



РЕСПУБЛИКА БАШКОРТОСТАН
Муниципальное унитарное предприятие
"НЕФТЕКАМСКСТРОЙЗАКАЗЧИК"
Республики Башкортостан
Проектно-конструкторский отдел

Свидетельство №2-03-0264012190-П-069 от 23.03.2012г

**"Многоэтажная жилая застройка.
Многоэтажный жилой дом под строительным
номером 21 в микрорайоне №25 г.Нефтекамск
РБ."**

Раздел 4 "Конструктивные и объемно-планировочные
решения.Расчеты "

21-1036 -КР.РР

Том 4

ПРИЛОЖЕНИЯ



РЕСПУБЛИКА БАШКОРТОСТАН
Муниципальное унитарное предприятие
"НЕФТЕКАМСКСТРОЙЗАКАЗЧИК"
Республики Башкортостан
Проектно-конструкторский отдел

Свидетельство №2-03-0264012190-П-069 от 23.03.2012г

**"Многоэтажная жилая застройка.
Многоэтажный жилой дом под строительным
номером 21 в микрорайоне №25 г.Нефтекамск РБ.
"**

Раздел 4 "Конструктивные и объемно-планировочные
решения.Расчеты "

21-1036 -КР.РР

Том 4

ПРИЛОЖЕНИЯ

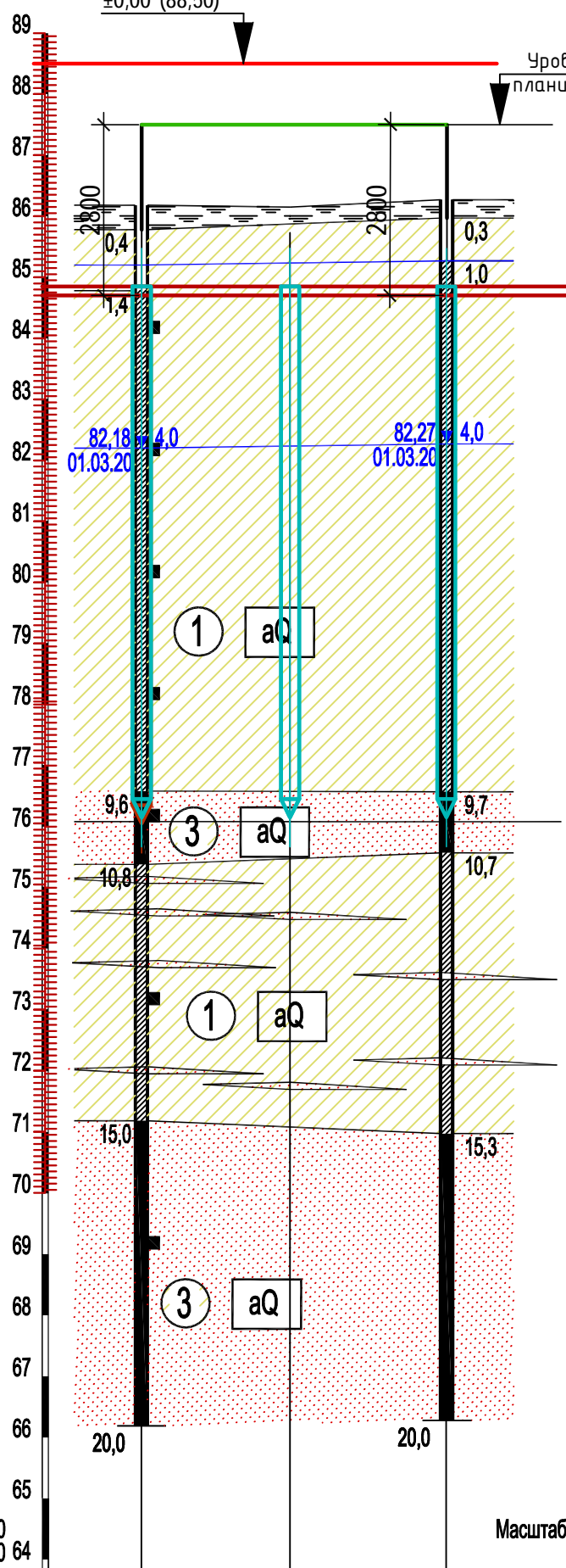
Стадия: Проектная документация

Заказчик: МУП «Нефтекамскстройзаказчик»

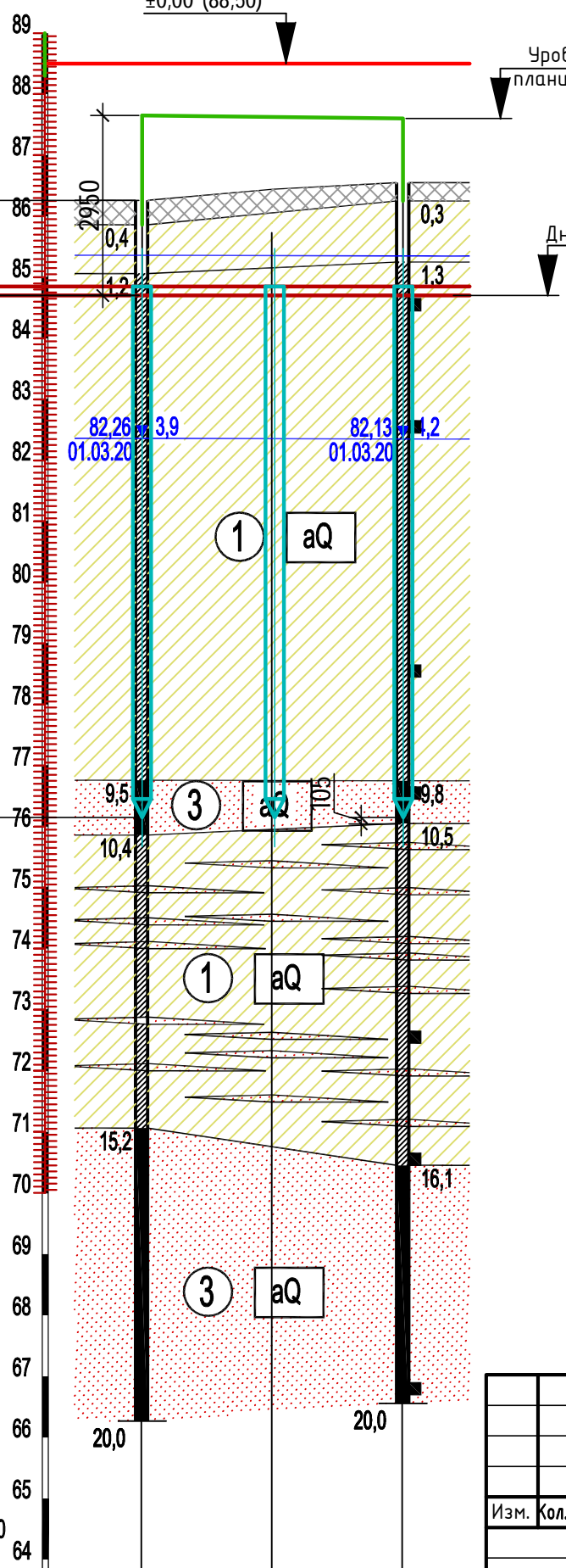
Директор		В.Р.Дзинеvский
Начальник ПКО		Г.Р.Хадеева
ГИП		В.Н.Ларионов



Инженерно-геологический разрез по линии V - V
±0,00 (88,50)



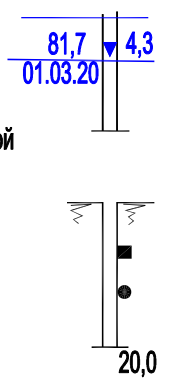
Инженерно-геологический разрез по линии VI - VI
±0,00 (88,50)



Условные обозначения

- Четвертичная система (Q)
- tQ_{IV} — насыпной грунт
 - hQ — почвенно-растительный слой
 - aQ — суглинок
 - aQ — песок мелкий

Скважина
Уровень подземных вод в скважине:
максимальный прогнозируемый уровень
установившийся уровень, м
слева: абс. отм. уровня подземных вод, м
дата замера



Отбор проб грунта и воды:
устье скважины
с ненарушенной структурой
место отбора пробы воды
глубина скважины, м

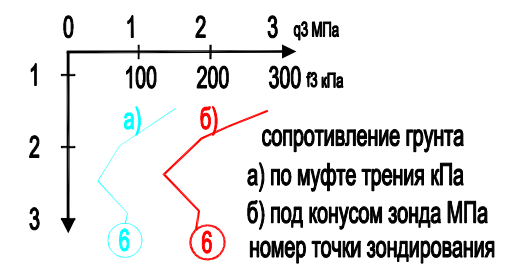
Консистенция глинистых грунтов:

- мягкопластичная
- тугопластичная

Консистенция песчаных грунтов:

- водонасыщенные

Статическое зондирование грунтов



сопротивление грунта
а) по муфте трения кПа
б) под конусом зонда МПа
номер точки зондирования

1 — граница инженерно-геологического элемента
1 — номер инженерно-геологического элемента

Согласовано

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

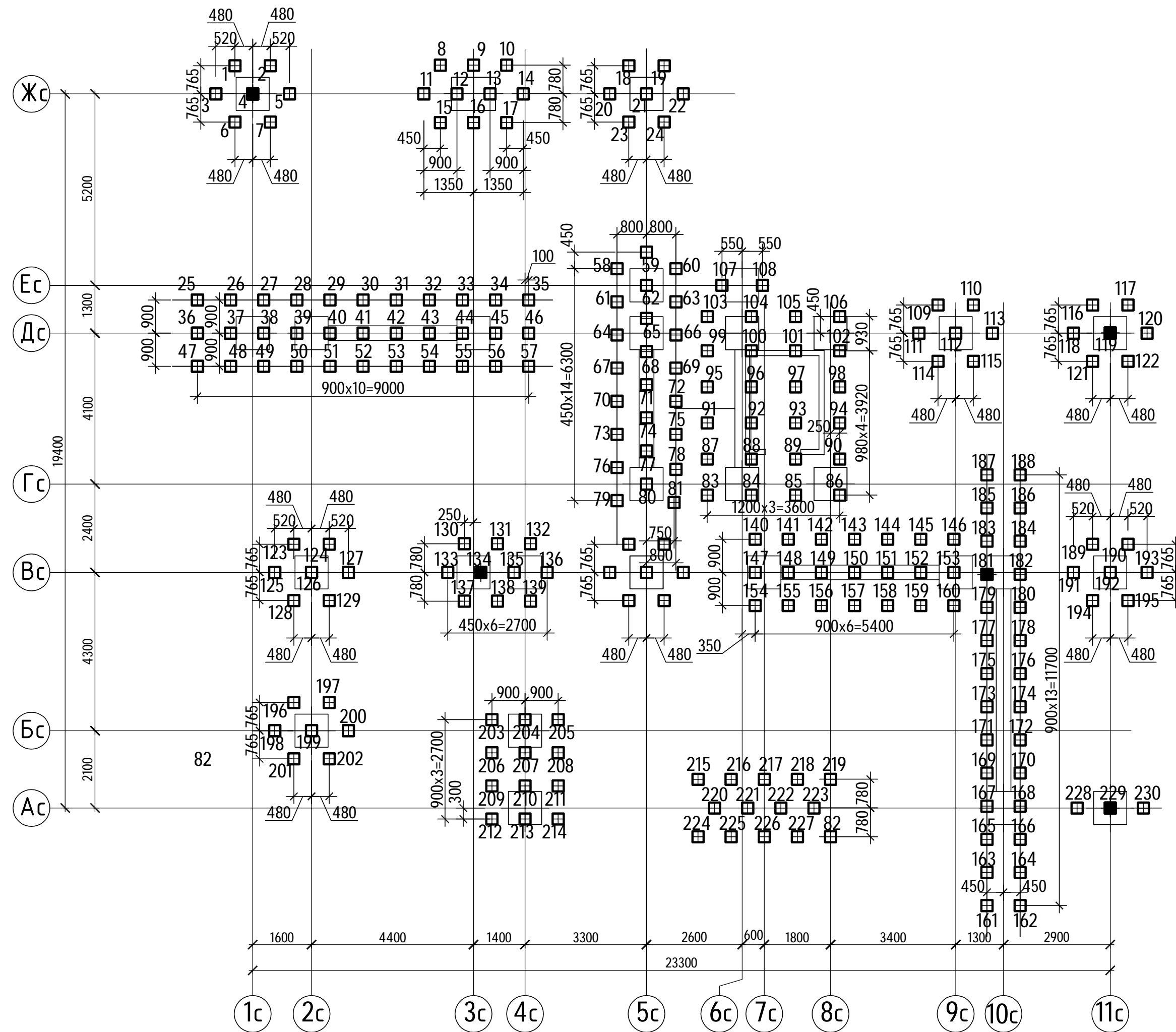
Масштаб: гор. 1:500
вер. 1:100 64

№ выработки	с-8,Т-17	Т-15	с-18,Т-13	№ выработки	с-17,Т-18	Т-16	с-7,Т-14
Абсолютная отметка устья выработки, м	86,18	86,15	86,27	Абсолютная отметка устья выработки, м	86,26	86,44	86,55
Расстояние, м	12,2		12,8	Расстояние, м	10,7		10,7

Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата
				Хадеева	
				Ларионов	
				Ларионов	

21-1036-КОПР.Р			
Многоэтажная жилая застройка по ул.Карцева в микрорайоне №25 г.Нефтекамск РБ.			
Жилой дом №21		Стадия	Лист
		п	2
		000	
		"Нефтекамскстройзаказчик"	

План свайного поля



1. Отметка верха свай - 85,30м (-3,20м), отметка дна котлована 85,15м (-3,35м).
2. Бетон на сваи В25, W6, F100.
3. За отм ±0,00 принята отметка, соответствующая абсолютной отметке 88,50.
4. Расчётная нагрузка на сваю вычисленная по результатам статического зондирования - 40,0т.
6. Сваи С90.30-8 под номерами 4, 119, 134, 181, 221, 229 (на плане обозначены ■) испытанием динамической нагрузкой. После "отдыха" пробных свай произвести контрольную добивку холостыми ударами молота. Залог из 3-х ударов и залог из 5-ти ударов.
7. "Отдых" свай 20 суток.
8. Основание свай песок мелкий средней плотности водонасыщенный со следующими физико-механическими характеристиками ($\alpha=0,95$):
 $\gamma=1,90\text{т/м}^3$, $e=0,64$, $\varphi=34^\circ$, $\gamma_s=2,69\text{т/м}^3$.
 (Отчёт об инженерно-геологических изысканиях, выполненных ООО "Развитие территорий" в 2020 году. Заказ 014-РТ-ИГИ-01).

Условные обозначения:

- - Свая длиной 8,5м с отметкой головы -3,20м
- - Свая длиной 8,5м с отметкой головы -3,20м. Испытать динамической нагрузкой. №№ свай: 4, 119, 134, 181, 221, 229.

Спецификация на данный лист

Марка Поз.	Обозначение	Наименование	Кол. шт.	Примечание
1...237	с.1.011.1-10 в.1	Свая ж/бетонная с 90.30-8	237	Бетон кл. В25, W6, F100, изготовить длиной l=8,5м

Согласовано

Взак. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.

21-1036-КОПР

Многоэтажная жилая застройка. Многоэтажный жилой дом под строительным номером 21 в микрорайоне №25 г.Нефтекамск РБ

Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата

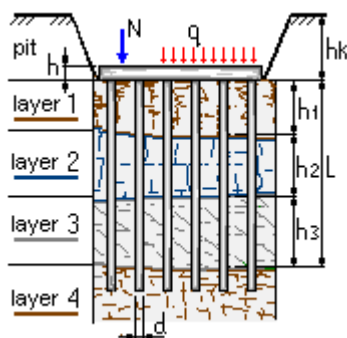
Стадия			Лист	Листов
П			3	
МУП				
"Нефтекамскстройзаказчик"				

План свайного поля

Результаты расчета

Расчет плиты на свайном основании

1. - Исходные данные:



Количество слоев 3

Характеристики грунта:

Номер слоя	Тип грунта	Модуль E	Ед. изм.	1 Точка, м	2 Точка, м	3 Точка, м	4 Точка, м
Слой 1	Глинистый	840	тс/м2	h= 5,3	h= 5,3	h= 5,3	h= 5,3
Слой 2	Глинистый	1840	тс/м2	h= 3	h= 3	h= 3	h= 3
Слой 3	2950	тс/м2					

Исходные данные для расчета:

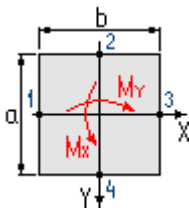
Прямоугольная плита

Наименование исходных данных	Величина	Ед. измерения
Длина вдоль Y	5,5	м
Ширина вдоль X	4,4	м
Допустимая расчетная нагрузка на сваю (Fd)	45,4	тс
Длина сваи (L)	9,2	м
Диаметр (сторона)	0,3	м
Толщина плиты	0,7	м
Вылет плиты за грань крайней сваи	0.25	м

Квадратные сваи

Приведенная нагрузка: N= 928,7 тс; M_y= 69,4 тс*м; M_x= 37,4 тс*м

2. - Выводы:



Требуемое количество свай 24 шт.

Ориентировочный шаг свай (для расчета осадки) 1,02 м

По расчету на продавливание рядовой сваей несущей способности плиты ДОСТАТОЧНО.

По расчету на продавливание угловой сваей несущей способности плиты ДОСТАТОЧНО.

Расположение свай принято равномерным по всей площади плиты.

Расчетный момент в плите $M = 1,7 \text{ тс}\cdot\text{м}$ (на погонный метр)

Армирование симметричное, шаг 200 мм во всех направлениях.

Защитный слой 35 мм в верхней, 70 мм в нижней зоне плиты.

Арматура d 5 А 400 в обоих направлениях.

Армирование свайной плиты следует уточнить, выполнив расчет плиты на естественном основании с

применением приведенного модуля деформации $E_{red} = 4892,2 \text{ тс}/\text{м}^2$

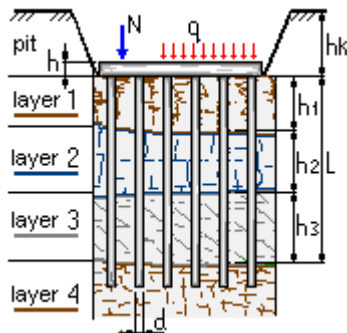
либо расчет плиты на упругих опорах (сваях) с коэффициентом упругости $7176,76 \text{ тс}/\text{м}$.



Результаты расчета

Расчет плиты на свайном основании

1. - Исходные данные:



Количество слоев 3

Характеристики грунта:

Номер слоя	Тип грунта	Модуль E	Ед. изм.	1 Точка, м	2 Точка, м	3 Точка, м	4 Точка, м
Слой 1	Глинистый	840	тс/м ²	h= 5,3	h= 5,3	h= 5,3	h= 5,3
Слой 2	Глинистый	1840	тс/м ²	h= 3	h= 3	h= 3	h= 3
Слой 3	Песчаный	2950	тс/м ²				

Исходные данные для расчета:

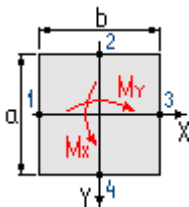
Прямоугольная плита

Наименование исходных данных	Величина	Ед. измерения
Длина вдоль Y	5,5	м
Ширина вдоль X	4,4	м
Допустимая расчетная нагрузка на сваю (Fd)	45,4	тс
Длина сваи (L)	9,2	м
Диаметр (сторона)	0,3	м
Толщина плиты	0,7	м
Вылет плиты за грань крайней сваи	0.15	м

Квадратные сваи

Приведенная нагрузка: $N = 928,7$ тс; $M_y = 69,4$ тс*м; $M_x = 37,4$ тс*м

2. - Выводы:



Требуемое количество свай 24 шт.

Ориентировочный шаг свай (для расчета осадки) 1,06 м

По расчету на продавливание рядовой сваей несущей способности плиты ДОСТАТОЧНО.

По расчету на продавливание угловой сваей несущей способности плиты ДОСТАТОЧНО.

Расположение свай принято равномерным по всей площади плиты.

Расчетный момент в плите $M = 1,7$ тс*м (на погонный метр)

Армирование симметричное, шаг 200 мм во всех направлениях.

Защитный слой 35 мм в верхней, 70 мм в нижней зоне плиты.

Арматура d 5 А 400 в обоих направлениях.

Армирование свайной плиты следует уточнить, выполнив расчет плиты на естественном основании с

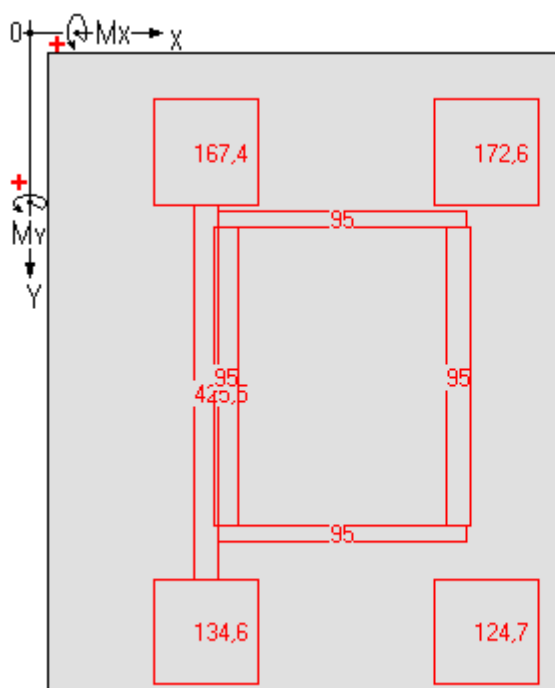
применением приведенного модуля деформации $E_{red} = 4962,57$ тс/м²

либо расчет плиты на упругих опорах (сваях) с коэффициентом упругости 7213,61 тс/м

Результаты расчета

Расчет плиты. Ростверк РМ2

1. - Исходные данные:



Длина вдоль X 4,4 м
 Ширина вдоль Y 5,5 м
 Толщина плиты 0,7 м

Характеристики грунта Суглинки
 Модуль деформации грунта 4890 тс/м²
 Коэффициент постели 7090,5 (тс/м)/м²

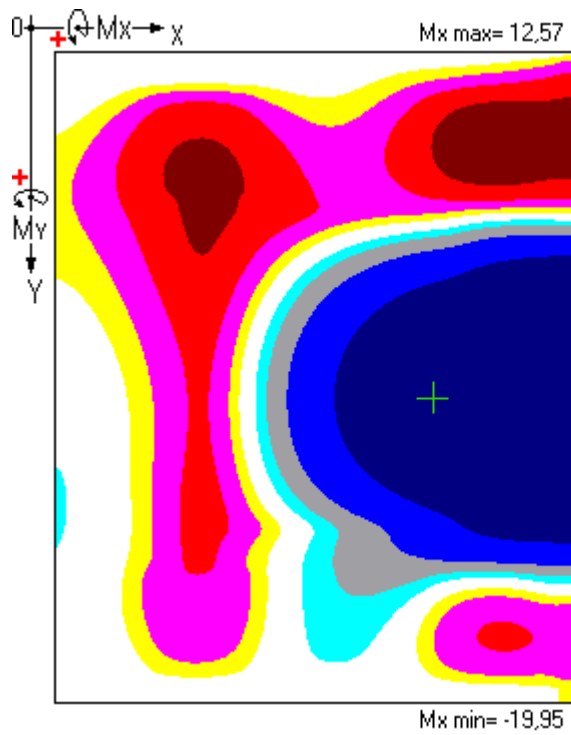
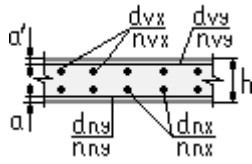
Расчетные нагрузки на конструкцию:

Полосовые нагрузки	начало x,y (м),	конец x,y (м),	величина q (тс/м ²),	Ширина (м)
1	1,35;0,4	1,35;1,3	167,4	0,9
2	1,35;4,5	1,35;5,4	134,6	0,9
3	3,75;4,5	3,75;5,4	124,7	0,9
4	3,75;0,4	3,75;1,3	172,6	0,9
5	1,35;1,3	1,35;4,5	425,5	0,2
6	2,52;1,35	2,52;1,49	95	2,13
7	2,52;4,04	2,52;4,18	95	2,13
8	1,52;1,49	1,52;4,04	95	0,2
9	3,51;1,49	3,51;4,04	95	0,2

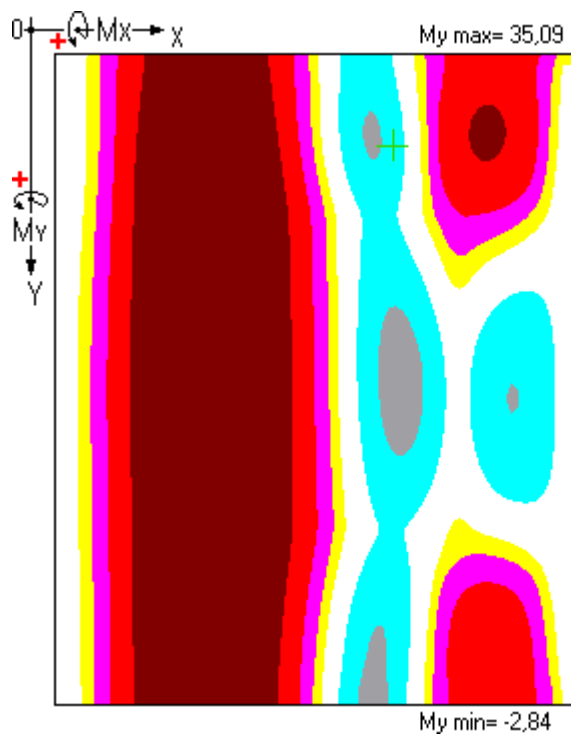
Приведенные суммарные нагрузки на плиту:

$N = 948,26 \text{ тс}; \quad M_x = -36,57 \text{ тс*м}; \quad M_y = -87,12 \text{ тс*м}$

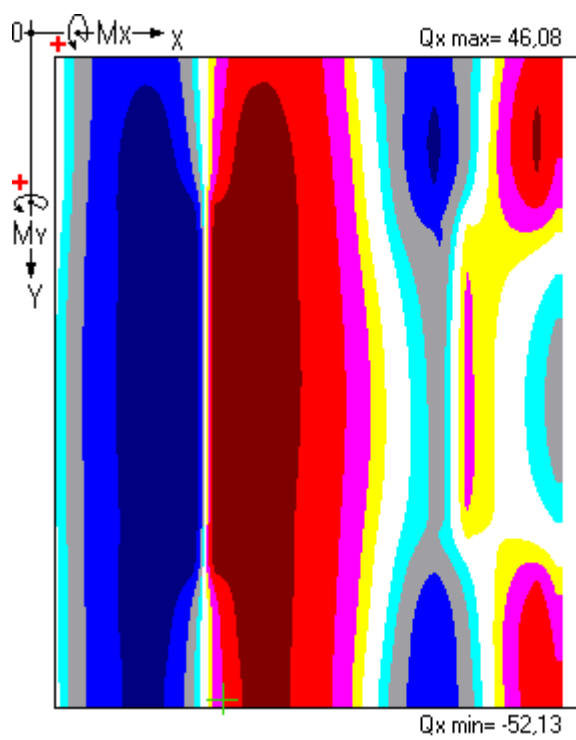
2. - Выводы:



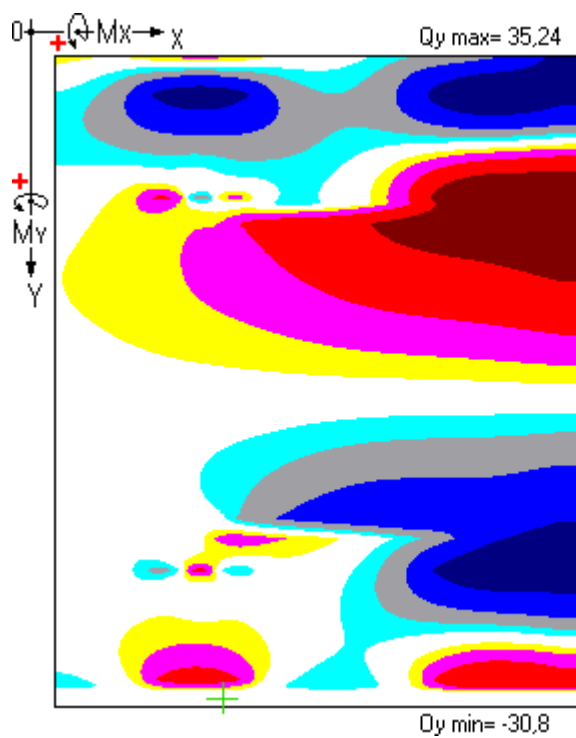
Эпюра моментов вокруг оси X



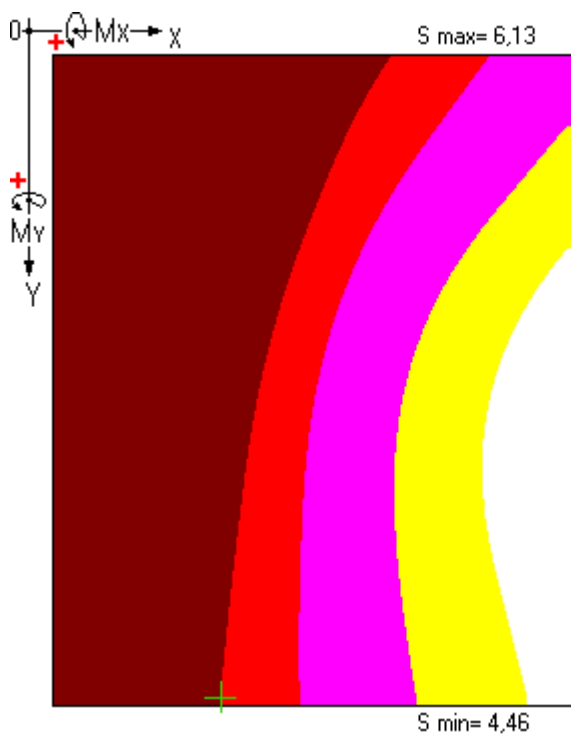
Эпюра моментов вокруг оси Y



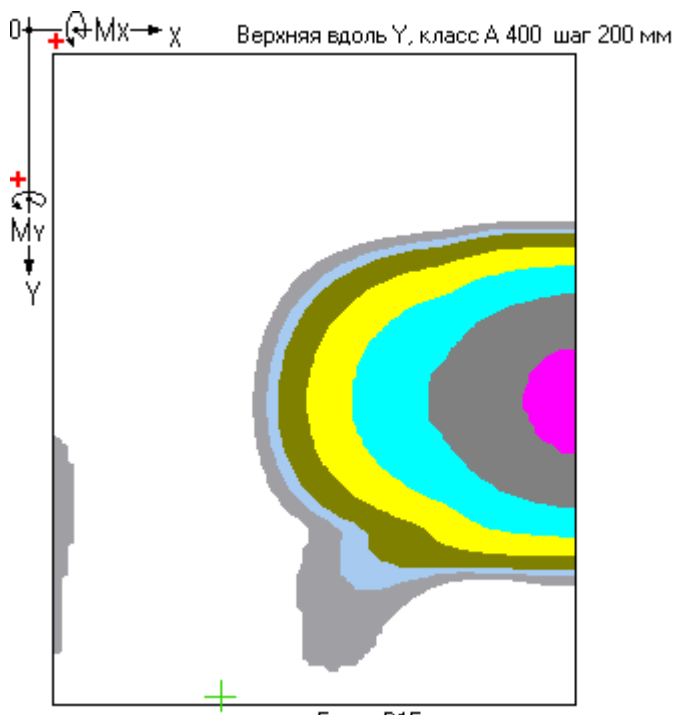
Экюра поперечных сил вдоль оси X



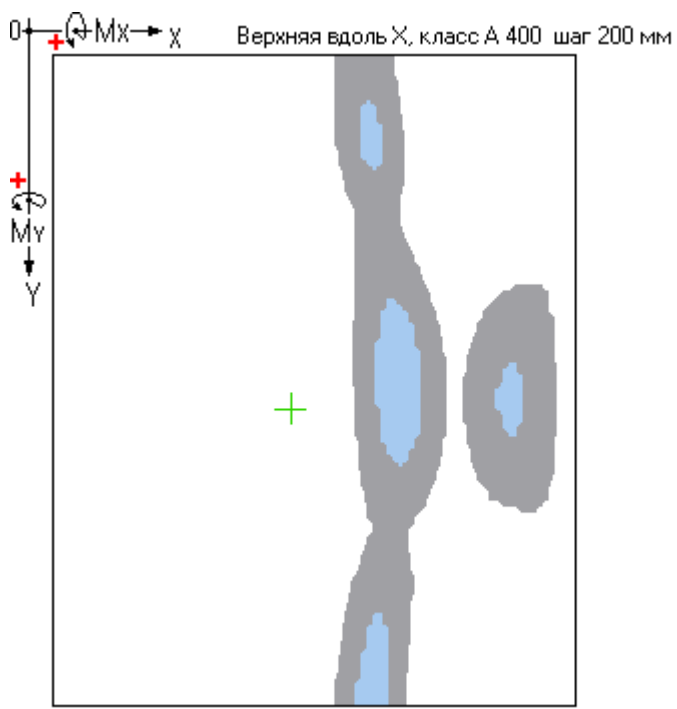
Экюра поперечных сил вдоль оси Y



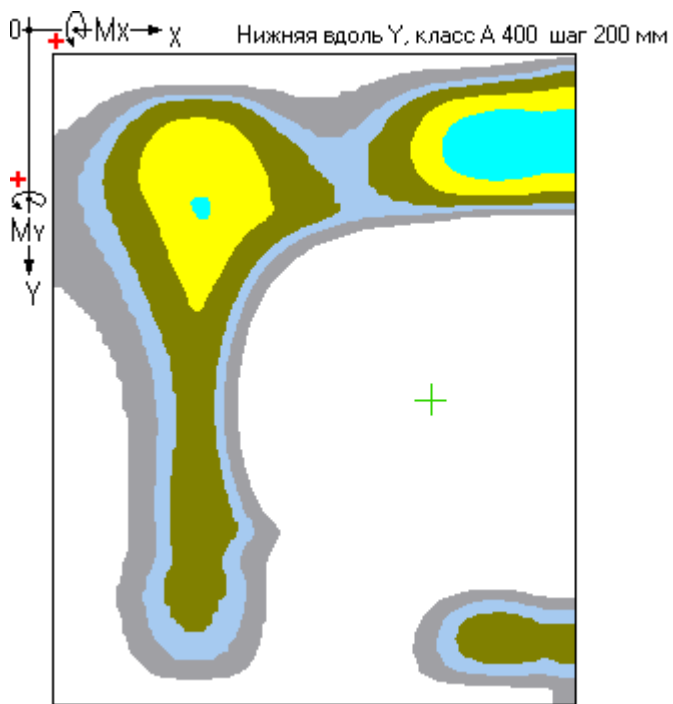
Эпюра вертикальных перемещений, мм



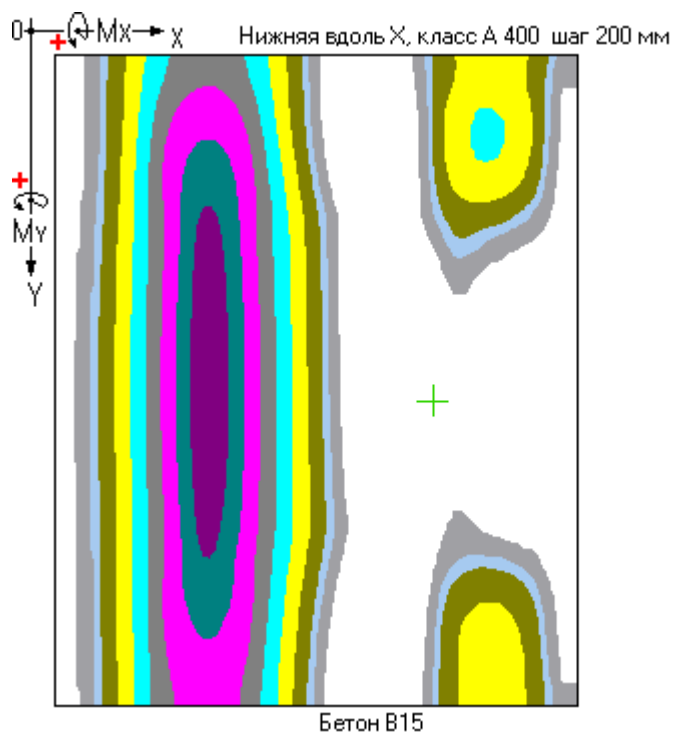
Верхнее армирование плиты вдоль оси Y, d, мм
Бетон В15








Верхнее армирование плиты вдоль оси X, d , мм



Нижнее армирование плиты вдоль оси Y, d , мм



Нижнее армирование плиты вдоль оси X, d, мм

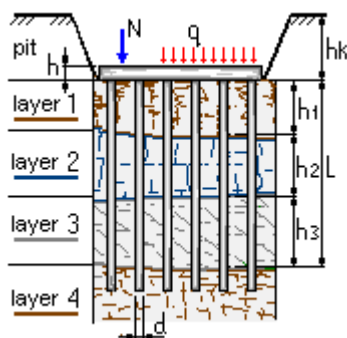
 d=3-5 мм	 d=10 мм	 d=16 мм	 d=22 мм	 d=32 мм
 d=6 мм	 d=12 мм	 d=18 мм	 d=25 мм	 d=36 мм
 d=8 мм	 d=14 мм	 d=20 мм	 d=28 мм	 d=40 мм

Цветовая палитра полей армирования

Результаты расчета

Расчет плиты на свайном основании

1. - Исходные данные:



Количество слоев 2

Характеристики грунта:

Номер слоя	Тип грунта	Модуль E	Ед. изм.	1 Точка, м	2 Точка, м	3 Точка, м	4 Точка, м
Слой 1	Глинистый	800	тс/м ²	h= 7,6	h= 7,6	h= 7,6	h= 7,6
Слой 2	Песчаный	2800	тс/м ²				

Исходные данные для расчета:

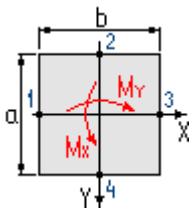
Прямоугольная плита

Наименование исходных данных	Величина	Ед. измерения
Длина вдоль Y	2	м
Ширина вдоль X	2,5	м
Допустимая расчетная нагрузка на сваю (Fd)	40	тс
Длина сваи (L)	8,5	м
Диаметр (сторона)	0,3	м
Толщина плиты	0,7	м
Вылет плиты за грань крайней сваи	0,1	м

Квадратные сваи

Приведенная нагрузка: N= 245,4 тс; M_y= 1,2 тс*м; M_x= 1,7 тс*м

2. - Выводы:



Требуемое количество свай 7 шт.

Ориентировочный шаг свай (для расчета осадки) 0,93 м

По расчету на продавливание рядовой сваей несущей способности плиты ДОСТАТОЧНО.

По расчету на продавливание угловой сваей несущей способности плиты ДОСТАТОЧНО.

Расположение свай принято равномерным по всей площади плиты.

Расчетный момент в плите $M = 4,11$ тс*м (на погонный метр)

Армирование симметричное, шаг 200 мм во всех направлениях.

Защитный слой 35 мм в верхней, 70 мм в нижней зоне плиты.

Арматура d 8 А 400 в обоих направлениях.

Армирование свайной плиты следует уточнить, выполнив расчет плиты на естественном основании с

применением приведенного модуля деформации $E_{red} = 5285,97$ тс/м²

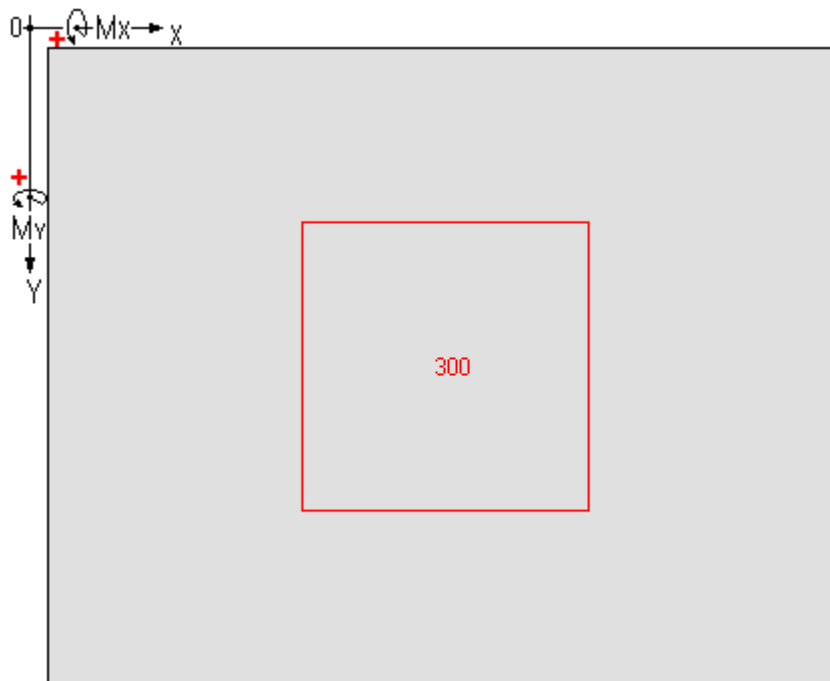
либо расчет плиты на упругих опорах (сваях) с коэффициентом упругости 5665,6 тс/м



Результаты расчета

Расчет плиты. Ростверк РМЗ.

1. - Исходные данные:



Длина вдоль X 2,5 м
 Ширина вдоль Y 2 м
 Толщина плиты 0,7 м

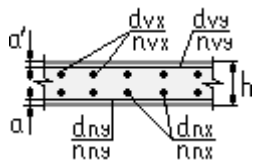
Характеристики грунта Суглинки
 Модуль деформации грунта 5290 тс/м²
 Коэффициент постели 7670,5 (тс/м)/м²

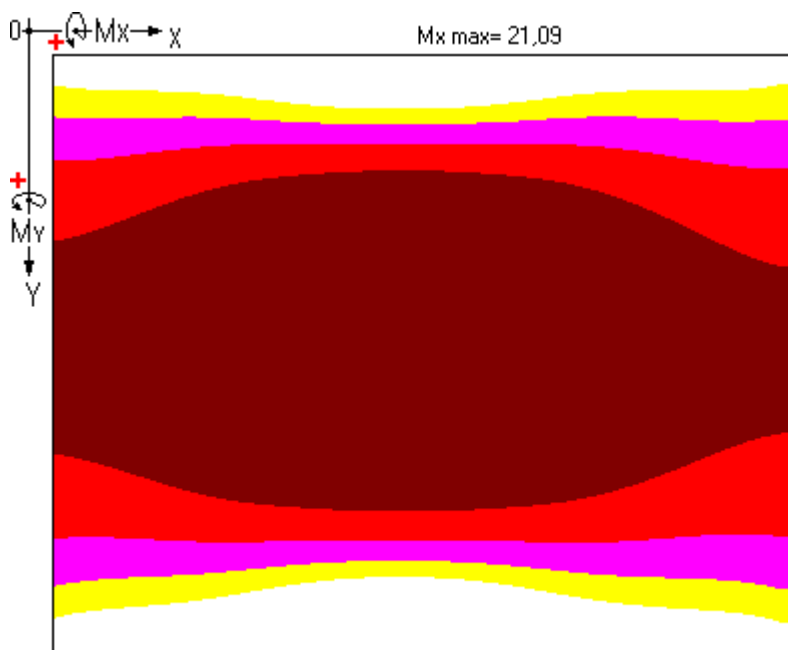
Расчетные нагрузки на конструкцию:

Полосовые нагрузки	начало x,y (м),	конец x,y (м),	величина q (тс/м ²),	Ширина (м)
1	0,8;1	1,7;1	300	0,9

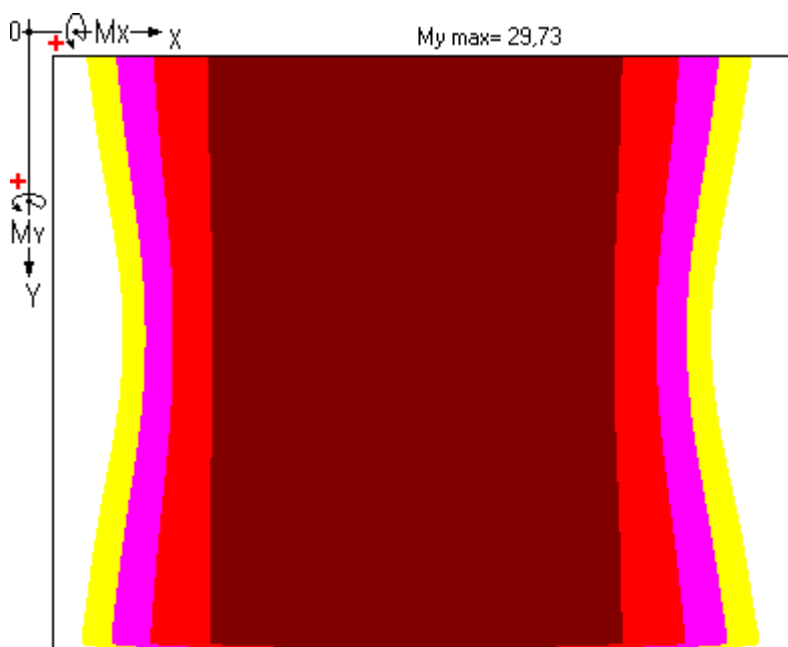
Приведенные суммарные нагрузки на плиту:
 N= 243 тс; Mx= -9,11 тс*м; My= -9,11 тс*м

2. - Выводы:

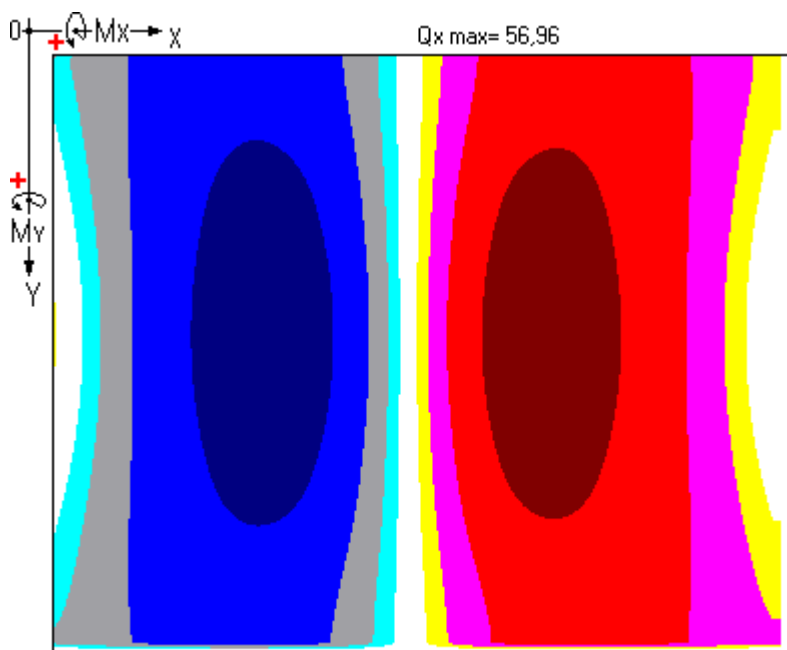




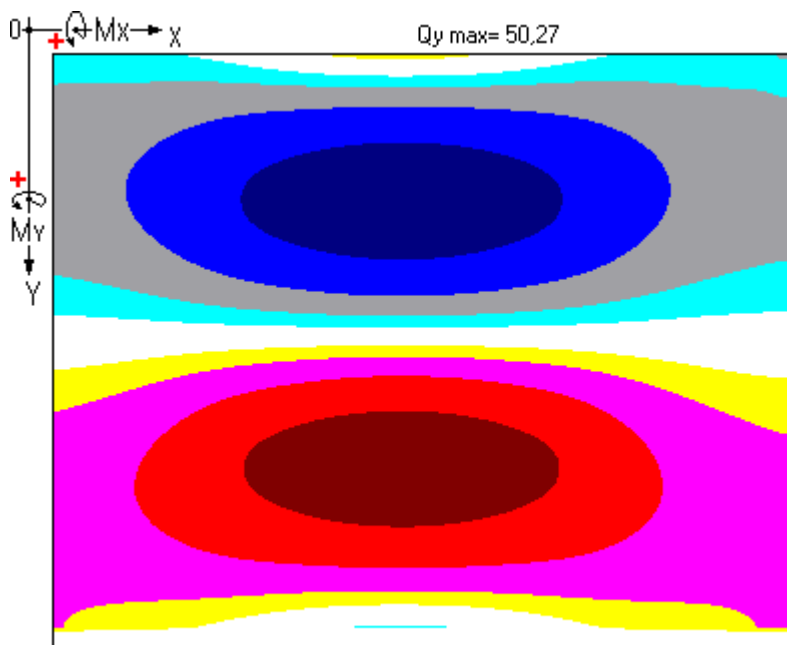
Эпюра моментов вокруг оси X



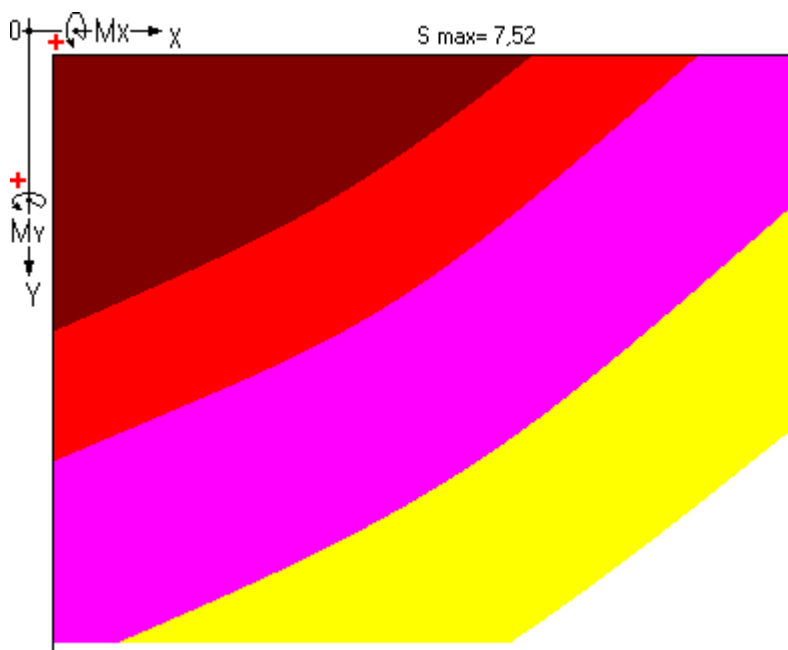
Эпюра моментов вокруг оси Y



Экюра поперечных сил вдоль оси X



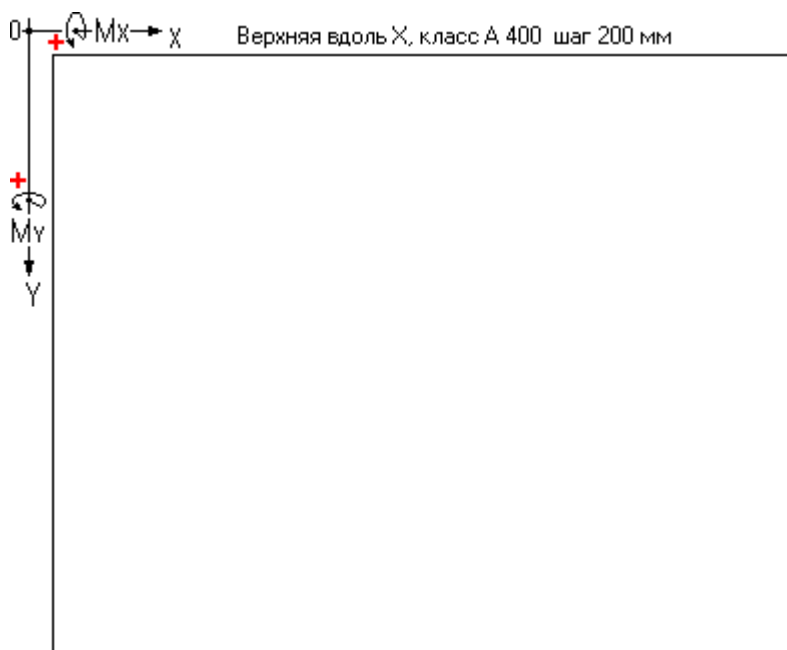
Экюра поперечных сил вдоль оси Y



Эпюра вертикальных перемещений, мм $S_{min} = 4,96$

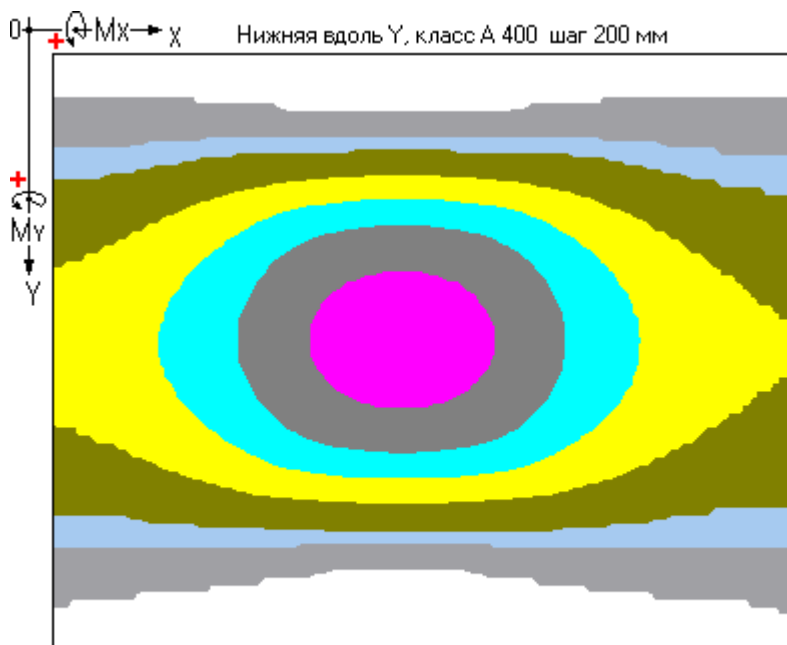


Бетон В15
Верхнее армирование плиты вдоль оси Y, d, мм



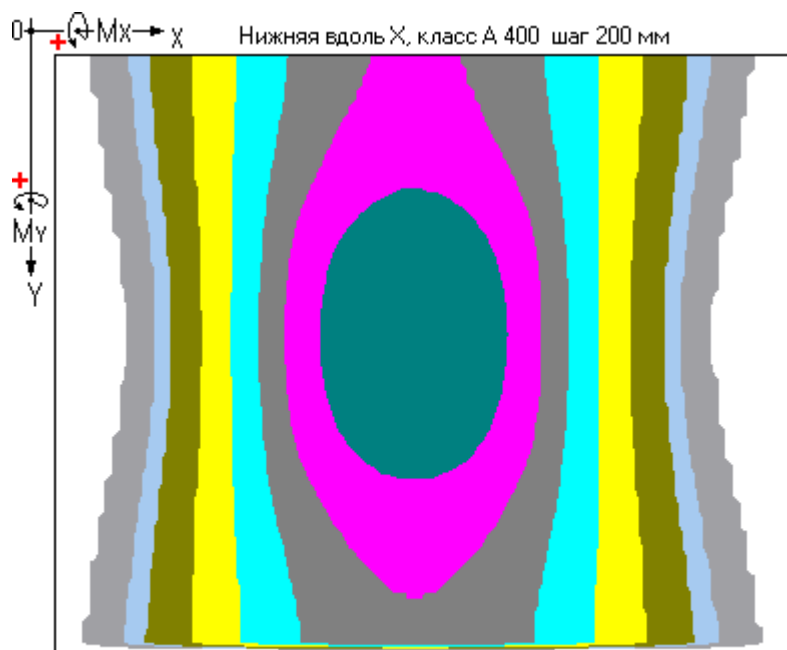
Бетон В15

Верхнее армирование плиты вдоль оси X, d , мм



Бетон В15

Нижнее армирование плиты вдоль оси Y, d , мм



Бетон В15

Нижнее армирование плиты вдоль оси X, d, мм

 d=3-5 мм	 d=10 мм	 d=16 мм	 d=22 мм	 d=32 мм
 d=6 мм	 d=12 мм	 d=18 мм	 d=25 мм	 d=36 мм
 d=8 мм	 d=14 мм	 d=20 мм	 d=28 мм	 d=40 мм

Цветовая палитра полей армирования

Расчет балок прямоугольного сечения по прочности при изгибе в одной плоскости. Нижняя арматура вдоль оси X.

Информация о расчете:

Дата выполнения расчета: 16.11.2021 11:03:19;

Исходные данные:

Защитный слой:

- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S до грани сечения
 $a_s = 7 \text{ см} = 7 / 100 = 0,07 \text{ м};$

- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S' до грани сечения
 $a'_s = 4 \text{ см} = 4 / 100 = 0,04 \text{ м};$

Площадь ненапрягаемой наиболее растянутой продольной арматуры:

(Стержневая арматура, диаметром 16 мм; 7 шт.):

- Площадь ненапрягаемой растянутой арматуры
 $A_s = 14,1 \text{ см}^2 = 14,1 / 10000 = 0,00141 \text{ м}^2;$

Площадь ненапрягаемой сжатой или наименее растянутой продольной арматуры:

(Стержневая арматура, диаметром 10 мм; 7 шт.):

- Площадь ненапрягаемой сжатой арматуры $A'_s = 5,5 \text{ см}^2 = 5,5 / 10000 = 0,00055 \text{ м}^2$;

Площадь поперечной арматуры:

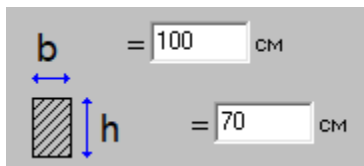
(Стержневая арматура, диаметром 10 мм; 7 шт.):

- Площадь поперечной арматуры $A_{sw} = 5,5 \text{ см}^2 = 5,5 / 10000 = 0,00055 \text{ м}^2$;

Поперечная арматура:

- Шаг стержней поперечной арматуры $s_w = 20 \text{ см} = 20 / 100 = 0,2 \text{ м}$;

Размеры сечения:



- Высота сечения $h = 70 \text{ см} = 70 / 100 = 0,7 \text{ м}$;

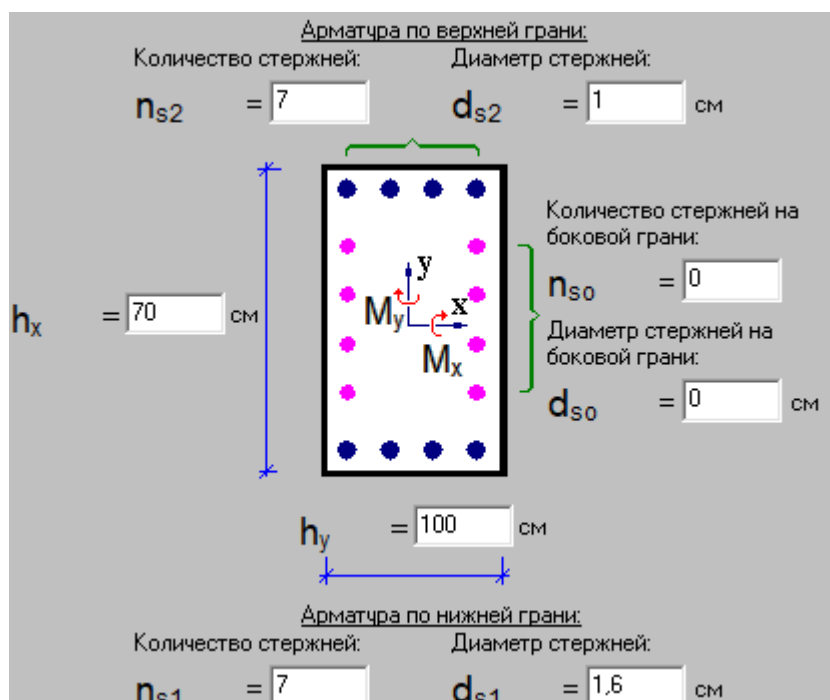
- Ширина прямоугольного сечения $b = 100 \text{ см} = 100 / 100 = 1 \text{ м}$;

Усилия:

- Изгибающий момент $M = 30 \text{ тс м} = 30 / 101,97162123 = 0,2942 \text{ МН м}$;

- Поперечная сила $Q = 60 \text{ тс} = 60 / 101,97162123 = 0,5884 \text{ МН}$;

Характеристики арматуры при расчете на кручение:



- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у нижней грани элемента

$$d_{s1} = 1,6 \text{ см} = 1,6 / 100 = 0,016 \text{ м};$$

- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у нижней грани элемента $n_{s1} = 7$;

- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у верхней грани элемента

$$d_{s2} = 1 \text{ см} = 1 / 100 = 0,01 \text{ м};$$

- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у верхней грани элемента $n_{s2} = 7$;

- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у боковой грани элемента

$$d_{so} = 0 \text{ см} = 0 / 100 = 0 \text{ м};$$

- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у боковой грани элемента $n_{so} = 0$;

Результаты расчета:

1) Расчетное сопротивление бетона

Конструкция - железобетонная.

Предварительное напряжение арматуры - отсутствует.

Класс бетона - В25.

Бетон - тяжелый.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{bn} = 18,5 \text{ МПа}$.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{btn} = 1,55 \text{ МПа}$.

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию принимается по табл. 6.8 $R_b = 14,5 \text{ МПа}$.

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению принимается по табл. 6.8 $R_{bt} = 1,05 \text{ МПа}$.

Класс бетона по прочности:
 $B = 25$.

2) Продолжение расчета по п. п. 8.1 СП 63.13330.2012

Расчет - балок.

Элемент - изгибаемый.

Изгиб элемента - в одной плоскости.

3) Учет особенностей работы бетона в конструкции

Действие нагрузки - продолжительное.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий длительность действия нагрузки:

$$\gamma_{b1} = 0,9 .$$

Конструкция бетонируется - в горизонтальном положении.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий бетонирование в вертикальном положении:

$$\gamma_{b3} = 1 .$$

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий характер разрушения ячеистого бетона:

$$\gamma_{b4} = 1 .$$

Для надземной конструкции, при расчетной температуре наружного воздуха в зимний период не менее -40 град.:

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий влияние попеременного замораживания и оттаивания:

$$\gamma_{b5} = 1 .$$

Группа предельных состояний - первая.

Сейсмичность площадки строительства - не более 6 баллов.

Коэффициент условия работы по СП 14.13330 "Строительство в сейсмических районах":

$$m_{кр} = 1 .$$

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию при $m_{кр} = 1$:

$$R_b = \gamma_{b1} \gamma_{b3} \gamma_{b4} \gamma_{b5} R_{b0} = \\ = 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 14,5 = 13,05 \text{ МПа} .$$

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию:

$$R_b = m_{кр} \gamma_{b1} \gamma_{b3} \gamma_{b4} \gamma_{b5} R_{b0} = \\ = 1 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 14,5 = 13,05 \text{ МПа} .$$

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению при расчете на действие поперечных сил:

$$R_{bt} = \gamma_{b1} R_{bt0} = 0,9 \cdot 1,05 = 0,945 \text{ МПа} .$$

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению:

$$R_{bt} = m_{кр} \gamma_{b1} R_{bt0} = 1 \cdot 0,9 \cdot 1,05 = 0,945 \text{ МПа} .$$

4) Определение значения начального модуля упругости бетона

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000 \text{ МПа} .$

5) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Т.к. $\gamma_{b1} < 1$:

Относительная влажность воздуха окружающей среды - выше 75%.

Коэффициент ползучести принимается по табл. 6.12 $\varphi_{b, cr} = 1,8$.

6) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Начальный модуль упругости, принимаемый при продолжительном действии нагрузки:

$$E_b, \tau = E_b / (1 + \varphi_{b, cr}) = \\ = 30000 / (1 + 1,8) = 10714,28571 \text{ МПа (формула (6.3); п. 6.1.15).}$$

7) Расчетные значения прочностных характеристик арматуры

Класс ненапрягаемой продольной арматуры - А400.

Расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению:
 $R_s = 350 \text{ МПа .}$

Расчетное сопротивление продольной арматуры сжатию:
 $R_{sc} = 350 \text{ МПа .}$

Поперечная арматура - рассматривается в данном расчете.

Класс поперечной арматуры - А400.

Расчетное сопротивление поперечной арматуры растяжению:
 $R_{sw} = 280 \text{ МПа .}$

Расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению:
 $R_s = m_{кр} R_s = 1 \cdot 350 = 350 \text{ МПа .}$

Расчетное сопротивление продольной арматуры сжатию:
 $R_{sc} = m_{кр} R_{sc} = 1 \cdot 350 = 350 \text{ МПа .}$

8) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:
 $E_s = 200000 \text{ МПа .}$

9) Определение граничной относительной высоты сжатой зоны

Относительная деформация растянутой арматуры:
 $\epsilon_{s, el} = R_s / E_s = 350 / 200000 = 0,00175 \text{ (формула (8.2); п. 8.1.6).}$

Относительная деформация бетона:
 $\epsilon_{b2} = 0,0035$.

10) Продолжение расчета по п. п. 8.1.6 СП 63.13330.2012

Граничная относительная высота сжатой зоны:
 $\xi_R = 0,8/(1+\epsilon_{s,el}/\epsilon_{b2}) =$
 $= 0,8/(1+0,00175/0,0035) = 0,53333$ (формула (8.1); п. 8.1.6).

11) Расчет изгибаемых элементов

Сечение - прямоугольное.

Т.к. $R_s A_s = 350 \cdot 0,00141 = 0,4935$ МН = 50,323 тс $> R_{sc} A'_s = 350 \cdot 0,00055 =$
 $0,1925$ МН = 19,62954 тс :

Высота сжатой зоны:
 $x = (R_s A_s - R_{sc} A'_s)/(R_b b) =$
 $= (350 \cdot 0,00141 - 350 \cdot 0,00055)/(13,05 \cdot 1) = 0,02307$ м = 2,31 см (формула (8.5); п. 8.1).

Рабочая высота сечения:
 $h_0 = h - a_s = 0,7 - 0,07 = 0,63$ м = 63 см .

Относительная высота сжатой зоны:
 $\xi = x/h_0 = 0,02307/0,63 = 0,03662$.

Т.к. $\xi = 0,03662 \leq \xi_R = 0,53333$; $x > 0$ м = 0 см :

Предельный изгибающий момент:
 $M_{ult} = R_b b x (h_0 - 0,5 x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a'_s) =$
 $= 13,05 \cdot 1 \cdot 0,02307 \cdot (0,63 - 0,5 \cdot 0,02307) + 350 \cdot 0,00055 \cdot (0,63 - 0,04) = 0,29977$ МН м =
 $30,57$ тс м (формула (8.4); п. 8.1.9).

$M = 0,2942$ МН м = 30,00005 тс м $\leq M_{ult} = 0,29977$ МН м = 30,56803 тс м
(98,14191% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.3); п. п. 8.1.8).

12) Определение значения начального модуля упругости бетона

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000$ МПа .

13) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Т.к. $\gamma_{b1} < 1$:

Коэффициент ползучести принимается по табл. 6.12 $\varphi_{b,cr} = 1,8$.

14) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Начальный модуль упругости, принимаемый при продолжительном действии нагрузки:

$$E_b, \tau = E_b / (1 + \varphi_{b, cr}) = \\ = 30000 / (1 + 1,8) = 10714,28571 \text{ МПа (формула (6.3); п. 6.1.15).}$$

15) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа .}$$

16) Определение характеристик приведенного сечения

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:

$$\alpha_s = E_s / E_b = 200000 / 10714,29 = 18,66666 .$$

$$h'_o = h - a'_s = 0,7 - 0,04 = 0,66 \text{ м} = 66 \text{ см} .$$

Площадь сечения:

$$A = b h = 1 \cdot 0,7 = 0,7 \text{ м}^2 = 7000 \text{ см}^2 .$$

Статический момент бетонного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_t = b h^2 / 2 = 1 \cdot 0,7^2 / 2 = 0,245 \text{ м}^3 = 245000 \text{ см}^3 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00055 - 0,00141 = 0,69804 \text{ м}^2 = 6980,4 \text{ см}^2 .$$

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{red} = \alpha_s (A_s + A'_s) + A_b = 18,66666 \cdot (0,00141 + 0,00055) + 0,69804 = 0,73463 \text{ м}^2 = 7346,3 \text{ см}^2 .$$

Статический момент приведенного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_{t, red} = (\alpha_s - 1) (A_s a_s + A'_s (h - a'_s)) + b h^2 / 2 = \\ = (18,66666 - 1) \cdot (0,00141 \cdot 0,07 + 0,00055 \cdot (0,7 - 0,04)) + 1 \cdot 0,7^2 / 2 = 0,25316 \text{ м}^3 = 253160 \text{ см}^3 .$$

Координата центра тяжести расчетного контура:

$$y_o = S_{t, red} / A_{red} = 0,25316 / 0,73463 = 0,34461 \text{ м} = 34,46 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее растянутого волокна бетона до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_t = y_o = 0,34461 \text{ м} = 34,46 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_c = h - y_t = 0,7 - 0,34461 = 0,35539 \text{ м} = 35,54 \text{ см} .$$

$$y_s = y_o - a_s = 0,34461 - 0,07 = 0,27461 \text{ м} = 27,46 \text{ см} .$$

$$y'_s = h - a_s - a'_s - y_s = 0,7 - 0,07 - 0,04 - 0,27461 = 0,31539 \text{ м} = 31,54 \text{ см} .$$

Момент инерции бетонного сечения относительно центра тяжести приведенного сечения:

$$I = b h^3 / 12 + A (h/2 - y_t)^2 = \\ = 1 \cdot 0,7^3 / 12 + 0,7 \cdot (0,7/2 - 0,34461)^2 = 0,0286 \text{ м}^4 = 2860000 \text{ см}^4 .$$

17) Определение момента образования трещин

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:

$$R_{b, \text{ser}} = R_{bn} = 18,5 \text{ МПа} .$$

Расчетное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний второй группы:

$$R_{bt, \text{ser}} = R_{btn} = 1,55 \text{ МПа} .$$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_c)^2 = 0,00141 \cdot (0,7 - 0,07 - 0,35539)^2 = 0,000106329 \text{ м}^4 = 10632,9 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$I'_s = A'_s (y_c - a'_s)^2 = \\ = 0,00055 \cdot (0,35539 - 0,04)^2 = 0,000054709 \text{ м}^4 = 5470,9 \text{ см}^4 .$$

18) Продолжение расчета по п. п. 8.2.12 СП 63.13330.2012

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{\text{red}} = I + I_s (\alpha_s - 1) + I'_s (\alpha_s - 1) = \\ = 0,0286 + 0,000106329 \cdot (18,66666 - 1) + 0,000054709 \cdot (18,66666 - 1) = 0,03145 \text{ м}^4 = \\ = 3145000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.125); п. 8.2.12)} .$$

Упругий момент сопротивления приведенного сечения:

$$W_{\text{red}} = I_{\text{red}} / y_t = 0,03145 / 0,34461 = 0,09126 \text{ м}^3 = 91260 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.123); п. 8.2.12)} .$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны:

$$e_x = W_{\text{red}} / A_{\text{red}} = 0,09126 / 0,73463 = 0,12423 \text{ м} = 12,42 \text{ см} \text{ (формула (8.124); п. 8.2.12)} .$$

Момент образования трещин определяется - с учетом неупругих деформаций.

Упругопластический момент сопротивления сечения:

$$W_{\text{pl}} = 1,3 W_{\text{red}} = 1,3 \cdot 0,09126 = 0,11864 \text{ м}^3 = 118640 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.122); п. 8.2.11)} .$$

Изгибающий момент, воспринимаемый нормальным сечением элемента при образовании трещин:

$M_{crc} = R_{bt, ser} W_{pl} = 1,55 \cdot 0,11864 = 0,18389 \text{ МН м} = 18,75 \text{ тс м}$ (формула (8.121); п. 8.2.11).

19) Проверка необходимости увеличения площади сечения продольной растянутой арматуры, если предельное усилие по прочности меньше предельного усилия по образованию трещин

Т.к. $M_{ult} = 0,29977 \text{ МН м} = 30,56803 \text{ тс м} \geq M_{crc} = 0,18389 \text{ МН м} = 18,75156 \text{ тс м}$:

в соответствии с п. 8.1.3 при M_{ult} не менее M_{crc} площадь сечения растянутой продольной арматуры не должна быть увеличена по сравнению с требуемой.

20) Проверка необходимости сжатой арматуры

(проверяем несущую способность, предполагая отсутствие сжатой арматуры)

Высота сжатой зоны:

$$x = R_s A_s / (R_b b) = 350 \cdot 0,00141 / (13,05 \cdot 1) = 0,03782 \text{ м} = 3,78 \text{ см}$$
 (формула (8.5); п. 8.1).

Относительная высота сжатой зоны:

$$\xi = x/h_0 = 0,03782/0,63 = 0,06003 .$$

Т.к. $\xi = 0,06003 \leq \xi_R = 0,53333$:

Предельный изгибающий момент:

$$M_{ult} = R_b b x (h_0 - 0,5 x) = 13,05 \cdot 1 \cdot 0,03782 \cdot (0,63 - 0,5 \cdot 0,03782) = 0,3016 \text{ МН м} = 30,75 \text{ тс м}$$
 (формула (8.4); п. 8.1).

21) Продолжение расчета по п. п. 8.1.8 СП 63.13330.2012

Т.к. $M = 0,2942 \text{ МН м} = 30,00005 \text{ тс м} \leq M_{ult} = 0,3016 \text{ МН м} = 30,75464 \text{ тс м}$:

- сжатая арматура по расчету не требуется, поэтому не требуется устанавливать поперечную арматуру в соответствии с п. 10.3.14.

22) Расчет железобетонных элементов по полосе между наклонными сечениями

Коэффициент:

$$\varphi_{b1} = 0,3 .$$

Приведенное значение толщины защитного слоя растянутой арматуры:

$$a = a_s = 0,07 \text{ м} = 7 \text{ см} .$$

Приведенное значение толщины защитного слоя сжатой арматуры:

$$a' = a'_s = 0,04 \text{ м} = 4 \text{ см} .$$

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a = 0,7 - 0,07 = 0,63 \text{ м} = 63 \text{ см} .$$

23) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа} .$$

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:

$$\alpha_s = E_s / E_b = 200000 / 10714,29 = 18,66666 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00055 - 0,00141 = 0,69804 \text{ м}^2 = 6980,4 \text{ см}^2 .$$

Приведенная площадь сечения элемента с учетом продольной арматуры:

$$\begin{aligned} A &= A_b + \alpha_s (A'_s + A_s) = \\ &= 0,69804 + 18,66666 \cdot (0,00055 + 0,00141) = 0,73463 \text{ м}^2 = 7346,3 \text{ см}^2 . \end{aligned}$$

Коэффициент, учитывающий влияние сжимающих и растягивающих напряжений:

$$\varphi_n = 1 .$$

$$\begin{aligned} Q &= 0,5884 \text{ МН} = 60,0001 \text{ тс} \leq \varphi_n \varphi_{b1} R_b b h_0 = 1 \cdot 0,3 \cdot 13,05 \cdot 1 \cdot 0,63 = 2,46645 \\ \text{МН} &= 251,50791 \text{ тс} \text{ (23,85615\% от предельного значения)} - \text{условие выполнено} \\ &\text{(формула (8.55); п. 8.1.32)} . \end{aligned}$$

24) Расчет железобетонных элементов по наклонным сечениям на действие поперечных сил

Коэффициент:

$$\varphi_{b2} = 1,5 .$$

Расчет - по упрощенным формулам, полученным на основе анализа СП 63.13330.2012.

Коэффициент:

$$\varphi_{sw} = 0,75 .$$

Усилия в поперечной арматуре на единицу длины:

$$q_{sw} = R_{sw} A_{sw} / s_w = 280 \cdot 0,00055 / 0,2 = 0,77 \text{ МН/м} = 78,52 \text{ тс/м} \text{ (формула (8.59); п. 8.1.33)} .$$

Длина проекции наклонного сечения:

$$\begin{aligned} c &= \sqrt{2 R_{bt} b h_0^2 / q_{sw}} = \\ &= \sqrt{2 \cdot 0,945 \cdot 1 \cdot 0,63^2 / 0,77} = 0,98702 \text{ м} = 98,7 \text{ см} . \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Т.к. } c &= 0,98702 \text{ м} = 98,702 \text{ см} \leq 2 h_0 = 2 \cdot 0,63 = 1,26 \text{ м} = 126 \text{ см} \text{ и } c = 0,98702 \text{ м} \\ &= 98,702 \text{ см} \geq h_0 = 0,63 \text{ м} = 63 \text{ см} : \end{aligned}$$

Поперечная сила, воспринимаемая бетоном:

$$Q_b = \varphi_{b2} R_{bt} b h_o^2 / c = \\ = 1,5 \cdot 0,945 \cdot 1 \cdot 0,63^2 / 0,98702 = 0,57 \text{ МН} = 58,12 \text{ тс (формула (8.57); п. 8.1.33).}$$

Усилие в поперечной арматуре:

$$Q_{sw} = \varphi_{sw} q_{sw} c = \\ = 0,75 \cdot 0,77 \cdot 0,98702 = 0,57 \text{ МН} = 58,12 \text{ тс (формула (8.58); п. 8.1.33).}$$

$$q_{sw} = 0,77 \text{ МН} = 78,51815 \text{ тс} \geq 0,25 R_{bt} b = 0,25 \cdot 0,945 \cdot 1 = 0,23625 \text{ МН} = \\ 24,0908 \text{ тс (325,92593\% от предельного значения) - условие выполнено .}$$

$$Q = 0,5884 \text{ МН} = 60,0001 \text{ тс} \leq R_{bt} b h_o^2 / s_w = 0,945 \cdot 1 \cdot 0,63^2 / 0,2 = 1,87535 \text{ МН} = \\ 191,23273 \text{ тс (31,37543\% от предельного значения) - условие выполнено .}$$

(из требования по ограничению шага арматуры)

$$s_w = 0,2 \text{ м} = 20 \text{ см} \leq \min(0,5 h_o ; 0,3) = \min(0,5 \cdot 0,63; 0,3) = 0,3 \text{ м} = 30 \text{ см} \\ (66,66667\% от предельного значения) - условие выполнено .$$

25) Продолжение расчета по п. п. 8.1.33 СП 63.13330.2012

Коэффициент, учитывающий влияние сжимающих и растягивающих напряжений:

$$\varphi_n = 1 .$$

$$Q = 0,5884 \text{ МН} = 60,0001 \text{ тс} \leq \varphi_n Q_b + Q_{sw} = 1 \cdot 0,57 + 0,57 = 1,14 \text{ МН} = 116,24765 \\ \text{ тс (51,61404\% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.56); п.} \\ 8.1.33).$$

26) Проверка требования минимального процента армирования

Арматура расположена по контуру сечения - не равномерно.

Рабочая высота сечения:

$$h_o = h - a_s = 0,7 - 0,07 = 0,63 \text{ м} = 63 \text{ см} .$$

Коэффициент армирования:

$$\mu_s = A_s / (b h_o) 100 = 0,00141 / (1 \cdot 0,63) \cdot 100 = 0,22381 \% .$$

$$\mu_s \geq 0,1 \% (223,81\% от предельного значения) - условие выполнено .$$

Расчет балок прямоугольного сечения по трещиностойкости. Нижняя арматура вдоль оси X.

Информация о расчете:

Дата выполнения расчета: 16.11.2021 11:11:09;

Исходные данные:

Защитный слой:

- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S до грани сечения
 $a_s = 7 \text{ см} = 7 / 100 = 0,07 \text{ м};$

- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S' до грани сечения
 $a'_s = 4 \text{ см} = 4 / 100 = 0,04 \text{ м};$

Номинальный диаметр продольной арматуры:

- Номинальный диаметр продольной ненапрягаемой арматуры растянутой зоны
 $d_s = 16 \text{ мм};$

Площадь ненапрягаемой наиболее растянутой продольной арматуры:

(Стержневая арматура, диаметром 16 мм; 7 шт.):

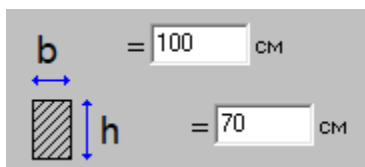
- Площадь ненапрягаемой растянутой арматуры
 $A_s = 14,1 \text{ см}^2 = 14,1 / 10000 = 0,00141 \text{ м}^2;$

Площадь ненапрягаемой сжатой или наименее растянутой продольной арматуры:

(Стержневая арматура, диаметром 10 мм; 7 шт.):

- Площадь ненапрягаемой сжатой арматуры $A'_s = 5,5 \text{ см}^2 = 5,5 / 10000 = 0,00055 \text{ м}^2;$

Размеры сечения:



- Высота сечения $h = 70 \text{ см} = 70 / 100 = 0,7 \text{ м};$

- Ширина прямоугольного сечения $b = 100 \text{ см} = 100 / 100 = 1 \text{ м};$

Усилия в двух направлениях:

- Изгибающий момент вокруг оси X $M_x = 25 \text{ тс м} = 25 / 101,97162123 = 0,24517 \text{ МН м};$

- Изгибающий момент вокруг оси Y $M_y = 0 \text{ тс м} = 0 / 101,97162123 = 0 \text{ МН м};$

- Изгибающий момент вокруг оси X от постоянной и длительной нагрузки

$$M_{1x} = 25 \text{ тс м} = 25 / 101,97162123 = 0,24517 \text{ МН м};$$

Усилия от нормативной нагрузки:

- Нормальная сила от полной нормативной нагрузки
 $N = 0 \text{ тс} = 0 / 101,97162123 = 0 \text{ МН};$

Результаты расчета:

Расчетное сопротивление бетона

Конструкция - железобетонная.

Предварительное напряжение арматуры - отсутствует.

Класс бетона - В25.

Бетон - тяжелый.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{bn} = 18,5 \text{ МПа}$.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{btn} = 1,55 \text{ МПа}$.

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию принимается по табл. 6.8 $R_b = 14,5 \text{ МПа}$.

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению принимается по табл. 6.8 $R_{bt} = 1,05 \text{ МПа}$.

Класс бетона по прочности:

$B = 25$.

Учет особенностей работы бетона в конструкции

Действие нагрузки - продолжительное.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий длительность действия нагрузки:

$\gamma_{b1} = 0,9$.

Конструкция бетонируется - в горизонтальном положении.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий бетонирование в вертикальном положении:

$\gamma_{b3} = 1$.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий характер разрушения ячеистого бетона:

$$\gamma_{b4} = 1 .$$

Для надземной конструкции, при расчетной температуре наружного воздуха в зимний период не менее -40 град.:

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий влияние попеременного замораживания и оттаивания:

$$\gamma_{b5} = 1 .$$

Группа предельных состояний - вторая.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний первой группы:

$$R_{bn} = \gamma_{b1} \gamma_{b3} \gamma_{b4} \gamma_{b5} R_{bn} = \\ = 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 18,5 = 16,65 \text{ МПа} .$$

Нормативное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний первой группы:

$$R_{btn} = \gamma_{b1} R_{btn} = 0,9 \cdot 1,55 = 1,395 \text{ МПа} .$$

Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа} .$$

Продолжение расчета по п. 8.2 СП 63.13330.2012

Расчет - балок.

Приведенное значение толщины защитного слоя растянутой арматуры:

$$a = a_s = 0,07 \text{ м} = 7 \text{ см} .$$

Приведенное значение толщины защитного слоя сжатой арматуры:

$$a' = a'_s = 0,04 \text{ м} = 4 \text{ см} .$$

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a = 0,7 - 0,07 = 0,63 \text{ м} = 63 \text{ см} .$$

Деформации в арматуре - не заданы.

Определение значения начального модуля упругости при непродолжительном действии нагрузки

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000 \text{ МПа} .$

Определение характеристик приведенного сечения

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:
 $\alpha_s = E_s/E_b = 200000/30000 = 6,66667$.

$$h'_o = h - a'_s = 0,7 - 0,04 = 0,66 \text{ м} = 66 \text{ см} .$$

Сечение - прямоугольное.

Площадь сечения:

$$A = b h = 1 \cdot 0,7 = 0,7 \text{ м}^2 = 7000 \text{ см}^2 .$$

Статический момент бетонного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_t = b h^2/2 = 1 \cdot 0,7^2/2 = 0,245 \text{ м}^3 = 245000 \text{ см}^3 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00055 - 0,00141 = 0,69804 \text{ м}^2 = 6980,4 \text{ см}^2 .$$

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{red} = \alpha_s (A_s + A'_s) + A_b = 6,66667 \cdot (0,00141 + 0,00055) + 0,69804 = 0,71111 \text{ м}^2 = 7111,1 \text{ см}^2 .$$

Статический момент приведенного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$\begin{aligned} S_{t, red} &= (\alpha_s - 1) (A_s a_s + A'_s (h - a'_s)) + b h^2/2 = \\ &= (6,66667 - 1) \cdot (0,00141 \cdot 0,07 + 0,00055 \cdot (0,7 - 0,04)) + 1 \cdot 0,7^2/2 = 0,24762 \text{ м}^3 = 247620 \text{ см}^3 . \end{aligned}$$

Координата центра тяжести расчетного контура:

$$y_o = S_{t, red}/A_{red} = 0,24762/0,71111 = 0,34822 \text{ м} = 34,82 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее растянутого волокна бетона до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_t = y_o = 0,34822 \text{ м} = 34,82 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_c = h - y_t = 0,7 - 0,34822 = 0,35178 \text{ м} = 35,18 \text{ см} .$$

$$y_s = y_o - a_s = 0,34822 - 0,07 = 0,27822 \text{ м} = 27,82 \text{ см} .$$

$$y'_s = h - a_s - a'_s - y_s = 0,7 - 0,07 - 0,04 - 0,27822 = 0,31178 \text{ м} = 31,18 \text{ см} .$$

Момент инерции бетонного сечения относительно центра тяжести приведенного сечения:

$$\begin{aligned} I &= b h^3/12 + A (h/2 - y_t)^2 = \\ &= 1 \cdot 0,7^3/12 + 0,7 \cdot (0,7/2 - 0,34822)^2 = 0,02859 \text{ м}^4 = 2859000 \text{ см}^4 . \end{aligned}$$

Определение момента образования трещин

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:

$$R_{b, ser} = R_{bn} = 16,65 \text{ МПа} .$$

Расчетное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний второй группы:

$$R_{bt, ser} = R_{btn} = 1,395 \text{ МПа} .$$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_c)^2 = 0,00141 \cdot (0,7 - 0,07 - 0,35178)^2 = 0,000109143 \text{ м}^4 = 10914,3 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$\begin{aligned} I'_s &= A'_s (y_c - a'_s)^2 = \\ &= 0,00055 \cdot (0,35178 - 0,04)^2 = 0,000053464 \text{ м}^4 = 5346,4 \text{ см}^4 . \end{aligned}$$

Продолжение расчета по п. п. 8.2.12 СП 63.13330.2012

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$\begin{aligned} I_{red} &= I + I_s (\alpha_s - 1) + I'_s (\alpha_s - 1) = \\ &= 0,02859 + 0,000109143 \cdot (6,66667 - 1) + 0,000053464 \cdot (6,66667 - 1) = 0,02951 \text{ м}^4 = \\ &= 2951000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.125); п. 8.2.12) .} \end{aligned}$$

Упругий момент сопротивления приведенного сечения:

$$W_{red} = I_{red} / y_t = 0,02951 / 0,34822 = 0,08475 \text{ м}^3 = 84750 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.123); п. 8.2.12) .}$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны:

$$e_x = W_{red} / A_{red} = 0,08475 / 0,71111 = 0,11918 \text{ м} = 11,92 \text{ см} \text{ (формула (8.124); п. 8.2.12) .}$$

Момент образования трещин определяется - с учетом неупругих деформаций.

Упругопластический момент сопротивления сечения:

$$W_{pl} = 1,3 W_{red} = 1,3 \cdot 0,08475 = 0,11018 \text{ м}^3 = 110180 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.122); п. 8.2.11) .}$$

Изгибающий момент, воспринимаемый нормальным сечением элемента при образовании трещин:

$$M_{crc} = R_{bt, ser} W_{pl} = 1,395 \cdot 0,11018 = 0,1537 \text{ МН м} = 15,67 \text{ тс м} \text{ (формула (8.121); п. 8.2.11) .}$$

1. Продолжительное раскрытие трещин

Предельная ширина раскрытия трещин при продолжительном действии нагрузки

Расчет на раскрытие трещин ведется из условия - обеспечения сохранности арматуры.

Предельно допустимая ширина раскрытия трещин:

$a_{сгс, ult} = 0,3 \text{ мм} .$

Определение значения начального модуля упругости при продолжительном действии нагрузки

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000 \text{ МПа} .$

Относительная влажность воздуха окружающей среды - выше 75%.

Коэффициент ползучести принимается по табл. 6.12 $\varphi_{b, сг} = 1,8 .$

Начальный модуль упругости, принимаемый при продолжительном действии нагрузки:

$$E_b, \tau = E_b / (1 + \varphi_{b, сг}) = \\ = 30000 / (1 + 1,8) = 10714,28571 \text{ МПа (формула (6.3); п. 6.1.15) .}$$

$$M_I = M_I = 0,24517 \text{ МН м} = 25 \text{ тс м} .$$

Действие постоянных и временных длительных нагрузок

$$M = M_I = 0,24517 \text{ МН м} = 25 \text{ тс м} .$$

Коэффициент, учитывающий характер нагружения:

$$\varphi_3 = 1 .$$

$$\text{Т.к. } M = 0,24517 \text{ МН м} = 25,00038 \text{ тс м} > M_{сгс} = 0,1537 \text{ МН м} = 15,67304 \text{ тс м} :$$

Требуется расчет по раскрытию трещин.

Коэффициент, учитывающий продолжительность действия нагрузки:

$$\varphi_1 = 1,4 .$$

(т.к. раскрытие трещин продолжительное)

Определение характеристик приведенного сечения

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:

$$\alpha_s = E_s / E_b = 200000 / 10714,29 = 18,66666 .$$

$$h'_o = h - a'_s = 0,7 - 0,04 = 0,66 \text{ м} = 66 \text{ см} .$$

Площадь сечения:

$$A = b h = 1 \cdot 0,7 = 0,7 \text{ м}^2 = 7000 \text{ см}^2 .$$

Статический момент бетонного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_t = b h^2 / 2 = 1 \cdot 0,7^2 / 2 = 0,245 \text{ м}^3 = 245000 \text{ см}^3 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00055 - 0,00141 = 0,69804 \text{ м}^2 = 6980,4 \text{ см}^2 .$$

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{red} = \alpha_s (A_s + A'_s) + A_b = 18,66666 \cdot (0,00141 + 0,00055) + 0,69804 = 0,73463 \text{ м}^2 = 7346,3 \text{ см}^2 .$$

Статический момент приведенного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_{t, red} = (\alpha_s - 1) (A_s a_s + A'_s (h - a'_s)) + b h^2 / 2 = \\ = (18,66666 - 1) \cdot (0,00141 \cdot 0,07 + 0,00055 \cdot (0,7 - 0,04)) + 1 \cdot 0,7^2 / 2 = 0,25316 \text{ м}^3 = 253160 \text{ см}^3 .$$

Координата центра тяжести расчетного контура:

$$y_o = S_{t, red} / A_{red} = 0,25316 / 0,73463 = 0,34461 \text{ м} = 34,46 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее растянутого волокна бетона до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_t = y_o = 0,34461 \text{ м} = 34,46 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_c = h - y_t = 0,7 - 0,34461 = 0,35539 \text{ м} = 35,54 \text{ см} .$$

$$y_s = y_o - a_s = 0,34461 - 0,07 = 0,27461 \text{ м} = 27,46 \text{ см} .$$

$$y'_s = h - a_s - a'_s - y_s = 0,7 - 0,07 - 0,04 - 0,27461 = 0,31539 \text{ м} = 31,54 \text{ см} .$$

Момент инерции бетонного сечения относительно центра тяжести приведенного сечения:

$$I = b h^3 / 12 + A (h/2 - y_t)^2 = \\ = 1 \cdot 0,7^3 / 12 + 0,7 \cdot (0,7/2 - 0,34461)^2 = 0,0286 \text{ м}^4 = 2860000 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_c)^2 = 0,00141 \cdot (0,7 - 0,07 - 0,35539)^2 = 0,000106329 \text{ м}^4 = 10632,9 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$I'_s = A'_s (y_c - a'_s)^2 = \\ = 0,00055 \cdot (0,35539 - 0,04)^2 = 0,000054709 \text{ м}^4 = 5470,9 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{red} = I + I_s (\alpha_s - 1) + I'_s (\alpha_s - 1) = \\ = 0,0286 + 0,000106329 \cdot (18,66666 - 1) + 0,000054709 \cdot (18,66666 - 1) = 0,03145 \text{ м}^4 = \\ = 3145000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.125); п. 8.2.12) .}$$

Упругий момент сопротивления приведенного сечения:

$$W_{red} = I_{red} / y_t = 0,03145 / 0,34461 = 0,09126 \text{ м}^3 = 91260 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.123); п. 8.2.12) .}$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны:

$$e_x = W_{red}/A_{red} = 0,09126/0,73463 = 0,12423 \text{ м} = 12,42 \text{ см (формула (8.124); п. 8.2.12).}$$

Определение ширины раскрытия трещин нормальных к продольной оси элемента

Коэффициент, учитывающий профиль продольной арматуры:

$$\varphi_2 = 0,5 .$$

т. к. арматура - периодического профиля.

Определение коэффициента ψ_s

Определение напряжений в растянутой арматуре

Принимаемая относительная деформация бетона:

$$\epsilon_{b1, red} = 0,0015 .$$

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:

$$R_{b, ser} = R_{bn} = 16,65 \text{ МПа} .$$

Приведенный модуль деформации сжатого бетона:

$$E_{b, red} = R_{b, ser}/\epsilon_{b1, red} = 16,65/0,0015 = 11100 \text{ МПа (формула (8.131); п. 8.2.16).}$$

Коэффициент приведения сжатой арматуры к бетону:

$$\alpha_{s1} = E_s/E_{b, red} = 200000/11100 = 18,01802 \text{ (формула (8.130); п. 8.2.16).}$$

Напряжения в растянутой арматуре определяются при $\alpha_{s2} = \alpha_{s1}$

При этом принимается для изгибаемых элементов $y_c = x_m$ - высота сжатой зоны бетона, определяемая по п. 8.2.28.

Коэффициент приведения растянутой арматуры к бетону:

$$\alpha_{s2} = \alpha_{s1} = 18,01802 .$$

Определение средней высоты сжатой зоны для изгибаемых элементов

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a = 0,7 - 0,07 = 0,63 \text{ м} = 63 \text{ см} .$$

Коэффициент армирования:

$$\mu_s = A_s/(b h_0) = 0,00141/(1 \cdot 0,63) = 0,00224 \% .$$

Сжатая арматура - имеется.

Коэффициент армирования сжатой ненапрягаемой арматуры:

$$\mu'_s = A'_s/(b h_0) = 0,00055/(1 \cdot 0,63) = 0,00087 .$$

Средняя высота сжатой зоны бетона:

$$x_m = h_0 \frac{(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1})^2 + 2(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1} a'/h_0) - (\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1})}{2(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1})} =$$
$$= 0,63 \cdot \frac{(\sqrt{(0,00224 \cdot 18,01802 + 0,00087 \cdot 18,01802)^2 + 2 \cdot (0,00224 \cdot 18,01802 + 0,00087 \cdot 18,01802 \cdot 0,04/0,63)} - (0,00224 \cdot 18,01802 + 0,00087 \cdot 18,01802))}{2 \cdot (0,00224 \cdot 18,01802 + 0,00087 \cdot 18,01802)} = 0,14929 \text{ м} = 14,93 \text{ см} .$$

Определение средней высоты сжатой зоны бетона

Расчет ведется по приближенной формуле (8.154).

Высота сжатой зоны изгибаемого элемента:

$$x_M = x_m = 0,14929 \text{ м} = 14,93 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна до центра тяжести приведенного сечения без учета растянутой зоны:

$$y_{cm} = x_m = 0,14929 \text{ м} = 14,93 \text{ см} .$$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_{cm})^2 = 0,00141 \cdot (0,7 - 0,07 - 0,14929)^2 = 0,000325826 \text{ м}^4 = 32582,6 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$I'_s = A'_s (y_{cm} - a'_s)^2 =$$
$$= 0,00055 \cdot (0,14929 - 0,04)^2 = 0,000006569 \text{ м}^4 = 656,9 \text{ см}^4 .$$

Определение момента инерции сжатой зоны бетона

$$I_b = b x_m^3 / 3 = 1 \cdot 0,14929^3 / 3 = 0,00111 \text{ м}^4 = 111000 \text{ см}^4 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b x_m = 1 \cdot 0,14929 = 0,14929 \text{ м}^2 = 1492,9 \text{ см}^2 .$$

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{red} = I_b + I_s \alpha_{s2} + I'_s \alpha_{s1} =$$
$$= 0,00111 + 0,000325826 \cdot 18,01802 + 0,000006569 \cdot 18,01802 = 0,0071 \text{ м}^4 = 710000 \text{ см}^4$$

(формула (8.148); п. 8.2.27).

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{red} = A_b + A_s \alpha_{s2} + A'_s \alpha_{s1} =$$
$$= 0,14929 + 0,00141 \cdot 18,01802 + 0,00055 \cdot 18,01802 = 0,18461 \text{ м}^2 = 1846,1 \text{ см}^2 .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_c = y_{cm} = 0,14929 \text{ м} = 14,93 \text{ см} .$$

$$\sigma_s = (M (h_0 - y_c) / I_{red}) \alpha_{s1} =$$

$$= (0,24517 \cdot (0,63 - 0,14929) / 0,0071) \cdot 18,01802 = 299,08815 \text{ МПа (формула (8.129); п. 8.2.16) .}$$

Напряжения $\sigma_{s, \text{crc}}$ определяются при $M = M_{\text{crc}}$.

Напряжения в продольной растянутой арматуре в сечении с трещиной сразу после образования нормальных трещин:

$$\begin{aligned}\sigma_{s, \text{crc}} &= (M_{\text{crc}} (h_0 - y_c) / I_{\text{red}}) \alpha_{s1} = \\ &= (0,1537 \cdot (0,63 - 0,14929) / 0,0071) \cdot 18,01802 = 187,50193 \text{ МПа (формула (8.129); п. 8.2.18)}.\end{aligned}$$

$$\text{Т.к. } \sigma_s = 299,0881 \text{ МПа} \geq \sigma_{s, \text{crc}} = 187,5019 \text{ МПа} :$$

Коэффициент, учитывающий неравномерное распределение относительных деформаций:

$$\begin{aligned}\psi_s &= 1 - 0,8 \sigma_{s, \text{crc}} / \sigma_s = \\ &= 1 - 0,8 \cdot 187,5019 / 299,0881 = 0,49847 \text{ (формула (8.137); п. 8.2.18)}.\end{aligned}$$

Определение базового расстояния между трещинами

Высота растянутой зоны:

$$x_t = h - x_m = 0,7 - 0,14929 = 0,55071 \text{ м} = 55,07 \text{ см} .$$

$$\text{Т.к. } x_t = 0,55071 \text{ м} = 55,071 \text{ см} > 0,5 h = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35 \text{ м} = 35 \text{ см} :$$

Высота растянутой зоны:

$$x_t = 0,5 h = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35 \text{ м} = 35 \text{ см} .$$

Площадь сечения растянутого бетона:

$$A_{bt} = b x_t = 1 \cdot 0,35 = 0,35 \text{ м}^2 = 3500 \text{ см}^2 .$$

Базовое расстояние между трещинами:

$$\begin{aligned}l_s &= 0,5 (A_{bt} / A_s) d_s = \\ &= 0,5 \cdot (0,35 / 0,00141) \cdot 16 = 1985,8156 \text{ мм (формула (8.136); п. 8.2.17)}.\end{aligned}$$

$$\text{Т.к. } l_s = 1985,816 \text{ мм} > 40 d_s = 40 \cdot 16 = 640 \text{ мм} :$$

Базовое расстояние между трещинами:

$$l_s = 40 d_s = 40 \cdot 16 = 640 \text{ мм} .$$

$$\text{Т.к. } l_s > 400 \text{ мм} :$$

Базовое расстояние между трещинами:

$$l_s = 400 \text{ мм} .$$

Ширина раскрытия трещин:

$$\begin{aligned}a_{\text{crc}} &= \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s (\sigma_s / E_s) l_s = \\ &= 1,4 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 0,49847 \cdot (299,0881 / 200000) \cdot 400 = 0,20872 \text{ мм (формула (8.128); п. 8.2.15)}.\end{aligned}$$

$a_{crc} = 0,20872 \text{ мм} \leq a_{crc, ult} = 0,3 \text{ мм}$ (69,57333% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.118); п. п. 8.2).

Ширина раскрытия трещин от продолжительного действия постоянных и временных длительных нагрузок:

$$a_{crc, 1} = a_{crc} = 0,20872 \text{ мм} .$$

II. Непродолжительное раскрытие трещин

Предельная ширина раскрытия трещин при непродолжительном действии нагрузки

Предельно допустимая ширина раскрытия трещин:

$$a_{crc, ult} = 0,4 \text{ мм} .$$

Определение значения начального модуля упругости при непродолжительном действии нагрузки

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000 \text{ МПа}$.

а) Действие всех нагрузок

Т.к. $M = 0,24517 \text{ МН м} = 25,00038 \text{ тс м} > M_{crc} = 0,1537 \text{ МН м} = 15,67304 \text{ тс м}$:

Требуется расчет по раскрытию трещин.

Коэффициент, учитывающий продолжительность действия нагрузки:

$$\varphi_1 = 1 .$$

(т.к. раскрытие трещин непродолжительное)

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_c)^2 = 0,00141 \cdot (0,7 - 0,07 - 0,35178)^2 = 0,000109143 \text{ м}^4 = 10914,3 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$\begin{aligned} \Gamma'_s &= A'_s (y_c - a'_s)^2 = \\ &= 0,00055 \cdot (0,35178 - 0,04)^2 = 0,000053464 \text{ м}^4 = 5346,4 \text{ см}^4 . \end{aligned}$$

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$\begin{aligned} I_{red} &= I + I_s (\alpha_s - 1) + \Gamma'_s (\alpha_s - 1) = \\ &= 0,02859 + 0,000109143 \cdot (6,66667 - 1) + 0,000053464 \cdot (6,66667 - 1) = 0,02951 \text{ м}^4 = \\ &= 2951000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.125); п. 8.2.12) .} \end{aligned}$$

Упругий момент сопротивления приведенного сечения:

$$W_{red} = I_{red} / y_t = 0,02951 / 0,34822 = 0,08475 \text{ м}^3 = 84750 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.123); п. 8.2.12) .}$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны:

$$e_x = W_{red}/A_{red} = 0,08475/0,71111 = 0,11918 \text{ м} = 11,92 \text{ см (формула (8.124); п. 8.2.12).}$$

Определение ширины раскрытия трещин нормальных к продольной оси элемента

Коэффициент, учитывающий профиль продольной арматуры:
 $\varphi_2 = 0,5$.

т. к. арматура - периодического профиля.

Определение коэффициента ψ_s

Определение напряжений в растянутой арматуре

Принимаемая относительная деформация бетона:
 $\epsilon_{b1, red} = 0,0015$.

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:
 $R_{b, ser} = R_{bn} = 16,65 \text{ МПа}$.

Приведенный модуль деформации сжатого бетона:
 $E_{b, red} = R_{b, ser}/\epsilon_{b1, red} = 16,65/0,0015 = 11100 \text{ МПа (формула (8.131); п. 8.2.16)}$.

Коэффициент приведения сжатой арматуры к бетону:
 $\alpha_{s1} = E_s/E_{b, red} = 200000/11100 = 18,01802$ (формула (8.130); п. 8.2.16) .

Напряжения в растянутой арматуре определяются при $\alpha_{s2} = \alpha_{s1}$

При этом принимается для изгибаемых элементов $u_c = x_m$ - высота сжатой зоны бетона, определяемая по п. 8.2.28.

Коэффициент приведения растянутой арматуры к бетону:
 $\alpha_{s2} = \alpha_{s1} = 18,01802$.

Определение средней высоты сжатой зоны для изгибаемых элементов

Рабочая высота сечения:
 $h_0 = h - a = 0,7 - 0,07 = 0,63 \text{ м} = 63 \text{ см}$.

Коэффициент армирования:
 $\mu_s = A_s/(b h_0) = 0,00141/(1 \cdot 0,63) = 0,00224 \%$.

Коэффициент армирования сжатой ненапрягаемой арматуры:
 $\mu'_s = A'_s/(b h_0) = 0,00055/(1 \cdot 0,63) = 0,00087$.

Средняя высота сжатой зоны бетона:
 $x_m = h_0 \left(\sqrt{(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1})^2 + 2(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1}) a'/h_0} - (\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1}) \right) =$

$$= 0,63 \cdot (\sqrt{(0,00224 \cdot 18,01802 + 0,00087 \cdot 18,01802)^2 + 2 \cdot (0,00224 \cdot 18,01802 + 0,00087 \cdot 18,01802 \cdot 0,04/0,63) - (0,00224 \cdot 18,01802 + 0,00087 \cdot 18,01802)}) = 0,14929 \text{ м} = 14,93 \text{ см}.$$

Определение средней высоты сжатой зоны бетона

Расчет ведется по приближенной формуле (8.154).

