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 №1

Испытание железобетонной балки на изгиб с разрушением по нормальному сечению

Целью лабораторной работы является изучение напряженно-деформированного состояния изгибаемого железобетонного элемента по нормальному сечению на различных стадиях загружения: стадии упругой работы балки, в стадии развития трещин и в стадии разрушения.

Для проведения испытаний изготовлен (или смоделирован на ПК) образец в виде балки прямоугольного сечения шириной 10 см и высотой 15 см с расчетным пролетом 117 см. Балка армирована пространственным каркасом с продольной рабочей арматурой в нижней зоне - 2ø12 А400 и поперечной арматурой В500 ø3мм.

Поперечная арматура по длине балки поставлена неравномерно: в крайних третях пролета чаще, а в середине – реже. Такое поперечное армирование обеспечивает разрушение балки по нормальному, а не по наклонному сечению.

Рис 1. Геометрические размеры и схема армирования балки

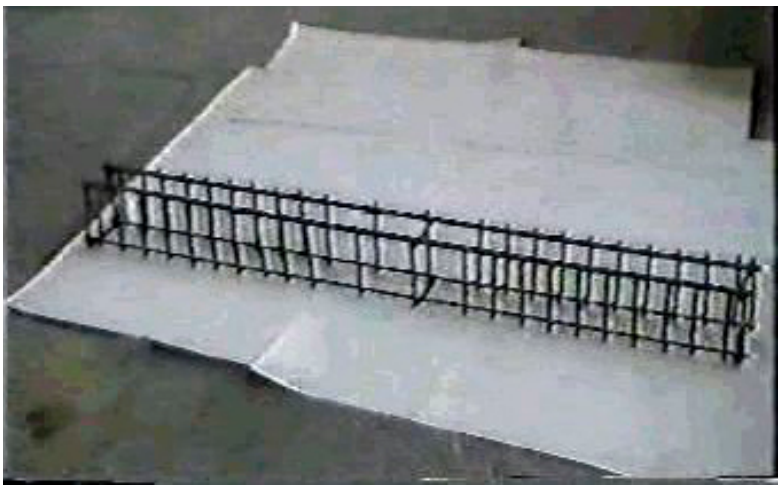


Рис 2. Арматурный пространственный каркас балки

Порядок выполнения работы:

1. Определение расчетных характеристик бетона на момент испытания;
2. Определение расчетных характеристик арматуры;
3. Определение характеристик приведенного сечения;
4. Определение теоретического момента трещинообразования;
5. Определение теоретического разрушающего момента;
6. Схема нагружения балки;
7. Испытание балки;
8. Сопоставление теоретических и экспериментальных значений;
9. Установление опытного момента трещинообразования и сравнение его с теоретическим значением;
10. Установление опытного разрушающего момента и сравнение его с теоретическим значением;
11. Определение максимального прогиба балки под нагрузкой.

Определение расчетных характеристик бетона на момент испытания

Для определения прочностных характеристик бетона производится испытания 3-х бетонных кубов с ребром 15 см, сделанных во время бетонирования балки из одного бетона. По результатам испытаний кубов определяется среднее значение кубиковой прочности бетона. По величине

среднего значения кубиковой прочности, по известным эмпирическим зависимостям находятся призменная прочность бетона опытной балки, прочность бетона на растяжение, а также начальный модуль упругости.

Рис 3. Определение расчетных характеристик бетона

Определение расчетных характеристик арматуры

Также производится испытание 3-х образцов рабочей арматуры класса А400 ø12мм на растяжение, по результатам которых определено опытное (расчетное) сопротивление арматуры как среднее значение физического предела текучести.

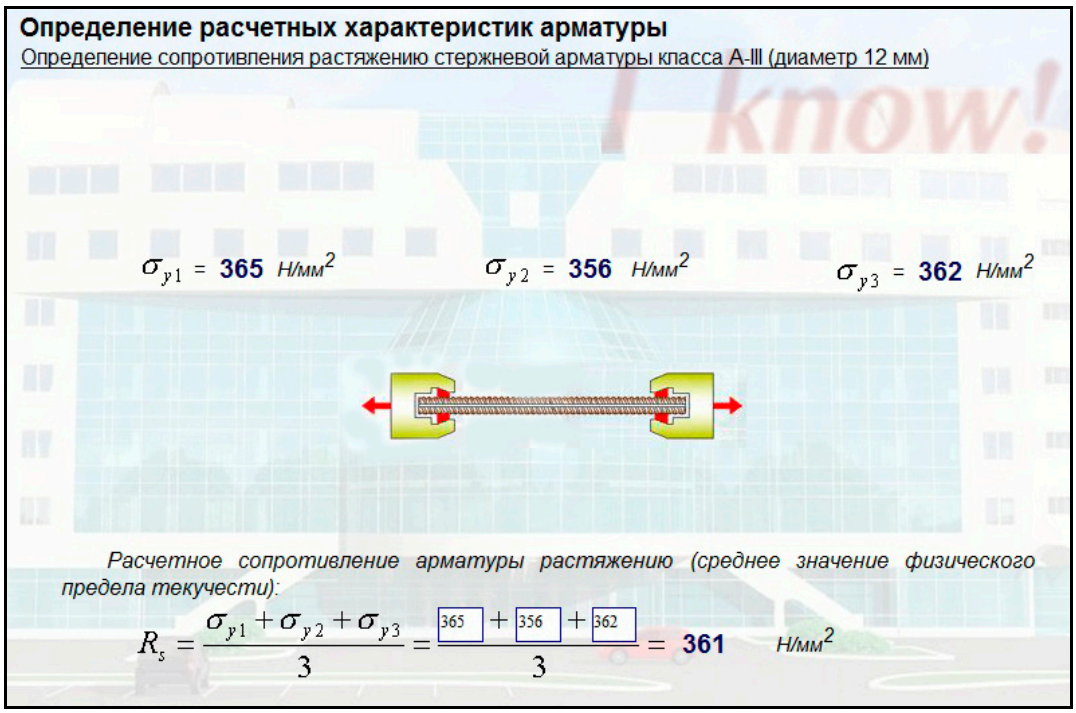
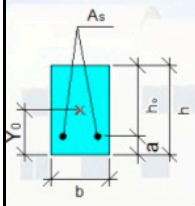


