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 №4

Испытание предварительно напряженной железобетонной балки на изгиб с разрушением по нормальному сечению

Целью лабораторной работы является изучение прочности, трещиностойкости и деформативности предварительно напряженного железобетонного изгибаемого элемента.

Приведенные в методическом указании видеокадры знакомят студентов с операциями, выполняемыми при проведении натурного эксперимента.

Для натурного эксперимента изготавливается образец изгибаемого предварительно напряженного балочного железобетонного элемента. Расчетная при испытании схема образца – однопролетная шарнирно опертая балка.

Порядок выполнения работы:

1. Определение прочностных характеристик бетона в момент отпуска предварительного напряжения;
2. Определение прочностных характеристик бетона в момент испытания;
3. Определение прочностных характеристик арматуры;
4. Геометрические размеры и схема армирования испытываемой балки;
5. Определение характеристик приведенного сечения;
6. Определение потерь предварительного напряжения;
7. Определение теоретического момента трещинообразования;
8. Определение теоретического разрушающего момента;
9. Определение теоретического перемещения балки в середине пролета;
10. Схема загружения балки;
11. Испытание балки;
12. Сопоставление теоретических и экспериментальных значений.

Определение прочностных характеристик бетона в момент отпуска предварительного напряжения

Прочность бетона в момент отпуска предварительного напряжения арматуры называется передаточной прочностью бетона R_{bp}. Необходимость контроля значения передаточной прочности бетона вызвана двумя факторами: обеспечение достаточной прочности бетона для восприятия им усилия обжатия, передаваемого на бетон напрягаемой арматурой и использованием значения R_{bp} для расчета потерь предварительного напряжения арматуры.

Согласно требованиям действующих норм величина передаточной прочности бетона должна быть не менее 15 МПа (15 Н/мм^2) и не менее 50% принятого класса бетона по прочности на сжатие.

Среднее значение передаточной прочности определяется по результатам испытания 3-х бетонных кубических образцов, изготовленных при бетонировании балки и хранившихся в одинаковых температурно-влажностных условиях с испытываемой балкой.

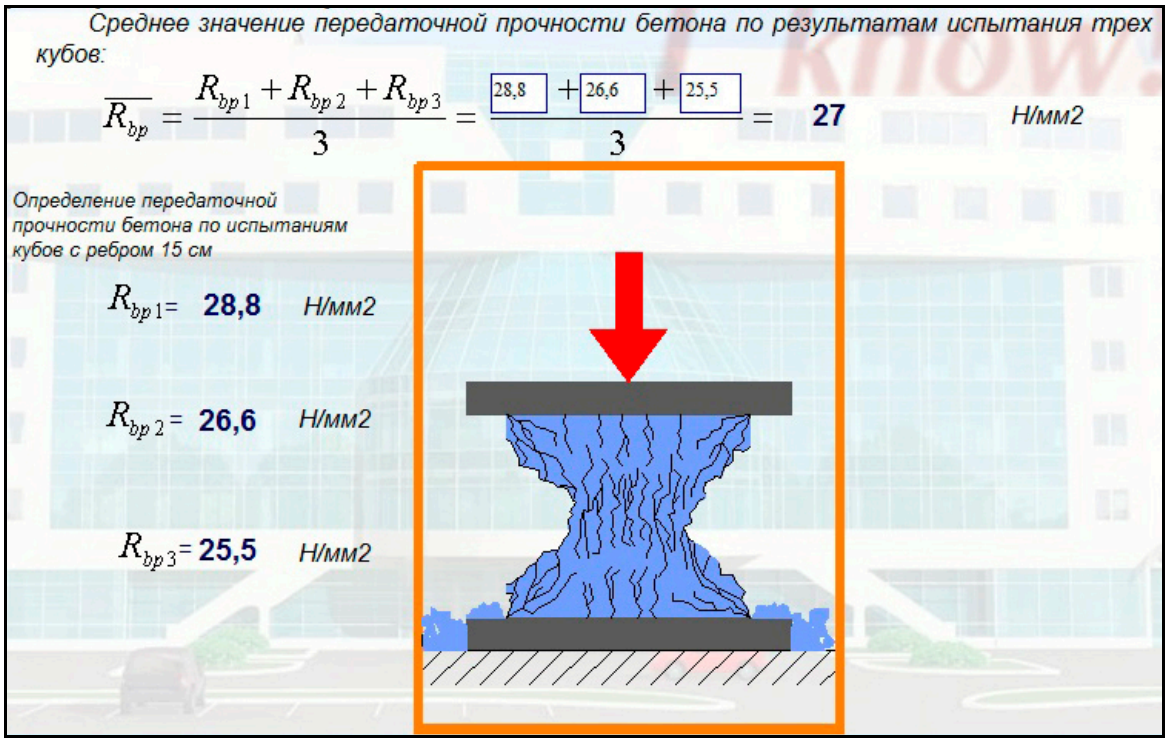


Рис 37. Определение прочностных характеристик бетона

Определение расчетных характеристик бетона в момент испытания балки

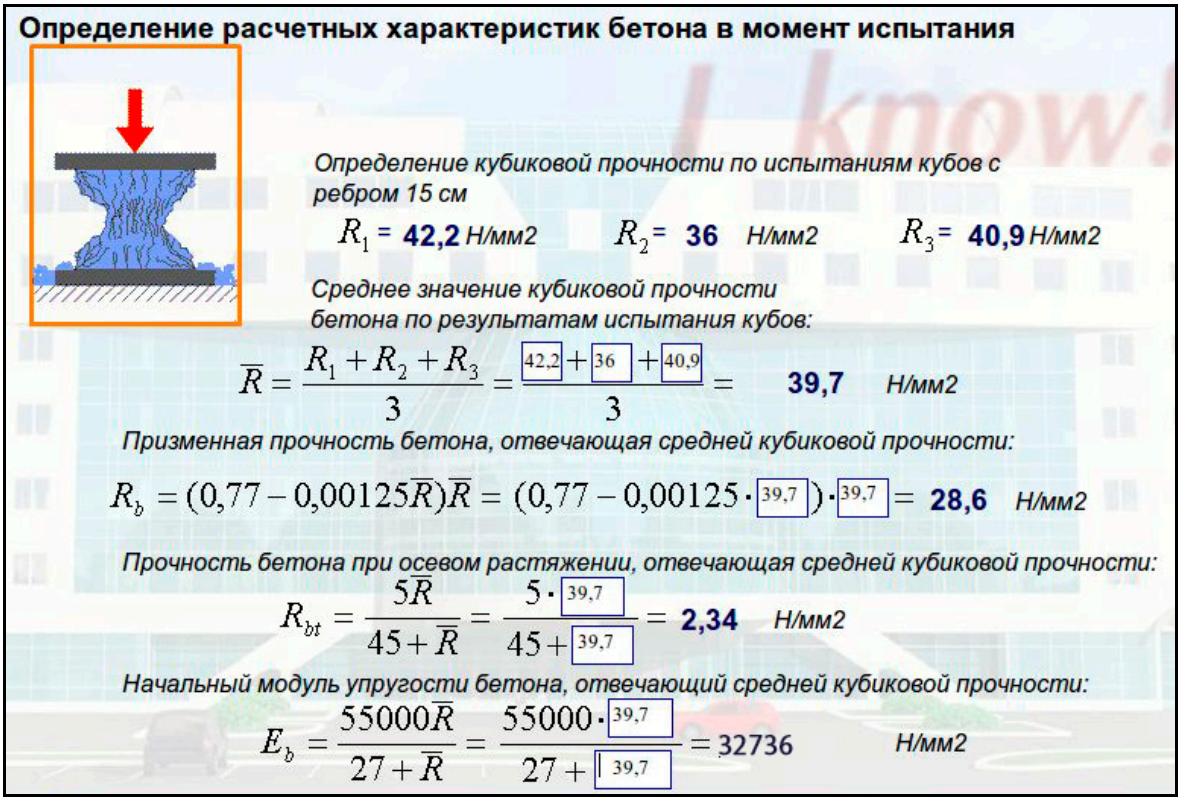


Рис 38. Определение расчетных характеристик бетона

Определение прочностных характеристик напрягаемой арматуры

В качестве напрягаемой арматуры опытного образца использована стержневая арматура класс А800 диаметром 14 мм. Прочностные характеристики напрягаемой арматуры определены по результатам испытания 3-х образцов арматуры класса А800 d14 мм на растяжение с определением условного предела текучести.