Высота сжатой зоны изгибаемого элемента:

$$x_M = x_m = 0,14929 \text{ м} = 14,93 \text{ см}.$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна до центра тяжести приведенного сечения без учета растянутой зоны:

$$y_{cm} = x_m = 0,14929 \text{ м} = 14,93 \text{ см}.$$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_{cm})^2 = 0,00141 \cdot (0,7 - 0,07 - 0,14929)^2 = 0,000325826 \text{ м}^4 = 32582,6 \text{ см}^4.$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$I'_s = A'_s (y_{cm} - a'_s)^2 = 0,00055 \cdot (0,14929 - 0,04)^2 = 0,000006569 \text{ м}^4 = 656,9 \text{ см}^4.$$

Определение момента инерции сжатой зоны бетона

$$I_b = b x_m^3/3 = 1 \cdot 0,14929^3/3 = 0,00111 \text{ м}^4 = 111000 \text{ см}^4.$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b x_m = 1 \cdot 0,14929 = 0,14929 \text{ м}^2 = 1492,9 \text{ см}^2.$$

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{red} = I_b + I_s \alpha_{s2} + I'_s \alpha_{s1} = 0,00111 + 0,000325826 \cdot 18,01802 + 0,000006569 \cdot 18,01802 = 0,0071 \text{ м}^4 = 710000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.148); п. 8.2.27)}.$$

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{red} = A_b + A_s \alpha_{s2} + A'_s \alpha_{s1} = 0,14929 + 0,00141 \cdot 18,01802 + 0,00055 \cdot 18,01802 = 0,18461 \text{ м}^2 = 1846,1 \text{ см}^2.$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_c = y_{cm} = 0,14929 \text{ м} = 14,93 \text{ см}.$$

$$\sigma_s = (M (h_0 - y_c) / I_{red}) \alpha_{s1} =$$

$$= (0,24517 \cdot (0,63 - 0,14929) / 0,0071) \cdot 18,01802 = 299,08815 \text{ МПа (формула (8.129); п. 8.2.16)}.$$

Напряжения $\sigma_s, \sigma_{сrc}$ определяются при $M = M_{сrc}$.

Напряжения в продольной растянутой арматуре в сечении с трещиной сразу после образования нормальных трещин:

$$\begin{aligned}\sigma_{s, \text{crc}} &= (M_{\text{crc}} (h_0 - y_c) / I_{\text{red}}) \alpha_{s1} = \\ &= (0,1537 \cdot (0,63 - 0,14929) / 0,0071) \cdot 18,01802 = 187,50193 \text{ МПа (формула (8.129); п. 8.2.18)}.\end{aligned}$$

$$\text{Т.к. } \sigma_s = 299,0881 \text{ МПа} \geq \sigma_{s, \text{crc}} = 187,5019 \text{ МПа} :$$

Коэффициент, учитывающий неравномерное распределение относительных деформаций:

$$\begin{aligned}\psi_s &= 1 - 0,8 \sigma_{s, \text{crc}} / \sigma_s = \\ &= 1 - 0,8 \cdot 187,5019 / 299,0881 = 0,49847 \text{ (формула (8.137); п. 8.2.18)}.\end{aligned}$$

Определение базового расстояния между трещинами

Высота растянутой зоны:

$$x_t = h - x_m = 0,7 - 0,14929 = 0,55071 \text{ м} = 55,07 \text{ см} .$$

$$\text{Т.к. } x_t = 0,55071 \text{ м} = 55,071 \text{ см} > 0,5 h = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35 \text{ м} = 35 \text{ см} :$$

Высота растянутой зоны:

$$x_t = 0,5 h = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35 \text{ м} = 35 \text{ см} .$$

Площадь сечения растянутого бетона:

$$A_{bt} = b x_t = 1 \cdot 0,35 = 0,35 \text{ м}^2 = 3500 \text{ см}^2 .$$

Базовое расстояние между трещинами:

$$\begin{aligned}l_s &= 0,5 (A_{bt} / A_s) d_s = \\ &= 0,5 \cdot (0,35 / 0,00141) \cdot 16 = 1985,8156 \text{ мм (формула (8.136); п. 8.2.17)}.\end{aligned}$$

$$\text{Т.к. } l_s = 1985,816 \text{ мм} > 40 d_s = 40 \cdot 16 = 640 \text{ мм} :$$

Базовое расстояние между трещинами:

$$l_s = 40 d_s = 40 \cdot 16 = 640 \text{ мм} .$$

$$\text{Т.к. } l_s > 400 \text{ мм} :$$

Базовое расстояние между трещинами:

$$l_s = 400 \text{ мм} .$$

Ширина раскрытия трещин:

$$\begin{aligned}a_{\text{crc}} &= \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s (\sigma_s / E_s) l_s = \\ &= 1 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 0,49847 \cdot (299,0881 / 200000) \cdot 400 = 0,14909 \text{ мм (формула (8.128); п. 8.2.15)}.\end{aligned}$$

Ширина раскрытия трещин от непродолжительного действия всех нагрузок:

$$a_{\text{crc}, 2} = a_{\text{crc}} = 0,14909 \text{ мм} .$$

б) Действие постоянных и временных длительных нагрузок

$$M_I = M_{II} = 0,24517 \text{ МН м} = 25 \text{ тс м} .$$

Действие постоянных и временных длительных нагрузок

$$M = M_I = 0,24517 \text{ МН м} = 25 \text{ тс м} .$$

$$\text{Т.к. } M = 0,24517 \text{ МН м} = 25,00038 \text{ тс м} > M_{\text{крс}} = 0,1537 \text{ МН м} = 15,67304 \text{ тс м} :$$

Требуется расчет по раскрытию трещин.

Коэффициент, учитывающий продолжительность действия нагрузки:

$$\varphi_1 = 1 .$$

(т.к. раскрытие трещин непродолжительное)

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_c)^2 = 0,00141 \cdot (0,7 - 0,07 - 0,35178)^2 = 0,000109143 \text{ м}^4 = 10914,3 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$\begin{aligned} I'_s &= A'_s (y_c - a'_s)^2 = \\ &= 0,00055 \cdot (0,35178 - 0,04)^2 = 0,000053464 \text{ м}^4 = 5346,4 \text{ см}^4 . \end{aligned}$$

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$\begin{aligned} I_{\text{ред}} &= I + I_s (\alpha_s - 1) + I'_s (\alpha_s - 1) = \\ &= 0,02859 + 0,000109143 \cdot (6,66667 - 1) + 0,000053464 \cdot (6,66667 - 1) = 0,02951 \text{ м}^4 = \\ &= 2951000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.125); п. 8.2.12) .} \end{aligned}$$

Упругий момент сопротивления приведенного сечения:

$$W_{\text{ред}} = I_{\text{ред}} / y_t = 0,02951 / 0,34822 = 0,08475 \text{ м}^3 = 84750 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.123); п. 8.2.12) .}$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны:

$$e_x = W_{\text{ред}} / A_{\text{ред}} = 0,08475 / 0,71111 = 0,11918 \text{ м} = 11,92 \text{ см} \text{ (формула (8.124); п. 8.2.12) .}$$

Определение ширины раскрытия трещин нормальных к продольной оси элемента

Коэффициент, учитывающий профиль продольной арматуры:

$$\varphi_2 = 0,5 .$$

т. к. арматура - периодического профиля.

Определение коэффициента ψ_s

Определение напряжений в растянутой арматуре

Принимаемая относительная деформация бетона:

$$\epsilon_{b1, red} = 0,0015 .$$

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:

$$R_{b, ser} = R_{bn} = 16,65 \text{ МПа} .$$

Приведенный модуль деформации сжатого бетона:

$$E_{b, red} = R_{b, ser} / \epsilon_{b1, red} = 16,65 / 0,0015 = 11100 \text{ МПа (формула (8.131); п. 8.2.16) .}$$

Коэффициент приведения сжатой арматуры к бетону:

$$\alpha_{s1} = E_s / E_{b, red} = 200000 / 11100 = 18,01802 \text{ (формула (8.130); п. 8.2.16) .}$$

Напряжения в растянутой арматуре определяются при $\alpha_{s2} = \alpha_{s1}$

При этом принимается для изгибаемых элементов $u_c = x_m$ - высота сжатой зоны бетона, определяемая по п. 8.2.28.

Коэффициент приведения растянутой арматуры к бетону:

$$\alpha_{s2} = \alpha_{s1} = 18,01802 .$$

Определение средней высоты сжатой зоны для изгибаемых элементов

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a = 0,7 - 0,07 = 0,63 \text{ м} = 63 \text{ см} .$$

Коэффициент армирования:

$$\mu_s = A_s / (b h_0) = 0,00141 / (1 \cdot 0,63) = 0,00224 \% .$$

Коэффициент армирования сжатой ненапрягаемой арматуры:

$$\mu'_s = A'_s / (b h_0) = 0,00055 / (1 \cdot 0,63) = 0,00087 .$$

Средняя высота сжатой зоны бетона:

$$\begin{aligned} x_m &= h_0 \left(\frac{\sqrt{(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1})^2 + 2(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1}) a' / h_0} - (\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1})}{2} \right) = \\ &= 0,63 \cdot \left(\frac{\sqrt{(0,00224 \cdot 18,01802 + 0,00087 \cdot 18,01802)^2 + 2 \cdot (0,00224 \cdot 18,01802 + 0,00087 \cdot 18,01802 \cdot 0,04 / 0,63)} - (0,00224 \cdot 18,01802 + 0,00087 \cdot 18,01802)}{2} \right) = 0,14929 \text{ м} = 14,93 \text{ см} . \end{aligned}$$

Определение средней высоты сжатой зоны бетона

Расчет ведется по приближенной формуле (8.154).

Высота сжатой зоны изгибаемого элемента:

$$x_M = x_m = 0,14929 \text{ м} = 14,93 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна до центра тяжести приведенного сечения без учета растянутой зоны:

$$u_{cm} = x_m = 0,14929 \text{ м} = 14,93 \text{ см} .$$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_{cm})^2 = 0,00141 \cdot (0,7 - 0,07 - 0,14929)^2 = 0,000325826 \text{ м}^4 = 32582,6 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$I'_s = A'_s (y_{cm} - a'_s)^2 = \\ = 0,00055 \cdot (0,14929 - 0,04)^2 = 0,000006569 \text{ м}^4 = 656,9 \text{ см}^4 .$$

Определение момента инерции сжатой зоны бетона

$$I_b = b x_m^3 / 3 = 1 \cdot 0,14929^3 / 3 = 0,00111 \text{ м}^4 = 111000 \text{ см}^4 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b x_m = 1 \cdot 0,14929 = 0,14929 \text{ м}^2 = 1492,9 \text{ см}^2 .$$

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{red} = I_b + I_s \alpha_{s2} + I'_s \alpha_{s1} = \\ = 0,00111 + 0,000325826 \cdot 18,01802 + 0,000006569 \cdot 18,01802 = 0,0071 \text{ м}^4 = 710000 \text{ см}^4 \\ \text{(формула (8.148); п. 8.2.27)} .$$

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{red} = A_b + A_s \alpha_{s2} + A'_s \alpha_{s1} = \\ = 0,14929 + 0,00141 \cdot 18,01802 + 0,00055 \cdot 18,01802 = 0,18461 \text{ м}^2 = 1846,1 \text{ см}^2 .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_c = y_{cm} = 0,14929 \text{ м} = 14,93 \text{ см} .$$

$$\sigma_s = (M (h_0 - y_c) / I_{red}) \alpha_{s1} = \\ = (0,24517 \cdot (0,63 - 0,14929) / 0,0071) \cdot 18,01802 = 299,08815 \text{ МПа (формула (8.129); п. 8.2.16)} .$$

Напряжения $\sigma_{s, crc}$ определяются при $M = M_{crc}$.

Напряжения в продольной растянутой арматуре в сечении с трещиной сразу после образования нормальных трещин:

$$\sigma_{s, crc} = (M_{crc} (h_0 - y_c) / I_{red}) \alpha_{s1} = \\ = (0,1537 \cdot (0,63 - 0,14929) / 0,0071) \cdot 18,01802 = 187,50193 \text{ МПа (формула (8.129); п. 8.2.18)} .$$

$$\text{Т.к. } \sigma_s = 299,0881 \text{ МПа} \geq \sigma_{s, crc} = 187,5019 \text{ МПа} :$$

Коэффициент, учитывающий неравномерное распределение относительных деформаций:

$$\psi_s = 1 - 0,8 \sigma_{s, crc} / \sigma_s = \\ = 1 - 0,8 \cdot 187,5019 / 299,0881 = 0,49847 \text{ (формула (8.137); п. 8.2.18)} .$$

Определение базового расстояния между трещинами

Высота растянутой зоны:

$$x_t = h - x_m = 0,7 - 0,14929 = 0,55071 \text{ м} = 55,07 \text{ см} .$$

$$\text{Т.к. } x_t = 0,55071 \text{ м} = 55,071 \text{ см} > 0,5 h = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35 \text{ м} = 35 \text{ см} :$$

Высота растянутой зоны:

$$x_t = 0,5 h = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35 \text{ м} = 35 \text{ см} .$$

Площадь сечения растянутого бетона:

$$A_{bt} = b x_t = 1 \cdot 0,35 = 0,35 \text{ м}^2 = 3500 \text{ см}^2 .$$

Базовое расстояние между трещинами:

$$l_s = 0,5 (A_{bt}/A_s) d_s = \\ = 0,5 \cdot (0,35/0,00141) \cdot 16 = 1985,8156 \text{ мм (формула (8.136); п. 8.2.17)} .$$

$$\text{Т.к. } l_s = 1985,816 \text{ мм} > 40 d_s = 40 \cdot 16 = 640 \text{ мм} :$$

Базовое расстояние между трещинами:

$$l_s = 40 d_s = 40 \cdot 16 = 640 \text{ мм} .$$

$$\text{Т.к. } l_s > 400 \text{ мм} :$$

Базовое расстояние между трещинами:

$$l_s = 400 \text{ мм} .$$

Ширина раскрытия трещин:

$$a_{cr,3} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s (\sigma_s/E_s) l_s = \\ = 1 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 0,49847 \cdot (299,0881/200000) \cdot 400 = 0,14909 \text{ мм (формула (8.128); п. 8.2.15)} .$$

Ширина раскрытия трещин от непродолжительного действия постоянных и временных длительных нагрузок:

$$a_{cr,3} = a_{cr,3} = 0,14909 \text{ мм} .$$

Ширина раскрытия трещин:

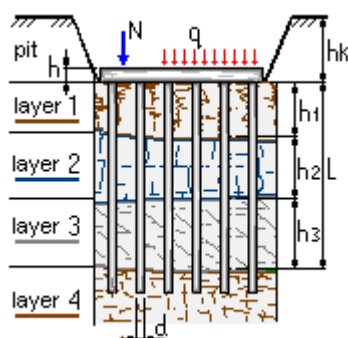
$$a_{cr} = a_{cr,1} + a_{cr,2} - a_{cr,3} = \\ = 0,20872 + 0,14909 - 0,14909 = 0,20872 \text{ мм (формула (8.120); п. 8.2)} .$$

$a_{cr} = 0,20872 \text{ мм} \leq a_{cr,ult} = 0,4 \text{ мм}$ (52,18% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.118); п. п. 8.2) .

Результаты расчета

Расчет плиты на свайном основании. Ростверк РМ4.

1. - Исходные данные:



Количество слоев 2

Характеристики грунта:

Номер слоя	Тип грунта	Модуль E	Ед. изм.	1 Точка, м	2 Точка, м	3 Точка, м	4 Точка, м
Слой 1	Глинистый	800	тс/м2	h= 7,6	h= 7,6	h= 7,6	h= 7,6
Слой 2	Песчаный	2800	тс/м2				

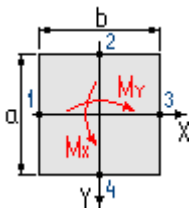
Исходные данные для расчета:
 Прямоугольная плита

Наименование исходных данных	Величина	Ед. измерения
Длина вдоль Y	3,2	м
Ширина вдоль X	2,1	м
Допустимая расчетная нагрузка на сваю (Fd)	40	тс
Длина сваи (L)	8,5	м
Диаметр (сторона)	0,3	м
Толщина плиты	0,7	м
Вылет плиты за грань крайней сваи	0.1	м

Квадратные сваи

Приведенная нагрузка: $N = 362,8$ тс; $M_y = 4,5$ тс*м; $M_x = 2$ тс*м

2. - Выводы:



Требуемое количество свай 10 шт.

Ориентировочный шаг свай (для расчета осадки) 0,88 м

По расчету на продавливание рядовой сваей несущей способности плиты ДОСТАТОЧНО.

По расчету на продавливание угловой сваей несущей способности плиты ДОСТАТОЧНО.

Расположение свай принято равномерным по всей площади плиты.

Расчетный момент в плите $M = 1,84$ тс*м (на погонный метр)

Армирование симметричное, шаг 200 мм во всех направлениях.

Защитный слой 35 мм в верхней, 70 мм в нижней зоне плиты.

Арматура d 5 А 400 в обоих направлениях.

Армирование свайной плиты следует уточнить, выполнив расчет плиты на естественном основании с

применением приведенного модуля деформации $E_{red} = 5618,59$ тс/м²

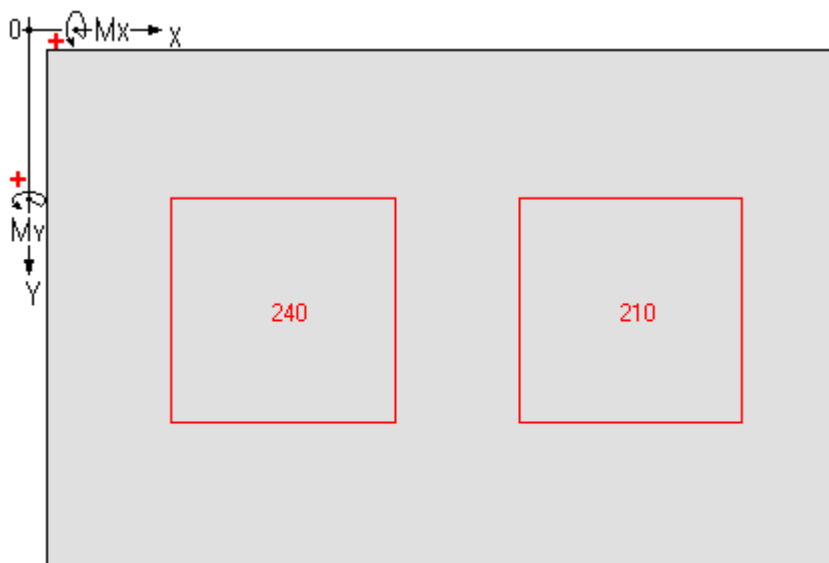
либо расчет плиты на упругих опорах (сваях) с коэффициентом упругости 5665,6 тс/м



Результаты расчета

Расчет плиты. Ростверк РМ4.

1. - Исходные данные:



Длина вдоль X 3,2 м
 Ширина вдоль Y 2,1 м
 Толщина плиты 0,7 м

Характеристики грунта Суглинки
 Модуль деформации грунта 5620 тс/м²
 Коэффициент постели 8149 (тс/м)/м²

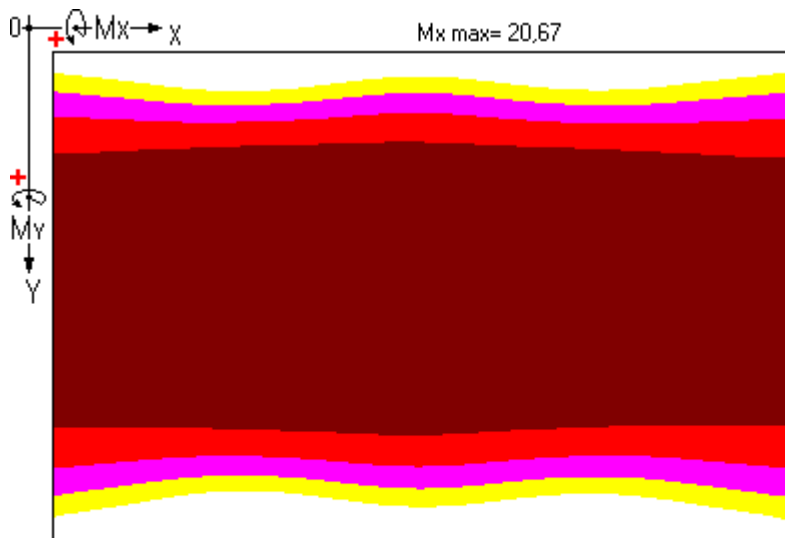
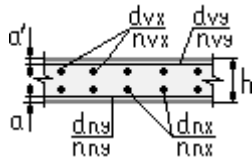
Расчетные нагрузки на конструкцию:

Полосовые нагрузки	начало x,y (м),	конец x,y (м),	величина q (тс/м ²),	Ширина (м)
1	0,5;1,05	1,4;1,05	240	0,9
2	1,9;1,05	2,8;1,05	210	0,9

Приведенные суммарные нагрузки на плиту:

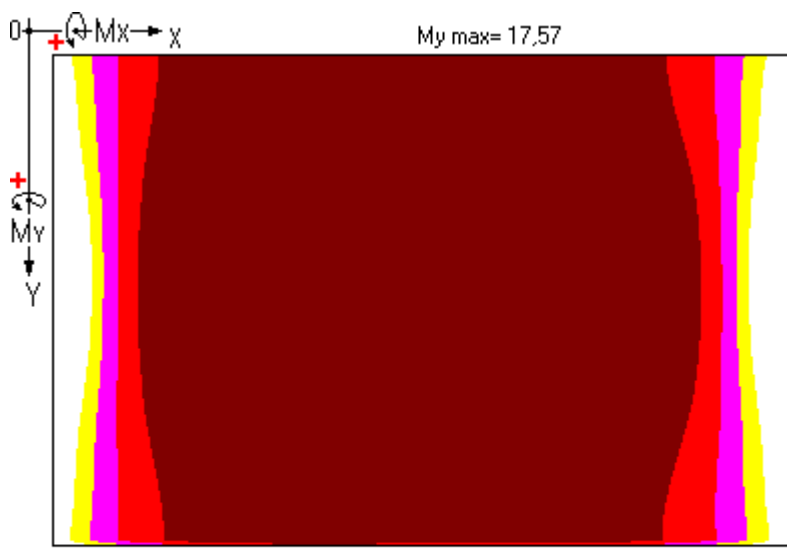
N= 361,27 тс; M_x= -15,25 тс*м; M_y= -11,18 тс*м

2. - Выводы:



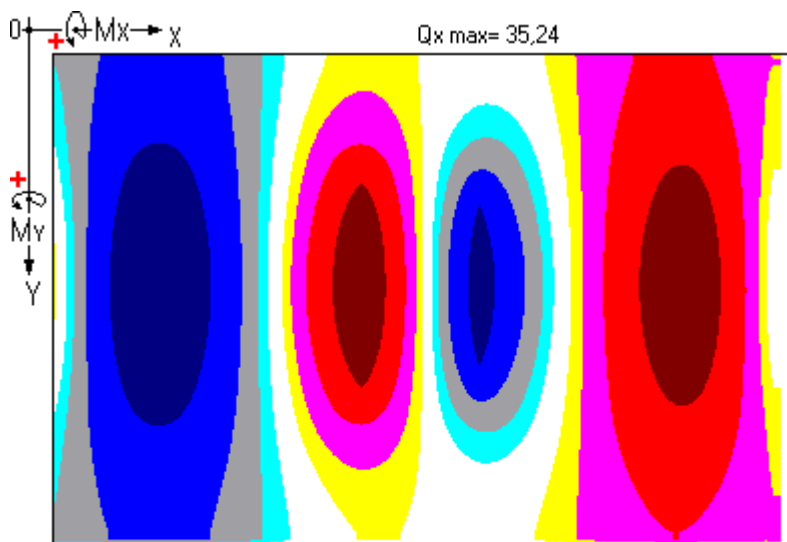
M_x min= -0,08

Эпюра моментов вокруг оси X



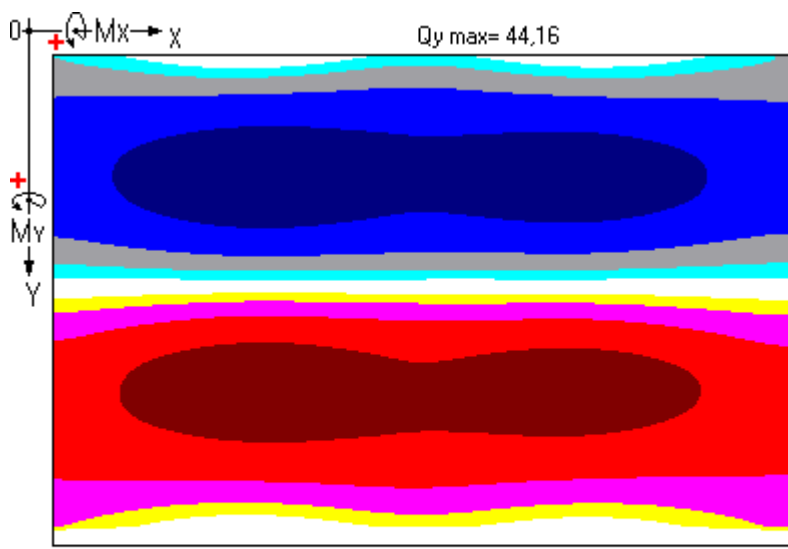
Эпюра моментов вокруг оси Y

$M_y \min = -0,12$

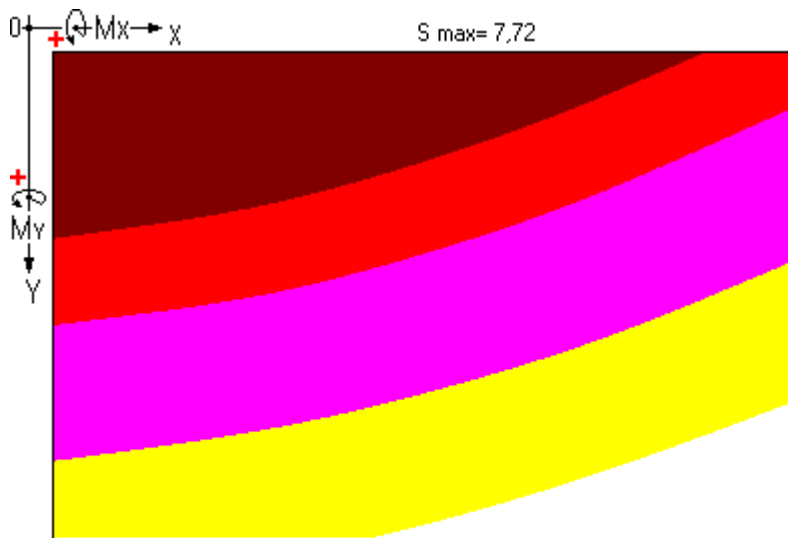


Эпюра поперечных сил вдоль оси X

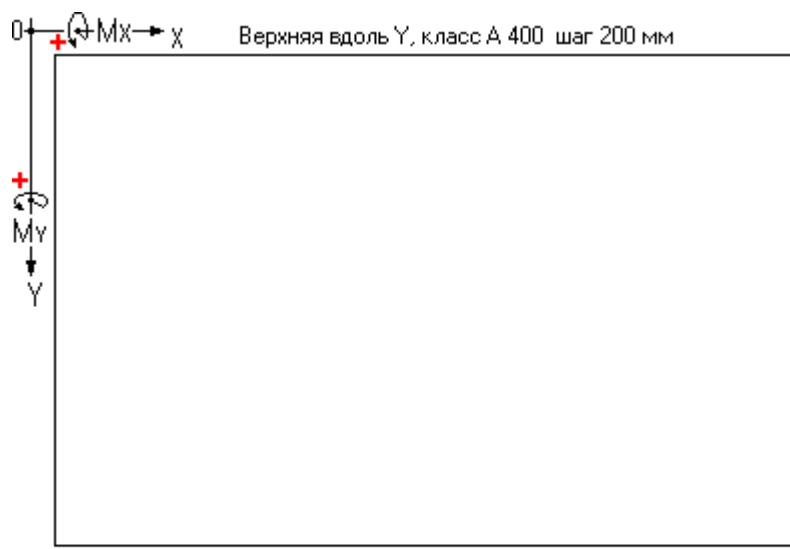
$Q_x \min = -41,46$



Эпюра поперечных сил вдоль оси Y $Q_y \min = -45,29$

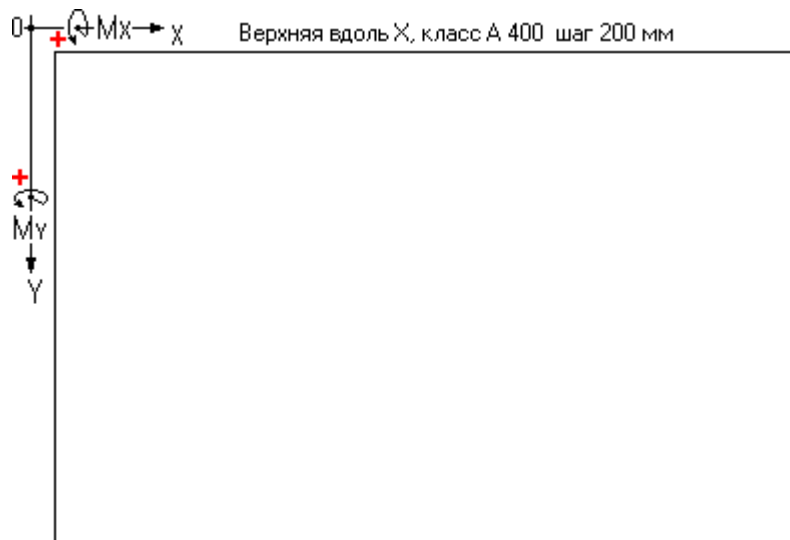


Эпюра вертикальных перемещений, мм $S \min = 5,18$



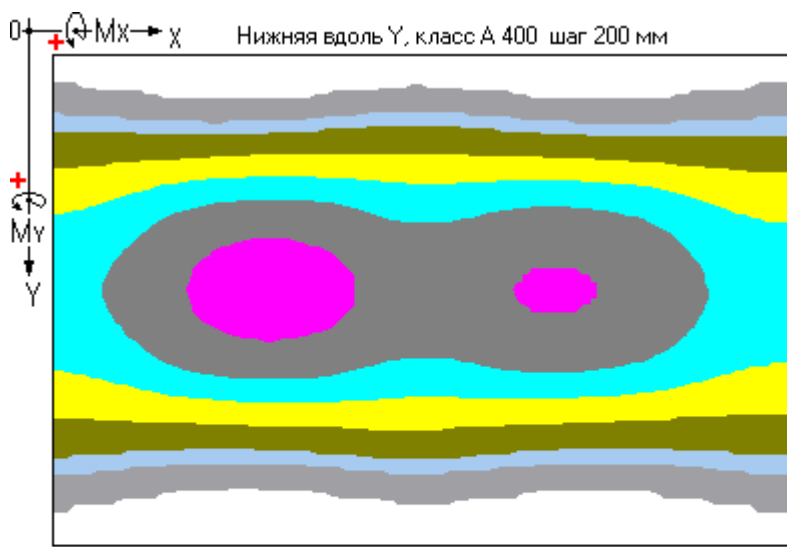
Бетон В15

Верхнее армирование плиты вдоль оси Y , d , мм



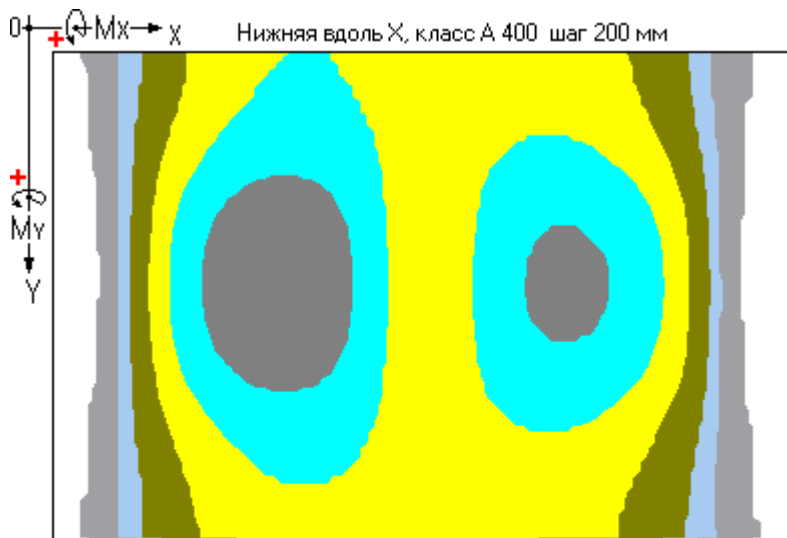
Бетон В15

Верхнее армирование плиты вдоль оси X , d , мм







Бетон В15

Нижнее армирование плиты вдоль оси Y, d, мм



Бетон В15

Нижнее армирование плиты вдоль оси X, d, мм

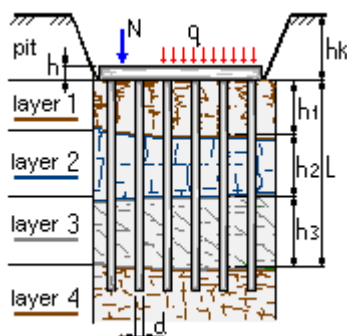
 d=3-5 мм	 d=10 мм	 d=16 мм	 d=22 мм	 d=32 мм
 d=6 мм	 d=12 мм	 d=18 мм	 d=25 мм	 d=36 мм
 d=8 мм	 d=14 мм	 d=20 мм	 d=28 мм	 d=40 мм

Цветовая палитра полей армирования

Результаты расчета

Расчет плиты на свайном основании. Ростверк РМ4, вариант 2.

1. - Исходные данные:



Количество слоев 2

Характеристики грунта:

Номер слоя	Тип грунта	Модуль E	Ед. изм.	1 Точка, м	2 Точка, м	3 Точка, м	4 Точка, м
Слой 1	Глинистый	800	тс/м2	h= 7,6	h= 7,6	h= 7,6	h= 7,6
Слой 2	Песчаный	2800	тс/м2				

Исходные данные для расчета:

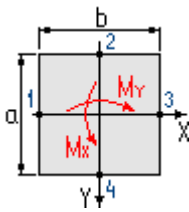
Прямоугольная плита

Наименование исходных данных	Величина	Ед. измерения
Длина вдоль Y	2,1	м
Ширина вдоль X	3,2	м
Допустимая расчетная нагрузка на сваю (Fd)	40	тс
Длина сваи (L)	8,5	м
Диаметр (сторона)	0,3	м
Толщина плиты	0,7	м
Вылет плиты за грань крайней сваи	0,1	м

Квадратные сваи

Приведенная нагрузка: $N = 333,2$ тс; $M_y = 2,9$ тс*м; $M_x = 3,2$ тс*м

2. - Выводы:



Требуемое количество свай 9 шт.

Ориентировочный шаг свай (для расчета осадки) 0,95 м

По расчету на продавливание рядовой сваей несущей способности плиты ДОСТАТОЧНО.

По расчету на продавливание угловой сваей несущей способности плиты ДОСТАТОЧНО.

Расположение свай принято равномерным по всей площади плиты.

Расчетный момент в плите $M = 4,6 \text{ тс}\cdot\text{м}$ (на погонный метр)

Армирование симметричное, шаг 200 мм во всех направлениях.

Защитный слой 35 мм в верхней, 70 мм в нижней зоне плиты.

Арматура d 8 А 400 в обоих направлениях.

Армирование свайной плиты следует уточнить, выполнив расчет плиты на естественном основании с

применением приведенного модуля деформации $E_{red} = 5056,73 \text{ тс}/\text{м}^2$

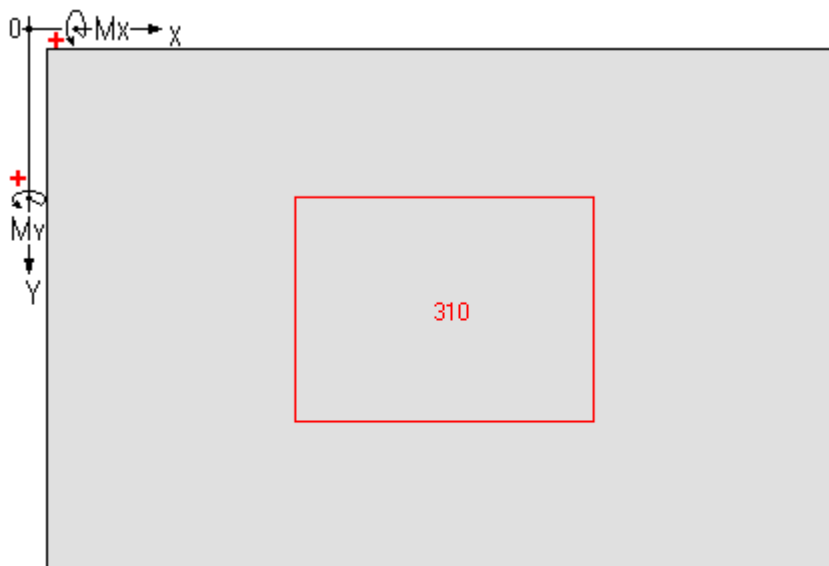
либо расчет плиты на упругих опорах (сваях) с коэффициентом упругости $5665,6 \text{ тс}/\text{м}$.



Результаты расчета

Расчет плиты

1. - Исходные данные:



Длина вдоль X 3,2 м
 Ширина вдоль Y 2,1 м
 Толщина плиты 0,7 м

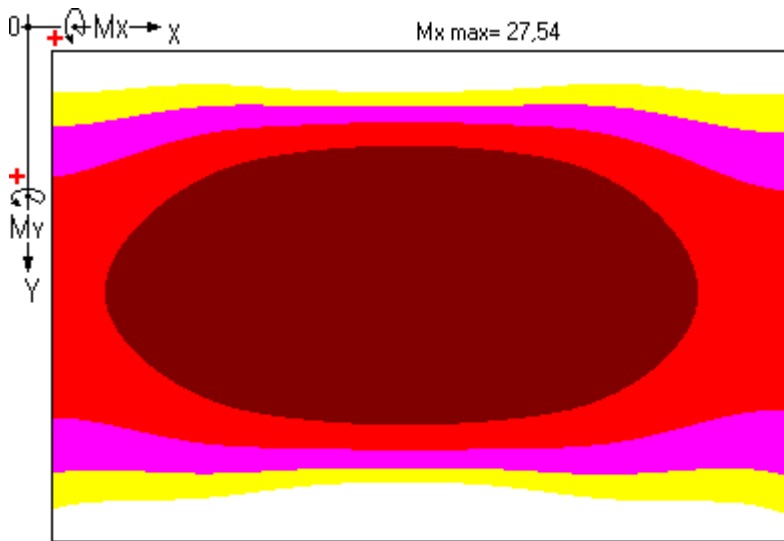
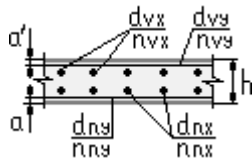
Характеристики грунта Суглинки
 Модуль деформации грунта 5060 тс/м²
 Коэффициент постели 7337 (тс/м)/м²

Расчетные нагрузки на конструкцию:

Полосовые нагрузки	начало x,y (м),	конец x,y (м),	величина q (тс/м ²),	Ширина (м)
1	1;1,05	2,2;1,05	310	0,9

Приведенные суммарные нагрузки на плиту:
 N= 328,87 тс; Mx= -13,88 тс*м; My= -10,52 тс*м

2. - Выводы:



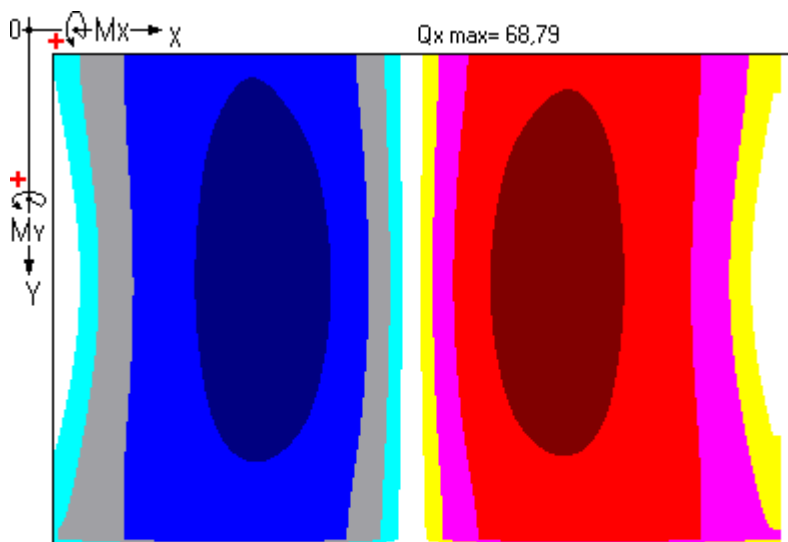
Mx min= -0,25

Эпюра моментов вокруг оси X



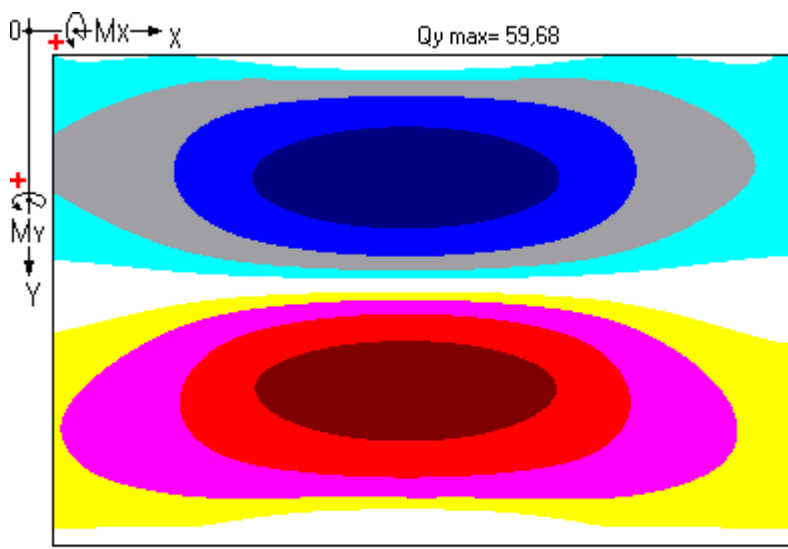
Эпюра моментов вокруг оси Y

$M_y \min = -0,15$

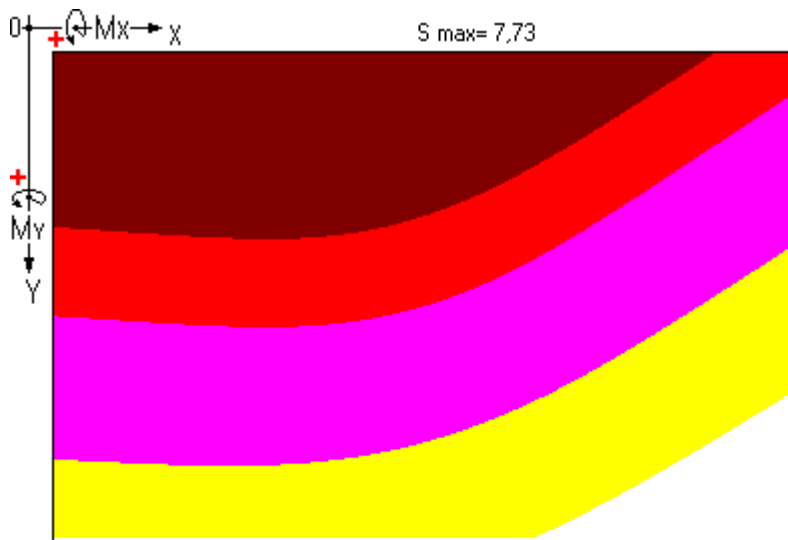


Эпюра поперечных сил вдоль оси X

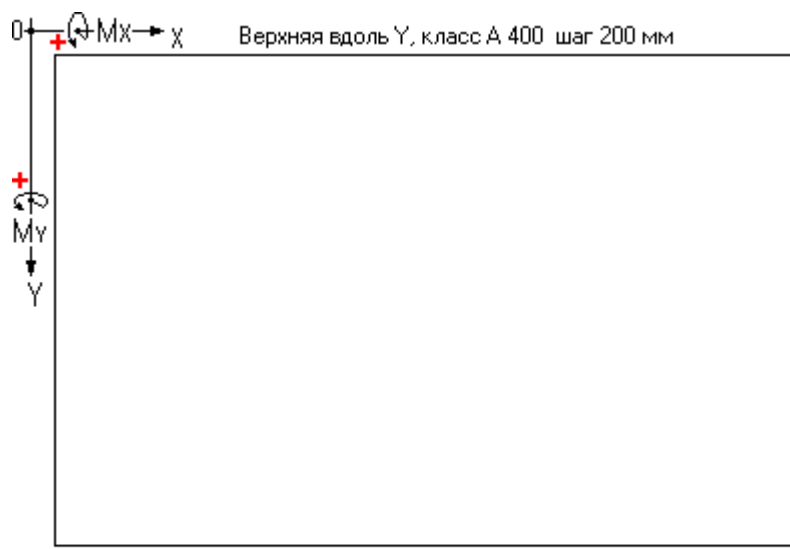
$Q_x \min = -69,67$



Эпюра поперечных сил вдоль оси Y

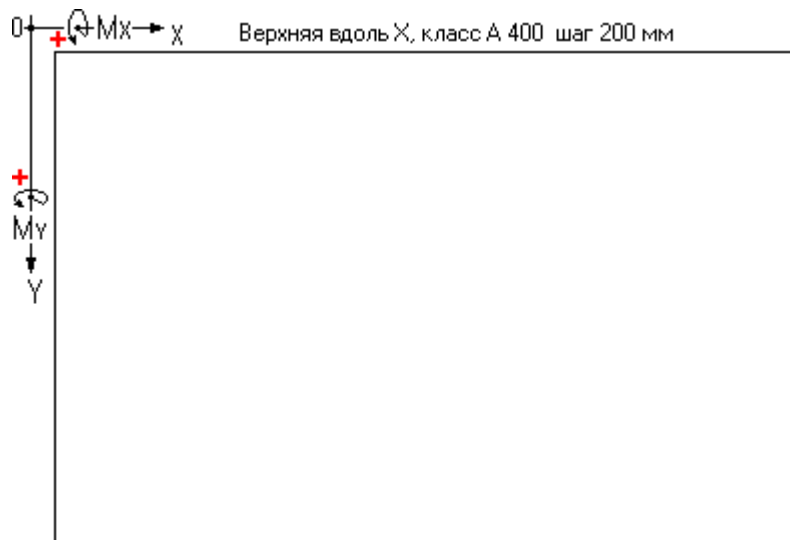


Эпюра вертикальных перемещений, мм



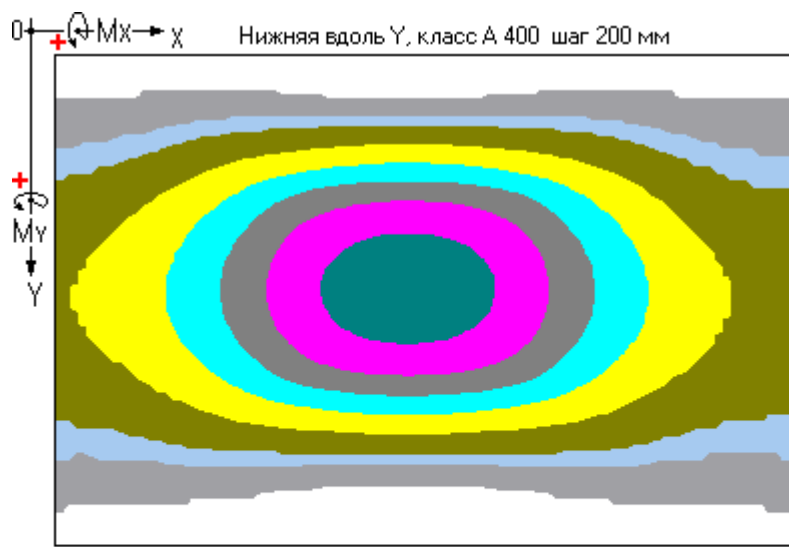
Бетон В15

Верхнее армирование плиты вдоль оси Y, d, мм



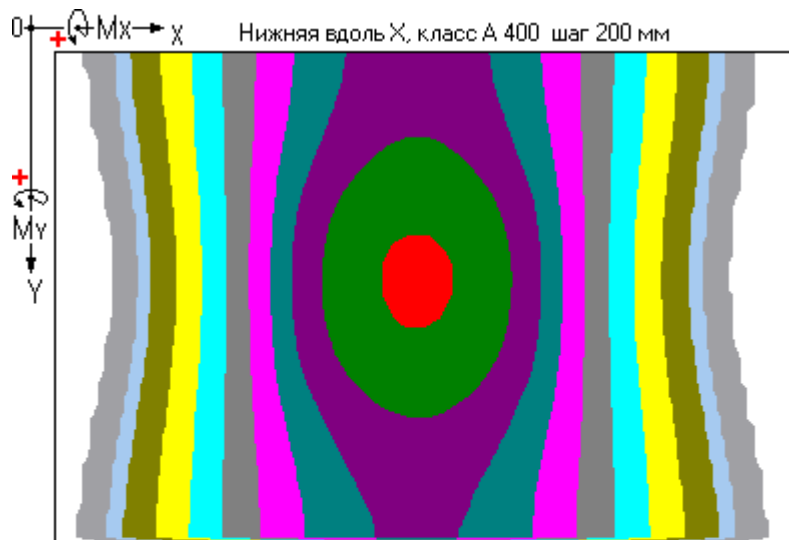
Бетон В15

Верхнее армирование плиты вдоль оси X, d, мм



Бетон В15

Нижнее армирование плиты вдоль оси Y, d, мм



Бетон В15

Нижнее армирование плиты вдоль оси X, d, мм

 d=3-5 мм	 d=10 мм	 d=16 мм	 d=22 мм	 d=32 мм
 d=6 мм	 d=12 мм	 d=18 мм	 d=25 мм	 d=36 мм
 d=8 мм	 d=14 мм	 d=20 мм	 d=28 мм	 d=40 мм

Цветовая палитра полей армирования

Расчет балок прямоугольного сечения по прочности при изгибе в одной плоскости

Информация о расчете:

Дата выполнения расчета: 16.11.2021 16:51:06;

Исходные данные:

Защитный слой:

- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S до грани сечения $a_s = 7 \text{ см} = 7 / 100 = 0,07 \text{ м}$;

- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S' до грани сечения $a'_s = 4 \text{ см} = 4 / 100 = 0,04 \text{ м}$;

Площадь ненапрягаемой наиболее растянутой продольной арматуры:

(Стержневая арматура, диаметром 25 мм; 5 шт.):

- Площадь ненапрягаемой растянутой арматуры $A_s = 24,5 \text{ см}^2 = 24,5 / 10000 = 0,00245 \text{ м}^2$;

Площадь ненапрягаемой сжатой или наименее растянутой продольной арматуры:

(Стержневая арматура, диаметром 10 мм; 5 шт.):

- Площадь ненапрягаемой сжатой арматуры $A'_s = 3,9 \text{ см}^2 = 3,9 / 10000 = 0,00039 \text{ м}^2$;

Площадь поперечной арматуры:

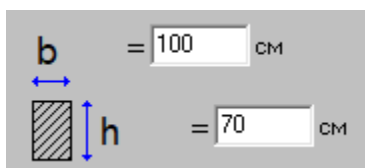
(Стержневая арматура, диаметром 10 мм; 5 шт.):

- Площадь поперечной арматуры $A_{sw} = 3,93 \text{ см}^2 = 3,93 / 10000 = 0,000393 \text{ м}^2$;

Поперечная арматура:

- Шаг стержней поперечной арматуры $s_w = 20 \text{ см} = 20 / 100 = 0,2 \text{ м}$;

Размеры сечения:



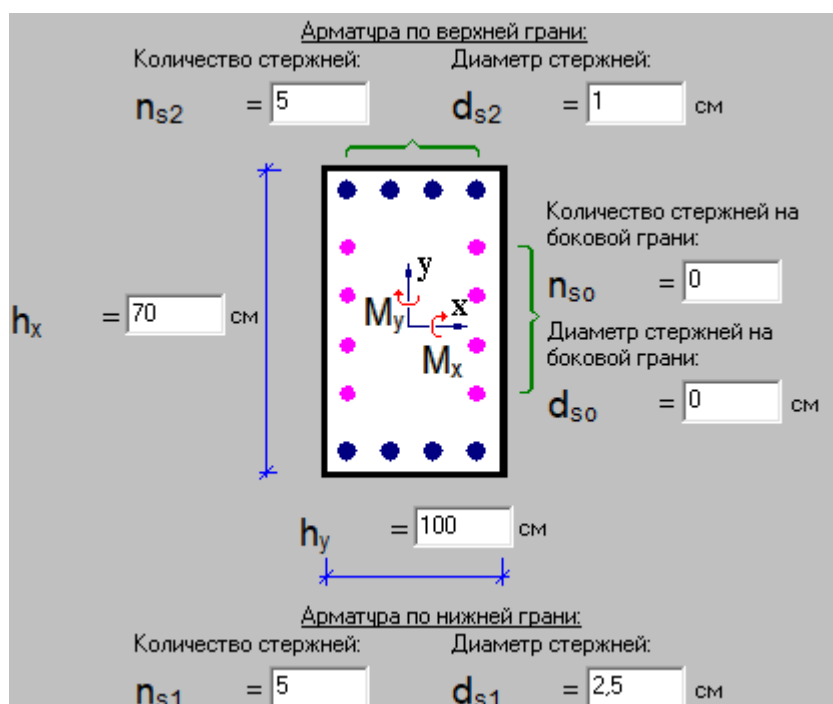
- Высота сечения $h = 70 \text{ см} = 70 / 100 = 0,7 \text{ м}$;

- Ширина прямоугольного сечения $b = 100 \text{ см} = 100 / 100 = 1 \text{ м}$;

Усилия:

- Изгибающий момент $M = 45,2 \text{ тс м} = 45,2 / 101,97162123 = 0,44326 \text{ МН м}$;
- Поперечная сила $Q = 70 \text{ тс} = 70 / 101,97162123 = 0,68647 \text{ МН}$;

Характеристики арматуры при расчете на кручение:



- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у нижней грани элемента $d_{s1} = 2,5 \text{ см} = 2,5 / 100 = 0,025 \text{ м}$;
- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у нижней грани элемента $n_{s1} = 5$;
- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у верхней грани элемента $d_{s2} = 1 \text{ см} = 1 / 100 = 0,01 \text{ м}$;
- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у верхней грани элемента $n_{s2} = 5$;
- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у боковой грани элемента $d_{s0} = 0 \text{ см} = 0 / 100 = 0 \text{ м}$;
- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у боковой грани элемента $n_{s0} = 0$;

Результаты расчета:

1) Расчетное сопротивление бетона

Конструкция - железобетонная.

Предварительное напряжение арматуры - отсутствует.

Класс бетона - В25.

Бетон - тяжелый.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{bn} = 18,5 \text{ МПа}$.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{btн} = 1,55$ МПа .

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию принимается по табл. 6.8 $R_b = 14,5$ МПа .

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению принимается по табл. 6.8 $R_{bt} = 1,05$ МПа .

Класс бетона по прочности:
 $B = 25$.

2) Продолжение расчета по п. п. 8.1 СП 63.13330.2012

Расчет - балок.

Элемент - изгибаемый.

Изгиб элемента - в одной плоскости.

3) Учет особенностей работы бетона в конструкции

Действие нагрузки - продолжительное.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий длительность действия нагрузки:
 $\gamma_{b1} = 0,9$.

Конструкция бетонируется - в горизонтальном положении.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий бетонирование в вертикальном положении:
 $\gamma_{b3} = 1$.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий характер разрушения ячеистого бетона:
 $\gamma_{b4} = 1$.

Для надземной конструкции, при расчетной температуре наружного воздуха в зимний период не менее -40 град.:

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий влияние попеременного замораживания и оттаивания:
 $\gamma_{b5} = 1$.

Группа предельных состояний - первая.

Сейсмичность площадки строительства - не более 6 баллов.

Коэффициент условия работы по СП 14.13330 "Строительство в сейсмических районах":

$$m_{кр} = 1 .$$

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию при $m_{кр} = 1$:

$$R_b = \gamma_{b1} \gamma_{b3} \gamma_{b4} \gamma_{b5} R_b = \\ = 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 14,5 = 13,05 \text{ МПа} .$$

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию:

$$R_b = m_{кр} \gamma_{b1} \gamma_{b3} \gamma_{b4} \gamma_{b5} R_b = \\ = 1 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 14,5 = 13,05 \text{ МПа} .$$

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению при расчете на действие поперечных сил:

$$R_{bt} = \gamma_{b1} R_{bt} = 0,9 \cdot 1,05 = 0,945 \text{ МПа} .$$

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению:

$$R_{bt} = m_{кр} \gamma_{b1} R_{bt} = 1 \cdot 0,9 \cdot 1,05 = 0,945 \text{ МПа} .$$

4) Определение значения начального модуля упругости бетона

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000 \text{ МПа}$.

5) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Т.к. $\gamma_{b1} < 1$:

Относительная влажность воздуха окружающей среды - выше 75%.

Коэффициент ползучести принимается по табл. 6.12 $\varphi_{b, cr} = 1,8$.

6) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Начальный модуль упругости, принимаемый при продолжительном действии нагрузки:

$$E_{b, \tau} = E_b / (1 + \varphi_{b, cr}) = \\ = 30000 / (1 + 1,8) = 10714,28571 \text{ МПа (формула (6.3); п. 6.1.15)} .$$

7) Расчетные значения прочностных характеристик арматуры

Класс ненапрягаемой продольной арматуры - А400.

Расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению:

$$R_s = 350 \text{ МПа} .$$

Расчетное сопротивление продольной арматуры сжатию:

$$R_{sc} = 350 \text{ МПа} .$$

Поперечная арматура - рассматривается в данном расчете.

Класс поперечной арматуры - А400.

Расчетное сопротивление поперечной арматуры растяжению:
 $R_{sw} = 280 \text{ МПа}$.

Расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению:
 $R_s = m_{кр} R_s = 1 \cdot 350 = 350 \text{ МПа}$.

Расчетное сопротивление продольной арматуры сжатию:
 $R_{sc} = m_{кр} R_{sc} = 1 \cdot 350 = 350 \text{ МПа}$.

8) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:
 $E_s = 200000 \text{ МПа}$.

9) Определение граничной относительной высоты сжатой зоны

Относительная деформация растянутой арматуры:
 $\epsilon_{s, el} = R_s/E_s = 350/200000 = 0,00175$ (формула (8.2); п. 8.1.6).

Относительная деформация бетона:
 $\epsilon_{b2} = 0,0035$.

10) Продолжение расчета по п. п. 8.1.6 СП 63.13330.2012

Граничная относительная высота сжатой зоны:
 $\xi_R = 0,8/(1+\epsilon_{s, el}/\epsilon_{b2}) =$
 $= 0,8/(1+0,00175/0,0035) = 0,53333$ (формула (8.1); п. 8.1.6).

11) Расчет изгибаемых элементов

Сечение - прямоугольное.

Т.к. $R_s A_s = 350 \cdot 0,00245 = 0,8575 \text{ МН} = 87,44067 \text{ тс} > R_{sc} A'_s = 350 \cdot 0,00039 =$
 $0,1365 \text{ МН} = 13,91913 \text{ тс}$:

Высота сжатой зоны:
 $x = (R_s A_s - R_{sc} A'_s)/(R_b b) =$
 $= (350 \cdot 0,00245 - 350 \cdot 0,00039)/(13,05 \cdot 1) = 0,05525 \text{ м} = 5,53 \text{ см}$ (формула (8.5); п. 8.1).

Рабочая высота сечения:
 $h_0 = h - a_s = 0,7 - 0,07 = 0,63 \text{ м} = 63 \text{ см}$.

Относительная высота сжатой зоны:
 $\xi = x/h_0 = 0,05525/0,63 = 0,0877$.

Т.к. $\xi = 0,0877 \leq \xi_R = 0,53333$; $x > 0 \text{ м} = 0 \text{ см}$:

Предельный изгибающий момент:

$$M_{ult} = R_b b x (h_0 - 0,5 x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a'_s) = \\ = 13,05 \cdot 1 \cdot 0,05525 \cdot (0,63 - 0,5 \cdot 0,05525) + 350 \cdot 0,00039 \cdot (0,63 - 0,04) = 0,51485 \text{ МН м} = \\ = 52,5 \text{ тс м (формула (8.4); п. 8.1.9).}$$

$M = 0,44326 \text{ МН м} = 45,19994 \text{ тс м} \leq M_{ult} = 0,51485 \text{ МН м} = 52,50009 \text{ тс м}$
(86,09498% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.3); п. п. 8.1.8).

12) Определение значения начального модуля упругости бетона

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000 \text{ МПа}$.

13) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Т.к. $\gamma_{b1} < 1$:

Коэффициент ползучести принимается по табл. 6.12 $\varphi_{b, cr} = 1,8$.

14) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Начальный модуль упругости, принимаемый при продолжительном действии нагрузки:

$$E_b, \tau = E_b / (1 + \varphi_{b, cr}) = \\ = 30000 / (1 + 1,8) = 10714,28571 \text{ МПа (формула (6.3); п. 6.1.15).}$$

15) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа} .$$

16) Определение характеристик приведенного сечения

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:

$$\alpha_s = E_s / E_b = 200000 / 10714,29 = 18,66666 .$$

$$h'_0 = h - a'_s = 0,7 - 0,04 = 0,66 \text{ м} = 66 \text{ см} .$$

Площадь сечения:

$$A = b h = 1 \cdot 0,7 = 0,7 \text{ м}^2 = 7000 \text{ см}^2 .$$

Статический момент бетонного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_t = b h^2 / 2 = 1 \cdot 0,7^2 / 2 = 0,245 \text{ м}^3 = 245000 \text{ см}^3 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00039 - 0,00245 = 0,69716 \text{ м}^2 = 6971,6 \text{ см}^2 .$$

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{red} = \alpha_s (A_s + A'_s) + A_b = 18,66666 \cdot (0,00245 + 0,00039) + 0,69716 = 0,75017 \text{ м}^2 = 7501,7 \text{ см}^2 .$$

Статический момент приведенного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_{t, red} = (\alpha_s - 1) (A_s a_s + A'_s (h - a'_s)) + b h^2 / 2 = \\ = (18,66666 - 1) \cdot (0,00245 \cdot 0,07 + 0,00039 \cdot (0,7 - 0,04)) + 1 \cdot 0,7^2 / 2 = 0,25258 \text{ м}^3 = 252580 \text{ см}^3 .$$

Координата центра тяжести расчетного контура:

$$y_o = S_{t, red} / A_{red} = 0,25258 / 0,75017 = 0,3367 \text{ м} = 33,67 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее растянутого волокна бетона до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_t = y_o = 0,3367 \text{ м} = 33,67 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_c = h - y_t = 0,7 - 0,3367 = 0,3633 \text{ м} = 36,33 \text{ см} .$$

$$y_s = y_o - a_s = 0,3367 - 0,07 = 0,2667 \text{ м} = 26,67 \text{ см} .$$

$$y'_s = h - a_s - a'_s - y_s = 0,7 - 0,07 - 0,04 - 0,2667 = 0,3233 \text{ м} = 32,33 \text{ см} .$$

Момент инерции бетонного сечения относительно центра тяжести приведенного сечения:

$$I = b h^3 / 12 + A (h/2 - y_t)^2 = \\ = 1 \cdot 0,7^3 / 12 + 0,7 \cdot (0,7/2 - 0,3367)^2 = 0,02871 \text{ м}^4 = 2871000 \text{ см}^4 .$$

17) Определение момента образования трещин

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:

$$R_{b, ser} = R_{bn} = 18,5 \text{ МПа} .$$

Расчетное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний второй группы:

$$R_{bt, ser} = R_{btn} = 1,55 \text{ МПа} .$$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_c)^2 = 0,00245 \cdot (0,7 - 0,07 - 0,3633)^2 = 0,000174266 \text{ м}^4 = 17426,6 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$I'_s = A'_s (y_c - a'_s)^2 = \\ = 0,00039 \cdot (0,3633 - 0,04)^2 = 0,000040764 \text{ м}^4 = 4076,4 \text{ см}^4 .$$

18) Продолжение расчета по п. п. 8.2.12 СП 63.13330.2012

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{red} = I + I_s (\alpha_s - 1) + I'_s (\alpha_s - 1) = \\ = 0,02871 + 0,000174266 \cdot (18,66666 - 1) + 0,000040764 \cdot (18,66666 - 1) = 0,03251 \text{ м}^4 = \\ = 3251000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.125); п. 8.2.12).}$$

Упругий момент сопротивления приведенного сечения:

$$W_{red} = I_{red} / y_t = 0,03251 / 0,3367 = 0,09655 \text{ м}^3 = 96550 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.123); п. 8.2.12).}$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны:

$$e_x = W_{red} / A_{red} = 0,09655 / 0,75017 = 0,1287 \text{ м} = 12,87 \text{ см} \text{ (формула (8.124); п. 8.2.12).}$$

Момент образования трещин определяется - с учетом неупругих деформаций.

Упругопластический момент сопротивления сечения:

$$W_{pl} = 1,3 W_{red} = 1,3 \cdot 0,09655 = 0,12552 \text{ м}^3 = 125520 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.122); п. 8.2.11).}$$

Изгибающий момент, воспринимаемый нормальным сечением элемента при образовании трещин:

$$M_{crc} = R_{bt, ser} W_{pl} = 1,55 \cdot 0,12552 = 0,19456 \text{ МН м} = 19,84 \text{ тс м} \text{ (формула (8.121); п. 8.2.11).}$$

19) Проверка необходимости увеличения площади сечения продольной растянутой арматуры, если предельное усилие по прочности меньше предельного усилия по образованию трещин

$$\text{Т.к. } M_{ult} = 0,51485 \text{ МН м} = 52,50009 \text{ тс м} \geq M_{crc} = 0,19456 \text{ МН м} = 19,8396 \text{ тс м} :$$

в соответствии с п. 8.1.3 при M_{ult} не менее M_{crc} площадь сечения растянутой продольной арматуры не должна быть увеличена по сравнению с требуемой.

20) Проверка необходимости сжатой арматуры

(проверяем несущую способность, предполагая отсутствие сжатой арматуры)

Высота сжатой зоны:

$$x = R_s A_s / (R_b b) = \\ = 350 \cdot 0,00245 / (13,05 \cdot 1) = 0,06571 \text{ м} = 6,57 \text{ см} \text{ (формула (8.5); п. 8.1).}$$

Относительная высота сжатой зоны:

$$\xi = x / h_0 = 0,06571 / 0,63 = 0,1043 .$$

$$\text{Т.к. } \xi = 0,1043 \leq \xi_R = 0,53333 :$$

Предельный изгибающий момент:

$$M_{ult} = R_b b x (h_0 - 0,5 x) =$$

= $13,05 \cdot 1 \cdot 0,06571 \cdot (0,63 - 0,5 \cdot 0,06571) = 0,51206$ МН м = 52,22 тс м (формула (8.4); п. 8.1).

21) Продолжение расчета по п. п. 8.1.8 СП 63.13330.2012

Т.к. $M = 0,44326$ МН м = 45,19994 тс м $\leq M_{ult} = 0,51206$ МН м = 52,21559 тс м :

- сжатая арматура по расчету не требуется, поэтому не требуется устанавливать поперечную арматуру в соответствии с п. 10.3.14.

22) Расчет железобетонных элементов по полосе между наклонными сечениями

Коэффициент:

$$\varphi_{b1} = 0,3 .$$

Приведенное значение толщины защитного слоя растянутой арматуры:

$$a = a_s = 0,07 \text{ м} = 7 \text{ см} .$$

Приведенное значение толщины защитного слоя сжатой арматуры:

$$a' = a'_s = 0,04 \text{ м} = 4 \text{ см} .$$

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a = 0,7 - 0,07 = 0,63 \text{ м} = 63 \text{ см} .$$

23) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа} .$$

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:

$$\alpha_s = E_s / E_b = 200000 / 10714,29 = 18,66666 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b \cdot h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00039 - 0,00245 = 0,69716 \text{ м}^2 = 6971,6 \text{ см}^2 .$$

Приведенная площадь сечения элемента с учетом продольной арматуры:

$$\begin{aligned} A &= A_b + \alpha_s (A'_s + A_s) = \\ &= 0,69716 + 18,66666 \cdot (0,00039 + 0,00245) = 0,75017 \text{ м}^2 = 7501,7 \text{ см}^2 . \end{aligned}$$

Коэффициент, учитывающий влияние сжимающих и растягивающих напряжений:

$$\varphi_n = 1 .$$

$Q = 0,68647$ МН = 70,00046 тс $\leq \varphi_n \varphi_{b1} R_b b h_0 = 1 \cdot 0,3 \cdot 13,05 \cdot 1 \cdot 0,63 = 2,46645$ МН = 251,50791 тс (27,83231% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.55); п. 8.1.32).

24) Расчет железобетонных элементов по наклонным сечениям на действие поперечных сил

Коэффициент:

$$\varphi_{b2} = 1,5 .$$

Расчет - по упрощенным формулам, полученным на основе анализа СП 63.13330.2012.

Коэффициент:

$$\varphi_{sw} = 0,75 .$$

Усилия в поперечной арматуре на единицу длины:

$$q_{sw} = R_{sw} A_{sw}/s_w = 280 \cdot 0,000393/0,2 = 0,5502 \text{ МН/м} = 56,1 \text{ тс/м (формула (8.59); п. 8.1.33)} .$$

Длина проекции наклонного сечения:

$$c = \sqrt{2 R_{bt} b h_0^2 / q_{sw}} = \\ = \sqrt{2 \cdot 0,945 \cdot 1 \cdot 0,63^2 / 0,5502} = 1,16765 \text{ м} = 116,77 \text{ см} .$$

$$\text{Т.к. } c = 1,16765 \text{ м} = 116,765 \text{ см} \leq 2 h_0 = 2 \cdot 0,63 = 1,26 \text{ м} = 126 \text{ см} \text{ и } c = 1,16765 \text{ м} = 116,765 \text{ см} \geq h_0 = 0,63 \text{ м} = 63 \text{ см} :$$

Поперечная сила, воспринимаемая бетоном:

$$Q_b = \varphi_{b2} R_{bt} b h_0^2 / c = \\ = 1,5 \cdot 0,945 \cdot 1 \cdot 0,63^2 / 1,16765 = 0,48183 \text{ МН} = 49,13 \text{ тс (формула (8.57); п. 8.1.33)} .$$

Усилие в поперечной арматуре:

$$Q_{sw} = \varphi_{sw} q_{sw} c = \\ = 0,75 \cdot 0,5502 \cdot 1,16765 = 0,48183 \text{ МН} = 49,13 \text{ тс (формула (8.58); п. 8.1.33)} .$$

$$q_{sw} = 0,5502 \text{ МН} = 56,10479 \text{ тс} \geq 0,25 R_{bt} b = 0,25 \cdot 0,945 \cdot 1 = 0,23625 \text{ МН} = 24,0908 \text{ тс (232,88889\% от предельного значения)} - \text{условие выполнено} .$$

$$Q = 0,68647 \text{ МН} = 70,00046 \text{ тс} \leq R_{bt} b h_0^2 / s_w = 0,945 \cdot 1 \cdot 0,63^2 / 0,2 = 1,87535 \text{ МН} = 191,23273 \text{ тс (36,60485\% от предельного значения)} - \text{условие выполнено} .$$

(из требования по ограничению шага арматуры)

$$s_w = 0,2 \text{ м} = 20 \text{ см} \leq \min(0,5 h_0 ; 0,3) = \min(0,5 \cdot 0,63; 0,3) = 0,3 \text{ м} = 30 \text{ см} \\ (66,66667\% от предельного значения) - \text{условие выполнено} .$$

25) Продолжение расчета по п. п. 8.1.33 СП 63.13330.2012

Коэффициент, учитывающий влияние сжимающих и растягивающих напряжений:

$$\varphi_n = 1 .$$

$Q = 0,68647 \text{ МН} = 70,00046 \text{ тс} \leq \varphi_n Q_b + Q_{sw} = 1 \cdot 0,48183 + 0,48183 = 0,96366 \text{ МН}$
 $= 98,26597 \text{ тс}$ (71,23571% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.56); п. 8.1.33).

26) Проверка требования минимального процента армирования

Арматура расположена по контуру сечения - не равномерно.

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a_s = 0,7 - 0,07 = 0,63 \text{ м} = 63 \text{ см} .$$

Коэффициент армирования:

$$\mu_s = A_s / (b h_0) \cdot 100 = 0,00245 / (1 \cdot 0,63) \cdot 100 = 0,38889 \% .$$

$\mu_s \geq 0,1 \%$ (388,89% от предельного значения) - условие выполнено .

**Многоэтажный застройка по ул. Карцева в микрорайоне №25
г. Нефтекамск, РБ, жилой дом №21.**

Свая I=8,5м.

Зонд II типа. Точка зондирования №14 с глубины 1,8м до глубины 10,3м.

Интервал глубин 1,8÷3,4м.

$$f_1=(21 \times 5 + 18 \times 6 + 16 \times 5) : 16 = 298 / 17 \approx 18,31 \text{кПа. } 18,31 \text{кПа} \approx 1,87 \text{т/м}^2; \beta=1$$

Интервал глубин 3,4÷5,0м.

$$f_2=(21 \times 10 + 18 \times 5 + 16) : 19 = 316 / 16 = 19,75 \text{кПа. } 19,75 \text{кПа} \approx 2,0 \text{т/м}^2; \beta=1$$

Интервал глубин 5,0÷6,6м.

$$f_3=(21 \times 10 + 18 \times 4 + 16 \times 2) : 16 = 314 / 16 \approx 19,63 \text{кПа. } 19,63 \text{кПа} \approx 2,0 \text{т/м}^2; \beta=1$$

Интервал глубин 6,6÷8,2м.

$$f_4=(23 + 21 \times 8 + 18 \times 4 + 16 \times 3) : 16 = 311 / 16 = 19,44 \text{кПа. } 19,44 \text{кПа} \approx 1,98 \text{т/м}^2; \beta=1.$$

Интервал глубин 8,2÷9,8м.

$$f_5=(21 \times 7 + 18 \times 6 + 16 \times 2 + 14) : 16 = 301 / 16 = 18,81 \text{кПа. } 18,81 \text{кПа} \approx 1,92 \text{т/м}^2; \beta=1.$$

Интервал глубин 9,8÷10,3м.

$$f_6=(41 + 39 \times 2 + 37 \times 2 + 34) : 16 = 227 / 6 = 37,83 \text{кПа. } 37,83 \text{кПа} \approx 3,86 \text{т/м}^2;$$

$\beta=0,616$ (по интерполяции).

$$q_s=[11,16 + 11,04 \times 2 + 10,8 + 10,68 + 7,2 + 0,72 \times 4 + 0,6 \times 4 + 0,48 \times 2] : 15 =$$

$$= 68,16 : 15 \approx 4,54 \text{МПа; } q_s=4,54 \text{ МПа} \approx 462,6 \text{т/м}^2; \beta_s \approx 0,684 \text{ (по интерполяции).}$$

Свая I=8,5м.

Зонд II типа. Точка зондирования №18 с глубины 1,6м до глубины 10,1м.

Интервал глубин 1,6÷3,2м.

$$f_1=(21 \times 9 + 18 \times 6 + 16) : 16 = 313 / 16 \approx 19,56 \text{кПа. } 19,56 \text{кПа} \approx 1,99 \text{т/м}^2; \beta=1$$

Интервал глубин 3,2÷4,8м.

$$f_2=(21 \times 8 + 18 \times 5 + 16 \times 2 + 14) : 16 = 304 / 16 = 19,0 \text{кПа. } 19,0 \text{кПа} \approx 1,94 \text{т/м}^2; \beta=1$$

Интервал глубин 4,8÷6,4м.

$$f_3=(23 + 21 \times 7 + 18 \times 6 + 16 \times 2) : 16 = 310 / 16 \approx 19,38 \text{кПа. } 19,38 \text{кПа} \approx 1,97 \text{т/м}^2; \beta=1$$

Интервал глубин 6,4÷8,0м.

$$f_4=(21 \times 9 + 18 \times 5 + 16 \times 2) : 16 = 311 / 16 = 19,44 \text{кПа. } 19,44 \text{кПа} \approx 1,98 \text{т/м}^2; \beta=1.$$

Интервал глубин 8,0÷9,6м.

$$f_5=(39 + 37 + 21 \times 8 + 18 \times 4 + 16 \times 2) : 16 = 348 / 16 = 21,75 \text{кПа. } 21,75 \text{кПа} \approx 2,22 \text{т/м}^2;$$

$\beta=0,978$ (по интерполяции).

Интервал глубин 9,6÷10,1м.

$$f_6=(53 + 50 + 48 + 46 + 34) : 5 = 231 / 5 = 46,2 \text{кПа. } 46,2 \text{кПа} \approx 4,71 \text{т/м}^2;$$

$\beta=0,585$ (по интерполяции).

$$q_s=[11,88 \times 2 + 11,64 + 11,4 \times 3 + 10,8 + 5,76 + 0,72 \times 4 + 0,6 \times 3 + 0,48] : 16 =$$

$$= 91,32 : 16 \approx 5,71 \text{МПа; } q_s=5,71 \text{ МПа} \approx 581,8 \text{т/м}^2; \beta_s \approx 0,622 \text{ (по интерполяции).}$$

Свая I=8,5м.

Зонд II типа. Точка зондирования №16 с глубины 1,6м до глубины 10,1м.

Интервал глубин 1,6÷3,6м.

$$f_1=(21 \times 8 + 18 \times 6 + 16 \times 5 + 14) : 20 = 356 / 20 \approx 17,8 \text{кПа. } 17,8 \text{кПа} \approx 1,81 \text{т/м}^2; \beta=1$$

Интервал глубин 3,6÷5,6м.

$$f_2=(21 \times 7 + 18 \times 10 + 16 \times 2 + 14) : 16 = 373 / 20 = 18,65 \text{кПа. } 18,65 \text{кПа} \approx 1,90 \text{т/м}^2; \beta=1$$

Интервал глубин 5,6÷7,6м.

$$f_3=(21 \times 8 + 18 \times 8 + 16 \times 4) : 20 = 376 / 20 \approx 18,8 \text{кПа}. \quad 18,8 \text{кПа} \approx 1,92 \text{т/м}^2; \quad \beta = 1$$

Интервал глубин 7,6÷9,6м.

$$f_4=(21 \times 9 + 18 \times 9 + 16 \times 2) : 20 = 383 / 20 = 19,15 \text{кПа}. \quad 19,15 \text{кПа} \approx 1,95 \text{т/м}^2; \quad \beta = 1.$$

Интервал глубин 9,6÷10,1м.

$$f_5=(43 \times 2 + 41 + 37 + 21) : 5 = 185 / 5 = 37,0 \text{кПа}. \quad 37,0 \text{кПа} \approx 3,77 \text{т/м}^2;$$

$\beta = 0,622$ (по интерполяции).

$$q_s = [11,52 \times 2 + 11,4 + 11,28 + 11,04 \times 2 + 10,44 + 9 + 6,88 + 6,36 + 0,72 \times 4 + 0,6 + 0,48] : 16 = \\ = 81,4 : 16 \approx 5,09 \text{МПа}; \quad q_s = 5,09 \text{МПа} \approx 518,4 \text{т/м}^2. \quad \beta_s \approx 0,646 \text{ (по интерполяции)}.$$

Свая I=8,5м.

Зонд II типа. Точка зондирования №13 с глубины 1,6м до глубины 10,1м.

Интервал глубин 1,6÷3,6м.

$$f_1=(21 \times 6 + 18 \times 9 + 16 \times 3 + 14 \times 2) : 20 = 364 / 20 \approx 18,2 \text{кПа}. \quad 18,2 \text{кПа} \approx 1,85 \text{т/м}^2; \quad \beta = 1$$

Интервал глубин 3,6÷5,6м.

$$f_2=(21 \times 7 + 18 \times 5 + 16 \times 5 + 14 \times 3) : 16 = 359 / 20 = 17,95 \text{кПа}. \quad 17,95 \text{кПа} \approx 1,83 \text{т/м}^2; \quad \beta = 1$$

Интервал глубин 5,6÷7,6м.

$$f_3=(23 + 21 \times 7 + 18 \times 7 + 16 \times 3 + 14 \times 2) : 20 = 372 / 20 \approx 18,6 \text{кПа}. \quad 18,6 \text{кПа} \approx 1,90 \text{т/м}^2; \quad \beta = 1$$

Интервал глубин 7,6÷9,6м.

$$f_4=(21 \times 6 + 18 \times 7 + 16 \times 5 + 14 \times 2) : 20 = 360 / 20 = 18,0 \text{кПа}. \quad 18,0 \text{кПа} \approx 1,83 \text{т/м}^2; \quad \beta = 1.$$

Интервал глубин 9,6÷10,1м.

$$f_5=(43 + 39 \times 2 + 37 \times 2) : 5 = 195 / 5 = 39,0 \text{кПа}. \quad 39,0 \text{кПа} \approx 3,97 \text{т/м}^2;$$

$\beta = 0,608$ (по интерполяции).

$$q_s = [11,16 + 11,04 \times 3 + 10,68 + 10,56 + 10,32 + 9,84 + 9,36 + 7,56 + 0,72 \times 3 + 0,6 \times 2 + 0,48] : 16 = \\ = 106,44 : 16 \approx 6,65 \text{МПа}; \quad q_s = 6,65 \text{МПа} \approx 672,9 \text{т/м}^2. \quad \beta_s \approx 0,584 \text{ (по интерполяции)}.$$

Свая I=8,5м.

Зонд II типа. Точка зондирования №15 с глубины 1,5м до глубины 10,0м.

Интервал глубин 1,5÷3,5м.

$$f_1=(23 + 21 \times 8 + 18 \times 6 + 16 \times 3 + 14 \times 2) : 20 = 375 / 20 \approx 18,75 \text{кПа}. \quad 18,75 \text{кПа} \approx 1,91 \text{т/м}^2; \quad \beta = 1$$

Интервал глубин 3,5÷5,5м.

$$f_2=(21 \times 10 + 18 \times 4 + 16 \times 4 + 14 \times 2) : 20 = 374 / 20 = 18,7 \text{кПа}. \quad 18,7 \text{кПа} \approx 1,91 \text{т/м}^2; \quad \beta = 1$$

Интервал глубин 5,5÷7,5м.

$$f_3=(23 + 21 \times 10 + 18 \times 5 + 16 \times 4) : 20 = 387 / 20 \approx 19,35 \text{кПа}. \quad 19,35 \text{кПа} \approx 1,97 \text{т/м}^2; \quad \beta = 1$$

Интервал глубин 7,5÷9,6м.

$$f_4=(41 + 21 \times 11 + 18 \times 5 + 16 \times 3 + 14) : 21 = 424 / 21 = 20,19 \text{кПа}. \quad 20,19 \text{кПа} \approx 2,06 \text{т/м}^2; \quad \beta = 1.$$

Интервал глубин 9,6÷10,0м.

$$f_5=(43 + 41 + 39 + 37) : 4 = 160 / 4 = 40,0 \text{кПа}. \quad 40,0 \text{кПа} \approx 4,08 \text{т/м}^2; \quad \beta = 0,6.$$

$$q_s = [11,88 \times 2 + 11,52 \times 3 + 11,4 + 11,16 + 11,04 \times 2 + 10,8 + 0,72 \times 4 + 0,6 + 0,48] : 16 = \\ = 117,72 : 16 \approx 7,36 \text{МПа}; \quad q_s = 7,36 \text{МПа} \approx 749,7 \text{т/м}^2. \quad \beta_s \approx 0,556 \text{ (по интерполяции)}.$$

Свая I=8,5м.

Зонд II типа. Точка зондирования №17 с глубины 1,5м до глубины 10,0м.

Интервал глубин 1,5÷3,5м.

$$f_1=(21 \times 10 + 18 \times 6 + 16 \times 4) : 20 = 382 / 20 \approx 19,1 \text{кПа}. \quad 19,1 \text{кПа} \approx 1,95 \text{т/м}^2; \quad \beta = 1$$

Интервал глубин 3,5÷5,5м.

$$f_2=(21 \times 11 + 18 \times 6 + 16 \times 3) : 20 = 387 / 20 = 19,35 \text{кПа}. \quad 19,35 \text{кПа} \approx 1,97 \text{т/м}^2; \quad \beta = 1$$

Интервал глубин 5,5÷7,5м.

$$f_3=(21 \times 11 + 18 \times 5 + 16 \times 3 + 14) : 20 = 383 / 20 \approx 19,15 \text{кПа}. \quad 19,15 \text{кПа} \approx 1,95 \text{т/м}^2; \quad \beta = 1$$

Интервал глубин 7,5÷9,6м.

$$f_4=(41+21 \times 12+18 \times 4+16 \times 3+14):21=427/21=20,33 \text{кПа. } 20,33 \text{кПа} \approx 2,07 \text{т/м}^2; \beta=1.$$

Интервал глубин 9,6÷10,0м.

$$f_5=(39+37 \times 3):4=150/4=37,5 \text{кПа. } 37,5 \text{кПа} \approx 3,82 \text{т/м}^2;$$

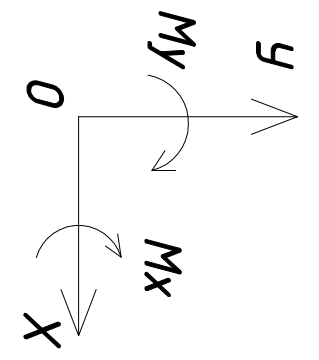
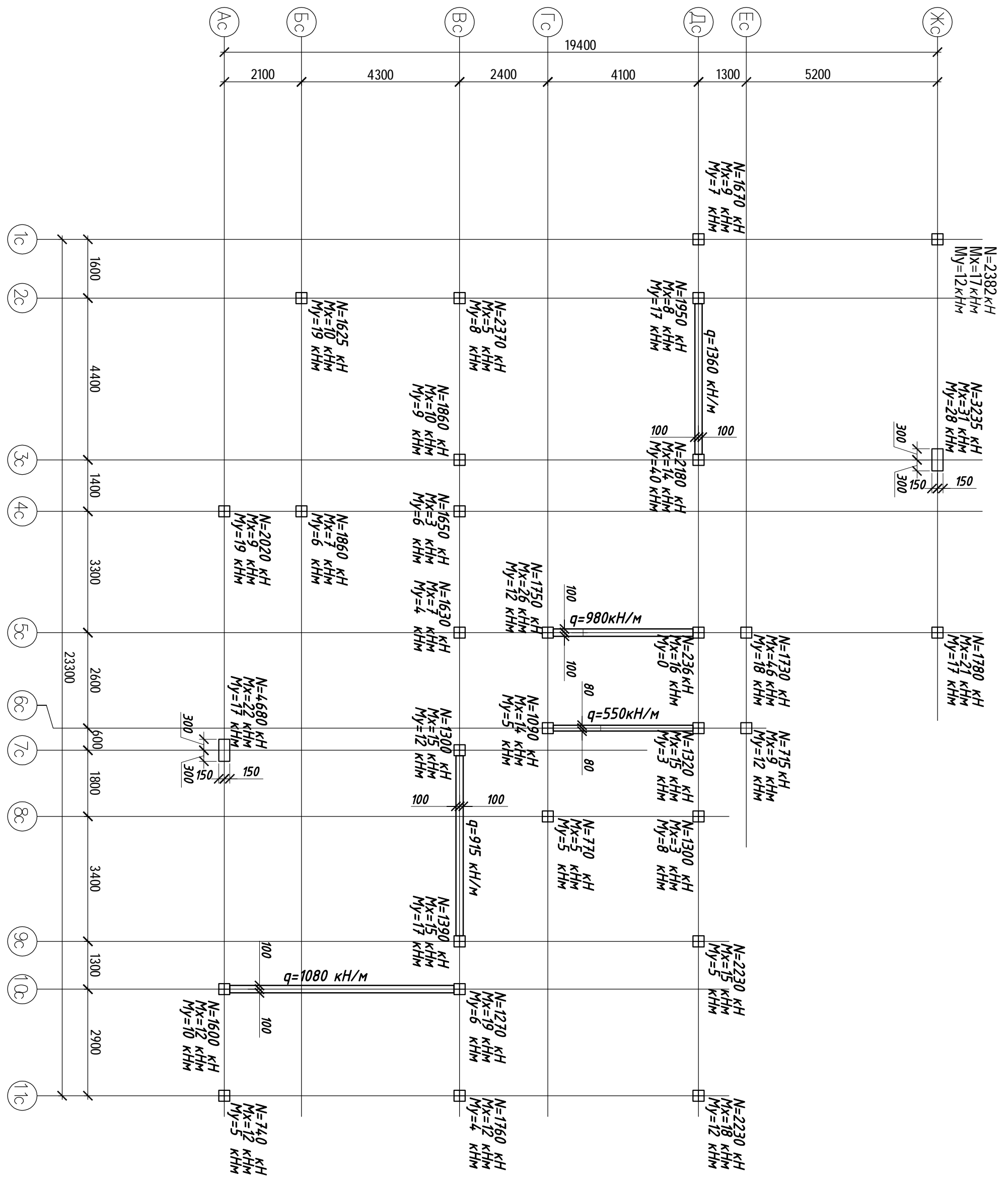
$\beta=0,619$ (по интерполяции).

$$q_s=[11,88+11,4 \times 2+11,28+11,16 \times 2+11,04 \times 3+10,68+9,84+8,4+0,72 \times 4]:16=$$

$$=133,2 : 16 \approx 8,32 \text{МПа; } q_s=8,32 \text{ МПа} \approx 847,8 \text{ т/м}^2. \beta_s \approx 0,517 \text{ (по интерполяции).}$$

Согласовано

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №



ПРИВЯЗАН	21-1036-КОПР.Р
Науч.омбд	Хадеева
ГИП	Ларунооб
Исполн.	Ларунооб
Лист	1

- 1 В схеме нагрузок даны расчетные значения (по первому предельному состоянию).
- 2 Все колонны к осям привязаны централино.
- 3 Колонны сборные сечением 300x300мм и 300x600мм (отмечено), габариты подколонилика в плане 900x900мм и 900x1200мм соответственно.
- 4 Диффрагмы жесткости подвала - монолитные железобетонные толщиной 400, 200, 160мм.
- 5 Диффрагмы жесткости 1.9 этажей и чердака - сборные панели толщиной 160мм.
- 5 Относительная отм. 0,000 соответствует ровной чистого пола первого этажа.

05-РП-20-У-КР.ГЧ				Адрес проекта				
Изм.	Кол. экз.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Склад	Лист	
Разработал	Охриченко	Охриченко	04.20			Жилая многоквартирная, угловая секция		
Проверил	Шевченко	Шевченко	04.20			для подпорного приямка	П	
Инкомпр	Носковед	Носковед	04.20				4	
Схема нагрузок на фундамента							000	
							"УДС-ИНЖИНИРИНГ"	

Зонд II типа. $F_u = R_A + F_{шд}$, $R_s = \beta \rho q_s$, $F_s = \Sigma \beta f_i s h_i / h$. Расчет ведём по СП 24.1333.2011 "Свайные фундаменты".

Точка стального зондирования №14: $q_s = 462 \text{ м}^2/\text{м}^2$, $\beta = 0,684$.
 $R_s = 0,684 \times 462,6 = 316,4 \text{ м}^2$.

f_i , м/м ²	1,87	2,0	1,98	1,92	3,86
h, м	1,6	1,6	1,6	1,6	0,5
β_i	1,0	1,0	1,0	1,0	0,616
f_{β} , м/м ²	1,87	2,0	1,98	1,92	2,38

$$F = [1,6 \times (1,87 + 2,0 + 1,98 + 1,92) + 0,5 \times 2,38] / 8,5 = 16,822 / 8,5 = 1,98 \text{ м}^2$$

$$F_u = 316,4 \times 0,09 + 1,98 \times 8,5 \times 1,2 = 48,7 \text{ м}.$$

Точка стального зондирования №18: $q_s = 581,8 \text{ м}^2/\text{м}^2$, $\beta = 0,622$. $R_s = 0,622 \times 581,8 = 361,9 \text{ м}^2$.

f_i , м/м ²	1,99	1,94	1,97	1,98	2,22	4,71
h, м	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	0,5
β_i	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,585
f_{β} , м/м ²	1,99	1,94	1,97	1,98	1,92	2,75

$$F = [1,6 \times (1,99 + 1,94 + 1,97 + 1,98 + 2,22) + 0,5 \times 2,75] / 8,5 = 17,535 / 8,5 = 2,06 \text{ м}^2$$

$$F_u = 361,9 \times 0,09 + 2,06 \times 8,5 \times 1,2 = 53,7 \text{ м}.$$

Точка стального зондирования №16: $q_s = 518,4 \text{ м}^2/\text{м}^2$, $\beta = 0,646$.
 $R_s = 0,646 \times 518,4 = 334,9 \text{ м}^2$.

f_i , м/м ²	1,81	1,9	1,92	1,95	3,77
h, м	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
β_i	1,0	1,0	1,0	1,0	0,622
f_{β} , м/м ²	1,81	1,9	1,92	1,95	2,34

$$F = [2,0 \times (1,81 + 1,9 + 1,92 + 1,95) + 0,5 \times 2,34] / 8,5 = 16,33 / 8,5 = 1,92 \text{ м}^2$$

$$F_u = 334,9 \times 0,09 + 1,92 \times 8,5 \times 1,2 = 49,7 \text{ м}.$$

$$F_u = 48,7, F_{шд} = 53,7 \text{ м}, F_{шд} = 49,7 \text{ м}, F_{шд} = 54,5 \text{ м}, F_{шд} = 57,8 \text{ м}, F_{шд} = 59,8 \text{ м}.$$

Примечание: частные значения предельных сопротивлений рассчитаны по СП 24.1333.2011 «Свайные фундаменты» (п. 7.3.10) на основании обработки результатов стального зондирования.

Точка стального зондирования №13: $q_s = 672,9 \text{ м}^2/\text{м}^2$, $\beta = 0,584$.
 $R_s = 0,584 \times 672,9 = 393,0 \text{ м}^2$.

f_i , м/м ²	1,85	1,83	1,9	1,83	3,97
h, м	2,0	2,0	2,0	2,0	0,5
β_i	1,0	1,0	1,0	1,0	0,608
f_{β} , м/м ²	1,85	1,83	1,9	1,83	2,41

$$F = [2,0 \times (1,85 + 1,83 + 1,9) + 0,5 \times 2,41] / 8,5 = 16,025 / 8,5 = 1,88 \text{ м}^2$$

$$F_u = 393,0 \times 0,09 + 1,88 \times 8,5 \times 1,2 = 54,5 \text{ м}.$$

Точка стального зондирования №15: $q_s = 847,8 \text{ м}^2/\text{м}^2$, $\beta = 0,556$ (по интерполяции).
 $R_s = 0,556 \times 749,7 = 416,8 \text{ м}^2$.

f_i , м/м ²	1,91	1,91	1,97	2,06	4,08
h, м	2,0	2,0	2,0	2,1	0,4
β_i	1,0	1,0	1,0	1,0	0,6
f_{β} , м/м ²	1,91	1,91	1,97	2,06	2,45

$$F = [2,0 \times (1,91 + 2 + 1,97) + 2,1 \times 2,06 + 2,45 \times 0,4] / 8,5 = 16,886 / 8,5 = 1,99 \text{ м}^2$$

$$F_u = 416,8 \times 0,09 + 1,99 \times 8,5 \times 1,2 = 57,8 \text{ м}.$$

Точка стального зондирования №17: $q_s = 847,8 \text{ м}^2/\text{м}^2$, $\beta = 0,517$ (по интерполяции).
 $R_s = 0,517 \times 847,8 = 438,3 \text{ м}^2$.

f_i , м/м ²	1,95	1,97	1,95	2,07	3,82
h, м	2,0	2,0	2,0	2,1	0,4
β_i	1,0	1,0	1,0	1,0	0,619
f_{β} , м/м ²	1,95	1,97	1,95	2,07	2,36

$$F = [2,0 \times (1,95 + 2 + 1,97) + 2,1 \times 2,07 + 2,36 \times 0,4] / 8,5 = 17,031 / 8,5 = 2,0 \text{ м}^2$$

$$F_u = 438,3 \times 0,09 + 2,0 \times 8,5 \times 1,2 = 59,8 \text{ м}.$$

Определяем нормативное значение несущей способности сваи (расчет произведен по ГОСТ 20522-2012).

$$F_{шт} = (1/n) \Sigma F_{шт} = (48,7 + 53,7 + 49,7 + 54,5 + 57,8 + 59,8) / 6 = 54,0 \text{ м}$$

$$F_{шт} = 49,6 \text{ м}.$$

Выполняем проверку: $|F_{шт} - F_{шт}| > \nu S$. По табл. Е1 ГОСТ 20522-2012 (далее ГОСТ) для $n=6$ $\nu=2,07$. S - средневзвешенное отклонение $F_{шт}$.

$$S = \sqrt{0,2 [(54,0 - 48,7)^2 + (54,0 - 53,7)^2 + (54,0 - 49,7)^2 + (54,0 - 54,5)^2 + (54,0 - 57,8)^2 + (54,0 - 59,8)^2]} \approx \sqrt{0,2 \times (28,09 + 0,09 + 18,49 + 0,25 + 14,44 + 33,64)} \approx 4,36 \text{ м}.$$

$$\nu S = 2,07 \times 4,36 = 9,03 \text{ м}.$$

- $|F_{шт} - F_{шт}| = |54,0 - 48,7| = 5,3 \text{ м} < \nu S = 9,03 \text{ м}$ условие не выполняется.
- $|F_{шт} - F_{шт}| = |54,0 - 53,7| = 0,3 \text{ м} < \nu S = 9,03 \text{ м}$ условие не выполняется.
- $|F_{шт} - F_{шт}| = |54,0 - 49,7| = 4,3 \text{ м} < \nu S = 9,03 \text{ м}$ условие не выполняется.
- $|F_{шт} - F_{шт}| = |54,0 - 54,5| = 0,5 \text{ м} < \nu S = 9,03 \text{ м}$ условие не выполняется.
- $|F_{шт} - F_{шт}| = |54,0 - 57,8| = 3,8 \text{ м} < \nu S = 9,03 \text{ м}$ условие не выполняется.
- $|F_{шт} - F_{шт}| = |54,0 - 59,8| = 5,8 \text{ м} < \nu S = 9,03 \text{ м}$ условие не выполняется.

Вычисляем коэффициент вариации: $V = S / F_{шт} = 4,36 / 54 = 0,081$.
 Вычисляем показатель точности $F_{шт}$: $r_s = t_s V / \sqrt{n}$. $\alpha = 0,95$, $t_s = 2,01$ (табл. Е2 ГОСТ).

Вычисляем коэффициент надежности по грунту: $\gamma_{гр} = 1 / (1 - r_s) = 1 / (1 - 0,067) = 1,072$. Несущая способность сваи: $F_s = \gamma_{шт} F_{шт} / \gamma_{гр}$, $\gamma_{шт} = 1$. $F_s = 1 \times 54 / 1,072 = 50,37 \text{ м}$.
 Расчетная нагрузка на сваю: $N_p = F_{шт} / \gamma_{шт}$, $\gamma_{шт} = 1,25$. $N_p = 50,37 / 1,25 = 40,3 \text{ м}$.
 К расчёту округленно принимаю: **$N_p = 40,0 \text{ м}$**

Согласовано		

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

21-1036-КОГР.Р		Многоэтажная жилая застройка по ул.Карцева в микрорайоне №25 г.Нефтекамск РБ.	
Жилой дом №21		Смешанная	
Расчет несущей способности сваи $F_s = 8,5 \text{ м}$ по результатам стального зондирования		Лист	Листов
Копиробла		РП	2
		МЧП	8
		"Нефтекамскстройгазстрой"	

Зонд II типа. $F_u = R_A + F_{шд}$, $R_s = \beta \rho q_s$, $F_s = \Sigma \beta f_i s h_i / h$. Расчет ведём по СП 24.1333.2011 "Свайные фундаменты".

Точка стального зондирования №14: $q_s = 462 \text{ т/м}^2$, $\beta = 0,684$.
 $R_s = 0,684 \times 462,0 = 316,4 \text{ т/м}^2$.

f_i , м/м ²	1,87	2,0	1,98	1,92	3,86
h, м	1,6	1,6	1,6	1,6	0,5
β_i	1,0	1,0	1,0	1,0	0,616
f_{β} , т/м ²	1,87	2,0	1,98	1,92	2,38

$$F = [1,6 \times (1,87 + 2,0 + 1,98 + 1,92) + 0,5 \times 2,38] / 8,5 = 16,822 / 8,5 = 1,98 \text{ т/м}^2$$

$$F_u = 316,4 \times 0,09 + 1,98 \times 8,5 \times 1,2 = 48,7 \text{ т.}$$

Точка стального зондирования №18: $q_s = 581,8 \text{ т/м}^2$, $\beta = 0,622$. $R_s = 0,622 \times 581,8 = 361,9 \text{ т/м}^2$.

f_i , м/м ²	1,99	1,94	1,97	1,98	2,22	4,71
h, м	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	0,5
β_i	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,585
f_{β} , т/м ²	1,99	1,94	1,97	1,98	1,92	2,75

$$F = [1,6 \times (1,99 + 1,94 + 1,97 + 1,98 + 2,22) + 0,5 \times 2,75] / 8,5 = 17,535 / 8,5 = 2,06 \text{ т/м}^2$$

$$F_u = 361,9 \times 0,09 + 2,06 \times 8,5 \times 1,2 = 53,7 \text{ т.}$$

Точка стального зондирования №16: $q_s = 518,4 \text{ т/м}^2$, $\beta = 0,646$.
 $R_s = 0,646 \times 518,4 = 334,9 \text{ т/м}^2$.

f_i , м/м ²	1,81	1,9	1,92	1,95	3,77
h, м	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
β_i	1,0	1,0	1,0	1,0	0,622
f_{β} , т/м ²	1,81	1,9	1,92	1,95	2,34

$$F = [2,0 \times (1,81 + 1,9 + 1,92 + 1,95) + 0,5 \times 2,34] / 8,5 = 16,33 / 8,5 = 1,92 \text{ т/м}^2$$

$$F_u = 334,9 \times 0,09 + 1,92 \times 8,5 \times 1,2 = 49,7 \text{ т.}$$

$F_u = 48,7$, $F_{шд} = 53,7 \text{ т}$, $F_{шд} = 49,7 \text{ т}$, $F_{шд} = 54,5 \text{ т}$, $F_{шд} = 57,8 \text{ т}$, $F_{шд} = 59,8 \text{ т}$.
 Примечание: частные значения предельных сопротивлений рассчитаны по СП 24.1333.2011 «Свайные фундаменты» (п. 7.3.10) на основании обработки результатов стального зондирования.

Точка стального зондирования №13: $q_s = 672,9 \text{ т/м}^2$, $\beta = 0,584$.
 $R_s = 0,584 \times 672,9 = 393,0 \text{ т/м}^2$.

f_i , м/м ²	1,85	1,83	1,9	1,83	3,97
h, м	2,0	2,0	2,0	2,0	0,5
β_i	1,0	1,0	1,0	1,0	0,608
f_{β} , т/м ²	1,85	1,83	1,9	1,83	2,41

$$F = [2,0 \times (1,85 + 1,83 + 1,9) + 0,5 \times 2,41] / 8,5 = 16,025 / 8,5 = 1,88 \text{ т/м}^2$$

$$F_u = 393,0 \times 0,09 + 1,88 \times 8,5 \times 1,2 = 54,5 \text{ т.}$$

Точка стального зондирования №15: $q_s = 847,8 \text{ т/м}^2$, $\beta = 0,556$ (по интерполяции).
 $R_s = 0,556 \times 847,7 = 471,6 \text{ т/м}^2$.

f_i , м/м ²	1,91	1,91	1,97	2,06	4,08
h, м	2,0	2,0	2,0	2,1	0,4
β_i	1,0	1,0	1,0	1,0	0,6
f_{β} , т/м ²	1,91	1,91	1,97	2,06	2,45

$$F = [2,0 \times (1,91 + 2 + 1,97) + 2,1 \times 2,06 + 2,45 \times 0,4] / 8,5 = 16,886 / 8,5 = 1,99 \text{ т/м}^2$$

$$F_u = 471,6 \times 0,09 + 1,99 \times 8,5 \times 1,2 = 57,8 \text{ т.}$$

Точка стального зондирования №17: $q_s = 847,8 \text{ т/м}^2$, $\beta = 0,517$ (по интерполяции).
 $R_s = 0,517 \times 847,8 = 438,3 \text{ т/м}^2$.

f_i , м/м ²	1,95	1,97	1,95	2,07	3,82
h, м	2,0	2,0	2,0	2,1	0,4
β_i	1,0	1,0	1,0	1,0	0,619
f_{β} , т/м ²	1,95	1,97	1,95	2,07	2,36

$$F = [2,0 \times (1,95 + 2 + 1,97) + 2,1 \times 2,07 + 2,36 \times 0,4] / 8,5 = 17,031 / 8,5 = 2,0 \text{ т/м}^2$$

$$F_u = 438,3 \times 0,09 + 2,0 \times 8,5 \times 1,2 = 59,8 \text{ т.}$$

Определяем нормативное значение несущей способности сваи (расчет произведен по ГОСТ 20522-2012).

$$F_{un} = (1/n) \Sigma F_u = (48,7 + 53,7 + 49,7 + 54,5 + 57,8 + 59,8) / 6 = 54,0 \text{ т}$$

$$F_{un} = 49,6 \text{ т.}$$

Выполняем проверку: $|F_{un} - F_{шд}| > vS$. По табл. Е1 ГОСТ 20522-2012 (далее ГОСТ) для $n=6$ $v=2,07$. S - средневзвешенное отклонение F_u .

$$S = \sqrt{0,2 [(54,0 - 48,7)^2 + (54,0 - 53,7)^2 + (54,0 - 49,7)^2 + (54,0 - 54,5)^2 + (54,0 - 57,8)^2 + (54,0 - 59,8)^2]} \approx \sqrt{0,2 \times (28,09 + 0,09 + 18,49 + 0,25 + 14,44 + 33,64)} \approx 4,36 \text{ т.}$$

$$vS = 2,07 \times 4,36 = 9,03 \text{ т.}$$

- $|F_{un} - F_{шд}| = |54,0 - 48,7| = 5,3 \text{ т} < vS = 9,03 \text{ т}$ условие не выполняется.
- $|F_{un} - F_{шд}| = |54,0 - 53,7| = 0,3 \text{ т} < vS = 9,03 \text{ т}$ условие не выполняется.
- $|F_{un} - F_{шд}| = |54,0 - 49,7| = 4,3 \text{ т} < vS = 9,03 \text{ т}$ условие не выполняется.
- $|F_{un} - F_{шд}| = |54,0 - 54,5| = 0,5 \text{ т} < vS = 9,03 \text{ т}$ условие не выполняется.
- $|F_{un} - F_{шд}| = |54,0 - 57,8| = 3,8 \text{ т} < vS = 9,03 \text{ т}$ условие не выполняется.
- $|F_{un} - F_{шд}| = |54,0 - 59,8| = 5,8 \text{ т} < vS = 9,03 \text{ т}$ условие не выполняется.