Рис 4. Определение расчетных характеристик арматуры

Определение характеристик приведенного сечения

Для последующего использования при расчете опытного образца определяются характеристики приведенного сечения: площадь приведенного сечения - A_{red}, статический момент площади приведенного сечения - S_{red}, момент инерции - I_{red}, момент сопротивления - W_{red}, упруго-пластический момент сопротивления W_{pl}.

Определение характеристик приведенного сечения



Расчетная длина балки	L_o = 1 170	мм
Высота сечения	h = 150	мм
Рабочая высота сечения	h_o=120	мм
Ширина сечения	b = 100	мм
Расстояние от нижней грани сечения до центра тяжести арматуры As	a = 31	мм
Площадь сечения арматуры	A_s = 226	мм^2
Модуль упругости бетона	E_b=32 700	Н/мм^2
Модуль упругости ненапрягаемой арматуры	E_s=210 000	Н/мм^2

$$\alpha_s = \frac{E_s}{E_b} = \frac{210000}{32700} = 6{,}42$$

Площадь приведенного сечения: $A_{red} = bh + \alpha_s A_s = 100 \cdot 150 + 6{,}42 \cdot 226 = 16\,450$ мм2

Статический момент площади приведенного сечения относительно нижней грани:

$$S_{red} = \frac{bh^2}{2} + \alpha_s A_s a = \frac{100 \cdot 150^2}{2} + 6{,}42 \cdot 226 \cdot 31 = 1\,169\,000 \text{ мм2}$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до нижней грани:

$$Y_o = \frac{S_{red}}{A_{red}} = \frac{1169000}{16450} = 71{,}1 \text{ мм}$$

Момент инерции приведенного сечения относительно центра тяжести сечения:

$$I_{red} = \frac{bh^3}{12} + bh(Y_o - \frac{h}{2})^2 + \alpha_s A_s (Y_o - a)^2 = \frac{100 \cdot 150^3}{12} + 100 \cdot 150 (71{,}1 - \frac{150}{2})^2 + 6{,}42 \cdot 226 \cdot (71{,}1 - 31)^2 =$$

$= 30\,680\,000$ мм4

Момент сопротивления приведенного сечения относительно нижней грани:

$$W_{red} = \frac{I_{red}}{Y_o} = \frac{30680000}{71{,}1} = 431\,500 \text{ мм3}$$

Упруго-пластический момент сопротивления относительно нижней грани:

$$W_{pl} = 1{,}75 W_{red} = 1{,}75 \cdot 431500 = 755\,100 \text{ мм3}$$

Рис 5. Определение характеристик приведенного сечения

Определение теоретического момента трещинообразования и теоретического разрушающего момента

Перед проведением испытания балки с использованием опытных прочностных характеристик бетона и арматуры, а также геометрических параметров сечения, определяются теоретический момент трещинообразования и теоретический разрушающий момент.

Определение теоретического момента трещинообразования

Упруго-пластический момент сопротивления относительно нижней грани:

$W_{pl} = 755100$ *мм*^{3}

$W_{pl} = 755{,}1$ *см*^{3}

Прочность бетона при осевом растяжении :

$R_{bt} = 2{,}3$ *Н/мм*^{2}

$R_{bt} = 23$ *кгс/см*^{2}

Теоретический момент образования трещин:

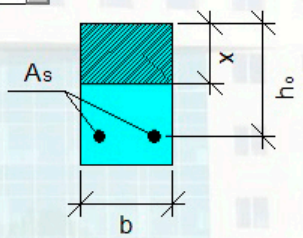
$M_{crc,cal} = R_{bt} W_{pl} = \boxed{2{,}3}\ \boxed{755100} = 1\,736\,000$ *Н·мм*

$M_{crc,cal} = 17\,360$ кгс·см

Рис 6. Определение теоретического момента трещинообразования

Определение теоретического разрушающего момента

Расчетное сопротивление арматуры растяжению	$R_s =$	3 680	*кгс/см*^{2}
Площадь поперечного сечения ненапрягаемой арматуры	$A_s =$	2,26	*см*^{2}
Расчетное сопротивление бетона сжатию	$R_b =$	290,5	*кгс/см*^{2}
Рабочая высота сечения	$h_o =$	12	*см*
Ширина сечения	$b =$	10	*см*