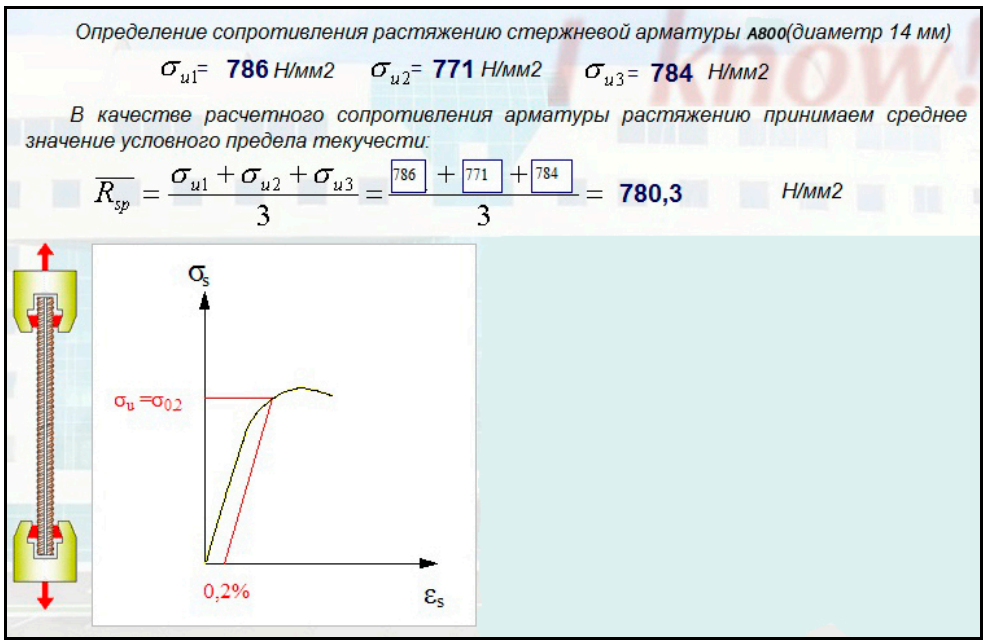


Рис 39. Определение прочностных характеристик напрягаемой арматуры

Геометрические размеры и схема армирования испытываемой балки

Испытываемая балка имеет прямоугольное сечение $b \cdot h = 100 \cdot 150$мм, длина балки 1300 мм, расчетный пролет балки – 1170 мм. Балка армируется основной продольной напрягаемой арматурой – одним стержнем А800 d14мм, в крайних третях пролета балки установлены пространственные каркасы с поперечной арматурой, предназначенной для обеспечения прочности образца по наклонному сечению.

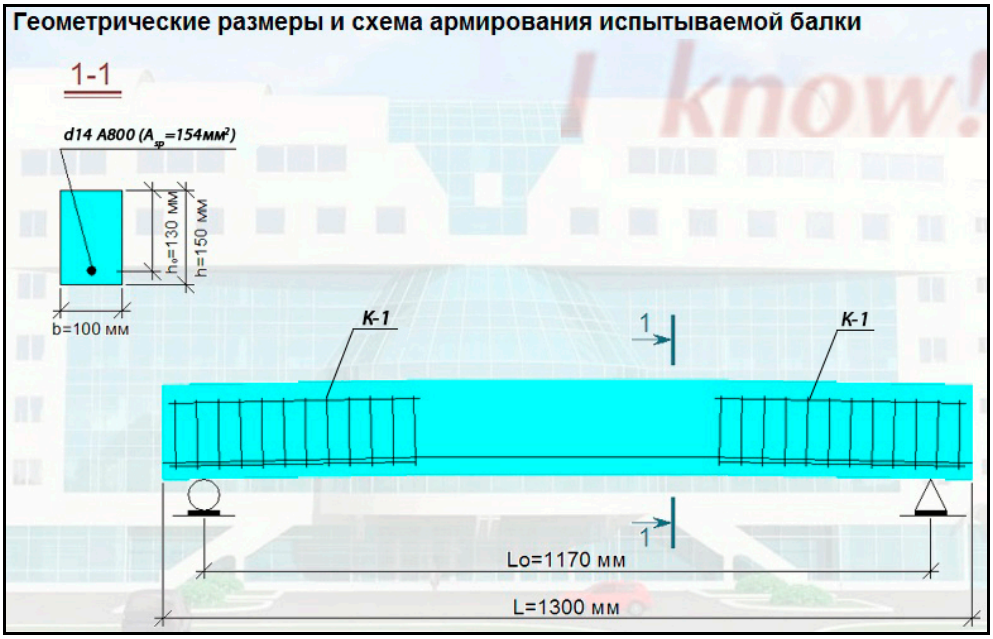


Рис 40. Схема армирования балки

Определение характеристик приведенного сечения образца

Исходные данные для расчета:

•Высота сечения – h=150 мм;

•Рабочая высота сечения – h_0=130 мм;

•Ширина сечения – b=100 мм;

•Расстояние от нижней грани сечения до центра тяжести напрягаемой арматуры – a=20 мм;

•Площадь поперечного сечения напрягаемой арматуры - $A_{sp} = 154\,\text{мм}^2$;

•Модуль упругости бетона (по результатам опыта) - $E_b = 32736\,\text{Н/мм}^2$;

•Модуль упругости напрягаемой арматуры - $E_s = 2 \cdot 10^5\,\text{Н/мм}^2$;

•Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до растянутой грани - $y_0 = 71.8\,\text{мм}$;

•Площадь приведенного сечения - $A_{red} = 15941\,\text{мм}^2$;

•Момент инерции приведенного сечения относительно центра тяжести - $A_{red} = 30861007\,\text{мм}^4$.

