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 №3

Испытание железобетонной колонны на внецентренное сжатие с большим эксцентриситетом

Целью лабораторной работы является изучение напряженно-деформированного состояния нормального сечения железобетонного элемента на различных стадиях: упругая работа, появление трещин и разрушение.

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

Для натурного испытания изготовлена железобетонная короткая стойка с консолями для удобства внецентренного приложения сжимающей нагрузки. Колонна армирована вязаным пространственным каркасом из 4-х продольных стержней и замкнутых хомутов.

Продольная арматура по грани колонны наиболее удаленной от продольной сжимающей силы – 2d 14А400, по противоположной грани - 2d 8А240. Хомуты выполнены из проволоки В500 d6 мм. Поперечное сечение колонны $b \cdot h = 150 \cdot 150$ мм .

Пространственный арматурный каркас представлен в лаборатории в качестве натурного образца.

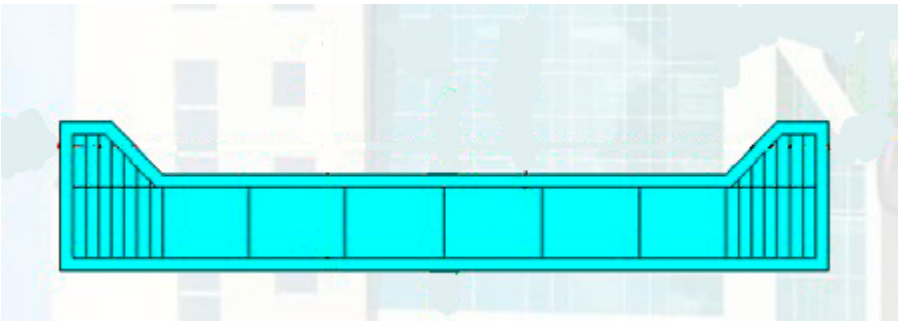


Рис 30. Арматурный каркас колонны

Порядок выполнения работы:

1. Определение характеристик бетона;
2. Определение характеристик сжатой и растянутой арматуры;
3. Геометрические размеры и схема армирования колонны;
4. Схема загружения колонны;

5. Определение теоретической продольной разрушающей силы;

6. Испытание колонны;

7. Сопоставление результатов опыта и расчетов.

Определение прочностных характеристик бетона

Для определения прочностных характеристик бетона были изготовлены и испытаны 3 бетонных образца в виде кубов с размером ребра 150мм. По результатам испытания кубов определено среднее значение кубиковой прочности бетона - $\overline{R}$, и прочность бетона на сжатие и растяжение - R_b, R_{bt}.