Высота сжатой зоны в стадии разрушения:

$$x = \frac{R_s A_s}{R_b b} = \frac{\boxed{3680} \cdot \boxed{2{,}26}}{\boxed{290{,}5} \cdot \boxed{10}} = \mathbf{2{,}86} \quad см$$

Теоретическое значение разрушающего момента:

$$M_{ul,cal} = R_b b x (h_o - \frac{x}{2}) = \boxed{290{,}5} \cdot \boxed{10} \cdot \boxed{2{,}86} \cdot (\boxed{12} - \frac{\boxed{2{,}86}}{2}) = \mathbf{87810}\ \text{кгс·см} = 8781000\ \text{Н·мм}$$

Рис 7. Определение теоретического разрушающего момента

Схема нагружения балки

Испытание балки производится на гидравлическом прессе с загружением её двумя сосредоточенными силами, приложенными в третях пролета. В процессе загружения балки с помощью индикаторов часового типа регистрируются прогибы в середине пролета балки с учетом осадки опор, а также с помощью тензометров Т-1, Т-2 – деформации бетона на верхней сжатой

грани (Т-1) и на нижней растянутой грани (Т-2). На боковой грани балки в середине пролета могут быть наклеены тензорезисторы, с помощью которых фиксируются деформации бетона по высоте балки.