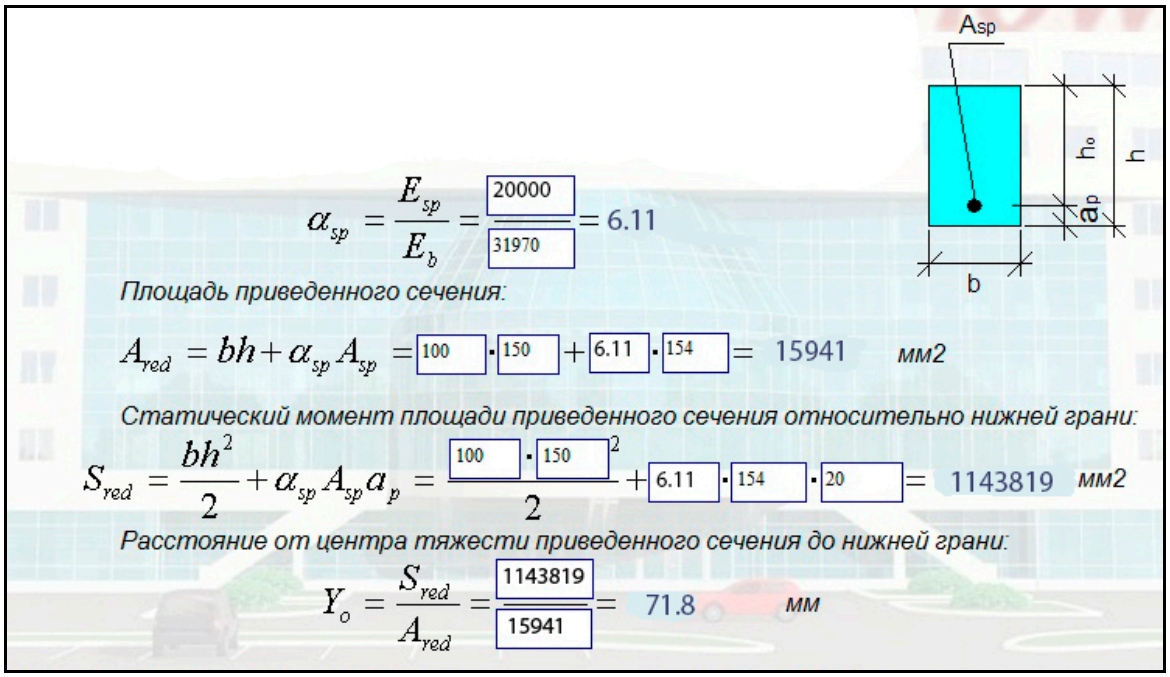


Рис 41. Определение характеристик приведенного сечения

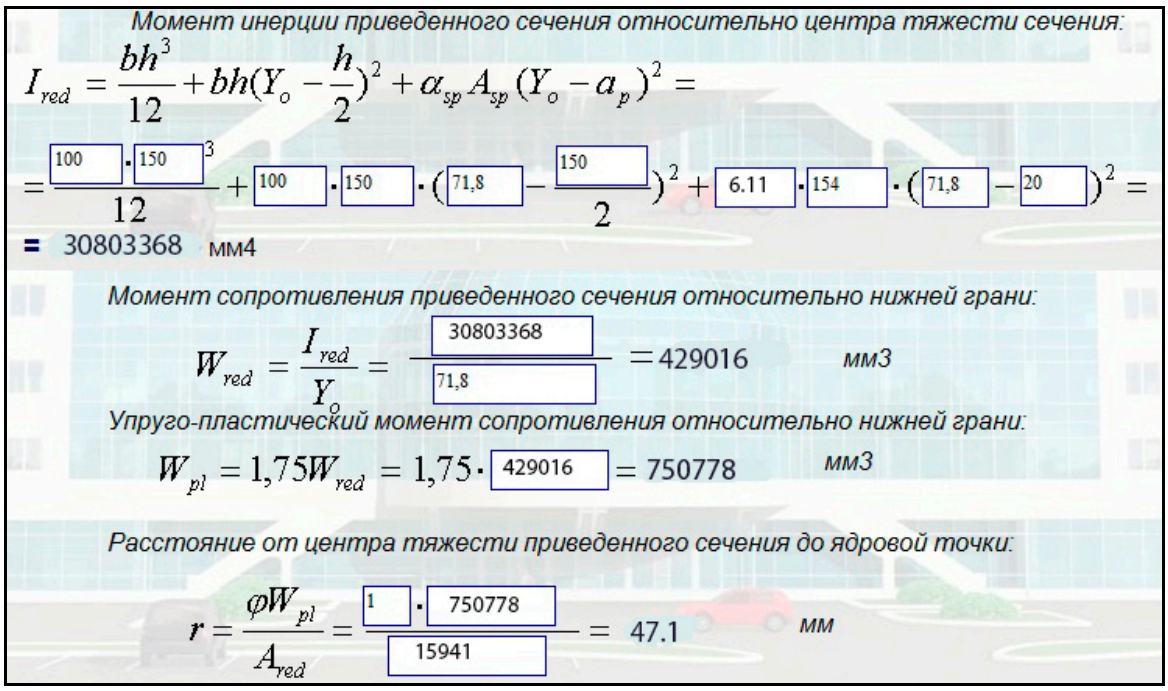


Рис 42. Определение характеристик приведенного сечения

Определение потерь предварительного напряжения арматуры

Величина предварительного напряжения арматуры принимается в пределах $0.3R_{sn} \le \sigma_{sp} \le 0.9R_{sn}$.

Для опытного образца балки $\sigma_{sp} = 669\ \text{Н/мм}^2$, что составляет $\frac{\sigma_{sp}}{R_{sn}} = \frac{669}{780} = 0.85$, что соответствует требованиям норм.

Первые потери (до передачи усилия обжатия на бетон)

Потери от релаксации напряжений арматуры при электротермическом способе натяжения:

$\Delta\sigma_{sp1} = 0.03\sigma_{sp} = 0.03 \cdot 669 = 20.1\ \text{Н/мм}^2$.

Потери от температурного перепада, деформации стальной формы и деформации анкеров принимаются равными нулю.

Вторые потери (после передачи усилия обжатия на бетон)

Потери от усадки бетона:

$\Delta\sigma_{sp5} = \varepsilon_{b,sh} \cdot E_s$;

$\varepsilon_{b,sh}$ -деформация усадки бетона, для классов бетона В35 и ниже (что имеет место в наших испытаниях) $\varepsilon_{b,sh} = 0.0002$;

$E_s = 200000\ \text{Н/мм}^2$;

$\Delta\sigma_{sp5} = 0.0002 \cdot 200000 = 40\ \text{Н/мм}^2$.

Потери от ползучести бетона:

$$\Delta\sigma_{sp6} = \frac{0.8\varphi_{b,cr} \cdot \alpha \cdot \sigma_{bp}}{1 + \alpha \cdot \mu_{sp}\left(1 + \frac{e_{op} \cdot y_s \cdot A_{red}}{I_{red}}\right) \cdot \left(1 + 0.8 \cdot \varphi_{b,cr}\right)};$$

$\varphi_{b,cr}$ -коэффициент ползучести бетона при нормальной влажности окружающей среды (40%-75%) для класса бетона В35 равен 2.1;

$$\alpha = \frac{E_s}{E_b} = 6.11;$$

σ_{bp} - напряжение в бетоне на уровне центра тяжести напрягаемой арматуры от усилия обжатия $P_{(1)}$ с учетом первых потерь;

$$\sigma_{bp} = \frac{P_{(1)}}{A_{red}} + \frac{P_{(1)} \cdot e_{op} \cdot y_s}{I_{red}};$$

$$P_{(1)} = A_{sp} \cdot \left(\sigma_{sp} - \Delta\sigma_{sp(1)}\right) = 154(669 - 20.1) = 99931\,\text{Н};$$