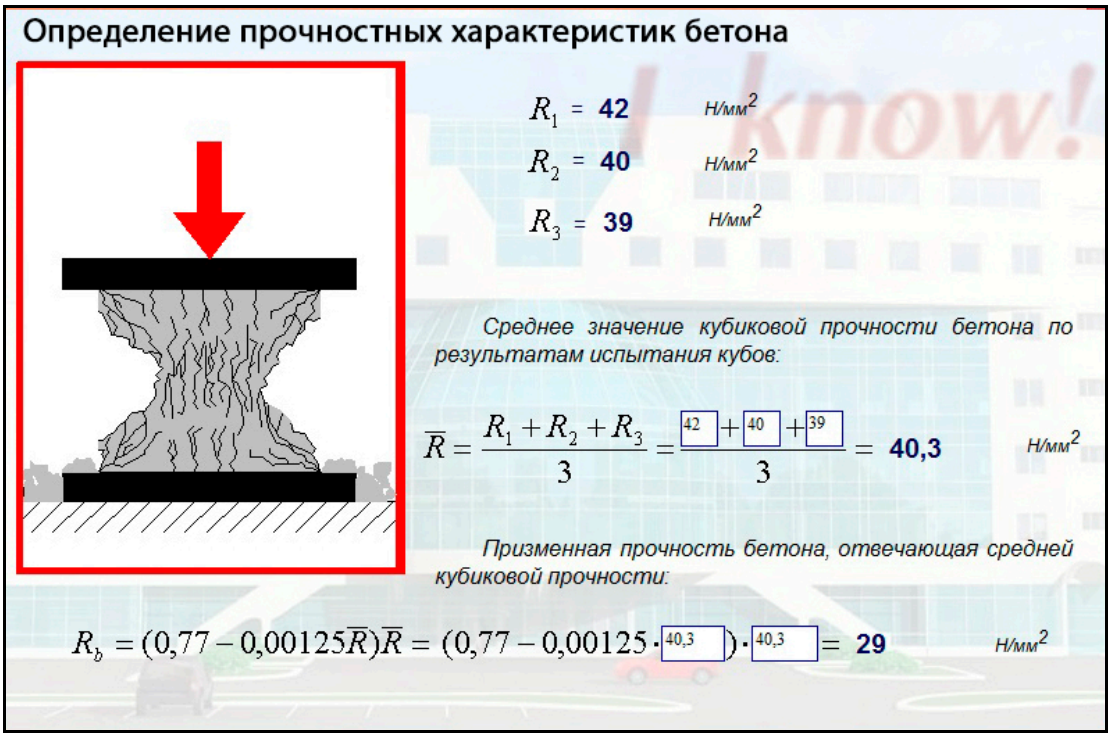


Рис 31. Определение прочностных характеристик бетона

Прочность бетона при осевом растяжении, отвечающая средней кубиковой прочности:

$$R_{bt} = \frac{5\overline{R}}{45 + \overline{R}} = \frac{5 \cdot 40.3}{45 + 40.3} = 2.36\ H / мм^2$$

Определение характеристик сжатой и растянутой арматуры

Для определения прочностных характеристик сжатой и растянутой продольной арматуры колонны проведено испытание на растяжение 3-х образцов арматуры класса А400 d14 мм и 3-х образцов арматуры А240 d8 мм.

Рис 32. Определение прочностных характеристик сжатой арматуры

Рис 33. Определение прочностных характеристик растянутой арматуры

Геометрические размеры, схема армирования и загружения колонны

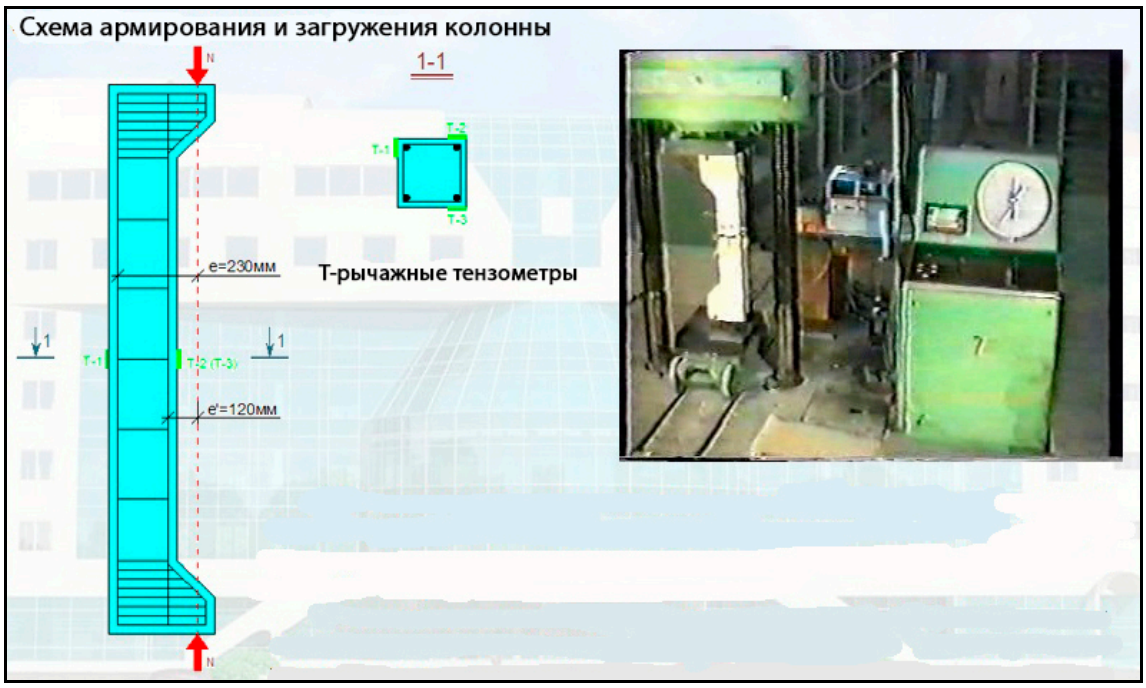


Рис 34. Схема армирования и загружения колонны

Сечение опытного образца 150х150 мм, арматура $A_s = 2d14\ A400$, $A_s' = 2d8\ A240$.