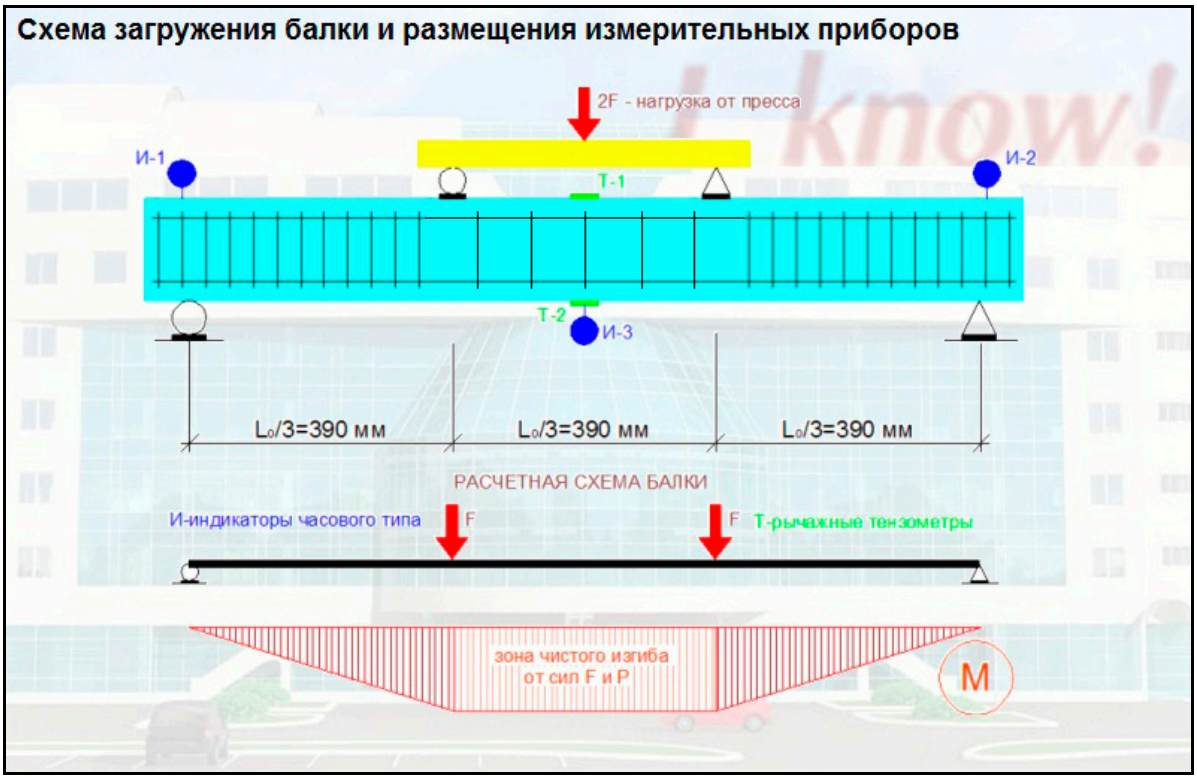


Рис 8. Схема загружения балки и размещения измерительных приборов

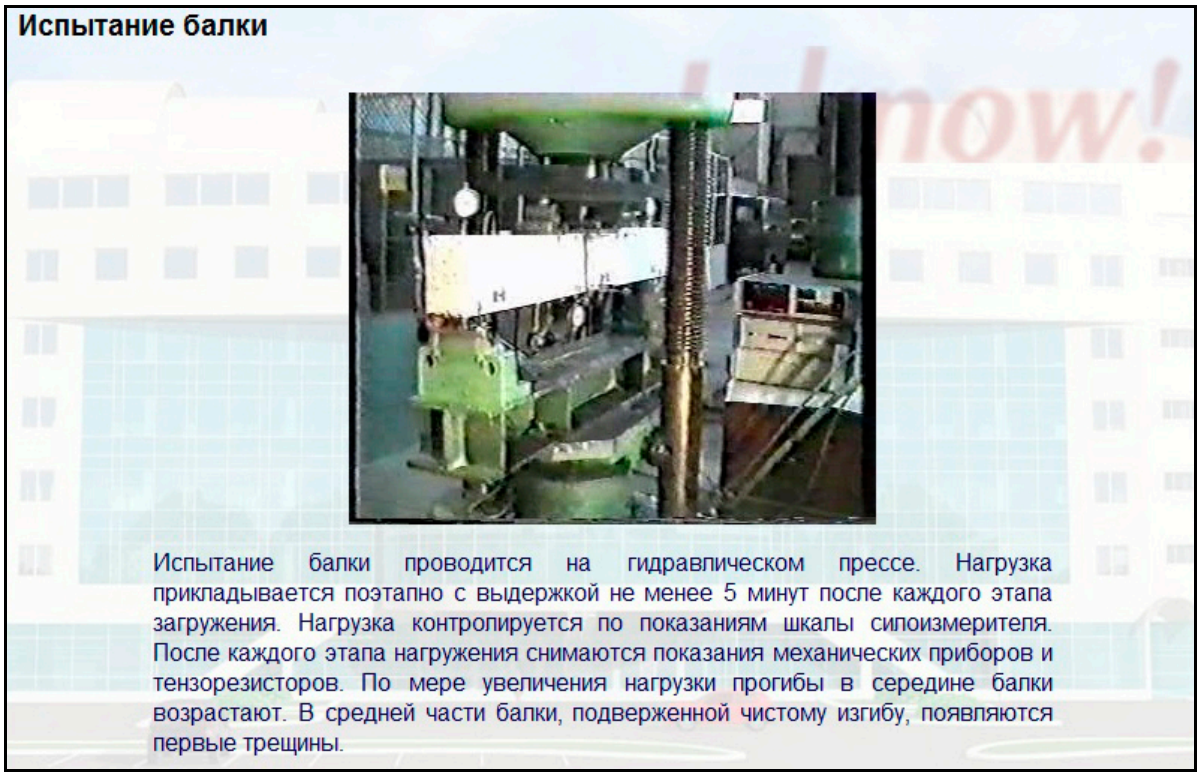


Рис 9. Балка в стадии испытания

В протоколе испытания студенты зарисовывают схему трещин по масштабной сетке.

По мере возрастания нагрузки на балку в ней появляются новые трещины, а в ранее образовавшихся трещинах увеличивается ширина раскрытия и высота (глубина).

Рис 10. Образование, развитие трещин

Рис 11. Процедура снятия приборов

Испытание балки

В процессе испытания фиксируется нагрузка, при которой образуются первые трещины, и нагрузка, вызвавшая разрушение балки.

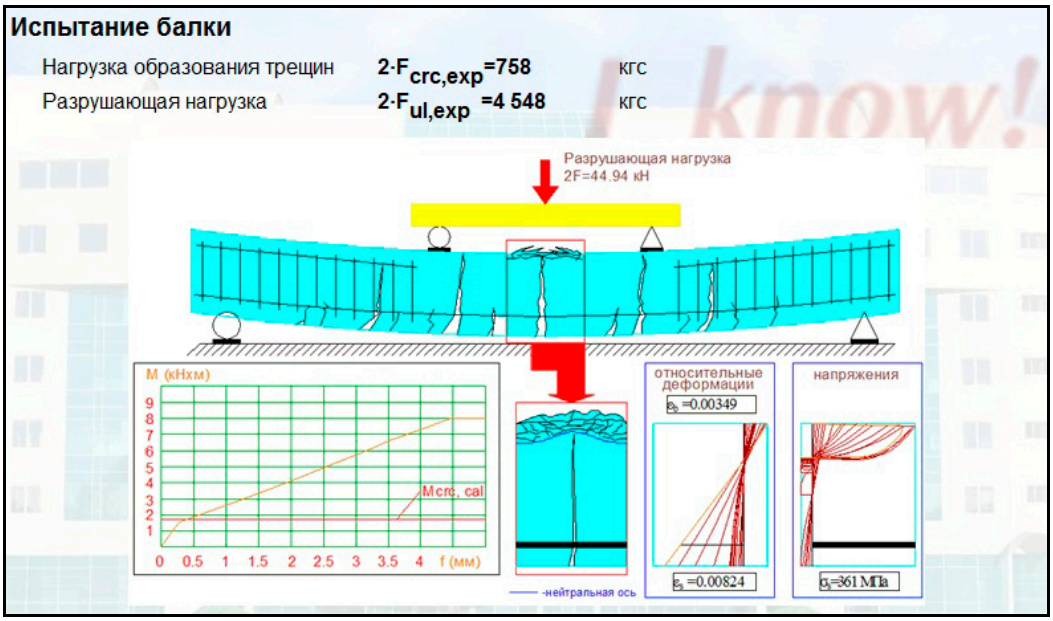


Рис 12. Фиксирование результатов испытания

Рис 13. Начальный этап разрушения опытного образца

Внешним признаком разрушения опытного образца балки является значительные (более 1,8-2,0мм) раскрытие трещин с большой высотой развития (до (0,7-0,85)h), быстрое нарастание прогибов ($f > \frac{1}{50} l_0$) с достижением предела текучести и развитием пластических деформаций в рабочей продольной арматуре. На завершающем этапе происходит разрушение бетона сжатой зоны.