Вычисляем коэффициент вариации: $V = S / F_{un} = 4,36 / 54 = 0,081$.
 Вычисляем показатель точности F_{un} : $r_a = t_a V / \sqrt{n}$. $\alpha = 0,95$, $t_a = 2,01$ (табл. Е2 ГОСТ).

$$r_a = 2,01 \times 0,081 / \sqrt{6} = 0,067$$

Вычисляем коэффициент надежности по грунту: $\gamma_{gr} = 1 / (1 - r_a) = 1 / (1 - 0,067) = 1,072$. Несущая способность сваи: $F_s = \gamma_{gr} F_{un} / \gamma_{gr}$, $\gamma_{gr} = 1$. $F_s = 1 \times 54 / 1,072 = 50,37 \text{ т}$.

Расчетная нагрузка на сваю: $N_p = F_d / \gamma_{d1}$, $\gamma_{d1} = 1,25$. $N_p = 50,37 / 1,25 = 40,3 \text{ т}$.
 К расчёту округленно принимаю: **$N_p = 40,0 \text{ т}$**

Согласовано	

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

21-1036-КОГР.Р	
Многоэтажная жилая застройка по ул.Карцева в микрорайоне №25 г.Нефтекамск РБ.	
Жилой дом №21	Смесь
Расчет несущей способности сваи $F_s = 50$ по результатам стального зондирования	Лист 2
Копиробла	Листов 8

Изм.	Кол. чл.	Лист	№ Док.	Подпись	Дата
Изд. отдела	Хайдева				
ГИП	Ларочев				
Разработчик	Ларочев				

Ростверк РМ11

Ростверк РМ11 для Foundation

Приведенные нагрузки по оси 10с между осями Ас и Вс. к центру тяжести плиты ростверка. Ростверк РМ11.

Нагрузка от колонны на пересечении осей Вс и 10с:

$$N=1270\text{кН}\approx 130,0\text{тс}; M_x=0,2\cdot 130\times 3,20\approx -416,0\text{тс}\cdot\text{м}; M_y=0,6\text{тс}\cdot\text{м}.$$

Нагрузка от колонны на пересечении осей Ас и 10с:

$$N=1600\text{кН}\approx 163,0\text{тс}; M_x=0,4\cdot 163\times 3,20\approx 522,0\text{тс}\cdot\text{м}; M_y=0,1\text{тс}\cdot\text{м}.$$

Нагрузка от диафрагмы жёсткости по оси 10с:

$$N=1080\times 6,1=6588\text{кН}\approx 671,3\text{тс}; M_x=M_y=0.$$

Вес подколонинок и ростверка

$$N=1,4\times 12,2\times 0,7\times 2,5\times 1,1+2\times 2,4=36,7\text{тс}.$$

$$\Sigma N=130,0+163,0+671,3+36,7=1001,0\text{тс}.$$

$$\Sigma M_x=522-416\approx 106,0\text{тс}\cdot\text{м}$$

$$\Sigma M_y=0,1+0,6=0,7\text{тс}\cdot\text{м}.$$

с учётом моментов по верхнему обрезу подколонинок;

$$\Sigma M_y=0,1+0,6=0,7\text{тс}\cdot\text{м}.$$

Средняя нагрузка на сваю с учётом её веса $l_{св.}=8,5\text{м}$.

$$P_{св.}=1,1\times 0,09\times 8,5\times 2500=2104\text{кг}\approx 2,2\text{т} \text{ (в запас)}$$

$$N_{ср.}=(1001/28)+2,2\approx 38,0\text{тс}.$$

$$\Sigma Y_1^2=(0,45^2+1,35^2+2,25^2+3,15^2+4,05^2+4,95^2+5,85^2)\times 2=(17,01+75,1275)\times 2=184,275\text{м}^2.$$

$$\Sigma X_1^2=0,45^2\times 28=5,67\text{м}^2.$$

$$N_{\text{max}}=38,3+(106\times 5,85/184,275)+(0,7\times 0,45/5,67)=38,0+3,37+0,06\approx 41,4\text{тс}.$$

$$N_{\text{min}}=38,0-3,37-0,06\approx 34,6\text{тс}.$$

Приведённые нагрузки для расчёта РМ1 в программе Foundation.

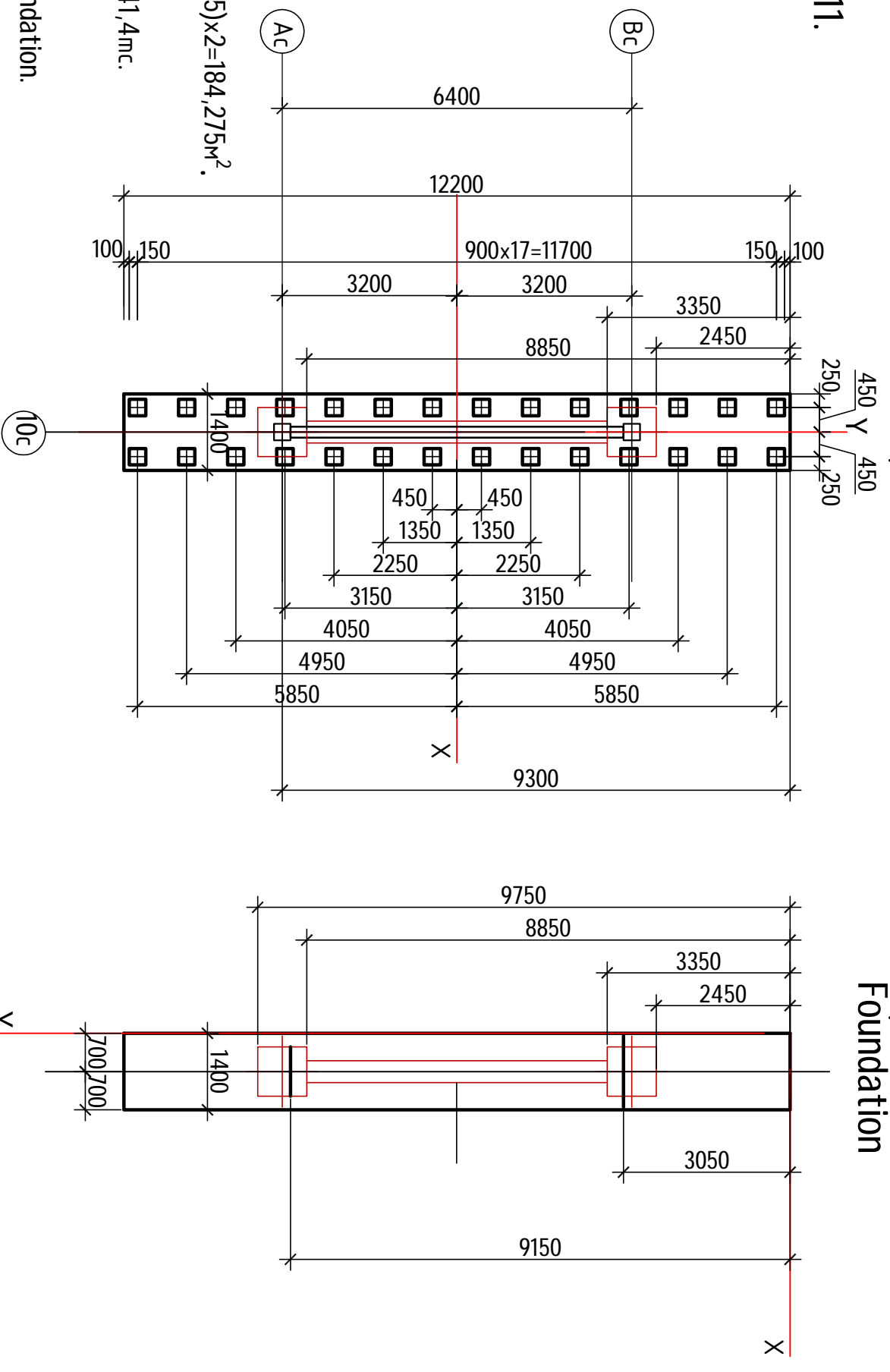
Нагрузки для расчёта по 1-й гр. пред. состоянию.

$$\Sigma N=130,0+163,0+671,3+4,8=969,0\text{тс}, \Sigma M_x=106\text{тс}\cdot\text{м}, \Sigma M_y=0,7\text{тс}\cdot\text{м}.$$

Приведённые нагрузки для расчёта РМ1 в программе Foundation.

Нагрузки для расчёта по 1-й гр. пред. состоянию.

$$\Sigma N=130,0+163,0+671,3+4,8=969,0\text{тс}, \Sigma M_x=106\text{тс}\cdot\text{м}, \Sigma M_y=0,7\text{тс}\cdot\text{м}.$$



Согласовано

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Таблица исходных данных для расчёта РМ11 в программе Foundation. Нагрузки для расчёта по 1-й гр. пред. состоянию.

№ нагрузки	Ширина полосы b, м	Х, м начало	Х, м окончание	У, м начало	У, м окончание	Значение тс/м ²
1	0,9	0,7	0,7	2,45	3,35	160,0
2	0,4	0,7	0,7	3,05	9,15	275,0
3	0,9	0,7	0,7	8,85	9,75	182,0

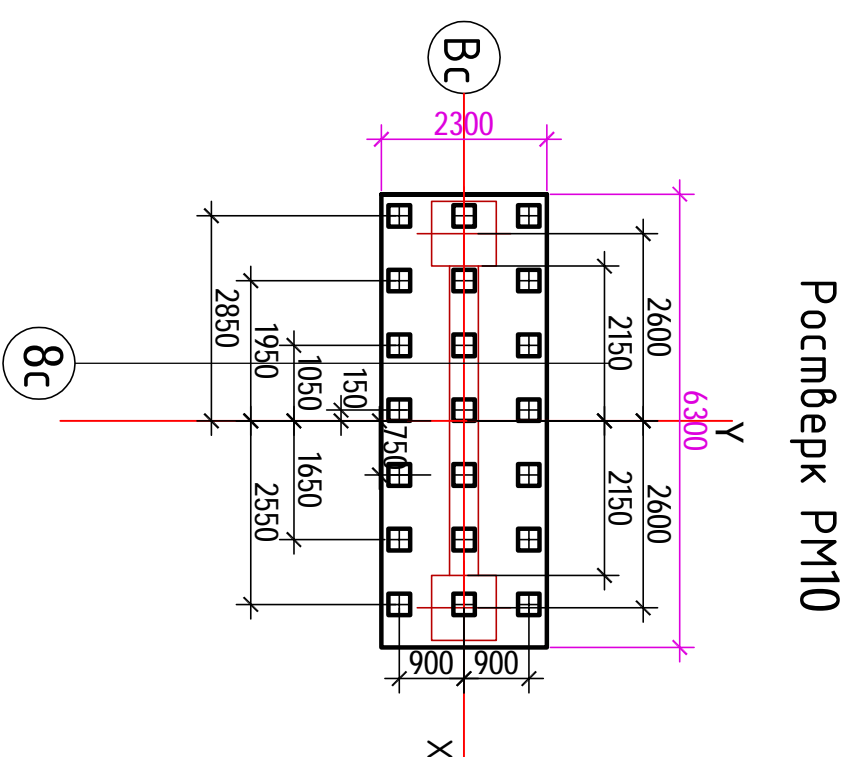
Изм. Колуч.			Лист № док.			Подпись			Дата		
Нач.отдел.			Хабиева								
ГИП			Ларионов								
разработ.			Ларионов								
Н. конпр.											
21-1036-КОЛР.Р						Многоэтажная жилая застройка по ул.Карцева в микрорайоне №25 г.Нефтекамск РБ.					
Жилой дом №21						Приведенные нагрузки к центру тяжести плиты ростверка.					
Ростверк РМ11						"Нефтекамскстройзаказчик"					
Стадия			Лист			Листов					
П			3			8					

Приведение нагрузок по оси Вс между осями 3с и 4с. к центру тяжести плиты ростверка. Ростверк РМ4

Нагрузка от колонны на пересечении осей Вс и 3с:
 $N=1860кН \approx 190,0тс$; $M_y=1,0-190 \times 0,65 \approx -122,5тс.м$; $M_x=1,0тс.м$.
 $N=192,4тс$ с учётом веса подколоники.
 Нагрузка от колонны на пересечении осей Вс и 4с:
 $N=1650кН \approx 168,0тс$; $M_x=1,0тс.м$; $M_y=1,0+168 \times 0,75 \approx 127,0тс.м$.
 $N=170,4тс$ с учётом веса подколоники.
 Вес подколоники и ростверка
 $N=3,2 \times 2,06 \times 0,6 \times 2,5 \times 1,1 + 2 \times 2,4 = 15,8тс$.
 $\Sigma N=190,0+168,0+15,8=373,8тс$.
 $\Sigma N=190,0+168,0+4,8=362,8тс$ без учёта веса ростверка.
 $\Sigma M_y=127-122,5 \approx 4,5тс.м$
 с учётом моментов по верхнему обрезу подколоники;
 $\Sigma M_x=2,0тс.м$.

Приведение нагрузок по оси Вс между осями 7с и 9с. к центру тяжести плиты ростверка. Ростверк РМ10

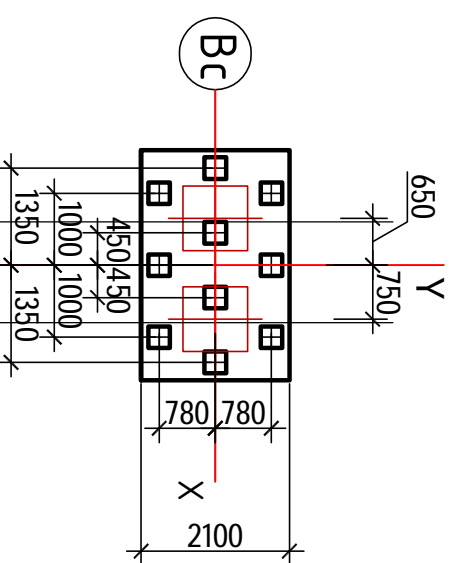
Нагрузка от колонны на пересечении осей Вс и 7с:
 $N=1300кН \approx 133,0тс$; $M_y=1,3-133 \times 2,6 \approx -344,5тс.м$; $M_x=1,6тс.м$.
 $N=1390кН \approx 142,0тс$; $M_x=1,6тс.м$; $M_y=1,8+142 \times 2,6 \approx 371,0тс.м$.
 Нагрузка от диафрагмы жёсткости по оси Вс:
 $N=915 \times 5,0 = 4575кН \approx 466,0тс$; $M_x=M_y=0$.
 Вес подколоники и ростверка
 $N=6,3 \times 2,3 \times 0,6 \times 2,5 \times 1,1 + 2 \times 2,4 = 34,0тс$.
 $\Sigma N=133,0+142,0+466,0+34,0=775,0тс$.
 $\Sigma M_y=371-344,5 \approx 26,5тс.м$
 с учётом моментов по верхнему обрезу подколоники;
 $\Sigma M_x=3,4тс.м$.



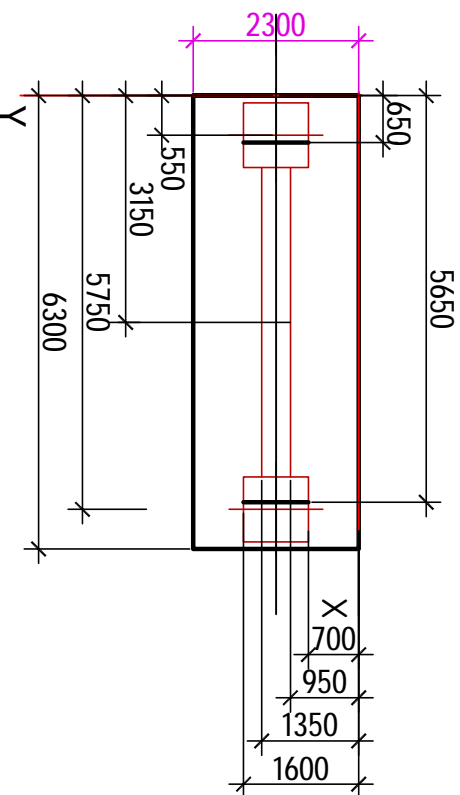
Ростверк РМ10

Средняя нагрузка на сваю с учётом её веса $l_{св}=8,5м$.
 $R_{св}=1,1 \times 0,09 \times 8,5 \times 2500 = 2104кгс \approx 2,2т$ (в запас)
 $N_{ср}=(373,8/10)+2,2 \approx 39,6тс$.
 $\Sigma X_1^2=(0,45^2+1,0^2+1,35^2) \times 2 = 6,05м^2$.
 $\Sigma Y_1^2=0,78^2 \times 6 = 3,6504м^2$.
 $N_{max}=39,6+(4,5 \times 1,35/6,05)+(2 \times 0,78/3,6504) = 39,6+1,0+0,43 \approx 41,0тс$.
 $N_{min}=39,6-1,0-0,43 \approx 38,2тс$.

Ростверк РМ4



Ростверк РМ10 для Foundation



Средняя нагрузка на сваю с учётом её веса $l_{св}=8,5м$.
 $R_{св}=1,1 \times 0,09 \times 8,5 \times 2500 = 2104кгс \approx 2,2т$ (в запас)
 $N_{ср}=(775/21)+2,2 \approx 39,1тс$.
 $\Sigma X_1^2=(0,15^2+0,75^2+1,05^2+1,65^2+1,95^2+2,55^2+2,85^2) \times 2 = (4,41+18,4275) \times 2 = 45,675м^2$.
 $\Sigma Y_1^2=0,9^2 \times 14 = 11,34м^2$.
 $N_{max}=39,1+(26,5 \times 2,85/45,675)+(3,2 \times 0,81/11,34) = 39,1+1,65+0,23 \approx 41,0тс$.
 $N_{min}=39,1-1,65-0,23 \approx 37,2тс$.

Таблица исходных данных для расчёта РМ10 в программе Foundation. Нагрузки для расчёта по 1-й гр. пред. состоянию.

№ нагрузки	Ширина полосы b, м	X, м начало	X, м окончатное	Y, м начало	Y, м окончатное	Значение тс/м ²
1	0,9	0,55	0,55	0,7	1,6	165,0
2	0,4	0,65	5,65	1,15	1,15	235,0
3	0,9	5,75	5,75	0,7	1,6	175,0

Приведённые нагрузки для расчёта РМ10 в программе Foundation. Нагрузки для расчёта по 1-й гр. пред. состоянию.

$\Sigma N=133,0+142,0+466+4,8=746,0тс$, $\Sigma M_x=3,4тс.м$, $\Sigma M_y=26,5тс.м$.

Согласовано

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

21-1036-КОЛР.Р			
Многоэтажная жилая застройка по ул.Карцева в микрорайоне №25 г.Нефтекамск РБ.			
Изм.	Колуч.	Лист	№ док.
Нач.отдел	Хадеева	Лист	№ док.
ГИП	Ларионов	Подпись	Дата
разработ.	Ларионов		
Н. конпр			
Жилой дом №21		Статья	Лист
Приведение нагрузок к центру тяжести плиты ростверка. Ростверку РМ4, РМ10		п	4
			8
			000
		"Нефтекамскстройзаказчик"	

Приведенные нагрузки по оси Бс между осями Гс и Ес. к центру тяжести плиты ростверка. Ростверк РМ5

Нагрузка от колонны на пересечении осей Ес и Бс:
 $N=1730\text{кН}\approx 176,0\text{тс}$; $M_y=1,8\text{тс}\cdot\text{м}$; $M_x=4,6+176\times 3,2\approx 563,2\text{тс}\cdot\text{м}$.
 Нагрузка от колонны на пересечении осей Дс и Бс:
 $N=236\text{кН}\approx 24,0\text{тс}$; $M_y=0$; $M_x=1,6+24\times 1,9\approx 47,2\text{тс}\cdot\text{м}$.
 Нагрузка от колонны на пересечении осей Гс и Бс:
 $N=1750\text{кН}\approx 178,0\text{тс}$; $M_x=-2,6-178\times 2,2\approx -394,2\text{тс}\cdot\text{м}$; $M_y=1,2\text{тс}\cdot\text{м}$.
 Нагрузка от диафрагмы жесткости по оси Бс:
 $N=980\times 4,1=4018\text{кН}\approx 410,0\text{тс}$; $M_x=-410,0\times 0,45\approx -184,5\text{тс}\cdot\text{м}$; $M_y=0$.

Вес подколонинок и ростверка

$$N=7,8\times 2,2\times 0,7\times 2,5\times 1,1+3\times 2,4=40,2\text{тс}$$

$$\Sigma N=176,0+24,0+178,0+410,0+40,2=828,2\text{тс}$$

$$\Sigma M_y=1,2\text{тс}\cdot\text{м}$$

с учётом моментов по верхнему обрезу подколонинок;
 $\Sigma M_x=563,2+47,2-394,2-184,5=31,7\text{тс}\cdot\text{м}$.

Средняя нагрузка на сваю с учётом её веса $l_{св}=8,5\text{м}$.

$$P_{св}=1,1\times 0,09\times 8,5\times 2500=2104\text{кгс}\approx 2,2\text{т}$$
 (в запас)

$$N_{ср}=(828,2/25)+2,2\approx 35,3\text{тс}$$

$$\Sigma Y^2=(0,4^2+1,3^2+2,2^2+3,1^2+0,5^2+1,4^2+2,3^2)\times 2+0,05^2+0,95^2+1,85^2+2,75^2+3,65^2+0,85^2+1,75^2+2,65^2+3,65^2=(0,16+1,69+4,84+9,61+0,25+1,96+5,29+10,24)\times 2+0,0025+0,9025+3,4225+7,5625+13,3225\times 2+0,7225+3,0625+7,0225=68,08+49,3425=117,4225\text{м}^2$$

$$\Sigma X^2=0,8^2\times 16=10,24\text{м}^2$$

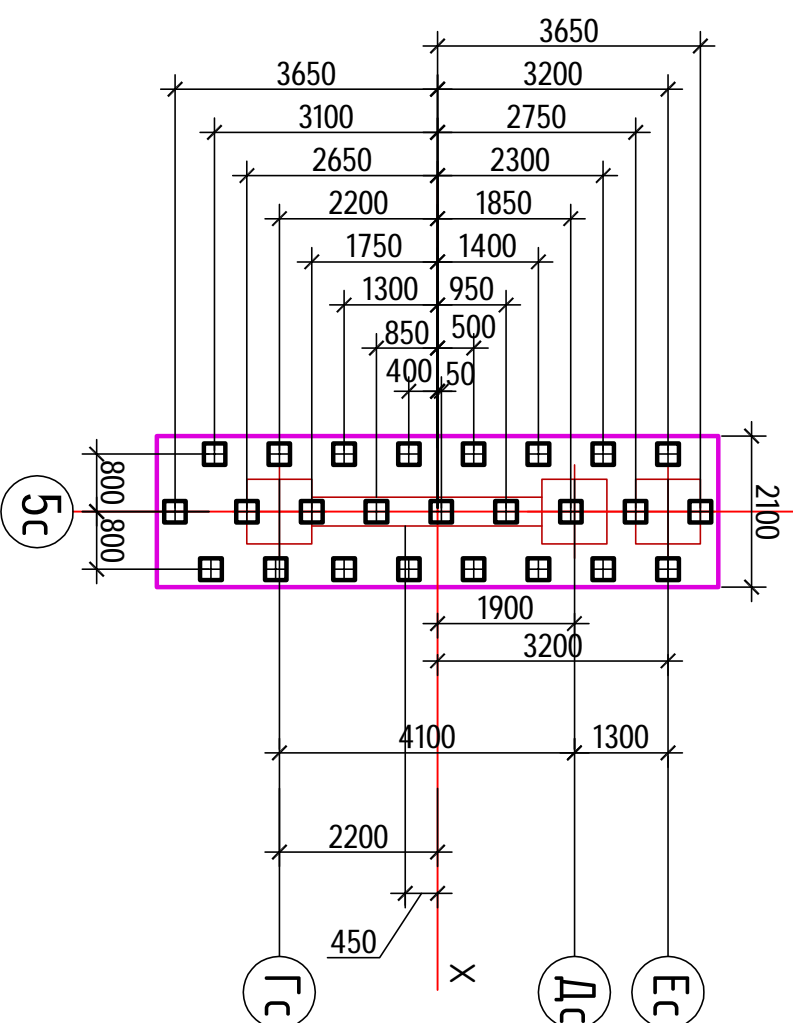
$$M_{\text{max}}=35,3+(31,7\times 3,65/117,4225)+(1,2\times 0,8/10,24)=35,3+1,0+0,1\approx 36,4\text{тс}$$

$$M_{\text{min}}=35,3-1,0-0,1\approx 34,2\text{тс}$$

Приведённые нагрузки для расчёта РМ10 в программе Foundation.
 Нагрузки для расчёта по 1-й гр. пред. состоянию.

$$\Sigma N=795,2\text{тс}, \Sigma M_x=31,7\text{тс}\cdot\text{м}, \Sigma M_y=1,2\text{тс}\cdot\text{м}$$

Ростверк РМ5



Ростверк РМ5 для Foundation

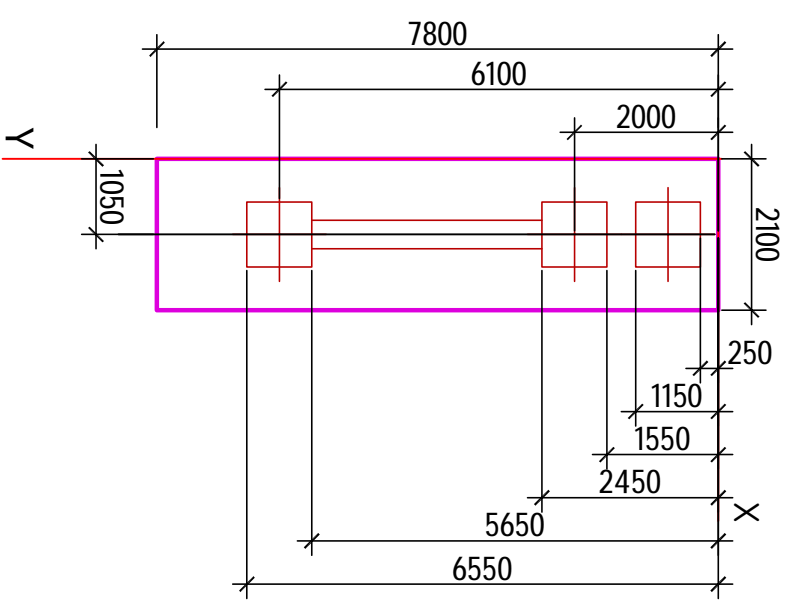


Таблица исходных данных для расчёта РМ5 в программе Foundation. Нагрузки для расчёта по 1-й гр. пред. состоянию.

№ нагрузки	Ширина полосы b, м	X, м начало	X, м окончание	Y, м начало	Y, м окончание	Значение тс/м ²
1	0,9	1,05	1,05	0,25	1,15	220,0
2	0,9	1,05	1,05	1,55	2,45	30,0
3	0,4	1,05	1,05	2,0	6,1	250,0
4	0,9	1,05	1,05	5,65	6,55	220,0

Согласовано

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

21-1036-КОЛР.Р			
Многоэтажная жилая застройка по ул.Карцева в микрорайоне №25 г.Нефтекамск РБ.			
Жилой дом №21		Этация	
Приведение нагрузок к центру тяжести плиты ростверка. Ростверк РМ5		Лист	Листов
		П	5
			8
		000	
		"Нефтекамскстройзаказчик"	

Приведение нагрузок по оси Дс между осями 1с и 3с к центру тяжести плиты ростверка. Ростверк РМ1

Нагрузка от колонны на пересечении осей Дс и 1с:
 $N=1670\text{кН}\approx 170,0\text{тс}; M_x=0,5\text{тс}\cdot\text{м}; M_y=1,8+170\times 3,3\approx 562,8\text{тс}\cdot\text{м}.$
 Нагрузка от колонны на пересечении осей Дс и 2с:
 $N=1950\text{кН}\approx 199,0\text{тс}; M_x=0,8\text{тс}\cdot\text{м}; M_y=1,8+199\times 1,7\approx 340,1\text{тс}\cdot\text{м}.$
 Нагрузка от колонны на пересечении осей Дс и 3с:
 $N=2180\text{кН}\approx 222,0\text{тс}; M_x=1,4\text{тс}\cdot\text{м}; M_y=-4,1-222\times 2,7\approx -599,4\text{тс}\cdot\text{м}.$
 Нагрузка от диафрагмы жёсткости по оси Дс:
 $N=1360\times 3,9=5304\text{кН}\approx 540,0\text{тс}; M_x=0; M_y=-4,1-540,0\times 0,5\approx -291,0\text{тс}\cdot\text{м}.$

Вес подколонников и ростверка

$$N=9,5\times 2,2\times 0,7\times 2,5\times 1,1+3\times 2,4\times 4=47,4\text{тс}.$$

$$\Sigma N=170,0+199+222+582,0+47,4=1220,4\text{тс}.$$

$$\Sigma M_x=2,7\text{тс}\cdot\text{м}$$

с учётом моментов по верхнему обрезу подколонников;
 $\Sigma M_y=562,8+340,1-599,4-291,0=12,5\text{тс}\cdot\text{м}.$

Средняя нагрузка на сваю с учётом её веса $l_{св.}=8,5\text{м}.$

$$R_{св.}=1,1\times 0,09\times 8,5\times 2500=210,4\text{кга}\approx 2,2\text{т (в запас)}$$

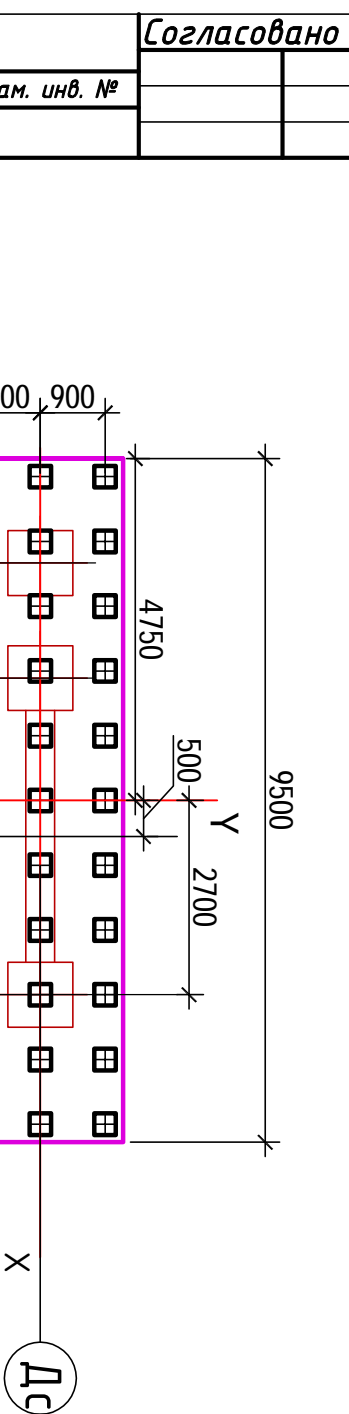
$$N_{ср.}=(1220,4/33)+2,2\approx 39,2\text{тс}.$$

$$\Sigma y^2=(0,9^2+1,8^2+2,7^2+3,6^2+4,5^2)\times 4=(0,81+3,24+7,29+12,96+20,25)\times 6=267,3\text{м}^2.$$

$$\Sigma x^2=0,9^2\times 22=17,82\text{м}^2.$$

$$M_{\text{max}}=39,2+(2,7\times 0,9/17,82)+(12,5\times 4,5/267,3)=39,2+0,14+0,21\approx 39,6\text{тс}.$$

$$M_{\text{min}}=39,2-0,14-0,21\approx 38,9\text{тс}.$$



Ростверк РМ1 для расчёта в программе Foundation

План РМ1 в с расположением нагрузок.

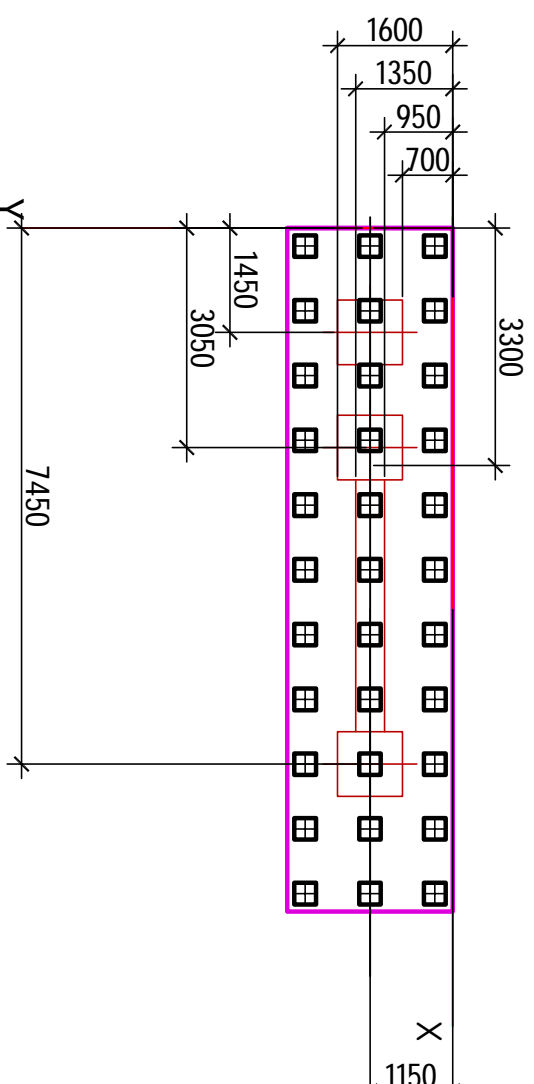


Таблица исходных данных для расчёта РМ1 в программе Foundation. Нагрузки для расчёта по 1-й гр. пред. состоянию.

№ нагрузки	Ширина полосы b, м	X, м начало	X, м окончатие	Y, м начало	Y, м окончатие	Значение тс/м²
1	0,9	1,45	1,45	0,7	1,6	210,0
2	0,9	3,05	3,05	0,7	1,6	246,0
3	0,4	3,3	7,2	1,15	1,15	350,0
4	0,9	7,45	7,45	0,7	1,6	274,0

Согласовано

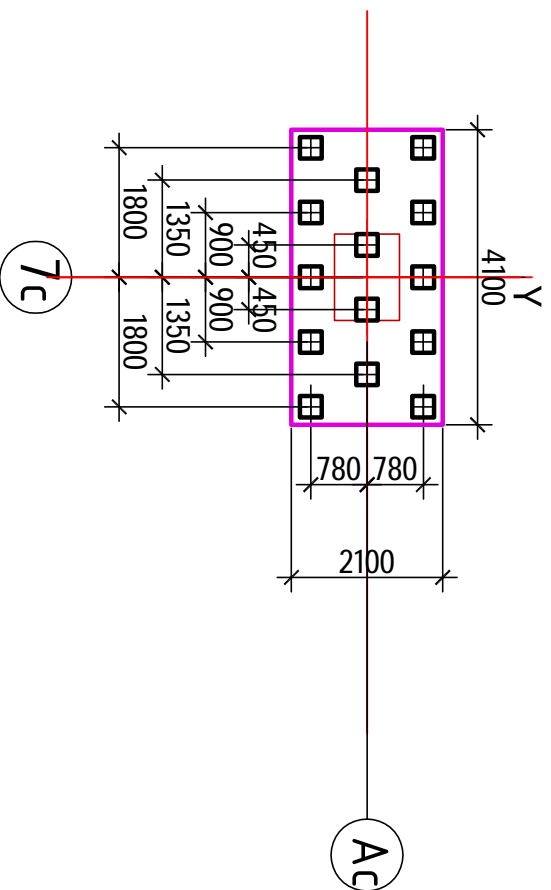
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.		Лист		№ док		Подпись		Дата	
Нач. отдела	Хадеева								
ГИП	Ларионов								
разработ.	Ларионов								
Н. конпр									

21-1036-КОЛР.Р									
Многоэтажная жилая застройка по ул.Карцева в микрорайоне №25 г.Нефтекамск РБ.									
Жилой дом №21					Этаж				
					Лист				
					Листов				
Приведение нагрузок к центру тяжести плиты ростверка. Ростверк РМ1					000				
					"Нефтекамскстройзаказчик"				

Приведение нагрузок на пересечении осей Ас и 7с к центру тяжести плиты ростверка. Ростверк РМ8

Нагрузка от колонны на пересечении осей Ас и 7с:
 $N=4680\text{кН}\approx 477,0\text{тс}$; $M_x=2,3\text{тс}\cdot\text{м}$; $M_y=1,7\text{тс}\cdot\text{м}$.
 Вес подколонника и распредел. плиты $N=1,8\times 1,5\times 0,3\times 2,5\times 1,1+3,2\times 2,2+3,2\times 5,4\text{тс}$.
 $\Sigma N=477,0+5,4=482,4\text{тс}$, $\Sigma M_x=2,3\text{тс}\cdot\text{м}$, $\Sigma M_y=1,7\text{тс}\cdot\text{м}$.



Средняя нагрузка на сваю с учётом её веса $l_{св}=8,5\text{м}$.

$$P_{св}=1,1\times 0,09\times 8,5\times 2500=2104\text{кгс}\approx 2,2\text{т}$$
 (в запас)

$$N_{ср}=(496/14)+2,2\approx 37,6\text{тс}$$

$$\Sigma X^2=(0,45^2+0,9^2+1,35^2+1,8^2)\times 2=(0,2025+0,81+1,8225+3,24)\times 2=12,15\text{м}^2$$

$$\Sigma Y^2=0,78^2\times 10=6,084\text{м}^2$$

$$M_{\text{max}}=37,6+(2,3\times 0,78/6,084)+(1,7\times 1,8/12,15)=37,6+0,29+0,25\approx 38,1\text{тс}$$

$$M_{\text{min}}=37,6-0,29-0,25\approx 37,1\text{тс}$$

Ростверк РМ8 для расчёта в программе Foundation

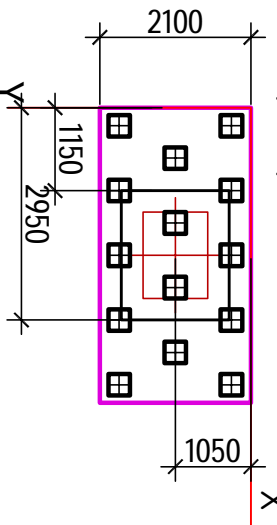


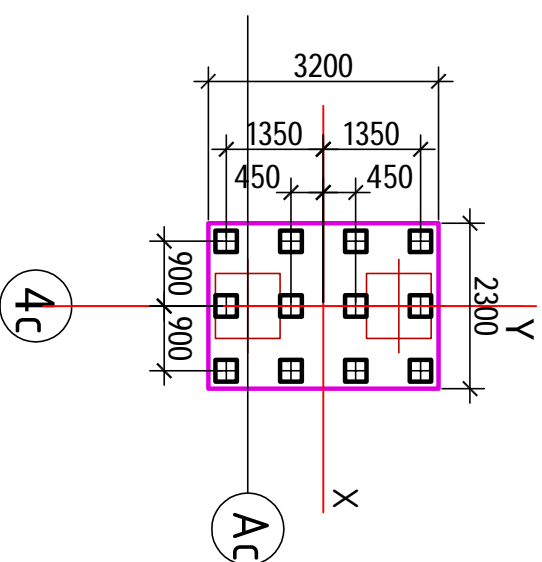
Таблица исходных данных для расчёта РМ8 в программе Foundation. Нагрузку для расчёта по 1-й гр. пред. состоянию.

№ нагрузки	Ширина полосы b, м	X, м начало	X, м окончание	Y, м начало	Y, м окончание	Значение тс/м ²
1	1,5	1,15	2,95	1,05	1,05	180

Примечание: Нагрузку от подколонника на ростверк РМ8 передаём через распределительную ж. б. плиту размерами 1800(Л)х1500(В)х300(Н).

Приведение нагрузок на пересечении осей Ас, Бс и 4с к центру тяжести плиты ростверка. Ростверк РМ9.

Нагрузка от колонны на пересечении осей Ас и 4с с учётом веса подколонника:
 $N=2020+23,6=2043,6\text{кН}\approx 208,0\text{тс}$; $M_x=0,9\text{тс}\cdot\text{м}$; $M_y=2,0\text{тс}\cdot\text{м}$.
 То же от колонны на пересечении осей Бс и 4с: $N=1860+23,4=1883,4\text{кН}\approx 192,0\text{тс}$; $M_x=0,7\text{тс}\cdot\text{м}$; $M_y=0,6\text{тс}\cdot\text{м}$.
 $\Sigma N=208,0+192,0=400,0\text{тс}$, $\Sigma M_x=2,3\text{тс}\cdot\text{м}$, $\Sigma M_y=1,7\text{тс}\cdot\text{м}$.
 С учётом веса плиты ростверка $\Sigma N=400+3,2\times 2,3\times 0,7\times 2,5\times 1,1=400+14,2=414,2\text{тс}$.



Средняя нагрузка на сваю с учётом её веса $l_{св}=8,5\text{м}$.

$$P_{св}=1,1\times 0,09\times 8,5\times 2500=2104\text{кгс}\approx 2,2\text{т}$$
 (в запас)

$$N_{ср}=(414,2/12)+2,2\approx 36,7\text{тс}$$

$$\Sigma X^2=(0,45^2+1,35^2)\times 6=(0,2025+1,8225)\times 6=12,15\text{м}^2$$

$$\Sigma Y^2=0,9^2\times 8=6,48\text{м}^2$$

$$M_{\text{max}}=36,7+(2,3\times 1,35/12,15)+(1,7\times 0,9/6,48)=36,7+0,26+0,24\approx 37,2\text{тс}$$

$$M_{\text{min}}=36,7-0,26-0,24\approx 36,2\text{тс}$$

Ростверк РМ9 для расчёта в программе Foundation

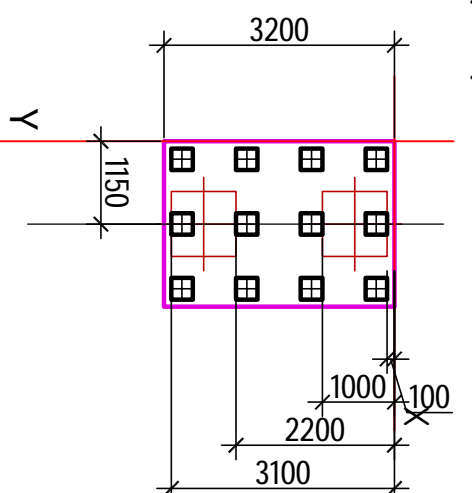


Таблица исходных данных для расчёта РМ1 в программе Foundation. Нагрузку для расчёта по 1-й гр. пред. состоянию.

№ нагрузки	Ширина полосы b, м	X, м начало	X, м окончание	Y, м начало	Y, м окончание	Значение тс/м ²
1	0,9	1,15	1,15	0,1	1,0	240,0
2	0,9	1,15	1,15	2,2	3,1	260,0

Согласовано

Инв. № подл. Подп. и дата Взам. инв. №

21-1036-КОЛП.Р

Многоэтажная жилая застройка по ул.Карцева в микрорайоне №25 г.Нефтекамск РБ.

Жилой дом №21

Стадия Лист Листов
 П 7 8

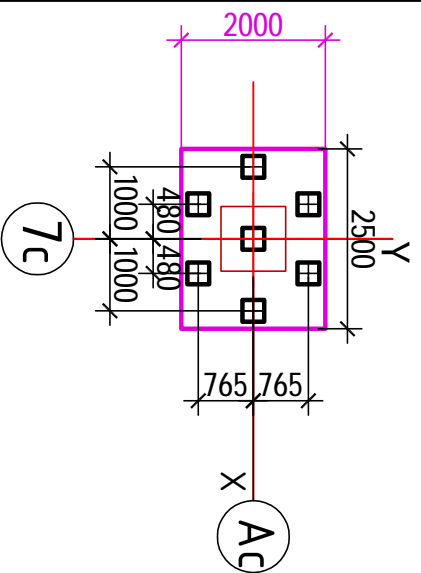
Приведение нагрузок к центру тяжести плиты ростверка. Ростверки РМ8, РМ9
 "Нефтекамскстройзаказчик"

Приведение нагрузок на пересечении осей Жс и 1с. к центру тяжести плиты ростверка. Ростверк РМЗ

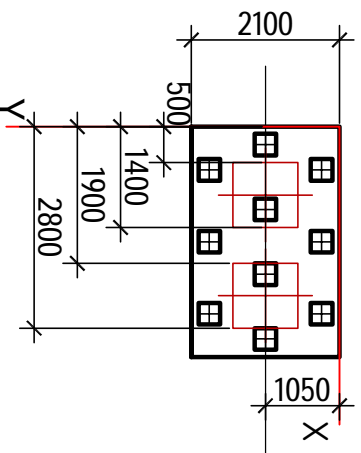
Нагрузка от колонны на пересечении осей Жс и 1с:
 $N=2382\text{кН}\approx 243,0\text{тс}$; $M_x=1,7\text{тс}\cdot\text{м}$; $M_y=1,2\text{тс}\cdot\text{м}$.
 Вес подколоники $N=2,4\text{тс}$.

$\Sigma N=243,0+2,4=245,4\text{тс}$, $\Sigma M_x=1,7\text{тс}\cdot\text{м}$, $\Sigma M_y=1,2\text{тс}\cdot\text{м}$.

С учетом веса плиты ростверка
 $\Sigma N=245,4+2,5\times 2\times 0,7\times 2,5\times 1,1=400+14,2=255,0\text{тс}$.

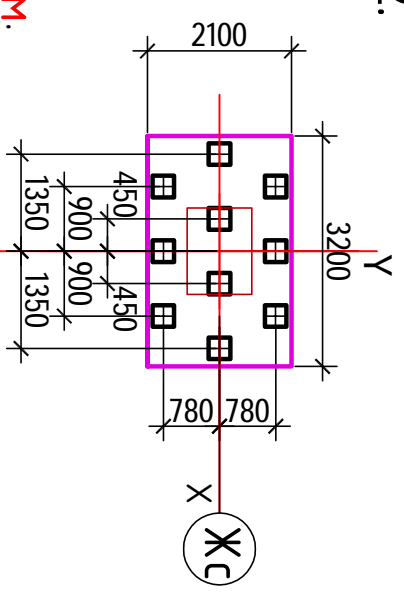


Ростверк РМ4 для расчёта в программе Foundation



Нагрузка от колонны на пересечении осей Жс и 3с:
 $N=3235\text{кН}\approx 330,0\text{тс}$; $M_x=3,2\text{тс}\cdot\text{м}$; $M_y=2,9\text{тс}\cdot\text{м}$.
 Вес подколоники $N=3,2\text{тс}$.
 $\Sigma N=330,0+3,2=333,2\text{тс}$, $\Sigma M_x=3,2\text{тс}\cdot\text{м}$, $\Sigma M_y=2,9\text{тс}\cdot\text{м}$.

С учетом веса плиты ростверка
 $\Sigma N=333,2+3,2\times 2,1\times 0,7\times 2,5\times 1,1=333,2+12,9=346,1\text{тс}$.



Приведение нагрузок на пересечении осей Жс и 3с. к центру тяжести плиты ростверка. Ростверк РМ4, вариант 2.

Средняя нагрузка на сваю с учётом её веса $l_{св}=8,5\text{м}$.
 $R_{св}=1,1\times 0,09\times 8,5\times 2500=2104\text{кгс}\approx 2,2\text{т}$ (в запас)
 $N_{ср}=(255/7)+2,2\approx 38,6\text{тс}$.
 $\Sigma X^2=0,48^2\times 4+1^2\times 2=0,9216+2=2,9216\text{м}^2$.
 $\Sigma Y^2=0,765^2\times 4=2,3409\text{м}^2$.
 $M_{\text{max}}=38,6+(1,7\times 0,765/2,3409)+(1,2\times 1,0/2,9216)=38,6+0,56+0,41\approx 39,6\text{тс}$.
 $M_{\text{min}}=38,6-0,56-0,41\approx 37,6\text{тс}$.

Ростверк РМ4 для расчёта в программе Foundation. Вариант 2

Таблица исходных данных для расчёта РМ4 в программе Foundation. Нагрузки для расчёта по 1-й гр. пред. состоянию. Вариант 2.

№ нагрузки	Ширина полосы b, м	X, м начало	X, м окончание	Y, м начало	Y, м окончание	Значение тс/м ²
1	0,9	1,0	2,2	1,05	1,05	310,0

Ростверк РМ3 для расчёта в программе Foundation

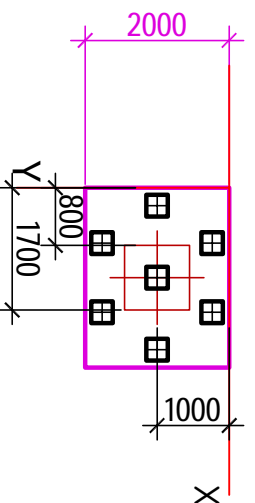


Таблица исходных данных для расчёта РМ8 в программе Foundation. Нагрузки для расчёта по 1-й гр. пред. состоянию.

№ нагрузки	Ширина полосы b, м	X, м начало	X, м окончание	Y, м начало	Y, м окончание	Значение тс/м ²
1	0,9	0,8	1,7	1,0	1,0	300

Согласовано

Инд. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

21-1036-КОЛП.Р

Многоэтажная жилая застройка по ул.Карцева в микрорайоне №25 г.Нефтекамск РБ.

Изм.	Колуч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата

Изд.	Лист	№ док.	Подпись	Дата

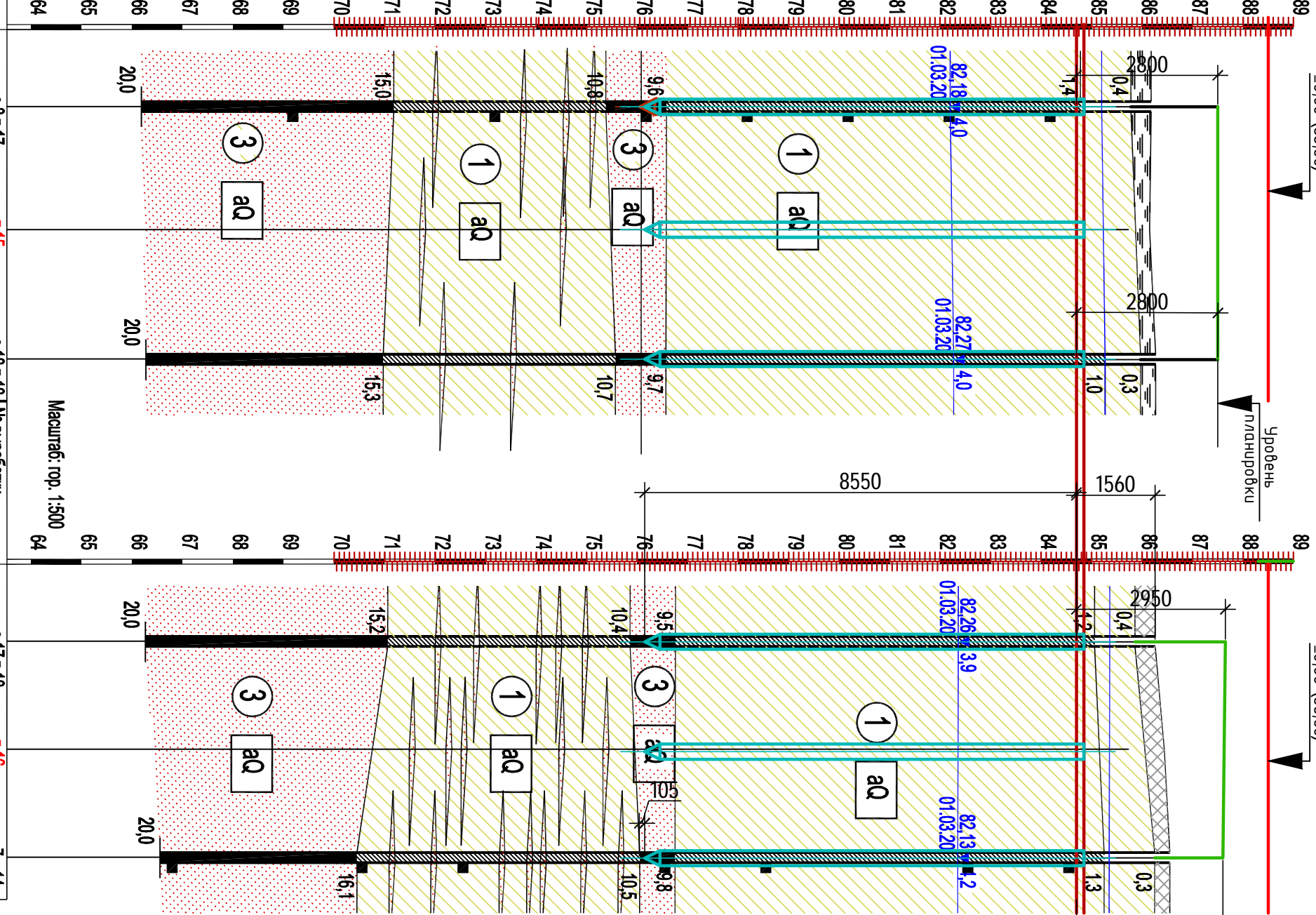
Изд.	Лист	№ док.	Подпись	Дата

Жилой дом №21
 Приведение нагрузок к центру тяжести плиты ростверка.
 Ростверки РМ8, РМ9

Этажи	Лист	Листов
п	8	8

Инженерно-геологический разрез по линии V - V

Инженерно-геологический разрез по линии VI - VI



Условные обозначения

- Четвертичная система (Q)
 - насыпной грунт
 - почвенно-растительный слой
 - сулгиник
 - песок мелкий
- Консистенция глинистых грунтов:
 - мягкопластичная
 - тугопластичная
 - консистенция песчаных грунтов
 - водонасыщенные
- Статическое зондирование грунтов
 - 1 - 0 - 100 200 300 кПа
 - 2 - 100 200 300 кПа
 - 3 - 100 200 300 кПа
- Скважина
 - Уровень подземных вод в скважине:
 - Максимальный прогнозируемый уровень
 - Установившийся уровень, м
 - слева: абс. отм. уровня подземных вод, м
 - справа: дата замера
 - Отбор проб грунта и воды:
 - устье скважины
 - с нарушенной структурой
 - место отбора пробы воды
 - глубина скважины, м

Согласовано

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

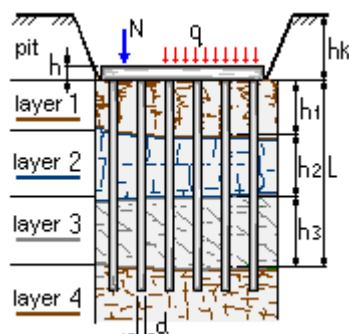
№ выработки	Абсолютная отметка устья выработки, м	Расстояние, м
с-8-г-17	86,18	12,2
T-15	86,15	12,8
с-18-г-13	86,27	
Абсолютная отметка устья выработки, м	Расстояние, м	
с-17-г-18	86,26	10,7
T-16	86,44	10,7
с-7-г-14	86,55	

Изм.	Колуч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата
Нач. отдела	Хадеева				
ГИП	Ларионов				
разработ.	Ларионов				
<p>21-1036-КОПР.Р</p> <p>Многоэтажная жилая застройка по ул. Карцева в микрорайоне №25 г. Нефтекамск РБ.</p> <p>Жилой дом №21</p>					
Инженерно-геологические разрезы V-V, VI-VI. Выполнена из комплекта по инженерно-геологическим заказам (ООО "Развитие меридиан", заказ 014Р1-2020-ИП).	Стация	Лист	Листов		
	П	2	000		
	"Нефтекамскстройзаказчик"				

Результаты расчета

Расчет плиты на свайном основании. Ростверк РМ1

1. - Исходные данные:



Количество слоев 2

Характеристики грунта:

Номер слоя	Тип грунта	Модуль E	Ед. изм.	1 Точка, м	2 Точка, м	3 Точка, м	4 Точка, м
Слой 1	Глинистый	800	тс/м ²	h= 7,6	h= 7,6	h= 7,6	h= 7,6
Слой 2	Песчаный	2800	тс/м ²				

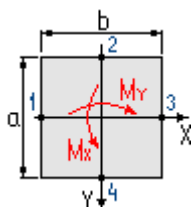
Исходные данные для расчета:
 Прямоугольная плита

Наименование исходных данных	Величина	Ед. измерения
Длина вдоль Y	2,3	м
Ширина вдоль X	9,5	м
Допустимая расчетная нагрузка на сваю (Fd)	40	тс
Длина сваи (L)	8,3	м
Диаметр (сторона)	0,3	м
Толщина плиты	0,7	м
Вылет плиты за грань крайней сваи	0,1	м

Квадратные сваи

Приведенная нагрузка: N= 1220 тс; M_y= 12,15 тс*м; M_x= 2,7 тс*м

2. - Выводы:



Требуемое количество свай 32 шт.

Ориентировочный шаг свай (для расчета осадки) 0,87 м

По расчету на продавливание рядовой сваей несущей способности плиты ДОСТАТОЧНО.

По расчету на продавливание угловой сваей несущей способности плиты ДОСТАТОЧНО.

Расположение свай принято равномерным по всей площади плиты.

Расчетный момент в плите M= 8,39 тс*м (на погонный метр)

Армирование симметричное, шаг 200 мм во всех направлениях.

Защитный слой 35 мм в верхней, 70 мм в нижней зоне плиты.

Арматура d 10 А 400 в обоих направлениях.

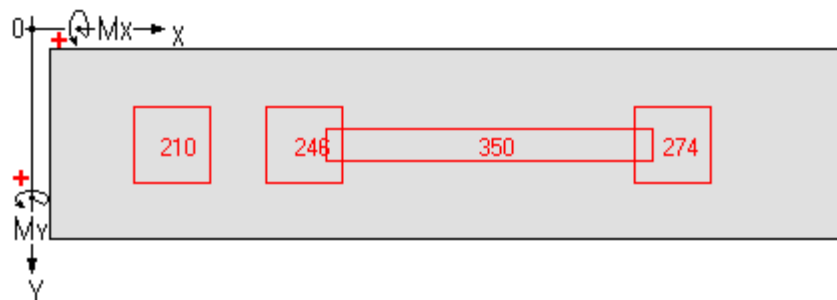
Армирование свайной плиты следует уточнить, выполнив расчет плиты на естественном основании с применением приведенного модуля деформации E_{red}= 5312,43 тс/м²

либо расчет плиты на упругих опорах (сваях) с коэффициентом упругости 5453,89 тс/м

Результаты расчета

Расчет плиты

1. - Исходные данные:



Длина вдоль X 9,5 м
 Ширина вдоль Y 2,3 м
 Толщина плиты 0,7 м

Характеристики грунта Суглинки
 Модуль деформации грунта 5310 тс/м²
 Коэффициент постели 7699,5 (тс/м)/м²

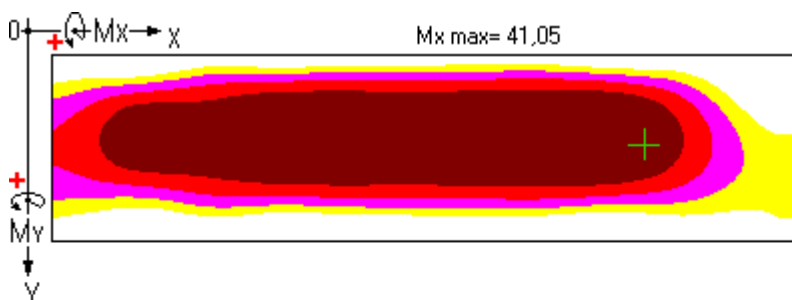
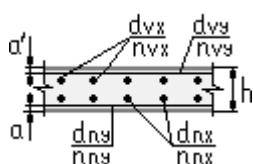
Расчетные нагрузки на конструкцию:

Полосовые нагрузки	начало x,y (м),	конец x,y (м),	величина q (тс/м ²),	Ширина (м)
1	1,45;0,7	1,45;1,6	210	0,9
2	3,05;0,7	3,05;1,6	246	0,9
3	7,45;0,7	7,45;1,6	274	0,9
4	3,3;1,15	7,2;1,15	350	0,4

Приведенные суммарные нагрузки на плиту:

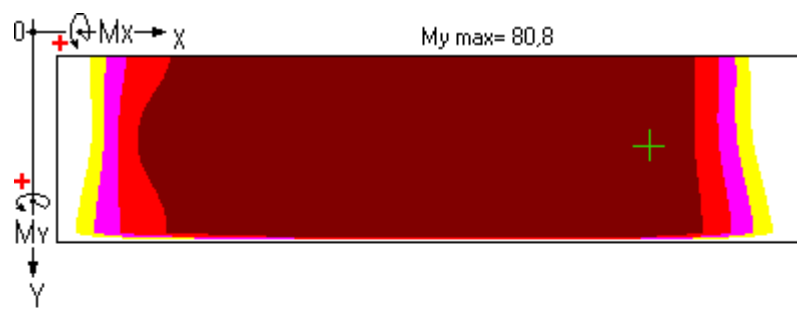
N= 1220,5 тс; Mx= -126,22 тс*м; My= -72,36 тс*м

2. - Выводы:



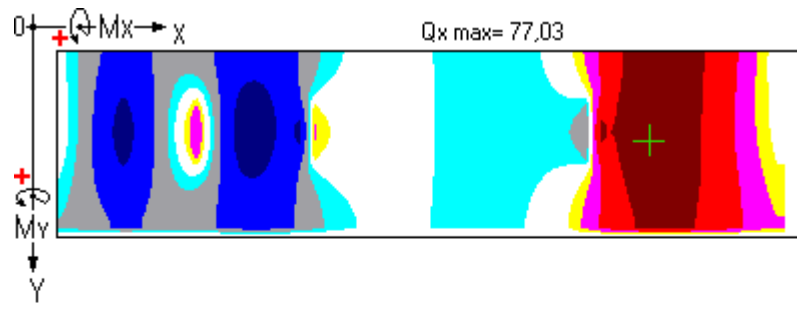
Mx min= -0,86

Эпюра моментов вокруг оси X



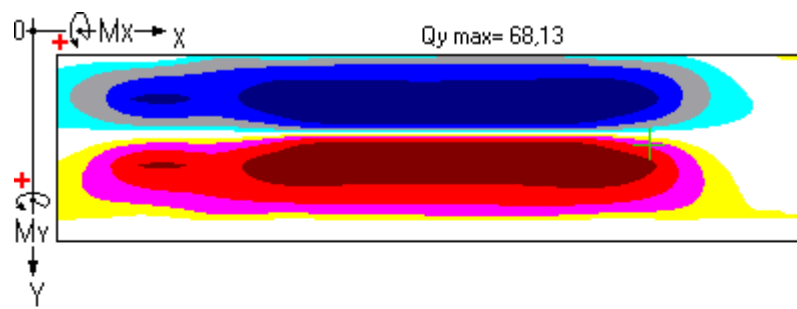
Эпюра моментов вокруг оси Y

My min= -0,51



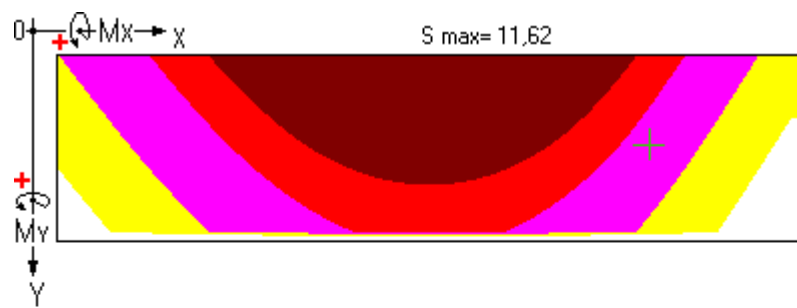
Эпюра поперечных сил вдоль оси X

Qx min= -56,56



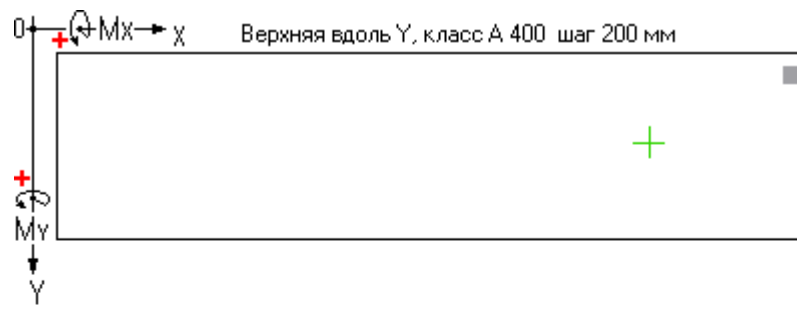
Эпюра поперечных сил вдоль оси Y

Qy min= -71,24



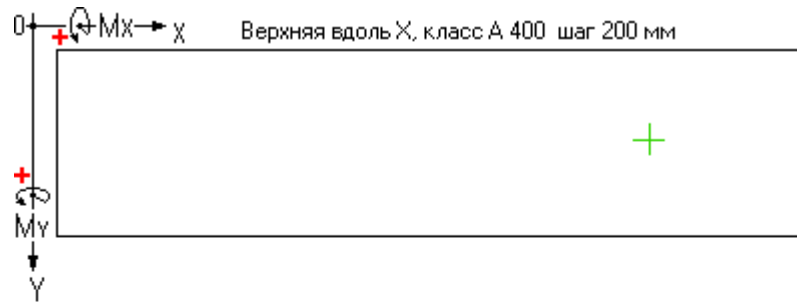
S min= 0,76

Эпюра вертикальных перемещений, мм



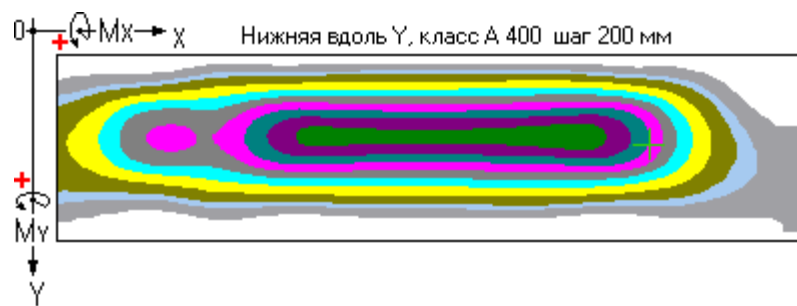
Бетон В15

Верхнее армирование плиты вдоль оси Y, d, мм



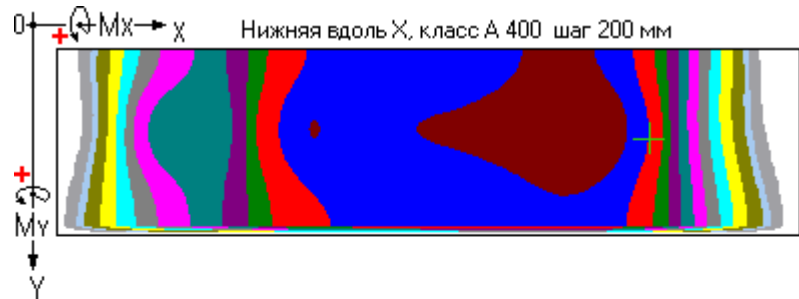
Бетон В15

Верхнее армирование плиты вдоль оси X, d, мм



Бетон В15

Нижнее армирование плиты вдоль оси Y, d, мм



Бетон В15

Нижнее армирование плиты вдоль оси X, d, мм

d=3-5 мм	d=10 мм	d=16 мм	d=22 мм	d=32 мм
d=6 мм	d=12 мм	d=18 мм	d=25 мм	d=36 мм
d=8 мм	d=14 мм	d=20 мм	d=28 мм	d=40 мм

Цветовая палитра полей армирования

Расчет балок прямоугольного сечения по прочности при изгибе в одной плоскости (PM1). Нижняя арматура вдоль оси X.

Информация о расчете:

Дата выполнения расчета: 10.11.2021 11:20:09;

Исходные данные:

Защитный слой:

- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S до грани сечения
 $a_s = 8 \text{ см} = 8 / 100 = 0,08 \text{ м};$
- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S' до грани сечения
 $a'_s = 4 \text{ см} = 4 / 100 = 0,04 \text{ м};$

Площадь ненапрягаемой наиболее растянутой продольной арматуры:

(Стержневая арматура, диаметром 25 мм; 10 шт.):

- Площадь ненапрягаемой растянутой арматуры
 $A_s = 49,1 \text{ см}^2 = 49,1 / 10000 = 0,00491 \text{ м}^2;$

Площадь ненапрягаемой сжатой или наименее растянутой продольной арматуры:

(Стержневая арматура, диаметром 10 мм; 5 шт.):

- Площадь ненапрягаемой сжатой арматуры $A'_s = 3,9 \text{ см}^2 = 3,9 / 10000 = 0,00039 \text{ м}^2;$

Площадь поперечной арматуры:

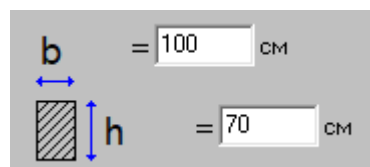
(Стержневая арматура, диаметром 10 мм; 5 шт.):

- Площадь поперечной арматуры $A_{sw} = 3,93 \text{ см}^2 = 3,93 / 10000 = 0,000393 \text{ м}^2;$

Поперечная арматура:

- Шаг стержней поперечной арматуры $s_w = 20 \text{ см} = 20 / 100 = 0,2 \text{ м};$

Размеры сечения:

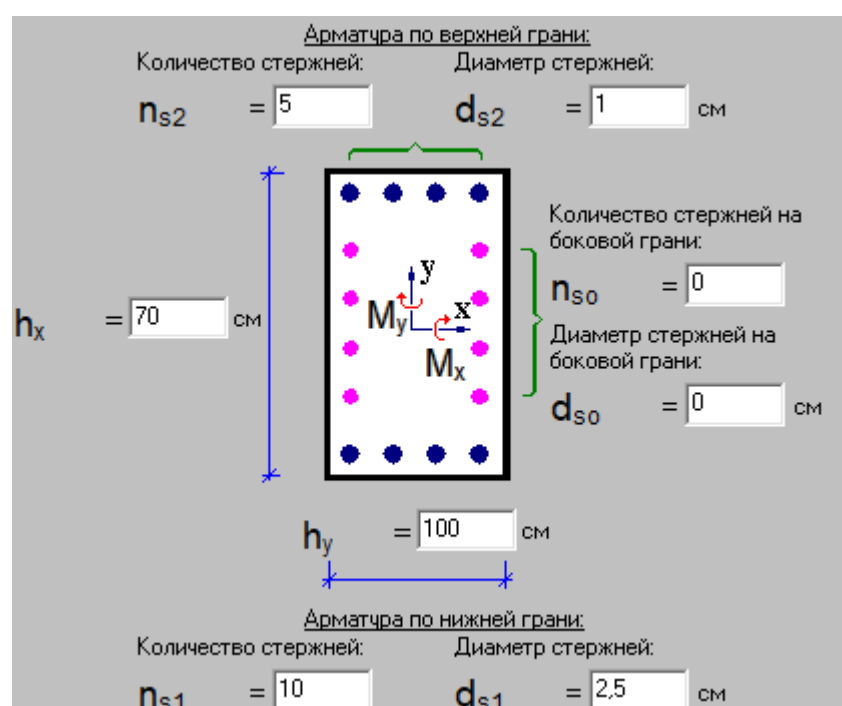


- Высота сечения $h = 70 \text{ см} = 70 / 100 = 0,7 \text{ м};$
- Ширина прямоугольного сечения $b = 100 \text{ см} = 100 / 100 = 1 \text{ м};$

Усилия:

- Изгибающий момент $M = 81 \text{ тс м} = 81 / 101,97162123 = 0,79434 \text{ МН м}$;
- Поперечная сила $Q = 78 \text{ тс} = 78 / 101,97162123 = 0,76492 \text{ МН}$;

Характеристики арматуры при расчете на кручение:



- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у нижней грани элемента $d_{s1} = 2,5 \text{ см} = 2,5 / 100 = 0,025 \text{ м}$;
- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у нижней грани элемента $n_{s1} = 10$;
- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у верхней грани элемента $d_{s2} = 1 \text{ см} = 1 / 100 = 0,01 \text{ м}$;
- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у верхней грани элемента $n_{s2} = 5$;
- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у боковой грани элемента $d_{s0} = 0 \text{ см} = 0 / 100 = 0 \text{ м}$;
- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у боковой грани элемента $n_{s0} = 0$;

Результаты расчета:

1) Расчетное сопротивление бетона

Конструкция - железобетонная.

Предварительное напряжение арматуры - отсутствует.

Класс бетона - В25.

Бетон - тяжелый.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{bn} = 18,5 \text{ МПа}$.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{btn} = 1,55 \text{ МПа}$.

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию принимается по табл. 6.8 $R_b = 14,5 \text{ МПа}$.

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению принимается по табл. 6.8 $R_{bt} = 1,05 \text{ МПа}$.

Класс бетона по прочности:

$B = 25$.

2) Продолжение расчета по п. п. 8.1 СП 63.13330.2012

Расчет - балок.

Элемент - изгибаемый.

Изгиб элемента - в одной плоскости.

3) Учет особенностей работы бетона в конструкции

Действие нагрузки - продолжительное.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий длительность действия нагрузки:

$\gamma_{b1} = 0,9$.

Конструкция бетонируется - в горизонтальном положении.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий бетонируемое в вертикальном положении:

$$\gamma_{b3} = 1 .$$

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий характер разрушения ячеистого бетона:

$$\gamma_{b4} = 1 .$$

Для надземной конструкции, при расчетной температуре наружного воздуха в зимний период не менее -40 град.:

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий влияние попеременного замораживания и оттаивания:

$$\gamma_{b5} = 1 .$$

Группа предельных состояний - первая.

Сейсмичность площадки строительства - не более 6 баллов.

Коэффициент условия работы по СП 14.13330 "Строительство в сейсмических районах":

$$m_{кр} = 1 .$$

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию при $m_{кр} = 1$:

$$R_b = \gamma_{b1} \gamma_{b3} \gamma_{b4} \gamma_{b5} R_b = \\ = 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 14,5 = 13,05 \text{ МПа} .$$

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию:

$$R_b = m_{кр} \gamma_{b1} \gamma_{b3} \gamma_{b4} \gamma_{b5} R_b = \\ = 1 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 14,5 = 13,05 \text{ МПа} .$$

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению при расчете на действие поперечных сил:

$$R_{bt} = \gamma_{b1} R_{bt} = 0,9 \cdot 1,05 = 0,945 \text{ МПа} .$$

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению:

$$R_{bt} = m_{кр} \gamma_{b1} R_{bt} = 1 \cdot 0,9 \cdot 1,05 = 0,945 \text{ МПа} .$$

4) Определение значения начального модуля упругости бетона

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000 \text{ МПа} .$

5) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Т.к. $\gamma_{b1} < 1$:

Относительная влажность воздуха окружающей среды - выше 75%.

Коэффициент ползучести принимается по табл. 6.12 $\varphi_{b, cr} = 1,8 .$

6) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Начальный модуль упругости, принимаемый при продолжительном действии нагрузки:

$$E_b, \tau = E_b / (1 + \varphi_{b, cr}) = \\ = 30000 / (1 + 1,8) = 10714,28571 \text{ МПа (формула (6.3); п. 6.1.15) .}$$

7) Расчетные значения прочностных характеристик арматуры

Класс ненапрягаемой продольной арматуры - А400.

Расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению:

$$R_s = 350 \text{ МПа} .$$

Расчетное сопротивление продольной арматуры сжатию:

$$R_{sc} = 350 \text{ МПа} .$$

Поперечная арматура - рассматривается в данном расчете.

Класс поперечной арматуры - А400.

Расчетное сопротивление поперечной арматуры растяжению:

$$R_{sw} = 280 \text{ МПа} .$$

Расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению:
 $R_s = m_{кр} R_s = 1 \cdot 350 = 350 \text{ МПа}$.

Расчетное сопротивление продольной арматуры сжатию:
 $R_{sc} = m_{кр} R_{sc} = 1 \cdot 350 = 350 \text{ МПа}$.

8) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:
 $E_s = 200000 \text{ МПа}$.

9) Определение граничной относительной высоты сжатой зоны

Относительная деформация растянутой арматуры:
 $\epsilon_{s, el} = R_s/E_s = 350/200000 = 0,00175$ (формула (8.2); п. 8.1.6) .

Относительная деформация бетона:
 $\epsilon_{b2} = 0,0035$.

10) Продолжение расчета по п. п. 8.1.6 СП 63.13330.2012

Граничная относительная высота сжатой зоны:
 $\xi_R = 0,8/(1+\epsilon_{s, el}/\epsilon_{b2}) =$
 $= 0,8/(1+0,00175/0,0035) = 0,53333$ (формула (8.1); п. 8.1.6) .

11) Расчет изгибаемых элементов

Сечение - прямоугольное.

Т.к. $R_s A_s = 350 \cdot 0,00491 = 1,7185 \text{ МН} = 175,23823 \text{ тс} > R_{sc} A'_s = 350 \cdot 0,00039 = 0,1365 \text{ МН} = 13,91913 \text{ тс}$:

Высота сжатой зоны:
 $x = (R_s A_s - R_{sc} A'_s)/(R_b b) =$
 $= (350 \cdot 0,00491 - 350 \cdot 0,00039)/(13,05 \cdot 1) = 0,12123 \text{ м} = 12,12 \text{ см}$ (формула (8.5); п. 8.1) .

Рабочая высота сечения:
 $h_0 = h - a_s = 0,7 - 0,08 = 0,62 \text{ м} = 62 \text{ см}$.

Относительная высота сжатой зоны:
 $\xi = x/h_0 = 0,12123/0,62 = 0,19553$.

Т.к. $\xi = 0,19553 \leq \xi_R = 0,53333$; $x > 0 \text{ м} = 0 \text{ см}$:

Предельный изгибающий момент:
 $M_{ult} = R_b b x (h_0 - 0,5 x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a'_s) =$
 $= 13,05 \cdot 1 \cdot 0,12123 \cdot (0,62 - 0,5 \cdot 0,12123) + 350 \cdot 0,00039 \cdot (0,62 - 0,04) = 0,96415 \text{ МН м} = 98,32 \text{ тс м}$ (формула (8.4); п. 8.1.9) .

$M = 0,79434 \text{ МН м} = 81,00014 \text{ тс м} \leq M_{ult} = 0,96415 \text{ МН м} = 98,31594 \text{ тс м}$ (82,3876% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.3); п. п. 8.1.8) .

12) Определение значения начального модуля упругости бетона

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000 \text{ МПа}$.

13) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Т.к. $\gamma_{b1} < 1$:

Коэффициент ползучести принимается по табл. 6.12 $\varphi_{b, cr} = 1,8$.

14) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Начальный модуль упругости, принимаемый при продолжительном действии нагрузки:
 $E_{b, \tau} = E_b/(1+\varphi_{b, cr}) =$
 $= 30000/(1+1,8) = 10714,28571 \text{ МПа}$ (формула (6.3); п. 6.1.15) .

15) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:
 $E_s = 200000 \text{ МПа}$.

16) Определение характеристик приведенного сечения

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:

$$\alpha_s = E_s/E_b = 200000/10714,29 = 18,66666 .$$

$$h'_o = h - a'_s = 0,7 - 0,04 = 0,66 \text{ м} = 66 \text{ см} .$$

Площадь сечения:

$$A = b h = 1 \cdot 0,7 = 0,7 \text{ м}^2 = 7000 \text{ см}^2 .$$

Статический момент бетонного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_t = b h^2/2 = 1 \cdot 0,7^2/2 = 0,245 \text{ м}^3 = 245000 \text{ см}^3 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00039 - 0,00491 = 0,6947 \text{ м}^2 = 6947 \text{ см}^2 .$$

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{red} = \alpha_s (A_s + A'_s) + A_b = 18,66666 \cdot (0,00491 + 0,00039) + 0,6947 = 0,79363 \text{ м}^2 = 7936,3 \text{ см}^2 .$$

Статический момент приведенного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_{t, red} = (\alpha_s - 1) (A_s a_s + A'_s (h - a'_s)) + b h^2/2 = \\ = (18,66666 - 1) \cdot (0,00491 \cdot 0,08 + 0,00039 \cdot (0,7 - 0,04)) + 1 \cdot 0,7^2/2 = 0,25649 \text{ м}^3 = 256490 \text{ см}^3 .$$

Координата центра тяжести расчетного контура:

$$y_o = S_{t, red}/A_{red} = 0,25649/0,79363 = 0,32319 \text{ м} = 32,32 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее растянутого волокна бетона до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_t = y_o = 0,32319 \text{ м} = 32,32 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_c = h - y_t = 0,7 - 0,32319 = 0,37681 \text{ м} = 37,68 \text{ см} .$$

$$y_s = y_o - a_s = 0,32319 - 0,08 = 0,24319 \text{ м} = 24,32 \text{ см} .$$

$$y'_s = h - a_s - a'_s - y_s = 0,7 - 0,08 - 0,04 - 0,24319 = 0,33681 \text{ м} = 33,68 \text{ см} .$$

Момент инерции бетонного сечения относительно центра тяжести приведенного сечения:

$$I = b h^3/12 + A (h/2 - y_t)^2 = \\ = 1 \cdot 0,7^3/12 + 0,7 \cdot (0,7/2 - 0,32319)^2 = 0,02909 \text{ м}^4 = 2909000 \text{ см}^4 .$$

17) Определение момента образования трещин

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:

$$R_{b, ser} = R_{bn} = 18,5 \text{ МПа} .$$

Расчетное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний второй группы:

$$R_{bt, ser} = R_{btn} = 1,55 \text{ МПа} .$$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_c)^2 = 0,00491 \cdot (0,7 - 0,08 - 0,37681)^2 = 0,000290384 \text{ м}^4 = 29038,4 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$I'_s = A'_s (y_c - a'_s)^2 = \\ = 0,00039 \cdot (0,37681 - 0,04)^2 = 0,000044242 \text{ м}^4 = 4424,2 \text{ см}^4 .$$

18) Продолжение расчета по п. п. 8.2.12 СП 63.13330.2012

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{red} = I + I_s (\alpha_s - 1) + I'_s (\alpha_s - 1) = \\ = 0,02909 + 0,000290384 \cdot (18,66666 - 1) + 0,000044242 \cdot (18,66666 - 1) = 0,035 \text{ м}^4 = 3500000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.125); п. 8.2.12) .}$$

Упругий момент сопротивления приведенного сечения:

$$W_{red} = I_{red}/y_t = 0,035/0,32319 = 0,1083 \text{ м}^3 = 108300 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.123); п. 8.2.12) .}$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны:

$$e_x = W_{red}/A_{red} = 0,1083/0,79363 = 0,13646 \text{ м} = 13,65 \text{ см} \text{ (формула (8.124); п. 8.2.12) .}$$

Момент образования трещин определяется - с учетом неупругих деформаций.

Упругопластический момент сопротивления сечения:

$$W_{pl} = 1,3 W_{red} = 1,3 \cdot 0,1083 = 0,14079 \text{ м}^3 = 140790 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.122); п. 8.2.11)}.$$

Изгибающий момент, воспринимаемый нормальным сечением элемента при образовании трещин:

$$M_{crc} = R_{bt, ser} W_{pl} = 1,55 \cdot 0,14079 = 0,21822 \text{ МН м} = 22,25 \text{ тс м (формула (8.121); п. 8.2.11)}.$$

19) Проверка необходимости увеличения площади сечения продольной растянутой арматуры, если предельное усилие по прочности меньше предельного усилия по образованию трещин

$$\text{Т.к. } M_{ult} = 0,96415 \text{ МН м} = 98,31594 \text{ тс м} \geq M_{crc} = 0,21822 \text{ МН м} = 22,25225 \text{ тс м} :$$

в соответствии с п. 8.1.3 при M_{ult} не менее M_{crc} площадь сечения растянутой продольной арматуры не должна быть увеличена по сравнению с требуемой.

20) Проверка необходимости сжатой арматуры

(проверяем несущую способность, предполагая отсутствие сжатой арматуры)

Высота сжатой зоны:

$$x = R_s A_s / (R_b b) = \\ = 350 \cdot 0,00491 / (13,05 \cdot 1) = 0,13169 \text{ м} = 13,17 \text{ см (формула (8.5); п. 8.1)}.$$

Относительная высота сжатой зоны:

$$\xi = x/h_0 = 0,13169/0,62 = 0,2124 .$$

$$\text{Т.к. } \xi = 0,2124 \leq \xi_R = 0,53333 :$$

Предельный изгибающий момент:

$$M_{ult} = R_b b x (h_0 - 0,5 x) = \\ = 13,05 \cdot 1 \cdot 0,13169 \cdot (0,62 - 0,5 \cdot 0,13169) = 0,95235 \text{ МН м} = 97,11 \text{ тс м (формула (8.4); п. 8.1)}.$$

21) Продолжение расчета по п. п. 8.1.8 СП 63.13330.2012

$$\text{Т.к. } M = 0,79434 \text{ МН м} = 81,00014 \text{ тс м} \leq M_{ult} = 0,95235 \text{ МН м} = 97,11267 \text{ тс м} :$$

- сжатая арматура по расчету не требуется, поэтому не требуется устанавливать поперечную арматуру в соответствии с п. 10.3.14.

22) Расчет железобетонных элементов по полосе между наклонными сечениями

Коэффициент:

$$\varphi_{b1} = 0,3 .$$

Приведенное значение толщины защитного слоя растянутой арматуры:

$$a = a_s = 0,08 \text{ м} = 8 \text{ см} .$$

Приведенное значение толщины защитного слоя сжатой арматуры:

$$a' = a'_s = 0,04 \text{ м} = 4 \text{ см} .$$

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a = 0,7 - 0,08 = 0,62 \text{ м} = 62 \text{ см} .$$

23) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа} .$$

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:

$$\alpha_s = E_s/E_b = 200000/10714,29 = 18,66666 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00039 - 0,00491 = 0,6947 \text{ м}^2 = 6947 \text{ см}^2 .$$

Приведенная площадь сечения элемента с учетом продольной арматуры:

$$A = A_b + \alpha_s (A'_s + A_s) = \\ = 0,6947 + 18,66666 \cdot (0,00039 + 0,00491) = 0,79363 \text{ м}^2 = 7936,3 \text{ см}^2 .$$

Коэффициент, учитывающий влияние сжимающих и растягивающих напряжений:

$$\varphi_n = 1 .$$

$Q = 0,76492 \text{ МН} = 78,00013 \text{ тс} \leq \varphi_n \varphi_{b1} R_b b h_0 = 1 \cdot 0,3 \cdot 13,05 \cdot 1 \cdot 0,62 = 2,4273 \text{ МН} = 247,51572 \text{ тс}$ (31,5132% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.55); п. 8.1.32).

24) Расчет железобетонных элементов по наклонным сечениям на действие поперечных сил

Коэффициент:

$$\varphi_{b2} = 1,5 .$$

Расчет - по упрощенным формулам, полученным на основе анализа СП 63.13330.2012.

Коэффициент:

$$\varphi_{sw} = 0,75 .$$

Усилия в поперечной арматуре на единицу длины:

$$q_{sw} = R_{sw} A_{sw}/s_w = 280 \cdot 0,000393/0,2 = 0,5502 \text{ МН/м} = 56,1 \text{ тс/м}$$
 (формула (8.59); п. 8.1.33).

Длина проекции наклонного сечения:

$$c = \sqrt{2 R_{bt} b h_0^2 / q_{sw}} = \\ = \sqrt{2 \cdot 0,945 \cdot 1 \cdot 0,62^2 / 0,5502} = 1,14911 \text{ м} = 114,91 \text{ см} .$$

Т.к. $c = 1,14911 \text{ м} = 114,911 \text{ см} \leq 2 h_0 = 2 \cdot 0,62 = 1,24 \text{ м} = 124 \text{ см}$ и $c = 1,14911 \text{ м} = 114,911 \text{ см} \geq h_0 = 0,62 \text{ м} = 62 \text{ см}$:

Поперечная сила, воспринимаемая бетоном:

$$Q_b = \varphi_{b2} R_{bt} b h_0^2 / c = \\ = 1,5 \cdot 0,945 \cdot 1 \cdot 0,62^2 / 1,14911 = 0,47418 \text{ МН} = 48,35 \text{ тс}$$
 (формула (8.57); п. 8.1.33).

Усилие в поперечной арматуре:

$$Q_{sw} = \varphi_{sw} q_{sw} c = \\ = 0,75 \cdot 0,5502 \cdot 1,14911 = 0,47418 \text{ МН} = 48,35 \text{ тс}$$
 (формула (8.58); п. 8.1.33).

$q_{sw} = 0,5502 \text{ МН} = 56,10479 \text{ тс} \geq 0,25 R_{bt} b = 0,25 \cdot 0,945 \cdot 1 = 0,23625 \text{ МН} = 24,0908 \text{ тс}$ (232,88889% от предельного значения) - условие выполнено .

$Q = 0,76492 \text{ МН} = 78,00013 \text{ тс} \leq R_{bt} b h_0^2 / s_w = 0,945 \cdot 1 \cdot 0,62^2 / 0,2 = 1,81629 \text{ МН} = 185,21004 \text{ тс}$ (42,11442% от предельного значения) - условие выполнено .

(из требования по ограничению шага арматуры)

$s_w = 0,2 \text{ м} = 20 \text{ см} \leq \min(0,5 h_0 ; 0,3) = \min(0,5 \cdot 0,62; 0,3) = 0,3 \text{ м} = 30 \text{ см}$ (66,66667% от предельного значения) - условие выполнено .

25) Продолжение расчета по п. п. 8.1.33 СП 63.13330.2012

Коэффициент, учитывающий влияние сжимающих и растягивающих напряжений:

$$\varphi_n = 1 .$$

$Q = 0,76492 \text{ МН} = 78,00013 \text{ тс} \leq \varphi_n Q_b + Q_{sw} = 1 \cdot 0,47418 + 0,47418 = 0,94836 \text{ МН} = 96,70581 \text{ тс}$ (80,65713% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.56); п. 8.1.33).

26) Проверка требования минимального процента армирования

Арматура расположена по контуру сечения - не равномерно.

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a_s = 0,7 - 0,08 = 0,62 \text{ м} = 62 \text{ см} .$$

Коэффициент армирования:

$$\mu_s = A_s / (b h_0) \cdot 100 = 0,00491 / (1 \cdot 0,62) \cdot 100 = 0,79194 \% .$$

$\mu_s \geq 0,1 \%$ (791,94% от предельного значения) - условие выполнено .

Расчет балок прямоугольного сечения по трещиностойкости (РМ1), нижняя арматура вдоль оси Х.

Информация о расчете:

Дата выполнения расчета: 10.11.2021 12:54:22;

Исходные данные:

Защитный слой:

- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S до грани сечения $a_s = 8 \text{ см} = 8 / 100 = 0,08 \text{ м}$;
- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S' до грани сечения $a'_s = 4 \text{ см} = 4 / 100 = 0,04 \text{ м}$;

Номинальный диаметр продольной арматуры:

- Номинальный диаметр продольной ненапрягаемой арматуры растянутой зоны $d_s = 25 \text{ мм}$;

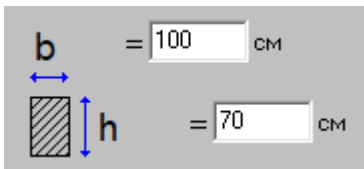
Площадь ненапрягаемой наиболее растянутой продольной арматуры:

- (Стержневая арматура, диаметром 25 мм; 10 шт.):
- Площадь ненапрягаемой растянутой арматуры $A_s = 49,1 \text{ см}^2 = 49,1 / 10000 = 0,00491 \text{ м}^2$;

Площадь ненапрягаемой сжатой или наименее растянутой продольной арматуры:

- (Стержневая арматура, диаметром 10 мм; 5 шт.):
- Площадь ненапрягаемой сжатой арматуры $A'_s = 3,9 \text{ см}^2 = 3,9 / 10000 = 0,00039 \text{ м}^2$;

Размеры сечения:



- Высота сечения $h = 70 \text{ см} = 70 / 100 = 0,7 \text{ м}$;
- Ширина прямоугольного сечения $b = 100 \text{ см} = 100 / 100 = 1 \text{ м}$;

Усилия в двух направлениях:

- Изгибающий момент вокруг оси X $M_x = 0 \text{ тс м} = 0 / 101,97162123 = 0 \text{ МН м}$;
- Изгибающий момент вокруг оси Y $M_y = 71 \text{ тс м} = 71 / 101,97162123 = 0,69627 \text{ МН м}$;
- Изгибающий момент вокруг оси Y от постоянной и длительной нагрузки $M_{ly} = 71 \text{ тс м} = 71 / 101,97162123 = 0,69627 \text{ МН м}$;

Усилия от нормативной нагрузки:

- Нормальная сила от полной нормативной нагрузки $N = 0 \text{ тс} = 0 / 101,97162123 = 0 \text{ МН}$;

Результаты расчета:

Расчетное сопротивление бетона

Конструкция - железобетонная.

Предварительное напряжение арматуры - отсутствует.

Класс бетона - В25.

Бетон - тяжелый.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{bn} = 18,5 \text{ МПа}$.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{btн} = 1,55 \text{ МПа}$.

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию принимается по табл. 6.8 $R_b = 14,5 \text{ МПа}$.

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению принимается по табл. 6.8 $R_{bt} = 1,05 \text{ МПа}$.

Класс бетона по прочности:

$B = 25$.

Учет особенностей работы бетона в конструкции

Действие нагрузки - продолжительное.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий длительность действия нагрузки:

$\gamma_{b1} = 0,9$.

Конструкция бетонируется - в горизонтальном положении.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий бетонирование в вертикальном положении:

$\gamma_{b3} = 1$.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий характер разрушения ячеистого бетона:

$\gamma_{b4} = 1$.

Для надземной конструкции, при расчетной температуре наружного воздуха в зимний период не менее -40 град.:

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий влияние попеременного замораживания и оттаивания:

$\gamma_{b5} = 1$.

Группа предельных состояний - вторая.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний первой группы:

$$R_{bn} = \gamma_{b1} \gamma_{b3} \gamma_{b4} \gamma_{b5} R_{bn} = \\ = 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 18,5 = 16,65 \text{ МПа} .$$

Нормативное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний первой группы:

$$R_{btн} = \gamma_{b1} R_{btн} = 0,9 \cdot 1,55 = 1,395 \text{ МПа} .$$

Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа} .$$

Продолжение расчета по п. 8.2 СП 63.13330.2012

Расчет - балок.

Приведенное значение толщины защитного слоя растянутой арматуры:

$$a = a_s = 0,08 \text{ м} = 8 \text{ см} .$$

Приведенное значение толщины защитного слоя сжатой арматуры:

$$a' = a'_s = 0,04 \text{ м} = 4 \text{ см} .$$

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a = 0,7 - 0,08 = 0,62 \text{ м} = 62 \text{ см} .$$

Деформации в арматуре - не заданы.

Определение значения начального модуля упругости при непродолжительном действии нагрузки

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000 \text{ МПа}$.

Определение характеристик приведенного сечения

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:

$$\alpha_s = E_s / E_b = 200000 / 30000 = 6,66667 .$$

$$h'_0 = h - a'_s = 0,7 - 0,04 = 0,66 \text{ м} = 66 \text{ см} .$$

Сечение - прямоугольное.

Площадь сечения:

$$A = b h = 1 \cdot 0,7 = 0,7 \text{ м}^2 = 7000 \text{ см}^2 .$$

Статический момент бетонного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_t = b h^2 / 2 = 1 \cdot 0,7^2 / 2 = 0,245 \text{ м}^3 = 245000 \text{ см}^3 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00039 - 0,00491 = 0,6947 \text{ м}^2 = 6947 \text{ см}^2 .$$

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{red} = \alpha_s (A_s + A'_s) + A_b = 6,66667 \cdot (0,00491 + 0,00039) + 0,6947 = 0,73003 \text{ м}^2 = 7300,3 \text{ см}^2 .$$

Статический момент приведенного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_{t, red} = (\alpha_s - 1) (A_s a_s + A'_s (h - a'_s)) + b h^2 / 2 = \\ = (6,66667 - 1) \cdot (0,00491 \cdot 0,08 + 0,00039 \cdot (0,7 - 0,04)) + 1 \cdot 0,7^2 / 2 = 0,24868 \text{ м}^3 = 248680 \text{ см}^3 .$$

Координата центра тяжести расчетного контура:

$$y_0 = S_{t, red} / A_{red} = 0,24868 / 0,73003 = 0,34064 \text{ м} = 34,06 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее растянутого волокна бетона до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_t = y_0 = 0,34064 \text{ м} = 34,06 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_c = h - y_t = 0,7 - 0,34064 = 0,35936 \text{ м} = 35,94 \text{ см} .$$

$$y_s = y_0 - a_s = 0,34064 - 0,08 = 0,26064 \text{ м} = 26,06 \text{ см} .$$

$$y'_s = h - a_s - a'_s - y_s = 0,7 - 0,08 - 0,04 - 0,26064 = 0,31936 \text{ м} = 31,94 \text{ см} .$$

Момент инерции бетонного сечения относительно центра тяжести приведенного сечения:

$$I = b h^3 / 12 + A (h/2 - y_t)^2 = \\ = 1 \cdot 0,7^3 / 12 + 0,7 \cdot (0,7/2 - 0,34064)^2 = 0,02864 \text{ м}^4 = 2864000 \text{ см}^4 .$$

Определение момента образования трещин

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:

$$R_{b, ser} = R_{bn} = 16,65 \text{ МПа} .$$

Расчетное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний второй группы:

$$R_{bt, ser} = R_{btн} = 1,395 \text{ МПа} .$$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_c)^2 = 0,00491 \cdot (0,7 - 0,08 - 0,35936)^2 = 0,000333552 \text{ м}^4 = 33355,2 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$I'_s = A'_s (y_c - a'_s)^2 = \\ = 0,00039 \cdot (0,35936 - 0,04)^2 = 0,000039776 \text{ м}^4 = 3977,6 \text{ см}^4 .$$

Продолжение расчета по п. п. 8.2.12 СП 63.13330.2012

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{red} = I + I_s (\alpha_s - 1) + I'_s (\alpha_s - 1) = \\ = 0,02864 + 0,000333552 \cdot (6,66667 - 1) + 0,000039776 \cdot (6,66667 - 1) = 0,03076 \text{ м}^4 = 3076000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.125); п. 8.2.12)} .$$

Упругий момент сопротивления приведенного сечения:

$$W_{red} = I_{red}/y_t = 0,03076/0,34064 = 0,0903 \text{ м}^3 = 90300 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.123); п. 8.2.12)}.$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны:
 $e_x = W_{red}/A_{red} = 0,0903/0,73003 = 0,12369 \text{ м} = 12,37 \text{ см}$ (формула (8.124); п. 8.2.12).

Момент образования трещин определяется - с учетом неупругих деформаций.

Упругопластический момент сопротивления сечения:

$$W_{pl} = 1,3 W_{red} = 1,3 \cdot 0,0903 = 0,11739 \text{ м}^3 = 117390 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.122); п. 8.2.11)}.$$

Изгибающий момент, воспринимаемый нормальным сечением элемента при образовании трещин:

$$M_{crc} = R_{bt, ser} W_{pl} = 1,395 \cdot 0,11739 = 0,16376 \text{ МН м} = 16,7 \text{ тс м}$$
 (формула (8.121); п. 8.2.11).

1. Продолжительное раскрытие трещин

Предельная ширина раскрытия трещин при продолжительном действии нагрузки

Расчет на раскрытие трещин ведется из условия - обеспечения сохранности арматуры.

Предельно допустимая ширина раскрытия трещин:

$$a_{crc, ult} = 0,3 \text{ мм}.$$

Определение значения начального модуля упругости при продолжительном действии нагрузки

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000 \text{ МПа}$.

Относительная влажность воздуха окружающей среды - выше 75%.

Коэффициент ползучести принимается по табл. 6.12 $\varphi_{b, cr} = 1,8$.

Начальный модуль упругости, принимаемый при продолжительном действии нагрузки:

$$E_{b, \tau} = E_b / (1 + \varphi_{b, cr}) = 30000 / (1 + 1,8) = 10714,28571 \text{ МПа}$$
 (формула (6.3); п. 6.1.15).

$$M_I = M_I = 0,69627 \text{ МН м} = 71 \text{ тс м}.$$

Действие постоянных и временных длительных нагрузок

$$M = M_I = 0,69627 \text{ МН м} = 71 \text{ тс м}.$$

Коэффициент, учитывающий характер нагружения:

$$\varphi_3 = 1.$$

$$\text{Т.к. } M = 0,69627 \text{ МН м} = 70,99978 \text{ тс м} > M_{crc} = 0,16376 \text{ МН м} = 16,69887 \text{ тс м} :$$

Требуется расчет по раскрытию трещин.

Коэффициент, учитывающий продолжительность действия нагрузки:

$$\varphi_1 = 1,4.$$

(т.к. раскрытие трещин продолжительное)

Определение характеристик приведенного сечения

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:

$$\alpha_s = E_s / E_b = 200000 / 10714,29 = 18,66666.$$

$$h'_o = h - a'_s = 0,7 - 0,04 = 0,66 \text{ м} = 66 \text{ см}.$$

Площадь сечения:

$$A = b h = 1 \cdot 0,7 = 0,7 \text{ м}^2 = 7000 \text{ см}^2.$$

Статический момент бетонного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_t = b h^2 / 2 = 1 \cdot 0,7^2 / 2 = 0,245 \text{ м}^3 = 245000 \text{ см}^3.$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00039 - 0,00491 = 0,6947 \text{ м}^2 = 6947 \text{ см}^2.$$

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{red} = \alpha_s (A_s + A'_s) + A_b = 18,66666 \cdot (0,00491 + 0,00039) + 0,6947 = 0,79363 \text{ м}^2 = 7936,3 \text{ см}^2.$$

Статический момент приведенного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_{t, red} = (\alpha_s - 1) (A_s a_s + A'_s (h - a'_s)) + b h^2 / 2 = (18,66666 - 1) \cdot (0,00491 \cdot 0,08 + 0,00039 \cdot (0,7 - 0,04)) + 1 \cdot 0,7^2 / 2 = 0,25649 \text{ м}^3 = 256490 \text{ см}^3.$$

Координата центра тяжести расчетного контура:

$$y_o = S_{t, red} / A_{red} = 0,25649 / 0,79363 = 0,32319 \text{ м} = 32,32 \text{ см}.$$

Расстояние от наиболее растянутого волокна бетона до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_t = y_o = 0,32319 \text{ м} = 32,32 \text{ см}.$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_c = h - y_t = 0,7 - 0,32319 = 0,37681 \text{ м} = 37,68 \text{ см}.$$

$$y_s = y_o - a_s = 0,32319 - 0,08 = 0,24319 \text{ м} = 24,32 \text{ см}.$$

$$y'_s = h - a_s - a'_s - y_s = 0,7 - 0,08 - 0,04 - 0,24319 = 0,33681 \text{ м} = 33,68 \text{ см}.$$

Момент инерции бетонного сечения относительно центра тяжести приведенного сечения:

$$I = b h^3 / 12 + A (h/2 - y_t)^2 = 1 \cdot 0,7^3 / 12 + 0,7 \cdot (0,7/2 - 0,32319)^2 = 0,02909 \text{ м}^4 = 2909000 \text{ см}^4.$$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_c)^2 = 0,00491 \cdot (0,7 - 0,08 - 0,37681)^2 = 0,000290384 \text{ м}^4 = 29038,4 \text{ см}^4.$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$I'_s = A'_s (y_c - a'_s)^2 = 0,00039 \cdot (0,37681 - 0,04)^2 = 0,000044242 \text{ м}^4 = 4424,2 \text{ см}^4.$$

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{red} = I + I_s (\alpha_s - 1) + I'_s (\alpha_s - 1) = 0,02909 + 0,000290384 \cdot (18,66666 - 1) + 0,000044242 \cdot (18,66666 - 1) = 0,035 \text{ м}^4 = 3500000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.125); п. 8.2.12)}.$$

Упругий момент сопротивления приведенного сечения:

$$W_{red} = I_{red} / y_t = 0,035 / 0,32319 = 0,1083 \text{ м}^3 = 108300 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.123); п. 8.2.12)}.$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядерной точки, наиболее удаленной от растянутой зоны:

$$e_x = W_{red} / A_{red} = 0,1083 / 0,79363 = 0,13646 \text{ м} = 13,65 \text{ см} \text{ (формула (8.124); п. 8.2.12)}.$$

Определение ширины раскрытия трещин нормальных к продольной оси элемента

Коэффициент, учитывающий профиль продольной арматуры:

$$\varphi_2 = 0,5.$$

т. к. арматура - периодического профиля.