Внешняя сжимающая сила N приложена с расстоянием от растянутой арматуры $e = 230$ мм, от сжатой арматуры $e' = 120$ мм

Определение теоретической продольной разрушающей силы

Исходные данные для расчета:

•Призменная прочность бетона - $R_b = 29$ Н/мм^2;

•Сопротивление арматуры растяжению - $R_s = 391.3$ Н/мм^2;

•Сопротивление арматуры сжатию - $R_{sc} = 234$ Н/мм^2;

•Модуль упругости арматуры - $E_s = 2 \cdot 10^5$ Н/мм^2;

•Площадь сечения растянутой арматуры - $A_s = 308$ мм^2;

•Площадь сечения сжатой арматуры - $A_s' = 101$ мм^2;

•Эксцентриситет продольного усилия относительно центра тяжести сечения бетона - $e_0 = 175$ мм;

•Ширина сечения колонны - $b = 151$ мм;

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

•Расстояние от грани сечения до центра тяжести продольной арматуры - $a = a' = 20$ мм.

Теоретическое значение продольной разрушающей силы вычисляется из условия равенства нулю суммы проекций всех сил на продольную ось:

$$N_{ul,cal} = R_b \cdot b \cdot x + R_{sc} \cdot A_s' - R_s \cdot A_s.$$

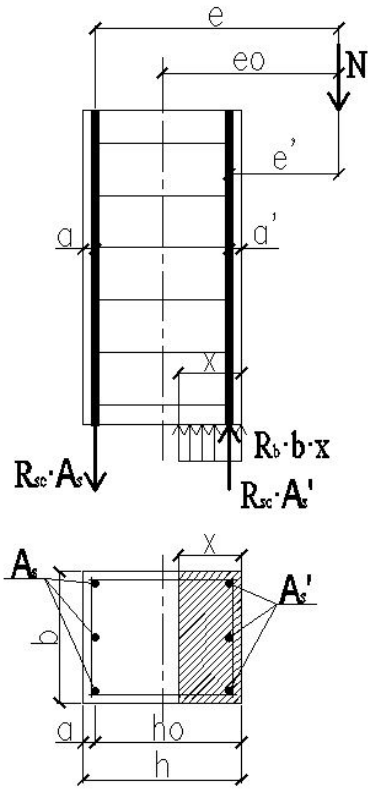


Рис 34. Схема расчетных усилий в сечении сжатого железобетонного элемента с расчетным эксцентриситетом

Внецентренно сжатый железобетонный элемент будет работать по представленной схеме в случае, если высота сжатой зоны будет меньше её предельного (граничного) значения, т.е. $x < x_R$ или $\xi = \frac{x}{h_0} < \xi_R = \frac{x_R}{h_0}$.

Граничная относительная высота сжатой зоны:

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

$\varepsilon_{s,el}$ - относительная деформация растянутой арматуры при напряжениях, равных R_s;

$$\varepsilon_{s,el} = \frac{R_s}{E_s} = \frac{391.3}{2 \cdot 10^5} = 0.00196;$$

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

$$\xi_R = \frac{0.8}{1 + \frac{0.00196}{0.0035}} = \frac{0.8}{1.56} = 0.513; \; x_R = 0.513 \cdot 134 = 68.7 \text{ мм};$$

Высота сжатой зоны определяется из условия равенства нулю суммы моментов всех сил относительно оси действия продольной силы.

$$R_{sc} \cdot A_s' \cdot e' - R_s \cdot A_s \cdot e + R_b \cdot b \cdot x \cdot \left(\frac{x}{2} + e' - a' \right) = 0,$$

здесь $e = e_0 + \frac{h}{2} - a$; $e' = e_0 - \frac{h}{2} + a'$;

