МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

КАФЕДРА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ И КАМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ

по дисциплине «Железобетонные и каменные конструкции»

для студентов специальности 08.03.01 «Строительство»,

профиля – «Промышленное и гражданское строительство»,

квалификация – бакалавр

Москва 2013

Составители:

ст. преподаватель Сапрыкин В.Ф.

ст. преподаватель Барбашев Н.П.

Введение

Учебной программой курса «Железобетонные и каменные конструкции» помимо теоретических занятий предусмотрено выполнение студентами четырех лабораторных работ с общим объемом учебного времени – 8 часов.

Основная цель лабораторных работ в общем плане – углубление, расширение и закрепление знаний, полученных на теоретических занятиях по данному курсу.

Кроме того, в процессе выполнения лабораторных работ студенты получают и осваивают:

- методику получения прочностных характеристик бетона и арматуры по результатам испытаний образцов (реальных испытаний или выданных компьютерной программой для лабораторных работ условных значений);
- представление о конструктивном решении реальных опытных образцов (армирование, опалубочные размеры и др.) или их визуальных представлений на персональных компьютерах (ПК);
- существующую приборную базу, оснастку и оборудование, необходимые для проведения испытаний опытных образцов в лабораторных условиях;
- навыки в экспериментальной проверке теоретических основ работы железобетонных конструкций под нагрузкой при различных силовых воздействиях и характера разрушения опытных образцов;
- методику сопоставления опытных параметров, полученных при испытании образцов, с их теоретическими значениями.

В процессе выполнения лабораторных работ каждый студент должен вести регистрацию опытных параметров на всех этапах нагружения образцов в протоколах (журналах) для лабораторных работ с графическим построением соответствующих схем, таблиц, диаграмм.

Каждая работа должна завершаться заключением о проведенном испытании с анализом полученных результатов и сдачей студентом зачета по каждой лабораторной работе, при условии положительной оценки

самостоятельных ответов студента на контрольные вопросы преподавателя, проводившего лабораторные работы.

Лабораторные работы могут проводиться по одному из двух вариантов:

1) Испытание реальных опытных образцов, выполненных из железобетона на силовом оборудовании;

2) Виртуальные испытания балок с использованием компьютерных программ.

Данное методическое пособие предлагается использовать как вспомогательный материал при заполнении протоколов испытаний в рамках каждой лабораторной работы. Один экземпляр пособия на двоих студентов выдается перед выполнением лабораторных работ и после их окончания сдается преподавателю.

Лабораторная работа №2

Испытание железобетонной балки на изгиб с разрушением по наклонному сечению.

Целью лабораторной работы является изучение напряженно-деформированного состояния в наклонном сечении изгибаемого элемента на различных стадиях: упругая работа, появление и развитие наклонных трещин, разрушение. Приведенные в методическом указании видеокадры знакомят с операциями, выполняемыми при натурном опыте.

Для проведения натурных или виртуальных испытаний изготавливается балка прямоугольного сечения шириной 10 см, высотой 15 см и длиной 130 см. Расчетный пролет балки 117 см. Балка заармирована пространственным каркасом с поперечной арматурой класс В500 диаметром 3 мм. Хомуты поставлены с шагом 70 мм. Продольная рабочая арматура класса А400 в арматурном каркасе подобрана так, чтобы разрушение балки произошло не по нормальному, а по наклонному сечению, т.е. продольная арматура по площади сечения поставлена с запасом.