Определение коэффициента ψ_s

Определение напряжений в растянутой арматуре

Принимаемая относительная деформация бетона:

$$\epsilon_{b1, red} = 0,0015.$$

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:

$$R_{b, ser} = R_{bn} = 16,65 \text{ МПа}.$$

Приведенный модуль деформации сжатого бетона:

$$E_{b, red} = R_{b, ser} / \epsilon_{b1, red} = 16,65 / 0,0015 = 11100 \text{ МПа} \text{ (формула (8.131); п. 8.2.16)}.$$

Коэффициент приведения сжатой арматуры к бетону:

$$\alpha_{s1} = E_s / E_{b, red} = 200000 / 11100 = 18,01802 \text{ (формула (8.130); п. 8.2.16)}.$$

Напряжения в растянутой арматуре определяются при $\alpha_{s2} = \alpha_{s1}$

При этом принимается для изгибаемых элементов $y_c = x_m$ - высота сжатой зоны бетона, определяемая по п. 8.2.28.

Коэффициент приведения растянутой арматуры к бетону:

$$\alpha_{s2} = \alpha_{s1} = 18,01802.$$

Определение средней высоты сжатой зоны для изгибаемых элементов

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a = 0,7 - 0,08 = 0,62 \text{ м} = 62 \text{ см}.$$

Коэффициент армирования:

$$\mu_s = A_s / (b h_0) = 0,00491 / (1 \cdot 0,62) = 0,00792 \text{ \%}.$$

Сжатая арматура - имеется.

Коэффициент армирования сжатой ненапрягаемой арматуры:

$$\mu'_s = A'_s / (b h_0) = 0,00039 / (1 \cdot 0,62) = 0,00063.$$

Средняя высота сжатой зоны бетона:

$$x_m = h_0 \left(\sqrt{(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1})^2 + 2(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1}) a' / h_0} - (\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1}) \right) = 0,62 \cdot \left(\sqrt{(0,00792 \cdot 18,01802 + 0,00063 \cdot 18,01802)^2 + 2 \cdot (0,00792 \cdot 18,01802 + 0,00063 \cdot 18,01802 \cdot 0,04 / 0,62)} - (0,00792 \cdot 18,01802 + 0,00063 \cdot 18,01802) \right) = 0,25002 \text{ м} = 25 \text{ см}.$$

Определение средней высоты сжатой зоны бетона

Расчет ведется по приближенной формуле (8.154).

Высота сжатой зоны изгибаемого элемента:

$$x_M = x_m = 0,25002 \text{ м} = 25 \text{ см}.$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна до центра тяжести приведенного сечения без учета растянутой зоны:

$$y_{cm} = x_m = 0,25002 \text{ м} = 25 \text{ см}.$$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_{cm})^2 = 0,00491 \cdot (0,7 - 0,08 - 0,25002)^2 = 0,00067 \text{ м}^4 = 67000 \text{ см}^4.$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$I'_s = A'_s (y_{cm} - a'_s)^2 = 0,00039 \cdot (0,25002 - 0,04)^2 = 0,000017202 \text{ м}^4 = 1720,2 \text{ см}^4.$$

Определение момента инерции сжатой зоны бетона

$$I_b = b x_m^3 / 3 = 1 \cdot 0,25002^3 / 3 = 0,00521 \text{ м}^4 = 521000 \text{ см}^4.$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b x_m = 1 \cdot 0,25002 = 0,25002 \text{ м}^2 = 2500,2 \text{ см}^2.$$

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{red} = I_b + I_s \alpha_{s2} + I'_s \alpha_{s1} = 0,00521 + 0,00067 \cdot 18,01802 + 0,000017202 \cdot 18,01802 = 0,01759 \text{ м}^4 = 1759000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.148); п. 8.2.27)}.$$

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{red} = A_b + A_s \alpha_{s2} + A'_s \alpha_{s1} = 0,25002 + 0,00491 \cdot 18,01802 + 0,00039 \cdot 18,01802 = 0,34552 \text{ м}^2 = 3455,2 \text{ см}^2.$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_c = y_{cm} = 0,25002 \text{ м} = 25 \text{ см}.$$

$\sigma_s = (M (h_0 - y_c) / I_{red}) \alpha_{s1} =$

$$= (0,69627 \cdot (0,62 - 0,25002) / 0,01759) \cdot 18,01802 = 263,87434 \text{ МПа} \text{ (формула (8.129); п. 8.2.16)}.$$

Напряжения $\sigma_{s, \text{crc}}$ определяются при $M = M_{\text{crc}}$.

Напряжения в продольной растянутой арматуре в сечении с трещиной сразу после образования нормальных трещин:

$$\sigma_{s, \text{crc}} = (M_{\text{crc}} (h_0 - y_c) / I_{\text{red}}) \alpha_{s1} = \\ = (0,16376 \cdot (0,62 - 0,25002) / 0,01759) \cdot 18,01802 = 62,06222 \text{ МПа (формула (8.129); п. 8.2.18).}$$

Т.к. $\sigma_s = 263,8743 \text{ МПа} \geq \sigma_{s, \text{crc}} = 62,06222 \text{ МПа}$:

Коэффициент, учитывающий неравномерное распределение относительных деформаций:

$$\psi_s = 1 - 0,8 \sigma_{s, \text{crc}} / \sigma_s = \\ = 1 - 0,8 \cdot 62,06222 / 263,8743 = 0,81184 \text{ (формула (8.137); п. 8.2.18).}$$

Определение базового расстояния между трещинами

Высота растянутой зоны:

$$x_t = h - x_m = 0,7 - 0,25002 = 0,44998 \text{ м} = 45 \text{ см} .$$

Т.к. $x_t = 0,44998 \text{ м} = 44,998 \text{ см} > 0,5 h = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35 \text{ м} = 35 \text{ см}$:

Высота растянутой зоны:

$$x_t = 0,5 h = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35 \text{ м} = 35 \text{ см} .$$

Площадь сечения растянутого бетона:

$$A_{bt} = b x_t = 1 \cdot 0,35 = 0,35 \text{ м}^2 = 3500 \text{ см}^2 .$$

Базовое расстояние между трещинами:

$$l_s = 0,5 (A_{bt} / A_s) d_s = 0,5 \cdot (0,35 / 0,00491) \cdot 25 = 891,0387 \text{ мм (формула (8.136); п. 8.2.17).}$$

Т.к. $l_s > 400 \text{ мм}$:

Базовое расстояние между трещинами:

$$l_s = 400 \text{ мм} .$$

Ширина раскрытия трещин:

$$a_{\text{crc}} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s (\sigma_s / E_s) l_s = \\ = 1,4 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 0,81184 \cdot (263,8743 / 200000) \cdot 400 = 0,29991 \text{ мм (формула (8.128); п. 8.2.15).}$$

$a_{\text{crc}} = 0,29991 \text{ мм} \leq a_{\text{crc, ult}} = 0,3 \text{ мм}$ (99,97% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.118); п. п. 8.2).

Ширина раскрытия трещин от продолжительного действия постоянных и временных длительных нагрузок:

$$a_{\text{crc, l}} = a_{\text{crc}} = 0,29991 \text{ мм} .$$

II. Непродолжительное раскрытие трещин

Предельная ширина раскрытия трещин при непродолжительном действии нагрузки

Предельно допустимая ширина раскрытия трещин:

$$a_{\text{crc, ult}} = 0,4 \text{ мм} .$$

Определение значения начального модуля упругости при непродолжительном действии нагрузки

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000 \text{ МПа}$.

a) Действие всех нагрузок

Т.к. $M = 0,69627 \text{ МН м} = 70,99978 \text{ тс м} > M_{\text{crc}} = 0,16376 \text{ МН м} = 16,69887 \text{ тс м}$:

Требуется расчет по раскрытию трещин.

Коэффициент, учитывающий продолжительность действия нагрузки:

$$\varphi_1 = 1 .$$

(т.к. раскрытие трещин непродолжительное)

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_c)^2 = 0,00491 \cdot (0,7 - 0,08 - 0,35936)^2 = 0,000333552 \text{ м}^4 = 33355,2 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$I'_s = A'_s (y_c - a'_s)^2 = \\ = 0,00039 \cdot (0,35936 - 0,04)^2 = 0,000039776 \text{ м}^4 = 3977,6 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{\text{red}} = I + I_s (\alpha_s - 1) + I'_s (\alpha_s - 1) = \\ = 0,02864 + 0,000333552 \cdot (6,66667 - 1) + 0,000039776 \cdot (6,66667 - 1) = 0,03076 \text{ м}^4 = 3076000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.125); п. 8.2.12).}$$

Упругий момент сопротивления приведенного сечения:

$$W_{\text{red}} = I_{\text{red}} / y_t = 0,03076 / 0,34064 = 0,0903 \text{ м}^3 = 90300 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.123); п. 8.2.12).}$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядерной точки, наиболее удаленной от растянутой зоны:

$$e_x = W_{\text{red}} / A_{\text{red}} = 0,0903 / 0,73003 = 0,12369 \text{ м} = 12,37 \text{ см} \text{ (формула (8.124); п. 8.2.12).}$$

Определение ширины раскрытия трещин нормальных к продольной оси элемента

Коэффициент, учитывающий профиль продольной арматуры:

$$\varphi_2 = 0,5 .$$

т. к. арматура - периодического профиля.

Определение коэффициента ψ_s

Определение напряжений в растянутой арматуре

Принимаемая относительная деформация бетона:

$$\epsilon_{b1, \text{red}} = 0,0015 .$$

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:

$$R_{b, \text{ser}} = R_{bn} = 16,65 \text{ МПа} .$$

Приведенный модуль деформации сжатого бетона:
 $E_{b, red} = R_{b, ser} / \epsilon_{b1, red} = 16,65 / 0,0015 = 11100 \text{ МПа}$ (формула (8.131); п. 8.2.16).

Коэффициент приведения сжатой арматуры к бетону:
 $\alpha_{s1} = E_s / E_{b, red} = 200000 / 11100 = 18,01802$ (формула (8.130); п. 8.2.16).

Напряжения в растянутой арматуре определяются при $\alpha_{s2} = \alpha_{s1}$

При этом принимается для изгибаемых элементов $y_c = x_m$ - высота сжатой зоны бетона, определяемая по п. 8.2.28.

Коэффициент приведения растянутой арматуры к бетону:
 $\alpha_{s2} = \alpha_{s1} = 18,01802$.

Определение средней высоты сжатой зоны для изгибаемых элементов

Рабочая высота сечения:
 $h_0 = h - a = 0,7 - 0,08 = 0,62 \text{ м} = 62 \text{ см}$.

Коэффициент армирования:
 $\mu_s = A_s / (b h_0) = 0,00491 / (1 \cdot 0,62) = 0,00792 \%$.

Коэффициент армирования сжатой ненапрягаемой арматуры:
 $\mu'_s = A'_s / (b h_0) = 0,00039 / (1 \cdot 0,62) = 0,00063$.

Средняя высота сжатой зоны бетона:

$$x_m = h_0 \left(\sqrt{(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1})^2 + 2(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1}) a' / h_0} - (\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1}) \right) = 0,62 \cdot \left(\sqrt{(0,00792 \cdot 18,01802 + 0,00063 \cdot 18,01802)^2 + 2 \cdot (0,00792 \cdot 18,01802 + 0,00063 \cdot 18,01802 \cdot 0,04 / 0,62)} - (0,00792 \cdot 18,01802 + 0,00063 \cdot 18,01802) \right) = 0,25002 \text{ м} = 25 \text{ см}.$$

Определение средней высоты сжатой зоны бетона

Расчет ведется по приближенной формуле (8.154).

Высота сжатой зоны изгибаемого элемента:
 $x_M = x_m = 0,25002 \text{ м} = 25 \text{ см}$.

Расстояние от наиболее сжатого волокна до центра тяжести приведенного сечения без учета растянутой зоны:
 $y_{cm} = x_m = 0,25002 \text{ м} = 25 \text{ см}$.

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:
 $I_s = A_s (h - a_s - y_{cm})^2 = 0,00491 \cdot (0,7 - 0,08 - 0,25002)^2 = 0,00067 \text{ м}^4 = 67000 \text{ см}^4$.

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:
 $I'_s = A'_s (y_{cm} - a'_s)^2 = 0,00039 \cdot (0,25002 - 0,04)^2 = 0,000017202 \text{ м}^4 = 1720,2 \text{ см}^4$.

Определение момента инерции сжатой зоны бетона

$$I_b = b x_m^3 / 3 = 1 \cdot 0,25002^3 / 3 = 0,00521 \text{ м}^4 = 521000 \text{ см}^4.$$

Площадь сечения бетона:
 $A_b = b x_m = 1 \cdot 0,25002 = 0,25002 \text{ м}^2 = 2500,2 \text{ см}^2$.

Момент инерции приведенного поперечного сечения:
 $I_{red} = I_b + I_s \alpha_{s2} + I'_s \alpha_{s1} = 0,00521 + 0,00067 \cdot 18,01802 + 0,000017202 \cdot 18,01802 = 0,01759 \text{ м}^4 = 1759000 \text{ см}^4$ (формула (8.148); п. 8.2.27).

Площадь приведенного поперечного сечения:
 $A_{red} = A_b + A_s \alpha_{s2} + A'_s \alpha_{s1} = 0,25002 + 0,00491 \cdot 18,01802 + 0,00039 \cdot 18,01802 = 0,34552 \text{ м}^2 = 3455,2 \text{ см}^2$.

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:
 $y_c = y_{cm} = 0,25002 \text{ м} = 25 \text{ см}$.

$\sigma_s = (M (h_0 - y_c) / I_{red}) \alpha_{s1} = (0,69627 \cdot (0,62 - 0,25002) / 0,01759) \cdot 18,01802 = 263,87434 \text{ МПа}$ (формула (8.129); п. 8.2.16).

Напряжения $\sigma_{s, crc}$ определяются при $M = M_{crc}$.

Напряжения в продольной растянутой арматуре в сечении с трещиной сразу после образования нормальных трещин:
 $\sigma_{s, crc} = (M_{crc} (h_0 - y_c) / I_{red}) \alpha_{s1} = (0,16376 \cdot (0,62 - 0,25002) / 0,01759) \cdot 18,01802 = 62,06222 \text{ МПа}$ (формула (8.129); п. 8.2.18).

Т.к. $\sigma_s = 263,8743 \text{ МПа} \geq \sigma_{s, crc} = 62,06222 \text{ МПа}$:

Коэффициент, учитывающий неравномерное распределение относительных деформаций:
 $\psi_s = 1 - 0,8 \sigma_{s, crc} / \sigma_s = 1 - 0,8 \cdot 62,06222 / 263,8743 = 0,81184$ (формула (8.137); п. 8.2.18).

Определение базового расстояния между трещинами

Высота растянутой зоны:
 $x_t = h - x_m = 0,7 - 0,25002 = 0,44998 \text{ м} = 44,998 \text{ см}$.

Т.к. $x_t = 0,44998 \text{ м} = 44,998 \text{ см} > 0,5 h = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35 \text{ м} = 35 \text{ см}$:

Высота растянутой зоны:
 $x_t = 0,5 h = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35 \text{ м} = 35 \text{ см}$.

Площадь сечения растянутого бетона:
 $A_{bt} = b x_t = 1 \cdot 0,35 = 0,35 \text{ м}^2 = 3500 \text{ см}^2$.

Базовое расстояние между трещинами:
 $l_s = 0,5 (A_{bt} / A_s) d_s = 0,5 \cdot (0,35 / 0,00491) \cdot 25 = 891,0387 \text{ мм}$ (формула (8.136); п. 8.2.17).

Т.к. $l_s > 400 \text{ мм}$:

Базовое расстояние между трещинами:
 $I_s = 400 \text{ мм}$.

Ширина раскрытия трещин:
 $a_{\text{срс}} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s (\sigma_s/E_s) I_s =$
 $= 1 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 0,81184 \cdot (263,8743/200000) \cdot 400 = 0,21422 \text{ мм}$ (формула (8.128); п. 8.2.15).

Ширина раскрытия трещин от непродолжительного действия всех нагрузок:
 $a_{\text{срс}, 2} = a_{\text{срс}} = 0,21422 \text{ мм}$.

б) Действие постоянных и временных длительных нагрузок

$M_I = M_I = 0,69627 \text{ МН м} = 71 \text{ тс м}$.

Действие постоянных и временных длительных нагрузок

$M = M_I = 0,69627 \text{ МН м} = 71 \text{ тс м}$.

Т.к. $M = 0,69627 \text{ МН м} = 70,99978 \text{ тс м} > M_{\text{срс}} = 0,16376 \text{ МН м} = 16,69887 \text{ тс м}$:

Требуется расчет по раскрытию трещин.

Коэффициент, учитывающий продолжительность действия нагрузки:
 $\varphi_1 = 1$.

(т.к. раскрытие трещин непродолжительное)

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:
 $I_s = A_s (h - a_s - y_c)^2 = 0,00491 \cdot (0,7 - 0,08 - 0,35936)^2 = 0,000333552 \text{ м}^4 = 33355,2 \text{ см}^4$.

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:
 $I'_s = A'_s (y_c - a'_s)^2 =$
 $= 0,00039 \cdot (0,35936 - 0,04)^2 = 0,000039776 \text{ м}^4 = 3977,6 \text{ см}^4$.

Момент инерции приведенного поперечного сечения:
 $I_{\text{ред}} = I + I_s (\alpha_s - 1) + I'_s (\alpha'_s - 1) =$
 $= 0,02864 + 0,000333552 \cdot (6,66667 - 1) + 0,000039776 \cdot (6,66667 - 1) = 0,03076 \text{ м}^4 = 3076000 \text{ см}^4$ (формула (8.125); п. 8.2.12).

Упругий момент сопротивления приведенного сечения:
 $W_{\text{ред}} = I_{\text{ред}}/y_t = 0,03076/0,34064 = 0,0903 \text{ м}^3 = 90300 \text{ см}^3$ (формула (8.123); п. 8.2.12).

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны:
 $e_x = W_{\text{ред}}/A_{\text{ред}} = 0,0903/0,73003 = 0,12369 \text{ м} = 12,37 \text{ см}$ (формула (8.124); п. 8.2.12).

Определение ширины раскрытия трещин нормальных к продольной оси элемента

Коэффициент, учитывающий профиль продольной арматуры:
 $\varphi_2 = 0,5$.

т. к. арматура - периодического профиля.

Определение коэффициента ψ_s

Определение напряжений в растянутой арматуре

Принимаемая относительная деформация бетона:
 $\epsilon_{b1, \text{ред}} = 0,0015$.

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:
 $R_{b, \text{сер}} = R_{bn} = 16,65 \text{ МПа}$.

Приведенный модуль деформации сжатого бетона:
 $E_{b, \text{ред}} = R_{b, \text{сер}}/\epsilon_{b1, \text{ред}} = 16,65/0,0015 = 11100 \text{ МПа}$ (формула (8.131); п. 8.2.16).

Коэффициент приведения сжатой арматуры к бетону:
 $\alpha_{s1} = E_s/E_{b, \text{ред}} = 200000/11100 = 18,01802$ (формула (8.130); п. 8.2.16).

Напряжения в растянутой арматуре определяются при $\alpha_{s2} = \alpha_{s1}$

При этом принимается для изгибаемых элементов $y_c = x_m$ - высота сжатой зоны бетона, определяемая по п. 8.2.28.

Коэффициент приведения растянутой арматуры к бетону:
 $\alpha_{s2} = \alpha_{s1} = 18,01802$.

Определение средней высоты сжатой зоны для изгибаемых элементов

Рабочая высота сечения:
 $h_0 = h - a = 0,7 - 0,08 = 0,62 \text{ м} = 62 \text{ см}$.

Коэффициент армирования:
 $\mu_s = A_s/(b h_0) = 0,00491/(1 \cdot 0,62) = 0,00792 \%$.

Коэффициент армирования сжатой ненапрягаемой арматуры:
 $\mu'_s = A'_s/(b h_0) = 0,00039/(1 \cdot 0,62) = 0,00063$.

Средняя высота сжатой зоны бетона:
 $x_m = h_0 \cdot \sqrt{(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1})^2 + 2(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1}) a/h_0 - (\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1})} =$
 $= 0,62 \cdot \sqrt{(0,00792 \cdot 18,01802 + 0,00063 \cdot 18,01802)^2 + 2 \cdot (0,00792 \cdot 18,01802 + 0,00063 \cdot 18,01802 \cdot 0,04/0,62) - (0,00792 \cdot 18,01802 + 0,00063 \cdot 18,01802)} = 0,25002 \text{ м} = 25 \text{ см}$.

Определение средней высоты сжатой зоны бетона

Расчет ведется по приближенной формуле (8.154).

Высота сжатой зоны изгибаемого элемента:
 $x_M = x_m = 0,25002 \text{ м} = 25 \text{ см}$.

Расстояние от наиболее сжатого волокна до центра тяжести приведенного сечения без учета растянутой зоны:
 $y_{cm} = x_m = 0,25002 \text{ м} = 25 \text{ см}$.

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:
 $I_s = A_s (h - a_s - y_{cm})^2 = 0,00491 \cdot (0,7 - 0,08 - 0,25002)^2 = 0,00067 \text{ м}^4 = 67000 \text{ см}^4$.

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:
 $I'_s = A'_s (y_{cm} - a'_s)^2 =$
 $= 0,00039 \cdot (0,25002 - 0,04)^2 = 0,000017202 \text{ м}^4 = 1720,2 \text{ см}^4$.

Определение момента инерции сжатой зоны бетона

$I_b = b x_m^3 / 3 = 1 \cdot 0,25002^3 / 3 = 0,00521 \text{ м}^4 = 521000 \text{ см}^4$.

Площадь сечения бетона:
 $A_b = b x_m = 1 \cdot 0,25002 = 0,25002 \text{ м}^2 = 2500,2 \text{ см}^2$.

Момент инерции приведенного поперечного сечения:
 $I_{red} = I_b + I_s \alpha_{s2} + I'_s \alpha_{s1} =$
 $= 0,00521 + 0,00067 \cdot 18,01802 + 0,000017202 \cdot 18,01802 = 0,01759 \text{ м}^4 = 1759000 \text{ см}^4$ (формула (8.148); п. 8.2.27).

Площадь приведенного поперечного сечения:
 $A_{red} = A_b + A_s \alpha_{s2} + A'_s \alpha_{s1} =$
 $= 0,25002 + 0,00491 \cdot 18,01802 + 0,00039 \cdot 18,01802 = 0,34552 \text{ м}^2 = 3455,2 \text{ см}^2$.

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:
 $y_c = y_{cm} = 0,25002 \text{ м} = 25 \text{ см}$.

$\sigma_s = (M (h_0 - y_c) / I_{red}) \alpha_{s1} =$
 $= (0,69627 \cdot (0,62 - 0,25002) / 0,01759) \cdot 18,01802 = 263,87434 \text{ МПа}$ (формула (8.129); п. 8.2.16).

Напряжения $\sigma_{s, crс}$ определяются при $M = M_{crс}$.

Напряжения в продольной растянутой арматуре в сечении с трещиной сразу после образования нормальных трещин:
 $\sigma_{s, crс} = (M_{crс} (h_0 - y_c) / I_{red}) \alpha_{s1} =$
 $= (0,16376 \cdot (0,62 - 0,25002) / 0,01759) \cdot 18,01802 = 62,06222 \text{ МПа}$ (формула (8.129); п. 8.2.18).

Т.к. $\sigma_s = 263,8743 \text{ МПа} \geq \sigma_{s, crс} = 62,06222 \text{ МПа}$:

Коэффициент, учитывающий неравномерное распределение относительных деформаций:
 $\psi_s = 1 - 0,8 \sigma_{s, crс} / \sigma_s =$
 $= 1 - 0,8 \cdot 62,06222 / 263,8743 = 0,81184$ (формула (8.137); п. 8.2.18).

Определение базового расстояния между трещинами

Высота растянутой зоны:
 $x_t = h - x_m = 0,7 - 0,25002 = 0,44998 \text{ м} = 45 \text{ см}$.

Т.к. $x_t = 0,44998 \text{ м} = 44,998 \text{ см} > 0,5 h = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35 \text{ м} = 35 \text{ см}$:

Высота растянутой зоны:
 $x_t = 0,5 h = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35 \text{ м} = 35 \text{ см}$.

Площадь сечения растянутого бетона:
 $A_{bt} = b x_t = 1 \cdot 0,35 = 0,35 \text{ м}^2 = 3500 \text{ см}^2$.

Базовое расстояние между трещинами:
 $l_s = 0,5 (A_{bt} / A_s) d_s = 0,5 \cdot (0,35 / 0,00491) \cdot 25 = 891,0387 \text{ мм}$ (формула (8.136); п. 8.2.17).

Т.к. $l_s > 400 \text{ мм}$:

Базовое расстояние между трещинами:
 $l_s = 400 \text{ мм}$.

Ширина раскрытия трещин:
 $a_{crс} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s (\sigma_s / E_s) l_s =$
 $= 1 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 0,81184 \cdot (263,8743 / 200000) \cdot 400 = 0,21422 \text{ мм}$ (формула (8.128); п. 8.2.15).

Ширина раскрытия трещин от непродолжительного действия постоянных и временных длительных нагрузок:
 $a_{crс, 3} = a_{crс} = 0,21422 \text{ мм}$.

Ширина раскрытия трещин:
 $a_{crс} = a_{crс, 1} + a_{crс, 2} - a_{crс, 3} =$
 $= 0,29991 + 0,21422 - 0,21422 = 0,29991 \text{ мм}$ (формула (8.120); п. 8.2).

$a_{crс} = 0,29991 \text{ мм} \leq a_{crс, ult} = 0,4 \text{ мм}$ (74,9775% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.118); п. п. 8.2).

Информация о расчете:

Дата выполнения расчета: 10.11.2021 13:11:58;

Исходные данные:

Защитный слой:

- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S до грани сечения
 $a_s = 8 \text{ см} = 8 / 100 = 0,08 \text{ м}$;
- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S' до грани сечения
 $a'_s = 4 \text{ см} = 4 / 100 = 0,04 \text{ м}$;

Площадь ненапрягаемой наиболее растянутой продольной арматуры:

(Стержневая арматура, диаметром 20 мм; 7 шт.):

- Площадь ненапрягаемой растянутой арматуры

$$A_s = 22 \text{ см}^2 = 22 / 10000 = 0,0022 \text{ м}^2;$$

Площадь ненапрягаемой сжатой или наименее растянутой продольной арматуры:

(Стержневая арматура, диаметром 10 мм; 7 шт.):

- Площадь ненапрягаемой сжатой арматуры $A'_s = 5,5 \text{ см}^2 = 5,5 / 10000 = 0,00055 \text{ м}^2$;

Площадь поперечной арматуры:

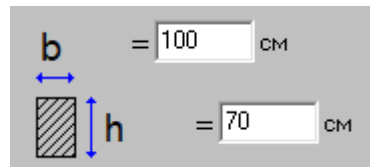
(Стержневая арматура, диаметром 10 мм; 5 шт.):

- Площадь поперечной арматуры $A_{sw} = 3,93 \text{ см}^2 = 3,93 / 10000 = 0,000393 \text{ м}^2$;

Поперечная арматура:

- Шаг стержней поперечной арматуры $s_w = 20 \text{ см} = 20 / 100 = 0,2 \text{ м}$;

Размеры сечения:



- Высота сечения $h = 70 \text{ см} = 70 / 100 = 0,7 \text{ м}$;

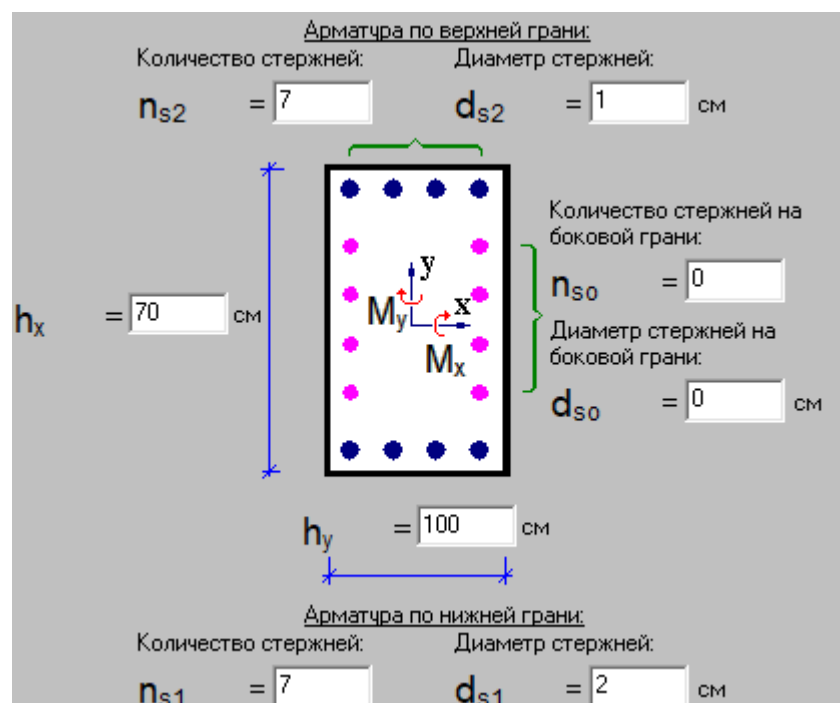
- Ширина прямоугольного сечения $b = 100 \text{ см} = 100 / 100 = 1 \text{ м}$;

Усилия:

- Изгибающий момент $M = 42 \text{ тс м} = 42 / 101,97162123 = 0,41188 \text{ МН м}$;

- Поперечная сила $Q = 78 \text{ тс} = 78 / 101,97162123 = 0,76492 \text{ МН}$;

Характеристики арматуры при расчете на кручение:



- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у нижней грани элемента $d_{s1} = 2 \text{ см} = 2 / 100 = 0,02 \text{ м}$;

- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у нижней грани элемента $n_{s1} = 7$;

- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у верхней грани элемента

$d_{s2} = 1 \text{ см} = 1 / 100 = 0,01 \text{ м}$;

- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у верхней грани элемента $n_{s2} = 7$;

- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у боковой грани элемента

$d_{s0} = 0 \text{ см} = 0 / 100 = 0 \text{ м}$;

- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у боковой грани элемента $n_{s0} = 0$;

Результаты расчета:

1) Расчетное сопротивление бетона

Конструкция - железобетонная.

Предварительное напряжение арматуры - отсутствует.

Класс бетона - В25.

Бетон - тяжелый.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{bn} = 18,5 \text{ МПа}$.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{btн} = 1,55 \text{ МПа}$.

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию принимается по табл. 6.8 $R_b = 14,5$ МПа .

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению принимается по табл. 6.8 $R_{bt} = 1,05$ МПа .

Класс бетона по прочности:

$B = 25$.

2) Продолжение расчета по п. п. 8.1 СП 63.13330.2012

Расчет - балок.

Элемент - изгибаемый.

Изгиб элемента - в одной плоскости.

3) Учет особенностей работы бетона в конструкции

Действие нагрузки - продолжительное.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий длительность действия нагрузки:

$\gamma_{b1} = 0,9$.

Конструкция бетонируется - в горизонтальном положении.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий бетонирование в вертикальном положении:

$\gamma_{b3} = 1$.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий характер разрушения ячеистого бетона:

$\gamma_{b4} = 1$.

Для надземной конструкции, при расчетной температуре наружного воздуха в зимний период не менее -40 град.:

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий влияние попеременного замораживания и оттаивания:

$\gamma_{b5} = 1$.

Группа предельных состояний - первая.

Сейсмичность площадки строительства - не более 6 баллов.

Коэффициент условия работы по СП 14.13330 "Строительство в сейсмических районах":

$m_{кр} = 1$.

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию при $m_{кр} = 1$:

$R_b = \gamma_{b1} \gamma_{b3} \gamma_{b4} \gamma_{b5} R_b =$
 $= 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 14,5 = 13,05$ МПа .

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию:

$R_b = m_{кр} \gamma_{b1} \gamma_{b3} \gamma_{b4} \gamma_{b5} R_b =$
 $= 1 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 14,5 = 13,05$ МПа .

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению при расчете на действие поперечных сил:

$R_{bt} = \gamma_{b1} R_{bt} = 0,9 \cdot 1,05 = 0,945$ МПа .

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению:

$R_{bt} = m_{кр} \gamma_{b1} R_{bt} = 1 \cdot 0,9 \cdot 1,05 = 0,945$ МПа .

4) Определение значения начального модуля упругости бетона

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000$ МПа .

5) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Т.к. $\gamma_{b1} < 1$:

Относительная влажность воздуха окружающей среды - выше 75%.

Коэффициент ползучести принимается по табл. 6.12 $\phi_{b, cr} = 1,8$.

6) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Начальный модуль упругости, принимаемый при продолжительном действии нагрузки:

$E_b, \tau = E_b / (1 + \phi_{b, cr}) =$
 $= 30000 / (1 + 1,8) = 10714,28571$ МПа (формула (6.3); п. 6.1.15).

7) Расчетные значения прочностных характеристик арматуры

Класс ненапрягаемой продольной арматуры - А400.

Расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению:

$R_s = 350$ МПа .

Расчетное сопротивление продольной арматуры сжатию:

$$R_{sc} = 350 \text{ МПа} .$$

Поперечная арматура - рассматривается в данном расчете.

Класс поперечной арматуры - А400.

Расчетное сопротивление поперечной арматуры растяжению:

$$R_{sw} = 280 \text{ МПа} .$$

Расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению:

$$R_s = m_{кр} R_s = 1 \cdot 350 = 350 \text{ МПа} .$$

Расчетное сопротивление продольной арматуры сжатию:

$$R_{sc} = m_{кр} R_{sc} = 1 \cdot 350 = 350 \text{ МПа} .$$

8) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа} .$$

9) Определение граничной относительной высоты сжатой зоны

Относительная деформация растянутой арматуры:

$$\epsilon_{s, el} = R_s / E_s = 350 / 200000 = 0,00175 \text{ (формула (8.2); п. 8.1.6) .}$$

Относительная деформация бетона:

$$\epsilon_{b2} = 0,0035 .$$

10) Продолжение расчета по п. п. 8.1.6 СП 63.13330.2012

Граничная относительная высота сжатой зоны:

$$\xi_R = 0,8 / (1 + \epsilon_{s, el} / \epsilon_{b2}) = 0,8 / (1 + 0,00175 / 0,0035) = 0,53333 \text{ (формула (8.1); п. 8.1.6) .}$$

11) Расчет изгибаемых элементов

Сечение - прямоугольное.

$$\text{Т.к. } R_s A_s = 350 \cdot 0,0022 = 0,77 \text{ МН} = 78,51815 \text{ тс} > R_{sc} A'_s = 350 \cdot 0,00055 = 0,1925 \text{ МН} = 19,62954 \text{ тс} :$$

Высота сжатой зоны:

$$x = (R_s A_s - R_{sc} A'_s) / (R_b b) = (350 \cdot 0,0022 - 350 \cdot 0,00055) / (13,05 \cdot 1) = 0,04425 \text{ м} = 4,43 \text{ см} \text{ (формула (8.5); п. 8.1) .}$$

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a_s = 0,7 - 0,08 = 0,62 \text{ м} = 62 \text{ см} .$$

Относительная высота сжатой зоны:

$$\xi = x / h_0 = 0,04425 / 0,62 = 0,07137 .$$

$$\text{Т.к. } \xi = 0,07137 \leq \xi_R = 0,53333; x > 0 \text{ м} = 0 \text{ см} :$$

Предельный изгибающий момент:

$$M_{ult} = R_b b x (h_0 - 0,5 x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a'_s) = 13,05 \cdot 1 \cdot 0,04425 \cdot (0,62 - 0,5 \cdot 0,04425) + 350 \cdot 0,00055 \cdot (0,62 - 0,04) = 0,4569 \text{ МН м} = 46,59 \text{ тс м} \text{ (формула (8.4); п. 8.1.9) .}$$

$$M = 0,41188 \text{ МН м} = 42,00007 \text{ тс м} \leq M_{ult} = 0,4569 \text{ МН м} = 46,59083 \text{ тс м} \text{ (90,14664\% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.3); п. п. 8.1.8) .}$$

12) Определение значения начального модуля упругости бетона

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000 \text{ МПа} .$

13) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

$$\text{Т.к. } \gamma_{b1} < 1 :$$

Коэффициент ползучести принимается по табл. 6.12 $\phi_{b, cr} = 1,8 .$

14) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Начальный модуль упругости, принимаемый при продолжительном действии нагрузки:

$$E_{b, \tau} = E_b / (1 + \phi_{b, cr}) = 30000 / (1 + 1,8) = 10714,28571 \text{ МПа} \text{ (формула (6.3); п. 6.1.15) .}$$

15) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа} .$$

16) Определение характеристик приведенного сечения

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:
 $\alpha_s = E_s/E_b = 200000/10714,29 = 18,66666$.

$$h'_o = h - a'_s = 0,7 - 0,04 = 0,66 \text{ м} = 66 \text{ см}.$$

Площадь сечения:

$$A = b h = 1 \cdot 0,7 = 0,7 \text{ м}^2 = 7000 \text{ см}^2.$$

Статический момент бетонного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_t = b h^2/2 = 1 \cdot 0,7^2/2 = 0,245 \text{ м}^3 = 245000 \text{ см}^3.$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00055 - 0,0022 = 0,69725 \text{ м}^2 = 6972,5 \text{ см}^2.$$

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{red} = \alpha_s (A_s + A'_s) + A_b = 18,66666 \cdot (0,0022 + 0,00055) + 0,69725 = 0,74858 \text{ м}^2 = 7485,8 \text{ см}^2.$$

Статический момент приведенного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_{t, red} = (\alpha_s - 1) (A_s a_s + A'_s (h - a'_s)) + b h^2/2 = \\ = (18,66666 - 1) \cdot (0,0022 \cdot 0,08 + 0,00055 \cdot (0,7 - 0,04)) + 1 \cdot 0,7^2/2 = 0,25452 \text{ м}^3 = 254520 \text{ см}^3.$$

Координата центра тяжести расчетного контура:

$$y_o = S_{t, red}/A_{red} = 0,25452/0,74858 = 0,34 \text{ м} = 34 \text{ см}.$$

Расстояние от наиболее растянутого волокна бетона до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_t = y_o = 0,34 \text{ м} = 34 \text{ см}.$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_c = h - y_t = 0,7 - 0,34 = 0,36 \text{ м} = 36 \text{ см}.$$

$$y_s = y_o - a_s = 0,34 - 0,08 = 0,26 \text{ м} = 26 \text{ см}.$$

$$y'_s = h - a_s - a'_s - y_s = 0,7 - 0,08 - 0,04 - 0,26 = 0,32 \text{ м} = 32 \text{ см}.$$

Момент инерции бетонного сечения относительно центра тяжести приведенного сечения:

$$I = b h^3/12 + A (h/2 - y_t)^2 = \\ = 1 \cdot 0,7^3/12 + 0,7 \cdot (0,7/2 - 0,34)^2 = 0,02865 \text{ м}^4 = 2865000 \text{ см}^4.$$

17) Определение момента образования трещин

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:

$$R_{b, ser} = R_{bn} = 18,5 \text{ МПа}.$$

Расчетное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний второй группы:

$$R_{bt, ser} = R_{btn} = 1,55 \text{ МПа}.$$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_c)^2 = 0,0022 \cdot (0,7 - 0,08 - 0,36)^2 = 0,00014872 \text{ м}^4 = 14872 \text{ см}^4.$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$I'_s = A'_s (y_c - a'_s)^2 = \\ = 0,00055 \cdot (0,36 - 0,04)^2 = 0,00005632 \text{ м}^4 = 5632 \text{ см}^4.$$

18) Продолжение расчета по п. п. 8.2.12 СП 63.13330.2012

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{red} = I + I_s (\alpha_s - 1) + I'_s (\alpha_s - 1) = \\ = 0,02865 + 0,00014872 \cdot (18,66666 - 1) + 0,00005632 \cdot (18,66666 - 1) = 0,03227 \text{ м}^4 = 3227000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.125); п. 8.2.12)}.$$

Упругий момент сопротивления приведенного сечения:

$$W_{red} = I_{red}/y_t = 0,03227/0,34 = 0,09491 \text{ м}^3 = 94910 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.123); п. 8.2.12)}.$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны:

$$e_x = W_{red}/A_{red} = 0,09491/0,74858 = 0,12679 \text{ м} = 12,68 \text{ см} \text{ (формула (8.124); п. 8.2.12)}.$$

Момент образования трещин определяется - с учетом неупругих деформаций.

Упругопластический момент сопротивления сечения:

$$W_{pl} = 1,3 W_{red} = 1,3 \cdot 0,09491 = 0,12338 \text{ м}^3 = 123380 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.122); п. 8.2.11)}.$$

Изгибающий момент, воспринимаемый нормальным сечением элемента при образовании трещин:

$$M_{cr} = R_{bt, ser} W_{pl} = 1,55 \cdot 0,12338 = 0,19124 \text{ МН м} = 19,5 \text{ тс м} \text{ (формула (8.121); п. 8.2.11)}.$$

19) Проверка необходимости увеличения площади сечения продольной растянутой арматуры, если предельное усилие по прочности меньше предельного усилия по образованию трещин

$$\text{Т.к. } M_{ult} = 0,4569 \text{ МН м} = 46,59083 \text{ тс м} \geq M_{cr} = 0,19124 \text{ МН м} = 19,50105 \text{ тс м} :$$

в соответствии с п. 8.1.3 при M_{ult} не менее M_{cr} площадь сечения растянутой продольной арматуры не должна быть увеличена по сравнению с требуемой.

20) Проверка необходимости сжатой арматуры

(проверяем несущую способность, предполагая отсутствие сжатой арматуры)

Высота сжатой зоны:

$$x = R_s A_s / (R_b b) = 350 \cdot 0,0022 / (13,05 \cdot 1) = 0,059 \text{ м} = 5,9 \text{ см (формула (8.5); п. 8.1).}$$

Относительная высота сжатой зоны:

$$\xi = x/h_0 = 0,059/0,62 = 0,09516 .$$

Т.к. $\xi = 0,09516 \leq \xi_R = 0,53333$:

Предельный изгибающий момент:

$$M_{ult} = R_b b x (h_0 - 0,5 x) = \\ = 13,05 \cdot 1 \cdot 0,059 \cdot (0,62 - 0,5 \cdot 0,059) = 0,45466 \text{ МН м} = 46,36 \text{ тс м (формула (8.4); п. 8.1).}$$

21) Продолжение расчета по п. п. 8.1.8 СП 63.13330.2012

Т.к. $M = 0,41188 \text{ МН м} = 42,00007 \text{ тс м} \leq M_{ult} = 0,45466 \text{ МН м} = 46,36242 \text{ тс м}$:

- сжатая арматура по расчету не требуется, поэтому не требуется устанавливать поперечную арматуру в соответствии с п. 10.3.14.

22) Расчет железобетонных элементов по полосе между наклонными сечениями

Коэффициент:

$$\varphi_{b1} = 0,3 .$$

Приведенное значение толщины защитного слоя растянутой арматуры:

$$a = a_s = 0,08 \text{ м} = 8 \text{ см} .$$

Приведенное значение толщины защитного слоя сжатой арматуры:

$$a' = a'_s = 0,04 \text{ м} = 4 \text{ см} .$$

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a = 0,7 - 0,08 = 0,62 \text{ м} = 62 \text{ см} .$$

23) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа} .$$

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:

$$\alpha_s = E_s/E_b = 200000/10714,29 = 18,66666 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00055 - 0,0022 = 0,69725 \text{ м}^2 = 6972,5 \text{ см}^2 .$$

Приведенная площадь сечения элемента с учетом продольной арматуры:

$$A = A_b + \alpha_s (A'_s + A_s) = \\ = 0,69725 + 18,66666 \cdot (0,00055 + 0,0022) = 0,74858 \text{ м}^2 = 7485,8 \text{ см}^2 .$$

Коэффициент, учитывающий влияние сжимающих и растягивающих напряжений:

$$\varphi_n = 1 .$$

$Q = 0,76492 \text{ МН} = 78,00013 \text{ тс} \leq \varphi_n \varphi_{b1} R_b b h_0 = 1 \cdot 0,3 \cdot 13,05 \cdot 1 \cdot 0,62 = 2,4273 \text{ МН} = 247,51572 \text{ тс}$ (31,5132% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.55); п. 8.1.32).

24) Расчет железобетонных элементов по наклонным сечениям на действие поперечных сил

Коэффициент:

$$\varphi_{b2} = 1,5 .$$

Расчет - по упрощенным формулам, полученным на основе анализа СП 63.13330.2012.

Коэффициент:

$$\varphi_{sw} = 0,75 .$$

Усилия в поперечной арматуре на единицу длины:

$$q_{sw} = R_{sw} A_{sw}/s_w = 280 \cdot 0,000393/0,2 = 0,5502 \text{ МН/м} = 56,1 \text{ тс/м (формула (8.59); п. 8.1.33).}$$

Длина проекции наклонного сечения:

$$c = \sqrt{2 R_{bt} b h_0^2 / q_{sw}} = \\ = \sqrt{2 \cdot 0,945 \cdot 1 \cdot 0,62^2 / 0,5502} = 1,14911 \text{ м} = 114,91 \text{ см} .$$

Т.к. $c = 1,14911 \text{ м} = 114,911 \text{ см} \leq 2 h_0 = 2 \cdot 0,62 = 1,24 \text{ м} = 124 \text{ см}$ и $c = 1,14911 \text{ м} = 114,911 \text{ см} \geq h_0 = 0,62 \text{ м} = 62 \text{ см}$:

Поперечная сила, воспринимаемая бетоном:

$$Q_b = \varphi_{b2} R_{bt} b h_0^2 / c = \\ = 1,5 \cdot 0,945 \cdot 1 \cdot 0,62^2 / 1,14911 = 0,47418 \text{ МН} = 48,35 \text{ тс (формула (8.57); п. 8.1.33).}$$

Усилие в поперечной арматуре:

$$Q_{sw} = \varphi_{sw} q_{sw} c = \\ = 0,75 \cdot 0,5502 \cdot 1,14911 = 0,47418 \text{ МН} = 48,35 \text{ тс (формула (8.58); п. 8.1.33).}$$

$q_{sw} = 0,5502 \text{ МН} = 56,10479 \text{ тс} \geq 0,25 R_{bt} b = 0,25 \cdot 0,945 \cdot 1 = 0,23625 \text{ МН} = 24,0908 \text{ тс}$ (232,88889% от предельного значения) - условие выполнено .

$Q = 0,76492 \text{ МН} = 78,00013 \text{ тс} \leq R_{bt} b h_o^2 / s_w = 0,945 \cdot 1 \cdot 0,62^2 / 0,2 = 1,81629 \text{ МН} = 185,21004 \text{ тс}$ (42,11442% от предельного значения) - условие выполнено .

(из требования по ограничению шага арматуры)

$$s_w = 0,2 \text{ м} = 20 \text{ см} \leq \min(0,5 h_o ; 0,3) = \min(0,5 \cdot 0,62; 0,3) = 0,3 \text{ м} = 30 \text{ см}$$
 (66,66667% от предельного значения) - условие выполнено .

25) Продолжение расчета по п. п. 8.1.33 СП 63.13330.2012

Коэффициент, учитывающий влияние сжимающих и растягивающих напряжений:

$$\varphi_n = 1 .$$

$Q = 0,76492 \text{ МН} = 78,00013 \text{ тс} \leq \varphi_n Q_b + Q_{sw} = 1 \cdot 0,47418 + 0,47418 = 0,94836 \text{ МН} = 96,70581 \text{ тс}$ (80,65713% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.56); п. 8.1.33).

26) Проверка требования минимального процента армирования

Арматура расположена по контуру сечения - не равномерно.

Рабочая высота сечения:

$$h_o = h - a_s = 0,7 - 0,08 = 0,62 \text{ м} = 62 \text{ см} .$$

Коэффициент армирования:

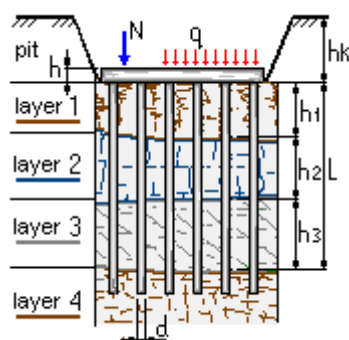
$$\mu_s = A_s / (b h_o) \cdot 100 = 0,0022 / (1 \cdot 0,62) \cdot 100 = 0,35484 \% .$$

$\mu_s \geq 0,1 \%$ (354,84% от предельного значения) - условие выполнено .

Результаты расчета

Расчет плиты на свайном основании. Ростверк РМ5

1. - Исходные данные:



Количество слоев 2

Характеристики грунта:

Номер слоя	Тип грунта	Модуль E	Ед. изм.	1 Точка, м	2 Точка, м	3 Точка, м	4 Точка, м
Слой 1	Глинистый	800	тс/м ²	h= 7,8	h= 7,8	h= 7,8	h= 7,8
Слой 2	Песчаный	2800	тс/м ²				

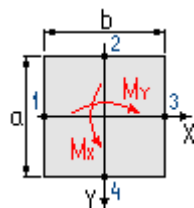
Исходные данные для расчета:
 Прямоугольная плита

Наименование исходных данных	Величина	Ед. измерения
Длина вдоль Y	7,8	м
Ширина вдоль X	2,1	м
Допустимая расчетная нагрузка на сваю (Fd)	40	тс
Длина сваи (L)	8,3	м
Диаметр (сторона)	0,3	м
Толщина плиты	0,7	м
Вылет плиты за грань крайней сваи	0,1	м

Квадратные сваи

Приведенная нагрузка: N= 795,2 тс; M_y= 1,2 тс*м; M_x= 31,7 тс*м

2. - Выводы:



Требуемое количество свай 22 шт.

Ориентировочный шаг свай (для расчета осадки) 0,93 м

По расчету на продавливание рядовой сваей несущей способности плиты ДОСТАТОЧНО.

По расчету на продавливание угловой сваей несущей способности плиты ДОСТАТОЧНО.

Расположение свай принято равномерным по всей площади плиты.

Расчетный момент в плите M= 0,57 тс*м (на погонный метр)

Армирование симметричное, шаг 200 мм во всех направлениях.

Защитный слой 35 мм в верхней, 70 мм в нижней зоне плиты.

Арматура d 3 A 400 в обоих направлениях.

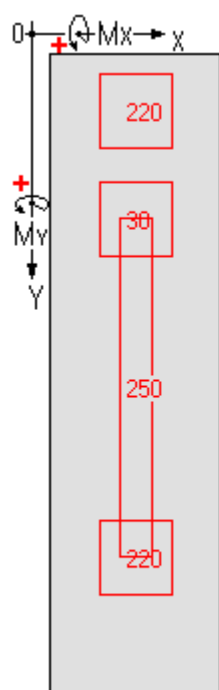
Армирование свайной плиты следует уточнить, выполнив расчет плиты на естественном основании с применением приведенного модуля деформации E_{ред}= 4712,73 тс/м²

либо расчет плиты на упругих опорах (сваях) с коэффициентом упругости 5287,46 тс/м

Результаты расчета

Расчет плиты. Ростверк РМ5

1. - Исходные данные:



Длина вдоль X 2,1 м
 Ширина вдоль Y 7,8 м
 Толщина плиты 0,7 м

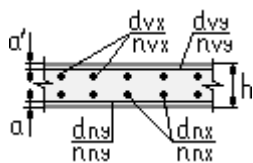
Характеристики грунта Суглинки
 Модуль деформации грунта 4710 тс/м²
 Коэффициент постели 6829,5 (тс/м)/м²

Расчетные нагрузки на конструкцию:

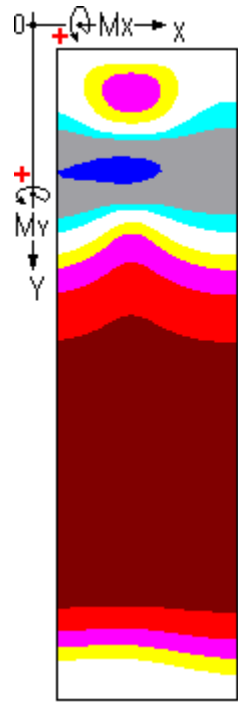
Полосовые нагрузки	начало x,y (м),	конец x,y (м),	величина q (тс/м ²),	Ширина (м)
1	1,05;0,25	1,05;1,15	220	0,9
2	1,05;1,55	1,05;2,45	30	0,9
3	1,05;5,65	1,05;6,55	220	0,9
4	1,05;2	1,05;6,1	250	0,4

Приведенные суммарные нагрузки на плиту:
 N= 863,32 тс; Mx= -221,26 тс*м; My= -60,71 тс*м

2. - Выводы:



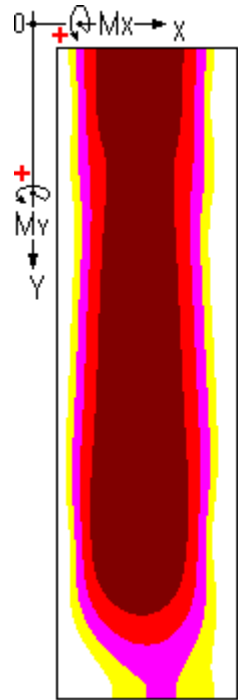
Элемент с координатами X= 0 м, Y= 0 м
 Нагрузки в сечении Mx= 0 тс*м Qx= 0 тс My= 0 тс*м Qy= 0 тс
 Бетон В15 Защитный слой a= 35 a_= 35 мм
 Подбор арматуры вдоль X
 Верхняя арматура 5D 3 А 400
 Нижняя арматура 5D 3 А 400



$M_x \max = 62,63$

Эпюра моментов вокруг оси X

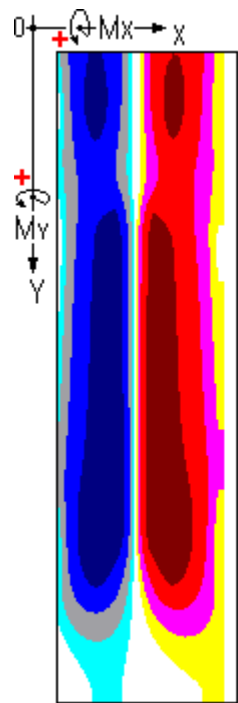
$M_x \min = -9,91$



$M_y \max = 32,23$

Эпюра моментов вокруг оси Y

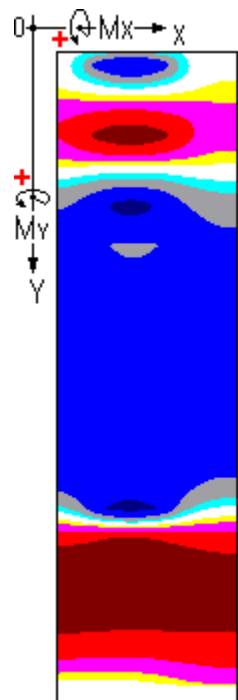
$M_y \min = -0,31$



$Q_x \max = 55,52$

Эпюра поперечных сил вдоль оси X

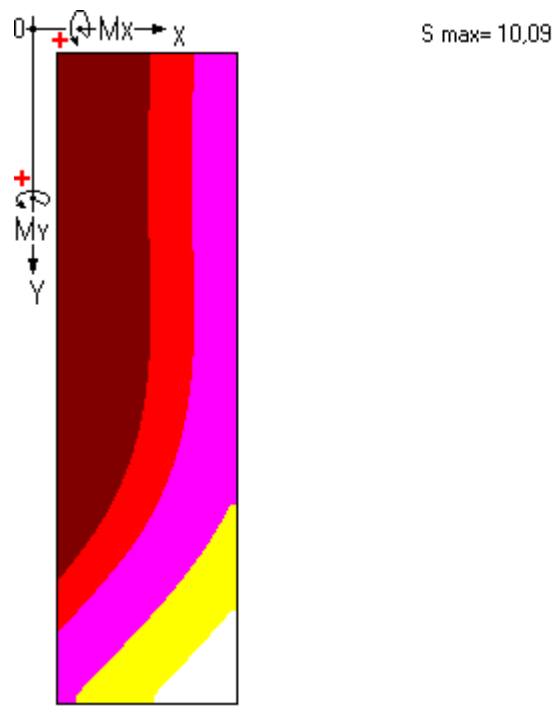
$Q_x \min = -57,26$



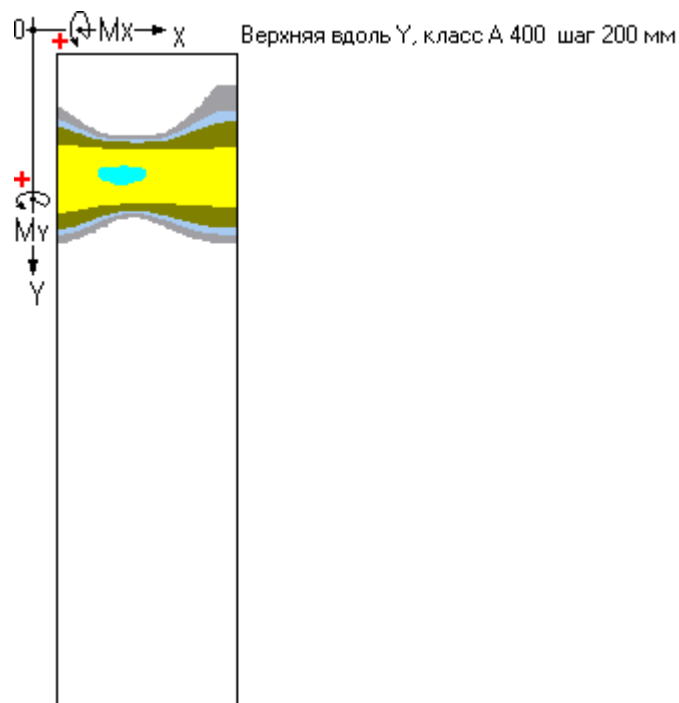
$Q_y \max = 67,57$

$Q_y \min = -35,06$

Эпюра поперечных сил вдоль оси Y

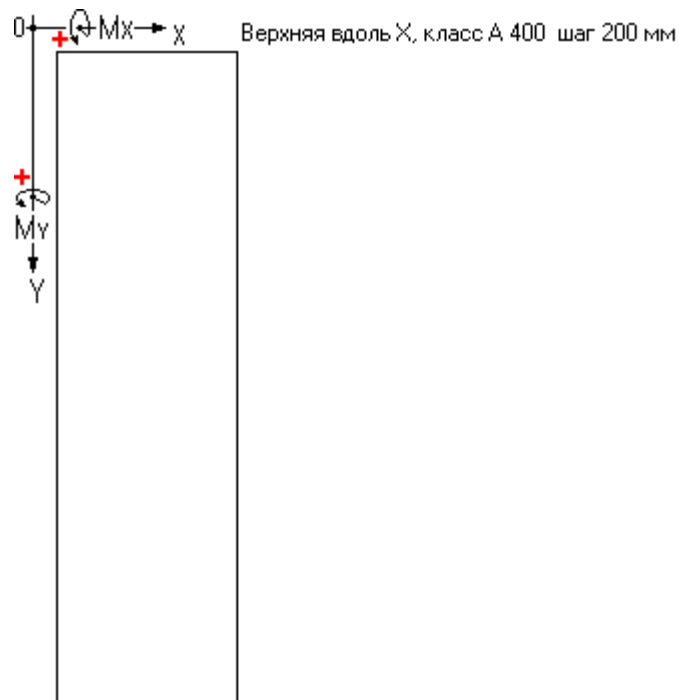


Эпюра вертикальных перемещений, мм



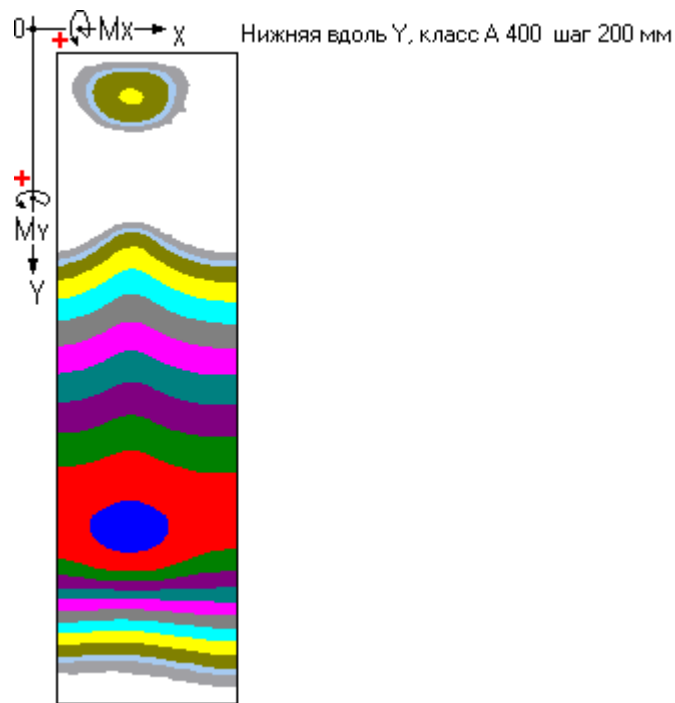
Бетон В15

Верхнее армирование плиты вдоль оси Y, d, мм



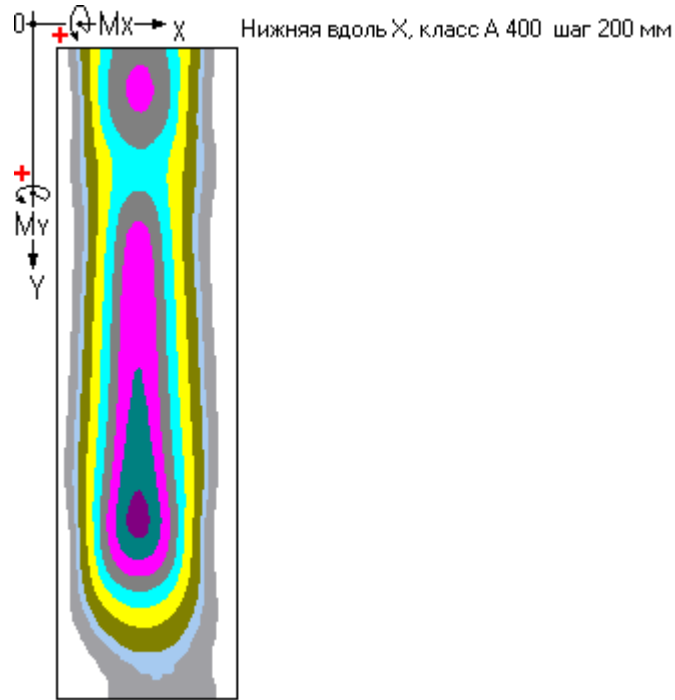
Бетон В15

Верхнее армирование плиты вдоль оси X, d, мм



Бетон В15

Нижнее армирование плиты вдоль оси Y, d, мм



Бетон В15

Нижнее армирование плиты вдоль оси X, d, мм

d=3-5 мм	d=10 мм	d=16 мм	d=22 мм	d=32 мм
d=6 мм	d=12 мм	d=18 мм	d=25 мм	d=36 мм
d=8 мм	d=14 мм	d=20 мм	d=28 мм	d=40 мм

Цветовая палитра полей армирования

Расчет балок прямоугольного сечения по прочности при изгибе в одной плоскости (PM5). Нижняя арматура вдоль оси Y.

Информация о расчете:

Дата выполнения расчета: 09.11.2021 9:27:02;

Исходные данные:

Защитный слой:

- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S до грани сечения
 $a_s = 7 \text{ см} = 7 / 100 = 0,07 \text{ м};$
- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S' до грани сечения
 $a'_s = 4 \text{ см} = 4 / 100 = 0,04 \text{ м};$

Площадь ненапрягаемой наиболее растянутой продольной арматуры:

(Стержневая арматура, диаметром 25 мм; 7 шт.):

- Площадь ненапрягаемой растянутой арматуры
 $A_s = 34,4 \text{ см}^2 = 34,4 / 10000 = 0,00344 \text{ м}^2;$

Площадь ненапрягаемой сжатой или наименее растянутой продольной арматуры:

(Стержневая арматура, диаметром 14 мм; 7 шт.):

- Площадь ненапрягаемой сжатой арматуры $A'_s = 10,8 \text{ см}^2 = 10,8 / 10000 = 0,00108 \text{ м}^2$;

Площадь поперечной арматуры:

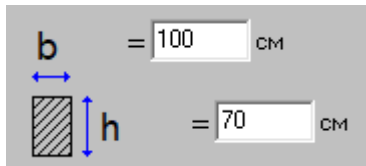
(Стержневая арматура, диаметром 10 мм; 7 шт.):

- Площадь поперечной арматуры $A_{sw} = 5,5 \text{ см}^2 = 5,5 / 10000 = 0,00055 \text{ м}^2$;

Поперечная арматура:

- Шаг стержней поперечной арматуры $s_w = 20 \text{ см} = 20 / 100 = 0,2 \text{ м}$;

Размеры сечения:



- Высота сечения $h = 70 \text{ см} = 70 / 100 = 0,7 \text{ м}$;

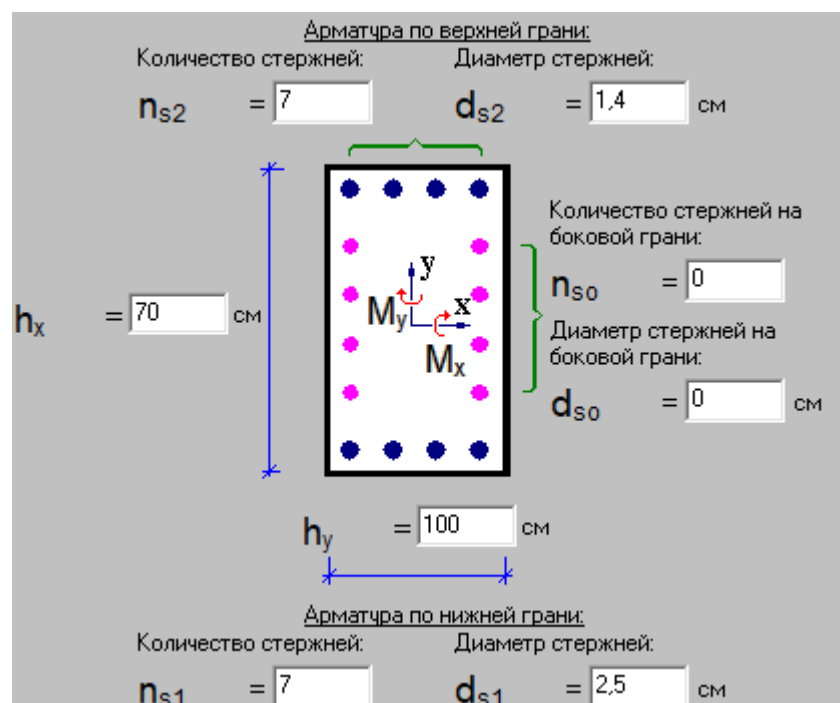
- Ширина прямоугольного сечения $b = 100 \text{ см} = 100 / 100 = 1 \text{ м}$;

Усилия:

- Изгибающий момент $M = 63 \text{ тс м} = 63 / 101,97162123 = 0,61782 \text{ МН м}$;

- Поперечная сила $Q = 68 \text{ тс} = 68 / 101,97162123 = 0,66685 \text{ МН}$;

Характеристики арматуры при расчете на кручение:



- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у нижней грани элемента $d_{s1} = 2,5 \text{ см} = 2,5 / 100 = 0,025 \text{ м}$;

- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у нижней грани элемента $n_{s1} = 7$;

- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у верхней грани элемента $d_{s2} = 1,4 \text{ см} = 1,4 / 100 = 0,014 \text{ м}$;

- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у верхней грани элемента $n_{s2} = 7$;

- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у боковой грани элемента $d_{s0} = 0 \text{ см} = 0 / 100 = 0 \text{ м}$;

- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у боковой грани элемента $n_{s0} = 0$;

Результаты расчета:

1) Расчетное сопротивление бетона

Конструкция - железобетонная.

Предварительное напряжение арматуры - отсутствует.

Класс бетона - В25.

Бетон - тяжелый.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{bn} = 18,5 \text{ МПа}$.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{btн} = 1,55$ МПа .

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию принимается по табл. 6.8 $R_b = 14,5$ МПа .

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению принимается по табл. 6.8 $R_{bt} = 1,05$ МПа .

Класс бетона по прочности:

$B = 25$.

2) Продолжение расчета по п. п. 8.1 СП 63.13330.2012

Расчет - балок.

Элемент - изгибаемый.

Изгиб элемента - в одной плоскости.

3) Учет особенностей работы бетона в конструкции

Действие нагрузки - продолжительное.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий длительность действия нагрузки:

$\gamma_{b1} = 0,9$.

Конструкция бетонируется - в горизонтальном положении.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий бетонирование в вертикальном положении:

$\gamma_{b3} = 1$.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий характер разрушения ячеистого бетона:

$\gamma_{b4} = 1$.

Для надземной конструкции, при расчетной температуре наружного воздуха в зимний период не менее -40 град.:

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий влияние попеременного замораживания и оттаивания:

$\gamma_{b5} = 1$.

Группа предельных состояний - первая.

Сейсмичность площадки строительства - не более 6 баллов.

Коэффициент условия работы по СП 14.13330 "Строительство в сейсмических районах":

$m_{кр} = 1$.

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию при $m_{кр} = 1$:

$R_b = \gamma_{b1} \gamma_{b3} \gamma_{b4} \gamma_{b5} R_b =$
 $= 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 14,5 = 13,05$ МПа .

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию:

$R_b = m_{кр} \gamma_{b1} \gamma_{b3} \gamma_{b4} \gamma_{b5} R_b =$
 $= 1 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 14,5 = 13,05$ МПа .

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению при расчете на действие поперечных сил:

$R_{bt} = \gamma_{b1} R_{bt} = 0,9 \cdot 1,05 = 0,945$ МПа .

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению:

$R_{bt} = m_{кр} \gamma_{b1} R_{bt} = 1 \cdot 0,9 \cdot 1,05 = 0,945$ МПа .

4) Определение значения начального модуля упругости бетона

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000$ МПа .

5) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Т.к. $\gamma_{b1} < 1$:

Относительная влажность воздуха окружающей среды - выше 75%.

Коэффициент ползучести принимается по табл. 6.12 $\phi_b, c_r = 1,8$.

6) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Начальный модуль упругости, принимаемый при продолжительном действии нагрузки:

$$E_b, \tau = E_b / (1 + \phi_b, cr) = \\ = 30000 / (1 + 1,8) = 10714,28571 \text{ МПа (формула (6.3); п. 6.1.15).}$$

7) Расчетные значения прочностных характеристик арматуры

Класс ненапрягаемой продольной арматуры - А400.

Расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению:

$$R_s = 350 \text{ МПа .}$$

Расчетное сопротивление продольной арматуры сжатию:

$$R_{sc} = 350 \text{ МПа .}$$

Поперечная арматура - рассматривается в данном расчете.

Класс поперечной арматуры - А400.

Расчетное сопротивление поперечной арматуры растяжению:

$$R_{sw} = 280 \text{ МПа .}$$

Расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению:

$$R_s = m_{kr} R_s = 1 \cdot 350 = 350 \text{ МПа .}$$

Расчетное сопротивление продольной арматуры сжатию:

$$R_{sc} = m_{kr} R_{sc} = 1 \cdot 350 = 350 \text{ МПа .}$$

8) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа .}$$

9) Определение граничной относительной высоты сжатой зоны

Относительная деформация растянутой арматуры:

$$\epsilon_{s, el} = R_s / E_s = 350 / 200000 = 0,00175 \text{ (формула (8.2); п. 8.1.6).}$$

Относительная деформация бетона:

$$\epsilon_{b2} = 0,0035 .$$

10) Продолжение расчета по п. п. 8.1.6 СП 63.13330.2012

Граничная относительная высота сжатой зоны:

$$\xi_R = 0,8 / (1 + \epsilon_{s, el} / \epsilon_{b2}) = \\ = 0,8 / (1 + 0,00175 / 0,0035) = 0,53333 \text{ (формула (8.1); п. 8.1.6).}$$

11) Расчет изгибаемых элементов

Сечение - прямоугольное.

$$\text{Т.к. } R_s A_s = 350 \cdot 0,00344 = 1,204 \text{ МН} = 122,77383 \text{ тс} > R_{sc} A'_s = 350 \cdot 0,00108 = 0,378 \text{ МН} = 38,54527 \text{ тс} :$$

Высота сжатой зоны:

$$x = (R_s A_s - R_{sc} A'_s) / (R_b b) = \\ = (350 \cdot 0,00344 - 350 \cdot 0,00108) / (13,05 \cdot 1) = 0,0633 \text{ м} = 6,33 \text{ см (формула (8.5); п. 8.1).}$$

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a_s = 0,7 - 0,07 = 0,63 \text{ м} = 63 \text{ см .}$$

Относительная высота сжатой зоны:

$$\xi = x / h_0 = 0,0633 / 0,63 = 0,10048 .$$

$$\text{Т.к. } \xi = 0,10048 \leq \xi_R = 0,53333; x > 0 \text{ м} = 0 \text{ см} :$$

Предельный изгибающий момент:

$$M_{ult} = R_b b x (h_0 - 0,5 x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a'_s) = \\ = 13,05 \cdot 1 \cdot 0,0633 \cdot (0,63 - 0,5 \cdot 0,0633) + 350 \cdot 0,00108 \cdot (0,63 - 0,04) = 0,7173 \text{ МН м} = 73,14 \text{ тс м (формула (8.4); п. 8.1.9).}$$

$M = 0,61782 \text{ МН м} = 63,00011 \text{ тс м} \leq M_{ult} = 0,7173 \text{ МН м} = 73,14424 \text{ тс м}$ (86,13133% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.3); п. п. 8.1.8).

12) Определение значения начального модуля упругости бетона

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000 \text{ МПа}$.

13) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Т.к. $\gamma_{b1} < 1$:

Коэффициент ползучести принимается по табл. 6.12 $\phi_b, c_r = 1,8$.

14) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Начальный модуль упругости, принимаемый при продолжительном действии нагрузки:

$$E_b, \tau = E_b / (1 + \phi_b, c_r) = 30000 / (1 + 1,8) = 10714,28571 \text{ МПа (формула (6.3); п. 6.1.15)}.$$

15) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа}.$$

16) Определение характеристик приведенного сечения

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:

$$\alpha_s = E_s / E_b = 200000 / 10714,29 = 18,66666.$$

$$h'_o = h - a'_s = 0,7 - 0,04 = 0,66 \text{ м} = 66 \text{ см}.$$

Площадь сечения:

$$A = b h = 1 \cdot 0,7 = 0,7 \text{ м}^2 = 7000 \text{ см}^2.$$

Статический момент бетонного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_t = b h^2 / 2 = 1 \cdot 0,7^2 / 2 = 0,245 \text{ м}^3 = 245000 \text{ см}^3.$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00108 - 0,00344 = 0,69548 \text{ м}^2 = 6954,8 \text{ см}^2.$$

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{red} = \alpha_s (A_s + A'_s) + A_b = 18,66666 \cdot (0,00344 + 0,00108) + 0,69548 = 0,77985 \text{ м}^2 = 7798,5 \text{ см}^2.$$

Статический момент приведенного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_{t, red} = (\alpha_s - 1) (A_s a_s + A'_s (h - a'_s)) + b h^2 / 2 = (18,66666 - 1) \cdot (0,00344 \cdot 0,07 + 0,00108 \cdot (0,7 - 0,04)) + 1 \cdot 0,7^2 / 2 = 0,26185 \text{ м}^3 = 261850 \text{ см}^3.$$

Координата центра тяжести расчетного контура:

$$y_o = S_{t, red} / A_{red} = 0,26185 / 0,77985 = 0,33577 \text{ м} = 33,58 \text{ см}.$$

Расстояние от наиболее растянутого волокна бетона до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_t = y_o = 0,33577 \text{ м} = 33,58 \text{ см}.$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_c = h - y_t = 0,7 - 0,33577 = 0,36423 \text{ м} = 36,42 \text{ см}.$$

$$y_s = y_o - a_s = 0,33577 - 0,07 = 0,26577 \text{ м} = 26,58 \text{ см}.$$

$$y'_s = h - a_s - a'_s - y_s = 0,7 - 0,07 - 0,04 - 0,26577 = 0,32423 \text{ м} = 32,42 \text{ см}.$$

Момент инерции бетонного сечения относительно центра тяжести приведенного сечения:

$$I = b h^3 / 12 + A (h/2 - y_t)^2 = 1 \cdot 0,7^3 / 12 + 0,7 \cdot (0,7/2 - 0,33577)^2 = 0,02873 \text{ м}^4 = 2873000 \text{ см}^4.$$

17) Определение момента образования трещин

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:

$$R_{b, ser} = R_{bn} = 18,5 \text{ МПа} .$$

Расчетное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний второй группы:
 $R_{bt, ser} = R_{btn} = 1,55 \text{ МПа} .$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_c)^2 = 0,00344 \cdot (0,7 - 0,07 - 0,36423)^2 = 0,00024298 \text{ м}^4 = 24298 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$I'_s = A'_s (y_c - a'_s)^2 = \\ = 0,00108 \cdot (0,36423 - 0,04)^2 = 0,000113535 \text{ м}^4 = 11353,5 \text{ см}^4 .$$

18) Продолжение расчета по п. п. 8.2.12 СП 63.13330.2012

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{red} = I + I_s (\alpha_s - 1) + I'_s (\alpha_s - 1) = \\ = 0,02873 + 0,00024298 \cdot (18,66666 - 1) + 0,000113535 \cdot (18,66666 - 1) = 0,03503 \text{ м}^4 = 3503000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.125); п. 8.2.12) .}$$

Упругий момент сопротивления приведенного сечения:

$$W_{red} = I_{red} / y_t = 0,03503 / 0,33577 = 0,10433 \text{ м}^3 = 104330 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.123); п. 8.2.12) .}$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны:

$$e_x = W_{red} / A_{red} = 0,10433 / 0,77985 = 0,13378 \text{ м} = 13,38 \text{ см} \text{ (формула (8.124); п. 8.2.12) .}$$

Момент образования трещин определяется - с учетом неупругих деформаций.

Упругопластический момент сопротивления сечения:

$$W_{pl} = 1,3 W_{red} = 1,3 \cdot 0,10433 = 0,13563 \text{ м}^3 = 135630 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.122); п. 8.2.11) .}$$

Изгибающий момент, воспринимаемый нормальным сечением элемента при образовании трещин:

$$M_{crc} = R_{bt, ser} W_{pl} = 1,55 \cdot 0,13563 = 0,21023 \text{ МН м} = 21,44 \text{ тс м} \text{ (формула (8.121); п. 8.2.11) .}$$

19) Проверка необходимости увеличения площади сечения продольной растянутой арматуры, если предельное усилие по прочности меньше предельного усилия по образованию трещин

$$\text{Т.к. } M_{ult} = 0,7173 \text{ МН м} = 73,14424 \text{ тс м} \geq M_{crc} = 0,21023 \text{ МН м} = 21,43749 \text{ тс м} :$$

в соответствии с п. 8.1.3 при M_{ult} не менее M_{crc} площадь сечения растянутой продольной арматуры не должна быть увеличена по сравнению с требуемой.

20) Проверка необходимости сжатой арматуры

(проверяем несущую способность, предполагая отсутствие сжатой арматуры)

Высота сжатой зоны:

$$x = R_s A_s / (R_b b) = \\ = 350 \cdot 0,00344 / (13,05 \cdot 1) = 0,09226 \text{ м} = 9,23 \text{ см} \text{ (формула (8.5); п. 8.1) .}$$

Относительная высота сжатой зоны:

$$\xi = x / h_0 = 0,09226 / 0,63 = 0,14644 .$$

$$\text{Т.к. } \xi = 0,14644 \leq \xi_R = 0,53333 :$$

Предельный изгибающий момент:

$$M_{ult} = R_b b x (h_0 - 0,5 x) = \\ = 13,05 \cdot 1 \cdot 0,09226 \cdot (0,63 - 0,5 \cdot 0,09226) = 0,70298 \text{ МН м} = 71,68 \text{ тс м} \text{ (формула (8.4); п. 8.1) .}$$

21) Продолжение расчета по п. п. 8.1.8 СП 63.13330.2012

$$\text{Т.к. } M = 0,61782 \text{ МН м} = 63,00011 \text{ тс м} \leq M_{ult} = 0,70298 \text{ МН м} = 71,68401 \text{ тс м} :$$

- сжатая арматура по расчету не требуется, поэтому не требуется устанавливать поперечную арматуру в соответствии с п. 10.3.14.

22) Расчет железобетонных элементов по полосе между наклонными сечениями

Коэффициент:

$$\phi_{b1} = 0,3 .$$

Приведенное значение толщины защитного слоя растянутой арматуры:
 $a = a_s = 0,07 \text{ м} = 7 \text{ см}$.

Приведенное значение толщины защитного слоя сжатой арматуры:
 $a' = a'_s = 0,04 \text{ м} = 4 \text{ см}$.

Рабочая высота сечения:
 $h_0 = h - a = 0,7 - 0,07 = 0,63 \text{ м} = 63 \text{ см}$.

23) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:
 $E_s = 200000 \text{ МПа}$.

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:
 $\alpha_s = E_s/E_b = 200000/10714,29 = 18,66666$.

Площадь сечения бетона:
 $A_b = b h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00108 - 0,00344 = 0,69548 \text{ м}^2 = 6954,8 \text{ см}^2$.

Приведенная площадь сечения элемента с учетом продольной арматуры:
 $A = A_b + \alpha_s (A'_s + A_s) =$
 $= 0,69548 + 18,66666 \cdot (0,00108 + 0,00344) = 0,77985 \text{ м}^2 = 7798,5 \text{ см}^2$.

Коэффициент, учитывающий влияние сжимающих и растягивающих напряжений:
 $\varphi_n = 1$.

$Q = 0,66685 \text{ МН} = 67,99978 \text{ тс} \leq \varphi_n \varphi_{b1} R_b b h_0 = 1 \cdot 0,3 \cdot 13,05 \cdot 1 \cdot 0,63 = 2,46645 \text{ МН} = 251,50791 \text{ тс}$ (27,03683% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.55); п. 8.1.32).

24) Расчет железобетонных элементов по наклонным сечениям на действие поперечных сил

Коэффициент:
 $\varphi_{b2} = 1,5$.

Расчет - по упрощенным формулам, полученным на основе анализа СП 63.13330.2012.

Коэффициент:
 $\varphi_{sw} = 0,75$.

Усилия в поперечной арматуре на единицу длины:
 $q_{sw} = R_{sw} A_{sw}/s_w = 280 \cdot 0,00055/0,2 = 0,77 \text{ МН/м} = 78,52 \text{ тс/м}$ (формула (8.59); п. 8.1.33).

Длина проекции наклонного сечения:
 $c = \sqrt{2 R_{bt} b h_0^2 / q_{sw}} =$
 $= \sqrt{2 \cdot 0,945 \cdot 1 \cdot 0,63^2 / 0,77} = 0,98702 \text{ м} = 98,7 \text{ см}$.

Т.к. $c = 0,98702 \text{ м} = 98,702 \text{ см} \leq 2 h_0 = 2 \cdot 0,63 = 1,26 \text{ м} = 126 \text{ см}$ и $c = 0,98702 \text{ м} = 98,702 \text{ см} \geq h_0 = 0,63 \text{ м} = 63 \text{ см}$:

Поперечная сила, воспринимаемая бетоном:
 $Q_b = \varphi_{b2} R_{bt} b h_0^2 / c =$
 $= 1,5 \cdot 0,945 \cdot 1 \cdot 0,63^2 / 0,98702 = 0,57 \text{ МН} = 58,12 \text{ тс}$ (формула (8.57); п. 8.1.33).

Усилие в поперечной арматуре:
 $Q_{sw} = \varphi_{sw} q_{sw} c =$
 $= 0,75 \cdot 0,77 \cdot 0,98702 = 0,57 \text{ МН} = 58,12 \text{ тс}$ (формула (8.58); п. 8.1.33).

$q_{sw} = 0,77 \text{ МН} = 78,51815 \text{ тс} \geq 0,25 R_{bt} b = 0,25 \cdot 0,945 \cdot 1 = 0,23625 \text{ МН} = 24,0908 \text{ тс}$ (325,92593% от предельного значения) - условие выполнено.

$Q = 0,66685 \text{ МН} = 67,99978 \text{ тс} \leq R_{bt} b h_0^2 / s_w = 0,945 \cdot 1 \cdot 0,63^2 / 0,2 = 1,87535 \text{ МН} = 191,23273 \text{ тс}$ (35,55865% от предельного значения) - условие выполнено.

(из требования по ограничению шага арматуры)

$s_w = 0,2 \text{ м} = 20 \text{ см} \leq \min(0,5 h_0 ; 0,3) = \min(0,5 \cdot 0,63; 0,3) = 0,3 \text{ м} = 30 \text{ см}$ (66,66667% от предельного значения) - условие выполнено.

25) Продолжение расчета по п. п. 8.1.33 СП 63.13330.2012

Коэффициент, учитывающий влияние сжимающих и растягивающих напряжений:
 $\varphi_n = 1$.

$Q = 0,66685 \text{ МН} = 67,99978 \text{ тс} \leq \varphi_n Q_b + Q_{sw} = 1 \cdot 0,57 + 0,57 = 1,14 \text{ МН} = 116,24765 \text{ тс}$ (58,49561% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.56); п. 8.1.33).

26) Проверка требования минимального процента армирования

Арматура расположена по контуру сечения - не равномерно.

Рабочая высота сечения:
 $h_o = h - a_s = 0,7 - 0,07 = 0,63 \text{ м} = 63 \text{ см}$.

Коэффициент армирования:
 $\mu_s = A_s / (b h_o) \cdot 100 = 0,00344 / (1 \cdot 0,63) \cdot 100 = 0,54603 \%$.

$\mu_s \geq 0,1 \%$ (546,03% от предельного значения) - условие выполнено.

Расчет балок прямоугольного сечения по трещиностойкости (PM5), нижняя арматура вдоль оси Y.

Информация о расчете:

Дата выполнения расчета: 09.11.2021 10:02:02;

Исходные данные:

Защитный слой:

- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S до грани сечения
 $a_s = 7 \text{ см} = 7 / 100 = 0,07 \text{ м}$;
- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S' до грани сечения
 $a'_s = 4 \text{ см} = 4 / 100 = 0,04 \text{ м}$;

Номинальный диаметр продольной арматуры:

- Номинальный диаметр продольной ненапрягаемой арматуры растянутой зоны $d_s = 25 \text{ мм}$;

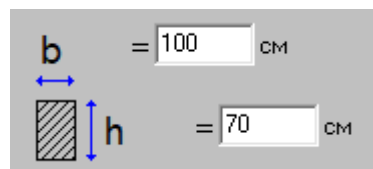
Площадь ненапрягаемой наиболее растянутой продольной арматуры:

(Стержневая арматура, диаметром 25 мм; 7 шт.):
- Площадь ненапрягаемой растянутой арматуры
 $A_s = 34,4 \text{ см}^2 = 34,4 / 10000 = 0,00344 \text{ м}^2$;

Площадь ненапрягаемой сжатой или наименее растянутой продольной арматуры:

(Стержневая арматура, диаметром 14 мм; 7 шт.):
- Площадь ненапрягаемой сжатой арматуры $A'_s = 10,8 \text{ см}^2 = 10,8 / 10000 = 0,00108 \text{ м}^2$;

Размеры сечения:



- Высота сечения $h = 70 \text{ см} = 70 / 100 = 0,7 \text{ м}$;
- Ширина прямоугольного сечения $b = 100 \text{ см} = 100 / 100 = 1 \text{ м}$;

Усилия в двух направлениях:

- Изгибающий момент вокруг оси X $M_x = 55 \text{ тс м} = 55 / 101,97162123 = 0,53937 \text{ МН м}$;
- Изгибающий момент вокруг оси Y $M_y = 0 \text{ тс м} = 0 / 101,97162123 = 0 \text{ МН м}$;
- Изгибающий момент вокруг оси X от постоянной и длительной нагрузки
 $M_{Ix} = 55 \text{ тс м} = 55 / 101,97162123 = 0,53937 \text{ МН м}$;

Усилия от нормативной нагрузки:

- Нормальная сила от полной нормативной нагрузки

$N = 0 \text{ тс} = 0 / 101,97162123 = 0 \text{ МН}$;

Результаты расчета:

Расчетное сопротивление бетона

Конструкция - железобетонная.

Предварительное напряжение арматуры - отсутствует.

Класс бетона - В25.

Бетон - тяжелый.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{bn} = 18,5 \text{ МПа}$.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{btn} = 1,55 \text{ МПа}$.

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию принимается по табл. 6.8 $R_b = 14,5 \text{ МПа}$.

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению принимается по табл. 6.8 $R_{bt} = 1,05 \text{ МПа}$.

Класс бетона по прочности:

$B = 25$.

Учет особенностей работы бетона в конструкции

Действие нагрузки - продолжительное.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий длительность действия нагрузки:

$\gamma_{b1} = 0,9$.

Конструкция бетонируется - в горизонтальном положении.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий бетонирование в вертикальном положении:

$\gamma_{b3} = 1$.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий характер разрушения ячеистого бетона:

$\gamma_{b4} = 1$.

Для надземной конструкции, при расчетной температуре наружного воздуха в зимний период не менее -40 град.:

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий влияние попеременного замораживания и оттаивания:

$\gamma_{b5} = 1$.

Группа предельных состояний - вторая.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний первой группы:

$R_{bn} = \gamma_{b1} \gamma_{b3} \gamma_{b4} \gamma_{b5} R_{bn} =$
 $= 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 18,5 = 16,65 \text{ МПа}$.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний первой группы:

$R_{btn} = \gamma_{b1} R_{btn} = 0,9 \cdot 1,55 = 1,395 \text{ МПа}$.

Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$E_s = 200000 \text{ МПа}$.

Продолжение расчета по п. 8.2 СП 63.13330.2012

Расчет - балок.

Приведенное значение толщины защитного слоя растянутой арматуры:

$a = a_s = 0,07 \text{ м} = 7 \text{ см}$.

Приведенное значение толщины защитного слоя сжатой арматуры:

$a' = a'_s = 0,04 \text{ м} = 4 \text{ см}$.

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a = 0,7 - 0,07 = 0,63 \text{ м} = 63 \text{ см} .$$

Деформации в арматуре - не заданы.

Определение значения начального модуля упругости при непродолжительном действии нагрузки

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000 \text{ МПа} .$

Определение характеристик приведенного сечения

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:

$$\alpha_s = E_s / E_b = 200000 / 30000 = 6,66667 .$$

$$h'_0 = h - a'_s = 0,7 - 0,04 = 0,66 \text{ м} = 66 \text{ см} .$$

Сечение - прямоугольное.

Площадь сечения:

$$A = b h = 1 \cdot 0,7 = 0,7 \text{ м}^2 = 7000 \text{ см}^2 .$$

Статический момент бетонного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_t = b h^2 / 2 = 1 \cdot 0,7^2 / 2 = 0,245 \text{ м}^3 = 245000 \text{ см}^3 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00108 - 0,00344 = 0,69548 \text{ м}^2 = 6954,8 \text{ см}^2 .$$

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{red} = \alpha_s (A_s + A'_s) + A_b = 6,66667 \cdot (0,00344 + 0,00108) + 0,69548 = 0,72561 \text{ м}^2 = 7256,1 \text{ см}^2 .$$

Статический момент приведенного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_{t, red} = (\alpha_s - 1) (A_s a_s + A'_s (h - a'_s)) + b h^2 / 2 = \\ = (6,66667 - 1) \cdot (0,00344 \cdot 0,07 + 0,00108 \cdot (0,7 - 0,04)) + 1 \cdot 0,7^2 / 2 = 0,2504 \text{ м}^3 = 250400 \text{ см}^3 .$$

Координата центра тяжести расчетного контура:

$$y_0 = S_{t, red} / A_{red} = 0,2504 / 0,72561 = 0,34509 \text{ м} = 34,51 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее растянутого волокна бетона до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_t = y_0 = 0,34509 \text{ м} = 34,51 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_c = h - y_t = 0,7 - 0,34509 = 0,35491 \text{ м} = 35,49 \text{ см} .$$

$$y_s = y_0 - a_s = 0,34509 - 0,07 = 0,27509 \text{ м} = 27,51 \text{ см} .$$

$$y'_s = h - a_s - a'_s - y_s = 0,7 - 0,07 - 0,04 - 0,27509 = 0,31491 \text{ м} = 31,49 \text{ см} .$$

Момент инерции бетонного сечения относительно центра тяжести приведенного сечения:

$$I = b h^3 / 12 + A (h/2 - y_t)^2 = \\ = 1 \cdot 0,7^3 / 12 + 0,7 \cdot (0,7/2 - 0,34509)^2 = 0,0286 \text{ м}^4 = 2860000 \text{ см}^4 .$$

Определение момента образования трещин

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:

$$R_{b, ser} = R_{bn} = 16,65 \text{ МПа} .$$

Расчетное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний второй группы:

$$R_{bt, ser} = R_{btn} = 1,395 \text{ МПа} .$$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_c)^2 = 0,00344 \cdot (0,7 - 0,07 - 0,35491)^2 = 0,00026032 \text{ м}^4 = 26032 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$I'_s = A'_s (y_c - a'_s)^2 = \\ = 0,00108 \cdot (0,35491 - 0,04)^2 = 0,000107102 \text{ м}^4 = 10710,2 \text{ см}^4 .$$

Продолжение расчета по п. п. 8.2.12 СП 63.13330.2012

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{red} = I + I_s (\alpha_s - 1) + I'_s (\alpha_s - 1) =$$

$$= 0,0286 + 0,00026032 \cdot (6,66667 - 1) + 0,000107102 \cdot (6,66667 - 1) = 0,03068 \text{ м}^4 = 3068000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.125); п. 8.2.12)}.$$

Упругий момент сопротивления приведенного сечения:

$$W_{red} = I_{red} / y_t = 0,03068 / 0,34509 = 0,0889 \text{ м}^3 = 88900 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.123); п. 8.2.12)}.$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны:

$$e_x = W_{red} / A_{red} = 0,0889 / 0,72561 = 0,12252 \text{ м} = 12,25 \text{ см} \text{ (формула (8.124); п. 8.2.12)}.$$

Момент образования трещин определяется - с учетом неупругих деформаций.

Упругопластический момент сопротивления сечения:

$$W_{pl} = 1,3 W_{red} = 1,3 \cdot 0,0889 = 0,11557 \text{ м}^3 = 115570 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.122); п. 8.2.11)}.$$

Изгибающий момент, воспринимаемый нормальным сечением элемента при образовании трещин:

$$M_{cr} = R_{bt, ser} W_{pl} = 1,395 \cdot 0,11557 = 0,16122 \text{ МН м} = 16,44 \text{ тс м} \text{ (формула (8.121); п. 8.2.11)}.$$

1. Продолжительное раскрытие трещин

Предельная ширина раскрытия трещин при продолжительном действии нагрузки

Расчет на раскрытие трещин ведется из условия - обеспечения сохранности арматуры.

Предельно допустимая ширина раскрытия трещин:

$$a_{cr, ult} = 0,3 \text{ мм}.$$

Определение значения начального модуля упругости при продолжительном действии нагрузки

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000 \text{ МПа}$.

Относительная влажность воздуха окружающей среды - выше 75%.

Коэффициент ползучести принимается по табл. 6.12 $\varphi_{b, cr} = 1,8$.

Начальный модуль упругости, принимаемый при продолжительном действии нагрузки:

$$E_{b, \tau} = E_b / (1 + \varphi_{b, cr}) =$$

$$= 30000 / (1 + 1,8) = 10714,28571 \text{ МПа} \text{ (формула (6.3); п. 6.1.15)}.$$

$$M_I = M_I = 0,53937 \text{ МН м} = 55 \text{ тс м}.$$

Действие постоянных и временных длительных нагрузок

$$M = M_I = 0,53937 \text{ МН м} = 55 \text{ тс м}.$$

Коэффициент, учитывающий характер нагружения:

$$\varphi_3 = 1.$$

$$\text{Т.к. } M = 0,53937 \text{ МН м} = 55,00043 \text{ тс м} > M_{cr} = 0,16122 \text{ МН м} = 16,43986 \text{ тс м}:$$

Требуется расчет по раскрытию трещин.

Коэффициент, учитывающий продолжительность действия нагрузки:

$$\varphi_1 = 1,4.$$

(т.к. раскрытие трещин продолжительное)

Определение характеристик приведенного сечения

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:

$$\alpha_s = E_s / E_b = 200000 / 10714,29 = 18,66666.$$

$$h'_o = h - a'_s = 0,7 - 0,04 = 0,66 \text{ м} = 66 \text{ см}.$$

Площадь сечения:

$$A = b h = 1 \cdot 0,7 = 0,7 \text{ м}^2 = 7000 \text{ см}^2.$$

Статический момент бетонного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_t = b h^2 / 2 = 1 \cdot 0,7^2 / 2 = 0,245 \text{ м}^3 = 245000 \text{ см}^3.$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b \cdot h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00108 - 0,00344 = 0,69548 \text{ м}^2 = 6954,8 \text{ см}^2 .$$

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{red} = \alpha_s (A_s + A'_s) + A_b = 18,66666 \cdot (0,00344 + 0,00108) + 0,69548 = 0,77985 \text{ м}^2 = 7798,5 \text{ см}^2 .$$

Статический момент приведенного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_{t, red} = (\alpha_s - 1) (A_s a_s + A'_s (h - a'_s)) + b h^2 / 2 = \\ = (18,66666 - 1) \cdot (0,00344 \cdot 0,07 + 0,00108 \cdot (0,7 - 0,04)) + 1 \cdot 0,7^2 / 2 = 0,26185 \text{ м}^3 = 261850 \text{ см}^3 .$$

Координата центра тяжести расчетного контура:

$$y_o = S_{t, red} / A_{red} = 0,26185 / 0,77985 = 0,33577 \text{ м} = 33,58 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее растянутого волокна бетона до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_t = y_o = 0,33577 \text{ м} = 33,58 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_c = h - y_t = 0,7 - 0,33577 = 0,36423 \text{ м} = 36,42 \text{ см} .$$

$$y_s = y_o - a_s = 0,33577 - 0,07 = 0,26577 \text{ м} = 26,58 \text{ см} .$$

$$y'_s = h - a_s - a'_s - y_s = 0,7 - 0,07 - 0,04 - 0,26577 = 0,32423 \text{ м} = 32,42 \text{ см} .$$

Момент инерции бетонного сечения относительно центра тяжести приведенного сечения:

$$I = b h^3 / 12 + A (h/2 - y_t)^2 = \\ = 1 \cdot 0,7^3 / 12 + 0,7 \cdot (0,7/2 - 0,33577)^2 = 0,02873 \text{ м}^4 = 2873000 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_c)^2 = 0,00344 \cdot (0,7 - 0,07 - 0,36423)^2 = 0,00024298 \text{ м}^4 = 24298 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$I'_s = A'_s (y_c - a'_s)^2 = \\ = 0,00108 \cdot (0,36423 - 0,04)^2 = 0,000113535 \text{ м}^4 = 11353,5 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{red} = I + I_s (\alpha_s - 1) + I'_s (\alpha_s - 1) = \\ = 0,02873 + 0,00024298 \cdot (18,66666 - 1) + 0,000113535 \cdot (18,66666 - 1) = 0,03503 \text{ м}^4 = 3503000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.125); п. 8.2.12) .}$$

Упругий момент сопротивления приведенного сечения:

$$W_{red} = I_{red} / y_t = 0,03503 / 0,33577 = 0,10433 \text{ м}^3 = 104330 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.123); п. 8.2.12) .}$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны:

$$e_x = W_{red} / A_{red} = 0,10433 / 0,77985 = 0,13378 \text{ м} = 13,38 \text{ см} \text{ (формула (8.124); п. 8.2.12) .}$$

Определение ширины раскрытия трещин нормальных к продольной оси элемента

Коэффициент, учитывающий профиль продольной арматуры:

$$\varphi_2 = 0,5 .$$

т. к. арматура - периодического профиля.

Определение коэффициента ψ_s

Определение напряжений в растянутой арматуре

Принимаемая относительная деформация бетона:

$$\epsilon_{b1, red} = 0,0015 .$$

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:

$$R_{b, ser} = R_{bn} = 16,65 \text{ МПа} .$$

Приведенный модуль деформации сжатого бетона:

$$E_{b, red} = R_{b, ser} / \epsilon_{b1, red} = 16,65 / 0,0015 = 11100 \text{ МПа} \text{ (формула (8.131); п. 8.2.16) .}$$

Коэффициент приведения сжатой арматуры к бетону:

$$\alpha_{s1} = E_s / E_{b, red} = 200000 / 11100 = 18,01802 \text{ (формула (8.130); п. 8.2.16) .}$$

Напряжения в растянутой арматуре определяются при $\alpha_{s2} = \alpha_{s1}$

При этом принимается для изгибаемых элементов $y_c = x_m$ - высота сжатой зоны бетона, определяемая по п. 8.2.28.

Коэффициент приведения растянутой арматуры к бетону:
 $\alpha_{s2} = \alpha_{s1} = 18,01802$.

Определение средней высоты сжатой зоны для изгибаемых элементов

Рабочая высота сечения:
 $h_0 = h - a = 0,7 - 0,07 = 0,63 \text{ м} = 63 \text{ см}$.

Коэффициент армирования:
 $\mu_s = A_s / (b h_0) = 0,00344 / (1 \cdot 0,63) = 0,00546 \%$.

Сжатая арматура - имеется.

Коэффициент армирования сжатой ненапрягаемой арматуры:
 $\mu'_s = A'_s / (b h_0) = 0,00108 / (1 \cdot 0,63) = 0,00171$.

Средняя высота сжатой зоны бетона:
$$x_m = h_0 \frac{(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1})^2 + 2(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1}) a' / h_0 - (\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1})}{2(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1}) + 1} =$$
$$= 0,63 \cdot \frac{(\sqrt{(0,00546 \cdot 18,01802 + 0,00171 \cdot 18,01802)^2 + 2 \cdot (0,00546 \cdot 18,01802 + 0,00171 \cdot 18,01802 \cdot 0,04 / 0,63)} - (0,00546 \cdot 18,01802 + 0,00171 \cdot 18,01802))}{2(0,00546 \cdot 18,01802 + 0,00171 \cdot 18,01802) + 1} = 0,21233 \text{ м} = 21,23 \text{ см}$$
.

Определение средней высоты сжатой зоны бетона

Расчет ведется по приближенной формуле (8.154).

Высота сжатой зоны изгибаемого элемента:
 $x_M = x_m = 0,21233 \text{ м} = 21,23 \text{ см}$.

Расстояние от наиболее сжатого волокна до центра тяжести приведенного сечения без учета растянутой зоны:
 $y_{cm} = x_m = 0,21233 \text{ м} = 21,23 \text{ см}$.

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:
 $I_s = A_s (h - a_s - y_{cm})^2 = 0,00344 \cdot (0,7 - 0,07 - 0,21233)^2 = 0,0006 \text{ м}^4 = 60000 \text{ см}^4$.

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:
 $I'_s = A'_s (y_{cm} - a'_s)^2 =$
 $= 0,00108 \cdot (0,21233 - 0,04)^2 = 0,000032073 \text{ м}^4 = 3207,3 \text{ см}^4$.

Определение момента инерции сжатой зоны бетона

$I_b = b x_m^3 / 3 = 1 \cdot 0,21233^3 / 3 = 0,00319 \text{ м}^4 = 319000 \text{ см}^4$.

Площадь сечения бетона:
 $A_b = b x_m = 1 \cdot 0,21233 = 0,21233 \text{ м}^2 = 2123,3 \text{ см}^2$.

Момент инерции приведенного поперечного сечения:
 $I_{red} = I_b + I_s \alpha_{s2} + I'_s \alpha_{s1} =$
 $= 0,00319 + 0,0006 \cdot 18,01802 + 0,000032073 \cdot 18,01802 = 0,01458 \text{ м}^4 = 1458000 \text{ см}^4$ (формула (8.148); п. 8.2.27).