Из решения этого уравнения:

$$x = (h_0 - e) + \sqrt{(e - h_0)^2 + \frac{2 \cdot (R_s \cdot A_s \cdot e - R_{sc} \cdot A_s' \cdot e')}{R_b \cdot b}} = (134 - 230) +$$

$$+ \sqrt{(230 - 134)^2 + \frac{2 \cdot (391{,}3 \cdot 308 \cdot 230 - 234 \cdot 101 \cdot 120)}{29 \cdot 151}} = 47{,}5 \text{ мм.}$$

$x = 47.5 < x_R = 68.7$ мм, действительно, имеем случай внецентренного сжатия с большим эксцентриситетом.

Теоретическое значение продольной разрушающей силы:

$$N_{ul,cal} = R_b \cdot b \cdot x + R_{sc} \cdot A_s' - R_s \cdot A_s = 29 \cdot 151 \cdot 47{,}5 + 234 \cdot 101 - 391{,}3 \cdot 308 = 111100 \text{ Н.}$$

Испытание колонны

Испытание проводится на гидравлическом прессе в вертикальном положении. Продольная сила *N* создается подвижной плитой пресса. Точка передачи усилия на колонну определяется величиной заданного эксцентриситета. Величина продольной силы контролируется по шкале силоизмерителя пресса. Для измерения деформации растянутого бетона в наиболее напряженном сечении на образце устанавливаются механические и электрические приборы – тензометры и тензорезисторы.

Загружение образца производится ступенями, размер которых принимается равным примерно 10% от расчетной разрушающей нагрузки. После каждой ступени загружения дается выдержка по 3-4 мин, во время которой снимаются и записываются показания приборов, осматривается поверхность растянутой и сжатой грани образца.

По мере возрастания нагрузки в растянутой зоне сечения начинают образовываться первые трещины, нормальные к продольной оси колонны. Для лучшего восприятия картины трещинообразования, трещины обводятся тушью.

Теперь колонна работает с трещинами в растянутой зоне, что соответствует второй стадии напряженно-деформированного состояния.

При дальнейшем увеличении нагрузки образуются новые трещины, а появившиеся ранее, растут и ширина их раскрытия увеличивается.

Рост нагрузки приводит к дальнейшему увеличению длины трещин и ширины их раскрытия. Все более заметна кривизна колонны.

Если мысленно перевести колонну в горизонтальное положение растянутой зоной вниз, то легко увидеть, что расположение и направление трещин близко к тому, что мы наблюдали в зоне чистого изгиба балки, которую испытывали в первой лабораторной работе. Это подтверждает аналогию между работой изгибаемых элементов и внецентренно сжатых элементов с большим эксцентриситетом, расчетные эпюры напряжений в этих элементах также одинаковы. Наконец, с помощью силоизмерителя обнаруживаем, что, несмотря на подачу масла в цилиндр гидравлического пресса, нагрузка не растет. Это свидетельствует о том, что растянутая арматура достигла предела текучести, напряжение в бетоне сжатой зоны достигло сопротивления бетона, а в сечениях колонны с трещинами напряженно-деформированное состояние достигло третьей стадии. Большие деформации в сжатой зоне приводят к раздроблению бетона.

Освобожденная от окружающего бетона сжатая арматура теряет устойчивость. Процесс разрушения происходит постепенно, плавно.

В ходе испытания визуальным путем и по приборам устанавливается нагрузка образования трещин в растянутой зоне бетона. Составляется схема трещинообразования и разрушения образца. Фиксируется экспериментальное значение разрушающей нагрузки, которая сравнивается с расчетным значением этой нагрузки.