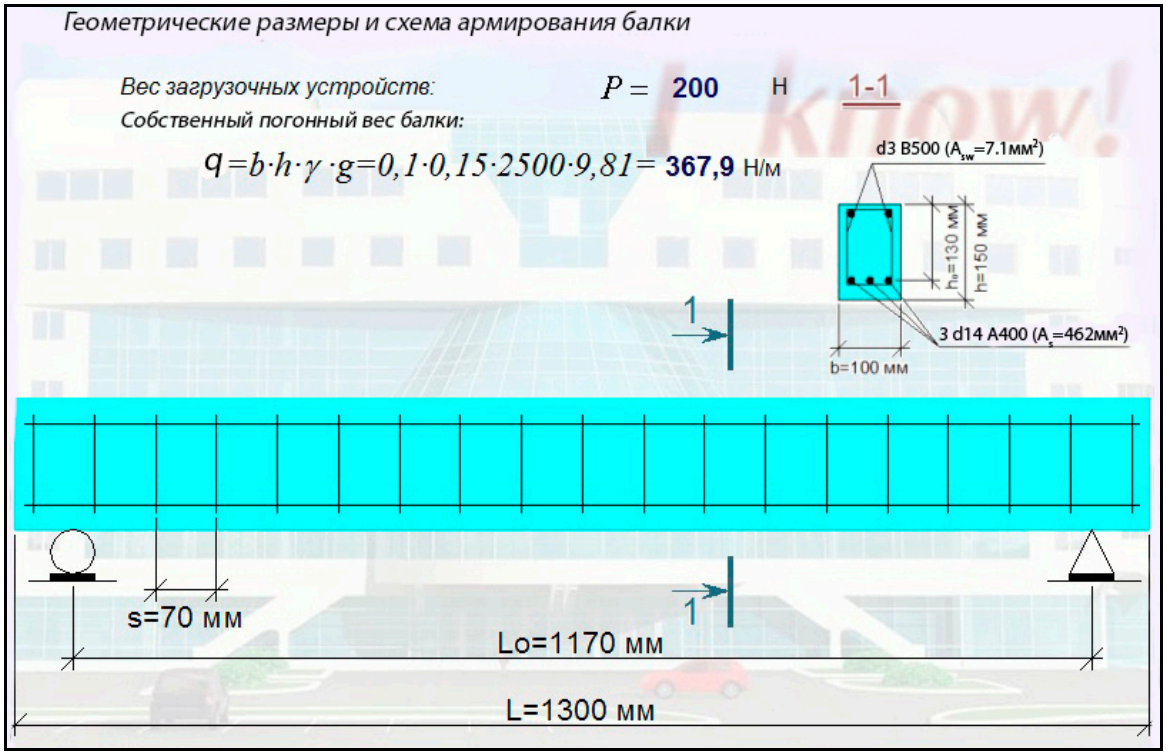


Рис 18. Геометрические размеры и схема армирования балки

Рис 19. Арматурный пространственный каркас балки

Порядок выполнения работы:

1. Определение расчетных характеристик бетона на момент испытания;
2. Определение расчетных характеристик арматуры;
3. Схема загружения балки;
4. Определение теоретической разрушающей поперечной силы;
5. Испытание балки;
6. Сопоставление теоретических и экспериментальных значений.

Определение расчетных характеристик бетона на момент испытания

Для определения прочностных характеристик бетона производится испытания 3-х бетонных кубов с ребром 15 см. По результатам испытаний кубов определяется среднее значение кубиковой прочности бетона $\overline{R}$. По величине среднего значения кубиковой прочности определяется: призменная прочность бетона опытной балки, прочность бетона на растяжение.

Рис 20. Определение расчетных характеристик бетона

Определение расчетных характеристик арматуры

Определение расчетных характеристик поперечной арматуры производится по результатам испытания на растяжение 3-х образцов арматурных стержней ø3 В500 с определением для них значений физического предела текучести.

Рис 21. Определение расчетных характеристик арматуры

Геометрические размеры, схема армирования, схема загружения и схема установки приборов приведены на иллюстрациях, поясняющих процесс испытания образца.