μ_{sp} - коэффициент армирования $\mu_{sp} = \frac{A_{sp}}{b \cdot h} = \frac{154}{100 \cdot 150} = 0.01$;

e_{op} - эксцентриситет усилия $P_{(1)}$ относительно центра тяжести приведенного сечения $e_{op} = y_0 - a = 71.8 - 20 = 51.8\ \text{мм}$;

y_s - расстояние между центрами тяжести сечения напрягаемой арматуры и приведенного поперечного сечения, в данном случае $y_s = e_{op} = 51.8\ \text{мм}$;

$A_{red} = 15941\ \text{мм}^2$, $I_{red} = 30803368\ \text{мм}^4$;

$$\sigma_{bp} = \frac{99931}{15941} + \frac{99931 \cdot 51.8 \cdot 51.8}{30803368} = 6.27 + 8.7 = 14.97\ \text{Н/мм}^2;$$

Потери от ползучести бетона:

$$\Delta\sigma_{sp6} = \frac{0.8 \cdot 2.1 \cdot 6.11 \cdot 15}{1 + 6.11 \cdot 0.01\left(1 + \frac{51.8 \cdot 51.8 \cdot 15941}{30803368}\right) \cdot (1 + 0.8 \cdot 2.1)} = \frac{154}{1 + 0.06(2.39) \cdot (2.68)} =$$

$$= \frac{154}{1.38} = 111.6 \text{ Н/мм}^2$$

Полные потери:

$$\Delta\sigma_{sp(2)} = \Delta\sigma_{sp(1)} + \Delta\sigma_{sp5} + \Delta\sigma_{sp6} = 20.1 + 40 + 111.6 = 171.7 \text{ Н/мм}^2.$$

Усилие предварительного обжатия с учетом всех потерь:

$$P_2 = A_{sp} \cdot (\sigma_{sp} - \Delta\sigma_{sp(2)}) = 154 \cdot (669 - 171.7) = 76584 \text{ Н}$$

Определение теоретического момента трещинообразования

Исходные данные:

•Эксцентриситет усилия предварительного обжатия относительно центра тяжести приведенного сечения - $e_{op} = Y_0 - a_p = 71.8 - 20 = 51.8$ мм;

•Усилие предварительного обжатия с учетом всех потерь - $P_2 = 76584$ Н;

•Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки - $r = 47.1$;

•Упруго-пластический момент сопротивления сечения относительно нижней грани - $W_{pl} = 750778$ мм^3;

•Прочность бетона на растяжение - $R_{bt} = 2.34$ Н/м/ ^{2}.

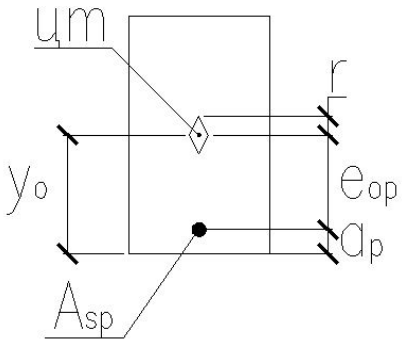


Рис 43. Схема расположения ядровой точки

Момент усилия предварительного обжатия относительно оси, проходящей через верхнюю ядровую точку:

$$M_p = P_2(e_{op} + r) = 76584(51.8 + 47.1) = 7574158 \ H \cdot мм = 7.574 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Теоретический момент образования трещин:

$$M_{crc,cal} = R_{bp} \cdot W_{pl} + M_P = 2.34 \cdot 750778 + 7874158 = 9330078\ H \cdot мм = 9.33\ \text{кН} \cdot \text{м}.$$

Определение теоретического разрушающего момента

Исходные данные:

- Прочность бетона на сжатие - $R_b = 28.6\ \text{Н/мм}^2$;
- Прочность арматуры на растяжение- $R_{sp} = 780.3\ \text{Н/мм}^2$;
- Модуль деформации арматуры - $E_s = 200000\ \text{Н/мм}^2$;
- Рабочая высота сечения балки - $h_0 = 130\ \text{мм}$;
- Ширина сечения балки - $b = 100\ \text{мм}$;
- Коэффициент точности натяжения арматуры - $\gamma_{sp} = 0.9$;
- Величина предварительного напряжения арматуры - $\sigma_{sp} = 669\ \text{Н/мм}^2$;
- Полная величина потерь предварительного напряжения - $\Delta\sigma_{sp} = 171.7\ \text{Н/мм}^2$;

Высота сжатой зоны сечения в стадии разрушения без учета коэффициента γ_{s3}:

$$x = \frac{R_{sp} \cdot A_{sp}}{R_b \cdot b} = \frac{780.3 \cdot 154}{28.6 \cdot 100} = 42.0\ \text{мм}.$$

Относительная высота сжатой зоны:

$$\xi = \frac{x}{h_0} = \frac{42.0}{130} = 0.323.$$

Граничное (предельное) значение относительной высоты сжатой зоны:

$$\xi_R = \frac{x_R}{h_0} = \frac{0.8}{1 + \frac{\varepsilon_{s,el}}{\varepsilon_{b,ult}}};$$

$\varepsilon_{s,el}$- относительная деформация в арматуре растянутой зоны, вызванная внешней нагрузкой, при достижении в этой арматуре напряжения равного расчетному сопротивлению:

$$\varepsilon_{s,el} = \frac{R_s + 400 - \sigma_{sp2}}{E_s};$$

где $\sigma_{sp2} = \left(\sigma_{sp} - \Delta\sigma_{sp}\right) \cdot \gamma_{sp} = (669 - 171.7)0.9 = 447.6\ \text{Н/мм}^2$;

$$\varepsilon_{s,el} = \frac{780.3 + 400 - 447.6}{200000} = 0.00366;$$

$\varepsilon_{b,ult}$ - относительная деформация сжатого бетона при напряжениях, равных R_b, принимаемая равной 0.0035;

$$\xi_R = \frac{0.8}{1 + \frac{0.00366}{0.0035}} = \frac{0.8}{2.046} = 0.391;$$

$\xi = 0.323 < \xi_R = 0.391$, следовательно, сопротивление арматуры растяжению следует умножать на γ_{s3};

γ_{s3}- коэффициент, учитывающий повышение сопротивление арматуры с условным пределом текучести растяжению при $\xi < \xi_R$:

$$\gamma_{s3} = 1.25 - 0.25\frac{\xi}{\xi_R} \le 1.1;$$

$$\gamma_{s3} = 1.25 - 0.25\frac{0.323}{0.391} = 1.043.$$

Высота сжатой зоны сечения в стадии разрушения с учетом коэффициента γ_{s3}:

$$x = \frac{\gamma_{s3} \cdot R_{sp} \cdot A_{sp}}{R_b \cdot b} = \frac{1{,}043 \cdot 780.3 \cdot 154}{28.6 \cdot 100} = 43.8\ \text{мм}.$$

Теоретическое значение разрушающего момента:

$$M_{ul,cal} = R_b \cdot b \cdot x \cdot \left(h_0 - \frac{x}{2}\right) = 28.6 \cdot 100 \cdot 43.8 \cdot \left(130 - \frac{43.8}{2}\right) = 13541471\ \text{Н} \cdot \text{мм}.$$

Определение теоретического перемещения (прогиба) опытного образца в середине пролета