Рис 35. Испытываемый образец перед разрушением

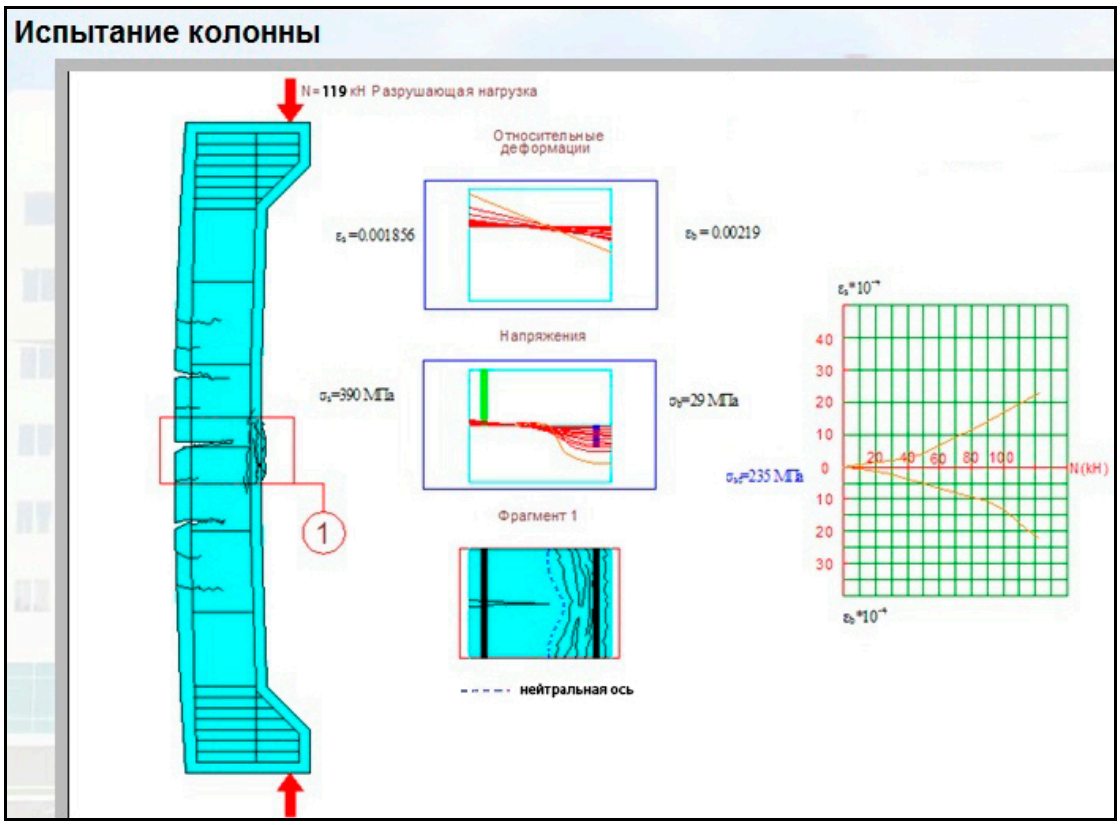


Рис 36. Схема разрушения образца

Сопоставление результатов опыта и расчетов

Теоретическая разрушающая сила: $N_{ul,cal} = 111100$ Н.

Опытная разрушающая сила: $N_{ul,\exp} = 119000$ Н.

Величина отклонения:

$$\frac{N_{ul,cal} - N_{ul,\exp}}{N_{ul,cal}} \cdot 100\% = \frac{111100 - 119000}{111100} \cdot 100\% = -7.11\%.$$

Вопросы для подготовки к защите лабораторной работы №3

1. Какая цель ставится при проведении данной лабораторной работы?
2. Каковы конструкции и расчетная схема опытного образца внецентренно сжатого элемента?
3. Как определяются прочностные и деформационные характеристики бетона и арматуры, используемых для изготовления опытного образца?
4. Как определить эксцентриситет приложения внешней нагрузки?
5. Как осуществляется загружение колонны и как контролируется величина нагрузки, приложенной к опытному образцу?
6. Какие приборы используются для измерения деформаций бетона?
7. В каких местах элемента следует ожидать появление трещин?
8. По какому критерию определяется расчетный случай внецентренно сжатого элемента?
9. Как по графикам деформации бетона определить нагрузку образования трещин?
10. Какая стадия напряженно-деформированного состояния положена в основу расчета прочности внецентренно-сжатого элемента?
11. Как определить теоретическую несущую способность внецентренно-сжатого элемента?
12. Как определяется величина экспериментальной разрушающей нагрузки?

13. Для чего во внецентренно сжатых элементах устанавливают поперечную арматуру?

14. Какие условия статики используют при расчете нормальных сечений на внецентренное сжатие?

15. Почему в сжатых железобетонных элементах не возникает центральное сжатие?