Видно, как откалывается бетон сжатой зоны. Арматура течет. В результате, происходит быстрый рост прогиба балки без увеличения нагрузки, с последующим ее снижением.
При достижении предельного разрушающего значения изгибающего момента рост деформации происходит без увеличения нагрузки.

Рис 14. Завершающая стадия разрушения балки

Сопоставление теоретических и экспериментальных значений

После испытания проводится обработка показаний приборов и строятся графики. По результатам испытания определяются экспериментальные (опытные) значения момента образования трещин и разрушающего момента, которые сравниваются с расчетными значениями. Кроме того, вычисляется максимальный прогиб балки под нагрузкой.

При вычислении этих моментов и прогиба в балке следует учитывать нагрузки на балку, создаваемые распределительной траверсой и собственным весом балки.

Расчетная длина балки	L_o =	117	см
Высота сечения	h =	15	см
Ширина сечения	b =	10	см
Теоретический момент образования трещин	$M_{crc,cal}$=	17 360	кгс·см
Теоретическое значение разрущающего момента	$M_{ul,cal}$=	87 810	кгс·см

Вес загрузочных устройств (траверсы и т.д.): $P = 200$ Н

Объемный вес балки (бетон): $\gamma_b = 2500 кг/м^3 = 0{,}0025 кгс/см^3 = 0{,}025$ Н/см^3

Собственный погонный вес балки: $q = b \cdot h \cdot \gamma_b \cdot l = 100 \cdot 150 \cdot 0{,}0000025 \cdot 1 = 0.375$ Н/мм

Момент от собственного веса балки: $M_{c.в.} = \frac{q \cdot l_0^2}{8} = \frac{0.375 \cdot 1170^2}{8} = 64167$ Н·мм

Момент от веса траверсы: $M_{тр} = \frac{P.l_0}{2 \cdot 3} = \frac{200 \cdot 1170}{2 \cdot 3} = 3900$ Н·мм

Нагрузка, соответствующая теоретическому моменту трещинообразования:

$$F_{crc,cal} = \frac{3}{l_0}(M_{crc,cal} - M_{c.в} - M_{тр}) = \frac{3}{1170}(1736000 - 64167 - 39000) = 4186.7 \text{ Н}$$

Нагрузка, соответствующая теоретическому разрушающему моменту:

$$F_{ul,cal} = \frac{3}{l_0}(M_{ul,cal} - M_{c.в} - M_{тр}) = \frac{3}{1170}(8781000 - 64167 - 39000) = 22251 \text{ Н}$$

Рис 15. Определение нагрузок, соответствующих теоретическому моменту трещинообразования и теоретическому разрушающему моменту

Установление опытного момента трещинообразования и сравнение его с теоретическим значением

Определение опытного момента трещинообразования производится для середины пролета балки по величине нагрузки $F_{crc,\exp}$, вызвавшей появление трещин.

Эта нагрузка может быть зафиксирована по показанию силоизмерителя при визуальном обнаружении трещин на боковой грани балки или по более заметному увеличению на данном этапе показаний приборов (тензометра на нижней грани балки и прогибомера (индикатора) в середине пролета).

Момент образования трещин при испытании может быть четко определен по графику "$M - f$"(момент-прогиб). После определения опытного момента трещинообразования определяется величина его отклонения от теоретического момента трещинообразования в процентах.

Нагрузка, отвечающая моменту трещинообразования: $F_{crc,exp} = 3790$ Н

Опытный момент трещинообразования:

$$M_{crc,exp} = (F_{crc,exp} + 0{,}5 \cdot P) \cdot L_0 / 3 + q \cdot L_0^2 / 8$$

$$= (\boxed{3790} + 0{,}5 \cdot \boxed{200}) \cdot \boxed{1170} / 3 + \boxed{0.375} \cdot \boxed{1170}^2 / 8 = 1581267 \quad \text{Н·мм}$$

Величина отклонения в %:

$$\frac{M_{crc,cal} - M_{crc,exp}}{M_{crc,cal}} \cdot 100\% = \frac{\boxed{1736000} - \boxed{1581267}}{\boxed{1736000}} \cdot 100\% = 8.91 \quad \%$$

Рис 16. Установление опытного момента трещинообразования и сравнение его с теоретическим значением

Установление опытного разрушающего момента и сравнение его с теоретическим значением

Определение опытного разрушающего момента производится для середины балки по величине нагрузки, вызвавшей разрушение образца. Разрушающая опытная нагрузка определяется по показанию силоизмерителя в момент разрушения балки. После вычисления опытного разрушающего момента определяется величина его отклонения от величины теоретического разрушающего момента в процентах.