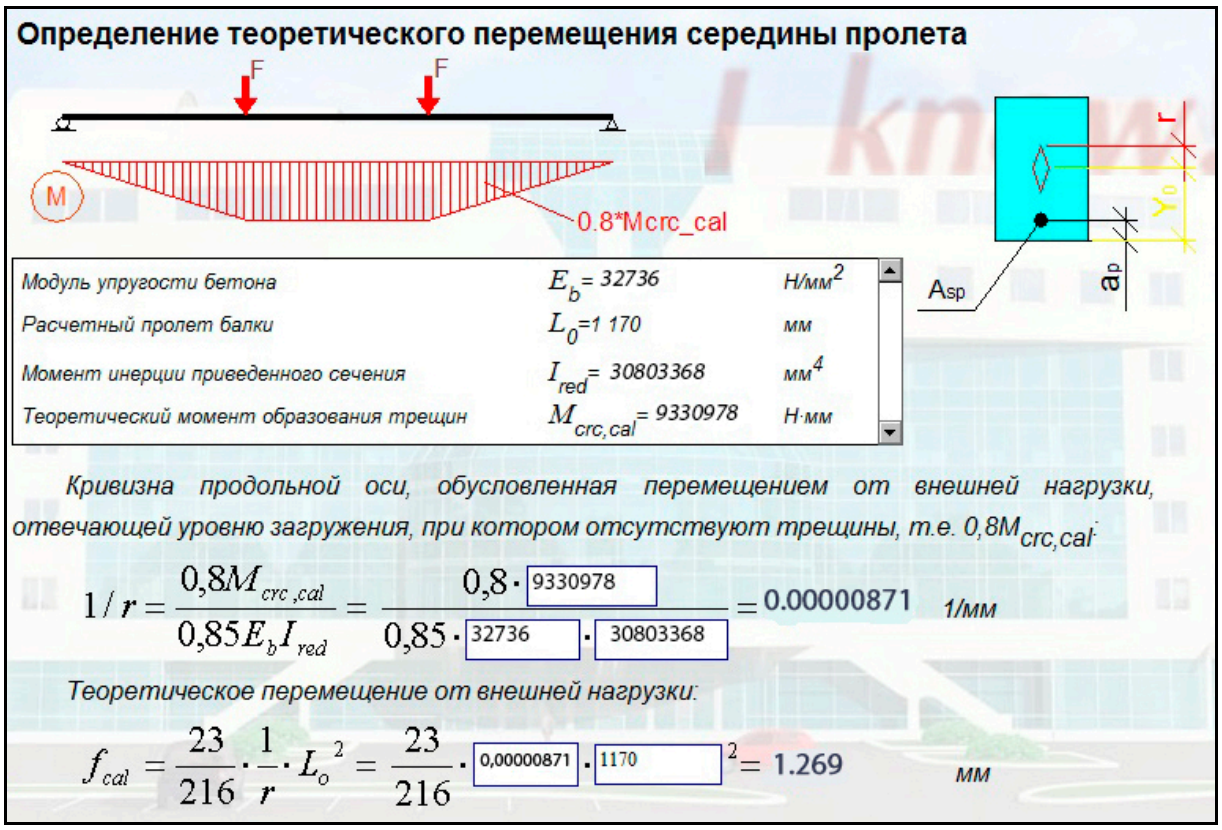


Рис 44. Определение теоретического перемещения середины пролета

Определение нагрузок, соответствующих теоретическому моменту трещинообразования и теоретическому разрушающему моменту

Исходные данные:

- Теоретический момент образования трещин - $M_{crc,cal} = 9330978\ \text{Н} \cdot \text{мм}$;
- Теоретическое значение разрушающего момента - $M_{ul,cal} = 13541471\ \text{Н} \cdot \text{мм}$;
- Вес загрузочных устройств - $P = 200\ \text{Н}$;
- Собственный погонный вес балки на 1 м:

$q = b \cdot h \cdot \gamma \cdot 1000 = 100 \cdot 150 \cdot 0.000025 \cdot 1000 = 0.375\ \text{Н/мм}$.

Нагрузка, соответствующая теоретическому моменту трещинообразования:

$$F_{crc,cal} = \frac{3M_{crc,cal}}{L_0} - \frac{3qL_0}{8} - 0.5P = \frac{3 \cdot 39330978}{1170} - \frac{3 \cdot 0.375 \cdot 1170}{8} - 0.5 \cdot 200 =$$
$$= 23926 - 165 - 100 = 23661\ \text{Н}$$

Нагрузка, соответствующая теоретическому разрушающему моменту:

$$F_{ul,cal} = \frac{3M_{ul,cal}}{L_0} - \frac{3qL_0}{8} - 0.5P = \frac{3 \cdot 13541471}{1170} - \frac{3 \cdot 0.375 \cdot 1170}{8} - 0.5 \cdot 200 =$$
$$= 34722 - 165 - 100 = 34457 \text{ Н}$$

Схема загружения балки

Испытание балки производится либо с помощью гидравлического пресса, либо с помощью гидравлического домкрата с насосной станцией.

Нагрузка на балку передается через распределительную траверсу в двух точках, расположенных в третях пролета. Величина прикладываемой нагрузки контролируется по показаниям силоизмерителя.

Опытный образец оснащается приборами: индикаторами часового типа для определения осадки опор: И-1 и И-2 и прогиба балки в середине пролета – И-3; тензометрами Т-1, установленным в середине балки на верхней сжатой грани и Т-2 – на нижней грани балки для замера деформаций сжатого и растянутого бетона.

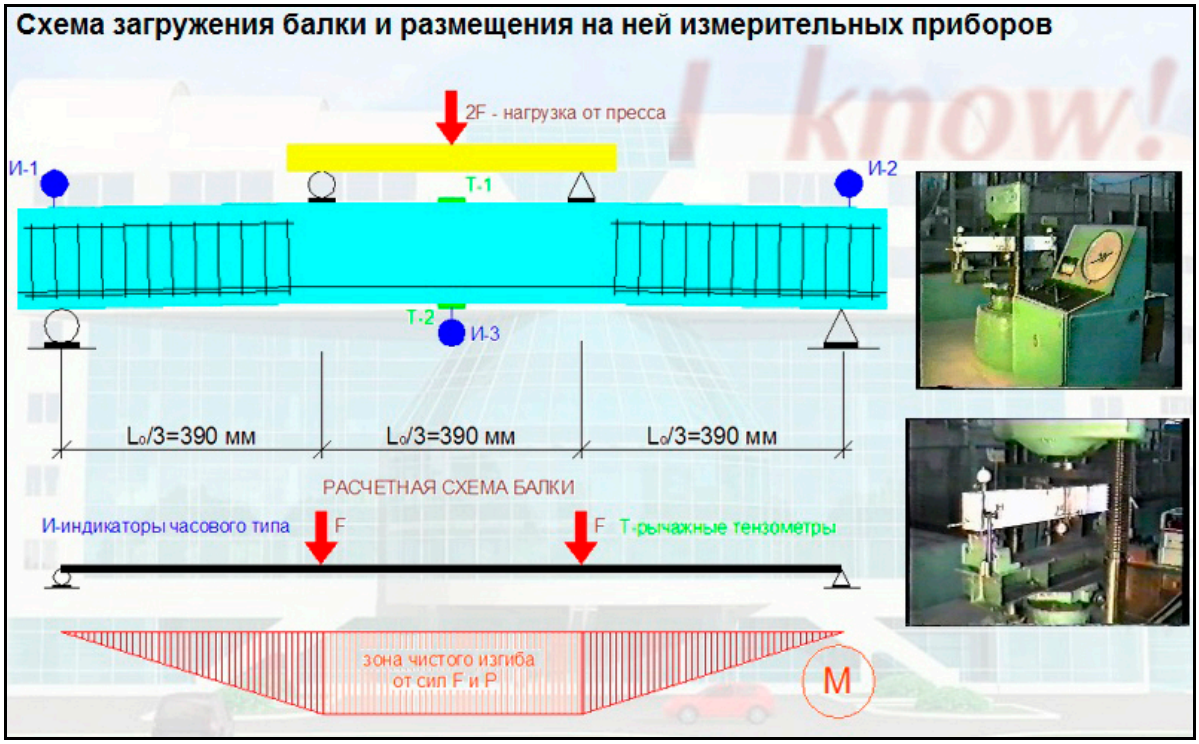


Рис 45. Схема загружения балки

Непосредственно перед испытанием боковые грани балки покрывают меловой побелкой, чтобы лучше контролировать появление и развитие трещин.