16. Почему различают призменную и кубиковую прочность бетона при сжатии?

17. Как можно увеличить сопротивление бетона сжатию?

18. В чем проявляется различие работы и разрушение сжатых элементов с большими и малыми эксцентриситетами?

19. Какие железобетонные элементы зданий и сооружений работают в условиях внецентренного сжатия?

20. Есть ли разница между внецентренным сжатием и сжатием с изгибом?

21. Как вычислить отклонение опытного значения разрушающей силы от её теоретического значения?

22. Чем объясняется отклонение теоретического и экспериментального значения разрушающей силы?

23. Как будет изменяться трещиностойкость и прочность внецентренно сжатого элемента в зависимости от величины эксцентриситета приложения нагрузки?

Протокол выполнения лабораторной работы №3

Испытания железобетонной колонны на внецентренное сжатие

Определение расчетных характеристик растянутой арматуры

В качестве расчетного сопротивления арматуры растяжению принимаем среднее значение физического предела текучести:

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

Определение расчетных характеристик сжатой арматуры

Поскольку арматура А240 работает одинаково на растяжение и сжатие, в качестве расчетного сопротивления сжатию принимаем среднее значение физического предела текучести

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

Определение расчетных характеристик бетона

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

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

Определение граничного значения относительной высоты сжатой зоны бетона

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

$$\varepsilon_{s,el} = \frac{R_s}{E_s}$$

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

Определение теоретической продольной разрушающей силы

Граничная высота сжатой зоны:

$$x_R = \xi_R \cdot h_0 = _____ \text{ мм}$$

Высота сжатой зоны (вычисляется из условия равенства нулю суммы моментов всех сил относительно оси действия продольной силы):

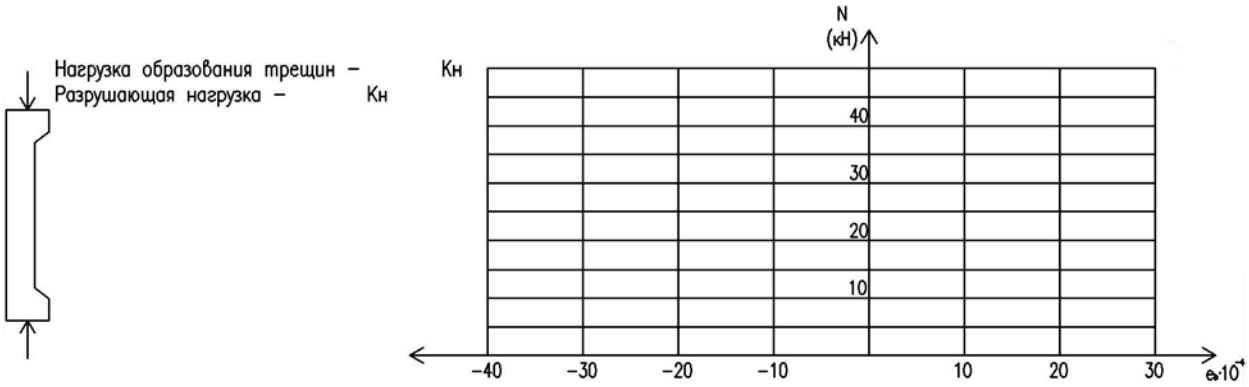
$$x = (h_0 - e) + \sqrt{(e - h_0)^2 + \frac{2 \cdot (R_s \cdot A_s \cdot e - R_{sc} \cdot A_s' \cdot e')}{R_b \cdot b}} = _____ \text{ мм}$$

Т.к. $x < x_R$, имеем I-ый случай внецентренного сжатия.

Теоретическое значение продольной разрушающей силы (вычисляется из условия равенства нулю суммы проекций всех сил на продольную ось):

$$N_{ul,cal} = R_b \cdot b \cdot x + R_{sc} \cdot A_s' - R_s \cdot A_s = _____ \text{ Н}$$

Испытания колонны



Сопоставление результатов опыта и расчетов

Экспериментальная разрушающая сила:

$$N_{ul,\exp} = _____ \text{ Н}$$

Величина отклонения в %:

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

Факультет, курс, Преподаватель_____

группа_____

Студенты_____ Подпись_____

_____ Дата_____