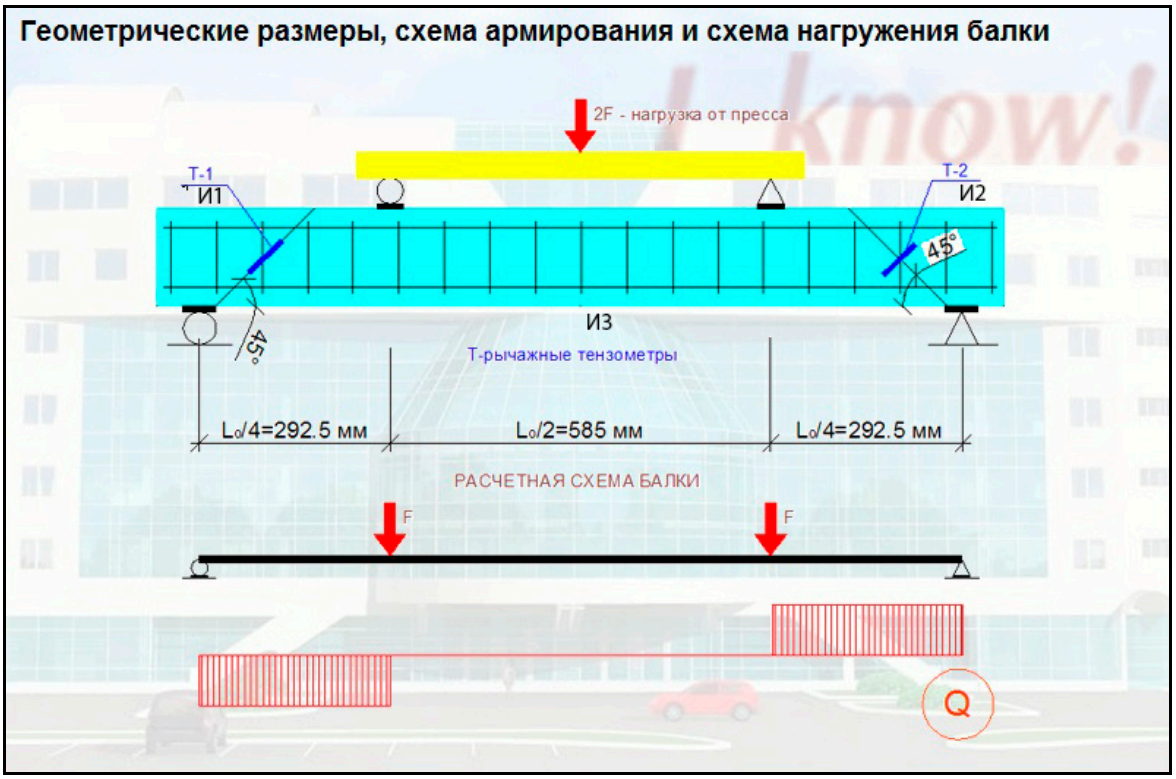


Рис 22. Геометрические размеры, схема армирования, схема нагружения балки и схема установки приборов

Нагрузка на балку прикладывается в четвертях пролета через распределительную траверсу.

Рис 23. Схема загружения балки

В процессе нагружения с помощью индикатора часового типа с ценой деления 0,01 мм производятся измерения прогибов в середине пролета балки.

Рис 24. Измерение прогиба балки

Рис 25. Измерение осадок опор балки

Рис 26. Измерения деформаций бетона в приопорных зонах

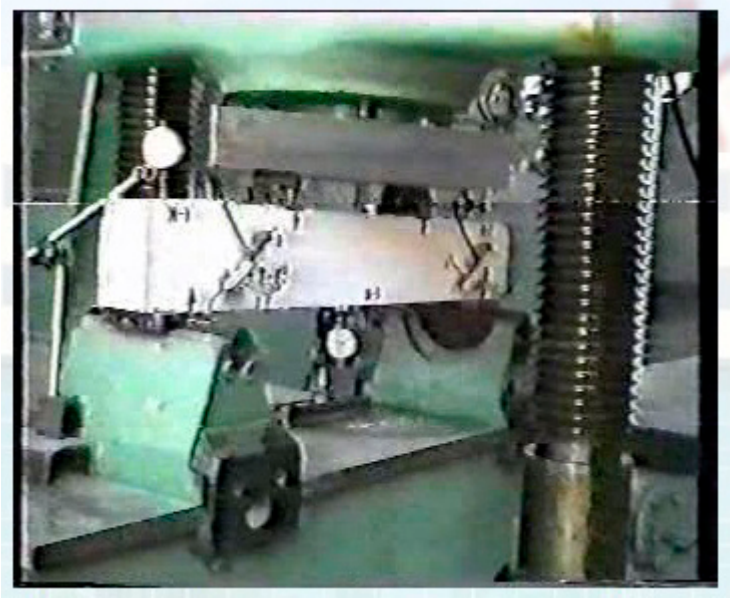


Рис 27. Процесс испытания балки

Методика испытания балки

Испытание балки проводится на гидравлическом прессе. Нагрузка прикладывается поэтапно, с выдержкой после каждого этапа загружения. После каждого этапа загружения снимаются показания механических приборов: индикаторов часового типа и рычажных тензометров.

Тензометр Т1 позволяет определить главное сжимающее напряжение, а тензометр Т2 – главное растягивающее напряжение по соответствующим деформациям, замеренным с помощью этих тензометров.