Опытный разрушающий момент:

$$M_{ul,exp} = (F_{ul,exp} + 0{,}5 \cdot P) \cdot L_0 / 3 + q \cdot L_0^2 / 8 =$$

$$= (\boxed{22740} + 0{,}5 \cdot \boxed{200}) \cdot \boxed{1170} / 3 + \boxed{0.375} \cdot \boxed{1170}^2 / 8 = 8971767 \quad \text{Н}$$

Величина отклонения в %:

$$\frac{M_{ul,cal} - M_{ul,exp}}{M_{ul,cal}} \cdot 100\% = \frac{\boxed{8781000} - \boxed{8971767}}{\boxed{8781000}} \cdot 100\% = -2.17 \quad \%$$

Рис 17. Установление опытного разрушающего момента и сравнение его с теоретическим значением

Определение прогиба балки под нагрузкой перед образованием трещин

Прогиб балки перед образованием трещин определяется как для условно упругого сплошного тела. При этом кривизну железобетонного элемента определяют как частное от деления изгибающего момента $M_{crc,cal}$ на жесткость железобетонного элемента при изгибе. Жесткость ж/б элемента при работе без трещин при непродолжительном действии нагрузки вычисляется с

использованием кратковременного модуля деформации $E_{b1} = 0.85E_b$ и момента инерции I_{red}.

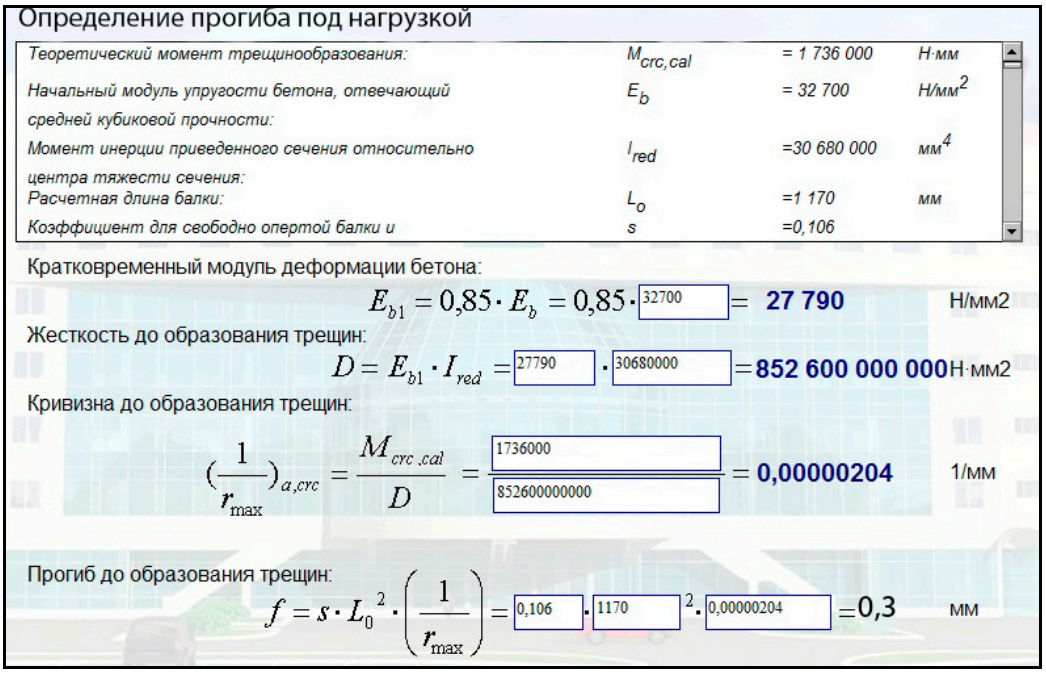


Рис 18. Определение прогиба под нагрузкой

Определение максимального прогиба балки при начале текучести растянутой продольной арматуры.

Используемые параметры:

- Призменная прочность бетона - $R_b = 2850$ Н/см^2;
- Теоретический момент трещинообразования - $M_{crc,cal} = 173600$ Н · см (17360 кг · см);
- Теоретический разрушающий момент - $M_{ul,cal} = 878100$Н · см (87810 кг · см);
- Рабочая высота сечения - $h_0 = 12$ см;
- Ширина сечения - $b = 10$ см;
- Площадь сечения арматуры растянутой зоны - $A_s = 2.26$ см^2;
- Модуль упругости бетона - $E_b = 3270000$ Н / см^2;
- Модуль упругости арматуры - $E_s = 20000000\ H/см^2 = 2 \cdot 10^7$ Н / см^2;
- Относительная деформация бетона сжатой зоны $\varepsilon_{b1,red} = 15 \cdot 10^{-4}$;
- Коэффициент S, для свободно опёртой балки - $S = 0.106$;

•Расстояние от нижней грани балки до центра тяжести сечения - $y_0 = 71.1$ мм;

•Максимальный прогиб балки при разрушении при наличии трещин определяется по выражению: $f = s \cdot l_0^2 \left(\frac{1}{r_{\max}} \right)$; при значении кривизны, определяемой по формуле: $\frac{1}{r} = \frac{M_{ul,cal}}{E_{b,red} \cdot I_{red}}$, где

$M_{ul,cal}$ - значение теоретического разрушающего момента;

$E_{b,red}$ - приведенный модуль деформации сжатого бетона;

$E_{b,red} = \frac{R_b}{\varepsilon_{b1,red}}$, где

$\varepsilon_{b1,red} = 15 \cdot 10^{-4}$ - относительная деформация бетона сжатой зоны приведенного сечения при непродолжительном действии нагрузки;

$E_{b,red} = \frac{2850}{15 \cdot 10^{-4}} = 1900000$ Н / см^2;

I_{red} - момент инерции приведенного сечения относительно его центра тяжести с учетом площади сечения только сжатой зоны, площади сечения сжатой арматуры с коэффициентом приведения α_{s1} и растянутой арматуры с коэффициентом приведения α_{s2}.