Площадь приведенного поперечного сечения:
 $A_{red} = A_b + A_s \alpha_{s2} + A'_s \alpha_{s1} =$
 $= 0,21233 + 0,00344 \cdot 18,01802 + 0,00108 \cdot 18,01802 = 0,29377 \text{ м}^2 = 2937,7 \text{ см}^2$.

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:
 $y_c = y_{cm} = 0,21233 \text{ м} = 21,23 \text{ см}$.

$\sigma_s = (M (h_0 - y_c) / I_{red}) \alpha_{s1} =$
 $= (0,53937 \cdot (0,63 - 0,21233) / 0,01458) \cdot 18,01802 = 278,40024 \text{ МПа}$ (формула (8.129); п. 8.2.16).

Напряжения $\sigma_{s, cr}$ определяются при $M = M_{cr}$.

Напряжения в продольной растянутой арматуре в сечении с трещиной сразу после образования нормальных трещин:
 $\sigma_{s, cr} = (M_{cr} (h_0 - y_c) / I_{red}) \alpha_{s1} =$
 $= (0,16122 \cdot (0,63 - 0,21233) / 0,01458) \cdot 18,01802 = 83,21502 \text{ МПа}$ (формула (8.129); п. 8.2.18).

Т.к. $\sigma_s = 278,4002 \text{ МПа} \geq \sigma_{s, cr} = 83,21502 \text{ МПа}$:

Коэффициент, учитывающий неравномерное распределение относительных деформаций:

$$\psi_s = 1 - 0,8 \sigma_{s, \text{сrc}} / \sigma_s = \\ = 1 - 0,8 \cdot 83,21502 / 278,4002 = 0,76088 \text{ (формула (8.137); п. 8.2.18)}.$$

Определение базового расстояния между трещинами

Высота растянутой зоны:

$$x_t = h - x_m = 0,7 - 0,21233 = 0,48767 \text{ м} = 48,77 \text{ см}.$$

$$\text{Т.к. } x_t = 0,48767 \text{ м} = 48,767 \text{ см} > 0,5 h = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35 \text{ м} = 35 \text{ см} :$$

Высота растянутой зоны:

$$x_t = 0,5 h = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35 \text{ м} = 35 \text{ см}.$$

Площадь сечения растянутого бетона:

$$A_{bt} = b x_t = 1 \cdot 0,35 = 0,35 \text{ м}^2 = 3500 \text{ см}^2.$$

Базовое расстояние между трещинами:

$$l_s = 0,5 (A_{bt} / A_s) d_s = \\ = 0,5 \cdot (0,35 / 0,00344) \cdot 25 = 1271,80233 \text{ мм (формула (8.136); п. 8.2.17)}.$$

$$\text{Т.к. } l_s = 1271,802 \text{ мм} > 40 d_s = 40 \cdot 25 = 1000 \text{ мм} :$$

Базовое расстояние между трещинами:

$$l_s = 40 d_s = 40 \cdot 25 = 1000 \text{ мм}.$$

$$\text{Т.к. } l_s > 400 \text{ мм} :$$

Базовое расстояние между трещинами:

$$l_s = 400 \text{ мм}.$$

Ширина раскрытия трещин:

$$a_{\text{сrc}} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s (\sigma_s / E_s) l_s = \\ = 1,4 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 0,76088 \cdot (278,4002 / 200000) \cdot 400 = 0,29656 \text{ мм (формула (8.128); п. 8.2.15)}.$$

$$a_{\text{сrc}} = 0,29656 \text{ мм} \leq a_{\text{сrc, ult}} = 0,3 \text{ мм (98,85333\% от предельного значения)} - \text{условие выполнено (формула (8.118); п. п. 8.2)}.$$

Ширина раскрытия трещин от продолжительного действия постоянных и временных длительных нагрузок:

$$a_{\text{сrc, 1}} = a_{\text{сrc}} = 0,29656 \text{ мм}.$$

II. Непродолжительное раскрытие трещин

Предельная ширина раскрытия трещин при непродолжительном действии нагрузки

Предельно допустимая ширина раскрытия трещин:

$$a_{\text{сrc, ult}} = 0,4 \text{ мм}.$$

Определение значения начального модуля упругости при непродолжительном действии нагрузки

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000 \text{ МПа}$.

а) Действие всех нагрузок

$$\text{Т.к. } M = 0,53937 \text{ МН м} = 55,00043 \text{ тс м} > M_{\text{сrc}} = 0,16122 \text{ МН м} = 16,43986 \text{ тс м} :$$

Требуется расчет по раскрытию трещин.

Коэффициент, учитывающий продолжительность действия нагрузки:

$$\varphi_1 = 1.$$

(т.к. раскрытие трещин непродолжительное)

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_c)^2 = 0,00344 \cdot (0,7 - 0,07 - 0,35491)^2 = 0,00026032 \text{ м}^4 = 26032 \text{ см}^4.$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$I'_s = A'_s (y_c - a'_s)^2 = \\ = 0,00108 \cdot (0,35491 - 0,04)^2 = 0,000107102 \text{ м}^4 = 10710,2 \text{ см}^4.$$

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{red} = I + I_s (\alpha_s - 1) + I'_s (\alpha_s - 1) = 0,0286 + 0,00026032 \cdot (6,66667 - 1) + 0,000107102 \cdot (6,66667 - 1) = 0,03068 \text{ м}^4 = 3068000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.125); п. 8.2.12).}$$

Упругий момент сопротивления приведенного сечения:

$$W_{red} = I_{red} / y_t = 0,03068 / 0,34509 = 0,0889 \text{ м}^3 = 88900 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.123); п. 8.2.12).}$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны:

$$e_x = W_{red} / A_{red} = 0,0889 / 0,72561 = 0,12252 \text{ м} = 12,25 \text{ см} \text{ (формула (8.124); п. 8.2.12).}$$

Определение ширины раскрытия трещин нормальных к продольной оси элемента

Коэффициент, учитывающий профиль продольной арматуры:

$$\varphi_2 = 0,5 .$$

т. к. арматура - периодического профиля.

Определение коэффициента ψ_s

Определение напряжений в растянутой арматуре

Принимаемая относительная деформация бетона:

$$\epsilon_{b1, red} = 0,0015 .$$

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:

$$R_{b, ser} = R_{bn} = 16,65 \text{ МПа} .$$

Приведенный модуль деформации сжатого бетона:

$$E_{b, red} = R_{b, ser} / \epsilon_{b1, red} = 16,65 / 0,0015 = 11100 \text{ МПа} \text{ (формула (8.131); п. 8.2.16).}$$

Коэффициент приведения сжатой арматуры к бетону:

$$\alpha_{s1} = E_s / E_{b, red} = 200000 / 11100 = 18,01802 \text{ (формула (8.130); п. 8.2.16).}$$

Напряжения в растянутой арматуре определяются при $\alpha_{s2} = \alpha_{s1}$

При этом принимается для изгибаемых элементов $u_c = x_m$ - высота сжатой зоны бетона, определяемая по п. 8.2.28.

Коэффициент приведения растянутой арматуры к бетону:

$$\alpha_{s2} = \alpha_{s1} = 18,01802 .$$

Определение средней высоты сжатой зоны для изгибаемых элементов

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a = 0,7 - 0,07 = 0,63 \text{ м} = 63 \text{ см} .$$

Коэффициент армирования:

$$\mu_s = A_s / (b h_0) = 0,00344 / (1 \cdot 0,63) = 0,00546 \% .$$

Коэффициент армирования сжатой ненапрягаемой арматуры:

$$\mu'_s = A'_s / (b h_0) = 0,00108 / (1 \cdot 0,63) = 0,00171 .$$

Средняя высота сжатой зоны бетона:

$$x_m = h_0 \left(\sqrt{(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1})^2 + 2(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1}) a' / h_0} - (\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1}) \right) = 0,63 \cdot \left(\sqrt{(0,00546 \cdot 18,01802 + 0,00171 \cdot 18,01802)^2 + 2 \cdot (0,00546 \cdot 18,01802 + 0,00171 \cdot 18,01802 \cdot 0,04 / 0,63)} - (0,00546 \cdot 18,01802 + 0,00171 \cdot 18,01802) \right) = 0,21233 \text{ м} = 21,23 \text{ см} .$$

Определение средней высоты сжатой зоны бетона

Расчет ведется по приближенной формуле (8.154).

Высота сжатой зоны изгибаемого элемента:

$$x_M = x_m = 0,21233 \text{ м} = 21,23 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна до центра тяжести приведенного сечения без учета растянутой зоны:

$$u_{cm} = x_m = 0,21233 \text{ м} = 21,23 \text{ см} .$$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - u_{cm})^2 = 0,00344 \cdot (0,7 - 0,07 - 0,21233)^2 = 0,0006 \text{ м}^4 = 60000 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$I'_s = A'_s (u_{cm} - a'_s)^2 =$$

$$= 0,00108 \cdot (0,21233 - 0,04)^2 = 0,000032073 \text{ м}^4 = 3207,3 \text{ см}^4 .$$

Определение момента инерции сжатой зоны бетона

$$I_b = b x_m^3 / 3 = 1 \cdot 0,21233^3 / 3 = 0,00319 \text{ м}^4 = 319000 \text{ см}^4 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b x_m = 1 \cdot 0,21233 = 0,21233 \text{ м}^2 = 2123,3 \text{ см}^2 .$$

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{red} = I_b + I_s \alpha_{s2} + I'_s \alpha_{s1} = \\ = 0,00319 + 0,0006 \cdot 18,01802 + 0,000032073 \cdot 18,01802 = 0,01458 \text{ м}^4 = 1458000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.148); п. 8.2.27) .}$$

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{red} = A_b + A_s \alpha_{s2} + A'_s \alpha_{s1} = \\ = 0,21233 + 0,00344 \cdot 18,01802 + 0,00108 \cdot 18,01802 = 0,29377 \text{ м}^2 = 2937,7 \text{ см}^2 .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_c = y_{cm} = 0,21233 \text{ м} = 21,23 \text{ см} .$$

$$\sigma_s = (M (h_0 - y_c) / I_{red}) \alpha_{s1} =$$

$$= (0,53937 \cdot (0,63 - 0,21233) / 0,01458) \cdot 18,01802 = 278,40024 \text{ МПа (формула (8.129); п. 8.2.16) .}$$

Напряжения $\sigma_{s, \text{crc}}$ определяются при $M = M_{\text{crc}}$.

Напряжения в продольной растянутой арматуре в сечении с трещиной сразу после образования нормальных трещин:

$$\sigma_{s, \text{crc}} = (M_{\text{crc}} (h_0 - y_c) / I_{red}) \alpha_{s1} = \\ = (0,16122 \cdot (0,63 - 0,21233) / 0,01458) \cdot 18,01802 = 83,21502 \text{ МПа (формула (8.129); п. 8.2.18) .}$$

Т.к. $\sigma_s = 278,4002 \text{ МПа} \geq \sigma_{s, \text{crc}} = 83,21502 \text{ МПа}$:

Коэффициент, учитывающий неравномерное распределение относительных деформаций:

$$\psi_s = 1 - 0,8 \sigma_{s, \text{crc}} / \sigma_s = \\ = 1 - 0,8 \cdot 83,21502 / 278,4002 = 0,76088 \text{ (формула (8.137); п. 8.2.18) .}$$

Определение базового расстояния между трещинами

Высота растянутой зоны:

$$x_t = h - x_m = 0,7 - 0,21233 = 0,48767 \text{ м} = 48,77 \text{ см} .$$

Т.к. $x_t = 0,48767 \text{ м} = 48,767 \text{ см} > 0,5 h = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35 \text{ м} = 35 \text{ см}$:

Высота растянутой зоны:

$$x_t = 0,5 h = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35 \text{ м} = 35 \text{ см} .$$

Площадь сечения растянутого бетона:

$$A_{bt} = b x_t = 1 \cdot 0,35 = 0,35 \text{ м}^2 = 3500 \text{ см}^2 .$$

Базовое расстояние между трещинами:

$$l_s = 0,5 (A_{bt} / A_s) d_s = \\ = 0,5 \cdot (0,35 / 0,00344) \cdot 25 = 1271,80233 \text{ мм (формула (8.136); п. 8.2.17) .}$$

Т.к. $l_s = 1271,802 \text{ мм} > 40 d_s = 40 \cdot 25 = 1000 \text{ мм}$:

Базовое расстояние между трещинами:

$$l_s = 40 d_s = 40 \cdot 25 = 1000 \text{ мм} .$$

Т.к. $l_s > 400 \text{ мм}$:

Базовое расстояние между трещинами:

$$l_s = 400 \text{ мм} .$$

Ширина раскрытия трещин:

$$a_{\text{crc}} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s (\sigma_s / E_s) l_s = \\ = 1 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 0,76088 \cdot (278,4002 / 200000) \cdot 400 = 0,21183 \text{ мм (формула (8.128); п. 8.2.15) .}$$

Ширина раскрытия трещин от непродолжительного действия всех нагрузок:

$$a_{\text{crc}, 2} = a_{\text{crc}} = 0,21183 \text{ мм} .$$

б) Действие постоянных и временных длительных нагрузок

$$M_I = M_{II} = 0,53937 \text{ МН м} = 55 \text{ тс м} .$$

Действие постоянных и временных длительных нагрузок

$$M = M_I = 0,53937 \text{ МН м} = 55 \text{ тс м} .$$

$$\text{Т.к. } M = 0,53937 \text{ МН м} = 55,00043 \text{ тс м} > M_{\text{крс}} = 0,16122 \text{ МН м} = 16,43986 \text{ тс м} :$$

Требуется расчет по раскрытию трещин.

Коэффициент, учитывающий продолжительность действия нагрузки:

$$\varphi_1 = 1 .$$

(т.к. раскрытие трещин непродолжительное)

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_c)^2 = 0,00344 \cdot (0,7 - 0,07 - 0,35491)^2 = 0,00026032 \text{ м}^4 = 26032 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$I'_s = A'_s (y_c - a'_s)^2 = \\ = 0,00108 \cdot (0,35491 - 0,04)^2 = 0,000107102 \text{ м}^4 = 10710,2 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{\text{ред}} = I + I_s (\alpha_s - 1) + I'_s (\alpha_s - 1) = \\ = 0,0286 + 0,00026032 \cdot (6,66667 - 1) + 0,000107102 \cdot (6,66667 - 1) = 0,03068 \text{ м}^4 = 3068000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.125); п. 8.2.12) .}$$

Упругий момент сопротивления приведенного сечения:

$$W_{\text{ред}} = I_{\text{ред}} / y_t = 0,03068 / 0,34509 = 0,0889 \text{ м}^3 = 88900 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.123); п. 8.2.12) .}$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны:

$$e_x = W_{\text{ред}} / A_{\text{ред}} = 0,0889 / 0,72561 = 0,12252 \text{ м} = 12,25 \text{ см} \text{ (формула (8.124); п. 8.2.12) .}$$

Определение ширины раскрытия трещин нормальных к продольной оси элемента

Коэффициент, учитывающий профиль продольной арматуры:

$$\varphi_2 = 0,5 .$$

т. к. арматура - периодического профиля.

Определение коэффициента ψ_s

Определение напряжений в растянутой арматуре

Принимаемая относительная деформация бетона:

$$\epsilon_{b1, \text{ред}} = 0,0015 .$$

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:

$$R_{b, \text{сер}} = R_{bn} = 16,65 \text{ МПа} .$$

Приведенный модуль деформации сжатого бетона:

$$E_{b, \text{ред}} = R_{b, \text{сер}} / \epsilon_{b1, \text{ред}} = 16,65 / 0,0015 = 11100 \text{ МПа} \text{ (формула (8.131); п. 8.2.16) .}$$

Коэффициент приведения сжатой арматуры к бетону:

$$\alpha_{s1} = E_s / E_{b, \text{ред}} = 200000 / 11100 = 18,01802 \text{ (формула (8.130); п. 8.2.16) .}$$

Напряжения в растянутой арматуре определяются при $\alpha_{s2} = \alpha_{s1}$

При этом принимается для изгибаемых элементов $y_c = x_m$ - высота сжатой зоны бетона, определяемая по п. 8.2.28.

Коэффициент приведения растянутой арматуры к бетону:

$$\alpha_{s2} = \alpha_{s1} = 18,01802 .$$

Определение средней высоты сжатой зоны для изгибаемых элементов

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a = 0,7 - 0,07 = 0,63 \text{ м} = 63 \text{ см} .$$

Коэффициент армирования:

$$\mu_s = A_s / (b h_0) = 0,00344 / (1 \cdot 0,63) = 0,00546 \% .$$

Коэффициент армирования сжатой ненапрягаемой арматуры:
 $\mu'_s = A'_s / (b h_0) = 0,00108 / (1 \cdot 0,63) = 0,00171$.

Средняя высота сжатой зоны бетона:

$$x_m = h_0 \frac{(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1})^2 + 2(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1}) a' / h_0 - (\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1})}{2(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1})} =$$
$$= 0,63 \cdot \frac{(\sqrt{(0,00546 \cdot 18,01802 + 0,00171 \cdot 18,01802)^2 + 2 \cdot (0,00546 \cdot 18,01802 + 0,00171 \cdot 18,01802 \cdot 0,04 / 0,63)} - (0,00546 \cdot 18,01802 + 0,00171 \cdot 18,01802))}{2(0,00546 \cdot 18,01802 + 0,00171 \cdot 18,01802)} = 0,21233 \text{ м} = 21,23 \text{ см}.$$

Определение средней высоты сжатой зоны бетона

Расчет ведется по приближенной формуле (8.154).

Высота сжатой зоны изгибаемого элемента:

$$x_M = x_m = 0,21233 \text{ м} = 21,23 \text{ см}.$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна до центра тяжести приведенного сечения без учета растянутой зоны:
 $y_{cm} = x_m = 0,21233 \text{ м} = 21,23 \text{ см}.$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_{cm})^2 = 0,00344 \cdot (0,7 - 0,07 - 0,21233)^2 = 0,0006 \text{ м}^4 = 60000 \text{ см}^4.$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$I'_s = A'_s (y_{cm} - a'_s)^2 =$$
$$= 0,00108 \cdot (0,21233 - 0,04)^2 = 0,000032073 \text{ м}^4 = 3207,3 \text{ см}^4.$$

Определение момента инерции сжатой зоны бетона

$$I_b = b x_m^3 / 3 = 1 \cdot 0,21233^3 / 3 = 0,00319 \text{ м}^4 = 319000 \text{ см}^4.$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b x_m = 1 \cdot 0,21233 = 0,21233 \text{ м}^2 = 2123,3 \text{ см}^2.$$

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{red} = I_b + I_s \alpha_{s2} + I'_s \alpha_{s1} =$$
$$= 0,00319 + 0,0006 \cdot 18,01802 + 0,000032073 \cdot 18,01802 = 0,01458 \text{ м}^4 = 1458000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.148); п. 8.2.27)}.$$

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{red} = A_b + A_s \alpha_{s2} + A'_s \alpha_{s1} =$$
$$= 0,21233 + 0,00344 \cdot 18,01802 + 0,00108 \cdot 18,01802 = 0,29377 \text{ м}^2 = 2937,7 \text{ см}^2.$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:
 $y_c = y_{cm} = 0,21233 \text{ м} = 21,23 \text{ см}.$

$$\sigma_s = (M (h_0 - y_c) / I_{red}) \alpha_{s1} =$$
$$= (0,53937 \cdot (0,63 - 0,21233) / 0,01458) \cdot 18,01802 = 278,40024 \text{ МПа (формула (8.129); п. 8.2.16)}.$$

Напряжения $\sigma_{s, crc}$ определяются при $M = M_{crc}$.

Напряжения в продольной растянутой арматуре в сечении с трещиной сразу после образования нормальных трещин:
 $\sigma_{s, crc} = (M_{crc} (h_0 - y_c) / I_{red}) \alpha_{s1} =$
$$= (0,16122 \cdot (0,63 - 0,21233) / 0,01458) \cdot 18,01802 = 83,21502 \text{ МПа (формула (8.129); п. 8.2.18)}.$$

Т.к. $\sigma_s = 278,4002 \text{ МПа} \geq \sigma_{s, crc} = 83,21502 \text{ МПа}$:

Коэффициент, учитывающий неравномерное распределение относительных деформаций:
 $\psi_s = 1 - 0,8 \sigma_{s, crc} / \sigma_s =$
$$= 1 - 0,8 \cdot 83,21502 / 278,4002 = 0,76088 \text{ (формула (8.137); п. 8.2.18)}.$$

Определение базового расстояния между трещинами

Высота растянутой зоны:

$$x_t = h - x_m = 0,7 - 0,21233 = 0,48767 \text{ м} = 48,77 \text{ см}.$$

Т.к. $x_t = 0,48767 \text{ м} = 48,767 \text{ см} > 0,5 h = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35 \text{ м} = 35 \text{ см}$:

Высота растянутой зоны:

$$x_t = 0,5 h = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35 \text{ м} = 35 \text{ см}.$$

Площадь сечения растянутого бетона:
 $A_{bt} = b \cdot x_t = 1 \cdot 0,35 = 0,35 \text{ м}^2 = 3500 \text{ см}^2$.

Базовое расстояние между трещинами:
 $l_s = 0,5 (A_{bt}/A_s) d_s =$
 $= 0,5 \cdot (0,35/0,00344) \cdot 25 = 1271,80233 \text{ мм}$ (формула (8.136); п. 8.2.17).

Т.к. $l_s = 1271,802 \text{ мм} > 40 d_s = 40 \cdot 25 = 1000 \text{ мм}$:

Базовое расстояние между трещинами:
 $l_s = 40 d_s = 40 \cdot 25 = 1000 \text{ мм}$.

Т.к. $l_s > 400 \text{ мм}$:

Базовое расстояние между трещинами:
 $l_s = 400 \text{ мм}$.

Ширина раскрытия трещин:
 $a_{cr,c} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s (\sigma_s/E_s) l_s =$
 $= 1 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 0,76088 \cdot (278,4002/200000) \cdot 400 = 0,21183 \text{ мм}$ (формула (8.128); п. 8.2.15).

Ширина раскрытия трещин от непродолжительного действия постоянных и временных длительных нагрузок:
 $a_{cr,c,3} = a_{cr,c} = 0,21183 \text{ мм}$.

Ширина раскрытия трещин:
 $a_{cr,c} = a_{cr,c,1} + a_{cr,c,2} - a_{cr,c,3} =$
 $= 0,29656 + 0,21183 - 0,21183 = 0,29656 \text{ мм}$ (формула (8.120); п. 8.2).

$a_{cr,c} = 0,29656 \text{ мм} \leq a_{cr,c,ult} = 0,4 \text{ мм}$ (74,14% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.118); п. п. 8.2).

Расчет балок прямоугольного сечения по прочности при изгибе в одной плоскости (PM5). Верхняя арматура вдоль оси Y.

Информация о расчете:

Дата выполнения расчета: 09.11.2021 10:20:32;

Исходные данные:

Защитный слой:

- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S до грани сечения
 $a_s = 4 \text{ см} = 4 / 100 = 0,04 \text{ м}$;
- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S' до грани сечения
 $a'_s = 7 \text{ см} = 7 / 100 = 0,07 \text{ м}$;

Площадь ненапрягаемой наиболее растянутой продольной арматуры:

(Стержневая арматура, диаметром 14 мм; 7 шт.):
- Площадь ненапрягаемой растянутой арматуры
 $A_s = 10,8 \text{ см}^2 = 10,8 / 10000 = 0,00108 \text{ м}^2$;

Площадь ненапрягаемой сжатой или наименее растянутой продольной арматуры:

(Стержневая арматура, диаметром 14 мм; 7 шт.):
- Площадь ненапрягаемой сжатой арматуры $A'_s = 10,8 \text{ см}^2 = 10,8 / 10000 = 0,00108 \text{ м}^2$;

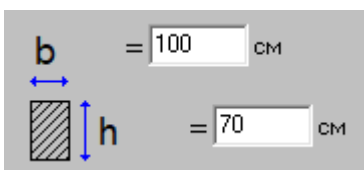
Площадь поперечной арматуры:

(Стержневая арматура, диаметром 10 мм; 7 шт.):
- Площадь поперечной арматуры $A_{sw} = 5,5 \text{ см}^2 = 5,5 / 10000 = 0,00055 \text{ м}^2$;

Поперечная арматура:

- Шаг стержней поперечной арматуры $s_w = 20 \text{ см} = 20 / 100 = 0,2 \text{ м}$;

Размеры сечения:

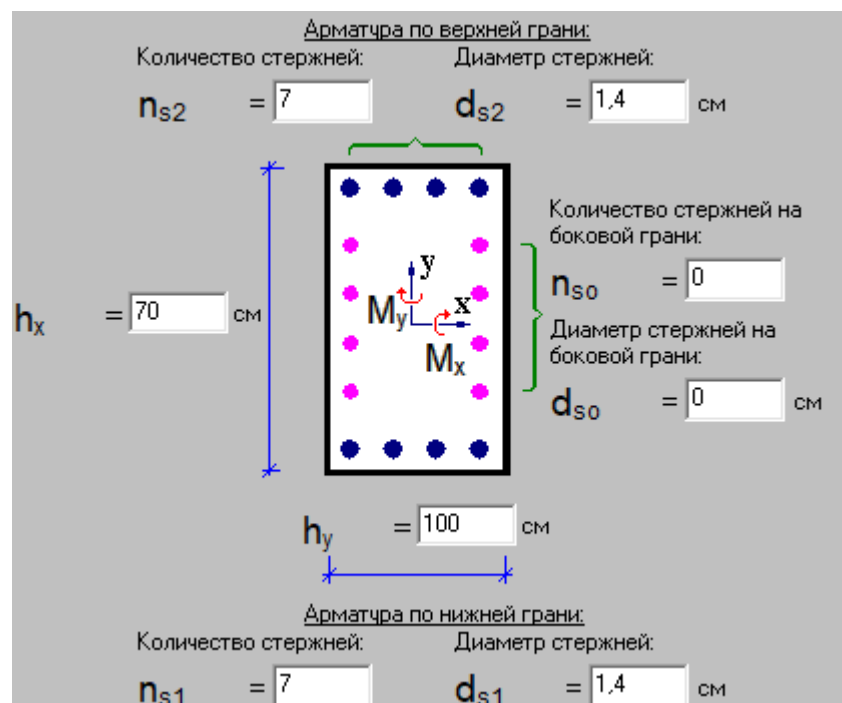


- Высота сечения $h = 70$ см $= 70 / 100 = 0,7$ м;
- Ширина прямоугольного сечения $b = 100$ см $= 100 / 100 = 1$ м;

Усилия:

- Изгибающий момент $M = 10$ тс м $= 10 / 101,97162123 = 0,09807$ МН м;
- Поперечная сила $Q = 68$ тс $= 68 / 101,97162123 = 0,66685$ МН;

Характеристики арматуры при расчете на кручение:



- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у нижней грани элемента $d_{s1} = 1,4$ см $= 1,4 / 100 = 0,014$ м;
- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у нижней грани элемента $n_{s1} = 7$;
- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у верхней грани элемента $d_{s2} = 1,4$ см $= 1,4 / 100 = 0,014$ м;
- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у верхней грани элемента $n_{s2} = 7$;
- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у боковой грани элемента $d_{s0} = 0$ см $= 0 / 100 = 0$ м;
- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у боковой грани элемента $n_{s0} = 0$;

Результаты расчета:

1) Расчетное сопротивление бетона

Конструкция - железобетонная.

Предварительное напряжение арматуры - отсутствует.

Класс бетона - В25.

Бетон - тяжелый.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{bn} = 18,5$ МПа .

Нормативное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{btn} = 1,55$ МПа .

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию принимается по табл. 6.8 $R_b = 14,5$ МПа .

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению принимается по табл. 6.8 $R_{bt} = 1,05$ МПа .

Класс бетона по прочности:

$B = 25$.

2) Продолжение расчета по п. п. 8.1 СП 63.13330.2012

Расчет - балок.

Элемент - изгибаемый.

Изгиб элемента - в одной плоскости.

3) Учет особенностей работы бетона в конструкции

Действие нагрузки - продолжительное.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий длительность действия нагрузки:

$$\gamma_{b1} = 0,9 .$$

Конструкция бетонируется - в горизонтальном положении.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий бетонирование в вертикальном положении:

$$\gamma_{b3} = 1 .$$

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий характер разрушения ячеистого бетона:

$$\gamma_{b4} = 1 .$$

Для надземной конструкции, при расчетной температуре наружного воздуха в зимний период не менее -40 град.:

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий влияние попеременного замораживания и оттаивания:

$$\gamma_{b5} = 1 .$$

Группа предельных состояний - первая.

Сейсмичность площадки строительства - не более 6 баллов.

Коэффициент условия работы по СП 14.13330 "Строительство в сейсмических районах":

$$m_{кр} = 1 .$$

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию при $m_{кр} = 1$:

$$R_b = \gamma_{b1} \gamma_{b3} \gamma_{b4} \gamma_{b5} R_b = \\ = 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 14,5 = 13,05 \text{ МПа} .$$

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию:

$$R_b = m_{кр} \gamma_{b1} \gamma_{b3} \gamma_{b4} \gamma_{b5} R_b = \\ = 1 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 14,5 = 13,05 \text{ МПа} .$$

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению при расчете на действие поперечных сил:

$$R_{bt} = \gamma_{b1} R_{bt} = 0,9 \cdot 1,05 = 0,945 \text{ МПа} .$$

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению:

$$R_{bt} = m_{кр} \gamma_{b1} R_{bt} = 1 \cdot 0,9 \cdot 1,05 = 0,945 \text{ МПа} .$$

4) Определение значения начального модуля упругости бетона

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000 \text{ МПа}$.

5) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Т.к. $\gamma_{b1} < 1$:

Относительная влажность воздуха окружающей среды - выше 75%.

Коэффициент ползучести принимается по табл. 6.12 $\varphi_{b, cr} = 1,8$.

6) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Начальный модуль упругости, принимаемый при продолжительном действии нагрузки:

$$E_b, \tau = E_b / (1 + \varphi_{b, cr}) = \\ = 30000 / (1 + 1,8) = 10714,28571 \text{ МПа (формула (6.3); п. 6.1.15)} .$$

7) Расчетные значения прочностных характеристик арматуры

Класс ненапрягаемой продольной арматуры - А400.

Расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению:

$$R_s = 350 \text{ МПа} .$$

Расчетное сопротивление продольной арматуры сжатию:

$$R_{sc} = 350 \text{ МПа} .$$

Поперечная арматура - рассматривается в данном расчете.

Класс поперечной арматуры - А400.

Расчетное сопротивление поперечной арматуры растяжению:

$$R_{sw} = 280 \text{ МПа} .$$

Расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению:

$$R_s = m_{кр} R_s = 1 \cdot 350 = 350 \text{ МПа} .$$

Расчетное сопротивление продольной арматуры сжатию:

$$R_{sc} = m_{кр} R_{sc} = 1 \cdot 350 = 350 \text{ МПа} .$$

8) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа} .$$

9) Определение граничной относительной высоты сжатой зоны

Относительная деформация растянутой арматуры:

$$\epsilon_{s, el} = R_s/E_s = 350/200000 = 0,00175 \text{ (формула (8.2); п. 8.1.6)} .$$

Относительная деформация бетона:

$$\epsilon_{b2} = 0,0035 .$$

10) Продолжение расчета по п. п. 8.1.6 СП 63.13330.2012

Граничная относительная высота сжатой зоны:

$$\xi_R = 0,8/(1+\epsilon_{s, el}/\epsilon_{b2}) = \\ = 0,8/(1+0,00175/0,0035) = 0,53333 \text{ (формула (8.1); п. 8.1.6)} .$$

11) Расчет изгибаемых элементов

Сечение - прямоугольное.

$$\text{Т.к. } R_s A_s = 350 \cdot 0,00108 = 0,378 \text{ МН} = 38,54527 \text{ тс} = R_{sc} A'_s = 350 \cdot 0,00108 = 0,378 \text{ МН} = 38,54527 \text{ тс} :$$

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a_s = 0,7 - 0,04 = 0,66 \text{ м} = 66 \text{ см} .$$

Предельный изгибающий момент:

$$M_{ult} = R_s A_s (h_0 - a'_s) = \\ = 350 \cdot 0,00108 \cdot (0,66 - 0,07) = 0,22302 \text{ МН м} = 22,74 \text{ тс м (формула (8.9); п. 8.1.13)} .$$

Определяем высоту сжатой зоны без учета сжатой арматуры.

Высота сжатой зоны:

$$x = R_s A_s / (R_b b) = 350 \cdot 0,00108 / (13,05 \cdot 1) = 0,02897 \text{ м} = 2,9 \text{ см} .$$

$$\text{Т.к. } x = 0,02897 \text{ м} = 2,897 \text{ см} < 2 a'_s = 2 \cdot 0,07 = 0,14 \text{ м} = 14 \text{ см} :$$

В формулу (8.9) подставляем вместо a' значение $x/2$.

Предельный изгибающий момент:

$$M_{ult} = R_s A_s (h_0 - x/2) = 350 \cdot 0,00108 \cdot (0,66 - 0,02897/2) = 0,244 \text{ МН м} = 24,88 \text{ тс м} .$$

$M = 0,09807 \text{ МН м} = 10,00036 \text{ тс м} \leq M_{ult} = 0,244 \text{ МН м} = 24,88108 \text{ тс м}$ (40,19262% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.3); п. п. 8.1.8).

12) Определение значения начального модуля упругости бетона

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000 \text{ МПа} .$

13) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

$$\text{Т.к. } \gamma_{b1} < 1 :$$

Коэффициент ползучести принимается по табл. 6.12 $\phi_{b, cr} = 1,8 .$

14) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Начальный модуль упругости, принимаемый при продолжительном действии нагрузки:

$$E_b, \tau = E_b / (1 + \varphi_b, cr) = \\ = 30000 / (1 + 1,8) = 10714,28571 \text{ МПа (формула (6.3); п. 6.1.15).}$$

15) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа .}$$

16) Определение характеристик приведенного сечения

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:

$$\alpha_s = E_s / E_b = 200000 / 10714,29 = 18,66666 .$$

$$h'_o = h - a'_s = 0,7 - 0,07 = 0,63 \text{ м} = 63 \text{ см} .$$

Площадь сечения:

$$A = b h = 1 \cdot 0,7 = 0,7 \text{ м}^2 = 7000 \text{ см}^2 .$$

Статический момент бетонного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_t = b h^2 / 2 = 1 \cdot 0,7^2 / 2 = 0,245 \text{ м}^3 = 245000 \text{ см}^3 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00108 - 0,00108 = 0,69784 \text{ м}^2 = 6978,4 \text{ см}^2 .$$

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{red} = \alpha_s (A_s + A'_s) + A_b = 18,66666 \cdot (0,00108 + 0,00108) + 0,69784 = 0,73816 \text{ м}^2 = 7381,6 \text{ см}^2 .$$

Статический момент приведенного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_{t, red} = (\alpha_s - 1) (A_s a_s + A'_s (h - a'_s)) + b h^2 / 2 = \\ = (18,66666 - 1) \cdot (0,00108 \cdot 0,04 + 0,00108 \cdot (0,7 - 0,07)) + 1 \cdot 0,7^2 / 2 = 0,25778 \text{ м}^3 = 257780 \text{ см}^3 .$$

Координата центра тяжести расчетного контура:

$$y_o = S_{t, red} / A_{red} = 0,25778 / 0,73816 = 0,34922 \text{ м} = 34,92 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее растянутого волокна бетона до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_t = y_o = 0,34922 \text{ м} = 34,92 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_c = h - y_t = 0,7 - 0,34922 = 0,35078 \text{ м} = 35,08 \text{ см} .$$

$$y_s = y_o - a_s = 0,34922 - 0,04 = 0,30922 \text{ м} = 30,92 \text{ см} .$$

$$y'_s = h - a_s - a'_s - y_s = 0,7 - 0,04 - 0,07 - 0,30922 = 0,28078 \text{ м} = 28,08 \text{ см} .$$

Момент инерции бетонного сечения относительно центра тяжести приведенного сечения:

$$I = b h^3 / 12 + A (h/2 - y_t)^2 = \\ = 1 \cdot 0,7^3 / 12 + 0,7 \cdot (0,7/2 - 0,34922)^2 = 0,02858 \text{ м}^4 = 2858000 \text{ см}^4 .$$

17) Определение момента образования трещин

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:

$$R_{b, ser} = R_{bn} = 18,5 \text{ МПа} .$$

Расчетное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний второй группы:

$$R_{bt, ser} = R_{btn} = 1,55 \text{ МПа} .$$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_c)^2 = 0,00108 \cdot (0,7 - 0,04 - 0,35078)^2 = 0,000103266 \text{ м}^4 = 10326,6 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$I'_s = A'_s (y_c - a'_s)^2 = \\ = 0,00108 \cdot (0,35078 - 0,07)^2 = 0,000085144 \text{ м}^4 = 8514,4 \text{ см}^4 .$$

18) Продолжение расчета по п. п. 8.2.12 СП 63.13330.2012

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{red} = I + I_s (\alpha_s - 1) + I'_s (\alpha'_s - 1) =$$

$$= 0,02858 + 0,000103266 \cdot (18,66666 - 1) + 0,000085144 \cdot (18,66666 - 1) = 0,03191 \text{ м}^4 = 3191000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.125); п. 8.2.12).}$$

Упругий момент сопротивления приведенного сечения:

$$W_{red} = I_{red} / y_t = 0,03191 / 0,34922 = 0,09138 \text{ м}^3 = 91380 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.123); п. 8.2.12).}$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны:

$$e_x = W_{red} / A_{red} = 0,09138 / 0,73816 = 0,12379 \text{ м} = 12,38 \text{ см} \text{ (формула (8.124); п. 8.2.12).}$$

Момент образования трещин определяется - с учетом неупругих деформаций.

Упругопластический момент сопротивления сечения:

$$W_{pl} = 1,3 W_{red} = 1,3 \cdot 0,09138 = 0,11879 \text{ м}^3 = 118790 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.122); п. 8.2.11).}$$

Изгибающий момент, воспринимаемый нормальным сечением элемента при образовании трещин:

$$M_{crc} = R_{bt, ser} W_{pl} = 1,55 \cdot 0,11879 = 0,18412 \text{ МН м} = 18,78 \text{ тс м} \text{ (формула (8.121); п. 8.2.11).}$$

19) Проверка необходимости увеличения площади сечения продольной растянутой арматуры, если предельное усилие по прочности меньше предельного усилия по образованию трещин

$$\text{Т.к. } M_{ult} = 0,244 \text{ МН м} = 24,88108 \text{ тс м} \geq M_{crc} = 0,18412 \text{ МН м} = 18,77501 \text{ тс м} :$$

в соответствии с п. 8.1.3 при M_{ult} не менее M_{crc} площадь сечения растянутой продольной арматуры не должна быть увеличена по сравнению с требуемой.

20) Проверка необходимости сжатой арматуры

(проверяем несущую способность, предполагая отсутствие сжатой арматуры)

Высота сжатой зоны:

$$x = R_s A_s / (R_b b) =$$

$$= 350 \cdot 0,00108 / (13,05 \cdot 1) = 0,02897 \text{ м} = 2,9 \text{ см} \text{ (формула (8.5); п. 8.1).}$$

Относительная высота сжатой зоны:

$$\xi = x / h_0 = 0,02897 / 0,66 = 0,04389 .$$

$$\text{Т.к. } \xi = 0,04389 \leq \xi_R = 0,53333 :$$

Предельный изгибающий момент:

$$M_{ult} = R_b b x (h_0 - 0,5 x) =$$

$$= 13,05 \cdot 1 \cdot 0,02897 \cdot (0,66 - 0,5 \cdot 0,02897) = 0,24404 \text{ МН м} = 24,89 \text{ тс м} \text{ (формула (8.4); п. 8.1).}$$

21) Продолжение расчета по п. п. 8.1.8 СП 63.13330.2012

$$\text{Т.к. } M = 0,09807 \text{ МН м} = 10,00036 \text{ тс м} \leq M_{ult} = 0,24404 \text{ МН м} = 24,88515 \text{ тс м} :$$

- сжатая арматура по расчету не требуется, поэтому не требуется устанавливать поперечную арматуру в соответствии с п. 10.3.14.

22) Расчет железобетонных элементов по полосе между наклонными сечениями

Коэффициент:

$$\phi_{b1} = 0,3 .$$

Приведенное значение толщины защитного слоя растянутой арматуры:

$$a = a_s = 0,04 \text{ м} = 4 \text{ см} .$$

Приведенное значение толщины защитного слоя сжатой арматуры:

$$a' = a'_s = 0,07 \text{ м} = 7 \text{ см} .$$

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a = 0,7 - 0,04 = 0,66 \text{ м} = 66 \text{ см} .$$

23) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа} .$$

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:

$$\alpha_s = E_s/E_b = 200000/10714,29 = 18,66666 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00108 - 0,00108 = 0,69784 \text{ м}^2 = 6978,4 \text{ см}^2 .$$

Приведенная площадь сечения элемента с учетом продольной арматуры:

$$A = A_b + \alpha_s (A'_s + A_s) = \\ = 0,69784 + 18,66666 \cdot (0,00108 + 0,00108) = 0,73816 \text{ м}^2 = 7381,6 \text{ см}^2 .$$

Коэффициент, учитывающий влияние сжимающих и растягивающих напряжений:

$$\varphi_n = 1 .$$

$$Q = 0,66685 \text{ МН} = 67,99978 \text{ тс} \leq \varphi_n \varphi_{b1} R_b b h_0 = 1 \cdot 0,3 \cdot 13,05 \cdot 1 \cdot 0,66 = 2,5839 \text{ МН} = 263,48447 \text{ тс} \text{ (25,80789\% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.55)); п. 8.1.32).}$$

24) Расчет железобетонных элементов по наклонным сечениям на действие поперечных сил

Коэффициент:

$$\varphi_{b2} = 1,5 .$$

Расчет - по упрощенным формулам, полученным на основе анализа СП 63.13330.2012.

Коэффициент:

$$\varphi_{sw} = 0,75 .$$

Усилия в поперечной арматуре на единицу длины:

$$q_{sw} = R_{sw} A_{sw}/s_w = 280 \cdot 0,00055/0,2 = 0,77 \text{ МН/м} = 78,52 \text{ тс/м} \text{ (формула (8.59)); п. 8.1.33).}$$

Длина проекции наклонного сечения:

$$c = \sqrt{2 R_{bt} b h_0^2 / q_{sw}} = \\ = \sqrt{2 \cdot 0,945 \cdot 1 \cdot 0,66^2 / 0,77} = 1,03402 \text{ м} = 103,4 \text{ см} .$$

$$\text{Т.к. } c = 1,03402 \text{ м} = 103,402 \text{ см} \leq 2 h_0 = 2 \cdot 0,66 = 1,32 \text{ м} = 132 \text{ см} \text{ и } c = 1,03402 \text{ м} = 103,402 \text{ см} \geq h_0 = 0,66 \text{ м} = 66 \text{ см} :$$

Поперечная сила, воспринимаемая бетоном:

$$Q_b = \varphi_{b2} R_{bt} b h_0^2 / c = \\ = 1,5 \cdot 0,945 \cdot 1 \cdot 0,66^2 / 1,03402 = 0,59715 \text{ МН} = 60,89 \text{ тс} \text{ (формула (8.57)); п. 8.1.33).}$$

Усилие в поперечной арматуре:

$$Q_{sw} = \varphi_{sw} q_{sw} c = \\ = 0,75 \cdot 0,77 \cdot 1,03402 = 0,59715 \text{ МН} = 60,89 \text{ тс} \text{ (формула (8.58)); п. 8.1.33).}$$

$$q_{sw} = 0,77 \text{ МН} = 78,51815 \text{ тс} \geq 0,25 R_{bt} b = 0,25 \cdot 0,945 \cdot 1 = 0,23625 \text{ МН} = 24,0908 \text{ тс} \text{ (325,92593\% от предельного значения) - условие выполнено .}$$

$$Q = 0,66685 \text{ МН} = 67,99978 \text{ тс} \leq R_{bt} b h_0^2 / s_w = 0,945 \cdot 1 \cdot 0,66^2 / 0,2 = 2,05821 \text{ МН} = 209,87901 \text{ тс} \text{ (32,39951\% от предельного значения) - условие выполнено .}$$

(из требования по ограничению шага арматуры)

$$s_w = 0,2 \text{ м} = 20 \text{ см} \leq \min(0,5 h_0 ; 0,3) = \min(0,5 \cdot 0,66; 0,3) = 0,3 \text{ м} = 30 \text{ см} \text{ (66,66667\% от предельного значения) - условие выполнено .}$$

25) Продолжение расчета по п. п. 8.1.33 СП 63.13330.2012

Коэффициент, учитывающий влияние сжимающих и растягивающих напряжений:

$$\varphi_n = 1 .$$

$$Q = 0,66685 \text{ МН} = 67,99978 \text{ тс} \leq \varphi_n Q_b + Q_{sw} = 1 \cdot 0,59715 + 0,59715 = 1,1943 \text{ МН} = 121,78471 \text{ тс} \text{ (55,83605\% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.56)); п. 8.1.33).}$$

26) Проверка требования минимального процента армирования

Арматура расположена по контуру сечения - не равномерно.

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a_s = 0,7 - 0,04 = 0,66 \text{ м} = 66 \text{ см} .$$

Коэффициент армирования:

$$\mu_s = A_s / (b h_0) \cdot 100 = 0,00108 / (1 \cdot 0,66) \cdot 100 = 0,16364 \% .$$

$\mu_s \geq 0,1 \%$ (163,64% от предельного значения) - условие выполнено .

Расчет балок прямоугольного сечения по прочности при изгибе в одной плоскости (PM5). Нижняя арматура вдоль оси X.

Информация о расчете:

Дата выполнения расчета: 09.11.2021 10:43:16;

Исходные данные:

Защитный слой:

- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S до грани сечения
 $a_s = 7 \text{ см} = 7 / 100 = 0,07 \text{ м};$

- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S' до грани сечения
 $a'_s = 4 \text{ см} = 4 / 100 = 0,04 \text{ м};$

Площадь ненапрягаемой наиболее растянутой продольной арматуры:

(Стержневая арматура, диаметром 20 мм; 6 шт.):

- Площадь ненапрягаемой растянутой арматуры
 $A_s = 18,8 \text{ см}^2 = 18,8 / 10000 = 0,00188 \text{ м}^2;$

Площадь ненапрягаемой сжатой или наименее растянутой продольной арматуры:

(Стержневая арматура, диаметром 10 мм; 6 шт.):

- Площадь ненапрягаемой сжатой арматуры $A'_s = 4,7 \text{ см}^2 = 4,7 / 10000 = 0,00047 \text{ м}^2;$

Площадь поперечной арматуры:

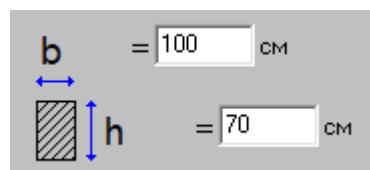
(Стержневая арматура, диаметром 10 мм; 6 шт.):

- Площадь поперечной арматуры $A_{sw} = 4,71 \text{ см}^2 = 4,71 / 10000 = 0,000471 \text{ м}^2;$

Поперечная арматура:

- Шаг стержней поперечной арматуры $s_w = 20 \text{ см} = 20 / 100 = 0,2 \text{ м};$

Размеры сечения:



- Высота сечения $h = 70 \text{ см} = 70 / 100 = 0,7 \text{ м};$

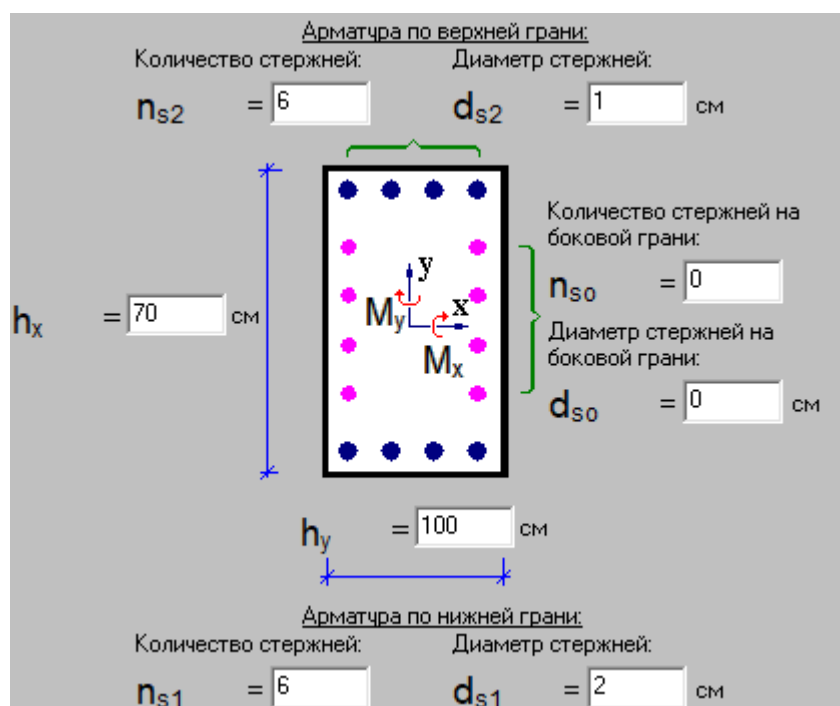
- Ширина прямоугольного сечения $b = 100 \text{ см} = 100 / 100 = 1 \text{ м};$

Усилия:

- Изгибающий момент $M = 33 \text{ тс м} = 33 / 101,97162123 = 0,32362 \text{ МН м};$

- Поперечная сила $Q = 68 \text{ тс} = 68 / 101,97162123 = 0,66685 \text{ МН};$

Характеристики арматуры при расчете на кручение:



- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у нижней грани элемента $d_{s1} = 2$ см = $2 / 100 = 0,02$ м;
- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у нижней грани элемента $n_{s1} = 6$;
- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у верхней грани элемента $d_{s2} = 1$ см = $1 / 100 = 0,01$ м;
- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у верхней грани элемента $n_{s2} = 6$;
- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у боковой грани элемента $d_{so} = 0$ см = $0 / 100 = 0$ м;
- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у боковой грани элемента $n_{so} = 0$;

Результаты расчета:

1) Расчетное сопротивление бетона

Конструкция - железобетонная.

Предварительное напряжение арматуры - отсутствует.

Класс бетона - В25.

Бетон - тяжелый.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{bn} = 18,5$ МПа .

Нормативное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{btn} = 1,55$ МПа .

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию принимается по табл. 6.8 $R_b = 14,5$ МПа .

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению принимается по табл. 6.8 $R_{bt} = 1,05$ МПа .

Класс бетона по прочности:

$B = 25$.

2) Продолжение расчета по п. п. 8.1 СП 63.13330.2012

Расчет - балок.

Элемент - изгибаемый.

Изгиб элемента - в одной плоскости.

3) Учет особенностей работы бетона в конструкции

Действие нагрузки - продолжительное.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий длительность действия нагрузки:
 $\gamma_{b1} = 0,9$.

Конструкция бетонируется - в горизонтальном положении.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий бетонирование в вертикальном положении:
 $\gamma_{b3} = 1$.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий характер разрушения ячеистого бетона:
 $\gamma_{b4} = 1$.

Для надземной конструкции, при расчетной температуре наружного воздуха в зимний период не менее -40 град.:

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий влияние попеременного замораживания и оттаивания:
 $\gamma_{b5} = 1$.

Группа предельных состояний - первая.

Сейсмичность площадки строительства - не более 6 баллов.

Коэффициент условия работы по СП 14.13330 "Строительство в сейсмических районах":
 $m_{кр} = 1$.

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию при $m_{кр} = 1$:
 $R_b = \gamma_{b1} \gamma_{b3} \gamma_{b4} \gamma_{b5} R_b =$
 $= 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 14,5 = 13,05 \text{ МПа}.$

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию:
 $R_b = m_{кр} \gamma_{b1} \gamma_{b3} \gamma_{b4} \gamma_{b5} R_b =$
 $= 1 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 14,5 = 13,05 \text{ МПа}.$

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению при расчете на действие поперечных сил:
 $R_{bt} = \gamma_{b1} R_{bt} = 0,9 \cdot 1,05 = 0,945 \text{ МПа}.$

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению:
 $R_{bt} = m_{кр} \gamma_{b1} R_{bt} = 1 \cdot 0,9 \cdot 1,05 = 0,945 \text{ МПа}.$

4) Определение значения начального модуля упругости бетона

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000 \text{ МПа}.$

5) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Т.к. $\gamma_{b1} < 1$:

Относительная влажность воздуха окружающей среды - выше 75%.

Коэффициент ползучести принимается по табл. 6.12 $\varphi_{b, cr} = 1,8$.

6) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Начальный модуль упругости, принимаемый при продолжительном действии нагрузки:
 $E_b, \tau = E_b / (1 + \varphi_{b, cr}) =$
 $= 30000 / (1 + 1,8) = 10714,28571 \text{ МПа (формула (6.3); п. 6.1.15)}.$

7) Расчетные значения прочностных характеристик арматуры

Класс ненапрягаемой продольной арматуры - А400.

Расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению:
 $R_s = 350 \text{ МПа}.$

Расчетное сопротивление продольной арматуры сжатию:
 $R_{sc} = 350 \text{ МПа}.$

Поперечная арматура - рассматривается в данном расчете.

Класс поперечной арматуры - А400.

Расчетное сопротивление поперечной арматуры растяжению:
 $R_{sw} = 280 \text{ МПа}.$

Расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению:
 $R_s = m_{кр} R_s = 1 \cdot 350 = 350 \text{ МПа}.$

Расчетное сопротивление продольной арматуры сжатию:
 $R_{sc} = m_{кр} R_{sc} = 1 \cdot 350 = 350 \text{ МПа}.$

8) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа} .$$

9) Определение граничной относительной высоты сжатой зоны

Относительная деформация растянутой арматуры:

$$\epsilon_{s, el} = R_s/E_s = 350/200000 = 0,00175 \text{ (формула (8.2); п. 8.1.6) .}$$

Относительная деформация бетона:

$$\epsilon_{b2} = 0,0035 .$$

10) Продолжение расчета по п. п. 8.1.6 СП 63.13330.2012

Граничная относительная высота сжатой зоны:

$$\begin{aligned} \xi_R &= 0,8/(1+\epsilon_{s, el}/\epsilon_{b2}) = \\ &= 0,8/(1+0,00175/0,0035) = 0,53333 \text{ (формула (8.1); п. 8.1.6) .} \end{aligned}$$

11) Расчет изгибаемых элементов

Сечение - прямоугольное.

$$\text{Т.к. } R_s A_s = 350 \cdot 0,00188 = 0,658 \text{ МН} = 67,09733 \text{ тс} > R_{sc} A'_s = 350 \cdot 0,00047 = 0,1645 \text{ МН} = 16,77433 \text{ тс} :$$

Высота сжатой зоны:

$$\begin{aligned} x &= (R_s A_s - R_{sc} A'_s)/(R_b b) = \\ &= (350 \cdot 0,00188 - 350 \cdot 0,00047)/(13,05 \cdot 1) = 0,03782 \text{ м} = 3,78 \text{ см} \text{ (формула (8.5); п. 8.1) .} \end{aligned}$$

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a_s = 0,7 - 0,07 = 0,63 \text{ м} = 63 \text{ см} .$$

Относительная высота сжатой зоны:

$$\xi = x/h_0 = 0,03782/0,63 = 0,06003 .$$

$$\text{Т.к. } \xi = 0,06003 \leq \xi_R = 0,53333; x > 0 \text{ м} = 0 \text{ см} :$$

Предельный изгибающий момент:

$$\begin{aligned} M_{ult} &= R_b b x (h_0 - 0,5 x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a'_s) = \\ &= 13,05 \cdot 1 \cdot 0,03782 \cdot (0,63 - 0,5 \cdot 0,03782) + 350 \cdot 0,00047 \cdot (0,63 - 0,04) = 0,39866 \text{ МН м} = 40,65 \text{ тс м} \text{ (формула (8.4); п. 8.1.9) .} \end{aligned}$$

$$M = 0,32362 \text{ МН м} = 33,00006 \text{ тс м} \leq M_{ult} = 0,39866 \text{ МН м} = 40,65201 \text{ тс м} \text{ (81,17694\% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.3); п. п. 8.1.8) .}$$

12) Определение значения начального модуля упругости бетона

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000 \text{ МПа} .$

13) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

$$\text{Т.к. } \gamma_{b1} < 1 :$$

Коэффициент ползучести принимается по табл. 6.12 $\varphi_{b, cr} = 1,8 .$

14) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Начальный модуль упругости, принимаемый при продолжительном действии нагрузки:

$$\begin{aligned} E_{b, \tau} &= E_b/(1+\varphi_{b, cr}) = \\ &= 30000/(1+1,8) = 10714,28571 \text{ МПа} \text{ (формула (6.3); п. 6.1.15) .} \end{aligned}$$

15) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа} .$$

16) Определение характеристик приведенного сечения

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:

$$\alpha_s = E_s/E_b = 200000/10714,29 = 18,66666 .$$

$$h'_o = h - a'_s = 0,7 - 0,04 = 0,66 \text{ м} = 66 \text{ см} .$$

Площадь сечения:

$$A = b h = 1 \cdot 0,7 = 0,7 \text{ м}^2 = 7000 \text{ см}^2 .$$

Статический момент бетонного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_t = b h^2/2 = 1 \cdot 0,7^2/2 = 0,245 \text{ м}^3 = 245000 \text{ см}^3 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00047 - 0,00188 = 0,69765 \text{ м}^2 = 6976,5 \text{ см}^2 .$$

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{red} = \alpha_s (A_s + A'_s) + A_b = 18,66666 \cdot (0,00188 + 0,00047) + 0,69765 = 0,74152 \text{ м}^2 = 7415,2 \text{ см}^2 .$$

Статический момент приведенного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_{t, red} = (\alpha_s - 1) (A_s a_s + A'_s (h - a'_s)) + b h^2/2 = \\ = (18,66666 - 1) \cdot (0,00188 \cdot 0,07 + 0,00047 \cdot (0,7 - 0,04)) + 1 \cdot 0,7^2/2 = 0,25281 \text{ м}^3 = 252810 \text{ см}^3 .$$

Координата центра тяжести расчетного контура:

$$y_o = S_{t, red} / A_{red} = 0,25281 / 0,74152 = 0,34093 \text{ м} = 34,09 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее растянутого волокна бетона до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_t = y_o = 0,34093 \text{ м} = 34,09 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_c = h - y_t = 0,7 - 0,34093 = 0,35907 \text{ м} = 35,91 \text{ см} .$$

$$y_s = y_o - a_s = 0,34093 - 0,07 = 0,27093 \text{ м} = 27,09 \text{ см} .$$

$$y'_s = h - a_s - a'_s - y_s = 0,7 - 0,07 - 0,04 - 0,27093 = 0,31907 \text{ м} = 31,91 \text{ см} .$$

Момент инерции бетонного сечения относительно центра тяжести приведенного сечения:

$$I = b h^3/12 + A (h/2 - y_t)^2 = \\ = 1 \cdot 0,7^3/12 + 0,7 \cdot (0,7/2 - 0,34093)^2 = 0,02864 \text{ м}^4 = 2864000 \text{ см}^4 .$$

17) Определение момента образования трещин

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:

$$R_{b, ser} = R_{bn} = 18,5 \text{ МПа} .$$

Расчетное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний второй группы:

$$R_{bt, ser} = R_{btn} = 1,55 \text{ МПа} .$$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_c)^2 = 0,00188 \cdot (0,7 - 0,07 - 0,35907)^2 = 0,000137998 \text{ м}^4 = 13799,8 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$I'_s = A'_s (y_c - a'_s)^2 = \\ = 0,00047 \cdot (0,35907 - 0,04)^2 = 0,000047849 \text{ м}^4 = 4784,9 \text{ см}^4 .$$

18) Продолжение расчета по п. п. 8.2.12 СП 63.13330.2012

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{red} = I + I_s (\alpha_s - 1) + I'_s (\alpha_s - 1) = \\ = 0,02864 + 0,000137998 \cdot (18,66666 - 1) + 0,000047849 \cdot (18,66666 - 1) = 0,03192 \text{ м}^4 = 3192000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.125); п. 8.2.12)} .$$

Упругий момент сопротивления приведенного сечения:

$$W_{red} = I_{red} / y_t = 0,03192 / 0,34093 = 0,09363 \text{ м}^3 = 93630 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.123); п. 8.2.12)} .$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны:

$$e_x = W_{red} / A_{red} = 0,09363 / 0,74152 = 0,12627 \text{ м} = 12,63 \text{ см} \text{ (формула (8.124); п. 8.2.12)} .$$

Момент образования трещин определяется - с учетом неупругих деформаций.

Упругопластический момент сопротивления сечения:

$$W_{pl} = 1,3 W_{red} = 1,3 \cdot 0,09363 = 0,12172 \text{ м}^3 = 121720 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.122); п. 8.2.11)} .$$

Изгибающий момент, воспринимаемый нормальным сечением элемента при образовании трещин:

$M_{crc} = R_{bt, ser} W_{pl} = 1,55 \cdot 0,12172 = 0,18867 \text{ МН м} = 19,24 \text{ тс м}$ (формула (8.121); п. 8.2.11).

19) Проверка необходимости увеличения площади сечения продольной растянутой арматуры, если предельное усилие по прочности меньше предельного усилия по образованию трещин

Т.к. $M_{ult} = 0,39866 \text{ МН м} = 40,65201 \text{ тс м} \geq M_{crc} = 0,18867 \text{ МН м} = 19,23899 \text{ тс м}$:

в соответствии с п. 8.1.3 при M_{ult} не менее M_{crc} площадь сечения растянутой продольной арматуры не должна быть увеличена по сравнению с требуемой.

20) Проверка необходимости сжатой арматуры

(проверяем несущую способность, предполагая отсутствие сжатой арматуры)

Высота сжатой зоны:

$$x = R_s A_s / (R_b b) = \\ = 350 \cdot 0,00188 / (13,05 \cdot 1) = 0,05042 \text{ м} = 5,04 \text{ см} \text{ (формула (8.5); п. 8.1)}.$$

Относительная высота сжатой зоны:

$$\xi = x/h_0 = 0,05042/0,63 = 0,08003 .$$

Т.к. $\xi = 0,08003 \leq \xi_R = 0,53333$:

Предельный изгибающий момент:

$$M_{ult} = R_b b x (h_0 - 0,5 x) = \\ = 13,05 \cdot 1 \cdot 0,05042 \cdot (0,63 - 0,5 \cdot 0,05042) = 0,39794 \text{ МН м} = 40,58 \text{ тс м} \text{ (формула (8.4); п. 8.1)}.$$

21) Продолжение расчета по п. п. 8.1.8 СП 63.13330.2012

Т.к. $M = 0,32362 \text{ МН м} = 33,00006 \text{ тс м} \leq M_{ult} = 0,39794 \text{ МН м} = 40,57859 \text{ тс м}$:

- сжатая арматура по расчету не требуется, поэтому не требуется устанавливать поперечную арматуру в соответствии с п. 10.3.14.

22) Расчет железобетонных элементов по полосе между наклонными сечениями

Коэффициент:

$$\varphi_{b1} = 0,3 .$$

Приведенное значение толщины защитного слоя растянутой арматуры:

$$a = a_s = 0,07 \text{ м} = 7 \text{ см} .$$

Приведенное значение толщины защитного слоя сжатой арматуры:

$$a' = a'_s = 0,04 \text{ м} = 4 \text{ см} .$$

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a = 0,7 - 0,07 = 0,63 \text{ м} = 63 \text{ см} .$$

23) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа} .$$

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:

$$\alpha_s = E_s/E_b = 200000/10714,29 = 18,66666 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00047 - 0,00188 = 0,69765 \text{ м}^2 = 6976,5 \text{ см}^2 .$$

Приведенная площадь сечения элемента с учетом продольной арматуры:

$$A = A_b + \alpha_s (A'_s + A_s) = \\ = 0,69765 + 18,66666 \cdot (0,00047 + 0,00188) = 0,74152 \text{ м}^2 = 7415,2 \text{ см}^2 .$$

Коэффициент, учитывающий влияние сжимающих и растягивающих напряжений:

$$\varphi_n = 1 .$$

$Q = 0,66685 \text{ МН} = 67,99978 \text{ тс} \leq \varphi_n \varphi_{b1} R_b b h_0 = 1 \cdot 0,3 \cdot 13,05 \cdot 1 \cdot 0,63 = 2,46645 \text{ МН} = 251,50791 \text{ тс}$ (27,03683% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.55); п. 8.1.32).

24) Расчет железобетонных элементов по наклонным сечениям на действие поперечных сил

Коэффициент:

$$\varphi_{b2} = 1,5 .$$

Расчет - по упрощенным формулам, полученным на основе анализа СП 63.13330.2012.

Коэффициент:

$$\varphi_{sw} = 0,75 .$$

Усилия в поперечной арматуре на единицу длины:

$$q_{sw} = R_{sw} A_{sw}/s_w = 280 \cdot 0,000471/0,2 = 0,6594 \text{ МН/м} = 67,24 \text{ тс/м (формула (8.59); п. 8.1.33)} .$$

Длина проекции наклонного сечения:

$$c = \sqrt{2 R_{bt} b h_0^2 / q_{sw}} = \\ = \sqrt{2 \cdot 0,945 \cdot 1 \cdot 0,63^2 / 0,6594} = 1,06659 \text{ м} = 106,66 \text{ см} .$$

$$\text{Т.к. } c = 1,06659 \text{ м} = 106,659 \text{ см} \leq 2 h_0 = 2 \cdot 0,63 = 1,26 \text{ м} = 126 \text{ см} \text{ и } c = 1,06659 \text{ м} = 106,659 \text{ см} \geq h_0 = 0,63 \text{ м} = 63 \text{ см} :$$

Поперечная сила, воспринимаемая бетоном:

$$Q_b = \varphi_{b2} R_{bt} b h_0^2 / c = \\ = 1,5 \cdot 0,945 \cdot 1 \cdot 0,63^2 / 1,06659 = 0,52748 \text{ МН} = 53,79 \text{ тс (формула (8.57); п. 8.1.33)} .$$

Усилие в поперечной арматуре:

$$Q_{sw} = \varphi_{sw} q_{sw} c = \\ = 0,75 \cdot 0,6594 \cdot 1,06659 = 0,52748 \text{ МН} = 53,79 \text{ тс (формула (8.58); п. 8.1.33)} .$$

$$q_{sw} = 0,6594 \text{ МН} = 67,24009 \text{ тс} \geq 0,25 R_{bt} b = 0,25 \cdot 0,945 \cdot 1 = 0,23625 \text{ МН} = 24,0908 \text{ тс (279,11111\% от предельного значения)} - \text{условие выполнено} .$$

$$Q = 0,66685 \text{ МН} = 67,99978 \text{ тс} \leq R_{bt} b h_0^2 / s_w = 0,945 \cdot 1 \cdot 0,63^2 / 0,2 = 1,87535 \text{ МН} = 191,23273 \text{ тс (35,55865\% от предельного значения)} - \text{условие выполнено} .$$

(из требования по ограничению шага арматуры)

$$s_w = 0,2 \text{ м} = 20 \text{ см} \leq \min(0,5 h_0 ; 0,3) = \min(0,5 \cdot 0,63; 0,3) = 0,3 \text{ м} = 30 \text{ см (66,66667\% от предельного значения)} - \text{условие выполнено} .$$

25) Продолжение расчета по п. п. 8.1.33 СП 63.13330.2012

Коэффициент, учитывающий влияние сжимающих и растягивающих напряжений:

$$\varphi_n = 1 .$$

$$Q = 0,66685 \text{ МН} = 67,99978 \text{ тс} \leq \varphi_n Q_b + Q_{sw} = 1 \cdot 0,52748 + 0,52748 = 1,05496 \text{ МН} = 107,57598 \text{ тс (63,21093\% от предельного значения)} - \text{условие выполнено (формула (8.56); п. 8.1.33)} .$$

26) Проверка требования минимального процента армирования

Арматура расположена по контуру сечения - не равномерно.

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a_s = 0,7 - 0,07 = 0,63 \text{ м} = 63 \text{ см} .$$

Коэффициент армирования:

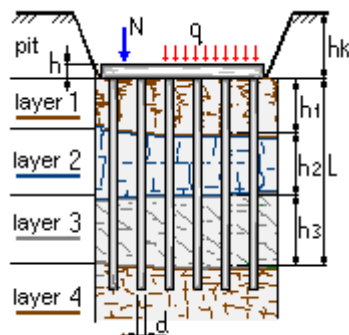
$$\mu_s = A_s / (b h_0) \cdot 100 = 0,00188 / (1 \cdot 0,63) \cdot 100 = 0,29841 \% .$$

$$\mu_s \geq 0,1 \% \text{ (298,41\% от предельного значения)} - \text{условие выполнено} .$$

Результаты расчета

Расчет плиты на свайном основании (PM6)

1. - Исходные данные:



Количество слоев 2

Характеристики грунта:

Номер слоя	Тип грунта	Модуль E	Ед. изм.	1 Точка, м	2 Точка, м	3 Точка, м	4 Точка, м
Слой 1	Глинистый	800	тс/м ²	h= 7,8	h= 7,8	h= 7,8	h= 7,8
Слой 2	Песчаный	2800	тс/м ²				

Исходные данные для расчета:

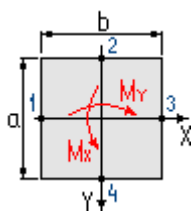
Прямоугольная плита

Наименование исходных данных	Величина	Ед. измерения
Длина вдоль Y	1,0	м
Ширина вдоль X	1,6	м
Допустимая расчетная нагрузка на сваю (Fd)	40	тс
Длина сваи (L)	8,5	м
Диаметр (сторона)	0,3	м
Толщина плиты	0,7	м
Вылет плиты за грань крайней сваи	0,35	м

Квадратные сваи

Приведенная нагрузка: $N = 70$ тс; $M_y = 0$ тс*м; $M_x = 0$ тс*м

2. - Выводы:



Требуемое количество свай 2 шт.

Ориентировочный шаг свай (для расчета осадки) 0,75 м

По расчету на продавливание рядовой сваей несущей способности плиты ДОСТАТОЧНО.

По расчету на продавливание угловой сваей несущей способности плиты ДОСТАТОЧНО.

Расположение свай принято равномерным по всей площади плиты.

Расчетный момент в плите $M = 23,76$ тс*м (на погонный метр)

Армирование симметричное, шаг 200 мм во всех направлениях.

Защитный слой 35 мм в верхней, 70 мм в нижней зоне плиты.

Арматура $d 18$ А 400 в обоих направлениях.

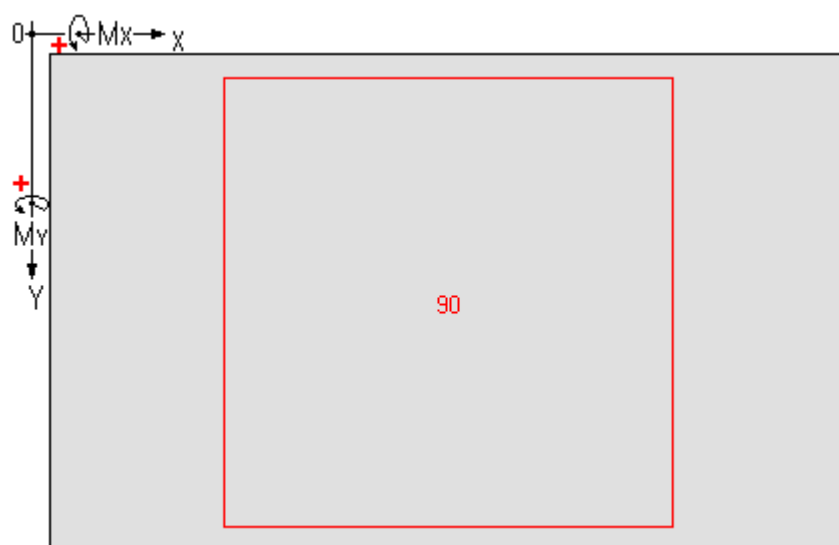
Армирование свайной плиты следует уточнить, выполнив расчет плиты на естественном основании с применением приведенного модуля деформации $E_{red} = 4573,26$ тс/м²

либо расчет плиты на упругих опорах (сваях) с коэффициентом упругости 5501,83 тс/м

Результаты расчета

Расчет плиты (PM6)

1. - Исходные данные:



Длина вдоль X 1,6 м
 Ширина вдоль Y 1 м
 Толщина плиты 0,7 м

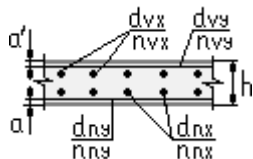
Характеристики грунта Суглинки
 Модуль деформации грунта 4570 тс/м²
 Коэффициент постели 6626,5 (тс/м)/м²

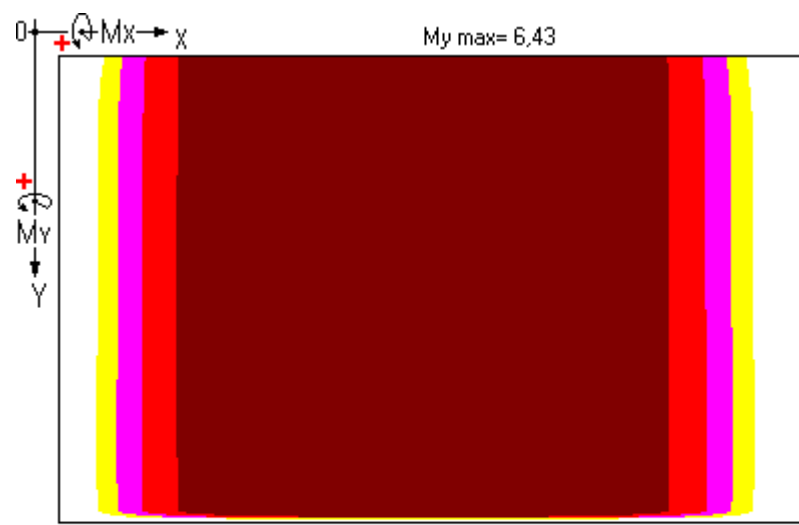
Расчетные нагрузки на конструкцию:

Полосовые нагрузки	начало x,y (м),	конец x,y (м),	величина q (тс/м ²),	Ширина (м)
1	0,8;0,05	0,8;0,95	90	0,9

Приведенные суммарные нагрузки на плиту:
 N= 73,54 тс; Mx= -0,88 тс*м; My= -1,18 тс*м

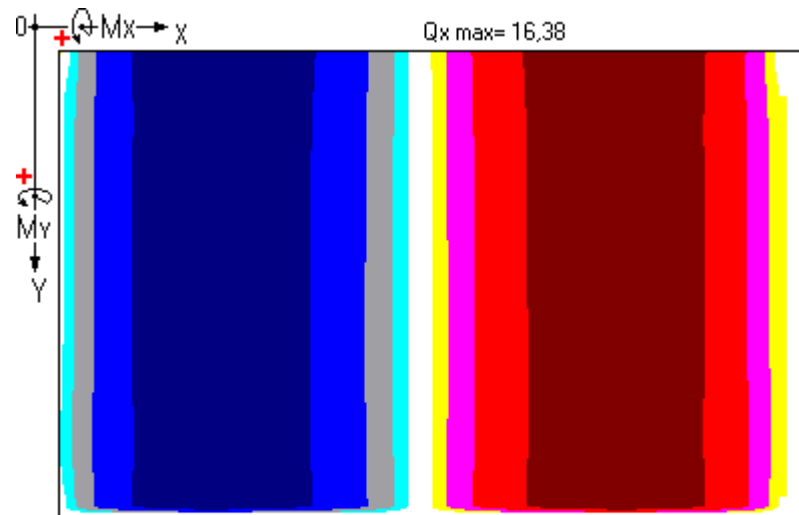
2. - Выводы:





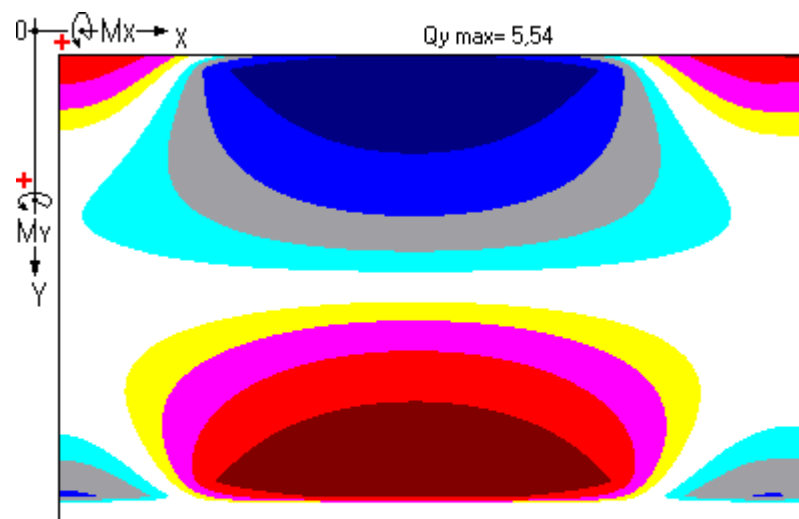
Эпюра моментов вокруг оси Y

$M_y \min = -0,03$



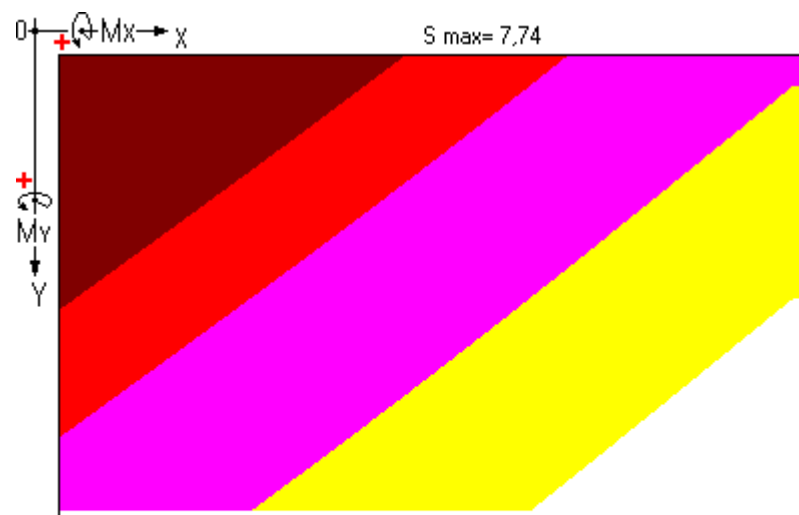
Эпюра поперечных сил вдоль оси X

$Q_x \min = -16,4$



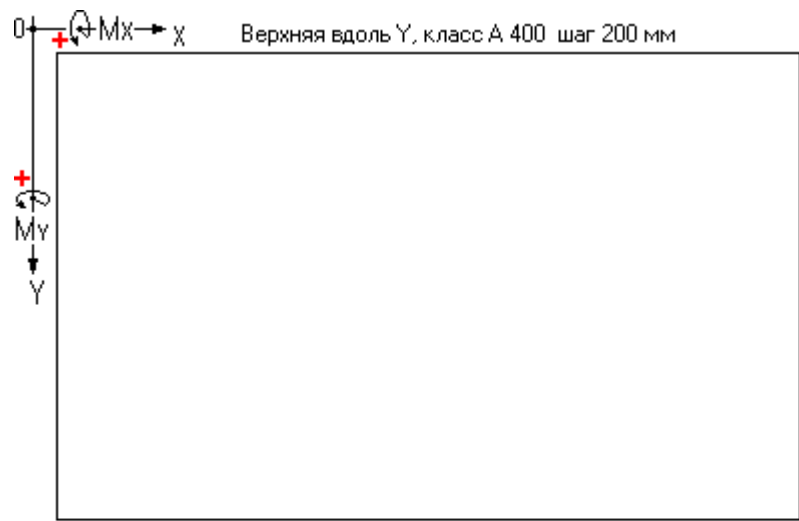
Эпюра поперечных сил вдоль оси Y

$Q_y \min = -5,06$



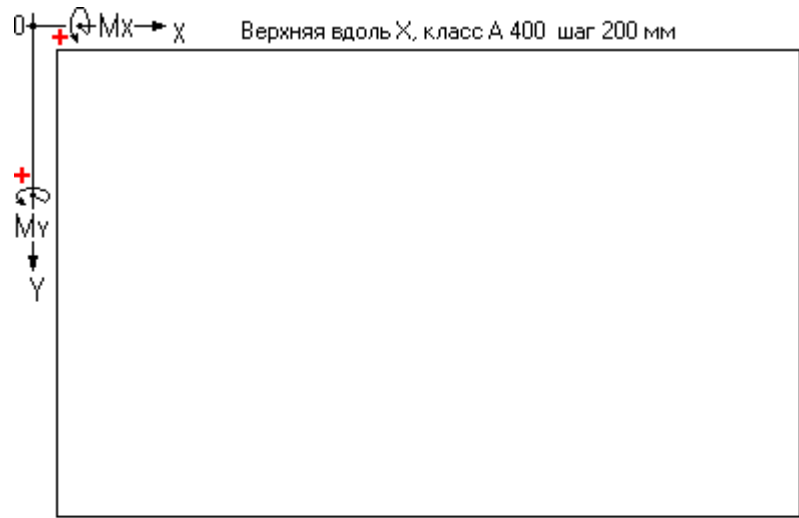
$S \min = 6,22$

Эпюра вертикальных перемещений, мм



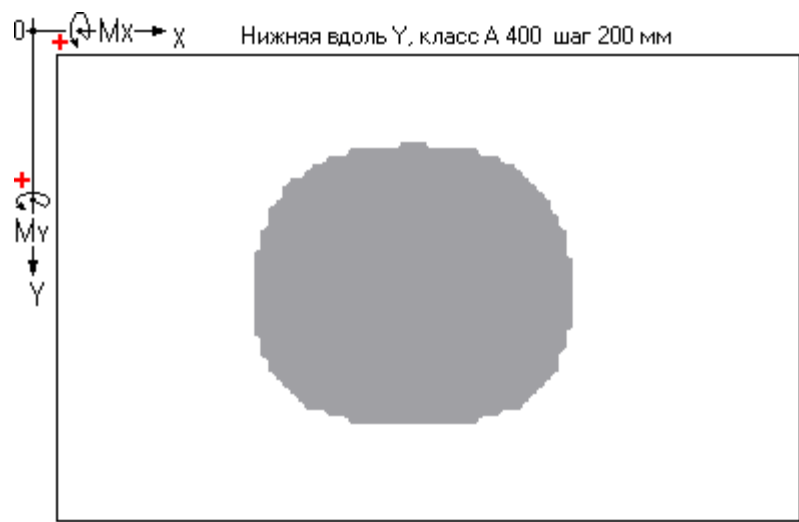
Бетон В15

Верхнее армирование плиты вдоль оси Y, d, мм



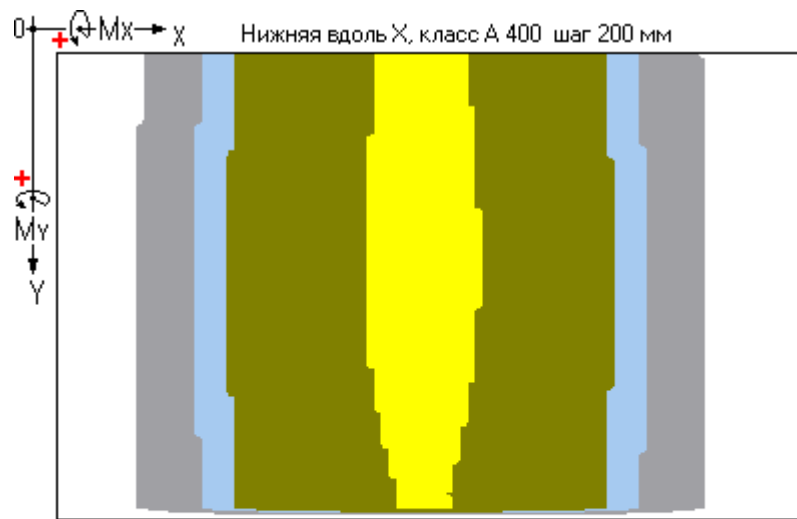
Бетон В15

Верхнее армирование плиты вдоль оси X, d, мм















Бетон В15

Нижнее армирование плиты вдоль оси Y, d, мм



Бетон В15

Нижнее армирование плиты вдоль оси X, d, мм

 d=3-5 мм	 d=10 мм	 d=16 мм	 d=22 мм	 d=32 мм
 d=6 мм	 d=12 мм	 d=18 мм	 d=25 мм	 d=36 мм
 d=8 мм	 d=14 мм	 d=20 мм	 d=28 мм	 d=40 мм

Цветовая палитра полей армирования

Расчет балок прямоугольного сечения по прочности при изгибе в одной плоскости. Нижняя арматура вдоль оси X

Информация о расчете:

Дата выполнения расчета: 15.11.2021 8:55:56;

Исходные данные:

Защитный слой:

- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S до грани сечения
 $a_s = 8 \text{ см} = 8 / 100 = 0,08 \text{ м};$
- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S' до грани сечения
 $a'_s = 4 \text{ см} = 4 / 100 = 0,04 \text{ м};$

Площадь ненапрягаемой наиболее растянутой продольной арматуры:

- (Стержневая арматура, диаметром 14 мм; 6 шт.):
- Площадь ненапрягаемой растянутой арматуры
 $A_s = 9,2 \text{ см}^2 = 9,2 / 10000 = 0,00092 \text{ м}^2;$

Площадь ненапрягаемой сжатой или наименее растянутой продольной арматуры:

- (Стержневая арматура, диаметром 10 мм; 6 шт.):
- Площадь ненапрягаемой сжатой арматуры $A'_s = 4,7 \text{ см}^2 = 4,7 / 10000 = 0,00047 \text{ м}^2;$

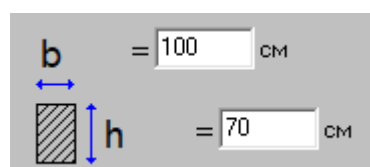
Площадь поперечной арматуры:

- (Стержневая арматура, диаметром 10 мм; 6 шт.):
- Площадь поперечной арматуры $A_{sw} = 4,71 \text{ см}^2 = 4,71 / 10000 = 0,000471 \text{ м}^2;$

Поперечная арматура:

- Шаг стержней поперечной арматуры $s_w = 20 \text{ см} = 20 / 100 = 0,2 \text{ м};$

Размеры сечения:

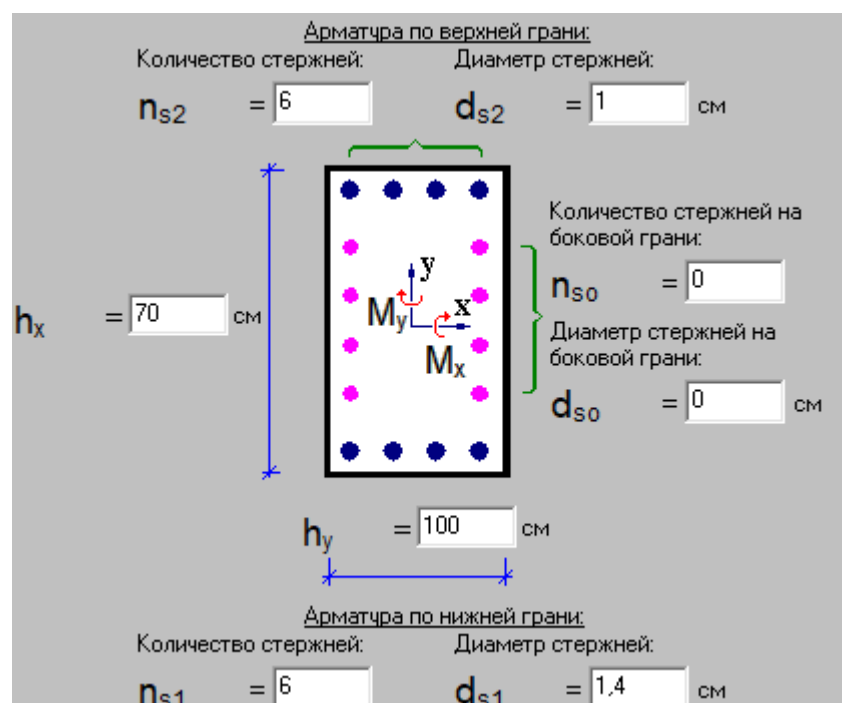


- Высота сечения $h = 70 \text{ см} = 70 / 100 = 0,7 \text{ м};$
- Ширина прямоугольного сечения $b = 100 \text{ см} = 100 / 100 = 1 \text{ м};$

Усилия:

- Изгибающий момент $M = 6,5 \text{ тс м} = 6,5 / 101,97162123 = 0,06374 \text{ МН м}$;
- Поперечная сила $Q = 17 \text{ тс} = 17 / 101,97162123 = 0,16671 \text{ МН}$;

Характеристики арматуры при расчете на кручение:



- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у нижней грани элемента $d_{s1} = 1,4 \text{ см} = 1,4 / 100 = 0,014 \text{ м}$;
- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у нижней грани элемента $n_{s1} = 6$;
- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у верхней грани элемента $d_{s2} = 1 \text{ см} = 1 / 100 = 0,01 \text{ м}$;
- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у верхней грани элемента $n_{s2} = 6$;
- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у боковой грани элемента $d_{s0} = 0 \text{ см} = 0 / 100 = 0 \text{ м}$;
- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у боковой грани элемента $n_{s0} = 0$;

Результаты расчета:

1) Расчетное сопротивление бетона

Конструкция - железобетонная.

Предварительное напряжение арматуры - отсутствует.

Класс бетона - В25.

Бетон - тяжелый.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{bn} = 18,5 \text{ МПа}$.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{btn} = 1,55 \text{ МПа}$.

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию принимается по табл. 6.8 $R_b = 14,5 \text{ МПа}$.

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению принимается по табл. 6.8 $R_{bt} = 1,05 \text{ МПа}$.

Класс бетона по прочности:

$B = 25$.

2) Продолжение расчета по п. п. 8.1 СП 63.13330.2012

Расчет - балок.

Элемент - изгибаемый.

Изгиб элемента - в одной плоскости.

3) Учет особенностей работы бетона в конструкции

Действие нагрузки - продолжительное.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий длительность действия нагрузки:

$$\gamma_{b1} = 0,9 .$$

Конструкция бетонируется - в горизонтальном положении.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий бетонирование в вертикальном положении:
 $\gamma_{b3} = 1 .$

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий характер разрушения ячеистого бетона:
 $\gamma_{b4} = 1 .$

Для надземной конструкции, при расчетной температуре наружного воздуха в зимний период не менее -40 град.:

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий влияние попеременного замораживания и оттаивания:
 $\gamma_{b5} = 1 .$

Группа предельных состояний - первая.

Сейсмичность площадки строительства - не более 6 баллов.

Коэффициент условия работы по СП 14.13330 "Строительство в сейсмических районах":
 $m_{кр} = 1 .$

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию при $m_{кр} = 1$:
 $R_b = \gamma_{b1} \gamma_{b3} \gamma_{b4} \gamma_{b5} R_b =$
 $= 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 14,5 = 13,05 \text{ МПа} .$

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию:
 $R_b = m_{кр} \gamma_{b1} \gamma_{b3} \gamma_{b4} \gamma_{b5} R_b =$
 $= 1 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 14,5 = 13,05 \text{ МПа} .$

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению при расчете на действие поперечных сил:
 $R_{bt} = \gamma_{b1} R_{bt} = 0,9 \cdot 1,05 = 0,945 \text{ МПа} .$

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению:
 $R_{bt} = m_{кр} \gamma_{b1} R_{bt} = 1 \cdot 0,9 \cdot 1,05 = 0,945 \text{ МПа} .$

4) Определение значения начального модуля упругости бетона

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000 \text{ МПа} .$

5) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Т.к. $\gamma_{b1} < 1$:

Относительная влажность воздуха окружающей среды - выше 75%.

Коэффициент ползучести принимается по табл. 6.12 $\varphi_{b, cr} = 1,8 .$

6) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Начальный модуль упругости, принимаемый при продолжительном действии нагрузки:
 $E_b, \tau = E_b / (1 + \varphi_{b, cr}) =$
 $= 30000 / (1 + 1,8) = 10714,28571 \text{ МПа (формула (6.3); п. 6.1.15) .}$

7) Расчетные значения прочностных характеристик арматуры

Класс ненапрягаемой продольной арматуры - А400.

Расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению:
 $R_s = 350 \text{ МПа} .$

Расчетное сопротивление продольной арматуры сжатию:
 $R_{sc} = 350 \text{ МПа} .$

Поперечная арматура - рассматривается в данном расчете.

Класс поперечной арматуры - А400.

Расчетное сопротивление поперечной арматуры растяжению:
 $R_{sw} = 280 \text{ МПа} .$

Расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению:

$$R_s = m_{кр} R_s = 1 \cdot 350 = 350 \text{ МПа} .$$

Расчетное сопротивление продольной арматуры сжатию:

$$R_{sc} = m_{кр} R_{sc} = 1 \cdot 350 = 350 \text{ МПа} .$$

8) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа} .$$

9) Определение граничной относительной высоты сжатой зоны

Относительная деформация растянутой арматуры:

$$\epsilon_{s, el} = R_s/E_s = 350/200000 = 0,00175 \text{ (формула (8.2); п. 8.1.6) .}$$

Относительная деформация бетона:

$$\epsilon_{b2} = 0,0035 .$$

10) Продолжение расчета по п. п. 8.1.6 СП 63.13330.2012

Граничная относительная высота сжатой зоны:

$$\xi_R = 0,8/(1+\epsilon_{s, el}/\epsilon_{b2}) = \\ = 0,8/(1+0,00175/0,0035) = 0,53333 \text{ (формула (8.1); п. 8.1.6) .}$$

11) Расчет изгибаемых элементов

Сечение - прямоугольное.

$$\text{Т.к. } R_s A_s = 350 \cdot 0,00092 = 0,322 \text{ МН} = 32,83486 \text{ тс} > R_{sc} A'_s = 350 \cdot 0,00047 = 0,1645 \text{ МН} = 16,77433 \text{ тс} :$$

Высота сжатой зоны:

$$x = (R_s A_s - R_{sc} A'_s)/(R_b b) = \\ = (350 \cdot 0,00092 - 350 \cdot 0,00047)/(13,05 \cdot 1) = 0,01207 \text{ м} = 1,21 \text{ см (формула (8.5); п. 8.1) .}$$

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a_s = 0,7 - 0,08 = 0,62 \text{ м} = 62 \text{ см} .$$

Относительная высота сжатой зоны:

$$\xi = x/h_0 = 0,01207/0,62 = 0,01947 .$$

$$\text{Т.к. } \xi = 0,01947 \leq \xi_R = 0,53333; x > 0 \text{ м} = 0 \text{ см} :$$

Предельный изгибающий момент:

$$M_{ult} = R_b b x (h_0 - 0,5 x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a'_s) = \\ = 13,05 \cdot 1 \cdot 0,01207 \cdot (0,62 - 0,5 \cdot 0,01207) + 350 \cdot 0,00047 \cdot (0,62 - 0,04) = 0,19212 \text{ МН м} = 19,59 \text{ тс м (формула (8.4); п. 8.1.9) .}$$

$M = 0,06374 \text{ МН м} = 6,49967 \text{ тс м} \leq M_{ult} = 0,19212 \text{ МН м} = 19,59079 \text{ тс м}$ (33,17718% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.3); п. п. 8.1.8).

12) Определение значения начального модуля упругости бетона

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000 \text{ МПа}$.

13) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Т.к. $\gamma_{b1} < 1$:

Коэффициент ползучести принимается по табл. 6.12 $\varphi_{b, cr} = 1,8$.

14) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Начальный модуль упругости, принимаемый при продолжительном действии нагрузки:

$$E_b, \tau = E_b/(1+\varphi_{b, cr}) = \\ = 30000/(1+1,8) = 10714,28571 \text{ МПа (формула (6.3); п. 6.1.15) .}$$

15) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа} .$$

16) Определение характеристик приведенного сечения

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:

$$\alpha_s = E_s/E_b = 200000/10714,29 = 18,66666 .$$

$$h'_o = h - a'_s = 0,7 - 0,04 = 0,66 \text{ м} = 66 \text{ см} .$$

Площадь сечения:

$$A = b h = 1 \cdot 0,7 = 0,7 \text{ м}^2 = 7000 \text{ см}^2 .$$

Статический момент бетонного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_t = b h^2/2 = 1 \cdot 0,7^2/2 = 0,245 \text{ м}^3 = 245000 \text{ см}^3 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00047 - 0,00092 = 0,69861 \text{ м}^2 = 6986,1 \text{ см}^2 .$$

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{red} = \alpha_s (A_s + A'_s) + A_b = 18,66666 \cdot (0,00092 + 0,00047) + 0,69861 = 0,72456 \text{ м}^2 = 7245,6 \text{ см}^2 .$$

Статический момент приведенного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$\begin{aligned} S_{t, red} &= (\alpha_s - 1) (A_s a_s + A'_s (h - a'_s)) + b h^2/2 = \\ &= (18,66666 - 1) \cdot (0,00092 \cdot 0,08 + 0,00047 \cdot (0,7 - 0,04)) + 1 \cdot 0,7^2/2 = 0,25178 \text{ м}^3 = 251780 \text{ см}^3 . \end{aligned}$$

Координата центра тяжести расчетного контура:

$$y_o = S_{t, red}/A_{red} = 0,25178/0,72456 = 0,34749 \text{ м} = 34,75 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее растянутого волокна бетона до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_t = y_o = 0,34749 \text{ м} = 34,75 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_c = h - y_t = 0,7 - 0,34749 = 0,35251 \text{ м} = 35,25 \text{ см} .$$

$$y_s = y_o - a_s = 0,34749 - 0,08 = 0,26749 \text{ м} = 26,75 \text{ см} .$$

$$y'_s = h - a_s - a'_s - y_s = 0,7 - 0,08 - 0,04 - 0,26749 = 0,31251 \text{ м} = 31,25 \text{ см} .$$

Момент инерции бетонного сечения относительно центра тяжести приведенного сечения:

$$\begin{aligned} I &= b h^3/12 + A (h/2 - y_t)^2 = \\ &= 1 \cdot 0,7^3/12 + 0,7 \cdot (0,7/2 - 0,34749)^2 = 0,02859 \text{ м}^4 = 2859000 \text{ см}^4 . \end{aligned}$$

17) Определение момента образования трещин

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:

$$R_{b, ser} = R_{bn} = 18,5 \text{ МПа} .$$

Расчетное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний второй группы:

$$R_{bt, ser} = R_{btn} = 1,55 \text{ МПа} .$$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_c)^2 = 0,00092 \cdot (0,7 - 0,08 - 0,35251)^2 = 0,000065827 \text{ м}^4 = 6582,7 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$\begin{aligned} I'_s &= A'_s (y_c - a'_s)^2 = \\ &= 0,00047 \cdot (0,35251 - 0,04)^2 = 0,000045901 \text{ м}^4 = 4590,1 \text{ см}^4 . \end{aligned}$$

18) Продолжение расчета по п. п. 8.2.12 СП 63.13330.2012

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$\begin{aligned} I_{red} &= I + I_s (\alpha_s - 1) + I'_s (\alpha_s - 1) = \\ &= 0,02859 + 0,000065827 \cdot (18,66666 - 1) + 0,000045901 \cdot (18,66666 - 1) = 0,03056 \text{ м}^4 = 3056000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.125); п. 8.2.12) .} \end{aligned}$$

Упругий момент сопротивления приведенного сечения:

$$W_{red} = I_{red}/y_t = 0,03056/0,34749 = 0,08794 \text{ м}^3 = 87940 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.123); п. 8.2.12) .}$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны:

$$e_x = W_{red}/A_{red} = 0,08794/0,72456 = 0,12137 \text{ м} = 12,14 \text{ см} \text{ (формула (8.124); п. 8.2.12) .}$$

Момент образования трещин определяется - с учетом неупругих деформаций.

Упругопластический момент сопротивления сечения:

$$W_{pl} = 1,3 W_{red} = 1,3 \cdot 0,08794 = 0,11432 \text{ м}^3 = 114320 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.122); п. 8.2.11).}$$

Изгибающий момент, воспринимаемый нормальным сечением элемента при образовании трещин:

$$M_{crc} = R_{bt, ser} W_{pl} = 1,55 \cdot 0,11432 = 0,1772 \text{ МН м} = 18,07 \text{ тс м (формула (8.121); п. 8.2.11).}$$

19) Проверка необходимости увеличения площади сечения продольной растянутой арматуры, если предельное усилие по прочности меньше предельного усилия по образованию трещин

$$\text{Т.к. } M_{ult} = 0,19212 \text{ МН м} = 19,59079 \text{ тс м} \geq M_{crc} = 0,1772 \text{ МН м} = 18,06937 \text{ тс м} :$$

в соответствии с п. 8.1.3 при M_{ult} не менее M_{crc} площадь сечения растянутой продольной арматуры не должна быть увеличена по сравнению с требуемой.

20) Проверка необходимости сжатой арматуры

(проверяем несущую способность, предполагая отсутствие сжатой арматуры)

Высота сжатой зоны:

$$\begin{aligned} x &= R_s A_s / (R_b b) = \\ &= 350 \cdot 0,00092 / (13,05 \cdot 1) = 0,02467 \text{ м} = 2,47 \text{ см (формула (8.5); п. 8.1).} \end{aligned}$$

Относительная высота сжатой зоны:

$$\xi = x/h_0 = 0,02467/0,62 = 0,03979 .$$

$$\text{Т.к. } \xi = 0,03979 \leq \xi_R = 0,53333 :$$

Предельный изгибающий момент:

$$\begin{aligned} M_{ult} &= R_b b x (h_0 - 0,5 x) = \\ &= 13,05 \cdot 1 \cdot 0,02467 \cdot (0,62 - 0,5 \cdot 0,02467) = 0,19563 \text{ МН м} = 19,95 \text{ тс м (формула (8.4); п. 8.1).} \end{aligned}$$

21) Продолжение расчета по п. п. 8.1.8 СП 63.13330.2012

$$\text{Т.к. } M = 0,06374 \text{ МН м} = 6,49967 \text{ тс м} \leq M_{ult} = 0,19563 \text{ МН м} = 19,94871 \text{ тс м} :$$

- сжатая арматура по расчету не требуется, поэтому не требуется устанавливать поперечную арматуру в соответствии с п. 10.3.14.

22) Расчет железобетонных элементов по полосе между наклонными сечениями

Коэффициент:

$$\phi_{b1} = 0,3 .$$

Приведенное значение толщины защитного слоя растянутой арматуры:

$$a = a_s = 0,08 \text{ м} = 8 \text{ см} .$$

Приведенное значение толщины защитного слоя сжатой арматуры:

$$a' = a'_s = 0,04 \text{ м} = 4 \text{ см} .$$

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a = 0,7 - 0,08 = 0,62 \text{ м} = 62 \text{ см} .$$

23) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа} .$$

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:

$$\alpha_s = E_s/E_b = 200000/10714,29 = 18,66666 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00047 - 0,00092 = 0,69861 \text{ м}^2 = 6986,1 \text{ см}^2 .$$

Приведенная площадь сечения элемента с учетом продольной арматуры:

$$\begin{aligned} A &= A_b + \alpha_s (A'_s + A_s) = \\ &= 0,69861 + 18,66666 \cdot (0,00047 + 0,00092) = 0,72456 \text{ м}^2 = 7245,6 \text{ см}^2 . \end{aligned}$$

Коэффициент, учитывающий влияние сжимающих и растягивающих напряжений:

$$\varphi_n = 1 .$$

$Q = 0,16671 \text{ МН} = 16,99969 \text{ тс} \leq \varphi_n \varphi_{b1} R_b b h_0 = 1 \cdot 0,3 \cdot 13,05 \cdot 1 \cdot 0,62 = 2,4273 \text{ МН} = 247,51572 \text{ тс}$ (6,86813% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.55); п. 8.1.32).

24) Расчет железобетонных элементов по наклонным сечениям на действие поперечных сил

Коэффициент:

$$\varphi_{b2} = 1,5 .$$

Т.к. $Q = 0,16671 \text{ МН} = 16,99969 \text{ тс} \leq 0,5 R_{bt} b h_0 = 0,5 \cdot 0,945 \cdot 1 \cdot 0,62 = 0,29295 \text{ МН} = 29,87259 \text{ тс} :$

- поперечная сила по расчету воспринимается только бетоном, расчет ведется без учета поперечной арматуры.

Поперечная сила, воспринимаемая бетоном:

$$Q_b = 0,5 R_{bt} b h_0 = 0,5 \cdot 0,945 \cdot 1 \cdot 0,62 = 0,29295 \text{ МН} = 29,87 \text{ тс} .$$

Усилие в поперечной арматуре:

$$Q_{sw} = 0 \text{ МН} .$$

Т.к. $Q = 0,16671 \text{ МН} = 16,99969 \text{ тс} \leq 0,5 R_{bt} b h_0 = 0,5 \cdot 0,945 \cdot 1 \cdot 0,62 = 0,29295 \text{ МН} = 29,87259 \text{ тс} :$

- поперечная арматура не требуется; в балках и ребрах высотой 150 мм и более, а также в часторебристых плитах высотой 300 мм и более, на участках элемента, где поперечная сила по расчету воспринимается только бетоном, следует предусматривать установку поперечной арматуры с шагом не более $0,75 h_0$ и не более 500 мм.