По мере увеличения нагрузки прогибы балки увеличиваются, появляются первые наклонные трещины в опорных зонах балки, там, где действует большая поперечная сила.

Трещины на каждом этапе обводятся тушью с отметкой номера этапа загружения. Следует отметить, что у опоры образуется не одна наклонная трещина, а несколько, а также то, что наклонные трещины, в отличие от нормальных, могут образовываться не только с нижней растянутой грани балки, а и со средней части высоты сечения (в зоне максимальных скалывающих напряжений).

При дальнейшем увеличении нагрузки ширина этих трещин увеличивается. Наиболее развитые наклонные трещины развиваются вверх и делят балку на два блока – слева и справа от наклонной трещины. Такое состояние определяет расчетную схему балки по наклонному сечению. При нагружении балки двумя сосредоточенными силами направление трещины и её длина известны: от опоры к силе. При других видах нагрузки на балку, трещины могут иметь иной угол наклона (≈45° при равномерно распределенной нагрузке).

При достижении нагрузкой величины, близкой к разрушающей, тензометры уже не могут фиксировать слишком большие деформации балки, а индикаторы из-за проявления больших прогибов балки в середине пролета их уже не регистрируют. Поэтому механические приборы убираются, контролируется по шкале гидравлического пресса только величина нагрузки, прикладываемой на балку.

Разрушение изгибаемого железобетонного элемента по наклонному сечению вблизи опор может происходить от действия главных растягивающих или главных сжимающих напряжений, возникающих от совместного действия поперечной силы и изгибающего момента. С повышением внешней нагрузки возрастают внутренние усилия: поперечная сила Q и изгибающий момент M, и, соответственно, увеличиваются главные напряжения. Когда главные растягивающие напряжения достигают значения R_{bt}, в бетоне образуется наклонная трещина, которая разделяет приопорный участок балки на две части, связанные между собой в сжатой зоне бетоном над трещиной, а в растянутой зоне – продольной арматурой и хомутами (поперечными стержнями), пересекаемыми наклонной трещиной.

Разрушение балки по наклонному сечению происходит по одному из трех возможных вариантов:

1. Из-за раздробления бетона сечения между наклонными трещинами от действия главных сжимающих напряжений. Разрушение вызывается преимущественно действием поперечной силы.

2. Вследствие среза бетона сжатой зоны над трещиной с достижением предела текучести в стержнях поперечной арматуры, при этом обе части приопорного участка смещаются по вертикали относительно друг друга (продольная арматура хорошо заанкерена и обладает достаточной площадью сечения – напряжение в ней не достигает предела текучести).

3. Разрушение происходит при достижении предела текучести в поперечной и продольной арматуре вследствие, вызванного изгибающим моментом, взаимного поворота частей приопорного участка относительно точки приложения равнодействующей силы сжимающих напряжений в сжатой зоне бетона.

В реальных железобетонных изгибаемых элементах три формы разрушения присутствуют одновременно, но с одной из них преобладающей, в нашем испытании – 2-ой формой.