Нагрузка на балку прикладывается ступенями, составляющими примерно 10% от ожидаемой нагрузки трещинообразования. После каждой ступени загружения дается выдержка в течение 5-10 минут, во время которой снимаются показания приборов, осуществляется визуальный осмотр балки и фиксируются трещины на боковых гранях балки.

Испытание балки

На испытываемый образец балки помимо основной нагрузки, передаваемой гидравлическим прессом или домкратом, добавляется нагрузка от веса загрузочных устройств (траверса и опорные элементы траверсы) и от собственного веса балки.

- Вес загрузочных устройств - $P = 200\ \text{Н}$;
- Собственный вес балки - $G = b \cdot h \cdot \gamma \cdot l = 100 \cdot 150 \cdot 0.000025 \cdot 1300 = 487.5\ \text{Н}$;
- Собственный погонный вес балки:

$q = b \cdot h \cdot \gamma \cdot 1000 = 100 \cdot 150 \cdot 0.000025 \cdot 1000 = 375\ H/м = 0.375\ \text{Н/мм}$.

На начальном этапе загружения балка работает без трещин в растянутой зоне.

По мере увеличения нагрузки в средней части балки, в зоне чистого изгиба, начинают появляться трещины, нормальные к продольной оси балки. Эти трещины обрисовывают тушью с отметкой номера, соответствующего этапу загружения. Теперь балка работает с трещинами и, следовательно, в сечении с трещинами возникает стадия 2 напряженно деформированного состояния.

При дальнейшем увеличении нагрузки появляются новые трещины. Длина и ширина трещин, появившихся ранее, увеличивается. Очевидно, что характер трещинообразования и развитие трещин ничем не отличается от того, что мы наблюдали в балке с обычным армированием. Однако, высокопрочная арматура класс А800 не имеет физического предела текучести. Поэтому хорошо видимых зон текучести, как это наблюдалось в лабораторной работе №1, не наблюдается.

Большие деформации балки при достижении арматурой напряжений, близких к условному пределу текучести, приводят к достижению бетоном сжатой зоны предела прочности на сжатие и его раздроблению. При достижении растянутой арматурой условного предела текучести, в наиболее напряженном сечении с трещиной, следует ожидать возникновения 3-й стадии – стадии разрушения.

При испытании балки были зафиксированы: нагрузка образования трещин, создаваемая прессом $2F_{crc,\exp} = 43840$ Н, прогиб балки в середине пролета с учетом осадки опор $f_{\exp} = (И-3) - \frac{(И-1)+(И-2)}{2} = 1.2$ мм, разрушающая нагрузка, создаваемая прессом $2F_{ul,\exp} = 70140$ Н.

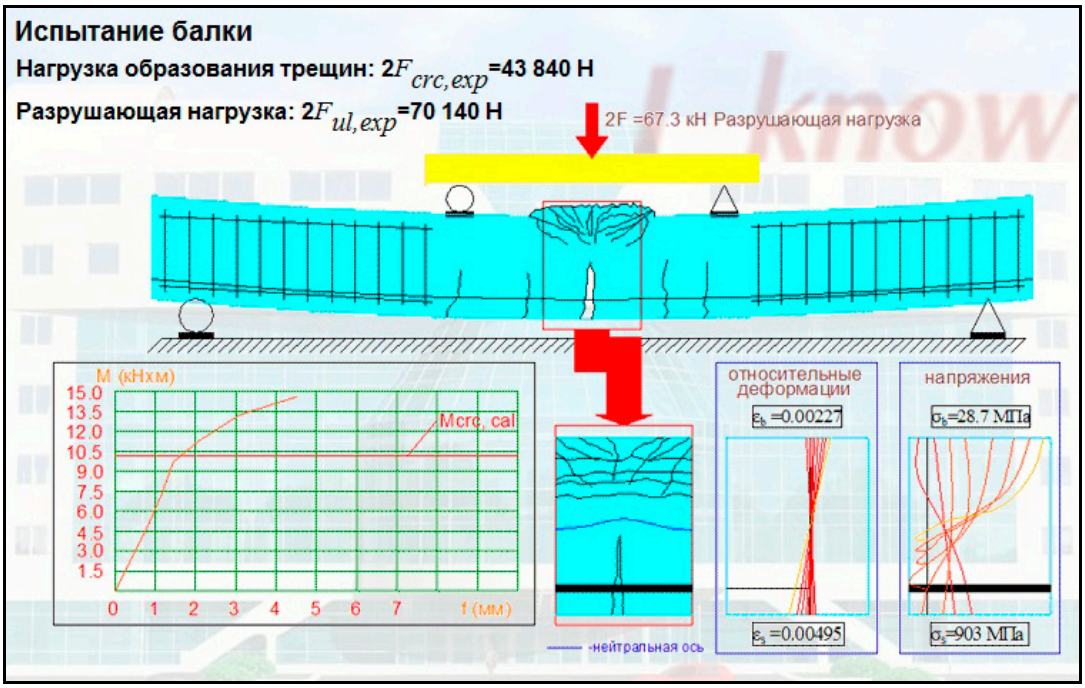


Рис 46. Испытание балки

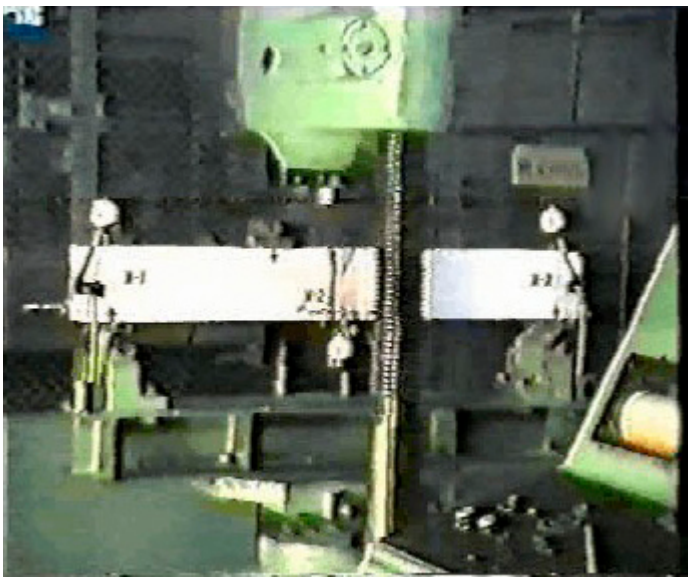


Рис 47. Опытный образец в процессе испытания

Сопоставление теоретических и экспериментальных значений

Определение опытного момента трещинообразования и сравнение его с теоретическим

Теоретический момент трещинообразования: $M_{crc,cal} = 9330978\ \text{Н} \cdot \text{мм}$.