Высота сжатой зоны для элементов прямоугольного сечения может быть определена по выражению:

$x = h_0 \left\{ \sqrt{z^2 + 2\mu_s \cdot \alpha_{s2}} - z \right\}$, где $\mu_s = \frac{A_s}{b \cdot h_0} = \frac{2.26}{10 \cdot 12} = 0.0188$

$$\alpha_{s2} = \frac{E_s}{\psi_s \cdot E_{b,red}} = \frac{2 \cdot 10^7}{0.84 \cdot 19 \cdot 10^5} = 12.53;$$

$$\psi_s = 1 - 0.8 \frac{M_{crc,cal}}{M_{ul,cal}} = 1 - 0.8 \frac{173600}{878100} = 0.84;$$

$$z = \mu_s \cdot \alpha_{s2} = 0.0188 \cdot 12.53 = 0.236;$$

$$x = 12 \left\{ \sqrt{0.236^2 + 2 \cdot 0.0188 \cdot 12.53} - 0.236 \right\} = 12 \left\{ \sqrt{0.527} - 0.236 \right\} = 12 \cdot 0.49 = 5.88 \text{ см}$$

$$I_{red} = \frac{b \cdot x^3}{12} + \left(y_b - \frac{x}{2}\right)^2 \cdot b \cdot x + \alpha_{s2} \cdot A_s \cdot (y_0 - a)^2 = \frac{10 \cdot 5.88^3}{12} + \left(7.89 - \frac{5.88}{2}\right)^2 \cdot 10 \cdot 5.88 +$$

$$+ 12.53 \cdot 2.26 \cdot (7.11 - 3)^2 = 169.4 + 1440.7 + 478.3 = 2088.4 \text{ см}^4;$$

$$\frac{1}{r_{\max}} = \frac{878100}{19 \cdot 10^5 \cdot 2088{,}4} = 0{,}000221 \frac{1}{\text{см}};$$

$$f = s \cdot l_0^2 \left(\frac{1}{r_{\max}}\right) = 0{,}106 \cdot 117^2 \cdot 0{,}000221 = 0{,}32 \text{ см} = 3{,}2 \text{ мм}.$$

Используя свои конкретные исходные данные по физико-механическим характеристикам бетона и арматуры, а также геометрические параметры сечения, каждый студент заполняет с необходимыми вычислениями протокол выполнения лабораторной работы и отвечает на контрольные вопросы преподавателя, проводящего данную лабораторную работу.

Вопросы для подготовки к защите лабораторной работы №1

1. Какая цель ставится при проведении данной лабораторной работы?
2. Конструктивной решение и расчетная схема испытываемой железобетонной балки?
3. Как осуществляется загружение балки при испытании и контролируется величина прикладываемой нагрузки?
4. Какие приборы устанавливаются на испытываемой балки и что ими измерялось?
5. Почему нормальные трещины в балке появляются в средней части пролета?
6. Как вычислить прогиб опытной балки от заданной нагрузки при испытании?
7. Как по графикам деформации – бетона и перемещений балки определить нагрузку образования трещин?

8. Как определить физико-механические характеристики бетона и арматуры испытываемой балки?

9. Какие стадии напряженно деформированного состояния положены в основу расчета трещиностойкости, прогибов и несущей способности балки?

10. Как определить теоретическую нагрузку образования нормальных трещин?

11. Как определить теоретическую нагрузку, вызывающую разрушения балки по нормальному сечению?

12. Как вычислить отклонение опытных значений разрушающей нагрузки от её теоретического значения?

13. Чем объясняются отклонение опытных и расчетных значений разрушающей нагрузки?

14. Как изменится несущая способность балки по нормальному сечению при изменении класса бетона, диаметра рабочей арматуры?

15. Каковы признаки приближающего разрушения балки по нормальному сечению?

16. Какие существуют случаи разрушения балки по нормальному сечению?

17. По какому критерию можно судить о случае разрушения балки по нормальному сечению?

18. Какую величину прогиба изгибаемых ж/б элементов следует считать недопустимой для их эксплуатации?

19. Как изменяется эпюра напряжений в сжатой зоне бетона, и какая эпюра в сжатой зоне бетона принимается при расчете прочности?

Протокол выполнения лабораторной работы №1

Испытание железобетонной балки на изгиб с разрушением по нормальному сечению

Определение расчетных характеристик бетона на 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

Фактическое (опытное) сопротивление арматуры растяжению (среднее значение физического предела текучести):

$$R_s = \frac{\sigma_{y1} + \sigma_{y2} + \sigma_{y3}}{3} = _____ \text{ Н/мм}^2$$

Определение характеристик приведенного сечения:

$$\alpha_s = \frac{E_s}{E_b} = _____$$

Площадь приведенного сечения:

$$A_{red} = bh + \alpha_s A_s = _____ \text{ мм}^2$$

Статический момент площади приведенного сечения относительно нижней грани:

$$S_{red} = \frac{bh^2}{2} + \alpha_s A_s a = _____ \text{ мм}^2$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до нижней грани:

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

Момент инерции приведенного сечения относительно центра тяжести сечения:

$$I_{red} = \frac{bh^3}{12} + bh\left(Y_0 - \frac{h}{2}\right)^2 + \alpha_s A(Y_0 - a)^2 = _____ \text{ мм}^4$$

Момент сопротивления приведенного сечения относительно нижней грани:

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

Упруго-пластический момент сопротивления относительно нижней грани:

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

Определение теоретического момента трещинообразования

Теоретический момент образования трещин:

$$M_{crc,cal} = R_{bt} \cdot W_{pl} = _____ \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Определение теоретического разрушающего момента

Высота сжатой зоны в стадии разрушения:

$$x = \frac{R_s A_s}{R_b h} = _____ \text{ см}$$

Теоретическое значение разрушающего момента:

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

Нагрузки на балку при испытании

Вес загрузочных устройств: $P = _____$ Н

Собственный вес балки: $g = 0.025b \cdot h \cdot 1 = _____$ Н/см

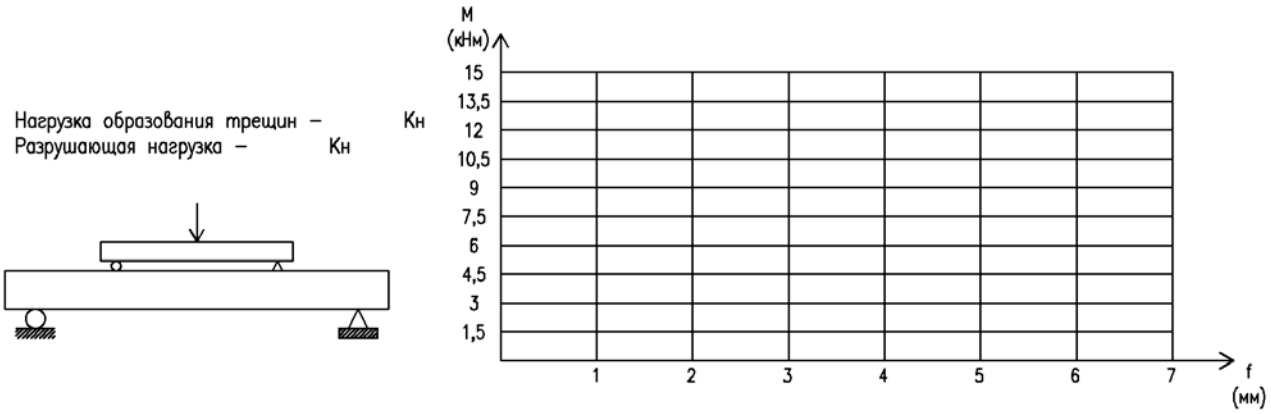
Нагрузка, соответствующая теоретическому моменту трещинообразования:

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

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

Установление опытного момента трещинообразования и сравнение его с теоретическим значением

Нагрузка, отвечающая моменту трещинообразования $F_{crc,\exp} = _____ \text{ кгс}(\text{Н})$

Опытный момент трещинообразования:

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

Величина отклонения в %:

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

Установление опытного разрушающего момента и сравнение его с теоретическим значением

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

Опытный разрушающий момент:

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

Величина отклонения в %:

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

Определение максимального прогиба балки под нагрузкой перед образованием трещин

Кратковременный модуль деформации бетона:

$E_{b1} = 0.85E_b =$ _____ Н/м/ ^{2} $\left(\text{Н/см}^2\right)$

Жесткость до образования трещин:

$D = E_{b1} \cdot I_{red} =$ _____ Н/м/ ^{2} $\left(\text{Н/см}^2\right)$

Кривизна до образования трещин:

$\left(\dfrac{1}{r_{\max}}\right) = \dfrac{M_{crc,cal}}{D} =$ _____ 1/м/ $\left(1/\text{см}\right)$

Прогиб до образования трещин:

$f = s \cdot l_0 \cdot \left(\dfrac{1}{r_{\max}}\right) =$ _____ мм $\left(\text{см}\right)$

Определение максимального прогиба балки при разрушении:

$\dfrac{1}{r_{\max}} = \dfrac{M_{ul,cal}}{E_{b,red} \cdot I_{red}} =$ _____ 1/м $\left(1/\text{см}\right)$

Приведенный модуль деформации:

$E_{b,red} = \dfrac{R_b}{\varepsilon_{b1,red}} =$ _____ Н/м^2 $\left(\text{Н/см}^2\right)$

$x = h_0\left(\sqrt{z^2 + 2\mu_s\alpha_{s2}} - z\right) =$ _____ см

$\mu_s = \dfrac{A_s}{bh_0} =$ _____

$\alpha_{s2} = \dfrac{E_s}{\psi_s \cdot E_{b,red}} =$ _____

$z = \mu_s\alpha_{s2} =$ _____ см

Коэффициент $\psi_s = 1 - 0{,}8\dfrac{M_{crc,cal}}{M_{ul,cal}} =$ _____

Относительная высота сжатой зоны:

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

Плечо внутренней пары сил:

$z = h_0 - \dfrac{x}{2} =$ _____ см

Прогиб при разрушении:

$$f = s \cdot l_0 \cdot \left(\frac{1}{r_{\max}} \right) = _____ \text{ мм (см)}$$

Факультет, курс,

группа_____

Студенты_____

_____

Преподаватель_____

Подпись_____

Дата_____