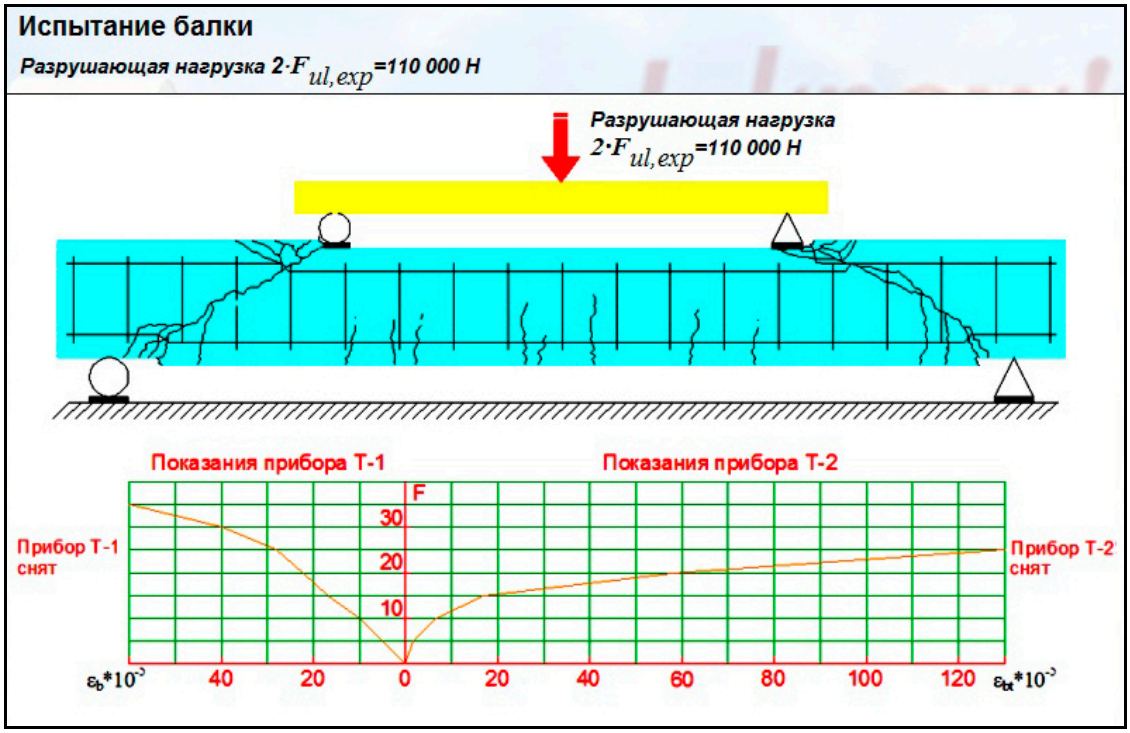


Рис 28. Результаты испытания балки

Разрушающая нагрузка фиксируется по шкале пресса, когда, при работающем гидравлическом насосе пресса, нагрузка на шкале силоизмерителя не возрастает.

Определение теоретической разрушающей поперечной силы

Исходные данные:

•Рабочая высота сечения - $h_0 = 130$мм;

•Ширина поперечного сечения - $b = 100$мм;

•Шаг хомутов - $s = 70$мм;

•Число срезов хомута в одном сечении - $n = 2$;

•Площадь поперечного сечения хомута - d3 $A_{sw,1} = 7.1$ мм^2;

•Сопоставление растяжению поперечной арматуры - $R_{sw,1} = 322.6$ Н/мм^2;

•Прочность бетона при растяжении, соответствующая средней кубиковой прочности - $R_{bt} = 2.31$ Н/мм^2;

•Расстояние от опоры до ближайшей сосредоточенной силы, передаваемой на балку распределительной траверсой - $c = 292.5$ мм;

•Коэффициент $\varphi_{b2} = 1.5$, входящий в формулу для определения Q_b.

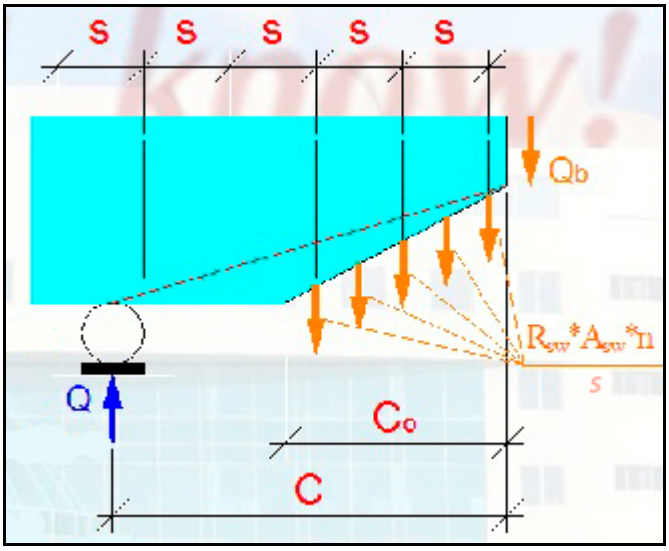


Рис 29. Усилие в поперечных стержнях

Разрушающая поперечная сила, воспринимаемая наклонным сечением, определяется из условия:

$$Q_{ul,cal} = Q_b + Q_{sw} = \frac{\varphi_{b2} \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0^2}{c} + 0.75 q_{sw} \cdot c_0,$$

где $\varphi_{b2} = 1.5$;

c - проекция наклонного сечения, расстояние от опоры до точки приложения силы: $c = 292.5$ мм;

c_0 - длина проекции наклонной трещины;

$$c_0 = \sqrt{\frac{1{,}5 \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0^2}{0.75 q_{sw}}} = \sqrt{\frac{1.5 \cdot 2.31 \cdot 100 \cdot 130^2}{0.75 \cdot 65.4}} = 345{,}5 \text{ мм}.$$

Значение c_0 должно удовлетворять условию $h_0 \le c_0 \le 2h_0$, поэтому принимаем $c_0 = 2h_0 = 2 \cdot 130 = 260$ мм.