Опытная нагрузка, отвечающая моменту трещинообразования:

$F_{crc,\exp} = \dfrac{43840}{2} = 21920\ \text{Н}$.

Опытный момент трещинообразования:

$$M_{crc,\exp} = \left(F_{crc,\exp} + 0.5P\right)\frac{L_0}{3} + \frac{qL_0^{\ 2}}{8} = \left(21920 + 0.5 \cdot 200\right)\frac{1170}{3} + \frac{0.375 \cdot 1170^2}{8} =$$
$$= 8587800 + 64167 = 8651967\text{Н} \cdot \text{мм}$$

Величина отклонения:

$$\frac{M_{crc,cal} - M_{crc,\exp}}{M_{crc,cal}} \cdot 100\% = \frac{9330978 - 8651967}{9330978} \cdot 100\% = 7.28\ \%.$$

Сравнение опытного прогиба балки в середине пролета с теоретическим значением

Теоретическое значение прогиба: $f_{cal} = 1.269\ \text{мм}$.

Экспериментальное значение прогиба: $f_{\exp} = 1.2\ \text{мм}$.

Величина отклонения:

$$\frac{f_{cal} - f_{\exp}}{f_{cal}} \cdot 100\% = \frac{1.269 - 1.2}{1.269} \cdot 100\% = 5.44\,\%.$$

Определение опытного разрушающего момента и сравнение его с теоретическим значением

Теоретический разрушающий момент: $M_{ul,cal} = 13541471\,\text{Н} \cdot \text{мм}$.

Нагрузка, соответствующая разрушающему моменту, зафиксированная по шкале силоизмерителя пресса или домкрата:

$$F_{ul,\exp} = \frac{70140}{2} = 35070\,\text{Н}.$$

Опытный разрушающий момент:

$$M_{ul,\exp} = \left(F_{ul,\exp} + 0.5P\right)\frac{L_0}{3} + \frac{qL_0{}^2}{8} = \left(35070 + 0.5 \cdot 200\right)\frac{1170}{3} + \frac{0.375 \cdot 1170^2}{8} =$$
$$= 13716300 + 64167 = 13780467\text{Н} \cdot \text{мм}$$

Величина отклонения:

$$\frac{M_{ul,cal} - M_{ul,\exp}}{M_{ul,cal}} \cdot 100\% = \frac{13541471 - 13780467}{13541471} \cdot 100\% = -1.76\,\%.$$

Вопросы для подготовки к защите лабораторной работы №4

1. Каковы цель и задачи ставятся в данной лабораторной работе?
2. Какова конструкция испытываемой балки?
3. Как осуществляется натяжение арматуры и как контролируется величина предварительного напряжения арматуры?
4. В каких пределах назначается величина предварительного напряжения арматуры?
5. С какой целью создается предварительное напряжение в арматуре балки?
6. Какова схема загружения балки при испытании, и каким прибором измерялась прикладываемая нагрузка?

7. Какими приборами измеряли деформацию бетона сжатой и растянутой зоны?

8. Какими приборами определялся прогиб балки под нагрузкой, в каких местах устанавливались эти приборы?

9. В каком месте балки следует ожидать появление трещины в бетоне?

10. Как по графикам деформации бетона и прогибов балки определить нагрузку, при которой появляются первые трещины?

11. Какие потери предварительного напряжения проявляются в данном испытании?

12. Влияет ли предварительное напряжение на прочность конструкций?

13. Как определить теоретическую нагрузку при образовании трещин в бетоне балки?

14. Что такое передаточная прочность бетона, как она назначается, зачем нужно контролировать эту прочность?

15. Для чего сравнивают значения ξ и ξ_R?

16. Что такое приведенная площадь поперечного сечения балки?

17. Почему в преднапряженных конструкциях не применяют «мягкие» стали?

18. Ограничивается ли и как величина напряжения в бетоне от усилия обжатия?

19. Чем объясняются отклонения фактических и теоретических значений моментов трещинообразования, разрушающих моментов, величины прогибов?

20. Как можно повысить трещиностойкость изгибаемого ж/б элемента?

21. Чем отличаются стадии работы обычных и преднапряженных железобетонных элементов?

22. Что такое изгибная жесткость ж/б элемента?

23. Как объяснить физическую сущность проявляющихся потерь предварительного напряжения арматуры?

Протокол выполнения лабораторной работы №4

Испытания предварительно напряженной железобетонной балки на изгиб с разрушением по нормальному сечению

Определение расчетных характеристик бетона в момент отпуска предварительно напряженной арматуры

Среднее значение передаточной прочности бетона по результатам испытания трех кубов

$$\overline{R}_{bp} = \frac{R_{bp1} + R_{bp2} + R_{bp3}}{3} = _____ \text{ Н/мм}^2$$

Определение расчетных характеристик бетона в момент испытания

Среднее значение кубиковой прочности бетона по результатам испытания кубов

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

Призменная прочность бетона, отвечающая средней кубиковой прочности

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

Прочность бетона при осевом растяжении, отвечающая средней кубиковой прочности

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

Начальный модуль упругости бетона, отвечающий средней кубиковой прочности

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

Определение расчетных характеристик арматуры

В качестве расчетного сопротивления арматуры растяжению принимаем среднее значение условного предела текучести

$$\overline{R}_{sp} = \frac{\sigma_{u1} + \sigma_{u2} + \sigma_{u3}}{3} = _____ \text{ Н/мм}^2$$

Определение характеристик приведенного сечения:

$$\alpha_{sp} = \frac{E_s}{E_b} = _____$$

Площадь приведенного сечения:

$$A_{red} = bh + \alpha_{sp} A_{sp} = _____ \text{ мм}^2$$

Статический момент площади приведенного сечения относительно растянутой грани

$$S_{red} = \frac{bh^2}{2} + \alpha_{sp} A_{sp} a_p = _____ \text{ мм}^2$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до растянутой грани

$$Y_0 = \frac{S_{red}}{A_{red}} = _____ \text{ мм}$$

Момент инерции приведенного сечения относительно центра тяжести сечения

$$I_{red} = \frac{bh^3}{12} + bh\left(Y_0 - \frac{h}{2}\right)^2 + \alpha_{sp} A_{sp} \left(Y_0 - a_p\right)^2 = _____ \text{ мм}^4$$

Момент сопротивления приведенного сечения относительно нижней грани

$$W_{red} = \frac{I_{red}}{Y_0} = _____ \text{ мм}^3$$

Упруго-пластический момент сопротивления относительно нижней грани:

$$W_{pl} = 1.75 \cdot W_{red} = _____ \text{ мм}^3$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки

$$r = \frac{\varphi \cdot W_{pl}}{A_{red}} = _____ \text{ мм}$$

Определение потерь предварительного напряжения

Величина предварительного напряжения арматуры

$$\sigma_{sp} \le 0.9 R_{sn}; \ \sigma_{sp} = _____ \text{ Н/мм}^2$$

Первые потери

Потери от релаксации напряжений

$$\Delta\sigma_{sp1} = 0.03\sigma_{sp} = _____ \text{ Н/м/}^2$$

Усилие предварительного обжатия с учетом потерь $\Delta\sigma_{sp1}$

$P_1 = A_{sp} \cdot (\sigma_{sp} - \Delta\sigma_{sp1}) =$ _____ Н

Напряжение в бетоне на уровне центра тяжести арматуры A_{sp}

$$\sigma_{bp} = \frac{P_1}{A_{red}} + \frac{P_1 \cdot (Y_0 - a_p) \cdot y_s}{I_{red}} = _____ \text{ Н/мм}^2$$