Т.к. $h \geq 0,15 \text{ м} = 15 \text{ см} :$

$s_w = 0,2 \text{ м} = 20 \text{ см} \leq \min(0,75 h_0 ; 0,5) = \min(0,75 \cdot 0,62; 0,5) = 0,465 \text{ м} = 46,5 \text{ см}$ (43,01075% от предельного значения) - условие выполнено .

25) Продолжение расчета по п. п. 8.1.33 СП 63.13330.2012

Коэффициент, учитывающий влияние сжимающих и растягивающих напряжений:

$$\varphi_n = 1 .$$

$Q = 0,16671 \text{ МН} = 16,99969 \text{ тс} \leq \varphi_n Q_b + Q_{sw} = 1 \cdot 0,29295 + 0 = 0,29295 \text{ МН} = 29,87259 \text{ тс}$ (56,90732% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.56); п. 8.1.33).

26) Проверка требования минимального процента армирования

Арматура расположена по контуру сечения - не равномерно.

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a_s = 0,7 - 0,08 = 0,62 \text{ м} = 62 \text{ см} .$$

Коэффициент армирования:

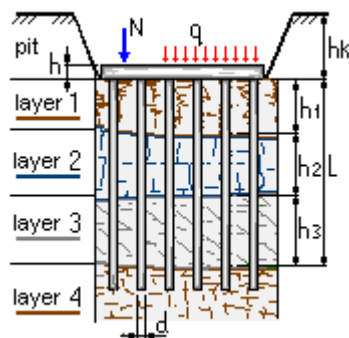
$$\mu_s = A_s / (b h_0) \cdot 100 = 0,00092 / (1 \cdot 0,62) \cdot 100 = 0,14839 \% .$$

$\mu_s \geq 0,1 \%$ (148,39% от предельного значения) - условие выполнено .

Результаты расчета

Расчет плиты на свайном основании

1. - Исходные данные:



Количество слоев 2

Характеристики грунта:

Номер слоя	Тип грунта	Модуль E	Ед. изм.	1 Точка, м	2 Точка, м	3 Точка, м	4 Точка, м
Слой 1	Глинистый	800	тс/м ²	h= 7,8	h= 7,8	h= 7,8	h= 7,8
Слой 2	Песчаный	2800	тс/м ²				

Исходные данные для расчета:

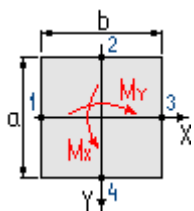
Прямоугольная плита

Наименование исходных данных	Величина	Ед. измерения
Длина вдоль Y	1	м
Ширина вдоль X	1,6	м
Допустимая расчетная нагрузка на сваю (Fd)	40	тс
Длина сваи (L)	8,5	м
Диаметр (сторона)	0,35	м
Толщина плиты	0,7	м
Вылет плиты за грань крайней сваи	0,35	м

Квадратные сваи

Приведенная нагрузка: $N = 86$ тс; $M_y = 0,5$ тс*м; $M_x = 1,2$ тс*м

2. - Выводы:



Требуемое количество свай 3 шт.

Ориентировочный шаг свай (для расчета осадки) 0,42 м

По расчету на продавливание рядовой сваей несущей способности плиты ДОСТАТОЧНО.

По расчету на продавливание угловой сваей несущей способности плиты ДОСТАТОЧНО.

Расположение свай принято равномерным по всей площади плиты.

Расчетный момент в плите $M = 9,28$ тс*м (на погонный метр)

Армирование симметричное, шаг 200 мм во всех направлениях.

Защитный слой 35 мм в верхней, 70 мм в нижней зоне плиты.

Арматура $d 12$ А 400 в обоих направлениях.

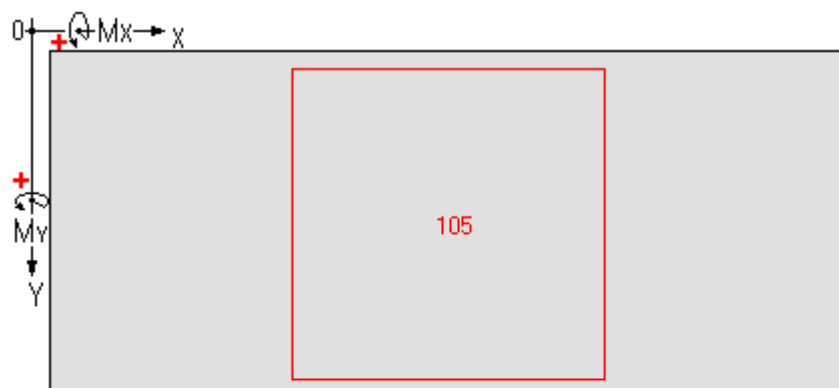
Армирование свайной плиты следует уточнить, выполнив расчет плиты на естественном основании с применением приведенного модуля деформации $E_{red} = 7434,88$ тс/м²

либо расчет плиты на упругих опорах (сваях) с коэффициентом упругости 5962,98 тс/м

Результаты расчета

Расчет плиты

1. - Исходные данные:



Длина вдоль X 2,3 м
 Ширина вдоль Y 1 м
 Толщина плиты 0,7 м

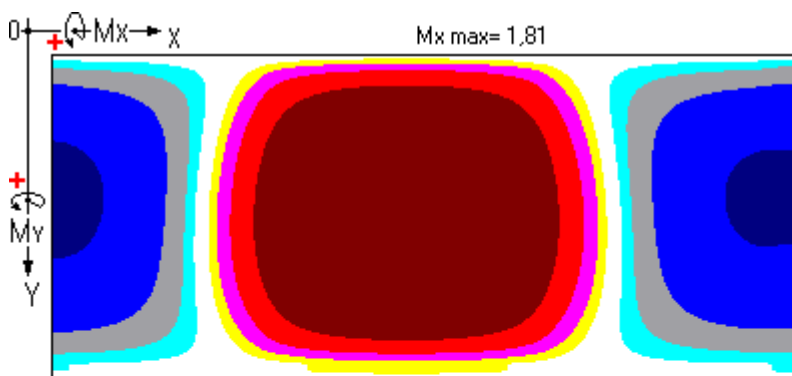
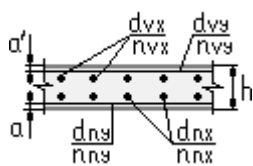
Характеристики грунта Суглинки
 Модуль деформации грунта 7440 тс/м²
 Коэффициент постели 10788 (тс/м)/м²

Расчетные нагрузки на конструкцию:

Полосовые нагрузки	начало x,y (м),	конец x,y (м),	величина q (тс/м ²),	Ширина (м)
1	1,15;0,05	1,15;0,95	105	0,9

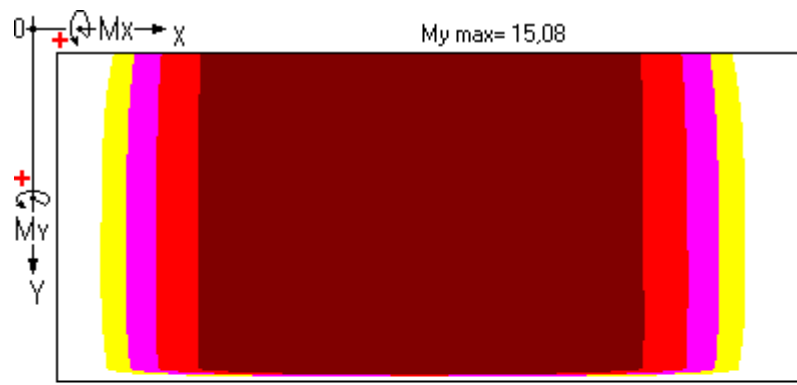
Приведенные суммарные нагрузки на плиту:
 N= 84,48 тс; Mx= -1,45 тс*м; My= -1,94 тс*м

2. - Выводы:

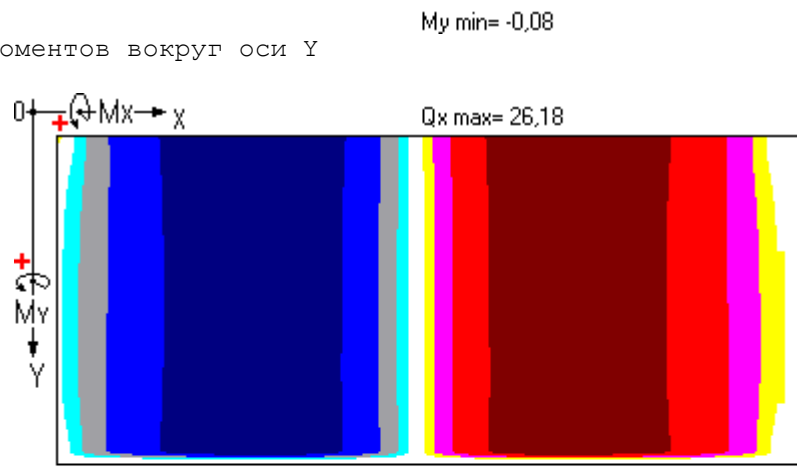


Mx min= -0,71

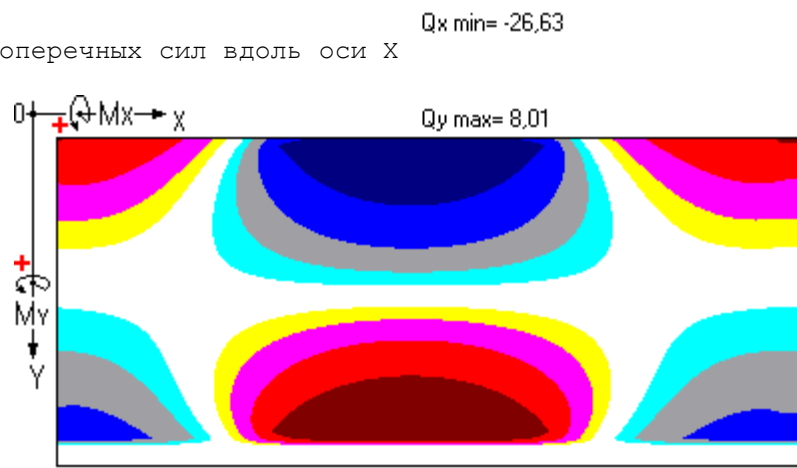
Эпюра моментов вокруг оси X



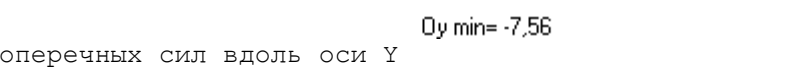
Эпюра моментов вокруг оси Y

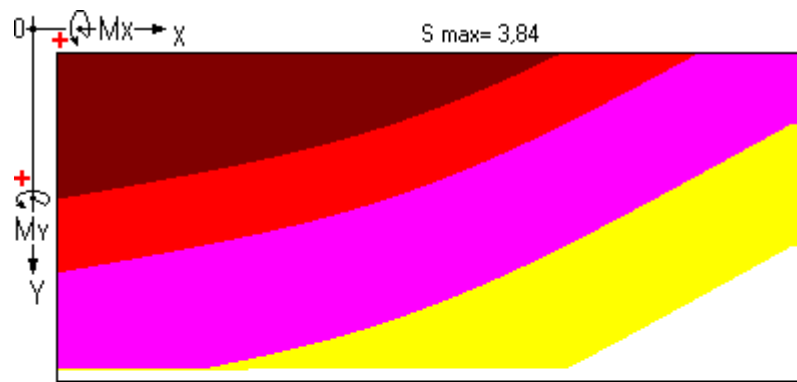


Эпюра поперечных сил вдоль оси X

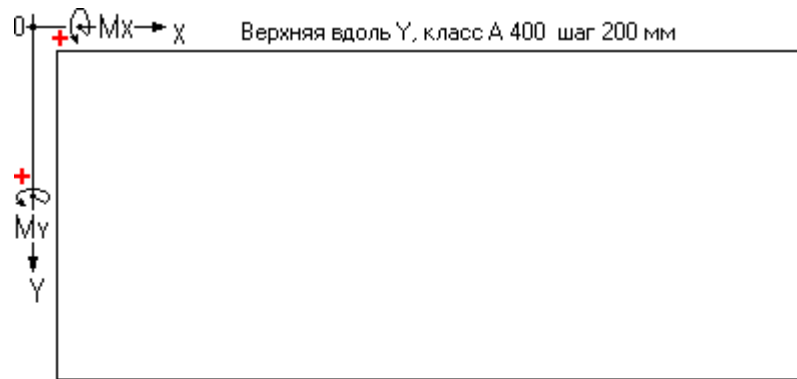


Эпюра поперечных сил вдоль оси Y

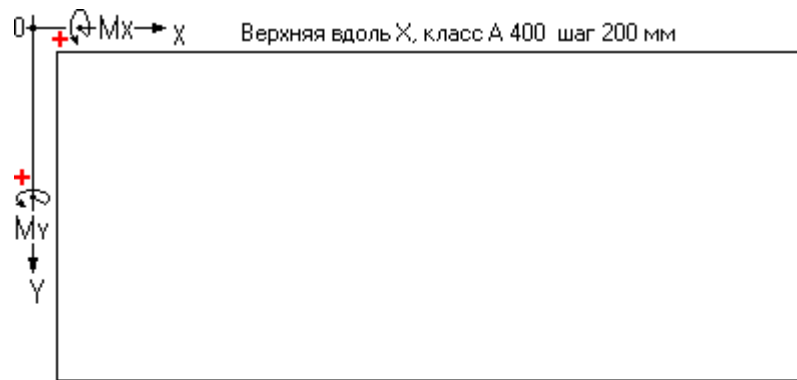




Эпюра вертикальных перемещений, мм
 $S_{\min} = 2,95$



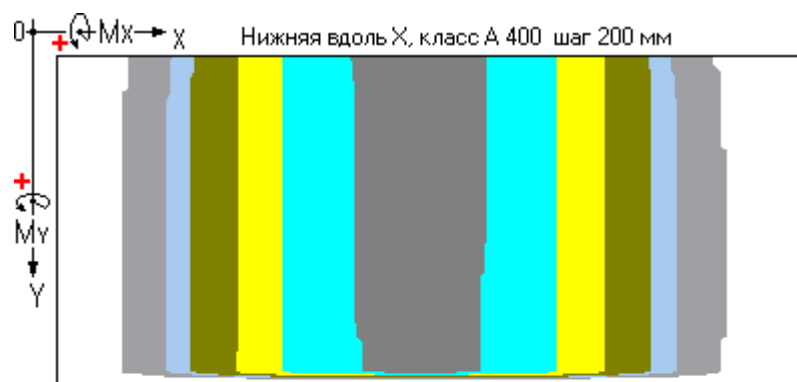
Бетон В15
 Верхнее армирование плиты вдоль оси Y, d, мм



Бетон В15
 Верхнее армирование плиты вдоль оси X, d, мм


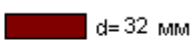



Нижнее армирование плиты вдоль оси Y, d, мм



Бетон В15

Нижнее армирование плиты вдоль оси X, d, мм

 d=3-5 мм	 d=10 мм	 d=16 мм	 d=22 мм	 d=32 мм
 d=6 мм	 d=12 мм	 d=18 мм	 d=25 мм	 d=36 мм
 d=8 мм	 d=14 мм	 d=20 мм	 d=28 мм	 d=40 мм

Цветовая палитра полей армирования

Расчет балок прямоугольного сечения по прочности при изгибе в одной плоскости

Информация о расчете:

Дата выполнения расчета: 09.11.2021 16:09:55;

Исходные данные:

Защитный слой:

- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S до грани сечения

$$a_s = 7 \text{ см} = 7 / 100 = 0,07 \text{ м};$$

- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S' до грани сечения

$$a'_s = 4 \text{ см} = 4 / 100 = 0,04 \text{ м};$$

Площадь ненапрягаемой наиболее растянутой продольной арматуры:

(Стержневая арматура, диаметром 14 мм; 6 шт.):

- Площадь ненапрягаемой растянутой арматуры

$$A_s = 9,2 \text{ см}^2 = 9,2 / 10000 = 0,00092 \text{ м}^2;$$

Площадь ненапрягаемой сжатой или наименее растянутой продольной арматуры:

(Стержневая арматура, диаметром 10 мм; 6 шт.):

- Площадь ненапрягаемой сжатой арматуры $A'_s = 4,7 \text{ см}^2 = 4,7 / 10000 = 0,00047 \text{ м}^2;$

Площадь поперечной арматуры:

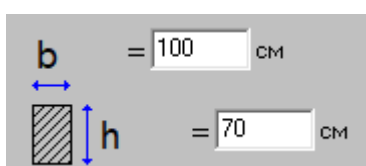
(Стержневая арматура, диаметром 10 мм; 6 шт.):

- Площадь поперечной арматуры $A_{sw} = 4,71 \text{ см}^2 = 4,71 / 10000 = 0,000471 \text{ м}^2;$

Поперечная арматура:

- Шаг стержней поперечной арматуры $s_w = 20 \text{ см} = 20 / 100 = 0,2 \text{ м};$

Размеры сечения:



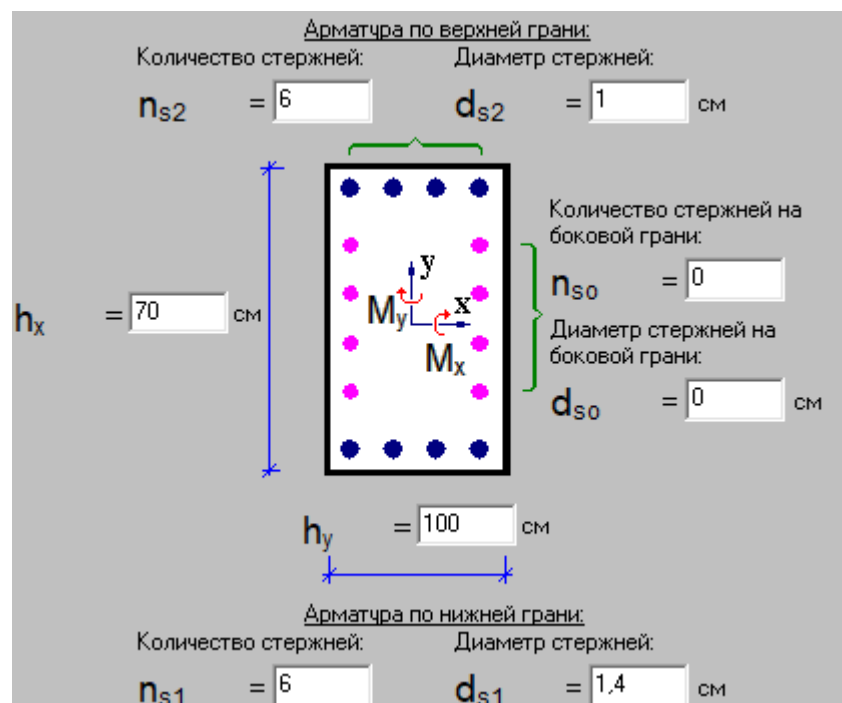
- Высота сечения $h = 70 \text{ см} = 70 / 100 = 0,7 \text{ м};$

- Ширина прямоугольного сечения $b = 100 \text{ см} = 100 / 100 = 1 \text{ м};$

Усилия:

- Изгибающий момент $M = 16 \text{ тс м} = 16 / 101,97162123 = 0,15691 \text{ МН м}$;
- Поперечная сила $Q = 27 \text{ тс} = 27 / 101,97162123 = 0,26478 \text{ МН}$;

Характеристики арматуры при расчете на кручение:



- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у нижней грани элемента $d_{s1} = 1,4 \text{ см} = 1,4 / 100 = 0,014 \text{ м}$;
- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у нижней грани элемента $n_{s1} = 6$;
- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у верхней грани элемента $d_{s2} = 1 \text{ см} = 1 / 100 = 0,01 \text{ м}$;
- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у верхней грани элемента $n_{s2} = 6$;
- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у боковой грани элемента $d_{s0} = 0 \text{ см} = 0 / 100 = 0 \text{ м}$;
- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у боковой грани элемента $n_{s0} = 0$;

Результаты расчета:

1) Расчетное сопротивление бетона

Конструкция - железобетонная.

Предварительное напряжение арматуры - отсутствует.

Класс бетона - В25.

Бетон - тяжелый.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{bn} = 18,5 \text{ МПа}$.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{btn} = 1,55 \text{ МПа}$.

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию принимается по табл. 6.8 $R_b = 14,5 \text{ МПа}$.

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению принимается по табл. 6.8 $R_{bt} = 1,05 \text{ МПа}$.

Класс бетона по прочности:

$B = 25$.

2) Продолжение расчета по п. п. 8.1 СП 63.13330.2012

Расчет - балок.

Элемент - изгибаемый.

Изгиб элемента - в одной плоскости.

3) Учет особенностей работы бетона в конструкции

Действие нагрузки - продолжительное.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий длительность действия нагрузки:

$$\gamma_{b1} = 0,9 .$$

Конструкция бетонируется - в горизонтальном положении.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий бетонирование в вертикальном положении:
 $\gamma_{b3} = 1 .$

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий характер разрушения ячеистого бетона:
 $\gamma_{b4} = 1 .$

Для надземной конструкции, при расчетной температуре наружного воздуха в зимний период не менее -40 град.:

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий влияние попеременного замораживания и оттаивания:
 $\gamma_{b5} = 1 .$

Группа предельных состояний - первая.

Сейсмичность площадки строительства - не более 6 баллов.

Коэффициент условия работы по СП 14.13330 "Строительство в сейсмических районах":
 $m_{кр} = 1 .$

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию при $m_{кр} = 1$:
 $R_b = \gamma_{b1} \gamma_{b3} \gamma_{b4} \gamma_{b5} R_b =$
 $= 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 14,5 = 13,05 \text{ МПа} .$

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию:
 $R_b = m_{кр} \gamma_{b1} \gamma_{b3} \gamma_{b4} \gamma_{b5} R_b =$
 $= 1 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 14,5 = 13,05 \text{ МПа} .$

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению при расчете на действие поперечных сил:
 $R_{bt} = \gamma_{b1} R_{bt} = 0,9 \cdot 1,05 = 0,945 \text{ МПа} .$

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению:
 $R_{bt} = m_{кр} \gamma_{b1} R_{bt} = 1 \cdot 0,9 \cdot 1,05 = 0,945 \text{ МПа} .$

4) Определение значения начального модуля упругости бетона

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000 \text{ МПа} .$

5) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Т.к. $\gamma_{b1} < 1$:

Относительная влажность воздуха окружающей среды - выше 75%.

Коэффициент ползучести принимается по табл. 6.12 $\varphi_{b, cr} = 1,8 .$

6) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Начальный модуль упругости, принимаемый при продолжительном действии нагрузки:
 $E_b, \tau = E_b / (1 + \varphi_{b, cr}) =$
 $= 30000 / (1 + 1,8) = 10714,28571 \text{ МПа (формула (6.3); п. 6.1.15) .}$

7) Расчетные значения прочностных характеристик арматуры

Класс ненапрягаемой продольной арматуры - А400.

Расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению:
 $R_s = 350 \text{ МПа} .$

Расчетное сопротивление продольной арматуры сжатию:
 $R_{sc} = 350 \text{ МПа} .$

Поперечная арматура - рассматривается в данном расчете.

Класс поперечной арматуры - А400.

Расчетное сопротивление поперечной арматуры растяжению:
 $R_{sw} = 280 \text{ МПа} .$

Расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению:

$$R_s = m_{кр} R_s = 1 \cdot 350 = 350 \text{ МПа} .$$

Расчетное сопротивление продольной арматуры сжатию:

$$R_{sc} = m_{кр} R_{sc} = 1 \cdot 350 = 350 \text{ МПа} .$$

8) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа} .$$

9) Определение граничной относительной высоты сжатой зоны

Относительная деформация растянутой арматуры:

$$\epsilon_{s, el} = R_s/E_s = 350/200000 = 0,00175 \text{ (формула (8.2); п. 8.1.6) .}$$

Относительная деформация бетона:

$$\epsilon_{b2} = 0,0035 .$$

10) Продолжение расчета по п. п. 8.1.6 СП 63.13330.2012

Граничная относительная высота сжатой зоны:

$$\xi_R = 0,8/(1+\epsilon_{s, el}/\epsilon_{b2}) = \\ = 0,8/(1+0,00175/0,0035) = 0,53333 \text{ (формула (8.1); п. 8.1.6) .}$$

11) Расчет изгибаемых элементов

Сечение - прямоугольное.

$$\text{Т.к. } R_s A_s = 350 \cdot 0,00092 = 0,322 \text{ МН} = 32,83486 \text{ тс} > R_{sc} A'_s = 350 \cdot 0,00047 = 0,1645 \text{ МН} = 16,77433 \text{ тс} :$$

Высота сжатой зоны:

$$x = (R_s A_s - R_{sc} A'_s)/(R_b b) = \\ = (350 \cdot 0,00092 - 350 \cdot 0,00047)/(13,05 \cdot 1) = 0,01207 \text{ м} = 1,21 \text{ см (формула (8.5); п. 8.1) .}$$

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a_s = 0,7 - 0,07 = 0,63 \text{ м} = 63 \text{ см} .$$

Относительная высота сжатой зоны:

$$\xi = x/h_0 = 0,01207/0,63 = 0,01916 .$$

$$\text{Т.к. } \xi = 0,01916 \leq \xi_R = 0,53333; x > 0 \text{ м} = 0 \text{ см} :$$

Предельный изгибающий момент:

$$M_{ult} = R_b b x (h_0 - 0,5 x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a'_s) = \\ = 13,05 \cdot 1 \cdot 0,01207 \cdot (0,63 - 0,5 \cdot 0,01207) + 350 \cdot 0,00047 \cdot (0,63 - 0,04) = 0,19534 \text{ МН м} = 19,92 \text{ тс м (формула (8.4); п. 8.1.9) .}$$

$$M = 0,15691 \text{ МН м} = 16,00037 \text{ тс м} \leq M_{ult} = 0,19534 \text{ МН м} = 19,91914 \text{ тс м (80,32661 \% от предельного значения) -} \\ \text{условие выполнено (формула (8.3); п. п. 8.1.8) .}$$

12) Определение значения начального модуля упругости бетона

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000 \text{ МПа} .$

13) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Т.к. $\gamma_{b1} < 1 :$

Коэффициент ползучести принимается по табл. 6.12 $\varphi_{b, cr} = 1,8 .$

14) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Начальный модуль упругости, принимаемый при продолжительном действии нагрузки:

$$E_b, \tau = E_b/(1+\varphi_{b, cr}) = \\ = 30000/(1+1,8) = 10714,28571 \text{ МПа (формула (6.3); п. 6.1.15) .}$$

15) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа} .$$

16) Определение характеристик приведенного сечения

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:

$$\alpha_s = E_s/E_b = 200000/10714,29 = 18,66666 .$$

$$h'_o = h - a'_s = 0,7 - 0,04 = 0,66 \text{ м} = 66 \text{ см} .$$

Площадь сечения:

$$A = b h = 1 \cdot 0,7 = 0,7 \text{ м}^2 = 7000 \text{ см}^2 .$$

Статический момент бетонного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_t = b h^2/2 = 1 \cdot 0,7^2/2 = 0,245 \text{ м}^3 = 245000 \text{ см}^3 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00047 - 0,00092 = 0,69861 \text{ м}^2 = 6986,1 \text{ см}^2 .$$

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{red} = \alpha_s (A_s + A'_s) + A_b = 18,66666 \cdot (0,00092 + 0,00047) + 0,69861 = 0,72456 \text{ м}^2 = 7245,6 \text{ см}^2 .$$

Статический момент приведенного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_{t, red} = (\alpha_s - 1) (A_s a_s + A'_s (h - a'_s)) + b h^2/2 = \\ = (18,66666 - 1) \cdot (0,00092 \cdot 0,07 + 0,00047 \cdot (0,7 - 0,04)) + 1 \cdot 0,7^2/2 = 0,25162 \text{ м}^3 = 251620 \text{ см}^3 .$$

Координата центра тяжести расчетного контура:

$$y_o = S_{t, red}/A_{red} = 0,25162/0,72456 = 0,34727 \text{ м} = 34,73 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее растянутого волокна бетона до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_t = y_o = 0,34727 \text{ м} = 34,73 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_c = h - y_t = 0,7 - 0,34727 = 0,35273 \text{ м} = 35,27 \text{ см} .$$

$$y_s = y_o - a_s = 0,34727 - 0,07 = 0,27727 \text{ м} = 27,73 \text{ см} .$$

$$y'_s = h - a_s - a'_s - y_s = 0,7 - 0,07 - 0,04 - 0,27727 = 0,31273 \text{ м} = 31,27 \text{ см} .$$

Момент инерции бетонного сечения относительно центра тяжести приведенного сечения:

$$I = b h^3/12 + A (h/2 - y_t)^2 = \\ = 1 \cdot 0,7^3/12 + 0,7 \cdot (0,7/2 - 0,34727)^2 = 0,02859 \text{ м}^4 = 2859000 \text{ см}^4 .$$

17) Определение момента образования трещин

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:

$$R_{b, ser} = R_{bn} = 18,5 \text{ МПа} .$$

Расчетное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний второй группы:

$$R_{bt, ser} = R_{btn} = 1,55 \text{ МПа} .$$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_c)^2 = 0,00092 \cdot (0,7 - 0,07 - 0,35273)^2 = 0,000070728 \text{ м}^4 = 7072,8 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$I'_s = A'_s (y_c - a'_s)^2 = \\ = 0,00047 \cdot (0,35273 - 0,04)^2 = 0,000045966 \text{ м}^4 = 4596,6 \text{ см}^4 .$$

18) Продолжение расчета по п. п. 8.2.12 СП 63.13330.2012

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{red} = I + I_s (\alpha_s - 1) + I'_s (\alpha_s - 1) = \\ = 0,02859 + 0,000070728 \cdot (18,66666 - 1) + 0,000045966 \cdot (18,66666 - 1) = 0,03065 \text{ м}^4 = 3065000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.125); п. 8.2.12)} .$$

Упругий момент сопротивления приведенного сечения:

$$W_{red} = I_{red}/y_t = 0,03065/0,34727 = 0,08826 \text{ м}^3 = 88260 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.123); п. 8.2.12)} .$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны:

$$e_x = W_{red}/A_{red} = 0,08826/0,72456 = 0,12181 \text{ м} = 12,18 \text{ см} \text{ (формула (8.124); п. 8.2.12)} .$$

Момент образования трещин определяется - с учетом неупругих деформаций.

Упругопластический момент сопротивления сечения:

$$W_{pl} = 1,3 W_{red} = 1,3 \cdot 0,08826 = 0,11474 \text{ м}^3 = 114740 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.122); п. 8.2.11).}$$

Изгибающий момент, воспринимаемый нормальным сечением элемента при образовании трещин:

$$M_{crc} = R_{bt, ser} W_{pl} = 1,55 \cdot 0,11474 = 0,17785 \text{ МН м} = 18,14 \text{ тс м (формула (8.121); п. 8.2.11).}$$

19) Проверка необходимости увеличения площади сечения продольной растянутой арматуры, если предельное усилие по прочности меньше предельного усилия по образованию трещин

$$\text{Т.к. } M_{ult} = 0,19534 \text{ МН м} = 19,91914 \text{ тс м} \geq M_{crc} = 0,17785 \text{ МН м} = 18,13565 \text{ тс м} :$$

в соответствии с п. 8.1.3 при M_{ult} не менее M_{crc} площадь сечения растянутой продольной арматуры не должна быть увеличена по сравнению с требуемой.

20) Проверка необходимости сжатой арматуры

(проверяем несущую способность, предполагая отсутствие сжатой арматуры)

Высота сжатой зоны:

$$x = R_s A_s / (R_b b) = \\ = 350 \cdot 0,00092 / (13,05 \cdot 1) = 0,02467 \text{ м} = 2,47 \text{ см (формула (8.5); п. 8.1).}$$

Относительная высота сжатой зоны:

$$\xi = x/h_0 = 0,02467/0,63 = 0,03916 .$$

$$\text{Т.к. } \xi = 0,03916 \leq \xi_R = 0,53333 :$$

Предельный изгибающий момент:

$$M_{ult} = R_b b x (h_0 - 0,5 x) = \\ = 13,05 \cdot 1 \cdot 0,02467 \cdot (0,63 - 0,5 \cdot 0,02467) = 0,19885 \text{ МН м} = 20,28 \text{ тс м (формула (8.4); п. 8.1).}$$

21) Продолжение расчета по п. п. 8.1.8 СП 63.13330.2012

$$\text{Т.к. } M = 0,15691 \text{ МН м} = 16,00037 \text{ тс м} \leq M_{ult} = 0,19885 \text{ МН м} = 20,27706 \text{ тс м} :$$

- сжатая арматура по расчету не требуется, поэтому не требуется устанавливать поперечную арматуру в соответствии с п. 10.3.14.

22) Расчет железобетонных элементов по полосе между наклонными сечениями

Коэффициент:

$$\phi_{b1} = 0,3 .$$

Приведенное значение толщины защитного слоя растянутой арматуры:

$$a = a_s = 0,07 \text{ м} = 7 \text{ см} .$$

Приведенное значение толщины защитного слоя сжатой арматуры:

$$a' = a'_s = 0,04 \text{ м} = 4 \text{ см} .$$

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a = 0,7 - 0,07 = 0,63 \text{ м} = 63 \text{ см} .$$

23) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа} .$$

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:

$$\alpha_s = E_s/E_b = 200000/10714,29 = 18,66666 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00047 - 0,00092 = 0,69861 \text{ м}^2 = 6986,1 \text{ см}^2 .$$

Приведенная площадь сечения элемента с учетом продольной арматуры:

$$A = A_b + \alpha_s (A'_s + A_s) = \\ = 0,69861 + 18,66666 \cdot (0,00047 + 0,00092) = 0,72456 \text{ м}^2 = 7245,6 \text{ см}^2 .$$

Коэффициент, учитывающий влияние сжимающих и растягивающих напряжений:

$$\varphi_n = 1 .$$

$Q = 0,26478 \text{ МН} = 27,00005 \text{ тс} \leq \varphi_n \varphi_{b1} R_b b h_0 = 1 \cdot 0,3 \cdot 13,05 \cdot 1 \cdot 0,63 = 2,46645 \text{ МН} = 251,50791 \text{ тс}$ (10,73527% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.55); п. 8.1.32).

24) Расчет железобетонных элементов по наклонным сечениям на действие поперечных сил

Коэффициент:

$$\varphi_{b2} = 1,5 .$$

Т.к. $Q = 0,26478 \text{ МН} = 27,00005 \text{ тс} \leq 0,5 R_{bt} b h_0 = 0,5 \cdot 0,945 \cdot 1 \cdot 0,63 = 0,29768 \text{ МН} = 30,3544 \text{ тс} :$

- поперечная сила по расчету воспринимается только бетоном, расчет ведется без учета поперечной арматуры.

Поперечная сила, воспринимаемая бетоном:

$$Q_b = 0,5 R_{bt} b h_0 = 0,5 \cdot 0,945 \cdot 1 \cdot 0,63 = 0,29768 \text{ МН} = 30,35 \text{ тс} .$$

Усилие в поперечной арматуре:

$$Q_{sw} = 0 \text{ МН} .$$

Т.к. $Q = 0,26478 \text{ МН} = 27,00005 \text{ тс} \leq 0,5 R_{bt} b h_0 = 0,5 \cdot 0,945 \cdot 1 \cdot 0,63 = 0,29768 \text{ МН} = 30,3544 \text{ тс} :$

- поперечная арматура не требуется; в балках и ребрах высотой 150 мм и более, а также в часторебристых плитах высотой 300 мм и более, на участках элемента, где поперечная сила по расчету воспринимается только бетоном, следует предусматривать установку поперечной арматуры с шагом не более $0,75 h_0$ и не более 500 мм.

Т.к. $h \geq 0,15 \text{ м} = 15 \text{ см} :$

$s_w = 0,2 \text{ м} = 20 \text{ см} \leq \min(0,75 h_0 ; 0,5) = \min(0,75 \cdot 0,63; 0,5) = 0,4725 \text{ м} = 47,25 \text{ см}$ (42,32804% от предельного значения) - условие выполнено .

25) Продолжение расчета по п. п. 8.1.33 СП 63.13330.2012

Коэффициент, учитывающий влияние сжимающих и растягивающих напряжений:

$$\varphi_n = 1 .$$

$Q = 0,26478 \text{ МН} = 27,00005 \text{ тс} \leq \varphi_n Q_b + Q_{sw} = 1 \cdot 0,29768 + 0 = 0,29768 \text{ МН} = 30,35491 \text{ тс}$ (88,94786% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.56); п. 8.1.33).

26) Проверка требования минимального процента армирования

Арматура расположена по контуру сечения - не равномерно.

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a_s = 0,7 - 0,07 = 0,63 \text{ м} = 63 \text{ см} .$$

Коэффициент армирования:

$$\mu_s = A_s / (b h_0) \cdot 100 = 0,00092 / (1 \cdot 0,63) \cdot 100 = 0,14603 \% .$$

$\mu_s \geq 0,1 \%$ (146,03% от предельного значения) - условие выполнено .

Расчет балок прямоугольного сечения по трещиностойкости

Информация о расчете:

Дата выполнения расчета: 09.11.2021 16:17:41;

Исходные данные:

Защитный слой:

- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S до грани сечения
 $a_s = 7 \text{ см} = 7 / 100 = 0,07 \text{ м};$

- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S' до грани сечения
 $a'_s = 4 \text{ см} = 4 / 100 = 0,04 \text{ м};$

Номинальный диаметр продольной арматуры:

- Номинальный диаметр продольной ненапрягаемой арматуры растянутой зоны $d_s = 14$ мм;

Площадь ненапрягаемой наиболее растянутой продольной арматуры:

(Стержневая арматура, диаметром 14 мм; 6 шт.):

- Площадь ненапрягаемой растянутой арматуры

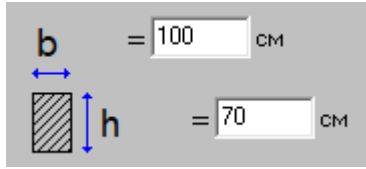
$$A_s = 9,2 \text{ см}^2 = 9,2 / 10000 = 0,00092 \text{ м}^2;$$

Площадь ненапрягаемой сжатой или наименее растянутой продольной арматуры:

(Стержневая арматура, диаметром 10 мм; 6 шт.):

- Площадь ненапрягаемой сжатой арматуры $A'_s = 4,7 \text{ см}^2 = 4,7 / 10000 = 0,00047 \text{ м}^2$;

Размеры сечения:



- Высота сечения $h = 70 \text{ см} = 70 / 100 = 0,7 \text{ м}$;

- Ширина прямоугольного сечения $b = 100 \text{ см} = 100 / 100 = 1 \text{ м}$;

Усилия в двух направлениях:

- Изгибающий момент вокруг оси X $M_x = 16 \text{ тс м} = 16 / 101,97162123 = 0,15691 \text{ МН м}$;

- Изгибающий момент вокруг оси Y $M_y = 0 \text{ тс м} = 0 / 101,97162123 = 0 \text{ МН м}$;

- Изгибающий момент вокруг оси X от постоянной и длительной нагрузки

$$M_{lx} = 16 \text{ тс м} = 16 / 101,97162123 = 0,15691 \text{ МН м};$$

Усилия от нормативной нагрузки:

- Нормальная сила от полной нормативной нагрузки

$$N = 0 \text{ тс} = 0 / 101,97162123 = 0 \text{ МН};$$

Результаты расчета:

Расчетное сопротивление бетона

Конструкция - железобетонная.

Предварительное напряжение арматуры - отсутствует.

Класс бетона - В25.

Бетон - тяжелый.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{bn} = 18,5 \text{ МПа}$.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{btn} = 1,55 \text{ МПа}$.

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию принимается по табл. 6.8 $R_b = 14,5 \text{ МПа}$.

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению принимается по табл. 6.8 $R_{bt} = 1,05 \text{ МПа}$.

Класс бетона по прочности:

$$B = 25.$$

Учет особенностей работы бетона в конструкции

Действие нагрузки - продолжительное.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий длительность действия нагрузки:

$$\gamma_{b1} = 0,9.$$

Конструкция бетонируется - в горизонтальном положении.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий бетонирование в вертикальном положении:

$$\gamma_{b3} = 1.$$

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий характер разрушения ячеистого бетона:
 $\gamma_{b4} = 1$.

Для надземной конструкции, при расчетной температуре наружного воздуха в зимний период не менее -40 град.:

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий влияние попеременного замораживания и оттаивания:
 $\gamma_{b5} = 1$.

Группа предельных состояний - вторая.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний первой группы:
 $R_{bn} = \gamma_{b1} \gamma_{b3} \gamma_{b4} \gamma_{b5} R_{bn} =$
 $= 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 18,5 = 16,65 \text{ МПа}$.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний первой группы:
 $R_{btn} = \gamma_{b1} R_{btn} = 0,9 \cdot 1,55 = 1,395 \text{ МПа}$.

Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:
 $E_s = 200000 \text{ МПа}$.

Продолжение расчета по п. 8.2 СП 63.13330.2012

Расчет - балок.

Приведенное значение толщины защитного слоя растянутой арматуры:
 $a = a_s = 0,07 \text{ м} = 7 \text{ см}$.

Приведенное значение толщины защитного слоя сжатой арматуры:
 $a' = a'_s = 0,04 \text{ м} = 4 \text{ см}$.

Рабочая высота сечения:
 $h_0 = h - a = 0,7 - 0,07 = 0,63 \text{ м} = 63 \text{ см}$.

Деформации в арматуре - не заданы.

Определение значения начального модуля упругости при непродолжительном действии нагрузки

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000 \text{ МПа}$.

Определение характеристик приведенного сечения

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:
 $\alpha_s = E_s/E_b = 200000/30000 = 6,66667$.

$h'_0 = h - a'_s = 0,7 - 0,04 = 0,66 \text{ м} = 66 \text{ см}$.

Сечение - прямоугольное.

Площадь сечения:
 $A = b h = 1 \cdot 0,7 = 0,7 \text{ м}^2 = 7000 \text{ см}^2$.

Статический момент бетонного сечения относительно наиболее растянутого волокна:
 $S_t = b h^2/2 = 1 \cdot 0,7^2/2 = 0,245 \text{ м}^3 = 245000 \text{ см}^3$.

Площадь сечения бетона:
 $A_b = b h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00047 - 0,00092 = 0,69861 \text{ м}^2 = 6986,1 \text{ см}^2$.

Площадь приведенного поперечного сечения:
 $A_{red} = \alpha_s (A_s + A'_s) + A_b = 6,66667 \cdot (0,00092 + 0,00047) + 0,69861 = 0,70788 \text{ м}^2 = 7078,8 \text{ см}^2$.

Статический момент приведенного сечения относительно наиболее растянутого волокна:
 $S_{t, red} = (\alpha_s - 1) (A_s a_s + A'_s (h - a'_s)) + b h^2/2 =$
 $= (6,66667 - 1) \cdot (0,00092 \cdot 0,07 + 0,00047 \cdot (0,7 - 0,04)) + 1 \cdot 0,7^2/2 = 0,24712 \text{ м}^3 = 247120 \text{ см}^3$.

Координата центра тяжести расчетного контура:
 $y_0 = S_{t, red}/A_{red} = 0,24712/0,70788 = 0,3491 \text{ м} = 34,91 \text{ см}$.

Расстояние от наиболее растянутого волокна бетона до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_t = y_o = 0,3491 \text{ м} = 34,91 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:
 $y_c = h - y_t = 0,7 - 0,3491 = 0,3509 \text{ м} = 35,09 \text{ см} .$

$$y_s = y_o - a_s = 0,3491 - 0,07 = 0,2791 \text{ м} = 27,91 \text{ см} .$$

$$y'_s = h - a_s - a'_s - y_s = 0,7 - 0,07 - 0,04 - 0,2791 = 0,3109 \text{ м} = 31,09 \text{ см} .$$

Момент инерции бетонного сечения относительно центра тяжести приведенного сечения:
 $I = b h^3 / 12 + A (h/2 - y_t)^2 =$
 $= 1 \cdot 0,7^3 / 12 + 0,7 \cdot (0,7/2 - 0,3491)^2 = 0,02858 \text{ м}^4 = 2858000 \text{ см}^4 .$

Определение момента образования трещин

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:
 $R_{b, ser} = R_{bn} = 16,65 \text{ МПа} .$

Расчетное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний второй группы:
 $R_{bt, ser} = R_{btn} = 1,395 \text{ МПа} .$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:
 $I_s = A_s (h - a_s - y_c)^2 = 0,00092 \cdot (0,7 - 0,07 - 0,3509)^2 = 0,000071665 \text{ м}^4 = 7166,5 \text{ см}^4 .$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:
 $I'_s = A'_s (y_c - a'_s)^2 =$
 $= 0,00047 \cdot (0,3509 - 0,04)^2 = 0,00004543 \text{ м}^4 = 4543 \text{ см}^4 .$

Продолжение расчета по п. п. 8.2.12 СП 63.13330.2012

Момент инерции приведенного поперечного сечения:
 $I_{red} = I + I_s (\alpha_s - 1) + I'_s (\alpha_s - 1) =$
 $= 0,02858 + 0,000071665 \cdot (6,66667 - 1) + 0,00004543 \cdot (6,66667 - 1) = 0,02924 \text{ м}^4 = 2924000 \text{ см}^4$ (формула (8.125); п. 8.2.12).

Упругий момент сопротивления приведенного сечения:
 $W_{red} = I_{red} / y_t = 0,02924 / 0,3491 = 0,08376 \text{ м}^3 = 83760 \text{ см}^3$ (формула (8.123); п. 8.2.12).

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны:
 $e_x = W_{red} / A_{red} = 0,08376 / 0,70788 = 0,11833 \text{ м} = 11,83 \text{ см}$ (формула (8.124); п. 8.2.12).

Момент образования трещин определяется - с учетом неупругих деформаций.

Упругопластический момент сопротивления сечения:
 $W_{pl} = 1,3 W_{red} = 1,3 \cdot 0,08376 = 0,10889 \text{ м}^3 = 108890 \text{ см}^3$ (формула (8.122); п. 8.2.11).

Изгибающий момент, воспринимаемый нормальным сечением элемента при образовании трещин:
 $M_{crc} = R_{bt, ser} W_{pl} = 1,395 \cdot 0,10889 = 0,1519 \text{ МН м} = 15,49 \text{ тс м}$ (формула (8.121); п. 8.2.11).

1. Продолжительное раскрытие трещин

Предельная ширина раскрытия трещин при продолжительном действии нагрузки

Расчет на раскрытие трещин ведется из условия - обеспечения сохранности арматуры.

Предельно допустимая ширина раскрытия трещин:
 $a_{crc, ult} = 0,3 \text{ мм} .$

Определение значения начального модуля упругости при продолжительном действии нагрузки

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000 \text{ МПа} .$

Относительная влажность воздуха окружающей среды - выше 75%.

Коэффициент ползучести принимается по табл. 6.12 $\varphi_{b, cr} = 1,8 .$

Начальный модуль упругости, принимаемый при продолжительном действии нагрузки:
 $E_b, \tau = E_b / (1 + \varphi_{b, cr}) =$
 $= 30000 / (1 + 1,8) = 10714,28571 \text{ МПа}$ (формула (6.3); п. 6.1.15).

$$M_I = M_I = 0,15691 \text{ МН м} = 16 \text{ тс м} .$$

Действие постоянных и временных длительных нагрузок

$$M = M_I = 0,15691 \text{ МН м} = 16 \text{ тс м} .$$

Коэффициент, учитывающий характер нагружения:

$$\varphi_3 = 1 .$$

$$\text{Т.к. } M = 0,15691 \text{ МН м} = 16,00037 \text{ тс м} > M_{\text{срс}} = 0,1519 \text{ МН м} = 15,48949 \text{ тс м} :$$

Требуется расчет по раскрытию трещин.

Коэффициент, учитывающий продолжительность действия нагрузки:

$$\varphi_1 = 1,4 .$$

(т.к. раскрытие трещин продолжительное)

Определение характеристик приведенного сечения

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:

$$\alpha_s = E_s/E_b = 200000/10714,29 = 18,66666 .$$

$$h'_o = h - a'_s = 0,7 - 0,04 = 0,66 \text{ м} = 66 \text{ см} .$$

Площадь сечения:

$$A = b h = 1 \cdot 0,7 = 0,7 \text{ м}^2 = 7000 \text{ см}^2 .$$

Статический момент бетонного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_t = b h^2/2 = 1 \cdot 0,7^2/2 = 0,245 \text{ м}^3 = 245000 \text{ см}^3 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00047 - 0,00092 = 0,69861 \text{ м}^2 = 6986,1 \text{ см}^2 .$$

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{\text{red}} = \alpha_s (A_s + A'_s) + A_b = 18,66666 \cdot (0,00092 + 0,00047) + 0,69861 = 0,72456 \text{ м}^2 = 7245,6 \text{ см}^2 .$$

Статический момент приведенного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_{t, \text{red}} = (\alpha_s - 1) (A_s a_s + A'_s (h - a'_s)) + b h^2/2 = \\ = (18,66666 - 1) \cdot (0,00092 \cdot 0,07 + 0,00047 \cdot (0,7 - 0,04)) + 1 \cdot 0,7^2/2 = 0,25162 \text{ м}^3 = 251620 \text{ см}^3 .$$

Координата центра тяжести расчетного контура:

$$y_o = S_{t, \text{red}}/A_{\text{red}} = 0,25162/0,72456 = 0,34727 \text{ м} = 34,73 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее растянутого волокна бетона до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_t = y_o = 0,34727 \text{ м} = 34,73 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_c = h - y_t = 0,7 - 0,34727 = 0,35273 \text{ м} = 35,27 \text{ см} .$$

$$y_s = y_o - a_s = 0,34727 - 0,07 = 0,27727 \text{ м} = 27,73 \text{ см} .$$

$$y'_s = h - a_s - a'_s - y_s = 0,7 - 0,07 - 0,04 - 0,27727 = 0,31273 \text{ м} = 31,27 \text{ см} .$$

Момент инерции бетонного сечения относительно центра тяжести приведенного сечения:

$$I = b h^3/12 + A (h/2 - y_t)^2 = \\ = 1 \cdot 0,7^3/12 + 0,7 \cdot (0,7/2 - 0,34727)^2 = 0,02859 \text{ м}^4 = 2859000 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_c)^2 = 0,00092 \cdot (0,7 - 0,07 - 0,35273)^2 = 0,000070728 \text{ м}^4 = 7072,8 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$I'_s = A'_s (y_c - a'_s)^2 = \\ = 0,00047 \cdot (0,35273 - 0,04)^2 = 0,000045966 \text{ м}^4 = 4596,6 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{\text{red}} = I + I_s (\alpha_s - 1) + I'_s (\alpha_s - 1) = \\ = 0,02859 + 0,000070728 \cdot (18,66666 - 1) + 0,000045966 \cdot (18,66666 - 1) = 0,03065 \text{ м}^4 = 3065000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.125); п. 8.2.12) .}$$

Упругий момент сопротивления приведенного сечения:

$$W_{red} = I_{red}/y_t = 0,03065/0,34727 = 0,08826 \text{ м}^3 = 88260 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.123); п. 8.2.12)}.$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны:

$$e_x = W_{red}/A_{red} = 0,08826/0,72456 = 0,12181 \text{ м} = 12,18 \text{ см (формула (8.124); п. 8.2.12)}.$$

Определение ширины раскрытия трещин нормальных к продольной оси элемента

Коэффициент, учитывающий профиль продольной арматуры:

$$\varphi_2 = 0,5 .$$

т. к. арматура - периодического профиля.

Определение коэффициента ψ_s

Определение напряжений в растянутой арматуре

Принимаемая относительная деформация бетона:

$$\epsilon_{b1, red} = 0,0015 .$$

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:

$$R_{b, ser} = R_{bn} = 16,65 \text{ МПа} .$$

Приведенный модуль деформации сжатого бетона:

$$E_{b, red} = R_{b, ser}/\epsilon_{b1, red} = 16,65/0,0015 = 11100 \text{ МПа (формула (8.131); п. 8.2.16)}.$$

Коэффициент приведения сжатой арматуры к бетону:

$$\alpha_{s1} = E_s/E_{b, red} = 200000/11100 = 18,01802 \text{ (формула (8.130); п. 8.2.16)}.$$

Напряжения в растянутой арматуре определяются при $\alpha_{s2} = \alpha_{s1}$

При этом принимается для изгибаемых элементов $u_c = x_m$ - высота сжатой зоны бетона, определяемая по п. 8.2.28.

Коэффициент приведения растянутой арматуры к бетону:

$$\alpha_{s2} = \alpha_{s1} = 18,01802 .$$

Определение средней высоты сжатой зоны для изгибаемых элементов

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a = 0,7 - 0,07 = 0,63 \text{ м} = 63 \text{ см} .$$

Коэффициент армирования:

$$\mu_s = A_s/(b h_0) = 0,00092/(1 \cdot 0,63) = 0,00146 \% .$$

Сжатая арматура - имеется.

Коэффициент армирования сжатой ненапрягаемой арматуры:

$$\mu'_s = A'_s/(b h_0) = 0,00047/(1 \cdot 0,63) = 0,00075 .$$

Средняя высота сжатой зоны бетона:

$$\begin{aligned} x_m &= h_0 \left(\sqrt{(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1})^2 + 2(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1}) a'/h_0} - (\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1}) \right) = \\ &= 0,63 \cdot \left(\sqrt{(0,00146 \cdot 18,01802 + 0,00075 \cdot 18,01802)^2 + 2 \cdot (0,00146 \cdot 18,01802 + 0,00075 \cdot 18,01802 \cdot 0,04/0,63)} - (0,00146 \cdot 18,01802 + 0,00075 \cdot 18,01802) \right) = 0,12388 \text{ м} = 12,39 \text{ см} . \end{aligned}$$

Определение средней высоты сжатой зоны бетона

Расчет ведется по приближенной формуле (8.154).

Высота сжатой зоны изгибаемого элемента:

$$x_M = x_m = 0,12388 \text{ м} = 12,39 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна до центра тяжести приведенного сечения без учета растянутой зоны:

$$y_{cm} = x_m = 0,12388 \text{ м} = 12,39 \text{ см} .$$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_{cm})^2 = 0,00092 \cdot (0,7 - 0,07 - 0,12388)^2 = 0,000235665 \text{ м}^4 = 23566,5 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$\begin{aligned} I'_s &= A'_s (y_{cm} - a'_s)^2 = \\ &= 0,00047 \cdot (0,12388 - 0,04)^2 = 0,000003307 \text{ м}^4 = 330,7 \text{ см}^4 . \end{aligned}$$

Определение момента инерции сжатой зоны бетона

$$I_b = b x_m^3 / 3 = 1 \cdot 0,12388^3 / 3 = 0,00063 \text{ м}^4 = 63000 \text{ см}^4 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b x_m = 1 \cdot 0,12388 = 0,12388 \text{ м}^2 = 1238,8 \text{ см}^2 .$$

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{red} = I_b + I_s \alpha_{s2} + I'_s \alpha_{s1} = \\ = 0,00063 + 0,000235665 \cdot 18,01802 + 0,000003307 \cdot 18,01802 = 0,00494 \text{ м}^4 = 494000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.148); п. 8.2.27)} .$$

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{red} = A_b + A_s \alpha_{s2} + A'_s \alpha_{s1} = \\ = 0,12388 + 0,00092 \cdot 18,01802 + 0,00047 \cdot 18,01802 = 0,14893 \text{ м}^2 = 1489,3 \text{ см}^2 .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_c = y_{cm} = 0,12388 \text{ м} = 12,39 \text{ см} .$$

$$\sigma_s = (M (h_0 - y_c) / I_{red}) \alpha_{s1} =$$

$$= (0,15691 \cdot (0,63 - 0,12388) / 0,00494) \cdot 18,01802 = 289,65714 \text{ МПа (формула (8.129); п. 8.2.16)} .$$

Напряжения $\sigma_{s, crс}$ определяются при $M = M_{crс}$.

Напряжения в продольной растянутой арматуре в сечении с трещиной сразу после образования нормальных трещин:

$$\sigma_{s, crс} = (M_{crс} (h_0 - y_c) / I_{red}) \alpha_{s1} =$$

$$= (0,1519 \cdot (0,63 - 0,12388) / 0,00494) \cdot 18,01802 = 280,40864 \text{ МПа (формула (8.129); п. 8.2.18)} .$$

Т.к. $\sigma_s = 289,6571 \text{ МПа} \geq \sigma_{s, crс} = 280,4086 \text{ МПа}$:

Коэффициент, учитывающий неравномерное распределение относительных деформаций:

$$\psi_s = 1 - 0,8 \sigma_{s, crс} / \sigma_s =$$

$$= 1 - 0,8 \cdot 280,4086 / 289,6571 = 0,22554 \text{ (формула (8.137); п. 8.2.18)} .$$

Определение базового расстояния между трещинами

Высота растянутой зоны:

$$x_t = h - x_m = 0,7 - 0,12388 = 0,57612 \text{ м} = 57,61 \text{ см} .$$

Т.к. $x_t = 0,57612 \text{ м} = 57,612 \text{ см} > 0,5 h = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35 \text{ м} = 35 \text{ см}$:

Высота растянутой зоны:

$$x_t = 0,5 h = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35 \text{ м} = 35 \text{ см} .$$

Площадь сечения растянутого бетона:

$$A_{bt} = b x_t = 1 \cdot 0,35 = 0,35 \text{ м}^2 = 3500 \text{ см}^2 .$$

Базовое расстояние между трещинами:

$$l_s = 0,5 (A_{bt} / A_s) d_s =$$

$$= 0,5 \cdot (0,35 / 0,00092) \cdot 14 = 2663,04348 \text{ мм (формула (8.136); п. 8.2.17)} .$$

Т.к. $l_s = 2663,043 \text{ мм} > 40 d_s = 40 \cdot 14 = 560 \text{ мм}$:

Базовое расстояние между трещинами:

$$l_s = 40 d_s = 40 \cdot 14 = 560 \text{ мм} .$$

Т.к. $l_s > 400 \text{ мм}$:

Базовое расстояние между трещинами:

$$l_s = 400 \text{ мм} .$$

Ширина раскрытия трещин:

$$a_{crс} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s (\sigma_s / E_s) l_s =$$

$$= 1,4 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 0,22554 \cdot (289,6571 / 200000) \cdot 400 = 0,09146 \text{ мм (формула (8.128); п. 8.2.15)} .$$

$a_{crс} = 0,09146 \text{ мм} \leq a_{crс, ult} = 0,3 \text{ мм}$ (30,48667% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.118); п. п. 8.2).

Ширина раскрытия трещин от продолжительного действия постоянных и временных длительных нагрузок:

$$a_{cr,1} = a_{cr} = 0,09146 \text{ мм} .$$

II. Непродолжительное раскрытие трещин

Предельная ширина раскрытия трещин при непродолжительном действии нагрузки

Предельно допустимая ширина раскрытия трещин:

$$a_{cr,ult} = 0,4 \text{ мм} .$$

Определение значения начального модуля упругости при непродолжительном действии нагрузки

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000 \text{ МПа}$.

а) Действие всех нагрузок

$$\text{Т.к. } M = 0,15691 \text{ МН м} = 16,00037 \text{ тс м} > M_{cr} = 0,1519 \text{ МН м} = 15,48949 \text{ тс м} :$$

Требуется расчет по раскрытию трещин.

Коэффициент, учитывающий продолжительность действия нагрузки:

$$\varphi_1 = 1 .$$

(т.к. раскрытие трещин непродолжительное)

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_c)^2 = 0,00092 \cdot (0,7 - 0,07 - 0,3509)^2 = 0,000071665 \text{ м}^4 = 7166,5 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$I'_s = A'_s (y_c - a'_s)^2 = \\ = 0,00047 \cdot (0,3509 - 0,04)^2 = 0,00004543 \text{ м}^4 = 4543 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{red} = I + I_s (\alpha_s - 1) + I'_s (\alpha_s - 1) = \\ = 0,02858 + 0,000071665 \cdot (6,66667 - 1) + 0,00004543 \cdot (6,66667 - 1) = 0,02924 \text{ м}^4 = 2924000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.125); п. 8.2.12) .}$$

Упругий момент сопротивления приведенного сечения:

$$W_{red} = I_{red} / y_t = 0,02924 / 0,3491 = 0,08376 \text{ м}^3 = 83760 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.123); п. 8.2.12) .}$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны:

$$e_x = W_{red} / A_{red} = 0,08376 / 0,70788 = 0,11833 \text{ м} = 11,83 \text{ см} \text{ (формула (8.124); п. 8.2.12) .}$$

Определение ширины раскрытия трещин нормальных к продольной оси элемента

Коэффициент, учитывающий профиль продольной арматуры:

$$\varphi_2 = 0,5 .$$

т. к. арматура - периодического профиля.

Определение коэффициента ψ_s

Определение напряжений в растянутой арматуре

Принимаемая относительная деформация бетона:

$$\epsilon_{b1,red} = 0,0015 .$$

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:

$$R_{b,ser} = R_{bn} = 16,65 \text{ МПа} .$$

Приведенный модуль деформации сжатого бетона:

$$E_{b,red} = R_{b,ser} / \epsilon_{b1,red} = 16,65 / 0,0015 = 11100 \text{ МПа} \text{ (формула (8.131); п. 8.2.16) .}$$

Коэффициент приведения сжатой арматуры к бетону:

$$\alpha_{s1} = E_s / E_{b,red} = 200000 / 11100 = 18,01802 \text{ (формула (8.130); п. 8.2.16) .}$$

Напряжения в растянутой арматуре определяются при $\alpha_{s2} = \alpha_{s1}$

При этом принимается для изгибаемых элементов $y_c = x_m$ - высота сжатой зоны бетона, определяемая по п. 8.2.28.

Коэффициент приведения растянутой арматуры к бетону:

$$\alpha_{s2} = \alpha_{s1} = 18,01802 .$$

Определение средней высоты сжатой зоны для изгибаемых элементов

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a = 0,7 - 0,07 = 0,63 \text{ м} = 63 \text{ см} .$$

Коэффициент армирования:

$$\mu_s = A_s / (b h_0) = 0,00092 / (1 \cdot 0,63) = 0,00146 \% .$$

Коэффициент армирования сжатой ненапрягаемой арматуры:

$$\mu'_s = A'_s / (b h_0) = 0,00047 / (1 \cdot 0,63) = 0,00075 .$$

Средняя высота сжатой зоны бетона:

$$x_m = h_0 \frac{(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1})^2 + 2(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1} a'/h_0) - (\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1})}{2(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1})} =$$
$$= 0,63 \cdot \frac{(\sqrt{(0,00146 \cdot 18,01802 + 0,00075 \cdot 18,01802)^2 + 2 \cdot (0,00146 \cdot 18,01802 + 0,00075 \cdot 18,01802 \cdot 0,04/0,63)} - (0,00146 \cdot 18,01802 + 0,00075 \cdot 18,01802))}{2(0,00146 \cdot 18,01802 + 0,00075 \cdot 18,01802)} = 0,12388 \text{ м} = 12,39 \text{ см} .$$

Определение средней высоты сжатой зоны бетона

Расчет ведется по приближенной формуле (8.154).

Высота сжатой зоны изгибаемого элемента:

$$x_M = x_m = 0,12388 \text{ м} = 12,39 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна до центра тяжести приведенного сечения без учета растянутой зоны:

$$y_{cm} = x_m = 0,12388 \text{ м} = 12,39 \text{ см} .$$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_{cm})^2 = 0,00092 \cdot (0,7 - 0,07 - 0,12388)^2 = 0,000235665 \text{ м}^4 = 23566,5 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$I'_s = A'_s (y_{cm} - a'_s)^2 =$$
$$= 0,00047 \cdot (0,12388 - 0,04)^2 = 0,000003307 \text{ м}^4 = 330,7 \text{ см}^4 .$$

Определение момента инерции сжатой зоны бетона

$$I_b = b x_m^3 / 3 = 1 \cdot 0,12388^3 / 3 = 0,00063 \text{ м}^4 = 63000 \text{ см}^4 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b x_m = 1 \cdot 0,12388 = 0,12388 \text{ м}^2 = 1238,8 \text{ см}^2 .$$

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{red} = I_b + I_s \alpha_{s2} + I'_s \alpha_{s1} =$$
$$= 0,00063 + 0,000235665 \cdot 18,01802 + 0,000003307 \cdot 18,01802 = 0,00494 \text{ м}^4 = 494000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.148); п. 8.2.27) .}$$

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{red} = A_b + A_s \alpha_{s2} + A'_s \alpha_{s1} =$$
$$= 0,12388 + 0,00092 \cdot 18,01802 + 0,00047 \cdot 18,01802 = 0,14893 \text{ м}^2 = 1489,3 \text{ см}^2 .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_c = y_{cm} = 0,12388 \text{ м} = 12,39 \text{ см} .$$

$$\sigma_s = (M (h_0 - y_c) / I_{red}) \alpha_{s1} =$$

$$= (0,15691 \cdot (0,63 - 0,12388) / 0,00494) \cdot 18,01802 = 289,65714 \text{ МПа (формула (8.129); п. 8.2.16) .}$$

Напряжения $\sigma_s, \sigma_{s, crc}$ определяются при $M = M_{crc}$.

Напряжения в продольной растянутой арматуре в сечении с трещиной сразу после образования нормальных трещин:

$$\sigma_{s, crc} = (M_{crc} (h_0 - y_c) / I_{red}) \alpha_{s1} =$$

$$= (0,1519 \cdot (0,63 - 0,12388) / 0,00494) \cdot 18,01802 = 280,40864 \text{ МПа (формула (8.129); п. 8.2.18) .}$$

Т.к. $\sigma_s = 289,6571 \text{ МПа} \geq \sigma_{s, crc} = 280,4086 \text{ МПа}$:

Коэффициент, учитывающий неравномерное распределение относительных деформаций:

$$\psi_s = 1 - 0,8 \sigma_{s, crc} / \sigma_s =$$

$$= 1 - 0,8 \cdot 280,4086 / 289,6571 = 0,22554 \text{ (формула (8.137); п. 8.2.18) .}$$

Определение базового расстояния между трещинами

Высота растянутой зоны:

$$x_t = h - x_m = 0,7 - 0,12388 = 0,57612 \text{ м} = 57,61 \text{ см} .$$

$$\text{Т.к. } x_t = 0,57612 \text{ м} = 57,612 \text{ см} > 0,5 h = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35 \text{ м} = 35 \text{ см} :$$

Высота растянутой зоны:

$$x_t = 0,5 h = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35 \text{ м} = 35 \text{ см} .$$

Площадь сечения растянутого бетона:

$$A_{bt} = b x_t = 1 \cdot 0,35 = 0,35 \text{ м}^2 = 3500 \text{ см}^2 .$$

Базовое расстояние между трещинами:

$$l_s = 0,5 (A_{bt}/A_s) d_s = \\ = 0,5 \cdot (0,35/0,00092) \cdot 14 = 2663,04348 \text{ мм (формула (8.136); п. 8.2.17) .}$$

$$\text{Т.к. } l_s = 2663,043 \text{ мм} > 40 d_s = 40 \cdot 14 = 560 \text{ мм} :$$

Базовое расстояние между трещинами:

$$l_s = 40 d_s = 40 \cdot 14 = 560 \text{ мм} .$$

$$\text{Т.к. } l_s > 400 \text{ мм} :$$

Базовое расстояние между трещинами:

$$l_s = 400 \text{ мм} .$$

Ширина раскрытия трещин:

$$a_{сгс} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s (\sigma_s/E_s) l_s = \\ = 1 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 0,22554 \cdot (289,6571/200000) \cdot 400 = 0,06533 \text{ мм (формула (8.128); п. 8.2.15) .}$$

Ширина раскрытия трещин от непродолжительного действия всех нагрузок:

$$a_{сгс, 2} = a_{сгс} = 0,06533 \text{ мм} .$$

б) Действие постоянных и временных длительных нагрузок

$$M_I = M_I = 0,15691 \text{ МН м} = 16 \text{ тс м} .$$

Действие постоянных и временных длительных нагрузок

$$M = M_I = 0,15691 \text{ МН м} = 16 \text{ тс м} .$$

$$\text{Т.к. } M = 0,15691 \text{ МН м} = 16,00037 \text{ тс м} > M_{сгс} = 0,1519 \text{ МН м} = 15,48949 \text{ тс м} :$$

Требуется расчет по раскрытию трещин.

Коэффициент, учитывающий продолжительность действия нагрузки:

$$\varphi_1 = 1 .$$

(т.к. раскрытие трещин непродолжительное)

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_c)^2 = 0,00092 \cdot (0,7 - 0,07 - 0,3509)^2 = 0,000071665 \text{ м}^4 = 7166,5 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$I'_s = A'_s (y_c - a'_s)^2 = \\ = 0,00047 \cdot (0,3509 - 0,04)^2 = 0,00004543 \text{ м}^4 = 4543 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{red} = I + I_s (\alpha_s - 1) + I'_s (\alpha_s - 1) = \\ = 0,02858 + 0,000071665 \cdot (6,66667 - 1) + 0,00004543 \cdot (6,66667 - 1) = 0,02924 \text{ м}^4 = 2924000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.125); п. 8.2.12) .}$$

Упругий момент сопротивления приведенного сечения:

$$W_{red} = I_{red}/y_t = 0,02924/0,3491 = 0,08376 \text{ м}^3 = 83760 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.123); п. 8.2.12) .}$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны:

$$e_x = W_{red}/A_{red} = 0,08376/0,70788 = 0,11833 \text{ м} = 11,83 \text{ см} \text{ (формула (8.124); п. 8.2.12) .}$$

Определение ширины раскрытия трещин нормальных к продольной оси элемента

Коэффициент, учитывающий профиль продольной арматуры:

$$\varphi_2 = 0,5 .$$

т. к. арматура - периодического профиля.

Определение коэффициента ψ_s

Определение напряжений в растянутой арматуре

Принимаемая относительная деформация бетона:

$$\epsilon_{b1, red} = 0,0015 .$$

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:

$$R_{b, ser} = R_{bn} = 16,65 \text{ МПа} .$$

Приведенный модуль деформации сжатого бетона:

$$E_{b, red} = R_{b, ser} / \epsilon_{b1, red} = 16,65 / 0,0015 = 11100 \text{ МПа (формула (8.131); п. 8.2.16) .}$$

Коэффициент приведения сжатой арматуры к бетону:

$$\alpha_{s1} = E_s / E_{b, red} = 200000 / 11100 = 18,01802 \text{ (формула (8.130); п. 8.2.16) .}$$

Напряжения в растянутой арматуре определяются при $\alpha_{s2} = \alpha_{s1}$

При этом принимается для изгибаемых элементов $y_c = x_m$ - высота сжатой зоны бетона, определяемая по п. 8.2.28.

Коэффициент приведения растянутой арматуры к бетону:

$$\alpha_{s2} = \alpha_{s1} = 18,01802 .$$

Определение средней высоты сжатой зоны для изгибаемых элементов

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a = 0,7 - 0,07 = 0,63 \text{ м} = 63 \text{ см} .$$

Коэффициент армирования:

$$\mu_s = A_s / (b h_0) = 0,00092 / (1 \cdot 0,63) = 0,00146 \% .$$

Коэффициент армирования сжатой ненапрягаемой арматуры:

$$\mu'_s = A'_s / (b h_0) = 0,00047 / (1 \cdot 0,63) = 0,00075 .$$

Средняя высота сжатой зоны бетона:

$$x_m = h_0 \left(\sqrt{(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1})^2 + 2(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1}) a' / h_0} - (\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1}) \right) = \\ = 0,63 \cdot \left(\sqrt{(0,00146 \cdot 18,01802 + 0,00075 \cdot 18,01802)^2 + 2 \cdot (0,00146 \cdot 18,01802 + 0,00075 \cdot 18,01802 \cdot 0,04 / 0,63)} - (0,00146 \cdot 18,01802 + 0,00075 \cdot 18,01802) \right) = 0,12388 \text{ м} = 12,39 \text{ см} .$$

Определение средней высоты сжатой зоны бетона

Расчет ведется по приближенной формуле (8.154).

Высота сжатой зоны изгибаемого элемента:

$$x_M = x_m = 0,12388 \text{ м} = 12,39 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна до центра тяжести приведенного сечения без учета растянутой зоны:

$$y_{cm} = x_m = 0,12388 \text{ м} = 12,39 \text{ см} .$$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_{cm})^2 = 0,00092 \cdot (0,7 - 0,07 - 0,12388)^2 = 0,000235665 \text{ м}^4 = 23566,5 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$I'_s = A'_s (y_{cm} - a'_s)^2 = \\ = 0,00047 \cdot (0,12388 - 0,04)^2 = 0,000003307 \text{ м}^4 = 330,7 \text{ см}^4 .$$

Определение момента инерции сжатой зоны бетона

$$I_b = b x_m^3 / 3 = 1 \cdot 0,12388^3 / 3 = 0,00063 \text{ м}^4 = 63000 \text{ см}^4 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b x_m = 1 \cdot 0,12388 = 0,12388 \text{ м}^2 = 1238,8 \text{ см}^2 .$$

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{red} = I_b + I_s \alpha_{s2} + I'_s \alpha_{s1} = \\ = 0,00063 + 0,000235665 \cdot 18,01802 + 0,000003307 \cdot 18,01802 = 0,00494 \text{ м}^4 = 494000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.148); п. 8.2.27) .}$$

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{red} = A_b + A_s \alpha_{s2} + A'_s \alpha_{s1} = \\ = 0,12388 + 0,00092 \cdot 18,01802 + 0,00047 \cdot 18,01802 = 0,14893 \text{ м}^2 = 1489,3 \text{ см}^2 .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_c = y_{cm} = 0,12388 \text{ м} = 12,39 \text{ см} .$$

$$\sigma_s = (M (h_0 - y_c) / I_{red}) \alpha_{s1} =$$

$$= (0,15691 \cdot (0,63 - 0,12388) / 0,00494) \cdot 18,01802 = 289,65714 \text{ МПа (формула (8.129); п. 8.2.16) .}$$

Напряжения $\sigma_{s, crс}$ определяются при $M = M_{crс}$.

Напряжения в продольной растянутой арматуре в сечении с трещиной сразу после образования нормальных трещин:

$$\sigma_{s, crс} = (M_{crс} (h_0 - y_c) / I_{red}) \alpha_{s1} =$$

$$= (0,1519 \cdot (0,63 - 0,12388) / 0,00494) \cdot 18,01802 = 280,40864 \text{ МПа (формула (8.129); п. 8.2.18) .}$$

Т.к. $\sigma_s = 289,6571 \text{ МПа} \geq \sigma_{s, crс} = 280,4086 \text{ МПа}$:

Коэффициент, учитывающий неравномерное распределение относительных деформаций:

$$\psi_s = 1 - 0,8 \sigma_{s, crс} / \sigma_s =$$

$$= 1 - 0,8 \cdot 280,4086 / 289,6571 = 0,22554 \text{ (формула (8.137); п. 8.2.18) .}$$

Определение базового расстояния между трещинами

Высота растянутой зоны:

$$x_t = h - x_m = 0,7 - 0,12388 = 0,57612 \text{ м} = 57,61 \text{ см} .$$

Т.к. $x_t = 0,57612 \text{ м} = 57,612 \text{ см} > 0,5 h = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35 \text{ м} = 35 \text{ см}$:

Высота растянутой зоны:

$$x_t = 0,5 h = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35 \text{ м} = 35 \text{ см} .$$

Площадь сечения растянутого бетона:

$$A_{bt} = b x_t = 1 \cdot 0,35 = 0,35 \text{ м}^2 = 3500 \text{ см}^2 .$$

Базовое расстояние между трещинами:

$$l_s = 0,5 (A_{bt} / A_s) d_s =$$

$$= 0,5 \cdot (0,35 / 0,00092) \cdot 14 = 2663,04348 \text{ мм (формула (8.136); п. 8.2.17) .}$$

Т.к. $l_s = 2663,043 \text{ мм} > 40 d_s = 40 \cdot 14 = 560 \text{ мм}$:

Базовое расстояние между трещинами:

$$l_s = 40 d_s = 40 \cdot 14 = 560 \text{ мм} .$$

Т.к. $l_s > 400 \text{ мм}$:

Базовое расстояние между трещинами:

$$l_s = 400 \text{ мм} .$$

Ширина раскрытия трещин:

$$a_{crс} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s (\sigma_s / E_s) l_s =$$

$$= 1 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 0,22554 \cdot (289,6571 / 200000) \cdot 400 = 0,06533 \text{ мм (формула (8.128); п. 8.2.15) .}$$

Ширина раскрытия трещин от непродолжительного действия постоянных и временных длительных нагрузок:

$$a_{crс, 3} = a_{crс} = 0,06533 \text{ мм} .$$

Ширина раскрытия трещин:

$$a_{crс} = a_{crс, 1} + a_{crс, 2} - a_{crс, 3} =$$

$$= 0,09146 + 0,06533 - 0,06533 = 0,09146 \text{ мм (формула (8.120); п. 8.2) .}$$

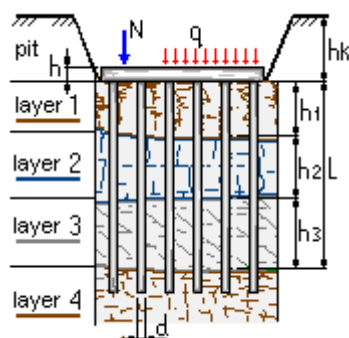
$a_{crс} = 0,09146 \text{ мм} \leq a_{crс, ult} = 0,4 \text{ мм}$ (22,865% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.118); п. п. 8.2) .



Результаты расчета

Расчет плиты на свайном основании. Ростверк РМ8.

1. - Исходные данные:



Количество слоев 2

Характеристики грунта:

Номер слоя	Тип грунта	Модуль E	Ед. изм.	1 Точка, м	2 Точка, м	3 Точка, м	4 Точка, м
Слой 1	Глинистый	800	тс/м ²	h= 7,8	h= 7,8	h= 7,8	h= 7,8
Слой 2	Песчаный	2800	тс/м ²				

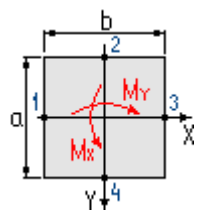
Исходные данные для расчета:
 Прямоугольная плита

Наименование исходных данных	Величина	Ед. измерения
Длина вдоль Y	2,1	м
Ширина вдоль X	4,1	м
Допустимая расчетная нагрузка на сваю (Fd)	40	тс
Длина сваи (L)	8,5	м
Диаметр (сторона)	0,3	м
Толщина плиты	0,7	м
Вылет плиты за грань крайней сваи	0,1	м

Квадратные сваи

Приведенная нагрузка: N= 460 тс; M_y= 1,7 тс*м; M_x= 2,3 тс*м

2. - Выводы:



Требуемое количество свай 13 шт.

Ориентировочный шаг свай (для расчета осадки) 0,86 м

По расчету на продавливание рядовой сваей несущей способности плиты ДОСТАТОЧНО.

По расчету на продавливание угловой сваей несущей способности плиты ДОСТАТОЧНО.

Расположение свай принято равномерным по всей площади плиты.

Расчетный момент в плите M= 4,78 тс*м (на погонный метр)

Армирование симметричное, шаг 200 мм во всех направлениях.

Защитный слой 35 мм в верхней, 70 мм в нижней зоне плиты.

Арматура d 8 А 400 в обоих направлениях.

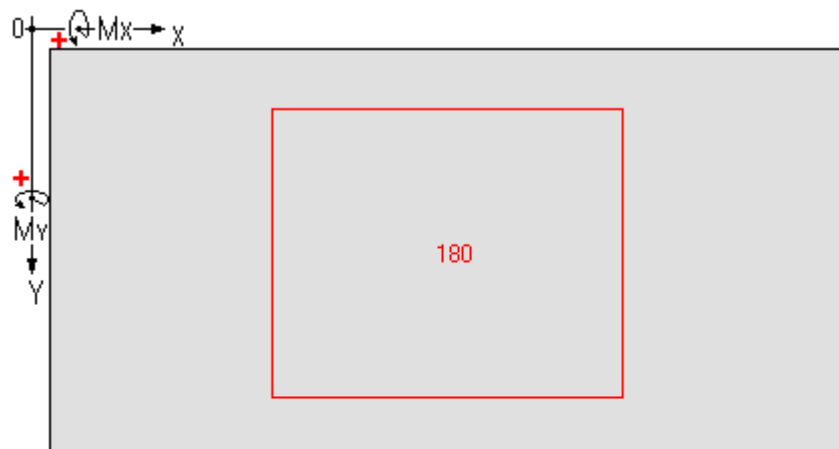
Армирование свайной плиты следует уточнить, выполнив расчет плиты на естественном основании с применением приведенного модуля деформации E_{red}= 5524,03 тс/м²

либо расчет плиты на упругих опорах (сваях) с коэффициентом упругости 5501,83 тс/м

Результаты расчета

Расчет плиты

1. - Исходные данные:



Длина вдоль X 4,1 м
 Ширина вдоль Y 2,1 м
 Толщина плиты 0,7 м

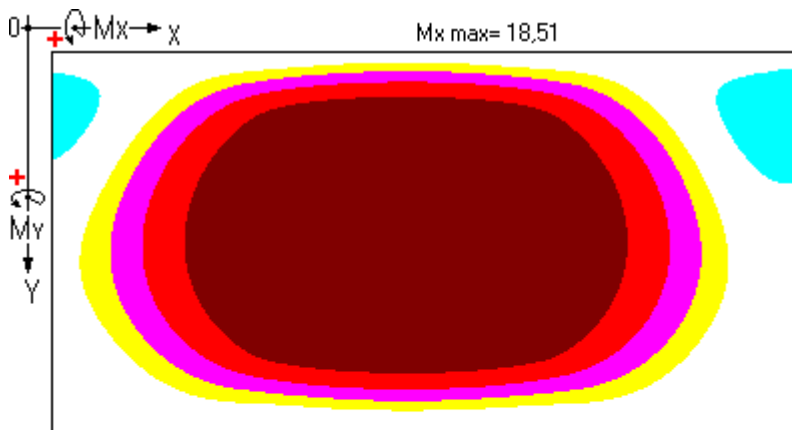
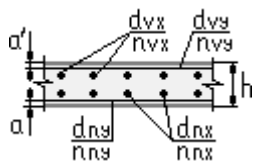
Характеристики грунта Суглинки
 Модуль деформации грунта 5520 тс/м²
 Коэффициент постели 8004 (тс/м)/м²

Расчетные нагрузки на конструкцию:

Полосовые нагрузки	начало x,y (м),	конец x,y (м),	величина q (тс/м ²),	Ширина (м)
1	1,15;1,05	2,95;1,05	180	1,5

Приведенные суммарные нагрузки на плиту:
 N= 468,39 тс; Mx= -21,52 тс*м; My= -19,2 тс*м

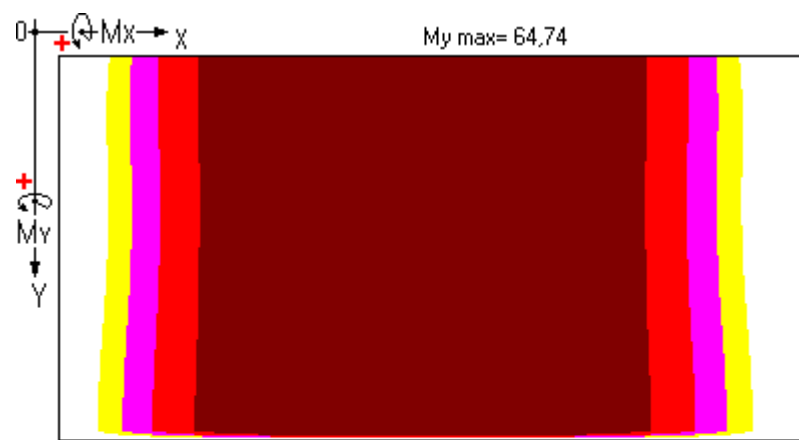
2. - Выводы:



+

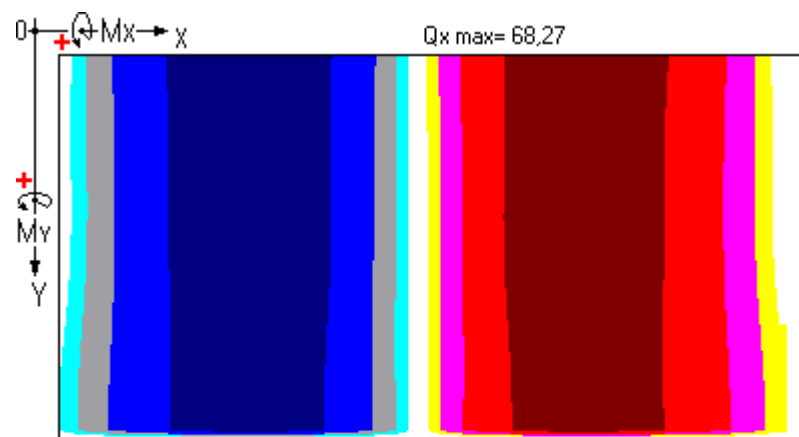
Mx min= -0,94

Эпюра моментов вокруг оси X



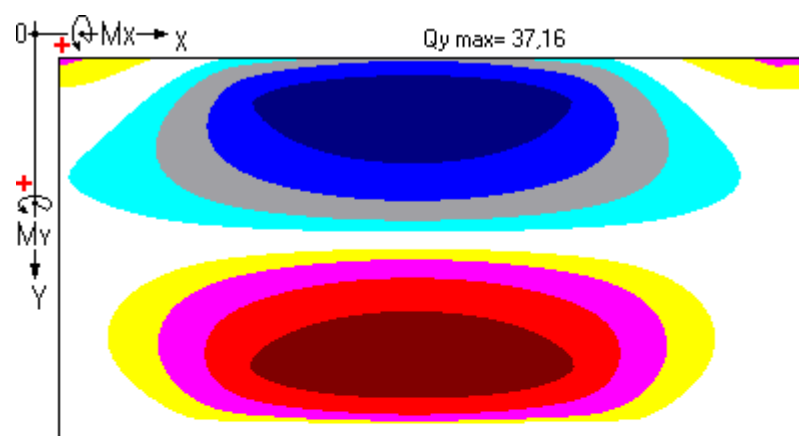
Эпюра моментов вокруг оси Y

My min= -0,18



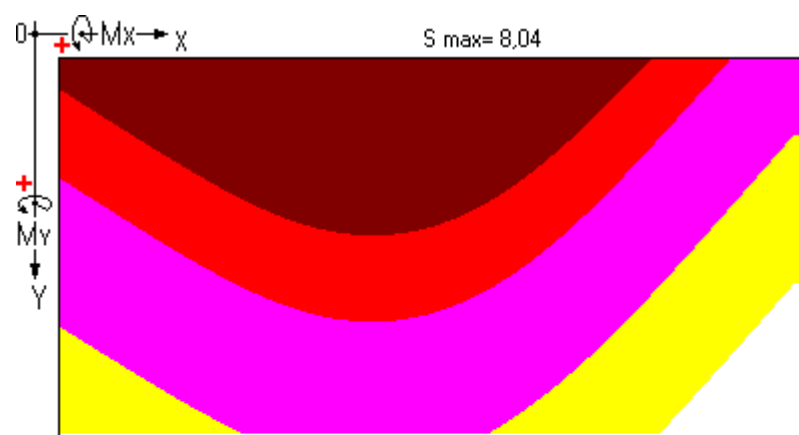
Эпюра поперечных сил вдоль оси X

Qx min= -69,17



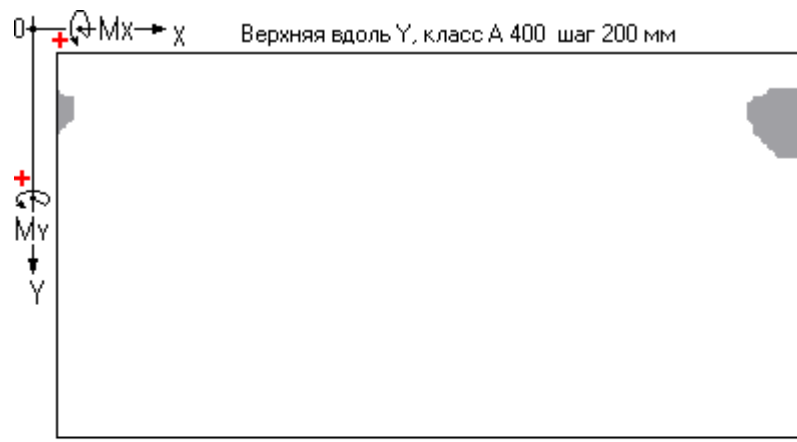
Эпюра поперечных сил вдоль оси Y

Qy min= -36,15



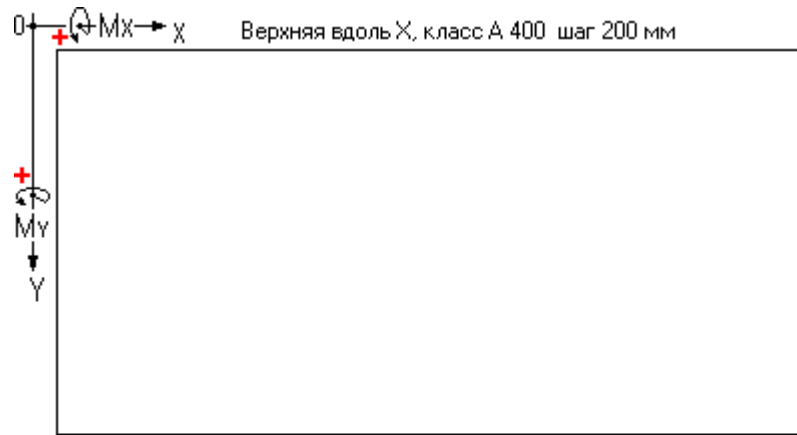
S min= 5,02

Эпюра вертикальных перемещений, мм



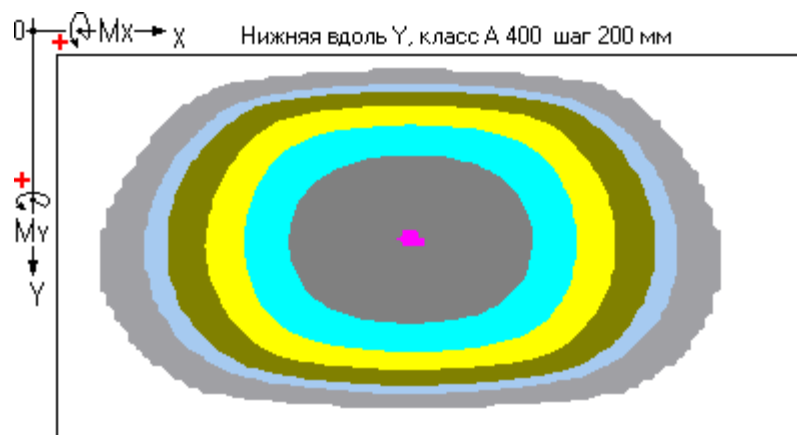
Бетон В15

Верхнее армирование плиты вдоль оси Y, d, мм



Бетон В15

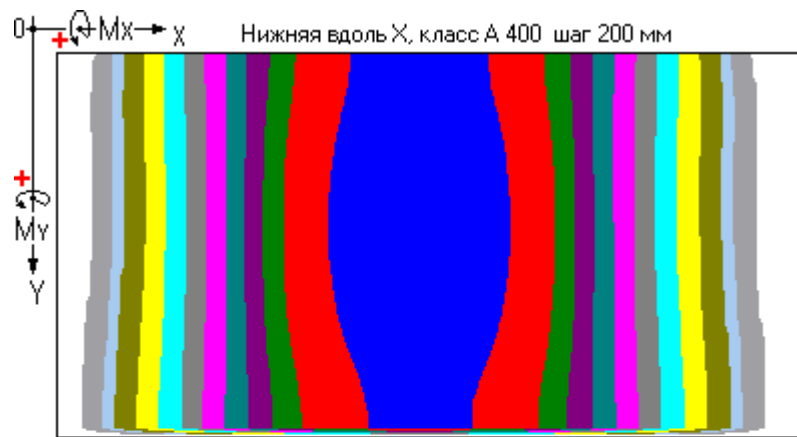
Верхнее армирование плиты вдоль оси X, d, мм



+

Бетон В15

Нижнее армирование плиты вдоль оси Y, d, мм



Бетон В15

Нижнее армирование плиты вдоль оси X, d, мм

d=3-5 мм	d=10 мм	d=16 мм	d=22 мм	d=32 мм
d=6 мм	d=12 мм	d=18 мм	d=25 мм	d=36 мм
d=8 мм	d=14 мм	d=20 мм	d=28 мм	d=40 мм

Цветовая палитра полей армирования

Расчет балок прямоугольного сечения по прочности при изгибе в одной плоскости. РМ8 нижняя арматура вдоль оси X.

Информация о расчете:

Дата выполнения расчета: 12.11.2021 10:09:50;

Исходные данные:

Защитный слой:

- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S до грани сечения $a_s = 7 \text{ см} = 7 / 100 = 0,07 \text{ м}$;
- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S' до грани сечения $a'_s = 3 \text{ см} = 3 / 100 = 0,03 \text{ м}$;

Площадь ненапрягаемой наиболее растянутой продольной арматуры:

- (Стержневая арматура, диаметром 25 мм; 7 шт.):
- Площадь ненапрягаемой растянутой арматуры $A_s = 34,4 \text{ см}^2 = 34,4 / 10000 = 0,00344 \text{ м}^2$;

Площадь ненапрягаемой сжатой или наименее растянутой продольной арматуры:

- (Стержневая арматура, диаметром 10 мм; 7 шт.):
- Площадь ненапрягаемой сжатой арматуры $A'_s = 5,5 \text{ см}^2 = 5,5 / 10000 = 0,00055 \text{ м}^2$;

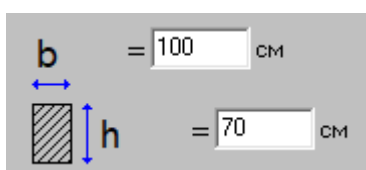
Площадь поперечной арматуры:

- (Стержневая арматура, диаметром 10 мм; 7 шт.):
- Площадь поперечной арматуры $A_{sw} = 5,5 \text{ см}^2 = 5,5 / 10000 = 0,00055 \text{ м}^2$;

Поперечная арматура:

- Шаг стержней поперечной арматуры $s_w = 20 \text{ см} = 20 / 100 = 0,2 \text{ м}$;

Размеры сечения:

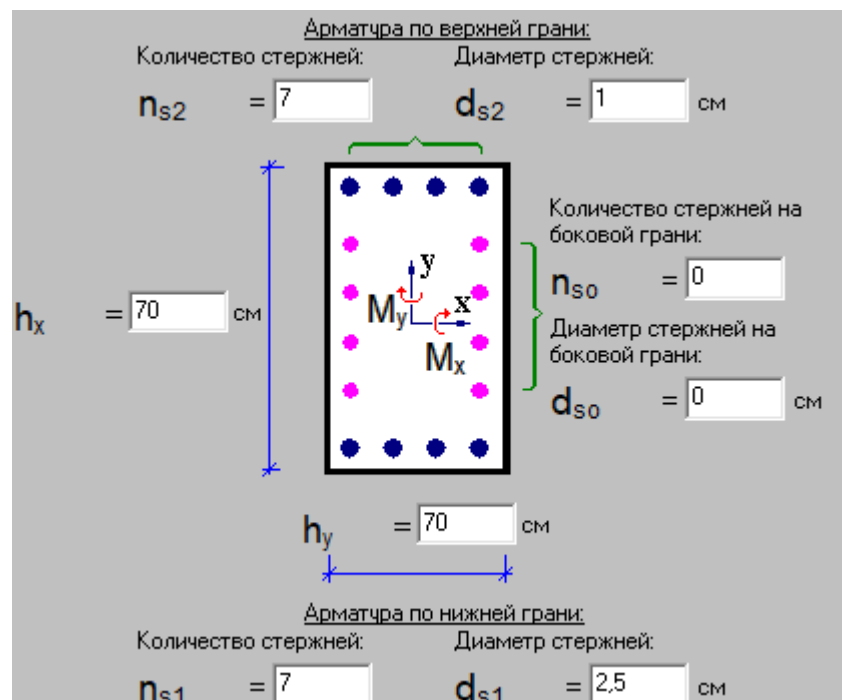


- Высота сечения $h = 70 \text{ см} = 70 / 100 = 0,7 \text{ м}$;
- Ширина прямоугольного сечения $b = 100 \text{ см} = 100 / 100 = 1 \text{ м}$;

Усилия:

- Изгибающий момент $M = 65 \text{ тс м} = 65 / 101,97162123 = 0,63743 \text{ МН м}$;
- Поперечная сила $Q = 70 \text{ тс} = 70 / 101,97162123 = 0,68647 \text{ МН}$;

Характеристики арматуры при расчете на кручение:



- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у нижней грани элемента $d_{s1} = 2,5 \text{ см} = 2,5 / 100 = 0,025 \text{ м}$;
- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у нижней грани элемента $n_{s1} = 7$;
- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у верхней грани элемента $d_{s2} = 1 \text{ см} = 1 / 100 = 0,01 \text{ м}$;
- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у верхней грани элемента $n_{s2} = 7$;
- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у боковой грани элемента $d_{s0} = 0 \text{ см} = 0 / 100 = 0 \text{ м}$;
- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у боковой грани элемента $n_{s0} = 0$;

Результаты расчета:

1) Расчетное сопротивление бетона

Конструкция - железобетонная.

Предварительное напряжение арматуры - отсутствует.

Класс бетона - В25.

Бетон - тяжелый.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{bn} = 18,5 \text{ МПа}$.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{btn} = 1,55 \text{ МПа}$.

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию принимается по табл. 6.8 $R_b = 14,5 \text{ МПа}$.

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению принимается по табл. 6.8 $R_{bt} = 1,05 \text{ МПа}$.

Класс бетона по прочности:

$B = 25$.

2) Продолжение расчета по п. п. 8.1 СП 63.13330.2012

Расчет - балок.

Элемент - изгибаемый.

Изгиб элемента - в одной плоскости.

3) Учет особенностей работы бетона в конструкции

Действие нагрузки - продолжительное.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий длительность действия нагрузки:

$$\gamma_{b1} = 0,9 .$$

Конструкция бетонируется - в горизонтальном положении.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий бетонирование в вертикальном положении:
 $\gamma_{b3} = 1 .$

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий характер разрушения ячеистого бетона:
 $\gamma_{b4} = 1 .$

Для надземной конструкции, при расчетной температуре наружного воздуха в зимний период не менее -40 град.:

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий влияние попеременного замораживания и оттаивания:
 $\gamma_{b5} = 1 .$

Группа предельных состояний - первая.

Сейсмичность площадки строительства - не более 6 баллов.

Коэффициент условия работы по СП 14.13330 "Строительство в сейсмических районах":
 $m_{кр} = 1 .$

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию при $m_{кр} = 1$:
 $R_b = \gamma_{b1} \gamma_{b3} \gamma_{b4} \gamma_{b5} R_b =$
 $= 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 14,5 = 13,05 \text{ МПа} .$

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию:
 $R_b = m_{кр} \gamma_{b1} \gamma_{b3} \gamma_{b4} \gamma_{b5} R_b =$
 $= 1 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 14,5 = 13,05 \text{ МПа} .$

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению при расчете на действие поперечных сил:
 $R_{bt} = \gamma_{b1} R_{bt} = 0,9 \cdot 1,05 = 0,945 \text{ МПа} .$

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению:
 $R_{bt} = m_{кр} \gamma_{b1} R_{bt} = 1 \cdot 0,9 \cdot 1,05 = 0,945 \text{ МПа} .$

4) Определение значения начального модуля упругости бетона

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000 \text{ МПа} .$

5) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Т.к. $\gamma_{b1} < 1$:

Относительная влажность воздуха окружающей среды - выше 75%.

Коэффициент ползучести принимается по табл. 6.12 $\varphi_{b, cr} = 1,8 .$

6) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Начальный модуль упругости, принимаемый при продолжительном действии нагрузки:
 $E_b, \tau = E_b / (1 + \varphi_{b, cr}) =$
 $= 30000 / (1 + 1,8) = 10714,28571 \text{ МПа (формула (6.3); п. 6.1.15) .}$

7) Расчетные значения прочностных характеристик арматуры

Класс ненапрягаемой продольной арматуры - А400.

Расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению:
 $R_s = 350 \text{ МПа} .$

Расчетное сопротивление продольной арматуры сжатию:
 $R_{sc} = 350 \text{ МПа} .$

Поперечная арматура - рассматривается в данном расчете.

Класс поперечной арматуры - А400.

Расчетное сопротивление поперечной арматуры растяжению:
 $R_{sw} = 280 \text{ МПа} .$

Расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению:
 $R_s = m_{кр} R_s = 1 \cdot 350 = 350 \text{ МПа}$.

Расчетное сопротивление продольной арматуры сжатию:
 $R_{sc} = m_{кр} R_{sc} = 1 \cdot 350 = 350 \text{ МПа}$.

8) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:
 $E_s = 200000 \text{ МПа}$.

9) Определение граничной относительной высоты сжатой зоны

Относительная деформация растянутой арматуры:
 $\epsilon_{s, el} = R_s/E_s = 350/200000 = 0,00175$ (формула (8.2); п. 8.1.6).

Относительная деформация бетона:
 $\epsilon_{b2} = 0,0035$.

10) Продолжение расчета по п. п. 8.1.6 СП 63.13330.2012

Граничная относительная высота сжатой зоны:
 $\xi_R = 0,8/(1+\epsilon_{s, el}/\epsilon_{b2}) =$
 $= 0,8/(1+0,00175/0,0035) = 0,53333$ (формула (8.1); п. 8.1.6).

11) Расчет изгибаемых элементов

Сечение - прямоугольное.

Т.к. $R_s A_s = 350 \cdot 0,00344 = 1,204 \text{ МН} = 122,77383 \text{ тс} > R_{sc} A'_s = 350 \cdot 0,00055 = 0,1925 \text{ МН} = 19,62954 \text{ тс}$:

Высота сжатой зоны:
 $x = (R_s A_s - R_{sc} A'_s)/(R_b b) =$
 $= (350 \cdot 0,00344 - 350 \cdot 0,00055)/(13,05 \cdot 1) = 0,07751 \text{ м} = 7,75 \text{ см}$ (формула (8.5); п. 8.1).

Рабочая высота сечения:
 $h_0 = h - a_s = 0,7 - 0,07 = 0,63 \text{ м} = 63 \text{ см}$.

Относительная высота сжатой зоны:
 $\xi = x/h_0 = 0,07751/0,63 = 0,12303$.

Т.к. $\xi = 0,12303 \leq \xi_R = 0,53333$; $x > 0 \text{ м} = 0 \text{ см}$:

Предельный изгибающий момент:
 $M_{ult} = R_b b x (h_0 - 0,5 x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a'_s) =$
 $= 13,05 \cdot 1 \cdot 0,07751 \cdot (0,63 - 0,5 \cdot 0,07751) + 350 \cdot 0,00055 \cdot (0,63 - 0,03) = 0,71355 \text{ МН м} = 72,76 \text{ тс м}$ (формула (8.4); п. 8.1.9).

$M = 0,63743 \text{ МН м} = 64,99977 \text{ тс м} \leq M_{ult} = 0,71355 \text{ МН м} = 72,76185 \text{ тс м}$ (89,33221% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.3); п. п. 8.1.8).

12) Определение значения начального модуля упругости бетона

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000 \text{ МПа}$.

13) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Т.к. $\gamma_{b1} < 1$:

Коэффициент ползучести принимается по табл. 6.12 $\varphi_{b, cr} = 1,8$.

14) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Начальный модуль упругости, принимаемый при продолжительном действии нагрузки:
 $E_b, \tau = E_b/(1+\varphi_{b, cr}) =$
 $= 30000/(1+1,8) = 10714,28571 \text{ МПа}$ (формула (6.3); п. 6.1.15).

15) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа} .$$

16) Определение характеристик приведенного сечения

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:

$$\alpha_s = E_s/E_b = 200000/10714,29 = 18,66666 .$$

$$h'_o = h - a'_s = 0,7 - 0,03 = 0,67 \text{ м} = 67 \text{ см} .$$

Площадь сечения:

$$A = b h = 1 \cdot 0,7 = 0,7 \text{ м}^2 = 7000 \text{ см}^2 .$$

Статический момент бетонного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_t = b h^2/2 = 1 \cdot 0,7^2/2 = 0,245 \text{ м}^3 = 245000 \text{ см}^3 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00055 - 0,00344 = 0,69601 \text{ м}^2 = 6960,1 \text{ см}^2 .$$

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{red} = \alpha_s (A_s + A'_s) + A_b = 18,66666 \cdot (0,00344 + 0,00055) + 0,69601 = 0,77049 \text{ м}^2 = 7704,9 \text{ см}^2 .$$

Статический момент приведенного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_{t, red} = (\alpha_s - 1) (A_s a_s + A'_s (h - a'_s)) + b h^2/2 = \\ = (18,66666 - 1) \cdot (0,00344 \cdot 0,07 + 0,00055 \cdot (0,7 - 0,03)) + 1 \cdot 0,7^2/2 = 0,25576 \text{ м}^3 = 255760 \text{ см}^3 .$$

Координата центра тяжести расчетного контура:

$$y_o = S_{t, red}/A_{red} = 0,25576/0,77049 = 0,33194 \text{ м} = 33,19 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее растянутого волокна бетона до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_t = y_o = 0,33194 \text{ м} = 33,19 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_c = h - y_t = 0,7 - 0,33194 = 0,36806 \text{ м} = 36,81 \text{ см} .$$

$$y_s = y_o - a_s = 0,33194 - 0,07 = 0,26194 \text{ м} = 26,19 \text{ см} .$$

$$y'_s = h - a_s - a'_s - y_s = 0,7 - 0,07 - 0,03 - 0,26194 = 0,33806 \text{ м} = 33,81 \text{ см} .$$

Момент инерции бетонного сечения относительно центра тяжести приведенного сечения:

$$I = b h^3/12 + A (h/2 - y_t)^2 = \\ = 1 \cdot 0,7^3/12 + 0,7 \cdot (0,7/2 - 0,33194)^2 = 0,02881 \text{ м}^4 = 2881000 \text{ см}^4 .$$

17) Определение момента образования трещин

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:

$$R_{b, ser} = R_{bn} = 18,5 \text{ МПа} .$$

Расчетное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний второй группы:

$$R_{bt, ser} = R_{btn} = 1,55 \text{ МПа} .$$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_c)^2 = 0,00344 \cdot (0,7 - 0,07 - 0,36806)^2 = 0,000236027 \text{ м}^4 = 23602,7 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$I'_s = A'_s (y_c - a'_s)^2 = \\ = 0,00055 \cdot (0,36806 - 0,03)^2 = 0,000062857 \text{ м}^4 = 6285,7 \text{ см}^4 .$$

18) Продолжение расчета по п. п. 8.2.12 СП 63.13330.2012

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{red} = I + I_s (\alpha_s - 1) + I'_s (\alpha_s - 1) = \\ = 0,02881 + 0,000236027 \cdot (18,66666 - 1) + 0,000062857 \cdot (18,66666 - 1) = 0,03409 \text{ м}^4 = 3409000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.125); п. 8.2.12)} .$$

Упругий момент сопротивления приведенного сечения:

$$W_{red} = I_{red}/y_t = 0,03409/0,33194 = 0,1027 \text{ м}^3 = 102700 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.123); п. 8.2.12)} .$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны:

$$e_x = W_{red}/A_{red} = 0,1027/0,77049 = 0,13329 \text{ м} = 13,33 \text{ см} \text{ (формула (8.124); п. 8.2.12)} .$$

Момент образования трещин определяется - с учетом неупругих деформаций.

Упругопластический момент сопротивления сечения:

$$W_{pl} = 1,3 W_{red} = 1,3 \cdot 0,1027 = 0,13351 \text{ м}^3 = 133510 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.122); п. 8.2.11)}.$$

Изгибающий момент, воспринимаемый нормальным сечением элемента при образовании трещин:

$$M_{crc} = R_{bt, ser} W_{pl} = 1,55 \cdot 0,13351 = 0,20694 \text{ МН м} = 21,1 \text{ тс м (формула (8.121); п. 8.2.11)}.$$

19) Проверка необходимости увеличения площади сечения продольной растянутой арматуры, если предельное усилие по прочности меньше предельного усилия по образованию трещин

$$\text{Т.к. } M_{ult} = 0,71355 \text{ МН м} = 72,76185 \text{ тс м} \geq M_{crc} = 0,20694 \text{ МН м} = 21,10201 \text{ тс м} :$$

в соответствии с п. 8.1.3 при M_{ult} не менее M_{crc} площадь сечения растянутой продольной арматуры не должна быть увеличена по сравнению с требуемой.

20) Проверка необходимости сжатой арматуры

(проверяем несущую способность, предполагая отсутствие сжатой арматуры)

Высота сжатой зоны:

$$\begin{aligned} x &= R_s A_s / (R_b b) = \\ &= 350 \cdot 0,00344 / (13,05 \cdot 1) = 0,09226 \text{ м} = 9,23 \text{ см (формула (8.5); п. 8.1)}. \end{aligned}$$

Относительная высота сжатой зоны:

$$\xi = x/h_0 = 0,09226/0,63 = 0,14644 .$$

$$\text{Т.к. } \xi = 0,14644 \leq \xi_R = 0,53333 :$$

Предельный изгибающий момент:

$$\begin{aligned} M_{ult} &= R_b b x (h_0 - 0,5 x) = \\ &= 13,05 \cdot 1 \cdot 0,09226 \cdot (0,63 - 0,5 \cdot 0,09226) = 0,70298 \text{ МН м} = 71,68 \text{ тс м (формула (8.4); п. 8.1)}. \end{aligned}$$

21) Продолжение расчета по п. п. 8.1.8 СП 63.13330.2012

$$\text{Т.к. } M = 0,63743 \text{ МН м} = 64,99977 \text{ тс м} \leq M_{ult} = 0,70298 \text{ МН м} = 71,68401 \text{ тс м} :$$

- сжатая арматура по расчету не требуется, поэтому не требуется устанавливать поперечную арматуру в соответствии с п. 10.3.14.

22) Расчет железобетонных элементов по полосе между наклонными сечениями

Коэффициент:

$$\phi_{b1} = 0,3 .$$

Приведенное значение толщины защитного слоя растянутой арматуры:

$$a = a_s = 0,07 \text{ м} = 7 \text{ см} .$$

Приведенное значение толщины защитного слоя сжатой арматуры:

$$a' = a'_s = 0,03 \text{ м} = 3 \text{ см} .$$

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a = 0,7 - 0,07 = 0,63 \text{ м} = 63 \text{ см} .$$

23) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа} .$$

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:

$$\alpha_s = E_s/E_b = 200000/10714,29 = 18,66666 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00055 - 0,00344 = 0,69601 \text{ м}^2 = 6960,1 \text{ см}^2 .$$

Приведенная площадь сечения элемента с учетом продольной арматуры:

$$\begin{aligned} A &= A_b + \alpha_s (A'_s + A_s) = \\ &= 0,69601 + 18,66666 \cdot (0,00055 + 0,00344) = 0,77049 \text{ м}^2 = 7704,9 \text{ см}^2 . \end{aligned}$$

Коэффициент, учитывающий влияние сжимающих и растягивающих напряжений:

$$\varphi_n = 1 .$$

$Q = 0,68647 \text{ МН} = 70,00046 \text{ тс} \leq \varphi_n \varphi_{b1} R_b b h_0 = 1 \cdot 0,3 \cdot 13,05 \cdot 1 \cdot 0,63 = 2,46645 \text{ МН} = 251,50791 \text{ тс}$ (27,83231% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.55); п. 8.1.32).

24) Расчет железобетонных элементов по наклонным сечениям на действие поперечных сил

Коэффициент:

$$\varphi_{b2} = 1,5 .$$

Расчет - по упрощенным формулам, полученным на основе анализа СП 63.13330.2012.

Коэффициент:

$$\varphi_{sw} = 0,75 .$$

Усилия в поперечной арматуре на единицу длины:

$$q_{sw} = R_{sw} A_{sw}/s_w = 280 \cdot 0,00055/0,2 = 0,77 \text{ МН/м} = 78,52 \text{ тс/м}$$
 (формула (8.59); п. 8.1.33).

Длина проекции наклонного сечения:

$$c = \sqrt{2 R_{bt} b h_0^2 / q_{sw}} = \\ = \sqrt{2 \cdot 0,945 \cdot 1 \cdot 0,63^2 / 0,77} = 0,98702 \text{ м} = 98,7 \text{ см} .$$

Т.к. $c = 0,98702 \text{ м} = 98,702 \text{ см} \leq 2 h_0 = 2 \cdot 0,63 = 1,26 \text{ м} = 126 \text{ см}$ и $c = 0,98702 \text{ м} = 98,702 \text{ см} \geq h_0 = 0,63 \text{ м} = 63 \text{ см}$:

Поперечная сила, воспринимаемая бетоном:

$$Q_b = \varphi_{b2} R_{bt} b h_0^2 / c = \\ = 1,5 \cdot 0,945 \cdot 1 \cdot 0,63^2 / 0,98702 = 0,57 \text{ МН} = 58,12 \text{ тс}$$
 (формула (8.57); п. 8.1.33).

Усилие в поперечной арматуре:

$$Q_{sw} = \varphi_{sw} q_{sw} c = \\ = 0,75 \cdot 0,77 \cdot 0,98702 = 0,57 \text{ МН} = 58,12 \text{ тс}$$
 (формула (8.58); п. 8.1.33).

$q_{sw} = 0,77 \text{ МН} = 78,51815 \text{ тс} \geq 0,25 R_{bt} b = 0,25 \cdot 0,945 \cdot 1 = 0,23625 \text{ МН} = 24,0908 \text{ тс}$ (325,92593% от предельного значения) - условие выполнено .

$Q = 0,68647 \text{ МН} = 70,00046 \text{ тс} \leq R_{bt} b h_0^2 / s_w = 0,945 \cdot 1 \cdot 0,63^2 / 0,2 = 1,87535 \text{ МН} = 191,23273 \text{ тс}$ (36,60485% от предельного значения) - условие выполнено .

(из требования по ограничению шага арматуры)

$s_w = 0,2 \text{ м} = 20 \text{ см} \leq \min(0,5 h_0 ; 0,3) = \min(0,5 \cdot 0,63; 0,3) = 0,3 \text{ м} = 30 \text{ см}$ (66,66667% от предельного значения) - условие выполнено .

25) Продолжение расчета по п. п. 8.1.33 СП 63.13330.2012

Коэффициент, учитывающий влияние сжимающих и растягивающих напряжений:

$$\varphi_n = 1 .$$

$Q = 0,68647 \text{ МН} = 70,00046 \text{ тс} \leq \varphi_n Q_b + Q_{sw} = 1 \cdot 0,57 + 0,57 = 1,14 \text{ МН} = 116,24765 \text{ тс}$ (60,21667% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.56); п. 8.1.33).

26) Проверка требования минимального процента армирования

Арматура расположена по контуру сечения - не равномерно.

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a_s = 0,7 - 0,07 = 0,63 \text{ м} = 63 \text{ см} .$$

Коэффициент армирования:

$$\mu_s = A_s / (b h_0) \cdot 100 = 0,00344 / (1 \cdot 0,63) \cdot 100 = 0,54603 \% .$$

$\mu_s \geq 0,1 \%$ (546,03% от предельного значения) - условие выполнено .

Расчет балок прямоугольного сечения по трещиностойкости. РМ8 вдоль оси X.

Информация о расчете:

Дата выполнения расчета: 12.11.2021 13:38:47;

Исходные данные:

Защитный слой:

- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S до грани сечения
 $a_s = 7 \text{ см} = 7 / 100 = 0,07 \text{ м};$
- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S' до грани сечения
 $a'_s = 3 \text{ см} = 3 / 100 = 0,03 \text{ м};$

Номинальный диаметр продольной арматуры:

- Номинальный диаметр продольной ненапрягаемой арматуры растянутой зоны $d_s = 25 \text{ мм};$

Площадь ненапрягаемой наиболее растянутой продольной арматуры:

(Стержневая арматура, диаметром 25 мм; 16 шт.):

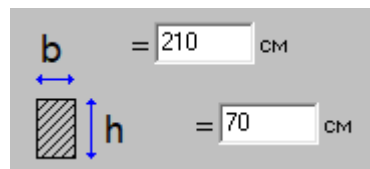
- Площадь ненапрягаемой растянутой арматуры
 $A_s = 78,5 \text{ см}^2 = 78,5 / 10000 = 0,00785 \text{ м}^2;$

Площадь ненапрягаемой сжатой или наименее растянутой продольной арматуры:

(Стержневая арматура, диаметром 10 мм; 16 шт.):

- Площадь ненапрягаемой сжатой арматуры $A'_s = 12,6 \text{ см}^2 = 12,6 / 10000 = 0,00126 \text{ м}^2;$

Размеры сечения:



- Высота сечения $h = 70 \text{ см} = 70 / 100 = 0,7 \text{ м};$
- Ширина прямоугольного сечения $b = 210 \text{ см} = 210 / 100 = 2,1 \text{ м};$

Усилия в двух направлениях:

- Изгибающий момент вокруг оси X $M_x = 120 \text{ тс м} = 120 / 101,97162123 = 1,1768 \text{ МН м};$
- Изгибающий момент вокруг оси Y $M_y = 0 \text{ тс м} = 0 / 101,97162123 = 0 \text{ МН м};$
- Изгибающий момент вокруг оси X от постоянной и длительной нагрузки
 $M_{Ix} = 120 \text{ тс м} = 120 / 101,97162123 = 1,1768 \text{ МН м};$

Усилия от нормативной нагрузки:

- Нормальная сила от полной нормативной нагрузки
 $N = 0 \text{ тс} = 0 / 101,97162123 = 0 \text{ МН};$

Результаты расчета:

Расчетное сопротивление бетона

Конструкция - железобетонная.

Предварительное напряжение арматуры - отсутствует.

Класс бетона - В25.

Бетон - тяжелый.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{bn} = 18,5 \text{ МПа} .$

Нормативное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{btn} = 1,55 \text{ МПа} .$

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию принимается по табл. 6.8 $R_b = 14,5$ МПа .

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению принимается по табл. 6.8 $R_{bt} = 1,05$ МПа .

Класс бетона по прочности:

$B = 25$.

Учет особенностей работы бетона в конструкции

Действие нагрузки - продолжительное.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий длительность действия нагрузки:

$\gamma_{b1} = 0,9$.

Конструкция бетонируется - в горизонтальном положении.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий бетонирование в вертикальном положении:

$\gamma_{b3} = 1$.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий характер разрушения ячеистого бетона:

$\gamma_{b4} = 1$.

Для надземной конструкции, при расчетной температуре наружного воздуха в зимний период не менее -40 град.:

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий влияние попеременного замораживания и оттаивания:

$\gamma_{b5} = 1$.

Группа предельных состояний - вторая.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний первой группы:

$R_{bn} = \gamma_{b1} \gamma_{b3} \gamma_{b4} \gamma_{b5} R_{bn} =$
 $= 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 18,5 = 16,65$ МПа .

Нормативное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний первой группы:

$R_{btn} = \gamma_{b1} R_{btn} = 0,9 \cdot 1,55 = 1,395$ МПа .

Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$E_s = 200000$ МПа .

Продолжение расчета по п. 8.2 СП 63.13330.2012

Расчет - балок.

Приведенное значение толщины защитного слоя растянутой арматуры:

$a = a_s = 0,07$ м = 7 см .

Приведенное значение толщины защитного слоя сжатой арматуры:

$a' = a'_s = 0,03$ м = 3 см .

Рабочая высота сечения:

$h_0 = h - a = 0,7 - 0,07 = 0,63$ м = 63 см .

Деформации в арматуре - не заданы.

Определение значения начального модуля упругости при непродолжительном действии нагрузки

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000$ МПа .

Определение характеристик приведенного сечения

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:

$\alpha_s = E_s / E_b = 200000 / 30000 = 6,66667$.

$h'_0 = h - a'_s = 0,7 - 0,03 = 0,67$ м = 67 см .

Сечение - прямоугольное.

Площадь сечения:

$$A = b h = 2,1 \cdot 0,7 = 1,47 \text{ м}^2 = 14700 \text{ см}^2 .$$

Статический момент бетонного сечения относительно наиболее растянутого волокна:
 $S_t = b h^2/2 = 2,1 \cdot 0,7^2/2 = 0,5145 \text{ м}^3 = 514500 \text{ см}^3 .$

Площадь сечения бетона:
 $A_b = b h - A'_s - A_s = 2,1 \cdot 0,7 - 0,00126 - 0,00785 = 1,46089 \text{ м}^2 = 14608,9 \text{ см}^2 .$

Площадь приведенного поперечного сечения:
 $A_{red} = \alpha_s (A_s + A'_s) + A_b =$
 $= 6,66667 \cdot (0,00785 + 0,00126) + 1,46089 = 1,52162 \text{ м}^2 = 15216,2 \text{ см}^2 .$

Статический момент приведенного сечения относительно наиболее растянутого волокна:
 $S_{t, red} = (\alpha_s - 1) (A_s a_s + A'_s (h - a'_s)) + b h^2/2 =$
 $= (6,66667 - 1) \cdot (0,00785 \cdot 0,07 + 0,00126 \cdot (0,7 - 0,03)) + 2,1 \cdot 0,7^2/2 = 0,5224 \text{ м}^3 = 522400 \text{ см}^3 .$

Координата центра тяжести расчетного контура:
 $y_o = S_{t, red} / A_{red} = 0,5224 / 1,52162 = 0,34332 \text{ м} = 34,33 \text{ см} .$

Расстояние от наиболее растянутого волокна бетона до центра тяжести приведенного сечения:
 $y_t = y_o = 0,34332 \text{ м} = 34,33 \text{ см} .$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:
 $y_c = h - y_t = 0,7 - 0,34332 = 0,35668 \text{ м} = 35,67 \text{ см} .$

$$y_s = y_o - a_s = 0,34332 - 0,07 = 0,27332 \text{ м} = 27,33 \text{ см} .$$

$$y'_s = h - a_s - a'_s - y_s = 0,7 - 0,07 - 0,03 - 0,27332 = 0,32668 \text{ м} = 32,67 \text{ см} .$$

Момент инерции бетонного сечения относительно центра тяжести приведенного сечения:
 $I = b h^3/12 + A (h/2 - y_t)^2 =$
 $= 2,1 \cdot 0,7^3/12 + 1,47 \cdot (0,7/2 - 0,34332)^2 = 0,06009 \text{ м}^4 = 6009000 \text{ см}^4 .$

Определение момента образования трещин

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:
 $R_{b, ser} = R_{bn} = 16,65 \text{ МПа} .$

Расчетное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний второй группы:
 $R_{bt, ser} = R_{btn} = 1,395 \text{ МПа} .$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:
 $I_s = A_s (h - a_s - y_c)^2 = 0,00785 \cdot (0,7 - 0,07 - 0,35668)^2 = 0,00059 \text{ м}^4 = 59000 \text{ см}^4 .$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:
 $I'_s = A'_s (y_c - a'_s)^2 =$
 $= 0,00126 \cdot (0,35668 - 0,03)^2 = 0,000134467 \text{ м}^4 = 13446,7 \text{ см}^4 .$

Продолжение расчета по п. п. 8.2.12 СП 63.13330.2012

Момент инерции приведенного поперечного сечения:
 $I_{red} = I + I_s (\alpha_s - 1) + I'_s (\alpha_s - 1) =$
 $= 0,06009 + 0,00059 \cdot (6,66667 - 1) + 0,000134467 \cdot (6,66667 - 1) = 0,0642 \text{ м}^4 = 6420000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.125); п. 8.2.12)} .$

Упругий момент сопротивления приведенного сечения:
 $W_{red} = I_{red} / y_t = 0,0642 / 0,34332 = 0,187 \text{ м}^3 = 187000 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.123); п. 8.2.12)} .$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны:
 $e_x = W_{red} / A_{red} = 0,187 / 1,52162 = 0,1229 \text{ м} = 12,29 \text{ см} \text{ (формула (8.124); п. 8.2.12)} .$

Момент образования трещин определяется - с учетом неупругих деформаций.

Упругопластический момент сопротивления сечения:
 $W_{pl} = 1,3 W_{red} = 1,3 \cdot 0,187 = 0,2431 \text{ м}^3 = 243100 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.122); п. 8.2.11)} .$

Изгибающий момент, воспринимаемый нормальным сечением элемента при образовании трещин:
 $M_{crc} = R_{bt, ser} W_{pl} = 1,395 \cdot 0,2431 = 0,33912 \text{ МН м} = 34,58 \text{ тс м} \text{ (формула (8.121); п. 8.2.11)} .$

1. Продолжительное раскрытие трещин

Предельная ширина раскрытия трещин при продолжительном действии нагрузки

Расчет на раскрытие трещин ведется из условия - обеспечения сохранности арматуры.

Предельно допустимая ширина раскрытия трещин:

$$a_{сгс, ult} = 0,3 \text{ мм} .$$

Определение значения начального модуля упругости при продолжительном действии нагрузки

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000 \text{ МПа}$.

Относительная влажность воздуха окружающей среды - выше 75%.

Коэффициент ползучести принимается по табл. 6.12 $\varphi_{b, cr} = 1,8$.

Начальный модуль упругости, принимаемый при продолжительном действии нагрузки:

$$E_{b, \tau} = E_b / (1 + \varphi_{b, cr}) = \\ = 30000 / (1 + 1,8) = 10714,28571 \text{ МПа (формула (6.3); п. 6.1.15) .}$$

$$M_I = M_{II} = 1,1768 \text{ МН м} = 120 \text{ тс м} .$$

Действие постоянных и временных длительных нагрузок

$$M = M_I = 1,1768 \text{ МН м} = 120 \text{ тс м} .$$

Коэффициент, учитывающий характер нагружения:

$$\varphi_3 = 1 .$$

$$\text{Т.к. } M = 1,1768 \text{ МН м} = 120,0002 \text{ тс м} > M_{сгс} = 0,33912 \text{ МН м} = 34,58062 \text{ тс м} :$$

Требуется расчет по раскрытию трещин.

Коэффициент, учитывающий продолжительность действия нагрузки:

$$\varphi_1 = 1,4 .$$

(т.к. раскрытие трещин продолжительное)

Определение характеристик приведенного сечения

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:

$$\alpha_s = E_s / E_b = 200000 / 10714,29 = 18,66666 .$$

$$h'_o = h - a'_s = 0,7 - 0,03 = 0,67 \text{ м} = 67 \text{ см} .$$

Площадь сечения:

$$A = b h = 2,1 \cdot 0,7 = 1,47 \text{ м}^2 = 14700 \text{ см}^2 .$$

Статический момент бетонного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_t = b h^2 / 2 = 2,1 \cdot 0,7^2 / 2 = 0,5145 \text{ м}^3 = 514500 \text{ см}^3 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b h - A'_s - A_s = 2,1 \cdot 0,7 - 0,00126 - 0,00785 = 1,46089 \text{ м}^2 = 14608,9 \text{ см}^2 .$$

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{red} = \alpha_s (A_s + A'_s) + A_b = \\ = 18,66666 \cdot (0,00785 + 0,00126) + 1,46089 = 1,63094 \text{ м}^2 = 16309,4 \text{ см}^2 .$$

Статический момент приведенного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_{t, red} = (\alpha_s - 1) (A_s a_s + A'_s (h - a'_s)) + b h^2 / 2 = \\ = (18,66666 - 1) \cdot (0,00785 \cdot 0,07 + 0,00126 \cdot (0,7 - 0,03)) + 2,1 \cdot 0,7^2 / 2 = 0,53912 \text{ м}^3 = 539120 \text{ см}^3 .$$

Координата центра тяжести расчетного контура:

$$y_o = S_{t, red} / A_{red} = 0,53912 / 1,63094 = 0,33056 \text{ м} = 33,06 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее растянутого волокна бетона до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_t = y_o = 0,33056 \text{ м} = 33,06 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_c = h - y_t = 0,7 - 0,33056 = 0,36944 \text{ м} = 36,94 \text{ см} .$$

$$y_s = y_o - a_s = 0,33056 - 0,07 = 0,26056 \text{ м} = 26,06 \text{ см} .$$

$$y'_s = h - a_s - a'_s - y_s = 0,7 - 0,07 - 0,03 - 0,26056 = 0,33944 \text{ м} = 33,94 \text{ см} .$$

Момент инерции бетонного сечения относительно центра тяжести приведенного сечения:

$$I = b h^3 / 12 + A (h/2 - y_t)^2 = \\ = 2,1 \cdot 0,7^3 / 12 + 1,47 \cdot (0,7/2 - 0,33056)^2 = 0,06058 \text{ м}^4 = 6058000 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_c)^2 = 0,00785 \cdot (0,7 - 0,07 - 0,36944)^2 = 0,00053 \text{ м}^4 = 53000 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$I'_s = A'_s (y_c - a'_s)^2 = \\ = 0,00126 \cdot (0,36944 - 0,03)^2 = 0,000145177 \text{ м}^4 = 14517,7 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{red} = I + I_s (\alpha_s - 1) + I'_s (\alpha_s - 1) = \\ = 0,06058 + 0,00053 \cdot (18,66666 - 1) + 0,000145177 \cdot (18,66666 - 1) = 0,07251 \text{ м}^4 = 7251000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.125); п. 8.2.12) .}$$

Упругий момент сопротивления приведенного сечения:

$$W_{red} = I_{red} / y_t = 0,07251 / 0,33056 = 0,21936 \text{ м}^3 = 219360 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.123); п. 8.2.12) .}$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны:

$$e_x = W_{red} / A_{red} = 0,21936 / 1,63094 = 0,1345 \text{ м} = 13,45 \text{ см} \text{ (формула (8.124); п. 8.2.12) .}$$

Определение ширины раскрытия трещин нормальных к продольной оси элемента

Коэффициент, учитывающий профиль продольной арматуры:

$$\varphi_2 = 0,5 .$$

т. к. арматура - периодического профиля.

Определение коэффициента ψ_s

Определение напряжений в растянутой арматуре

Принимаемая относительная деформация бетона:

$$\epsilon_{b1, red} = 0,0015 .$$

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:

$$R_{b, ser} = R_{bn} = 16,65 \text{ МПа} .$$

Приведенный модуль деформации сжатого бетона:

$$E_{b, red} = R_{b, ser} / \epsilon_{b1, red} = 16,65 / 0,0015 = 11100 \text{ МПа} \text{ (формула (8.131); п. 8.2.16) .}$$

Коэффициент приведения сжатой арматуры к бетону:

$$\alpha_{s1} = E_s / E_{b, red} = 200000 / 11100 = 18,01802 \text{ (формула (8.130); п. 8.2.16) .}$$

Напряжения в растянутой арматуре определяются при $\alpha_{s2} = \alpha_{s1}$

При этом принимается для изгибаемых элементов $u_c = x_m$ - высота сжатой зоны бетона, определяемая по п. 8.2.28.

Коэффициент приведения растянутой арматуры к бетону:

$$\alpha_{s2} = \alpha_{s1} = 18,01802 .$$

Определение средней высоты сжатой зоны для изгибаемых элементов

Рабочая высота сечения:

$$h_o = h - a = 0,7 - 0,07 = 0,63 \text{ м} = 63 \text{ см} .$$

Коэффициент армирования:

$$\mu_s = A_s / (b h_o) = 0,00785 / (2,1 \cdot 0,63) = 0,00593 \% .$$

Сжатая арматура - имеется.

Коэффициент армирования сжатой ненапрягаемой арматуры:

$$\mu'_s = A'_s / (b h_o) = 0,00126 / (2,1 \cdot 0,63) = 0,00095 .$$

Средняя высота сжатой зоны бетона:

$$x_m = h_0 \left(\sqrt{(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1})^2 + 2(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1} a'/h_0) - (\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1})} \right) =$$

$$= 0,63 \cdot \left(\sqrt{(0,00593 \cdot 18,01802 + 0,00095 \cdot 18,01802)^2 + 2 \cdot (0,00593 \cdot 18,01802 + 0,00095 \cdot 18,01802 \cdot 0,03/0,63) - (0,00593 \cdot 18,01802 + 0,00095 \cdot 18,01802)} \right) = 0,22449 \text{ м} = 22,45 \text{ см} .$$

Определение средней высоты сжатой зоны бетона

Расчет ведется по приближенной формуле (8.154).

Высота сжатой зоны изгибаемого элемента:

$$x_M = x_m = 0,22449 \text{ м} = 22,45 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна до центра тяжести приведенного сечения без учета растянутой зоны:

$$y_{cm} = x_m = 0,22449 \text{ м} = 22,45 \text{ см} .$$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_{cm})^2 = 0,00785 \cdot (0,7 - 0,07 - 0,22449)^2 = 0,00129 \text{ м}^4 = 129000 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$I'_s = A'_s (y_{cm} - a'_s)^2 =$$

$$= 0,00126 \cdot (0,22449 - 0,03)^2 = 0,000047661 \text{ м}^4 = 4766,1 \text{ см}^4 .$$

Определение момента инерции сжатой зоны бетона

$$I_b = b x_m^3/3 = 2,1 \cdot 0,22449^3/3 = 0,00792 \text{ м}^4 = 792000 \text{ см}^4 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b x_m = 2,1 \cdot 0,22449 = 0,47143 \text{ м}^2 = 4714,3 \text{ см}^2 .$$

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{red} = I_b + I_s \alpha_{s2} + I'_s \alpha_{s1} =$$

$$= 0,00792 + 0,00129 \cdot 18,01802 + 0,000047661 \cdot 18,01802 = 0,03202 \text{ м}^4 = 3202000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.148); п. 8.2.27) .}$$

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{red} = A_b + A_s \alpha_{s2} + A'_s \alpha_{s1} =$$

$$= 0,47143 + 0,00785 \cdot 18,01802 + 0,00126 \cdot 18,01802 = 0,63557 \text{ м}^2 = 6355,7 \text{ см}^2 .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_c = y_{cm} = 0,22449 \text{ м} = 22,45 \text{ см} .$$

$$\sigma_s = (M (h_0 - y_c) / I_{red}) \alpha_{s1} =$$

$$= (1,1768 \cdot (0,63 - 0,22449) / 0,03202) \cdot 18,01802 = 268,52824 \text{ МПа} \text{ (формула (8.129); п. 8.2.16) .}$$

Напряжения $\sigma_{s, crс}$ определяются при $M = M_{crс}$.

Напряжения в продольной растянутой арматуре в сечении с трещиной сразу после образования нормальных трещин:

$$\sigma_{s, crс} = (M_{crс} (h_0 - y_c) / I_{red}) \alpha_{s1} =$$

$$= (0,33912 \cdot (0,63 - 0,22449) / 0,03202) \cdot 18,01802 = 77,38214 \text{ МПа} \text{ (формула (8.129); п. 8.2.18) .}$$

$$\text{Т.к. } \sigma_s = 268,5282 \text{ МПа} \geq \sigma_{s, crс} = 77,38214 \text{ МПа} :$$

Коэффициент, учитывающий неравномерное распределение относительных деформаций:

$$\psi_s = 1 - 0,8 \sigma_{s, crс} / \sigma_s =$$

$$= 1 - 0,8 \cdot 77,38214 / 268,5282 = 0,76946 \text{ (формула (8.137); п. 8.2.18) .}$$

Определение базового расстояния между трещинами

Высота растянутой зоны:

$$x_t = h - x_m = 0,7 - 0,22449 = 0,47551 \text{ м} = 47,55 \text{ см} .$$

$$\text{Т.к. } x_t = 0,47551 \text{ м} = 47,551 \text{ см} > 0,5 h = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35 \text{ м} = 35 \text{ см} :$$

Высота растянутой зоны:

$$x_t = 0,5 h = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35 \text{ м} = 35 \text{ см} .$$

Площадь сечения растянутого бетона:

$$A_{bt} = b x_t = 2,1 \cdot 0,35 = 0,735 \text{ м}^2 = 7350 \text{ см}^2 .$$

Базовое расстояние между трещинами:

$$l_s = 0,5 (A_{bt} / A_s) d_s =$$

$$= 0,5 \cdot (0,735/0,00785) \cdot 25 = 1170,38217 \text{ мм (формула (8.136); п. 8.2.17).}$$

$$\text{Т.к. } l_s = 1170,382 \text{ мм} > 40 d_s = 40 \cdot 25 = 1000 \text{ мм} :$$

Базовое расстояние между трещинами:

$$l_s = 40 d_s = 40 \cdot 25 = 1000 \text{ мм} .$$

$$\text{Т.к. } l_s > 400 \text{ мм} :$$

Базовое расстояние между трещинами:

$$l_s = 400 \text{ мм} .$$

Ширина раскрытия трещин:

$$a_{\text{сrc}} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s (\sigma_s/E_s) l_s = \\ = 1,4 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 0,76946 \cdot (268,5282/200000) \cdot 400 = 0,28927 \text{ мм (формула (8.128); п. 8.2.15).}$$

$$a_{\text{сrc}} = 0,28927 \text{ мм} \leq a_{\text{сrc, ult}} = 0,3 \text{ мм (96,42333\% от предельного значения)} - \text{условие выполнено (формула (8.118); п. п. 8.2).}$$

Ширина раскрытия трещин от продолжительного действия постоянных и временных длительных нагрузок:

$$a_{\text{сrc, 1}} = a_{\text{сrc}} = 0,28927 \text{ мм} .$$

II. Непродолжительное раскрытие трещин

Предельная ширина раскрытия трещин при непродолжительном действии нагрузки

Предельно допустимая ширина раскрытия трещин:

$$a_{\text{сrc, ult}} = 0,4 \text{ мм} .$$

Определение значения начального модуля упругости при непродолжительном действии нагрузки

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000 \text{ МПа}$.

а) Действие всех нагрузок

$$\text{Т.к. } M = 1,1768 \text{ МН м} = 120,0002 \text{ тс м} > M_{\text{сrc}} = 0,33912 \text{ МН м} = 34,58062 \text{ тс м} :$$

Требуется расчет по раскрытию трещин.

Коэффициент, учитывающий продолжительность действия нагрузки:

$$\varphi_1 = 1 .$$

(т.к. раскрытие трещин непродолжительное)

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_c)^2 = 0,00785 \cdot (0,7 - 0,07 - 0,35668)^2 = 0,00059 \text{ м}^4 = 59000 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$I'_s = A'_s (y_c - a'_s)^2 = \\ = 0,00126 \cdot (0,35668 - 0,03)^2 = 0,000134467 \text{ м}^4 = 13446,7 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{\text{red}} = I + I_s (\alpha_s - 1) + I'_s (\alpha_s - 1) = \\ = 0,06009 + 0,00059 \cdot (6,66667 - 1) + 0,000134467 \cdot (6,66667 - 1) = 0,0642 \text{ м}^4 = 6420000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.125); п. 8.2.12).}$$

Упругий момент сопротивления приведенного сечения:

$$W_{\text{red}} = I_{\text{red}}/y_t = 0,0642/0,34332 = 0,187 \text{ м}^3 = 187000 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.123); п. 8.2.12).}$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны:

$$e_x = W_{\text{red}}/A_{\text{red}} = 0,187/1,52162 = 0,1229 \text{ м} = 12,29 \text{ см} \text{ (формула (8.124); п. 8.2.12).}$$

Определение ширины раскрытия трещин нормальных к продольной оси элемента

Коэффициент, учитывающий профиль продольной арматуры:

$$\varphi_2 = 0,5 .$$

т. к. арматура - периодического профиля.

Определение коэффициента ψ_s

Определение напряжений в растянутой арматуре

Принимаемая относительная деформация бетона:
 $\epsilon_{b1, red} = 0,0015$.

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:
 $R_{b, ser} = R_{bn} = 16,65$ МПа.

Приведенный модуль деформации сжатого бетона:
 $E_{b, red} = R_{b, ser} / \epsilon_{b1, red} = 16,65 / 0,0015 = 11100$ МПа (формула (8.131); п. 8.2.16).

Коэффициент приведения сжатой арматуры к бетону:
 $\alpha_{s1} = E_s / E_{b, red} = 200000 / 11100 = 18,01802$ (формула (8.130); п. 8.2.16).

Напряжения в растянутой арматуре определяются при $\alpha_{s2} = \alpha_{s1}$

При этом принимается для изгибаемых элементов $x_c = x_m$ - высота сжатой зоны бетона, определяемая по п. 8.2.28.

Коэффициент приведения растянутой арматуры к бетону:
 $\alpha_{s2} = \alpha_{s1} = 18,01802$.

Определение средней высоты сжатой зоны для изгибаемых элементов

Рабочая высота сечения:
 $h_0 = h - a = 0,7 - 0,07 = 0,63$ м = 63 см.

Коэффициент армирования:
 $\mu_s = A_s / (b h_0) = 0,00785 / (2,1 \cdot 0,63) = 0,00593$ %.

Коэффициент армирования сжатой ненапрягаемой арматуры:
 $\mu'_s = A'_s / (b h_0) = 0,00126 / (2,1 \cdot 0,63) = 0,00095$.

Средняя высота сжатой зоны бетона:
$$x_m = h_0 \left(\sqrt{(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1})^2 + 2(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1}) a / h_0} - (\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1}) \right) =$$
$$= 0,63 \cdot \left(\sqrt{(0,00593 \cdot 18,01802 + 0,00095 \cdot 18,01802)^2 + 2 \cdot (0,00593 \cdot 18,01802 + 0,00095 \cdot 18,01802 \cdot 0,03 / 0,63)} - (0,00593 \cdot 18,01802 + 0,00095 \cdot 18,01802) \right) = 0,22449$$
 м = 22,45 см.

Определение средней высоты сжатой зоны бетона

Расчет ведется по приближенной формуле (8.154).

Высота сжатой зоны изгибаемого элемента:
 $x_M = x_m = 0,22449$ м = 22,45 см.

Расстояние от наиболее сжатого волокна до центра тяжести приведенного сечения без учета растянутой зоны:
 $y_{cm} = x_m = 0,22449$ м = 22,45 см.

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:
 $I_s = A_s (h - a_s - y_{cm})^2 = 0,00785 \cdot (0,7 - 0,07 - 0,22449)^2 = 0,00129$ м⁴ = 129000 см⁴.

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:
 $I'_s = A'_s (y_{cm} - a'_s)^2 =$
 $= 0,00126 \cdot (0,22449 - 0,03)^2 = 0,000047661$ м⁴ = 4766,1 см⁴.

Определение момента инерции сжатой зоны бетона

$I_b = b x_m^3 / 3 = 2,1 \cdot 0,22449^3 / 3 = 0,00792$ м⁴ = 792000 см⁴.

Площадь сечения бетона:
 $A_b = b x_m = 2,1 \cdot 0,22449 = 0,47143$ м² = 4714,3 см².

Момент инерции приведенного поперечного сечения:
 $I_{red} = I_b + I_s \alpha_{s2} + I'_s \alpha_{s1} =$
 $= 0,00792 + 0,00129 \cdot 18,01802 + 0,000047661 \cdot 18,01802 = 0,03202$ м⁴ = 3202000 см⁴ (формула (8.148); п. 8.2.27).

Площадь приведенного поперечного сечения:
 $A_{red} = A_b + A_s \alpha_{s2} + A'_s \alpha_{s1} =$
 $= 0,47143 + 0,00785 \cdot 18,01802 + 0,00126 \cdot 18,01802 = 0,63557$ м² = 6355,7 см².

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_c = y_{cm} = 0,22449 \text{ м} = 22,45 \text{ см} .$$

$$\begin{aligned} \sigma_s &= (M (h_0 - y_c) / I_{red}) \alpha_{s1} = \\ &= (1,1768 \cdot (0,63 - 0,22449) / 0,03202) \cdot 18,01802 = 268,52824 \text{ МПа (формула (8.129); п. 8.2.16) .} \end{aligned}$$

Напряжения σ_s , $\sigma_{s, crc}$ определяются при $M = M_{crc}$.

Напряжения в продольной растянутой арматуре в сечении с трещиной сразу после образования нормальных трещин:

$$\begin{aligned} \sigma_{s, crc} &= (M_{crc} (h_0 - y_c) / I_{red}) \alpha_{s1} = \\ &= (0,33912 \cdot (0,63 - 0,22449) / 0,03202) \cdot 18,01802 = 77,38214 \text{ МПа (формула (8.129); п. 8.2.18) .} \end{aligned}$$

$$\text{Т.к. } \sigma_s = 268,5282 \text{ МПа} \geq \sigma_{s, crc} = 77,38214 \text{ МПа} :$$

Коэффициент, учитывающий неравномерное распределение относительных деформаций:

$$\begin{aligned} \psi_s &= 1 - 0,8 \sigma_{s, crc} / \sigma_s = \\ &= 1 - 0,8 \cdot 77,38214 / 268,5282 = 0,76946 \text{ (формула (8.137); п. 8.2.18) .} \end{aligned}$$

Определение базового расстояния между трещинами

Высота растянутой зоны:

$$x_t = h - x_m = 0,7 - 0,22449 = 0,47551 \text{ м} = 47,55 \text{ см} .$$

$$\text{Т.к. } x_t = 0,47551 \text{ м} = 47,551 \text{ см} > 0,5 h = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35 \text{ м} = 35 \text{ см} :$$

Высота растянутой зоны:

$$x_t = 0,5 h = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35 \text{ м} = 35 \text{ см} .$$

Площадь сечения растянутого бетона:

$$A_{bt} = b x_t = 2,1 \cdot 0,35 = 0,735 \text{ м}^2 = 7350 \text{ см}^2 .$$

Базовое расстояние между трещинами:

$$\begin{aligned} l_s &= 0,5 (A_{bt} / A_s) d_s = \\ &= 0,5 \cdot (0,735 / 0,00785) \cdot 25 = 1170,38217 \text{ мм (формула (8.136); п. 8.2.17) .} \end{aligned}$$

$$\text{Т.к. } l_s = 1170,382 \text{ мм} > 40 d_s = 40 \cdot 25 = 1000 \text{ мм} :$$

Базовое расстояние между трещинами:

$$l_s = 40 d_s = 40 \cdot 25 = 1000 \text{ мм} .$$

$$\text{Т.к. } l_s > 400 \text{ мм} :$$

Базовое расстояние между трещинами:

$$l_s = 400 \text{ мм} .$$

Ширина раскрытия трещин:

$$\begin{aligned} a_{crc} &= \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s (\sigma_s / E_s) l_s = \\ &= 1 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 0,76946 \cdot (268,5282 / 200000) \cdot 400 = 0,20662 \text{ мм (формула (8.128); п. 8.2.15) .} \end{aligned}$$

Ширина раскрытия трещин от непродолжительного действия всех нагрузок:

$$a_{crc, 2} = a_{crc} = 0,20662 \text{ мм} .$$

б) Действие постоянных и временных длительных нагрузок

$$M_I = M_I = 1,1768 \text{ МН м} = 120 \text{ тс м} .$$

Действие постоянных и временных длительных нагрузок

$$M = M_I = 1,1768 \text{ МН м} = 120 \text{ тс м} .$$

$$\text{Т.к. } M = 1,1768 \text{ МН м} = 120,0002 \text{ тс м} > M_{crc} = 0,33912 \text{ МН м} = 34,58062 \text{ тс м} :$$

Требуется расчет по раскрытию трещин.

Коэффициент, учитывающий продолжительность действия нагрузки:

$$\varphi_1 = 1 .$$

(т.к. раскрытие трещин непродолжительное)

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_c)^2 = 0,00785 \cdot (0,7 - 0,07 - 0,35668)^2 = 0,00059 \text{ м}^4 = 59000 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$\begin{aligned} I'_s &= A'_s (y_c - a'_s)^2 = \\ &= 0,00126 \cdot (0,35668 - 0,03)^2 = 0,000134467 \text{ м}^4 = 13446,7 \text{ см}^4 . \end{aligned}$$

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$\begin{aligned} I_{red} &= I + I_s (\alpha_s - 1) + I'_s (\alpha_s - 1) = \\ &= 0,06009 + 0,00059 \cdot (6,66667 - 1) + 0,000134467 \cdot (6,66667 - 1) = 0,0642 \text{ м}^4 = 6420000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.125); п. 8.2.12) .} \end{aligned}$$

Упругий момент сопротивления приведенного сечения:

$$W_{red} = I_{red} / y_t = 0,0642 / 0,34332 = 0,187 \text{ м}^3 = 187000 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.123); п. 8.2.12) .}$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны:

$$e_x = W_{red} / A_{red} = 0,187 / 1,52162 = 0,1229 \text{ м} = 12,29 \text{ см} \text{ (формула (8.124); п. 8.2.12) .}$$

Определение ширины раскрытия трещин нормальных к продольной оси элемента

Коэффициент, учитывающий профиль продольной арматуры:

$$\varphi_2 = 0,5 .$$

т. к. арматура - периодического профиля.

Определение коэффициента ψ_s

Определение напряжений в растянутой арматуре

Принимаемая относительная деформация бетона:

$$\epsilon_{b1, red} = 0,0015 .$$

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:

$$R_{b, ser} = R_{bn} = 16,65 \text{ МПа} .$$

Приведенный модуль деформации сжатого бетона:

$$E_{b, red} = R_{b, ser} / \epsilon_{b1, red} = 16,65 / 0,0015 = 11100 \text{ МПа} \text{ (формула (8.131); п. 8.2.16) .}$$

Коэффициент приведения сжатой арматуры к бетону:

$$\alpha_{s1} = E_s / E_{b, red} = 200000 / 11100 = 18,01802 \text{ (формула (8.130); п. 8.2.16) .}$$

Напряжения в растянутой арматуре определяются при $\alpha_{s2} = \alpha_{s1}$

При этом принимается для изгибаемых элементов $y_c = x_m$ - высота сжатой зоны бетона, определяемая по п. 8.2.28.

Коэффициент приведения растянутой арматуры к бетону:

$$\alpha_{s2} = \alpha_{s1} = 18,01802 .$$

Определение средней высоты сжатой зоны для изгибаемых элементов

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a = 0,7 - 0,07 = 0,63 \text{ м} = 63 \text{ см} .$$

Коэффициент армирования:

$$\mu_s = A_s / (b h_0) = 0,00785 / (2,1 \cdot 0,63) = 0,00593 \% .$$

Коэффициент армирования сжатой ненапрягаемой арматуры:

$$\mu'_s = A'_s / (b h_0) = 0,00126 / (2,1 \cdot 0,63) = 0,00095 .$$

Средняя высота сжатой зоны бетона:

$$\begin{aligned} x_m &= h_0 \left(\sqrt{(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1})^2 + 2(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1}) a / h_0} - (\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1}) \right) = \\ &= 0,63 \cdot \left(\sqrt{(0,00593 \cdot 18,01802 + 0,00095 \cdot 18,01802)^2 + 2 \cdot (0,00593 \cdot 18,01802 + 0,00095 \cdot 18,01802 \cdot 0,03 / 0,63)} - (0,00593 \cdot \right. \\ &\left. 18,01802 + 0,00095 \cdot 18,01802) \right) = 0,22449 \text{ м} = 22,45 \text{ см} . \end{aligned}$$

Определение средней высоты сжатой зоны бетона

Расчет ведется по приближенной формуле (8.154).

Высота сжатой зоны изгибаемого элемента:

$$x_M = x_m = 0,22449 \text{ м} = 22,45 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна до центра тяжести приведенного сечения без учета растянутой зоны:

$$y_{cm} = x_m = 0,22449 \text{ м} = 22,45 \text{ см} .$$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_{cm})^2 = 0,00785 \cdot (0,7 - 0,07 - 0,22449)^2 = 0,00129 \text{ м}^4 = 129000 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$I'_s = A'_s (y_{cm} - a'_s)^2 = \\ = 0,00126 \cdot (0,22449 - 0,03)^2 = 0,000047661 \text{ м}^4 = 4766,1 \text{ см}^4 .$$

Определение момента инерции сжатой зоны бетона

$$I_b = b x_m^3 / 3 = 2,1 \cdot 0,22449^3 / 3 = 0,00792 \text{ м}^4 = 792000 \text{ см}^4 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b x_m = 2,1 \cdot 0,22449 = 0,47143 \text{ м}^2 = 4714,3 \text{ см}^2 .$$

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{red} = I_b + I_s \alpha_{s2} + I'_s \alpha_{s1} = \\ = 0,00792 + 0,00129 \cdot 18,01802 + 0,000047661 \cdot 18,01802 = 0,03202 \text{ м}^4 = 3202000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.148); п. 8.2.27)} .$$

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{red} = A_b + A_s \alpha_{s2} + A'_s \alpha_{s1} = \\ = 0,47143 + 0,00785 \cdot 18,01802 + 0,00126 \cdot 18,01802 = 0,63557 \text{ м}^2 = 6355,7 \text{ см}^2 .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_c = y_{cm} = 0,22449 \text{ м} = 22,45 \text{ см} .$$

$$\sigma_s = (M (h_0 - y_c) / I_{red}) \alpha_{s1} =$$

$$= (1,1768 \cdot (0,63 - 0,22449) / 0,03202) \cdot 18,01802 = 268,52824 \text{ МПа (формула (8.129); п. 8.2.16)} .$$

Напряжения $\sigma_{s, crс}$ определяются при $M = M_{crс}$.

Напряжения в продольной растянутой арматуре в сечении с трещиной сразу после образования нормальных трещин:

$$\sigma_{s, crс} = (M_{crс} (h_0 - y_c) / I_{red}) \alpha_{s1} = \\ = (0,33912 \cdot (0,63 - 0,22449) / 0,03202) \cdot 18,01802 = 77,38214 \text{ МПа (формула (8.129); п. 8.2.18)} .$$

Т.к. $\sigma_s = 268,5282 \text{ МПа} \geq \sigma_{s, crс} = 77,38214 \text{ МПа}$:

Коэффициент, учитывающий неравномерное распределение относительных деформаций:

$$\psi_s = 1 - 0,8 \sigma_{s, crс} / \sigma_s = \\ = 1 - 0,8 \cdot 77,38214 / 268,5282 = 0,76946 \text{ (формула (8.137); п. 8.2.18)} .$$

Определение базового расстояния между трещинами

Высота растянутой зоны:

$$x_t = h - x_m = 0,7 - 0,22449 = 0,47551 \text{ м} = 47,55 \text{ см} .$$

Т.к. $x_t = 0,47551 \text{ м} = 47,551 \text{ см} > 0,5 h = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35 \text{ м} = 35 \text{ см}$:

Высота растянутой зоны:

$$x_t = 0,5 h = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35 \text{ м} = 35 \text{ см} .$$

Площадь сечения растянутого бетона:

$$A_{bt} = b x_t = 2,1 \cdot 0,35 = 0,735 \text{ м}^2 = 7350 \text{ см}^2 .$$

Базовое расстояние между трещинами:

$$l_s = 0,5 (A_{bt} / A_s) d_s = \\ = 0,5 \cdot (0,735 / 0,00785) \cdot 25 = 1170,38217 \text{ мм (формула (8.136); п. 8.2.17)} .$$

Т.к. $l_s = 1170,382 \text{ мм} > 40 d_s = 40 \cdot 25 = 1000 \text{ мм}$:

Базовое расстояние между трещинами:

$$l_s = 40 d_s = 40 \cdot 25 = 1000 \text{ мм} .$$

Т.к. $l_s > 400 \text{ мм}$:

Базовое расстояние между трещинами:

$$l_s = 400 \text{ мм} .$$

Ширина раскрытия трещин:

$$a_{\text{сrc}} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s (\sigma_s / E_s) l_s = \\ = 1 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 0,76946 \cdot (268,5282 / 200000) \cdot 400 = 0,20662 \text{ мм (формула (8.128); п. 8.2.15).}$$

Ширина раскрытия трещин от непродолжительного действия постоянных и временных длительных нагрузок:
 $a_{\text{сrc}, 3} = a_{\text{сrc}} = 0,20662 \text{ мм} .$

Ширина раскрытия трещин:

$$a_{\text{сrc}} = a_{\text{сrc}, 1} + a_{\text{сrc}, 2} - a_{\text{сrc}, 3} = \\ = 0,28927 + 0,20662 - 0,20662 = 0,28927 \text{ мм (формула (8.120); п. 8.2).}$$

$$a_{\text{сrc}} = 0,28927 \text{ мм} \leq a_{\text{сrc}, \text{ult}} = 0,4 \text{ мм (72,3175\% от предельного значения)} - \text{условие выполнено (формула (8.118); п. п. 8.2).}$$

Расчет балок прямоугольного сечения по прочности при изгибе в одной плоскости. RM8 нижняя арматура вдоль оси Y.

Информация о расчете:

Дата выполнения расчета: 12.11.2021 14:18:28;

Исходные данные:

Защитный слой:

- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S до грани сечения
 $a_s = 8 \text{ см} = 8 / 100 = 0,08 \text{ м};$
- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S' до грани сечения
 $a'_s = 3 \text{ см} = 3 / 100 = 0,03 \text{ м};$

Площадь ненапрягаемой наиболее растянутой продольной арматуры:

- (Стержневая арматура, диаметром 16 мм; 6 шт.):
- Площадь ненапрягаемой растянутой арматуры
 $A_s = 12,1 \text{ см}^2 = 12,1 / 10000 = 0,00121 \text{ м}^2;$

Площадь ненапрягаемой сжатой или наименее растянутой продольной арматуры:

- (Стержневая арматура, диаметром 10 мм; 6 шт.):
- Площадь ненапрягаемой сжатой арматуры $A'_s = 4,7 \text{ см}^2 = 4,7 / 10000 = 0,00047 \text{ м}^2;$

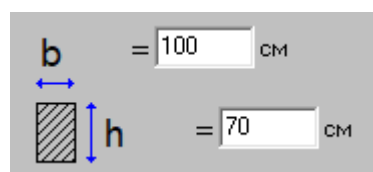
Площадь поперечной арматуры:

- (Стержневая арматура, диаметром 10 мм; 6 шт.):
- Площадь поперечной арматуры $A_{sw} = 4,71 \text{ см}^2 = 4,71 / 10000 = 0,000471 \text{ м}^2;$

Поперечная арматура:

- Шаг стержней поперечной арматуры $s_w = 20 \text{ см} = 20 / 100 = 0,2 \text{ м};$

Размеры сечения:

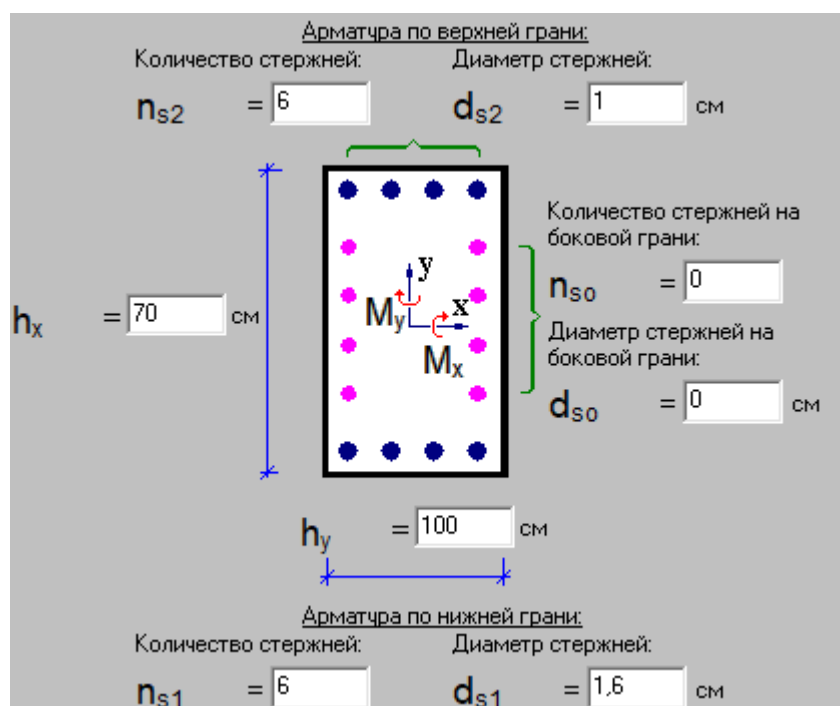


- Высота сечения $h = 70 \text{ см} = 70 / 100 = 0,7 \text{ м};$
- Ширина прямоугольного сечения $b = 100 \text{ см} = 100 / 100 = 1 \text{ м};$

Усилия:

- Изгибающий момент $M = 19 \text{ тс м} = 19 / 101,97162123 = 0,18633 \text{ МН м};$
- Поперечная сила $Q = 70 \text{ тс} = 70 / 101,97162123 = 0,68647 \text{ МН};$

Характеристики арматуры при расчете на кручение:



- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у нижней грани элемента $d_{s1} = 1,6$ см = $1,6 / 100 = 0,016$ м;
- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у нижней грани элемента $n_{s1} = 6$;
- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у верхней грани элемента $d_{s2} = 1$ см = $1 / 100 = 0,01$ м;
- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у верхней грани элемента $n_{s2} = 6$;
- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у боковой грани элемента $d_{so} = 0$ см = $0 / 100 = 0$ м;
- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у боковой грани элемента $n_{so} = 0$;

Результаты расчета:

1) Расчетное сопротивление бетона

Конструкция - железобетонная.

Предварительное напряжение арматуры - отсутствует.

Класс бетона - В25.

Бетон - тяжелый.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{bn} = 18,5$ МПа .

Нормативное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{btn} = 1,55$ МПа .

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию принимается по табл. 6.8 $R_b = 14,5$ МПа .

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению принимается по табл. 6.8 $R_{bt} = 1,05$ МПа .

Класс бетона по прочности:

$B = 25$.

2) Продолжение расчета по п. п. 8.1 СП 63.13330.2012

Расчет - балок.

Элемент - изгибаемый.

Изгиб элемента - в одной плоскости.

3) Учет особенностей работы бетона в конструкции

Действие нагрузки - продолжительное.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий длительность действия нагрузки:

$\gamma_{b1} = 0,9$.

Конструкция бетонируется - в горизонтальном положении.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий бетонирование в вертикальном положении:

$\gamma_{b3} = 1$.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий характер разрушения ячеистого бетона:
 $\gamma_{b4} = 1$.

Для надземной конструкции, при расчетной температуре наружного воздуха в зимний период не менее -40 град.:

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий влияние попеременного замораживания и оттаивания:
 $\gamma_{b5} = 1$.

Группа предельных состояний - первая.

Сейсмичность площадки строительства - не более 6 баллов.

Коэффициент условия работы по СП 14.13330 "Строительство в сейсмических районах":
 $m_{кр} = 1$.

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию при $m_{кр} = 1$:
 $R_b = \gamma_{b1} \gamma_{b3} \gamma_{b4} \gamma_{b5} R_b =$
 $= 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 14,5 = 13,05 \text{ МПа}.$

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию:
 $R_b = m_{кр} \gamma_{b1} \gamma_{b3} \gamma_{b4} \gamma_{b5} R_b =$
 $= 1 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 14,5 = 13,05 \text{ МПа}.$

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению при расчете на действие поперечных сил:
 $R_{bt} = \gamma_{b1} R_{bt} = 0,9 \cdot 1,05 = 0,945 \text{ МПа}.$

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению:
 $R_{bt} = m_{кр} \gamma_{b1} R_{bt} = 1 \cdot 0,9 \cdot 1,05 = 0,945 \text{ МПа}.$

4) Определение значения начального модуля упругости бетона

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000 \text{ МПа}.$

5) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Т.к. $\gamma_{b1} < 1$:

Относительная влажность воздуха окружающей среды - выше 75%.

Коэффициент ползучести принимается по табл. 6.12 $\varphi_{b, cr} = 1,8$.

6) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Начальный модуль упругости, принимаемый при продолжительном действии нагрузки:
 $E_b, \tau = E_b / (1 + \varphi_{b, cr}) =$
 $= 30000 / (1 + 1,8) = 10714,28571 \text{ МПа (формула (6.3); п. 6.1.15)}.$

7) Расчетные значения прочностных характеристик арматуры

Класс ненапрягаемой продольной арматуры - А400.

Расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению:
 $R_s = 350 \text{ МПа}.$

Расчетное сопротивление продольной арматуры сжатию:
 $R_{sc} = 350 \text{ МПа}.$

Поперечная арматура - рассматривается в данном расчете.

Класс поперечной арматуры - А400.

Расчетное сопротивление поперечной арматуры растяжению:
 $R_{sw} = 280 \text{ МПа}.$

Расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению:
 $R_s = m_{кр} R_s = 1 \cdot 350 = 350 \text{ МПа}.$

Расчетное сопротивление продольной арматуры сжатию:
 $R_{sc} = m_{кр} R_{sc} = 1 \cdot 350 = 350 \text{ МПа}.$

8) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа} .$$

9) Определение граничной относительной высоты сжатой зоны

Относительная деформация растянутой арматуры:

$$\epsilon_{s, el} = R_s/E_s = 350/200000 = 0,00175 \text{ (формула (8.2); п. 8.1.6) .}$$

Относительная деформация бетона:

$$\epsilon_{b2} = 0,0035 .$$

10) Продолжение расчета по п. п. 8.1.6 СП 63.13330.2012

Граничная относительная высота сжатой зоны:

$$\begin{aligned} \xi_R &= 0,8/(1+\epsilon_{s, el}/\epsilon_{b2}) = \\ &= 0,8/(1+0,00175/0,0035) = 0,53333 \text{ (формула (8.1); п. 8.1.6) .} \end{aligned}$$

11) Расчет изгибаемых элементов

Сечение - прямоугольное.

$$\text{Т.к. } R_s A_s = 350 \cdot 0,00121 = 0,4235 \text{ МН} = 43,18498 \text{ тс} > R_{sc} A'_s = 350 \cdot 0,00047 = 0,1645 \text{ МН} = 16,77433 \text{ тс} :$$

Высота сжатой зоны:

$$\begin{aligned} x &= (R_s A_s - R_{sc} A'_s)/(R_b b) = \\ &= (350 \cdot 0,00121 - 350 \cdot 0,00047)/(13,05 \cdot 1) = 0,01985 \text{ м} = 1,99 \text{ см} \text{ (формула (8.5); п. 8.1) .} \end{aligned}$$

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a_s = 0,7 - 0,08 = 0,62 \text{ м} = 62 \text{ см} .$$

Относительная высота сжатой зоны:

$$\xi = x/h_0 = 0,01985/0,62 = 0,03202 .$$

$$\text{Т.к. } \xi = 0,03202 \leq \xi_R = 0,53333; x > 0 \text{ м} = 0 \text{ см} :$$

Предельный изгибающий момент:

$$\begin{aligned} M_{ult} &= R_b b x (h_0 - 0,5 x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a'_s) = \\ &= 13,05 \cdot 1 \cdot 0,01985 \cdot (0,62 - 0,5 \cdot 0,01985) + 350 \cdot 0,00047 \cdot (0,62 - 0,03) = 0,25509 \text{ МН м} = 26,01 \text{ тс м} \text{ (формула (8.4); п. 8.1.9) .} \end{aligned}$$

$$M = 0,18633 \text{ МН м} = 19,00037 \text{ тс м} \leq M_{ult} = 0,25509 \text{ МН м} = 26,01194 \text{ тс м} \text{ (73,04481\% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.3); п. п. 8.1.8) .}$$

12) Определение значения начального модуля упругости бетона

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000 \text{ МПа} .$

13) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

$$\text{Т.к. } \gamma_{b1} < 1 :$$

Коэффициент ползучести принимается по табл. 6.12 $\varphi_{b, cr} = 1,8 .$

14) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Начальный модуль упругости, принимаемый при продолжительном действии нагрузки:

$$\begin{aligned} E_{b, \tau} &= E_b/(1+\varphi_{b, cr}) = \\ &= 30000/(1+1,8) = 10714,28571 \text{ МПа} \text{ (формула (6.3); п. 6.1.15) .} \end{aligned}$$

15) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа} .$$

16) Определение характеристик приведенного сечения

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:

$$\alpha_s = E_s/E_b = 200000/10714,29 = 18,66666 .$$

$$h'_o = h - a'_s = 0,7 - 0,03 = 0,67 \text{ м} = 67 \text{ см} .$$

Площадь сечения:

$$A = b h = 1 \cdot 0,7 = 0,7 \text{ м}^2 = 7000 \text{ см}^2 .$$

Статический момент бетонного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_t = b h^2/2 = 1 \cdot 0,7^2/2 = 0,245 \text{ м}^3 = 245000 \text{ см}^3 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00047 - 0,00121 = 0,69832 \text{ м}^2 = 6983,2 \text{ см}^2 .$$

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{red} = \alpha_s (A_s + A'_s) + A_b = 18,66666 \cdot (0,00121 + 0,00047) + 0,69832 = 0,72968 \text{ м}^2 = 7296,8 \text{ см}^2 .$$

Статический момент приведенного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_{t, red} = (\alpha_s - 1) (A_s a_s + A'_s (h - a'_s)) + b h^2/2 = \\ = (18,66666 - 1) \cdot (0,00121 \cdot 0,08 + 0,00047 \cdot (0,7 - 0,03)) + 1 \cdot 0,7^2/2 = 0,25227 \text{ м}^3 = 252270 \text{ см}^3 .$$

Координата центра тяжести расчетного контура:

$$y_o = S_{t, red} / A_{red} = 0,25227 / 0,72968 = 0,34573 \text{ м} = 34,57 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее растянутого волокна бетона до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_t = y_o = 0,34573 \text{ м} = 34,57 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_c = h - y_t = 0,7 - 0,34573 = 0,35427 \text{ м} = 35,43 \text{ см} .$$

$$y_s = y_o - a_s = 0,34573 - 0,08 = 0,26573 \text{ м} = 26,57 \text{ см} .$$

$$y'_s = h - a_s - a'_s - y_s = 0,7 - 0,08 - 0,03 - 0,26573 = 0,32427 \text{ м} = 32,43 \text{ см} .$$

Момент инерции бетонного сечения относительно центра тяжести приведенного сечения:

$$I = b h^3/12 + A (h/2 - y_t)^2 = \\ = 1 \cdot 0,7^3/12 + 0,7 \cdot (0,7/2 - 0,34573)^2 = 0,0286 \text{ м}^4 = 2860000 \text{ см}^4 .$$

17) Определение момента образования трещин

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:

$$R_{b, ser} = R_{bn} = 18,5 \text{ МПа} .$$

Расчетное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний второй группы:

$$R_{bt, ser} = R_{btn} = 1,55 \text{ МПа} .$$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_c)^2 = 0,00121 \cdot (0,7 - 0,08 - 0,35427)^2 = 0,000085441 \text{ м}^4 = 8544,1 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$I'_s = A'_s (y_c - a'_s)^2 = \\ = 0,00047 \cdot (0,35427 - 0,03)^2 = 0,000049421 \text{ м}^4 = 4942,1 \text{ см}^4 .$$

18) Продолжение расчета по п. п. 8.2.12 СП 63.13330.2012

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{red} = I + I_s (\alpha_s - 1) + I'_s (\alpha_s - 1) = \\ = 0,0286 + 0,000085441 \cdot (18,66666 - 1) + 0,000049421 \cdot (18,66666 - 1) = 0,03098 \text{ м}^4 = 3098000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.125); п. 8.2.12)} .$$

Упругий момент сопротивления приведенного сечения:

$$W_{red} = I_{red} / y_t = 0,03098 / 0,34573 = 0,08961 \text{ м}^3 = 89610 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.123); п. 8.2.12)} .$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны:

$$e_x = W_{red} / A_{red} = 0,08961 / 0,72968 = 0,12281 \text{ м} = 12,28 \text{ см} \text{ (формула (8.124); п. 8.2.12)} .$$

Момент образования трещин определяется - с учетом неупругих деформаций.

Упругопластический момент сопротивления сечения:

$$W_{pl} = 1,3 W_{red} = 1,3 \cdot 0,08961 = 0,11649 \text{ м}^3 = 116490 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.122); п. 8.2.11)} .$$

Изгибающий момент, воспринимаемый нормальным сечением элемента при образовании трещин:

$M_{crc} = R_{bt, ser} W_{pl} = 1,55 \cdot 0,11649 = 0,18056 \text{ МН м} = 18,41 \text{ тс м}$ (формула (8.121); п. 8.2.11).

19) Проверка необходимости увеличения площади сечения продольной растянутой арматуры, если предельное усилие по прочности меньше предельного усилия по образованию трещин

Т.к. $M_{ult} = 0,25509 \text{ МН м} = 26,01194 \text{ тс м} \geq M_{crc} = 0,18056 \text{ МН м} = 18,412 \text{ тс м}$:

в соответствии с п. 8.1.3 при M_{ult} не менее M_{crc} площадь сечения растянутой продольной арматуры не должна быть увеличена по сравнению с требуемой.

20) Проверка необходимости сжатой арматуры

(проверяем несущую способность, предполагая отсутствие сжатой арматуры)

Высота сжатой зоны:

$$x = R_s A_s / (R_b b) = \\ = 350 \cdot 0,00121 / (13,05 \cdot 1) = 0,03245 \text{ м} = 3,25 \text{ см} \text{ (формула (8.5); п. 8.1)}.$$

Относительная высота сжатой зоны:

$$\xi = x/h_0 = 0,03245/0,62 = 0,05234 .$$

Т.к. $\xi = 0,05234 \leq \xi_R = 0,53333$:

Предельный изгибающий момент:

$$M_{ult} = R_b b x (h_0 - 0,5 x) = \\ = 13,05 \cdot 1 \cdot 0,03245 \cdot (0,62 - 0,5 \cdot 0,03245) = 0,25568 \text{ МН м} = 26,07 \text{ тс м} \text{ (формула (8.4); п. 8.1)}.$$

21) Продолжение расчета по п. п. 8.1.8 СП 63.13330.2012

Т.к. $M = 0,18633 \text{ МН м} = 19,00037 \text{ тс м} \leq M_{ult} = 0,25568 \text{ МН м} = 26,0721 \text{ тс м}$:

- сжатая арматура по расчету не требуется, поэтому не требуется устанавливать поперечную арматуру в соответствии с п. 10.3.14.

22) Расчет железобетонных элементов по полосе между наклонными сечениями

Коэффициент:

$$\varphi_{b1} = 0,3 .$$

Приведенное значение толщины защитного слоя растянутой арматуры:

$$a = a_s = 0,08 \text{ м} = 8 \text{ см} .$$

Приведенное значение толщины защитного слоя сжатой арматуры:

$$a' = a'_s = 0,03 \text{ м} = 3 \text{ см} .$$

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a = 0,7 - 0,08 = 0,62 \text{ м} = 62 \text{ см} .$$

23) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа} .$$

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:

$$\alpha_s = E_s/E_b = 200000/10714,29 = 18,66666 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00047 - 0,00121 = 0,69832 \text{ м}^2 = 6983,2 \text{ см}^2 .$$

Приведенная площадь сечения элемента с учетом продольной арматуры:

$$A = A_b + \alpha_s (A'_s + A_s) = \\ = 0,69832 + 18,66666 \cdot (0,00047 + 0,00121) = 0,72968 \text{ м}^2 = 7296,8 \text{ см}^2 .$$

Коэффициент, учитывающий влияние сжимающих и растягивающих напряжений:

$$\varphi_n = 1 .$$

$Q = 0,68647 \text{ МН} = 70,00046 \text{ тс} \leq \varphi_n \varphi_{b1} R_b b h_0 = 1 \cdot 0,3 \cdot 13,05 \cdot 1 \cdot 0,62 = 2,4273 \text{ МН} = 247,51572 \text{ тс}$ (28,28122% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.55); п. 8.1.32).

24) Расчет железобетонных элементов по наклонным сечениям на действие поперечных сил

Коэффициент:

$$\varphi_{b2} = 1,5 .$$

Расчет - по упрощенным формулам, полученным на основе анализа СП 63.13330.2012.

Коэффициент:

$$\varphi_{sw} = 0,75 .$$

Усилия в поперечной арматуре на единицу длины:

$$q_{sw} = R_{sw} A_{sw}/s_w = 280 \cdot 0,000471/0,2 = 0,6594 \text{ МН/м} = 67,24 \text{ тс/м (формула (8.59); п. 8.1.33)} .$$

Длина проекции наклонного сечения:

$$c = \sqrt{2 R_{bt} b h_0^2 / q_{sw}} = \\ = \sqrt{2 \cdot 0,945 \cdot 1 \cdot 0,62^2 / 0,6594} = 1,04966 \text{ м} = 104,97 \text{ см} .$$

$$\text{Т.к. } c = 1,04966 \text{ м} = 104,966 \text{ см} \leq 2 h_0 = 2 \cdot 0,62 = 1,24 \text{ м} = 124 \text{ см} \text{ и } c = 1,04966 \text{ м} = 104,966 \text{ см} \geq h_0 = 0,62 \text{ м} = 62 \text{ см} :$$

Поперечная сила, воспринимаемая бетоном:

$$Q_b = \varphi_{b2} R_{bt} b h_0^2 / c = \\ = 1,5 \cdot 0,945 \cdot 1 \cdot 0,62^2 / 1,04966 = 0,51911 \text{ МН} = 52,93 \text{ тс (формула (8.57); п. 8.1.33)} .$$

Усилие в поперечной арматуре:

$$Q_{sw} = \varphi_{sw} q_{sw} c = \\ = 0,75 \cdot 0,6594 \cdot 1,04966 = 0,51911 \text{ МН} = 52,93 \text{ тс (формула (8.58); п. 8.1.33)} .$$

$q_{sw} = 0,6594 \text{ МН} = 67,24009 \text{ тс} \geq 0,25 R_{bt} b = 0,25 \cdot 0,945 \cdot 1 = 0,23625 \text{ МН} = 24,0908 \text{ тс}$ (279,11111% от предельного значения) - условие выполнено .

$Q = 0,68647 \text{ МН} = 70,00046 \text{ тс} \leq R_{bt} b h_0^2 / s_w = 0,945 \cdot 1 \cdot 0,62^2 / 0,2 = 1,81629 \text{ МН} = 185,21004 \text{ тс}$ (37,79518% от предельного значения) - условие выполнено .

(из требования по ограничению шага арматуры)

$s_w = 0,2 \text{ м} = 20 \text{ см} \leq \min(0,5 h_0 ; 0,3) = \min(0,5 \cdot 0,62; 0,3) = 0,3 \text{ м} = 30 \text{ см}$ (66,66667% от предельного значения) - условие выполнено .

25) Продолжение расчета по п. п. 8.1.33 СП 63.13330.2012

Коэффициент, учитывающий влияние сжимающих и растягивающих напряжений:

$$\varphi_n = 1 .$$

$Q = 0,68647 \text{ МН} = 70,00046 \text{ тс} \leq \varphi_n Q_b + Q_{sw} = 1 \cdot 0,51911 + 0,51911 = 1,03822 \text{ МН} = 105,86898 \text{ тс}$ (66,1199% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.56); п. 8.1.33) .

26) Проверка требования минимального процента армирования

Арматура расположена по контуру сечения - не равномерно.

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a_s = 0,7 - 0,08 = 0,62 \text{ м} = 62 \text{ см} .$$

Коэффициент армирования:

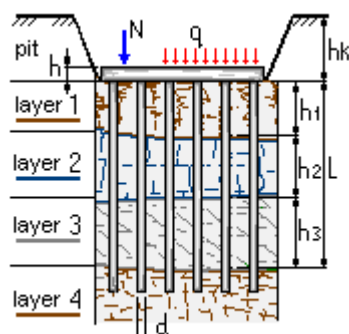
$$\mu_s = A_s / (b h_0) \cdot 100 = 0,00121 / (1 \cdot 0,62) \cdot 100 = 0,19516 \% .$$

$\mu_s \geq 0,1 \%$ (195,16% от предельного значения) - условие выполнено .

Результаты расчета

Расчет плиты на свайном основании. Ростверк РМ9.

1. - Исходные данные:



Количество слоев 2

Характеристики грунта:

Номер слоя	Тип грунта	Модуль E	Ед. изм.	1 Точка, м	2 Точка, м	3 Точка, м	4 Точка, м
Слой 1	Глинистый	800	тс/м ²	h= 7,8	h= 7,8	h= 7,8	h= 7,8
Слой 2	Песчаный	2800	тс/м ²				

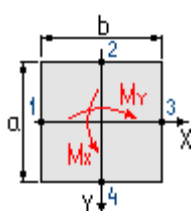
Исходные данные для расчета:
 Прямоугольная плита

Наименование исходных данных	Величина	Ед. измерения
Длина вдоль Y	3,2	м
Ширина вдоль X	2,3	м
Допустимая расчетная нагрузка на сваю (Fd)	40	тс
Длина сваи (L)	8,5	м
Диаметр (сторона)	0,3	м
Толщина плиты	0,7	м
Вылет плиты за грань крайней сваи	0,1	м

Квадратные сваи

Приведенная нагрузка: N= 400 тс; M_y= 1,7 тс*м; M_x= 2,3 тс*м

2. - Выводы:



Требуемое количество свай 11 шт.

Ориентировочный шаг свай (для расчета осадки) 0,87 м

По расчету на продавливание рядовой сваей несущей способности плиты ДОСТАТОЧНО.

По расчету на продавливание угловой сваей несущей способности плиты ДОСТАТОЧНО.

Расположение свай принято равномерным по всей площади плиты.

Расчетный момент в плите M= 1,94 тс*м (на погонный метр)

Армирование симметричное, шаг 200 мм во всех направлениях.

Защитный слой 35 мм в верхней, 70 мм в нижней зоне плиты.

Арматура d 5 A 400 в обоих направлениях.

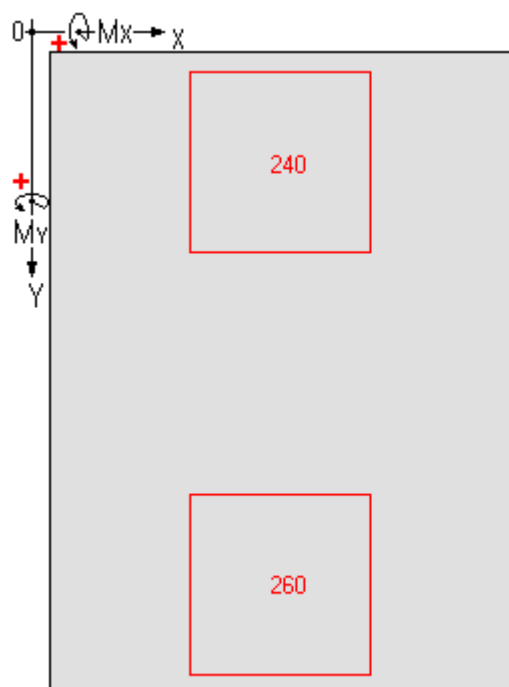
Армирование свайной плиты следует уточнить, выполнив расчет плиты на естественном основании с применением приведенного модуля деформации E_{red}= 5468,03 тс/м²

либо расчет плиты на упругих опорах (сваях) с коэффициентом упругости 5501,83 тс/м

Результаты расчета

Расчет плиты. Ростверк РМ9

1. - Исходные данные:



Длина вдоль X 2,3 м
 Ширина вдоль Y 3,2 м
 Толщина плиты 0,7 м

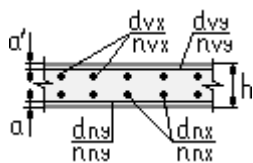
Характеристики грунта Суглинки
 Модуль деформации грунта 5470 тс/м²
 Коэффициент постели 7931,5 (тс/м)/м²

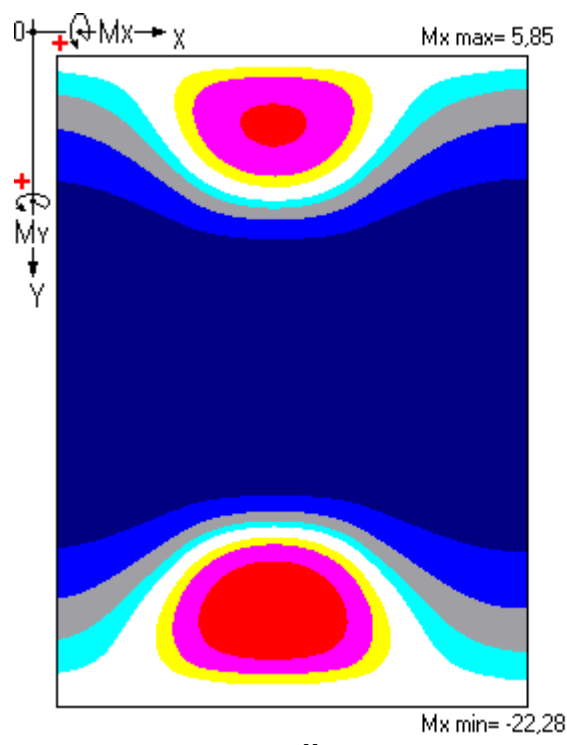
Расчетные нагрузки на конструкцию:

Полосовые нагрузки	начало x,y (м),	конец x,y (м),	величина q (тс/м ²),	Ширина (м)
1	1,15;0,1	1,15;1	240	0,9
2	1,15;2,2	1,15;3,1	260	0,9

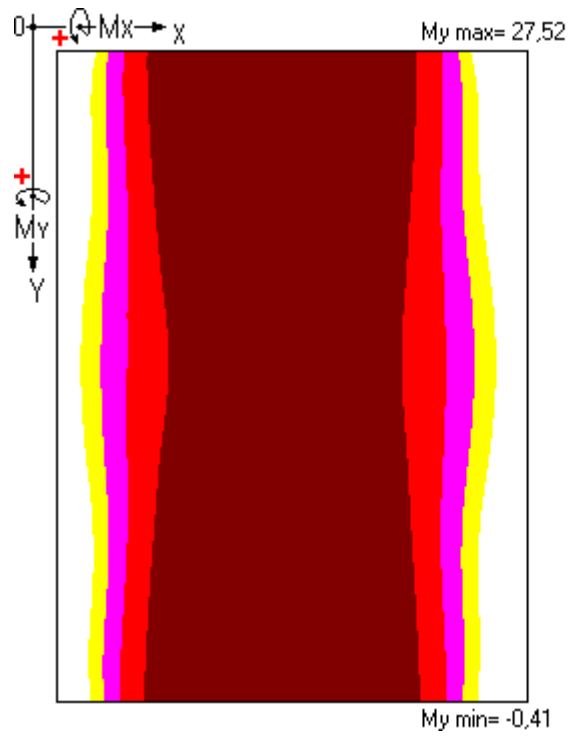
Приведенные суммарные нагрузки на плиту:
 N= 401,41 тс; M_x= 3,85 тс*м; M_y= -18,49 тс*м

2. - Выводы:

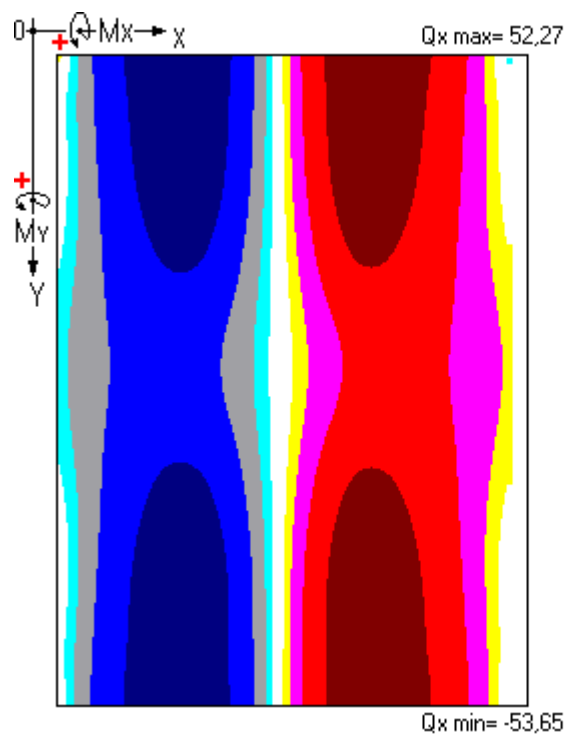




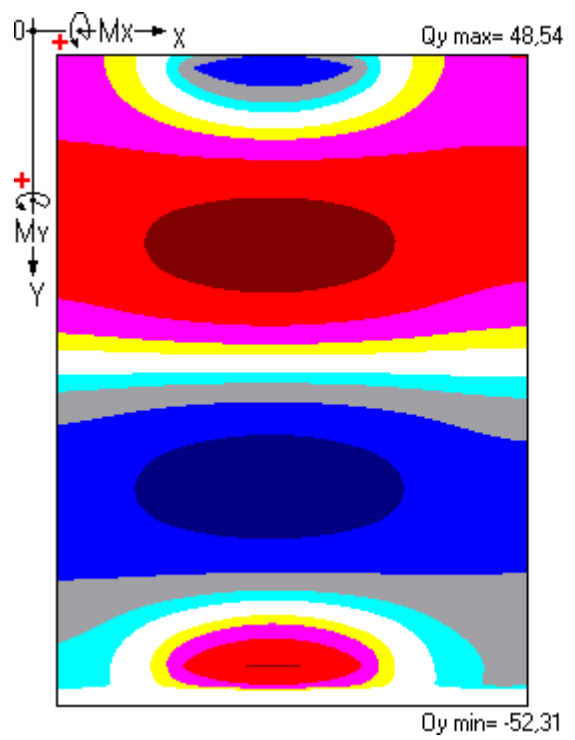
Эпюра моментов вокруг оси X



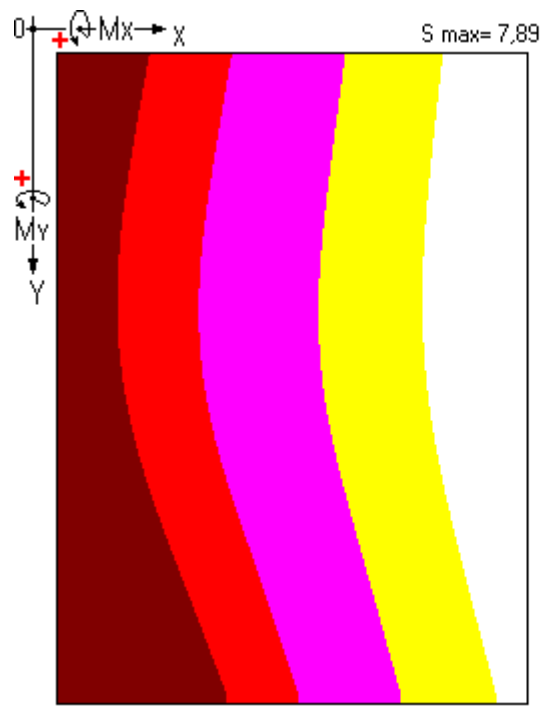
Эпюра моментов вокруг оси Y



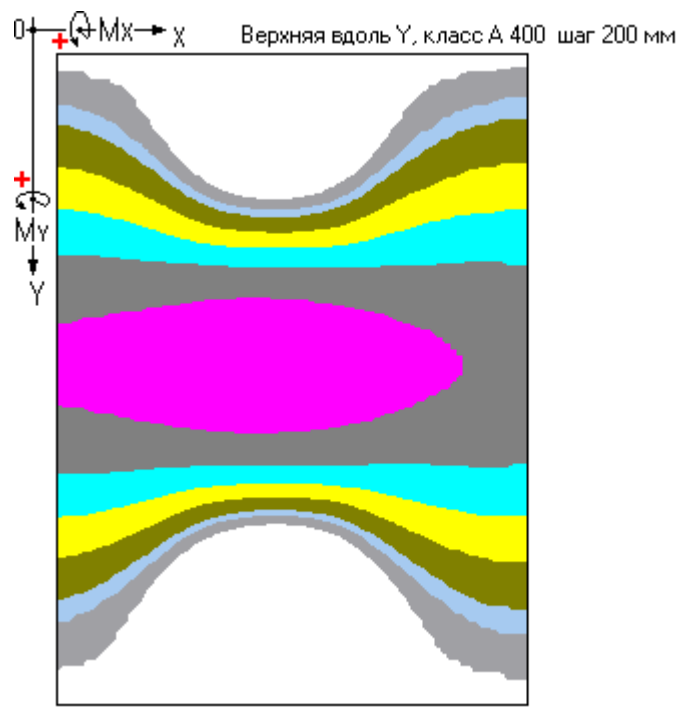
Эпюра поперечных сил вдоль оси X



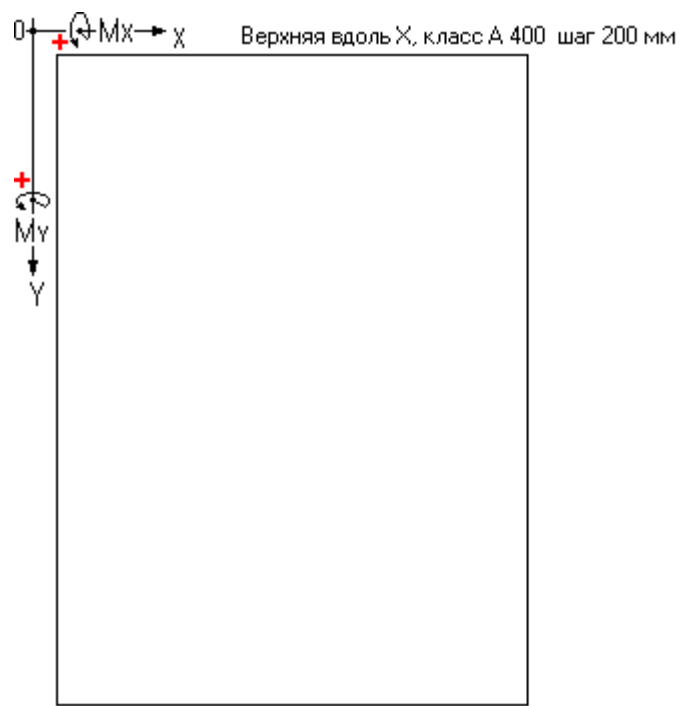
Эпюра поперечных сил вдоль оси Y



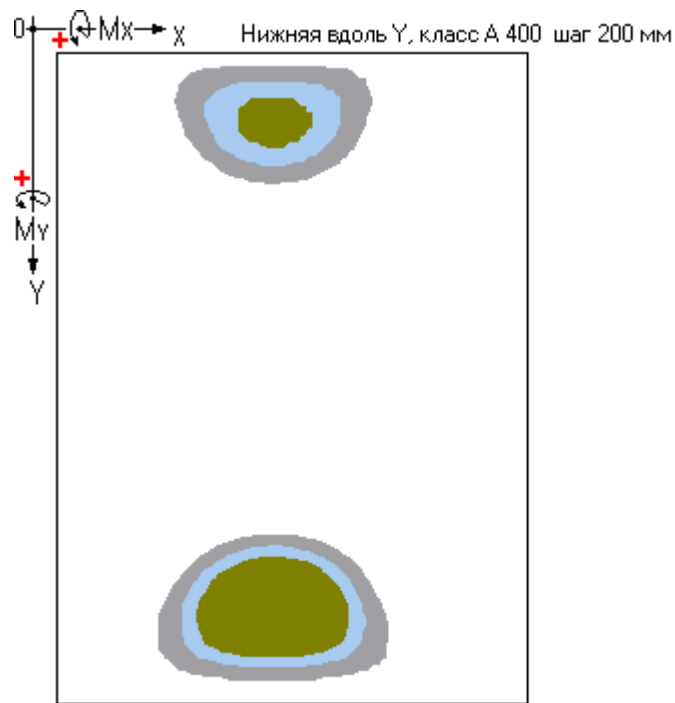
Эпюра вертикальных перемещений, мм



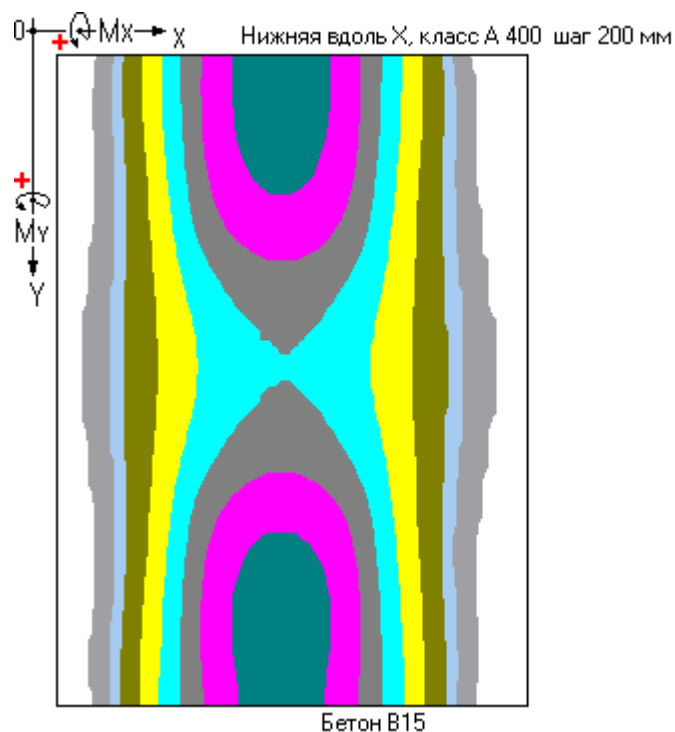
Верхнее армирование плиты вдоль оси Y, d, мм



Верхнее армирование плиты вдоль оси X, d, мм



Нижнее армирование плиты вдоль оси Y, d, мм



Нижнее армирование плиты вдоль оси X, d, мм

d=3-5 мм	d=10 мм	d=16 мм	d=22 мм	d=32 мм
d=6 мм	d=12 мм	d=18 мм	d=25 мм	d=36 мм
d=8 мм	d=14 мм	d=20 мм	d=28 мм	d=40 мм

Цветовая палитра полей армирования

Расчет балок прямоугольного сечения по прочности при изгибе в одной плоскости. PM9 верхняя арматура вдоль оси Y.

Информация о расчете:

Дата выполнения расчета: 12.11.2021 16:09:59;

Исходные данные:

Защитный слой:

- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S до грани сечения
 $a_s = 3 \text{ см} = 3 / 100 = 0,03 \text{ м};$
- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S' до грани сечения
 $a'_s = 8 \text{ см} = 8 / 100 = 0,08 \text{ м};$

Площадь ненапрягаемой наиболее растянутой продольной арматуры:

- (Стержневая арматура, диаметром 16 мм; 6 шт.):
- Площадь ненапрягаемой растянутой арматуры
 $A_s = 12,1 \text{ см}^2 = 12,1 / 10000 = 0,00121 \text{ м}^2;$

Площадь ненапрягаемой сжатой или наименее растянутой продольной арматуры:

- (Стержневая арматура, диаметром 10 мм; 6 шт.):
- Площадь ненапрягаемой сжатой арматуры $A'_s = 4,7 \text{ см}^2 = 4,7 / 10000 = 0,00047 \text{ м}^2;$

Площадь поперечной арматуры:

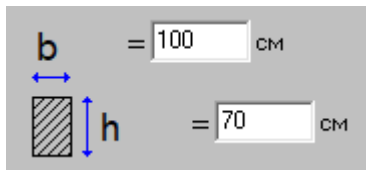
(Стержневая арматура, диаметром 10 мм; 6 шт.):

- Площадь поперечной арматуры $A_{sw} = 4,71 \text{ см}^2 = 4,71 / 10000 = 0,000471 \text{ м}^2$;

Поперечная арматура:

- Шаг стержней поперечной арматуры $s_w = 20 \text{ см} = 20 / 100 = 0,2 \text{ м}$;

Размеры сечения:



- Высота сечения $h = 70 \text{ см} = 70 / 100 = 0,7 \text{ м}$;

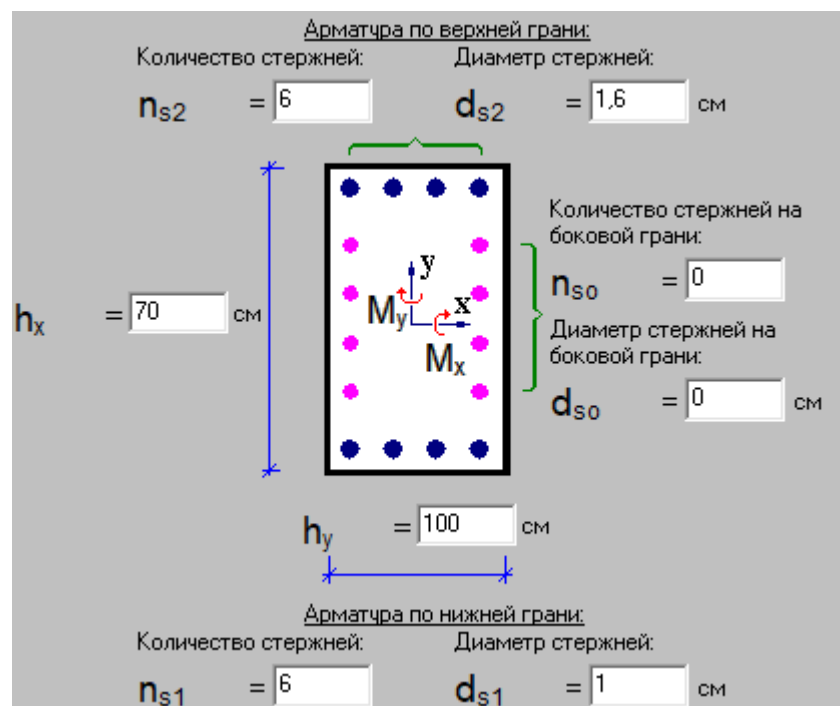
- Ширина прямоугольного сечения $b = 100 \text{ см} = 100 / 100 = 1 \text{ м}$;

Усилия:

- Изгибающий момент $M = 22,5 \text{ тс м} = 22,5 / 101,97162123 = 0,22065 \text{ МН м}$;

- Поперечная сила $Q = 54 \text{ тс} = 54 / 101,97162123 = 0,52956 \text{ МН}$;

Характеристики арматуры при расчете на кручение:



- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у нижней грани элемента

$$d_{s1} = 1 \text{ см} = 1 / 100 = 0,01 \text{ м};$$

- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у нижней грани элемента $n_{s1} = 6$;

- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у верхней грани элемента

$$d_{s2} = 1,6 \text{ см} = 1,6 / 100 = 0,016 \text{ м};$$

- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у верхней грани элемента $n_{s2} = 6$;

- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у боковой грани элемента

$$d_{so} = 0 \text{ см} = 0 / 100 = 0 \text{ м};$$

- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у боковой грани элемента $n_{so} = 0$;

Результаты расчета:

1) Расчетное сопротивление бетона

Конструкция - железобетонная.

Предварительное напряжение арматуры - отсутствует.

Класс бетона - В25.

Бетон - тяжелый.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{bn} = 18,5 \text{ МПа}$.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{btn} = 1,55 \text{ МПа}$.

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию принимается по табл. 6.8 $R_b = 14,5 \text{ МПа}$.

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению принимается по табл. 6.8 $R_{bt} = 1,05$ МПа .

Класс бетона по прочности:

$B = 25$.

2) Продолжение расчета по п. п. 8.1 СП 63.13330.2012

Расчет - балок.

Элемент - изгибаемый.

Изгиб элемента - в одной плоскости.

3) Учет особенностей работы бетона в конструкции

Действие нагрузки - продолжительное.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий длительность действия нагрузки:

$\gamma_{b1} = 0,9$.

Конструкция бетонируется - в горизонтальном положении.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий бетонирование в вертикальном положении:

$\gamma_{b3} = 1$.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий характер разрушения ячеистого бетона:

$\gamma_{b4} = 1$.

Для надземной конструкции, при расчетной температуре наружного воздуха в зимний период не менее -40 град.:

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий влияние попеременного замораживания и оттаивания:

$\gamma_{b5} = 1$.

Группа предельных состояний - первая.

Сейсмичность площадки строительства - не более 6 баллов.

Коэффициент условия работы по СП 14.13330 "Строительство в сейсмических районах":

$m_{kp} = 1$.

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию при $m_{kp} = 1$:

$R_b = \gamma_{b1} \gamma_{b3} \gamma_{b4} \gamma_{b5} R_b =$
 $= 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 14,5 = 13,05$ МПа .

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию:

$R_b = m_{kp} \gamma_{b1} \gamma_{b3} \gamma_{b4} \gamma_{b5} R_b =$
 $= 1 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 14,5 = 13,05$ МПа .

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению при расчете на действие поперечных сил:

$R_{bt} = \gamma_{b1} R_{bt} = 0,9 \cdot 1,05 = 0,945$ МПа .

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению:

$R_{bt} = m_{kp} \gamma_{b1} R_{bt} = 1 \cdot 0,9 \cdot 1,05 = 0,945$ МПа .

4) Определение значения начального модуля упругости бетона

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000$ МПа .

5) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Т.к. $\gamma_{b1} < 1$:

Относительная влажность воздуха окружающей среды - выше 75%.

Коэффициент ползучести принимается по табл. 6.12 $\varphi_{b, cr} = 1,8$.

6) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Начальный модуль упругости, принимаемый при продолжительном действии нагрузки:

$E_b, \tau = E_b / (1 + \varphi_{b, cr}) =$

$$= 30000/(1+1,8) = 10714,28571 \text{ МПа (формула (6.3); п. 6.1.15).}$$

7) Расчетные значения прочностных характеристик арматуры

Класс ненапрягаемой продольной арматуры - А400.

Расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению:

$$R_s = 350 \text{ МПа .}$$

Расчетное сопротивление продольной арматуры сжатию:

$$R_{sc} = 350 \text{ МПа .}$$

Поперечная арматура - рассматривается в данном расчете.

Класс поперечной арматуры - А400.

Расчетное сопротивление поперечной арматуры растяжению:

$$R_{sw} = 280 \text{ МПа .}$$

Расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению:

$$R_s = m_{кр} R_s = 1 \cdot 350 = 350 \text{ МПа .}$$

Расчетное сопротивление продольной арматуры сжатию:

$$R_{sc} = m_{кр} R_{sc} = 1 \cdot 350 = 350 \text{ МПа .}$$

8) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа .}$$

9) Определение граничной относительной высоты сжатой зоны

Относительная деформация растянутой арматуры:

$$\epsilon_{s, el} = R_s/E_s = 350/200000 = 0,00175 \text{ (формула (8.2); п. 8.1.6).}$$

Относительная деформация бетона:

$$\epsilon_{b2} = 0,0035 \text{ .}$$

10) Продолжение расчета по п. п. 8.1.6 СП 63.13330.2012

Граничная относительная высота сжатой зоны:

$$\xi_R = 0,8/(1+\epsilon_{s, el}/\epsilon_{b2}) = \\ = 0,8/(1+0,00175/0,0035) = 0,53333 \text{ (формула (8.1); п. 8.1.6).}$$

11) Расчет изгибаемых элементов

Сечение - прямоугольное.

$$\text{Т.к. } R_s A_s = 350 \cdot 0,00121 = 0,4235 \text{ МН} = 43,18498 \text{ тс} > R_{sc} A'_s = 350 \cdot 0,00047 = 0,1645 \text{ МН} = 16,77433 \text{ тс} :$$

Высота сжатой зоны:

$$x = (R_s A_s - R_{sc} A'_s)/(R_b b) = \\ = (350 \cdot 0,00121 - 350 \cdot 0,00047)/(13,05 \cdot 1) = 0,01985 \text{ м} = 1,99 \text{ см (формула (8.5); п. 8.1).}$$

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a_s = 0,7 - 0,03 = 0,67 \text{ м} = 67 \text{ см .}$$

Относительная высота сжатой зоны:

$$\xi = x/h_0 = 0,01985/0,67 = 0,02963 \text{ .}$$

$$\text{Т.к. } \xi = 0,02963 \leq \xi_R = 0,53333; x > 0 \text{ м} = 0 \text{ см} :$$

Предельный изгибающий момент:

$$M_{ult} = R_b b x (h_0 - 0,5 x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a'_s) = \\ = 13,05 \cdot 1 \cdot 0,01985 \cdot (0,67 - 0,5 \cdot 0,01985) + 350 \cdot 0,00047 \cdot (0,67 - 0,08) = 0,26804 \text{ МН м} = 27,33 \text{ тс м (формула (8.4); п. 8.1.9).}$$

$M = 0,22065 \text{ МН м} = 22,50004 \text{ тс м} \leq M_{ult} = 0,26804 \text{ МН м} = 27,33247 \text{ тс м}$ (82,3198% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.3); п. п. 8.1.8).

12) Определение значения начального модуля упругости бетона

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000$ МПа .

13) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Т.к. $\gamma_{b1} < 1$:

Коэффициент ползучести принимается по табл. 6.12 $\varphi_{b, cr} = 1,8$.

14) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Начальный модуль упругости, принимаемый при продолжительном действии нагрузки:

$$E_{b, \tau} = E_b / (1 + \varphi_{b, cr}) = \\ = 30000 / (1 + 1,8) = 10714,28571 \text{ МПа (формула (6.3); п. 6.1.15).}$$

15) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа .}$$

16) Определение характеристик приведенного сечения

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:

$$\alpha_s = E_s / E_b = 200000 / 10714,29 = 18,66666 .$$

$$h'_o = h - a'_s = 0,7 - 0,08 = 0,62 \text{ м} = 62 \text{ см} .$$

Площадь сечения:

$$A = b h = 1 \cdot 0,7 = 0,7 \text{ м}^2 = 7000 \text{ см}^2 .$$

Статический момент бетонного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_t = b h^2 / 2 = 1 \cdot 0,7^2 / 2 = 0,245 \text{ м}^3 = 245000 \text{ см}^3 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00047 - 0,00121 = 0,69832 \text{ м}^2 = 6983,2 \text{ см}^2 .$$

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{red} = \alpha_s (A_s + A'_s) + A_b = 18,66666 \cdot (0,00121 + 0,00047) + 0,69832 = 0,72968 \text{ м}^2 = 7296,8 \text{ см}^2 .$$

Статический момент приведенного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_{t, red} = (\alpha_s - 1) (A_s a_s + A'_s (h - a'_s)) + b h^2 / 2 = \\ = (18,66666 - 1) \cdot (0,00121 \cdot 0,03 + 0,00047 \cdot (0,7 - 0,08)) + 1 \cdot 0,7^2 / 2 = 0,25079 \text{ м}^3 = 250790 \text{ см}^3 .$$

Координата центра тяжести расчетного контура:

$$y_o = S_{t, red} / A_{red} = 0,25079 / 0,72968 = 0,3437 \text{ м} = 34,37 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее растянутого волокна бетона до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_t = y_o = 0,3437 \text{ м} = 34,37 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_c = h - y_t = 0,7 - 0,3437 = 0,3563 \text{ м} = 35,63 \text{ см} .$$

$$y_s = y_o - a_s = 0,3437 - 0,03 = 0,3137 \text{ м} = 31,37 \text{ см} .$$

$$y'_s = h - a_s - a'_s - y_s = 0,7 - 0,03 - 0,08 - 0,3137 = 0,2763 \text{ м} = 27,63 \text{ см} .$$

Момент инерции бетонного сечения относительно центра тяжести приведенного сечения:

$$I = b h^3 / 12 + A (h/2 - y_t)^2 = \\ = 1 \cdot 0,7^3 / 12 + 0,7 \cdot (0,7/2 - 0,3437)^2 = 0,02861 \text{ м}^4 = 2861000 \text{ см}^4 .$$

17) Определение момента образования трещин

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:

$$R_{b, ser} = R_{bn} = 18,5 \text{ МПа} .$$

Расчетное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний второй группы:

$$R_{bt, ser} = R_{btn} = 1,55 \text{ МПа} .$$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_c)^2 = 0,00121 \cdot (0,7 - 0,03 - 0,3563)^2 = 0,000119073 \text{ м}^4 = 11907,3 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$\begin{aligned} I'_s &= A'_s (y_c - a'_s)^2 = \\ &= 0,00047 \cdot (0,3563 - 0,08)^2 = 0,000035881 \text{ м}^4 = 3588,1 \text{ см}^4 . \end{aligned}$$

18) Продолжение расчета по п. п. 8.2.12 СП 63.13330.2012

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$\begin{aligned} I_{red} &= I + I_s (\alpha_s - 1) + I'_s (\alpha_s - 1) = \\ &= 0,02861 + 0,000119073 \cdot (18,6666 - 1) + 0,000035881 \cdot (18,6666 - 1) = 0,03135 \text{ м}^4 = 3135000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.125); п. 8.2.12)}. \end{aligned}$$

Упругий момент сопротивления приведенного сечения:

$$W_{red} = I_{red} / y_t = 0,03135 / 0,3437 = 0,09121 \text{ м}^3 = 91210 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.123); п. 8.2.12)}.$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны:

$$e_x = W_{red} / A_{red} = 0,09121 / 0,72968 = 0,125 \text{ м} = 12,5 \text{ см} \text{ (формула (8.124); п. 8.2.12)}.$$

Момент образования трещин определяется - с учетом неупругих деформаций.