Погонное усилие в поперечных стержнях:

$$q_{sw} = \frac{R_{sw} \cdot A_{sw.1} \cdot n}{s} = \frac{322.6 \cdot 7.1 \cdot 2}{70} = 65.4 \text{ Н/мм}.$$

Проверим необходимость учета в расчетах поперечной арматуры:

$q_{sw} \ge 0.25 \cdot R_{bt} \cdot b = 0.25 \cdot 2.31 \cdot 100 = 57.8$ Н/мм;

$65.4 \text{ Н/мм} > 57.8 \text{ Н/мм}$; следовательно, поперечную арматуру следует учитывать.

$$Q_{ul,cal} = \frac{1.5 \cdot 2.31 \cdot 100 \cdot 130^2}{292.5} + 0.75 \cdot 65.4 \cdot 260 = 20020 + 12753 = 32773 \text{ Н}.$$

Определение экспериментального значения поперечной разрушающей силы $Q_{ul,\exp}$

Собственный вес балки:

$$G = b \cdot h \cdot l_0 \cdot \gamma = 100 \cdot 150 \cdot 1170 \cdot 25 \cdot 10^{-6} = 438.8 \text{ Н}.$$

Вес загрузочного устройства $P = 200$ Н.

Опытная разрушающая нагрузка, передаваемая прессом на одну точку распределительной траверсой: $F_{ul,\exp} = 55000$ Н.

Экспериментальная разрушающая поперечная сила:

$$Q_{ul,\exp} = F_{ul,\exp} + \frac{G}{2} + \frac{P}{2} = 55000 + \frac{438.8}{2} + \frac{200}{2} = 55319 \text{ Н}.$$

Величина отклонения экспериментального и теоретического значения разрушающей поперечной силы в процентах:

$$\frac{Q_{ul,\tilde{n}al} - Q_{ul,\exp}}{Q_{ul,\tilde{n}al}} \cdot 100\% = \frac{32773 - 55319}{32773} \cdot 100\% = -68.8\,\% .$$

Используя свои исходные данные по физико-механическим характеристикам бетона и арматуры, студент заполняет с необходимыми вычислениями протокол выполнения лабораторной работы и защищает её, отвечает на контрольные вопросы преподавателя, проводящего данную лабораторную работу.

Вопросы для подготовки к защите лабораторной работы №2

1. Какая цель ставится при проведении данной лабораторной работы?
2. Каковы конструкции и расчетная схема испытываемой железобетонной балки?
3. Как для испытываемой балки определить физико-механические характеристики бетона и арматуры?
4. Как осуществляется загружение балки при испытании?
5. Как контролируется величина прикладываемой нагрузки при загружении балки?
6. Какие приборы были установлены на опытной балке, и что измерялось с их помощью?
7. В каких местах балки следует ожидать появление наклонных трещин?
8. Как по графикам деформаций бетона определить нагрузку образования наклонных трещин?
9. Как при испытании фиксируется опытная разрушающая нагрузка?
10. Как определить теоретическую несущую способность по наклонному сечению?
11. Как вычислить отклонение опытных значений нагрузки разрушения балки по наклонному сечению от теоретических значений?

12. Чем объясняется отклонение опытных значений нагрузки разрушения балки по наклонному сечению от теоретических значений?

13. Как изменится значение теоретической несущей способности балки по наклонному сечению при изменении класса бетона, шага и диаметра поперечных стержней?

14. Как можно повысить трещиностойкость балки по наклонному сечению?

15. Как происходит разрушение балки по наклонному сечению?

16. Почему расчетное сопротивление поперечной арматуры меньше чем продольной одного и того же класса?

17. В каких случаях может произойти разрушение по наклонному сечению от сжатия?