Вторые потери

Потери от усадки бетона

$\Delta\sigma_{sp5} = \varepsilon_{b,sh} \cdot E_s =$ _____ Н/мм^2

Потери от ползучести бетона

$$\Delta\sigma_{sp6} = \frac{0.8\varphi_{b,cr} \cdot \alpha \cdot \sigma_{bp}}{1 + \alpha \cdot \mu_{sp}\left(1 + \frac{e_{op} \cdot y_s \cdot A_{red}}{I_{red}}\right) \cdot (1 + 0.8 \cdot \varphi_{b,cr})} = _____ \text{ Н/мм}^2$$

Полные потери

$\Delta\sigma_{sp(2)} = \Delta\sigma_{sp(1)} + \Delta\sigma_{sp5} + \Delta\sigma_{sp6} =$ _____ Н/мм^2

Усилие предварительного обжатия с учетом всех потерь

$P_2 = A_{sp} \cdot (\sigma_{sp} - \Delta\sigma_{sp(2)}) =$ _____ Н

Определение теоретического момента трещинообразования

Эксцентриситет усилия предварительного обжатия относительно центра тяжести приведенного сечения

$e_{op} = Y_0 - a_p =$ _____ мм

Момент усилия предварительного обжатия относительно оси, проходящей через верхнюю ядровую точку

$M_p = P_2(e_{op} + r) =$ _____ Н · мм

Теоретический момент образования трещин

$M_{crc,cal} = R_{bp} \cdot W_{pl} + M_P =$ _____ Н · мм

Определение теоретического разрушающего момента

Граничное значение относительной высоты сжатой зоны

$$\xi_R = \frac{x_R}{h_0} = \frac{0.8}{1 + \frac{\varepsilon_{s,el}}{\varepsilon_{b,ult}}} = _____$$

$$\varepsilon_{s,el} = \frac{R_s + 400 - \sigma_{sp2}}{E_s} = _____$$

$$\varepsilon_{b,ult} = 0.0035$$

Высота сжатой зоны сечения в стадии разрушения без учета коэффициента γ_{s3}

$$x = \frac{R_{sp} \cdot A_{sp}}{R_b \cdot b} = _____ \text{ мм}$$

Относительная высота сжатой зоны

$$\xi = \frac{x}{h_0} = _____$$

Коэффициент условий работы для высокопрочной арматуры

$$\gamma_{s3} = 1.25 - 0.25\frac{\xi}{\xi_R} = _____$$

Высота сжатой зоны в стадии разрушения с учетом коэффициента γ_{s3}

$$x = \frac{\gamma_{s3} \cdot R_{sp} \cdot A_{sp}}{R_b \cdot b} = _____ \text{ мм}$$

Теоретическое значение разрушающего момента

$$M_{ul,cal} = R_b \cdot b \cdot x \cdot \left(h_0 - \frac{x}{2}\right) = _____ \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Определение теоретического перемещения опытного образца в середине пролета

Кривизна продольной оси, обусловленная перемещением от внешней нагрузки, отвечающей уровню загружения, при которой отсутствуют трещины, т.е. $0.8M_{crc}$

$$\frac{1}{r} = \frac{0.8M_{crc,cal}}{0.85E_b I_{red}} = _____ 1/\text{мм}$$

$$f_{cal} = \frac{23}{216} \cdot \frac{1}{r} \cdot L_0^2 = _____ \text{ мм}$$

Нагрузка на балку при испытании

Вес загрузочных устройств: $P =$ _____ Н

Собственный погонный вес балки: $q = 0.000025 \cdot 1 \cdot b \cdot h =$ _____ Н / мм

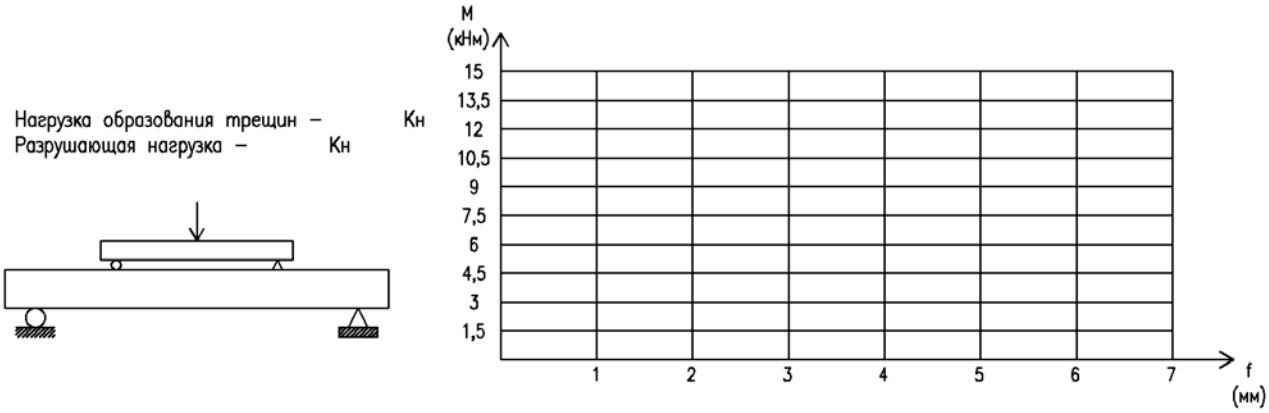
Нагрузка, соответствующая теоретическому моменту трещинообразования:

$$F_{crc,cal} = \frac{3M_{crc,cal}}{L_0} - \frac{3gL_0}{8} - 0.5P = _____ \text{ Н}$$

Нагрузка, соответствующая теоретическому разрушающему моменту:

$$F_{ul,cal} = \frac{3M_{ul,cal}}{L_0} - \frac{3gL_0}{8} - 0.5P = _____ \text{ Н}$$

Испытание балки



Сопоставление теоретических и экспериментальных значений

Определение опытного момента трещинообразования и сравнение его с теоретическим значением

Нагрузка, отвечающая моменту трещинообразования $F_{crc,\exp} =$ _____ Н

Опытный момент трещинообразования

$$M_{crc,\exp} = \left(F_{crc,\exp} + 0.5P\right)\frac{L_0}{3} + \frac{gL_0^2}{8} = _____ \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Величина отклонения

$$\frac{\left(M_{crc,cal} - M_{crc,\exp}\right)}{M_{crc,cal}} \cdot 100\% = _____ \%$$

Определение опытного разрушающего момента и сравнение его с теоретическим значением

Нагрузка, отвечающая разрушающему моменту: $F_{ul,\exp} =$ _____ Н

Опытный разрушающий момент:

$$M_{ul,\exp} = \left(F_{ul,\exp} + 0.5P\right)\frac{L_0}{3} + \frac{gL_0^2}{8} =$$ _____ Н · мм

Величина отклонения в %:

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

Сравнение опытного перемещения середины пролета с теоретическим значением

Экспериментальное перемещение: $f_{\exp} =$ _____ мм

Величина отклонения:

$$\frac{f_{cal} - f_{\exp}}{f_{cal}} \cdot 100\% =$$ _____ %

Факультет, курс, группа_____

Студенты_____

_____

Преподаватель_____

Подпись_____

Дата_____