^2 = \frac{Pe_{op} l_0^2}{8 \cdot 0.85 \cdot E_c \cdot I_{red}}. \quad (6.14)$$

Прогиб середины балки от усилия предварительного напряжения

$$aF = \frac{1}{r1} \cdot S \cdot l_0^2 =$$

$$= \frac{M \cdot l_0^2}{0.85 \cdot E_c \cdot I_{red}} \left(\frac{1}{8} - \frac{a_F^2}{8l_0^2} \right).$$

По приведенным выше формулам вычисляются напряжения в бетоне от усилия предварительного напряжения, от внешних сил F и суммарные напряжения, а также перемещения среднего сечения балки. Эти величины наносятся на эпюры напряжения (рис. 6.3) и на графики перемещений (рис. 6.4).

Полученные экспериментальные и расчетные данные, а также относительные отклонения заносятся в табл. 6.3.

В конце работы делаются выводы о применимости приведенных формул и причинах полученных отклонений расчетных данных от экспериментальных.

Таблица 6.3

Опытные и теоретические результаты работы

Данные	Напряжения в бетоне, МПа				Выгиб от предварительного напряжения a_p , мм	Прогиб от действия сил F a_F , мм	$F_{срс}$, кН
	$\sigma_{сР}$	$\sigma_{сР}'$	$\sigma_{сМ}$	$\sigma_{сМ}'$			
Опытные							
Расчетные							
Отклонение, %							

Последовательность выполнения работы

1. Укрупнительная сборка балки и натяжение арматуры.
2. Измерить и изобразить на чертеже геометрические параметры и армирование конструкции балки (см. рис. 6.1).
3. Изобразить схему испытания балки с описанием испытываемого оборудования и средств измерений (см. рис. 6.2).
4. Назначить размер ступени нагружения и провести испытания балки, регистрируя результаты измерений в журнале (см. табл. 6.1).
5. Определить опытные значения напряжений в бетоне на уровне верхней и нижней граней, деформации балки при создании предварительного напряжения арматуры и при приложении внешней нагрузки с построением эпюр напряжений в бетоне и графиков прогибов балки.
6. Определить расчетные значения напряжений в бетоне на уровне верхней и нижней граней, деформации балки при создании предварительного напряжения арматуры и при приложении внешней нагрузки, величину силы, соответствующей моменту трещинообразования.
7. Провести сравнение опытных и теоретических результатов, оформить в табличной форме (см. табл. 6.2).

ЛИТЕРАТУРА

1. Бетонные и железобетонные конструкции. Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь : СНБ 5.03.01–2002. – Минск 2003.

2. Железобетонные конструкции. Основы теории, расчета и конструирования : учеб. пособие для студентов строительных специальностей / под ред. проф. Т. М. Пецольда и проф. В. В. Тура. – Брест : БГТУ, 2003. – 380 с.

3. Лабораторные работы по курсу «Железобетонные конструкции» : учеб. пособие / под ред. В. С. Плевкова. – М. : Изд-во АСВ, 2008. – 189 с.

4. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам : ГОСТ 10180–2009. – М. : Государственный строительный комитет, 1991. – 41 с.

5. Бетоны. Правила контроля прочности : ГОСТ 18105–86. – М. : Государственный строительный комитет, 1987. – 21 с.

6. Бетоны. Методы определения призмной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона : ГОСТ 24452–80. – М. : Государственный строительный комитет, 1985. – 19 с.

7. Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением : ГОСТ 8829–94. – Минск : Государственный строительный комитет, 1997. – 26 с.

8. Бетоны. Методы испытания на растяжение : ГОСТ 12004–81. – М. : Государственный строительный комитет, 1982. – 54 с.

Учебное издание

**ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ И КАМЕННЫЕ
КОНСТРУКЦИИ**

Методические указания
к выполнению лабораторных работ
для студентов специальности

1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство»

Составители:

ХОТЬКО Анатолий Анатольевич
ЗВЕРЕВ Владимир Федорович
ПЕЦОЛЬД Тимофей Максимович

Редактор *Л. Н. Шалаева*
Компьютерная верстка *А. Г. Занкевич*

Подписано в печать 22.10.2013. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 3,66. Уч.-изд. л. 2,86. Тираж 150. Заказ 956.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет. ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.