Протокол выполнения лабораторной работы №2

Испытание железобетонной балки на изгиб с разрушением по наклонному сечению

Определение расчетных характеристик бетона в момент испытания

Среднее значение кубиковой прочности бетона по результатам испытания кубов:

$$R = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{3} = _____ \text{ Н/мм}^2$$

Призменная прочность бетона, отвечающая средней кубиковой прочности:

$$R_b = (0{,}77 - 0{,}00125R)R = _____ \text{ Н/мм}^2$$

Прочность бетона при осевом растяжении, отвечающая средней кубиковой прочности:

$$R_{bt} = \frac{5R}{45 + R} = _____ \text{ Н/мм}^2$$

Начальный модуль упругости бетона, отвечающий средней кубиковой прочности:

$$E_b = \frac{55000R}{27+R} = _____ \text{ Н/мм}^2$$

Определение расчетных характеристик арматуры

Расчетное сопротивление арматуры растяжению (среднее значение условного предела текучести):

$$R_s = \frac{0.75(\sigma_{u1} + \sigma_{u2} + \sigma_{u3})}{3} = _____ \text{ Н/мм}^2$$

Расчетное сопротивление растяжению поперечной арматуры (с учетом коэффициента условия работы γ_{s1}):

$$R_{sw} = \gamma_{s1} \cdot R_s = _____ \text{ Н/мм}^2$$

Нагрузки на балку при испытании

Вес загрузочных устройств: $P = _____$ Н

Собственный вес балки: $G = b \cdot h \cdot l \cdot \gamma = _____$ Н/см

Определение теоретической разрушающей поперечной силы

Погонное усилие в поперечных стержнях:

$$q_{sw} = \frac{R_{sw} \cdot A_{sw.i} \cdot n}{s} = _____ \text{ Н/мм}$$

Длина проекции наклонной трещины на продольную ось элемента:

$$c_0 = \sqrt{\frac{\varphi_{b2} \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0^2}{q_{sw}}} = _____ \text{ мм}$$

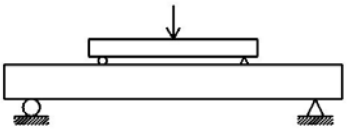
Значение c_0 должно удовлетворять условиям $h_0 \le c_0 \le 2h_0$ и $c_0 \le c$, поэтому принимаем $c_0 = _____$ мм.

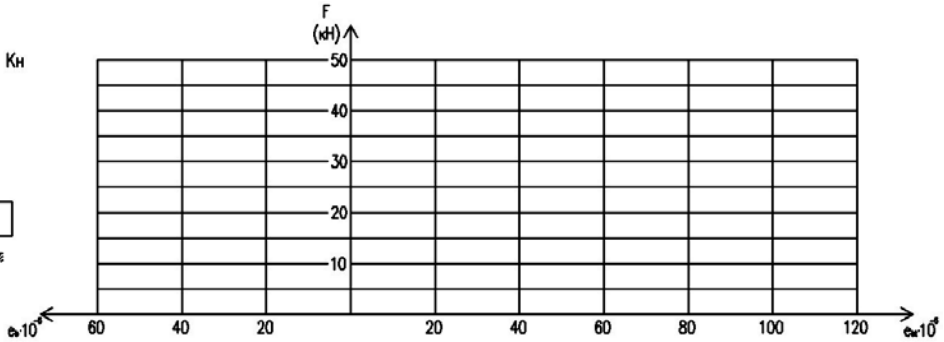
Разрушающая поперечная сила из условия расчета на действие поперечной силы:

$$Q_{ul,cal} = \frac{\varphi_{b2} \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0^2}{c} + 0.75 \cdot q_{sw} \cdot c_0 = _____ \text{ Н}$$

Испытание балки

Нагрузка образования трещин – Кн
Разрушающая нагрузка – Кн





Сопоставление теоретических и экспериментальных значений

Опытная нагрузка при разрушении:

$F_{ul,\exp} =$ _____ Н

Экспериментальная разрушающая поперечная сила:

$Q_{ul,\exp} = F_{ul,\exp} + \frac{G}{2} + \frac{P}{2} =$ _____ Н

Величина отклонения в %:

$\frac{Q_{ul,cal} - Q_{crc,\exp}}{Q_{ul,cal}} \cdot 100\% =$ _____ %

Факультет, курс, группа_____

Преподаватель_____

Студенты_____ _____

Подпись_____

Дата_____