Упругопластический момент сопротивления сечения:

$$W_{pl} = 1,3 W_{red} = 1,3 \cdot 0,09121 = 0,11857 \text{ м}^3 = 118570 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.122); п. 8.2.11)}.$$

Изгибающий момент, воспринимаемый нормальным сечением элемента при образовании трещин:

$$M_{crc} = R_{bt, ser} W_{pl} = 1,55 \cdot 0,11857 = 0,18378 \text{ МН м} = 18,74 \text{ тс м} \text{ (формула (8.121); п. 8.2.11)}.$$

19) Проверка необходимости увеличения площади сечения продольной растянутой арматуры, если предельное усилие по прочности меньше предельного усилия по образованию трещин

$$\text{Т.к. } M_{ult} = 0,26804 \text{ МН м} = 27,33247 \text{ тс м} \geq M_{crc} = 0,18378 \text{ МН м} = 18,74034 \text{ тс м} :$$

в соответствии с п. 8.1.3 при M_{ult} не менее M_{crc} площадь сечения растянутой продольной арматуры не должна быть увеличена по сравнению с требуемой.

20) Проверка необходимости сжатой арматуры

(проверяем несущую способность, предполагая отсутствие сжатой арматуры)

Высота сжатой зоны:

$$\begin{aligned} x &= R_s A_s / (R_b b) = \\ &= 350 \cdot 0,00121 / (13,05 \cdot 1) = 0,03245 \text{ м} = 3,25 \text{ см} \text{ (формула (8.5); п. 8.1)}. \end{aligned}$$

Относительная высота сжатой зоны:

$$\xi = x / h_0 = 0,03245 / 0,67 = 0,04843 .$$

$$\text{Т.к. } \xi = 0,04843 \leq \xi_R = 0,53333 :$$

Предельный изгибающий момент:

$$\begin{aligned} M_{ult} &= R_b b x (h_0 - 0,5 x) = \\ &= 13,05 \cdot 1 \cdot 0,03245 \cdot (0,67 - 0,5 \cdot 0,03245) = 0,27686 \text{ МН м} = 28,23 \text{ тс м} \text{ (формула (8.4); п. 8.1)}. \end{aligned}$$

21) Продолжение расчета по п. п. 8.1.8 СП 63.13330.2012

$$\text{Т.к. } M = 0,22065 \text{ МН м} = 22,50004 \text{ тс м} \leq M_{ult} = 0,27686 \text{ МН м} = 28,23186 \text{ тс м} :$$

- сжатая арматура по расчету не требуется, поэтому не требуется устанавливать поперечную арматуру в соответствии с п. 10.3.14.

22) Расчет железобетонных элементов по полосе между наклонными сечениями

Коэффициент:

$$\phi_{b1} = 0,3 .$$

Приведенное значение толщины защитного слоя растянутой арматуры:

$$a = a_s = 0,03 \text{ м} = 3 \text{ см} .$$

Приведенное значение толщины защитного слоя сжатой арматуры:

$$a' = a'_s = 0,08 \text{ м} = 8 \text{ см} .$$

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a = 0,7 - 0,03 = 0,67 \text{ м} = 67 \text{ см} .$$

23) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа} .$$

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:

$$\alpha_s = E_s / E_b = 200000 / 10714,29 = 18,66666 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00047 - 0,00121 = 0,69832 \text{ м}^2 = 6983,2 \text{ см}^2 .$$

Приведенная площадь сечения элемента с учетом продольной арматуры:

$$A = A_b + \alpha_s (A'_s + A_s) = \\ = 0,69832 + 18,66666 \cdot (0,00047 + 0,00121) = 0,72968 \text{ м}^2 = 7296,8 \text{ см}^2 .$$

Коэффициент, учитывающий влияние сжимающих и растягивающих напряжений:

$$\varphi_n = 1 .$$

$$Q = 0,52956 \text{ МН} = 54,00009 \text{ тс} \leq \varphi_n \varphi_{b1} R_b b h_0 = 1 \cdot 0,3 \cdot 13,05 \cdot 1 \cdot 0,67 = 2,62305 \text{ МН} = 267,47666 \text{ тс} \text{ (20,18871\% от предельного значения)} - \text{условие выполнено (формула (8.55); п. 8.1.32)} .$$

24) Расчет железобетонных элементов по наклонным сечениям на действие поперечных сил

Коэффициент:

$$\varphi_{b2} = 1,5 .$$

Расчет - по упрощенным формулам, полученным на основе анализа СП 63.13330.2012.

Коэффициент:

$$\varphi_{sw} = 0,75 .$$

Усилия в поперечной арматуре на единицу длины:

$$q_{sw} = R_{sw} A_{sw} / s_w = 280 \cdot 0,000471 / 0,2 = 0,6594 \text{ МН/м} = 67,24 \text{ тс/м} \text{ (формула (8.59); п. 8.1.33)} .$$

Длина проекции наклонного сечения:

$$c = \sqrt{2 R_{bt} b h_0^2 / q_{sw}} = \\ = \sqrt{2 \cdot 0,945 \cdot 1 \cdot 0,67^2 / 0,6594} = 1,13431 \text{ м} = 113,43 \text{ см} .$$

$$\text{Т.к. } c = 1,13431 \text{ м} = 113,431 \text{ см} \leq 2 h_0 = 2 \cdot 0,67 = 1,34 \text{ м} = 134 \text{ см} \text{ и } c = 1,13431 \text{ м} = 113,431 \text{ см} \geq h_0 = 0,67 \text{ м} = 67 \text{ см} :$$

Поперечная сила, воспринимаемая бетоном:

$$Q_b = \varphi_{b2} R_{bt} b h_0^2 / c = \\ = 1,5 \cdot 0,945 \cdot 1 \cdot 0,67^2 / 1,13431 = 0,56097 \text{ МН} = 57,2 \text{ тс} \text{ (формула (8.57); п. 8.1.33)} .$$

Усилие в поперечной арматуре:

$$Q_{sw} = \varphi_{sw} q_{sw} c = \\ = 0,75 \cdot 0,6594 \cdot 1,13431 = 0,56097 \text{ МН} = 57,2 \text{ тс} \text{ (формула (8.58); п. 8.1.33)} .$$

$$q_{sw} = 0,6594 \text{ МН} = 67,24009 \text{ тс} \geq 0,25 R_{bt} b = 0,25 \cdot 0,945 \cdot 1 = 0,23625 \text{ МН} = 24,0908 \text{ тс} \text{ (279,11111\% от предельного значения)} - \text{условие выполнено} .$$

$$Q = 0,52956 \text{ МН} = 54,00009 \text{ тс} \leq R_{bt} b h_0^2 / s_w = 0,945 \cdot 1 \cdot 0,67^2 / 0,2 = 2,12105 \text{ МН} = 216,28716 \text{ тс} \text{ (24,96685\% от предельного значения)} - \text{условие выполнено} .$$

(из требования по ограничению шага арматуры)

$$s_w = 0,2 \text{ м} = 20 \text{ см} \leq \min(0,5 h_0 ; 0,3) = \min(0,5 \cdot 0,67 ; 0,3) = 0,3 \text{ м} = 30 \text{ см} \text{ (66,66667\% от предельного значения)} - \text{условие выполнено} .$$

25) Продолжение расчета по п. п. 8.1.33 СП 63.13330.2012

Коэффициент, учитывающий влияние сжимающих и растягивающих напряжений:

$$\varphi_n = 1 .$$

$$Q = 0,52956 \text{ МН} = 54,00009 \text{ тс} \leq \varphi_n Q_b + Q_{sw} = 1 \cdot 0,56097 + 0,56097 = 1,12194 \text{ МН} = 114,40604 \text{ тс} \text{ (47,20039\% от предельного значения)} - \text{условие выполнено (формула (8.56); п. 8.1.33)} .$$

26) Проверка требования минимального процента армирования

Арматура расположена по контуру сечения - не равномерно.

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a_s = 0,7 - 0,03 = 0,67 \text{ м} = 67 \text{ см} .$$

Коэффициент армирования:

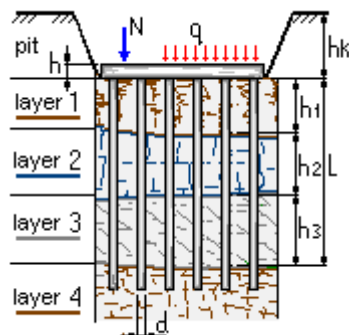
$$\mu_s = A_s / (b h_0) \cdot 100 = 0,00121 / (1 \cdot 0,67) \cdot 100 = 0,1806 \% .$$

$\mu_s \geq 0,1 \%$ (180,6% от предельного значения) - условие выполнено .

Результаты расчета

Расчет плиты на свайном основании. Ростверк РМ10

1. - Исходные данные:



Количество слоев 2

Характеристики грунта:

Номер слоя	Тип грунта	Модуль E	Ед. изм.	1 Точка, м	2 Точка, м	3 Точка, м	4 Точка, м
Слой 1	Глинистый	800	тс/м ²	h= 7,8	h= 7,8	h= 7,8	h= 7,8
Слой 2	Песчаный	2800	тс/м ²				

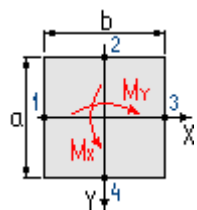
Исходные данные для расчета:
 Прямоугольная плита

Наименование исходных данных	Величина	Ед. измерения
Длина вдоль Y	2,3	м
Ширина вдоль X	6,3	м
Допустимая расчетная нагрузка на сваю (Fd)	40	тс
Длина сваи (L)	8,5	м
Диаметр (сторона)	0,3	м
Толщина плиты	0,7	м
Вылет плиты за грань крайней сваи	0.1	м

Квадратные сваи

Приведенная нагрузка: N= 746 тс; M_y= 26,3 тс*м; M_x= 3,4 тс*м

2. - Выводы:



Требуемое количество свай 21 шт.

Ориентировочный шаг свай (для расчета осадки) 0,88 м

По расчету на продавливание рядовой сваей несущей способности плиты ДОСТАТОЧНО.

По расчету на продавливание угловой сваей несущей способности плиты ДОСТАТОЧНО.

Расположение свай принято равномерным по всей площади плиты.

Расчетный момент в плите M= 5,76 тс*м (на погонный метр)

Армирование симметричное, шаг 200 мм во всех направлениях.

Защитный слой 35 мм в верхней, 70 мм в нижней зоне плиты.

Арматура d 8 А 400 в обоих направлениях.

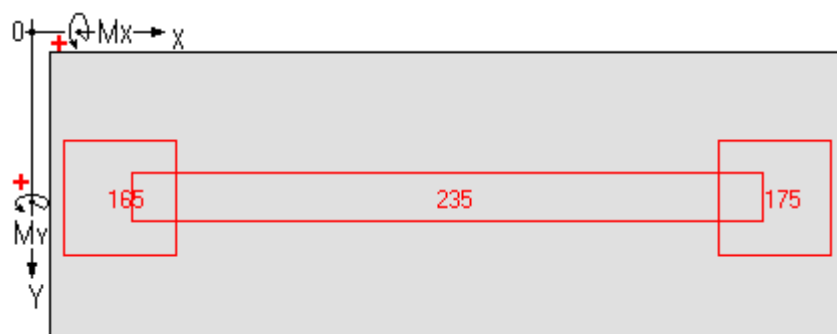
Армирование свайной плиты следует уточнить, выполнив расчет плиты на естественном основании с применением приведенного модуля деформации E_{red}= 5302,33 тс/м²

либо расчет плиты на упругих опорах (сваях) с коэффициентом упругости 5501,83 тс/м

Результаты расчета

Расчет плиты. Ростверк РМ10

1. - Исходные данные:



Длина вдоль X 6,3 м
 Ширина вдоль Y 2,3 м
 Толщина плиты 0,7 м

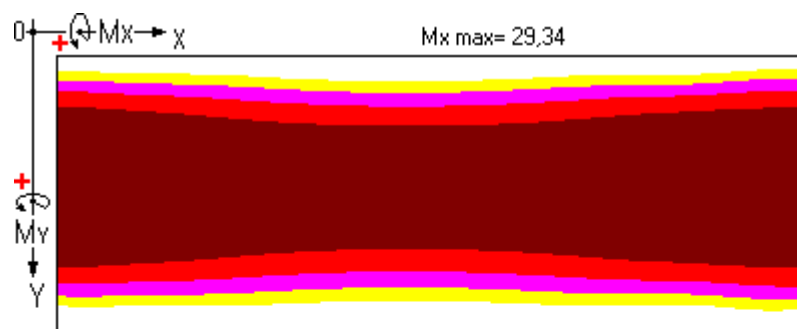
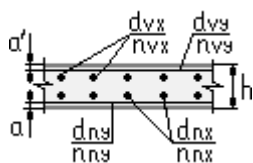
Характеристики грунта Суглинки
 Модуль деформации грунта 800 тс/м²
 Коэффициент постели 5300 (тс/м)/м²

Расчетные нагрузки на конструкцию:

Полосовые нагрузки	начало x,y (м),	конец x,y (м),	величина q (тс/м ²),	Ширина (м)
1	0,55;0,7	0,55;1,6	165	0,9
2	0,65;1,15	5,65;1,15	235	0,4
3	5,75;0,7	5,75;1,6	175	0,9

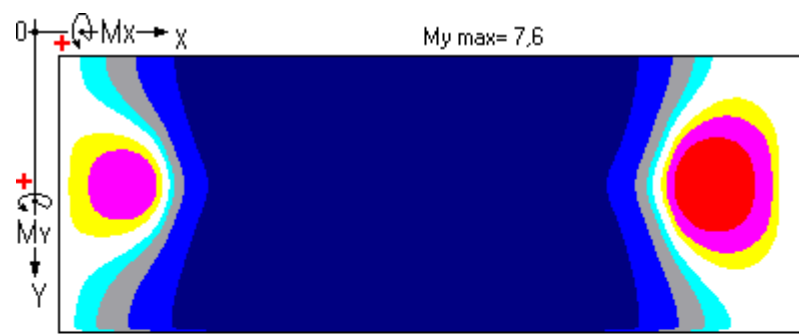
Приведенные суммарные нагрузки на плиту:
 N= 706,6 тс; Mx= -32,08 тс*м; My= -24,18 тс*м

2. - Выводы:

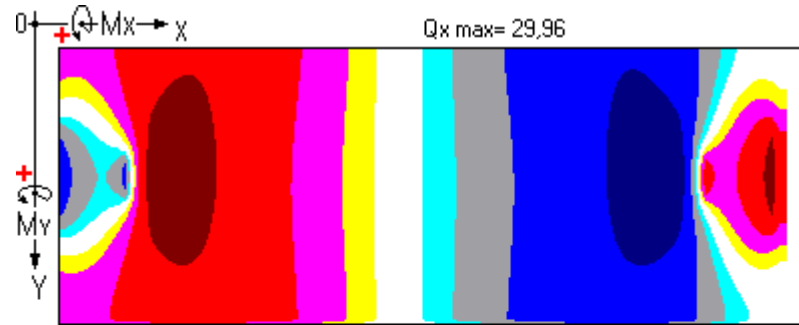


Эпюра моментов вокруг оси X

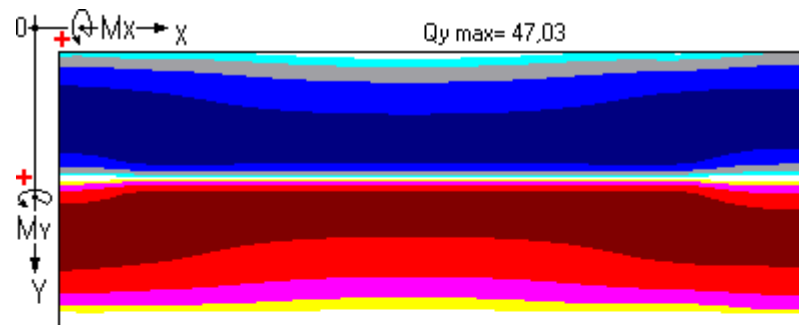
Mx min= -0,01



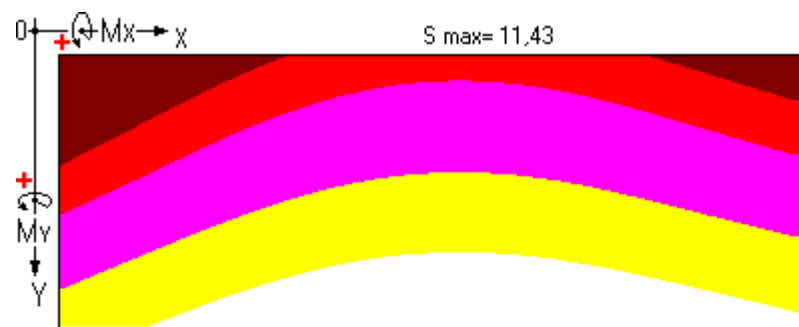
Эпюра моментов вокруг оси Y



Эпюра поперечных сил вдоль оси X

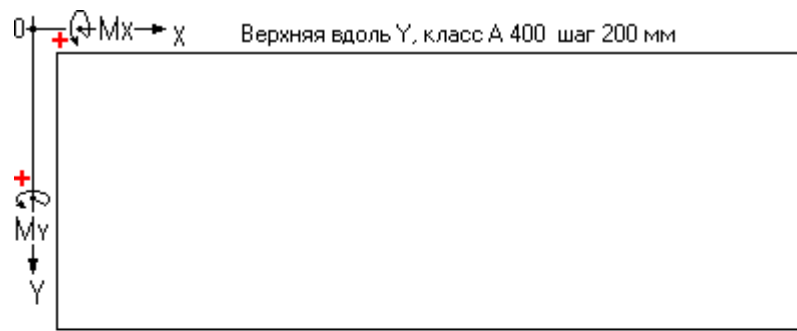


Эпюра поперечных сил вдоль оси Y



S min = 7,14

Эпюра вертикальных перемещений, мм



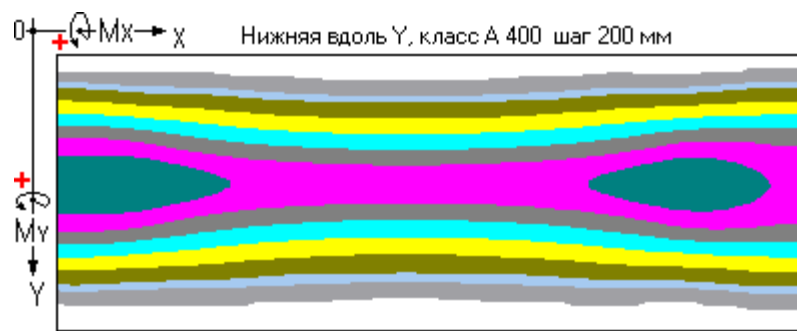
Бетон В15

Верхнее армирование плиты вдоль оси Y, d, мм



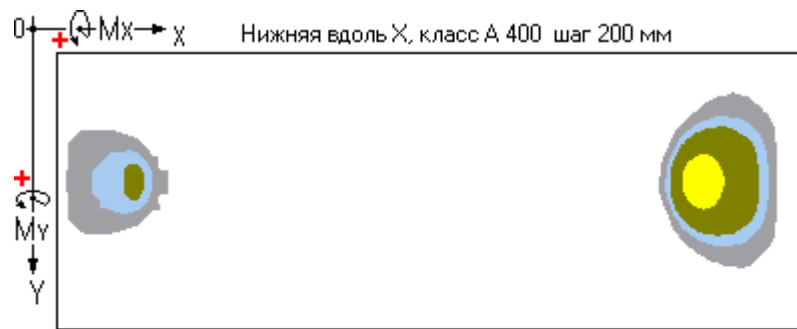
Бетон В15

Верхнее армирование плиты вдоль оси X, d, мм













Бетон В15

Нижнее армирование плиты вдоль оси Y, d, мм



Бетон В15
Нижнее армирование плиты вдоль оси X, d, мм

 d=3-5 мм	 d=10 мм	 d=16 мм	 d=22 мм	 d=32 мм
 d=6 мм	 d=12 мм	 d=18 мм	 d=25 мм	 d=36 мм
 d=8 мм	 d=14 мм	 d=20 мм	 d=28 мм	 d=40 мм

Цветовая палитра полей армирования

Расчет балок прямоугольного сечения по прочности при изгибе в одной плоскости

Информация о расчете:

Дата выполнения расчета: 09.11.2021 16:09:55;

Исходные данные:

Защитный слой:

- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S до грани сечения

$$a_s = 7 \text{ см} = 7 / 100 = 0,07 \text{ м};$$

- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S' до грани сечения

$$a'_s = 4 \text{ см} = 4 / 100 = 0,04 \text{ м};$$

Площадь ненапрягаемой наиболее растянутой продольной арматуры:

(Стержневая арматура, диаметром 14 мм; 6 шт.):

- Площадь ненапрягаемой растянутой арматуры

$$A_s = 9,2 \text{ см}^2 = 9,2 / 10000 = 0,00092 \text{ м}^2;$$

Площадь ненапрягаемой сжатой или наименее растянутой продольной арматуры:

(Стержневая арматура, диаметром 10 мм; 6 шт.):

- Площадь ненапрягаемой сжатой арматуры $A'_s = 4,7 \text{ см}^2 = 4,7 / 10000 = 0,00047 \text{ м}^2;$

Площадь поперечной арматуры:

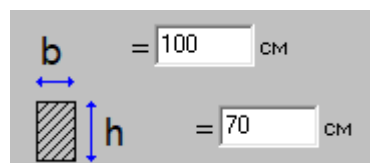
(Стержневая арматура, диаметром 10 мм; 6 шт.):

- Площадь поперечной арматуры $A_{sw} = 4,71 \text{ см}^2 = 4,71 / 10000 = 0,000471 \text{ м}^2;$

Поперечная арматура:

- Шаг стержней поперечной арматуры $s_w = 20 \text{ см} = 20 / 100 = 0,2 \text{ м};$

Размеры сечения:



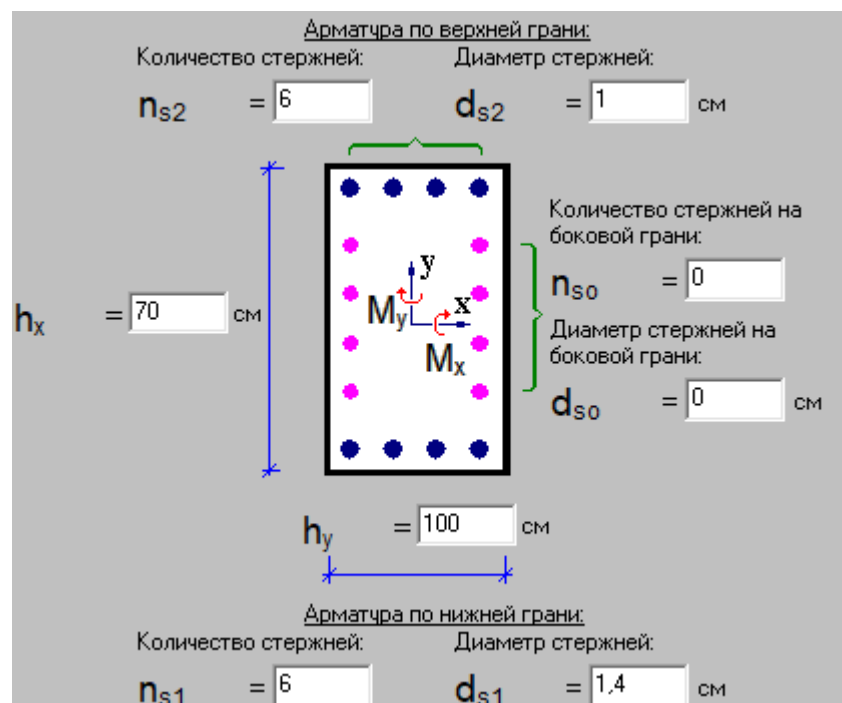
- Высота сечения $h = 70 \text{ см} = 70 / 100 = 0,7 \text{ м};$

- Ширина прямоугольного сечения $b = 100 \text{ см} = 100 / 100 = 1 \text{ м};$

Усилия:

- Изгибающий момент $M = 16 \text{ тс м} = 16 / 101,97162123 = 0,15691 \text{ МН м}$;
- Поперечная сила $Q = 27 \text{ тс} = 27 / 101,97162123 = 0,26478 \text{ МН}$;

Характеристики арматуры при расчете на кручение:



- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у нижней грани элемента $d_{s1} = 1,4 \text{ см} = 1,4 / 100 = 0,014 \text{ м}$;
- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у нижней грани элемента $n_{s1} = 6$;
- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у верхней грани элемента $d_{s2} = 1 \text{ см} = 1 / 100 = 0,01 \text{ м}$;
- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у верхней грани элемента $n_{s2} = 6$;
- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у боковой грани элемента $d_{s0} = 0 \text{ см} = 0 / 100 = 0 \text{ м}$;
- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у боковой грани элемента $n_{s0} = 0$;

Результаты расчета:

1) Расчетное сопротивление бетона

Конструкция - железобетонная.

Предварительное напряжение арматуры - отсутствует.

Класс бетона - В25.

Бетон - тяжелый.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{bn} = 18,5 \text{ МПа}$.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{btn} = 1,55 \text{ МПа}$.

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию принимается по табл. 6.8 $R_b = 14,5 \text{ МПа}$.

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению принимается по табл. 6.8 $R_{bt} = 1,05 \text{ МПа}$.

Класс бетона по прочности:

$B = 25$.

2) Продолжение расчета по п. п. 8.1 СП 63.13330.2012

Расчет - балок.

Элемент - изгибаемый.

Изгиб элемента - в одной плоскости.

3) Учет особенностей работы бетона в конструкции

Действие нагрузки - продолжительное.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий длительность действия нагрузки:
 $\gamma_{b1} = 0,9$.

Конструкция бетонируется - в горизонтальном положении.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий бетонирование в вертикальном положении:
 $\gamma_{b3} = 1$.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий характер разрушения ячеистого бетона:
 $\gamma_{b4} = 1$.

Для надземной конструкции, при расчетной температуре наружного воздуха в зимний период не менее -40 град.:

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий влияние попеременного замораживания и оттаивания:
 $\gamma_{b5} = 1$.

Группа предельных состояний - первая.

Сейсмичность площадки строительства - не более 6 баллов.

Коэффициент условия работы по СП 14.13330 "Строительство в сейсмических районах":
 $m_{кр} = 1$.

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию при $m_{кр} = 1$:
 $R_b = \gamma_{b1} \gamma_{b3} \gamma_{b4} \gamma_{b5} R_b =$
 $= 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 14,5 = 13,05$ МПа .

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию:
 $R_b = m_{кр} \gamma_{b1} \gamma_{b3} \gamma_{b4} \gamma_{b5} R_b =$
 $= 1 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 14,5 = 13,05$ МПа .

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению при расчете на действие поперечных сил:
 $R_{bt} = \gamma_{b1} R_{bt} = 0,9 \cdot 1,05 = 0,945$ МПа .

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению:
 $R_{bt} = m_{кр} \gamma_{b1} R_{bt} = 1 \cdot 0,9 \cdot 1,05 = 0,945$ МПа .

4) Определение значения начального модуля упругости бетона

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000$ МПа .

5) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Т.к. $\gamma_{b1} < 1$:

Относительная влажность воздуха окружающей среды - выше 75%.

Коэффициент ползучести принимается по табл. 6.12 $\varphi_{b, cr} = 1,8$.

6) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Начальный модуль упругости, принимаемый при продолжительном действии нагрузки:
 $E_b, \tau = E_b / (1 + \varphi_{b, cr}) =$
 $= 30000 / (1 + 1,8) = 10714,28571$ МПа (формула (6.3); п. 6.1.15).

7) Расчетные значения прочностных характеристик арматуры

Класс ненапрягаемой продольной арматуры - А400.

Расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению:
 $R_s = 350$ МПа .

Расчетное сопротивление продольной арматуры сжатию:
 $R_{sc} = 350$ МПа .

Поперечная арматура - рассматривается в данном расчете.

Класс поперечной арматуры - А400.

Расчетное сопротивление поперечной арматуры растяжению:

$$R_{sw} = 280 \text{ МПа} .$$

Расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению:

$$R_s = m_{kr} R_s = 1 \cdot 350 = 350 \text{ МПа} .$$

Расчетное сопротивление продольной арматуры сжатию:

$$R_{sc} = m_{kr} R_{sc} = 1 \cdot 350 = 350 \text{ МПа} .$$

8) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа} .$$

9) Определение граничной относительной высоты сжатой зоны

Относительная деформация растянутой арматуры:

$$\epsilon_{s, el} = R_s/E_s = 350/200000 = 0,00175 \text{ (формула (8.2); п. 8.1.6) .}$$

Относительная деформация бетона:

$$\epsilon_{b2} = 0,0035 .$$

10) Продолжение расчета по п. п. 8.1.6 СП 63.13330.2012

Граничная относительная высота сжатой зоны:

$$\begin{aligned} \xi_R &= 0,8/(1+\epsilon_{s, el}/\epsilon_{b2}) = \\ &= 0,8/(1+0,00175/0,0035) = 0,53333 \text{ (формула (8.1); п. 8.1.6) .} \end{aligned}$$

11) Расчет изгибаемых элементов

Сечение - прямоугольное.

$$\text{Т.к. } R_s A_s = 350 \cdot 0,00092 = 0,322 \text{ МН} = 32,83486 \text{ тс} > R_{sc} A'_s = 350 \cdot 0,00047 = 0,1645 \text{ МН} = 16,77433 \text{ тс} :$$

Высота сжатой зоны:

$$\begin{aligned} x &= (R_s A_s - R_{sc} A'_s)/(R_b b) = \\ &= (350 \cdot 0,00092 - 350 \cdot 0,00047)/(13,05 \cdot 1) = 0,01207 \text{ м} = 1,21 \text{ см (формула (8.5); п. 8.1) .} \end{aligned}$$

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a_s = 0,7 - 0,07 = 0,63 \text{ м} = 63 \text{ см} .$$

Относительная высота сжатой зоны:

$$\xi = x/h_0 = 0,01207/0,63 = 0,01916 .$$

$$\text{Т.к. } \xi = 0,01916 \leq \xi_R = 0,53333; x > 0 \text{ м} = 0 \text{ см} :$$

Предельный изгибающий момент:

$$\begin{aligned} M_{ult} &= R_b b x (h_0 - 0,5 x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a'_s) = \\ &= 13,05 \cdot 1 \cdot 0,01207 \cdot (0,63 - 0,5 \cdot 0,01207) + 350 \cdot 0,00047 \cdot (0,63 - 0,04) = 0,19534 \text{ МН м} = 19,92 \text{ тс м (формула (8.4); п. 8.1.9) .} \end{aligned}$$

$$M = 0,15691 \text{ МН м} = 16,00037 \text{ тс м} \leq M_{ult} = 0,19534 \text{ МН м} = 19,91914 \text{ тс м (80,32661\% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.3); п. п. 8.1.8) .}$$

12) Определение значения начального модуля упругости бетона

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000 \text{ МПа} .$

13) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

$$\text{Т.к. } \gamma_{b1} < 1 :$$

Коэффициент ползучести принимается по табл. 6.12 $\varphi_{b, cr} = 1,8 .$

14) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Начальный модуль упругости, принимаемый при продолжительном действии нагрузки:

$$\begin{aligned} E_b, \tau &= E_b/(1+\varphi_{b, cr}) = \\ &= 30000/(1+1,8) = 10714,28571 \text{ МПа (формула (6.3); п. 6.1.15) .} \end{aligned}$$

15) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:
 $E_s = 200000 \text{ МПа}$.

16) Определение характеристик приведенного сечения

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:
 $\alpha_s = E_s/E_b = 200000/10714,29 = 18,66666$.

$$h'_o = h - a'_s = 0,7 - 0,04 = 0,66 \text{ м} = 66 \text{ см}.$$

Площадь сечения:

$$A = b h = 1 \cdot 0,7 = 0,7 \text{ м}^2 = 7000 \text{ см}^2.$$

Статический момент бетонного сечения относительно наиболее растянутого волокна:
 $S_t = b h^2/2 = 1 \cdot 0,7^2/2 = 0,245 \text{ м}^3 = 245000 \text{ см}^3$.

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00047 - 0,00092 = 0,69861 \text{ м}^2 = 6986,1 \text{ см}^2.$$

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{red} = \alpha_s (A_s + A'_s) + A_b = 18,66666 \cdot (0,00092 + 0,00047) + 0,69861 = 0,72456 \text{ м}^2 = 7245,6 \text{ см}^2.$$

Статический момент приведенного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_{t, red} = (\alpha_s - 1) (A_s a_s + A'_s (h - a'_s)) + b h^2/2 = \\ = (18,66666 - 1) \cdot (0,00092 \cdot 0,07 + 0,00047 \cdot (0,7 - 0,04)) + 1 \cdot 0,7^2/2 = 0,25162 \text{ м}^3 = 251620 \text{ см}^3.$$

Координата центра тяжести расчетного контура:

$$y_o = S_{t, red}/A_{red} = 0,25162/0,72456 = 0,34727 \text{ м} = 34,73 \text{ см}.$$

Расстояние от наиболее растянутого волокна бетона до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_t = y_o = 0,34727 \text{ м} = 34,73 \text{ см}.$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_c = h - y_t = 0,7 - 0,34727 = 0,35273 \text{ м} = 35,27 \text{ см}.$$

$$y_s = y_o - a_s = 0,34727 - 0,07 = 0,27727 \text{ м} = 27,73 \text{ см}.$$

$$y'_s = h - a_s - a'_s - y_s = 0,7 - 0,07 - 0,04 - 0,27727 = 0,31273 \text{ м} = 31,27 \text{ см}.$$

Момент инерции бетонного сечения относительно центра тяжести приведенного сечения:

$$I = b h^3/12 + A (h/2 - y_t)^2 = \\ = 1 \cdot 0,7^3/12 + 0,7 \cdot (0,7/2 - 0,34727)^2 = 0,02859 \text{ м}^4 = 2859000 \text{ см}^4.$$

17) Определение момента образования трещин

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:

$$R_{b, ser} = R_{bn} = 18,5 \text{ МПа}.$$

Расчетное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний второй группы:

$$R_{bt, ser} = R_{btn} = 1,55 \text{ МПа}.$$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_c)^2 = 0,00092 \cdot (0,7 - 0,07 - 0,35273)^2 = 0,000070728 \text{ м}^4 = 7072,8 \text{ см}^4.$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$I'_s = A'_s (y_c - a'_s)^2 = \\ = 0,00047 \cdot (0,35273 - 0,04)^2 = 0,000045966 \text{ м}^4 = 4596,6 \text{ см}^4.$$

18) Продолжение расчета по п. п. 8.2.12 СП 63.13330.2012

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{red} = I + I_s (\alpha_s - 1) + I'_s (\alpha_s - 1) = \\ = 0,02859 + 0,000070728 \cdot (18,66666 - 1) + 0,000045966 \cdot (18,66666 - 1) = 0,03065 \text{ м}^4 = 3065000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.125); п. 8.2.12)}.$$

Упругий момент сопротивления приведенного сечения:

$$W_{red} = I_{red}/y_t = 0,03065/0,34727 = 0,08826 \text{ м}^3 = 88260 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.123); п. 8.2.12)}.$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны:

$$e_x = W_{red}/A_{red} = 0,08826/0,72456 = 0,12181 \text{ м} = 12,18 \text{ см} \text{ (формула (8.124); п. 8.2.12)}.$$

Момент образования трещин определяется - с учетом неупругих деформаций.

Упругопластический момент сопротивления сечения:

$$W_{pl} = 1,3 W_{red} = 1,3 \cdot 0,08826 = 0,11474 \text{ м}^3 = 114740 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.122); п. 8.2.11).}$$

Изгибающий момент, воспринимаемый нормальным сечением элемента при образовании трещин:

$$M_{crc} = R_{bt, ser} W_{pl} = 1,55 \cdot 0,11474 = 0,17785 \text{ МН м} = 18,14 \text{ тс м (формула (8.121); п. 8.2.11).}$$

19) Проверка необходимости увеличения площади сечения продольной растянутой арматуры, если предельное усилие по прочности меньше предельного усилия по образованию трещин

$$\text{Т.к. } M_{ult} = 0,19534 \text{ МН м} = 19,91914 \text{ тс м} \geq M_{crc} = 0,17785 \text{ МН м} = 18,13565 \text{ тс м} :$$

в соответствии с п. 8.1.3 при M_{ult} не менее M_{crc} площадь сечения растянутой продольной арматуры не должна быть увеличена по сравнению с требуемой.

20) Проверка необходимости сжатой арматуры

(проверяем несущую способность, предполагая отсутствие сжатой арматуры)

Высота сжатой зоны:

$$x = R_s A_s / (R_b b) = \\ = 350 \cdot 0,00092 / (13,05 \cdot 1) = 0,02467 \text{ м} = 2,47 \text{ см (формула (8.5); п. 8.1).}$$

Относительная высота сжатой зоны:

$$\xi = x/h_0 = 0,02467/0,63 = 0,03916 .$$

$$\text{Т.к. } \xi = 0,03916 \leq \xi_R = 0,53333 :$$

Предельный изгибающий момент:

$$M_{ult} = R_b b x (h_0 - 0,5 x) = \\ = 13,05 \cdot 1 \cdot 0,02467 \cdot (0,63 - 0,5 \cdot 0,02467) = 0,19885 \text{ МН м} = 20,28 \text{ тс м (формула (8.4); п. 8.1).}$$

21) Продолжение расчета по п. п. 8.1.8 СП 63.13330.2012

$$\text{Т.к. } M = 0,15691 \text{ МН м} = 16,00037 \text{ тс м} \leq M_{ult} = 0,19885 \text{ МН м} = 20,27706 \text{ тс м} :$$

- сжатая арматура по расчету не требуется, поэтому не требуется устанавливать поперечную арматуру в соответствии с п. 10.3.14.

22) Расчет железобетонных элементов по полосе между наклонными сечениями

Коэффициент:

$$\varphi_{b1} = 0,3 .$$

Приведенное значение толщины защитного слоя растянутой арматуры:

$$a = a_s = 0,07 \text{ м} = 7 \text{ см} .$$

Приведенное значение толщины защитного слоя сжатой арматуры:

$$a' = a'_s = 0,04 \text{ м} = 4 \text{ см} .$$

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a = 0,7 - 0,07 = 0,63 \text{ м} = 63 \text{ см} .$$

23) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа} .$$

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:

$$\alpha_s = E_s/E_b = 200000/10714,29 = 18,66666 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00047 - 0,00092 = 0,69861 \text{ м}^2 = 6986,1 \text{ см}^2 .$$

Приведенная площадь сечения элемента с учетом продольной арматуры:

$$A = A_b + \alpha_s (A'_s + A_s) = \\ = 0,69861 + 18,66666 \cdot (0,00047 + 0,00092) = 0,72456 \text{ м}^2 = 7245,6 \text{ см}^2 .$$

Коэффициент, учитывающий влияние сжимающих и растягивающих напряжений:

$$\varphi_n = 1.$$

$Q = 0,26478 \text{ МН} = 27,00005 \text{ тс} \leq \varphi_n \varphi_{b1} R_b b h_0 = 1 \cdot 0,3 \cdot 13,05 \cdot 1 \cdot 0,63 = 2,46645 \text{ МН} = 251,50791 \text{ тс}$ (10,73527% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.55); п. 8.1.32).

24) Расчет железобетонных элементов по наклонным сечениям на действие поперечных сил

Коэффициент:

$$\varphi_{b2} = 1,5.$$

$$\text{Т.к. } Q = 0,26478 \text{ МН} = 27,00005 \text{ тс} \leq 0,5 R_{bt} b h_0 = 0,5 \cdot 0,945 \cdot 1 \cdot 0,63 = 0,29768 \text{ МН} = 30,3544 \text{ тс} :$$

- поперечная сила по расчету воспринимается только бетоном, расчет ведется без учета поперечной арматуры.

Поперечная сила, воспринимаемая бетоном:

$$Q_b = 0,5 R_{bt} b h_0 = 0,5 \cdot 0,945 \cdot 1 \cdot 0,63 = 0,29768 \text{ МН} = 30,35 \text{ тс}.$$

Усилие в поперечной арматуре:

$$Q_{sw} = 0 \text{ МН}.$$

$$\text{Т.к. } Q = 0,26478 \text{ МН} = 27,00005 \text{ тс} \leq 0,5 R_{bt} b h_0 = 0,5 \cdot 0,945 \cdot 1 \cdot 0,63 = 0,29768 \text{ МН} = 30,3544 \text{ тс} :$$

- поперечная арматура не требуется; в балках и ребрах высотой 150 мм и более, а также в часторезбристых плитах высотой 300 мм и более, на участках элемента, где поперечная сила по расчету воспринимается только бетоном, следует предусматривать установку поперечной арматуры с шагом не более $0,75 h_0$ и не более 500 мм.

$$\text{Т.к. } h \geq 0,15 \text{ м} = 15 \text{ см} :$$

$s_w = 0,2 \text{ м} = 20 \text{ см} \leq \min(0,75 h_0 ; 0,5) = \min(0,75 \cdot 0,63; 0,5) = 0,4725 \text{ м} = 47,25 \text{ см}$ (42,32804% от предельного значения) - условие выполнено.

25) Продолжение расчета по п. п. 8.1.33 СП 63.13330.2012

Коэффициент, учитывающий влияние сжимающих и растягивающих напряжений:

$$\varphi_n = 1.$$

$Q = 0,26478 \text{ МН} = 27,00005 \text{ тс} \leq \varphi_n Q_b + Q_{sw} = 1 \cdot 0,29768 + 0 = 0,29768 \text{ МН} = 30,35491 \text{ тс}$ (88,94786% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.56); п. 8.1.33).

26) Проверка требования минимального процента армирования

Арматура расположена по контуру сечения - не равномерно.

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a_s = 0,7 - 0,07 = 0,63 \text{ м} = 63 \text{ см}.$$

Коэффициент армирования:

$$\mu_s = A_s / (b h_0) \cdot 100 = 0,00092 / (1 \cdot 0,63) \cdot 100 = 0,14603 \%$$

$\mu_s \geq 0,1 \%$ (146,03% от предельного значения) - условие выполнено.

Расчет балок прямоугольного сечения по трещиностойкости

Информация о расчете:

Дата выполнения расчета: 09.11.2021 16:17:41;

Исходные данные:

Защитный слой:

- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S до грани сечения
 $a_s = 7 \text{ см} = 7 / 100 = 0,07 \text{ м};$

- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S' до грани сечения
 $a'_s = 4 \text{ см} = 4 / 100 = 0,04 \text{ м};$

Номинальный диаметр продольной арматуры:

- Номинальный диаметр продольной ненапрягаемой арматуры растянутой зоны $d_s = 14$ мм;

Площадь ненапрягаемой наиболее растянутой продольной арматуры:

(Стержневая арматура, диаметром 14 мм; 6 шт.):

- Площадь ненапрягаемой растянутой арматуры

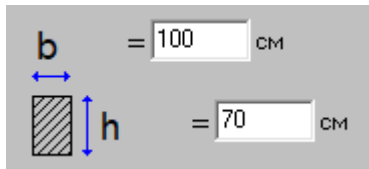
$$A_s = 9,2 \text{ см}^2 = 9,2 / 10000 = 0,00092 \text{ м}^2;$$

Площадь ненапрягаемой сжатой или наименее растянутой продольной арматуры:

(Стержневая арматура, диаметром 10 мм; 6 шт.):

- Площадь ненапрягаемой сжатой арматуры $A'_s = 4,7 \text{ см}^2 = 4,7 / 10000 = 0,00047 \text{ м}^2$;

Размеры сечения:



- Высота сечения $h = 70 \text{ см} = 70 / 100 = 0,7 \text{ м}$;

- Ширина прямоугольного сечения $b = 100 \text{ см} = 100 / 100 = 1 \text{ м}$;

Усилия в двух направлениях:

- Изгибающий момент вокруг оси X $M_x = 16 \text{ тс м} = 16 / 101,97162123 = 0,15691 \text{ МН м}$;

- Изгибающий момент вокруг оси Y $M_y = 0 \text{ тс м} = 0 / 101,97162123 = 0 \text{ МН м}$;

- Изгибающий момент вокруг оси X от постоянной и длительной нагрузки

$$M_{lx} = 16 \text{ тс м} = 16 / 101,97162123 = 0,15691 \text{ МН м};$$

Усилия от нормативной нагрузки:

- Нормальная сила от полной нормативной нагрузки

$$N = 0 \text{ тс} = 0 / 101,97162123 = 0 \text{ МН};$$

Результаты расчета:

Расчетное сопротивление бетона

Конструкция - железобетонная.

Предварительное напряжение арматуры - отсутствует.

Класс бетона - В25.

Бетон - тяжелый.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{bn} = 18,5 \text{ МПа}$.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{btn} = 1,55 \text{ МПа}$.

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию принимается по табл. 6.8 $R_b = 14,5 \text{ МПа}$.

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению принимается по табл. 6.8 $R_{bt} = 1,05 \text{ МПа}$.

Класс бетона по прочности:

$$B = 25.$$

Учет особенностей работы бетона в конструкции

Действие нагрузки - продолжительное.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий длительность действия нагрузки:

$$\gamma_{b1} = 0,9.$$

Конструкция бетонируется - в горизонтальном положении.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий бетонирование в вертикальном положении:

$$\gamma_{b3} = 1.$$

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий характер разрушения ячеистого бетона:
 $\gamma_{b4} = 1$.

Для надземной конструкции, при расчетной температуре наружного воздуха в зимний период не менее -40 град.:

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий влияние попеременного замораживания и оттаивания:
 $\gamma_{b5} = 1$.

Группа предельных состояний - вторая.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний первой группы:
 $R_{bn} = \gamma_{b1} \gamma_{b3} \gamma_{b4} \gamma_{b5} R_{bn} =$
 $= 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 18,5 = 16,65 \text{ МПа}.$

Нормативное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний первой группы:
 $R_{btn} = \gamma_{b1} R_{btn} = 0,9 \cdot 1,55 = 1,395 \text{ МПа}.$

Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:
 $E_s = 200000 \text{ МПа}.$

Продолжение расчета по п. 8.2 СП 63.13330.2012

Расчет - балок.

Приведенное значение толщины защитного слоя растянутой арматуры:
 $a = a_s = 0,07 \text{ м} = 7 \text{ см}.$

Приведенное значение толщины защитного слоя сжатой арматуры:
 $a' = a'_s = 0,04 \text{ м} = 4 \text{ см}.$

Рабочая высота сечения:
 $h_0 = h - a = 0,7 - 0,07 = 0,63 \text{ м} = 63 \text{ см}.$

Деформации в арматуре - не заданы.

Определение значения начального модуля упругости при непродолжительном действии нагрузки

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000 \text{ МПа}.$

Определение характеристик приведенного сечения

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:
 $\alpha_s = E_s/E_b = 200000/30000 = 6,66667.$

$h'_0 = h - a'_s = 0,7 - 0,04 = 0,66 \text{ м} = 66 \text{ см}.$

Сечение - прямоугольное.

Площадь сечения:
 $A = b h = 1 \cdot 0,7 = 0,7 \text{ м}^2 = 7000 \text{ см}^2.$

Статический момент бетонного сечения относительно наиболее растянутого волокна:
 $S_t = b h^2/2 = 1 \cdot 0,7^2/2 = 0,245 \text{ м}^3 = 245000 \text{ см}^3.$

Площадь сечения бетона:
 $A_b = b h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00047 - 0,00092 = 0,69861 \text{ м}^2 = 6986,1 \text{ см}^2.$

Площадь приведенного поперечного сечения:
 $A_{red} = \alpha_s (A_s + A'_s) + A_b = 6,66667 \cdot (0,00092 + 0,00047) + 0,69861 = 0,70788 \text{ м}^2 = 7078,8 \text{ см}^2.$

Статический момент приведенного сечения относительно наиболее растянутого волокна:
 $S_{t, red} = (\alpha_s - 1) (A_s a_s + A'_s (h - a'_s)) + b h^2/2 =$
 $= (6,66667 - 1) \cdot (0,00092 \cdot 0,07 + 0,00047 \cdot (0,7 - 0,04)) + 1 \cdot 0,7^2/2 = 0,24712 \text{ м}^3 = 247120 \text{ см}^3.$

Координата центра тяжести расчетного контура:
 $y_0 = S_{t, red}/A_{red} = 0,24712/0,70788 = 0,3491 \text{ м} = 34,91 \text{ см}.$

Расстояние от наиболее растянутого волокна бетона до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_t = y_o = 0,3491 \text{ м} = 34,91 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:
 $y_c = h - y_t = 0,7 - 0,3491 = 0,3509 \text{ м} = 35,09 \text{ см} .$

$$y_s = y_o - a_s = 0,3491 - 0,07 = 0,2791 \text{ м} = 27,91 \text{ см} .$$

$$y'_s = h - a_s - a'_s - y_s = 0,7 - 0,07 - 0,04 - 0,2791 = 0,3109 \text{ м} = 31,09 \text{ см} .$$

Момент инерции бетонного сечения относительно центра тяжести приведенного сечения:
 $I = b h^3 / 12 + A (h/2 - y_t)^2 =$
 $= 1 \cdot 0,7^3 / 12 + 0,7 \cdot (0,7/2 - 0,3491)^2 = 0,02858 \text{ м}^4 = 2858000 \text{ см}^4 .$

Определение момента образования трещин

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:
 $R_{b, ser} = R_{bn} = 16,65 \text{ МПа} .$

Расчетное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний второй группы:
 $R_{bt, ser} = R_{btn} = 1,395 \text{ МПа} .$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:
 $I_s = A_s (h - a_s - y_c)^2 = 0,00092 \cdot (0,7 - 0,07 - 0,3509)^2 = 0,000071665 \text{ м}^4 = 7166,5 \text{ см}^4 .$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:
 $I'_s = A'_s (y_c - a'_s)^2 =$
 $= 0,00047 \cdot (0,3509 - 0,04)^2 = 0,00004543 \text{ м}^4 = 4543 \text{ см}^4 .$

Продолжение расчета по п. п. 8.2.12 СП 63.13330.2012

Момент инерции приведенного поперечного сечения:
 $I_{red} = I + I_s (\alpha_s - 1) + I'_s (\alpha_s - 1) =$
 $= 0,02858 + 0,000071665 \cdot (6,66667 - 1) + 0,00004543 \cdot (6,66667 - 1) = 0,02924 \text{ м}^4 = 2924000 \text{ см}^4$ (формула (8.125); п. 8.2.12).

Упругий момент сопротивления приведенного сечения:
 $W_{red} = I_{red} / y_t = 0,02924 / 0,3491 = 0,08376 \text{ м}^3 = 83760 \text{ см}^3$ (формула (8.123); п. 8.2.12).

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны:
 $e_x = W_{red} / A_{red} = 0,08376 / 0,70788 = 0,11833 \text{ м} = 11,83 \text{ см}$ (формула (8.124); п. 8.2.12).

Момент образования трещин определяется - с учетом неупругих деформаций.

Упругопластический момент сопротивления сечения:
 $W_{pl} = 1,3 W_{red} = 1,3 \cdot 0,08376 = 0,10889 \text{ м}^3 = 108890 \text{ см}^3$ (формула (8.122); п. 8.2.11).

Изгибающий момент, воспринимаемый нормальным сечением элемента при образовании трещин:
 $M_{crc} = R_{bt, ser} W_{pl} = 1,395 \cdot 0,10889 = 0,1519 \text{ МН м} = 15,49 \text{ тс м}$ (формула (8.121); п. 8.2.11).

1. Продолжительное раскрытие трещин

Предельная ширина раскрытия трещин при продолжительном действии нагрузки

Расчет на раскрытие трещин ведется из условия - обеспечения сохранности арматуры.

Предельно допустимая ширина раскрытия трещин:
 $a_{crc, ult} = 0,3 \text{ мм} .$

Определение значения начального модуля упругости при продолжительном действии нагрузки

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000 \text{ МПа} .$

Относительная влажность воздуха окружающей среды - выше 75%.

Коэффициент ползучести принимается по табл. 6.12 $\varphi_{b, cr} = 1,8 .$

Начальный модуль упругости, принимаемый при продолжительном действии нагрузки:
 $E_b, \tau = E_b / (1 + \varphi_{b, cr}) =$
 $= 30000 / (1 + 1,8) = 10714,28571 \text{ МПа}$ (формула (6.3); п. 6.1.15).

$$M_I = M_I = 0,15691 \text{ МН м} = 16 \text{ тс м} .$$

Действие постоянных и временных длительных нагрузок

$$M = M_I = 0,15691 \text{ МН м} = 16 \text{ тс м} .$$

Коэффициент, учитывающий характер нагружения:

$$\varphi_3 = 1 .$$

$$\text{Т.к. } M = 0,15691 \text{ МН м} = 16,00037 \text{ тс м} > M_{\text{срс}} = 0,1519 \text{ МН м} = 15,48949 \text{ тс м} :$$

Требуется расчет по раскрытию трещин.

Коэффициент, учитывающий продолжительность действия нагрузки:

$$\varphi_1 = 1,4 .$$

(т.к. раскрытие трещин продолжительное)

Определение характеристик приведенного сечения

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:

$$\alpha_s = E_s/E_b = 200000/10714,29 = 18,66666 .$$

$$h'_o = h - a'_s = 0,7 - 0,04 = 0,66 \text{ м} = 66 \text{ см} .$$

Площадь сечения:

$$A = b h = 1 \cdot 0,7 = 0,7 \text{ м}^2 = 7000 \text{ см}^2 .$$

Статический момент бетонного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_t = b h^2/2 = 1 \cdot 0,7^2/2 = 0,245 \text{ м}^3 = 245000 \text{ см}^3 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00047 - 0,00092 = 0,69861 \text{ м}^2 = 6986,1 \text{ см}^2 .$$

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{\text{red}} = \alpha_s (A_s + A'_s) + A_b = 18,66666 \cdot (0,00092 + 0,00047) + 0,69861 = 0,72456 \text{ м}^2 = 7245,6 \text{ см}^2 .$$

Статический момент приведенного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_{t, \text{red}} = (\alpha_s - 1) (A_s a_s + A'_s (h - a'_s)) + b h^2/2 = \\ = (18,66666 - 1) \cdot (0,00092 \cdot 0,07 + 0,00047 \cdot (0,7 - 0,04)) + 1 \cdot 0,7^2/2 = 0,25162 \text{ м}^3 = 251620 \text{ см}^3 .$$

Координата центра тяжести расчетного контура:

$$y_o = S_{t, \text{red}}/A_{\text{red}} = 0,25162/0,72456 = 0,34727 \text{ м} = 34,73 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее растянутого волокна бетона до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_t = y_o = 0,34727 \text{ м} = 34,73 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_c = h - y_t = 0,7 - 0,34727 = 0,35273 \text{ м} = 35,27 \text{ см} .$$

$$y_s = y_o - a_s = 0,34727 - 0,07 = 0,27727 \text{ м} = 27,73 \text{ см} .$$

$$y'_s = h - a_s - a'_s - y_s = 0,7 - 0,07 - 0,04 - 0,27727 = 0,31273 \text{ м} = 31,27 \text{ см} .$$

Момент инерции бетонного сечения относительно центра тяжести приведенного сечения:

$$I = b h^3/12 + A (h/2 - y_t)^2 = \\ = 1 \cdot 0,7^3/12 + 0,7 \cdot (0,7/2 - 0,34727)^2 = 0,02859 \text{ м}^4 = 2859000 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_c)^2 = 0,00092 \cdot (0,7 - 0,07 - 0,35273)^2 = 0,000070728 \text{ м}^4 = 7072,8 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$I'_s = A'_s (y_c - a'_s)^2 = \\ = 0,00047 \cdot (0,35273 - 0,04)^2 = 0,000045966 \text{ м}^4 = 4596,6 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{\text{red}} = I + I_s (\alpha_s - 1) + I'_s (\alpha_s - 1) = \\ = 0,02859 + 0,000070728 \cdot (18,66666 - 1) + 0,000045966 \cdot (18,66666 - 1) = 0,03065 \text{ м}^4 = 3065000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.125); п. 8.2.12) .}$$

Упругий момент сопротивления приведенного сечения:

$$W_{red} = I_{red}/y_t = 0,03065/0,34727 = 0,08826 \text{ м}^3 = 88260 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.123); п. 8.2.12)}.$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны:

$$e_x = W_{red}/A_{red} = 0,08826/0,72456 = 0,12181 \text{ м} = 12,18 \text{ см (формула (8.124); п. 8.2.12)}.$$

Определение ширины раскрытия трещин нормальных к продольной оси элемента

Коэффициент, учитывающий профиль продольной арматуры:

$$\varphi_2 = 0,5.$$

т. к. арматура - периодического профиля.

Определение коэффициента ψ_s

Определение напряжений в растянутой арматуре

Принимаемая относительная деформация бетона:

$$\epsilon_{b1, red} = 0,0015.$$

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:

$$R_{b, ser} = R_{bn} = 16,65 \text{ МПа}.$$

Приведенный модуль деформации сжатого бетона:

$$E_{b, red} = R_{b, ser}/\epsilon_{b1, red} = 16,65/0,0015 = 11100 \text{ МПа (формула (8.131); п. 8.2.16)}.$$

Коэффициент приведения сжатой арматуры к бетону:

$$\alpha_{s1} = E_s/E_{b, red} = 200000/11100 = 18,01802 \text{ (формула (8.130); п. 8.2.16)}.$$

Напряжения в растянутой арматуре определяются при $\alpha_{s2} = \alpha_{s1}$

При этом принимается для изгибаемых элементов $u_c = x_m$ - высота сжатой зоны бетона, определяемая по п. 8.2.28.

Коэффициент приведения растянутой арматуры к бетону:

$$\alpha_{s2} = \alpha_{s1} = 18,01802.$$

Определение средней высоты сжатой зоны для изгибаемых элементов

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a = 0,7 - 0,07 = 0,63 \text{ м} = 63 \text{ см}.$$

Коэффициент армирования:

$$\mu_s = A_s/(b h_0) = 0,00092/(1 \cdot 0,63) = 0,00146 \text{ \%}.$$

Сжатая арматура - имеется.

Коэффициент армирования сжатой ненапрягаемой арматуры:

$$\mu'_s = A'_s/(b h_0) = 0,00047/(1 \cdot 0,63) = 0,00075.$$

Средняя высота сжатой зоны бетона:

$$\begin{aligned} x_m &= h_0 \left(\sqrt{(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1})^2 + 2(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1}) a'/h_0} - (\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1}) \right) = \\ &= 0,63 \cdot \left(\sqrt{(0,00146 \cdot 18,01802 + 0,00075 \cdot 18,01802)^2 + 2 \cdot (0,00146 \cdot 18,01802 + 0,00075 \cdot 18,01802 \cdot 0,04/0,63)} - (0,00146 \cdot 18,01802 + 0,00075 \cdot 18,01802) \right) = 0,12388 \text{ м} = 12,39 \text{ см}. \end{aligned}$$

Определение средней высоты сжатой зоны бетона

Расчет ведется по приближенной формуле (8.154).

Высота сжатой зоны изгибаемого элемента:

$$x_M = x_m = 0,12388 \text{ м} = 12,39 \text{ см}.$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна до центра тяжести приведенного сечения без учета растянутой зоны:

$$y_{cm} = x_m = 0,12388 \text{ м} = 12,39 \text{ см}.$$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_{cm})^2 = 0,00092 \cdot (0,7 - 0,07 - 0,12388)^2 = 0,000235665 \text{ м}^4 = 23566,5 \text{ см}^4.$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$\begin{aligned} I'_s &= A'_s (y_{cm} - a'_s)^2 = \\ &= 0,00047 \cdot (0,12388 - 0,04)^2 = 0,000003307 \text{ м}^4 = 330,7 \text{ см}^4. \end{aligned}$$

Определение момента инерции сжатой зоны бетона

$$I_b = b x_m^3 / 3 = 1 \cdot 0,12388^3 / 3 = 0,00063 \text{ м}^4 = 63000 \text{ см}^4 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b x_m = 1 \cdot 0,12388 = 0,12388 \text{ м}^2 = 1238,8 \text{ см}^2 .$$

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{red} = I_b + I_s \alpha_{s2} + I'_s \alpha_{s1} = \\ = 0,00063 + 0,000235665 \cdot 18,01802 + 0,000003307 \cdot 18,01802 = 0,00494 \text{ м}^4 = 494000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.148); п. 8.2.27)} .$$

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{red} = A_b + A_s \alpha_{s2} + A'_s \alpha_{s1} = \\ = 0,12388 + 0,00092 \cdot 18,01802 + 0,00047 \cdot 18,01802 = 0,14893 \text{ м}^2 = 1489,3 \text{ см}^2 .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_c = y_{cm} = 0,12388 \text{ м} = 12,39 \text{ см} .$$

$$\sigma_s = (M (h_0 - y_c) / I_{red}) \alpha_{s1} =$$

$$= (0,15691 \cdot (0,63 - 0,12388) / 0,00494) \cdot 18,01802 = 289,65714 \text{ МПа (формула (8.129); п. 8.2.16)} .$$

Напряжения $\sigma_{s, \text{crc}}$ определяются при $M = M_{\text{crc}}$.

Напряжения в продольной растянутой арматуре в сечении с трещиной сразу после образования нормальных трещин:

$$\sigma_{s, \text{crc}} = (M_{\text{crc}} (h_0 - y_c) / I_{red}) \alpha_{s1} =$$

$$= (0,1519 \cdot (0,63 - 0,12388) / 0,00494) \cdot 18,01802 = 280,40864 \text{ МПа (формула (8.129); п. 8.2.18)} .$$

Т.к. $\sigma_s = 289,6571 \text{ МПа} \geq \sigma_{s, \text{crc}} = 280,4086 \text{ МПа}$:

Коэффициент, учитывающий неравномерное распределение относительных деформаций:

$$\psi_s = 1 - 0,8 \sigma_{s, \text{crc}} / \sigma_s =$$

$$= 1 - 0,8 \cdot 280,4086 / 289,6571 = 0,22554 \text{ (формула (8.137); п. 8.2.18)} .$$

Определение базового расстояния между трещинами

Высота растянутой зоны:

$$x_t = h - x_m = 0,7 - 0,12388 = 0,57612 \text{ м} = 57,61 \text{ см} .$$

Т.к. $x_t = 0,57612 \text{ м} = 57,612 \text{ см} > 0,5 h = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35 \text{ м} = 35 \text{ см}$:

Высота растянутой зоны:

$$x_t = 0,5 h = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35 \text{ м} = 35 \text{ см} .$$

Площадь сечения растянутого бетона:

$$A_{bt} = b x_t = 1 \cdot 0,35 = 0,35 \text{ м}^2 = 3500 \text{ см}^2 .$$

Базовое расстояние между трещинами:

$$l_s = 0,5 (A_{bt} / A_s) d_s =$$

$$= 0,5 \cdot (0,35 / 0,00092) \cdot 14 = 2663,04348 \text{ мм (формула (8.136); п. 8.2.17)} .$$

Т.к. $l_s = 2663,043 \text{ мм} > 40 d_s = 40 \cdot 14 = 560 \text{ мм}$:

Базовое расстояние между трещинами:

$$l_s = 40 d_s = 40 \cdot 14 = 560 \text{ мм} .$$

Т.к. $l_s > 400 \text{ мм}$:

Базовое расстояние между трещинами:

$$l_s = 400 \text{ мм} .$$

Ширина раскрытия трещин:

$$a_{\text{crc}} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s (\sigma_s / E_s) l_s =$$

$$= 1,4 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 0,22554 \cdot (289,6571 / 200000) \cdot 400 = 0,09146 \text{ мм (формула (8.128); п. 8.2.15)} .$$

$a_{\text{crc}} = 0,09146 \text{ мм} \leq a_{\text{crc, ult}} = 0,3 \text{ мм}$ (30,48667% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.118); п. п. 8.2).

Ширина раскрытия трещин от продолжительного действия постоянных и временных длительных нагрузок:

$$a_{cr,1} = a_{cr} = 0,09146 \text{ мм} .$$

II. Непродолжительное раскрытие трещин

Предельная ширина раскрытия трещин при непродолжительном действии нагрузки

Предельно допустимая ширина раскрытия трещин:

$$a_{cr,ult} = 0,4 \text{ мм} .$$

Определение значения начального модуля упругости при непродолжительном действии нагрузки

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000 \text{ МПа}$.

а) Действие всех нагрузок

$$\text{Т.к. } M = 0,15691 \text{ МН м} = 16,00037 \text{ тс м} > M_{cr} = 0,1519 \text{ МН м} = 15,48949 \text{ тс м} :$$

Требуется расчет по раскрытию трещин.

Коэффициент, учитывающий продолжительность действия нагрузки:

$$\varphi_1 = 1 .$$

(т.к. раскрытие трещин непродолжительное)

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_c)^2 = 0,00092 \cdot (0,7 - 0,07 - 0,3509)^2 = 0,000071665 \text{ м}^4 = 7166,5 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$I'_s = A'_s (y_c - a'_s)^2 = \\ = 0,00047 \cdot (0,3509 - 0,04)^2 = 0,00004543 \text{ м}^4 = 4543 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{red} = I + I_s (\alpha_s - 1) + I'_s (\alpha_s - 1) = \\ = 0,02858 + 0,000071665 \cdot (6,66667 - 1) + 0,00004543 \cdot (6,66667 - 1) = 0,02924 \text{ м}^4 = 2924000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.125); п. 8.2.12)} .$$

Упругий момент сопротивления приведенного сечения:

$$W_{red} = I_{red} / y_t = 0,02924 / 0,3491 = 0,08376 \text{ м}^3 = 83760 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.123); п. 8.2.12)} .$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны:

$$e_x = W_{red} / A_{red} = 0,08376 / 0,70788 = 0,11833 \text{ м} = 11,83 \text{ см} \text{ (формула (8.124); п. 8.2.12)} .$$

Определение ширины раскрытия трещин нормальных к продольной оси элемента

Коэффициент, учитывающий профиль продольной арматуры:

$$\varphi_2 = 0,5 .$$

т. к. арматура - периодического профиля.

Определение коэффициента ψ_s

Определение напряжений в растянутой арматуре

Принимаемая относительная деформация бетона:

$$\epsilon_{b1,red} = 0,0015 .$$

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:

$$R_{b,ser} = R_{bn} = 16,65 \text{ МПа} .$$

Приведенный модуль деформации сжатого бетона:

$$E_{b,red} = R_{b,ser} / \epsilon_{b1,red} = 16,65 / 0,0015 = 11100 \text{ МПа} \text{ (формула (8.131); п. 8.2.16)} .$$

Коэффициент приведения сжатой арматуры к бетону:

$$\alpha_{s1} = E_s / E_{b,red} = 200000 / 11100 = 18,01802 \text{ (формула (8.130); п. 8.2.16)} .$$

Напряжения в растянутой арматуре определяются при $\alpha_{s2} = \alpha_{s1}$

При этом принимается для изгибаемых элементов $y_c = x_m$ - высота сжатой зоны бетона, определяемая по п. 8.2.28.

Коэффициент приведения растянутой арматуры к бетону:

$$\alpha_{s2} = \alpha_{s1} = 18,01802 .$$

Определение средней высоты сжатой зоны для изгибаемых элементов

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a = 0,7 - 0,07 = 0,63 \text{ м} = 63 \text{ см} .$$

Коэффициент армирования:

$$\mu_s = A_s / (b h_0) = 0,00092 / (1 \cdot 0,63) = 0,00146 \% .$$

Коэффициент армирования сжатой ненапрягаемой арматуры:

$$\mu'_s = A'_s / (b h_0) = 0,00047 / (1 \cdot 0,63) = 0,00075 .$$

Средняя высота сжатой зоны бетона:

$$x_m = h_0 \frac{(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1})^2 + 2(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1} a'/h_0) - (\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1})}{2(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1})} =$$
$$= 0,63 \cdot \frac{(\sqrt{(0,00146 \cdot 18,01802 + 0,00075 \cdot 18,01802)^2 + 2 \cdot (0,00146 \cdot 18,01802 + 0,00075 \cdot 18,01802 \cdot 0,04/0,63)} - (0,00146 \cdot 18,01802 + 0,00075 \cdot 18,01802))}{2(0,00146 \cdot 18,01802 + 0,00075 \cdot 18,01802)} = 0,12388 \text{ м} = 12,39 \text{ см} .$$

Определение средней высоты сжатой зоны бетона

Расчет ведется по приближенной формуле (8.154).

Высота сжатой зоны изгибаемого элемента:

$$x_M = x_m = 0,12388 \text{ м} = 12,39 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна до центра тяжести приведенного сечения без учета растянутой зоны:

$$y_{cm} = x_m = 0,12388 \text{ м} = 12,39 \text{ см} .$$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_{cm})^2 = 0,00092 \cdot (0,7 - 0,07 - 0,12388)^2 = 0,000235665 \text{ м}^4 = 23566,5 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$I'_s = A'_s (y_{cm} - a'_s)^2 =$$
$$= 0,00047 \cdot (0,12388 - 0,04)^2 = 0,000003307 \text{ м}^4 = 330,7 \text{ см}^4 .$$

Определение момента инерции сжатой зоны бетона

$$I_b = b x_m^3 / 3 = 1 \cdot 0,12388^3 / 3 = 0,00063 \text{ м}^4 = 63000 \text{ см}^4 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b x_m = 1 \cdot 0,12388 = 0,12388 \text{ м}^2 = 1238,8 \text{ см}^2 .$$

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{red} = I_b + I_s \alpha_{s2} + I'_s \alpha_{s1} =$$
$$= 0,00063 + 0,000235665 \cdot 18,01802 + 0,000003307 \cdot 18,01802 = 0,00494 \text{ м}^4 = 494000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.148); п. 8.2.27) .}$$

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{red} = A_b + A_s \alpha_{s2} + A'_s \alpha_{s1} =$$
$$= 0,12388 + 0,00092 \cdot 18,01802 + 0,00047 \cdot 18,01802 = 0,14893 \text{ м}^2 = 1489,3 \text{ см}^2 .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_c = y_{cm} = 0,12388 \text{ м} = 12,39 \text{ см} .$$

$$\sigma_s = (M (h_0 - y_c) / I_{red}) \alpha_{s1} =$$

$$= (0,15691 \cdot (0,63 - 0,12388) / 0,00494) \cdot 18,01802 = 289,65714 \text{ МПа (формула (8.129); п. 8.2.16) .}$$

Напряжения $\sigma_s, \sigma_{s, crc}$ определяются при $M = M_{crc}$.

Напряжения в продольной растянутой арматуре в сечении с трещиной сразу после образования нормальных трещин:

$$\sigma_{s, crc} = (M_{crc} (h_0 - y_c) / I_{red}) \alpha_{s1} =$$

$$= (0,1519 \cdot (0,63 - 0,12388) / 0,00494) \cdot 18,01802 = 280,40864 \text{ МПа (формула (8.129); п. 8.2.18) .}$$

Т.к. $\sigma_s = 289,6571 \text{ МПа} \geq \sigma_{s, crc} = 280,4086 \text{ МПа}$:

Коэффициент, учитывающий неравномерное распределение относительных деформаций:

$$\psi_s = 1 - 0,8 \sigma_{s, crc} / \sigma_s =$$

$$= 1 - 0,8 \cdot 280,4086 / 289,6571 = 0,22554 \text{ (формула (8.137); п. 8.2.18) .}$$

Определение базового расстояния между трещинами

Высота растянутой зоны:

$$x_t = h - x_m = 0,7 - 0,12388 = 0,57612 \text{ м} = 57,61 \text{ см} .$$

$$\text{Т.к. } x_t = 0,57612 \text{ м} = 57,612 \text{ см} > 0,5 h = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35 \text{ м} = 35 \text{ см} :$$

Высота растянутой зоны:

$$x_t = 0,5 h = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35 \text{ м} = 35 \text{ см} .$$

Площадь сечения растянутого бетона:

$$A_{bt} = b x_t = 1 \cdot 0,35 = 0,35 \text{ м}^2 = 3500 \text{ см}^2 .$$

Базовое расстояние между трещинами:

$$l_s = 0,5 (A_{bt}/A_s) d_s = \\ = 0,5 \cdot (0,35/0,00092) \cdot 14 = 2663,04348 \text{ мм (формула (8.136); п. 8.2.17) .}$$

$$\text{Т.к. } l_s = 2663,043 \text{ мм} > 40 d_s = 40 \cdot 14 = 560 \text{ мм} :$$

Базовое расстояние между трещинами:

$$l_s = 40 d_s = 40 \cdot 14 = 560 \text{ мм} .$$

$$\text{Т.к. } l_s > 400 \text{ мм} :$$

Базовое расстояние между трещинами:

$$l_s = 400 \text{ мм} .$$

Ширина раскрытия трещин:

$$a_{сгс} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s (\sigma_s/E_s) l_s = \\ = 1 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 0,22554 \cdot (289,6571/200000) \cdot 400 = 0,06533 \text{ мм (формула (8.128); п. 8.2.15) .}$$

Ширина раскрытия трещин от непродолжительного действия всех нагрузок:

$$a_{сгс, 2} = a_{сгс} = 0,06533 \text{ мм} .$$

б) Действие постоянных и временных длительных нагрузок

$$M_I = M_I = 0,15691 \text{ МН м} = 16 \text{ тс м} .$$

Действие постоянных и временных длительных нагрузок

$$M = M_I = 0,15691 \text{ МН м} = 16 \text{ тс м} .$$

$$\text{Т.к. } M = 0,15691 \text{ МН м} = 16,00037 \text{ тс м} > M_{сгс} = 0,1519 \text{ МН м} = 15,48949 \text{ тс м} :$$

Требуется расчет по раскрытию трещин.

Коэффициент, учитывающий продолжительность действия нагрузки:

$$\varphi_1 = 1 .$$

(т.к. раскрытие трещин непродолжительное)

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_c)^2 = 0,00092 \cdot (0,7 - 0,07 - 0,3509)^2 = 0,000071665 \text{ м}^4 = 7166,5 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$I'_s = A'_s (y_c - a'_s)^2 = \\ = 0,00047 \cdot (0,3509 - 0,04)^2 = 0,00004543 \text{ м}^4 = 4543 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{red} = I + I_s (\alpha_s - 1) + I'_s (\alpha_s - 1) = \\ = 0,02858 + 0,000071665 \cdot (6,66667 - 1) + 0,00004543 \cdot (6,66667 - 1) = 0,02924 \text{ м}^4 = 2924000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.125); п. 8.2.12) .}$$

Упругий момент сопротивления приведенного сечения:

$$W_{red} = I_{red}/y_t = 0,02924/0,3491 = 0,08376 \text{ м}^3 = 83760 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.123); п. 8.2.12) .}$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны:

$$e_x = W_{red}/A_{red} = 0,08376/0,70788 = 0,11833 \text{ м} = 11,83 \text{ см} \text{ (формула (8.124); п. 8.2.12) .}$$

Определение ширины раскрытия трещин нормальных к продольной оси элемента

Коэффициент, учитывающий профиль продольной арматуры:

$$\varphi_2 = 0,5 .$$

т. к. арматура - периодического профиля.

Определение коэффициента ψ_s

Определение напряжений в растянутой арматуре

Принимаемая относительная деформация бетона:

$$\epsilon_{b1, red} = 0,0015 .$$

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:

$$R_{b, ser} = R_{bn} = 16,65 \text{ МПа} .$$

Приведенный модуль деформации сжатого бетона:

$$E_{b, red} = R_{b, ser} / \epsilon_{b1, red} = 16,65 / 0,0015 = 11100 \text{ МПа (формула (8.131); п. 8.2.16) .}$$

Коэффициент приведения сжатой арматуры к бетону:

$$\alpha_{s1} = E_s / E_{b, red} = 200000 / 11100 = 18,01802 \text{ (формула (8.130); п. 8.2.16) .}$$

Напряжения в растянутой арматуре определяются при $\alpha_{s2} = \alpha_{s1}$

При этом принимается для изгибаемых элементов $y_c = x_m$ - высота сжатой зоны бетона, определяемая по п. 8.2.28.

Коэффициент приведения растянутой арматуры к бетону:

$$\alpha_{s2} = \alpha_{s1} = 18,01802 .$$

Определение средней высоты сжатой зоны для изгибаемых элементов

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a = 0,7 - 0,07 = 0,63 \text{ м} = 63 \text{ см} .$$

Коэффициент армирования:

$$\mu_s = A_s / (b h_0) = 0,00092 / (1 \cdot 0,63) = 0,00146 \% .$$

Коэффициент армирования сжатой ненапрягаемой арматуры:

$$\mu'_s = A'_s / (b h_0) = 0,00047 / (1 \cdot 0,63) = 0,00075 .$$

Средняя высота сжатой зоны бетона:

$$x_m = h_0 \left(\sqrt{(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1})^2 + 2(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1}) a' / h_0} - (\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1}) \right) = \\ = 0,63 \cdot \left(\sqrt{(0,00146 \cdot 18,01802 + 0,00075 \cdot 18,01802)^2 + 2 \cdot (0,00146 \cdot 18,01802 + 0,00075 \cdot 18,01802 \cdot 0,04 / 0,63)} - (0,00146 \cdot 18,01802 + 0,00075 \cdot 18,01802) \right) = 0,12388 \text{ м} = 12,39 \text{ см} .$$

Определение средней высоты сжатой зоны бетона

Расчет ведется по приближенной формуле (8.154).

Высота сжатой зоны изгибаемого элемента:

$$x_M = x_m = 0,12388 \text{ м} = 12,39 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна до центра тяжести приведенного сечения без учета растянутой зоны:

$$y_{cm} = x_m = 0,12388 \text{ м} = 12,39 \text{ см} .$$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_{cm})^2 = 0,00092 \cdot (0,7 - 0,07 - 0,12388)^2 = 0,000235665 \text{ м}^4 = 23566,5 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$I'_s = A'_s (y_{cm} - a'_s)^2 = \\ = 0,00047 \cdot (0,12388 - 0,04)^2 = 0,000003307 \text{ м}^4 = 330,7 \text{ см}^4 .$$

Определение момента инерции сжатой зоны бетона

$$I_b = b x_m^3 / 3 = 1 \cdot 0,12388^3 / 3 = 0,00063 \text{ м}^4 = 63000 \text{ см}^4 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b x_m = 1 \cdot 0,12388 = 0,12388 \text{ м}^2 = 1238,8 \text{ см}^2 .$$

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{red} = I_b + I_s \alpha_{s2} + I'_s \alpha_{s1} = \\ = 0,00063 + 0,000235665 \cdot 18,01802 + 0,000003307 \cdot 18,01802 = 0,00494 \text{ м}^4 = 494000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.148); п. 8.2.27) .}$$

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{red} = A_b + A_s \alpha_{s2} + A'_s \alpha_{s1} = \\ = 0,12388 + 0,00092 \cdot 18,01802 + 0,00047 \cdot 18,01802 = 0,14893 \text{ м}^2 = 1489,3 \text{ см}^2 .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_c = y_{cm} = 0,12388 \text{ м} = 12,39 \text{ см} .$$

$$\sigma_s = (M (h_0 - y_c) / I_{red}) \alpha_{s1} =$$

$$= (0,15691 \cdot (0,63 - 0,12388) / 0,00494) \cdot 18,01802 = 289,65714 \text{ МПа (формула (8.129); п. 8.2.16) .}$$

Напряжения $\sigma_{s, crс}$ определяются при $M = M_{crс}$.

Напряжения в продольной растянутой арматуре в сечении с трещиной сразу после образования нормальных трещин:

$$\sigma_{s, crс} = (M_{crс} (h_0 - y_c) / I_{red}) \alpha_{s1} =$$

$$= (0,1519 \cdot (0,63 - 0,12388) / 0,00494) \cdot 18,01802 = 280,40864 \text{ МПа (формула (8.129); п. 8.2.18) .}$$

Т.к. $\sigma_s = 289,6571 \text{ МПа} \geq \sigma_{s, crс} = 280,4086 \text{ МПа}$:

Коэффициент, учитывающий неравномерное распределение относительных деформаций:

$$\psi_s = 1 - 0,8 \sigma_{s, crс} / \sigma_s =$$

$$= 1 - 0,8 \cdot 280,4086 / 289,6571 = 0,22554 \text{ (формула (8.137); п. 8.2.18) .}$$

Определение базового расстояния между трещинами

Высота растянутой зоны:

$$x_t = h - x_m = 0,7 - 0,12388 = 0,57612 \text{ м} = 57,61 \text{ см} .$$

Т.к. $x_t = 0,57612 \text{ м} = 57,612 \text{ см} > 0,5 h = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35 \text{ м} = 35 \text{ см}$:

Высота растянутой зоны:

$$x_t = 0,5 h = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35 \text{ м} = 35 \text{ см} .$$

Площадь сечения растянутого бетона:

$$A_{bt} = b x_t = 1 \cdot 0,35 = 0,35 \text{ м}^2 = 3500 \text{ см}^2 .$$

Базовое расстояние между трещинами:

$$l_s = 0,5 (A_{bt} / A_s) d_s =$$

$$= 0,5 \cdot (0,35 / 0,00092) \cdot 14 = 2663,04348 \text{ мм (формула (8.136); п. 8.2.17) .}$$

Т.к. $l_s = 2663,043 \text{ мм} > 40 d_s = 40 \cdot 14 = 560 \text{ мм}$:

Базовое расстояние между трещинами:

$$l_s = 40 d_s = 40 \cdot 14 = 560 \text{ мм} .$$

Т.к. $l_s > 400 \text{ мм}$:

Базовое расстояние между трещинами:

$$l_s = 400 \text{ мм} .$$

Ширина раскрытия трещин:

$$a_{crс} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s (\sigma_s / E_s) l_s =$$

$$= 1 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 0,22554 \cdot (289,6571 / 200000) \cdot 400 = 0,06533 \text{ мм (формула (8.128); п. 8.2.15) .}$$

Ширина раскрытия трещин от непродолжительного действия постоянных и временных длительных нагрузок:

$$a_{crс, 3} = a_{crс} = 0,06533 \text{ мм} .$$

Ширина раскрытия трещин:

$$a_{crс} = a_{crс, 1} + a_{crс, 2} - a_{crс, 3} =$$

$$= 0,09146 + 0,06533 - 0,06533 = 0,09146 \text{ мм (формула (8.120); п. 8.2) .}$$

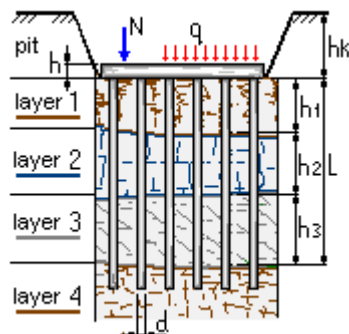
$a_{crс} = 0,09146 \text{ мм} \leq a_{crс, ult} = 0,4 \text{ мм}$ (22,865% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.118); п. п. 8.2) .



Результаты расчета

Расчет плиты на свайном основании. Ростверк РМ11.

1. - Исходные данные:



Количество слоев 2

Характеристики грунта:

Номер слоя	Тип грунта	Модуль E	Ед. изм.	1 Точка, м	2 Точка, м	3 Точка, м	4 Точка, м
Слой 1	Глинистый	800	тс/м ²	h= 7,6	h= 7,6	h= 7,6	h= 7,6
Слой 2	Песчаный	2800	тс/м ²				

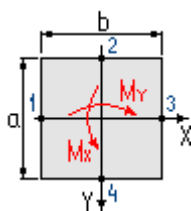
Исходные данные для расчета:
 Прямоугольная плита

Наименование исходных данных	Величина	Ед. измерения
Длина вдоль Y	12,2	м
Ширина вдоль X	1,4	м
Допустимая расчетная нагрузка на сваю (Fd)	40	тс
Длина сваи (L)	8,3	м
Диаметр (сторона)	0,3	м
Толщина плиты	0,7	м
Вылет плиты за грань крайней сваи	0.1	м

Квадратные сваи

Приведенная нагрузка: N= 969 тс; M_y= 0,7 тс*м; M_x= 106 тс*м

2. - Выводы:



Требуемое количество свай 27 шт.

Ориентировочный шаг свай (для расчета осадки) 0,84 м

По расчету на продавливание рядовой сваей несущей способности плиты ДОСТАТОЧНО.

По расчету на продавливание угловой сваей несущей способности плиты ДОСТАТОЧНО.

Расположение свай принято равномерным по всей площади плиты.

Расчетный момент в плите M= 0,23 тс*м (на погонный метр)

Армирование симметричное, шаг 200 мм во всех направлениях.

Защитный слой 35 мм в верхней, 70 мм в нижней зоне плиты.

Арматура d 3 A 400 в обоих направлениях.

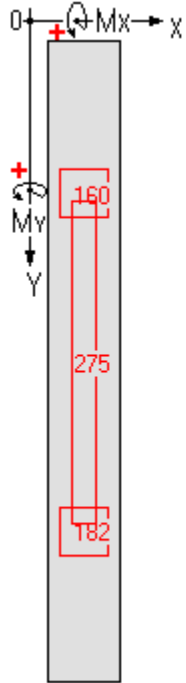
Армирование свайной плиты следует уточнить, выполнив расчет плиты на естественном основании с применением приведенного модуля деформации E_{red}= 5734,17 тс/м²

либо расчет плиты на упругих опорах (сваях) с коэффициентом упругости 5453,89 тс/м

Результаты расчета

Расчет плиты. Ростверк РМ11

1. - Исходные данные:



Длина вдоль X 1,4 м
 Ширина вдоль Y 12,2 м
 Толщина плиты 0,7 м

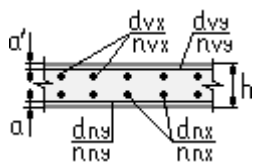
Характеристики грунта Суглинки
 Модуль деформации грунта 5730 тс/м²
 Коэффициент постели 8308,5 (тс/м)/м²

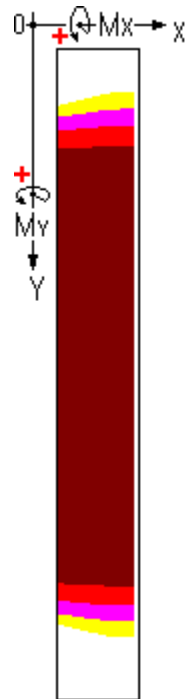
Расчетные нагрузки на конструкцию:

Полосовые нагрузки	начало x,y (м),	конец x,y (м),	величина q (тс/м ²),	Ширина (м)
1	0,7;2,45	0,7;3,35	160	0,9
2	0,7;8,85	0,7;9,75	182	0,9
3	0,7;3,05	0,7;9,15	275	0,4

Приведенные суммарные нагрузки на плиту:
 N= 875,67 тс; Mx= -55,94 тс*м; My= -86,63 тс*м

2. - Выводы:

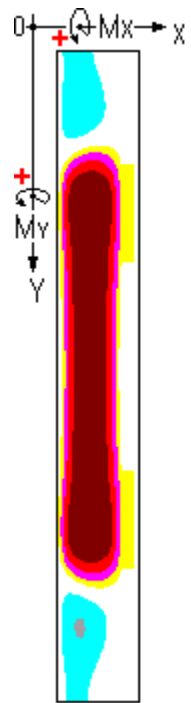




$M_x \max = 79,33$

Эпюра моментов вокруг оси X

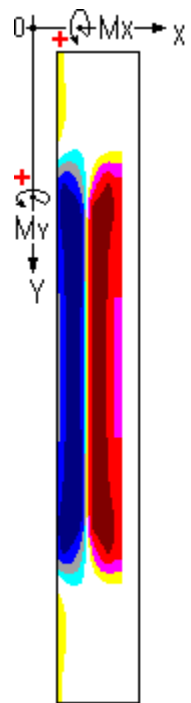
$M_x \min = -1,22$



$M_y \max = 16,61$

Эпюра моментов вокруг оси Y

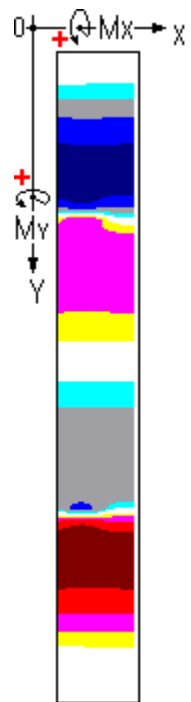
$M_y \min = -1,15$



$Q_x \max = 37,95$

Эпюра поперечных сил вдоль оси X

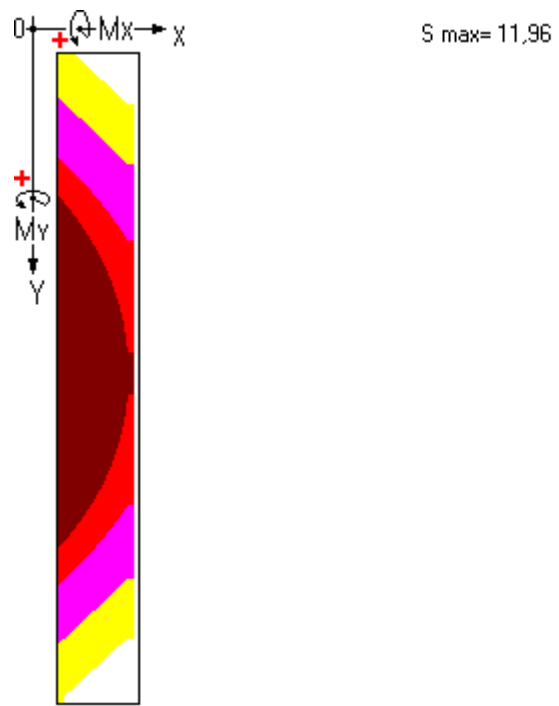
$Q_x \min = -41,2$



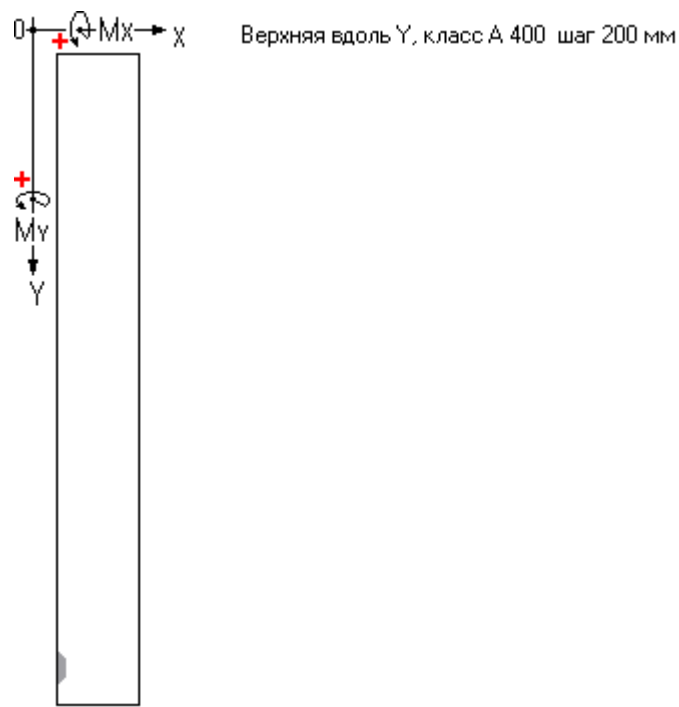
$Q_y \max = 68,06$

$Q_y \min = -62,07$

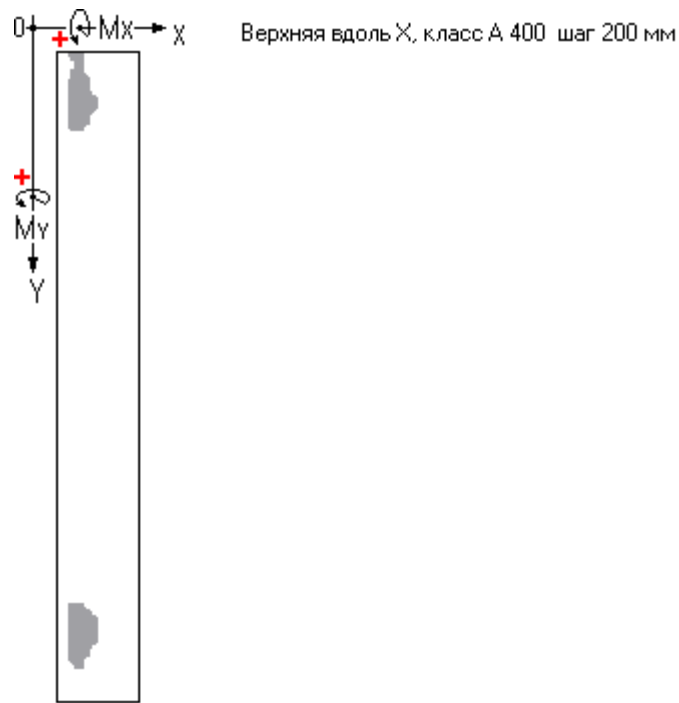
Эпюра поперечных сил вдоль оси Y



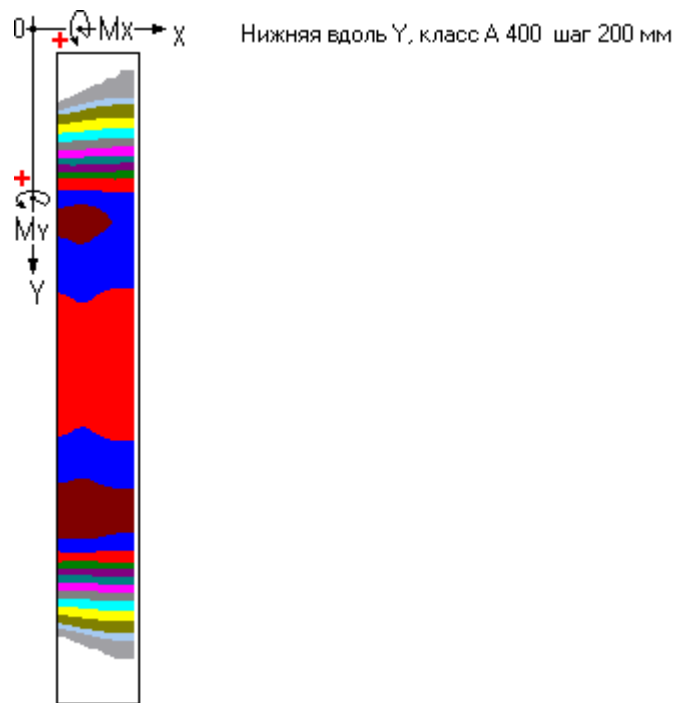
Эпюра вертикальных перемещений, мм



Верхнее армирование плиты вдоль оси Y, d, мм

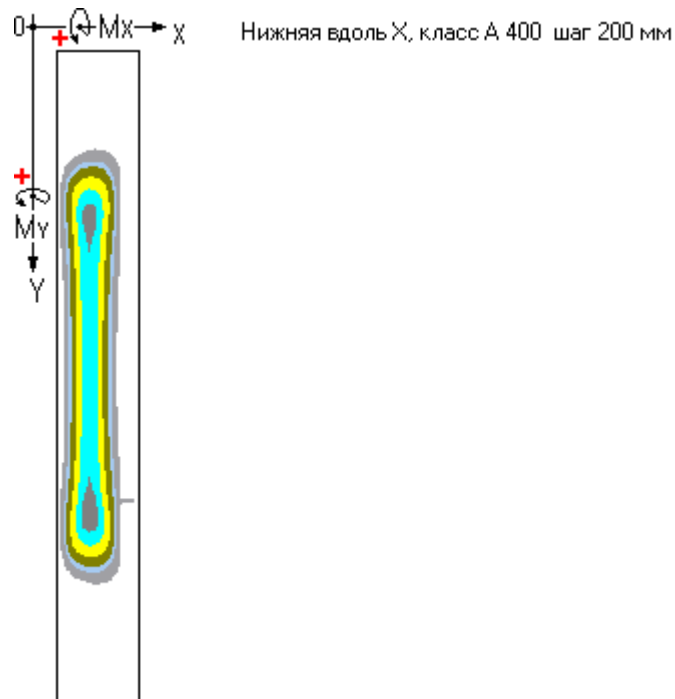


Верхнее армирование плиты вдоль оси X, d, мм



Бетон В15

Нижнее армирование плиты вдоль оси Y, d, мм



Бетон В15

Нижнее армирование плиты вдоль оси X, d, мм

d=3-5 мм	d=10 мм	d=16 мм	d=22 мм	d=32 мм
d=6 мм	d=12 мм	d=18 мм	d=25 мм	d=36 мм
d=8 мм	d=14 мм	d=20 мм	d=28 мм	d=40 мм

Цветовая палитра полей армирования

Расчет балок прямоугольного сечения по прочности при изгибе в одной плоскости. Ростверк РМ11

Информация о расчете:

Дата выполнения расчета: 08.11.2021 8:43:10;

Исходные данные:

Защитный слой:

- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S до грани сечения
 $a_s = 8 \text{ см} = 8 / 100 = 0,08 \text{ м};$
- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S' до грани сечения
 $a'_s = 4 \text{ см} = 4 / 100 = 0,04 \text{ м};$

Площадь ненапрягаемой наиболее растянутой продольной арматуры:

(Стержневая арматура, диаметром 25 мм; 12 шт.):

- Площадь ненапрягаемой растянутой арматуры
 $A_s = 58,9 \text{ см}^2 = 58,9 / 10000 = 0,00589 \text{ м}^2;$

Площадь ненапрягаемой сжатой или наименее растянутой продольной арматуры:

(Стержневая арматура, диаметром 10 мм; 6 шт.):

- Площадь ненапрягаемой сжатой арматуры $A'_s = 4,7 \text{ см}^2 = 4,7 / 10000 = 0,00047 \text{ м}^2;$

Площадь поперечной арматуры:

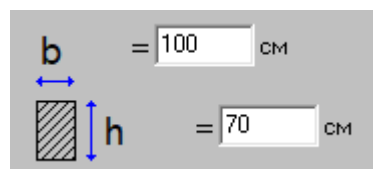
(Стержневая арматура, диаметром 10 мм; 6 шт.):

- Площадь поперечной арматуры $A_{sw} = 4,71 \text{ см}^2 = 4,71 / 10000 = 0,000471 \text{ м}^2$;

Поперечная арматура:

- Шаг стержней поперечной арматуры $s_w = 20 \text{ см} = 20 / 100 = 0,2 \text{ м}$;

Размеры сечения:



- Высота сечения $h = 70 \text{ см} = 70 / 100 = 0,7 \text{ м}$;

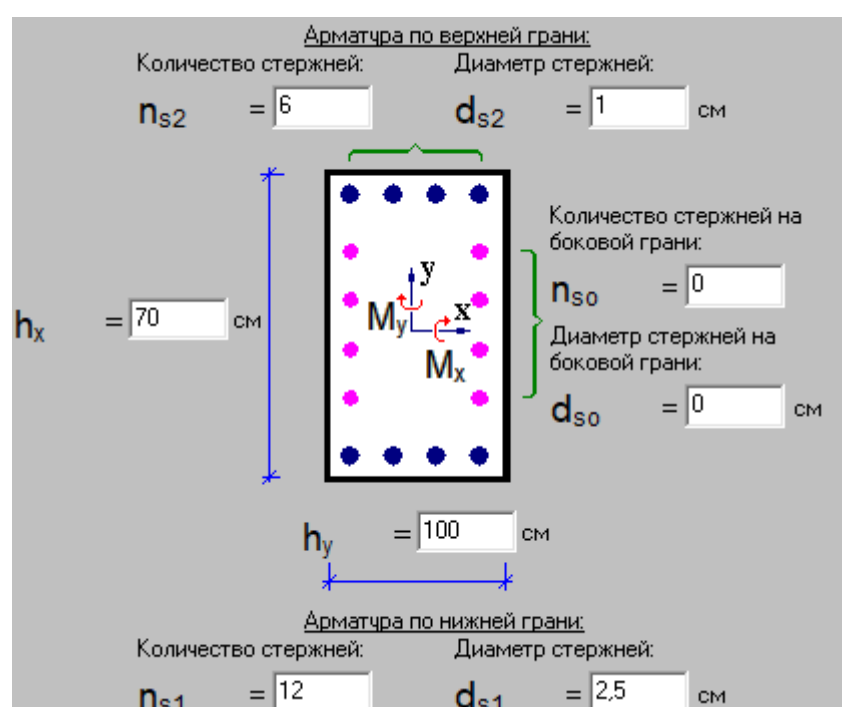
- Ширина прямоугольного сечения $b = 100 \text{ см} = 100 / 100 = 1 \text{ м}$;

Усилия:

- Изгибающий момент $M = 80 \text{ тс м} = 80 / 101,97162123 = 0,78453 \text{ МН м}$;

- Поперечная сила $Q = 70 \text{ тс} = 70 / 101,97162123 = 0,68647 \text{ МН}$;

Характеристики арматуры при расчете на кручение:



- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у нижней грани элемента $d_{s1} = 2,5 \text{ см} = 2,5 / 100 = 0,025 \text{ м}$;

- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у нижней грани элемента $n_{s1} = 12$;

- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у верхней грани элемента

$d_{s2} = 1 \text{ см} = 1 / 100 = 0,01 \text{ м}$;

- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у верхней грани элемента $n_{s2} = 6$;

- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у боковой грани элемента

$d_{s0} = 0 \text{ см} = 0 / 100 = 0 \text{ м}$;

- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у боковой грани элемента $n_{s0} = 0$;

Результаты расчета:

1) Расчетное сопротивление бетона

Конструкция - железобетонная.

Предварительное напряжение арматуры - отсутствует.

Класс бетона - В25.

Бетон - тяжелый.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{bn} = 18,5 \text{ МПа}$.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{btn} = 1,55 \text{ МПа}$.

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию принимается по табл. 6.8 $R_b = 14,5 \text{ МПа}$.

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению принимается по табл. 6.8 $R_{bt} = 1,05$ МПа .

Класс бетона по прочности:

$B = 25$.

2) Продолжение расчета по п. п. 8.1 СП 63.13330.2012

Расчет - балок.

Элемент - изгибаемый.

Изгиб элемента - в одной плоскости.

3) Учет особенностей работы бетона в конструкции

Действие нагрузки - продолжительное.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий длительность действия нагрузки:

$\gamma_{b1} = 0,9$.

Конструкция бетонируется - в горизонтальном положении.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий бетонирование в вертикальном положении:

$\gamma_{b3} = 1$.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий характер разрушения ячеистого бетона:

$\gamma_{b4} = 1$.

Для надземной конструкции, при расчетной температуре наружного воздуха в зимний период не менее -40 град.:

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий влияние попеременного замораживания и оттаивания:

$\gamma_{b5} = 1$.

Группа предельных состояний - первая.

Сейсмичность площадки строительства - не более 6 баллов.

Коэффициент условия работы по СП 14.13330 "Строительство в сейсмических районах":

$m_{кр} = 1$.

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию при $m_{кр} = 1$:

$$R_b = \gamma_{b1} \gamma_{b3} \gamma_{b4} \gamma_{b5} R_b = \\ = 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 14,5 = 13,05 \text{ МПа} .$$

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию:

$$R_b = m_{кр} \gamma_{b1} \gamma_{b3} \gamma_{b4} \gamma_{b5} R_b = \\ = 1 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 14,5 = 13,05 \text{ МПа} .$$

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению при расчете на действие поперечных сил:

$$R_{bt} = \gamma_{b1} R_{bt} = 0,9 \cdot 1,05 = 0,945 \text{ МПа} .$$

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению:

$$R_{bt} = m_{кр} \gamma_{b1} R_{bt} = 1 \cdot 0,9 \cdot 1,05 = 0,945 \text{ МПа} .$$

4) Определение значения начального модуля упругости бетона

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000$ МПа .

5) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Т.к. $\gamma_{b1} < 1$:

Относительная влажность воздуха окружающей среды - выше 75%.

Коэффициент ползучести принимается по табл. 6.12 $\varphi_{b, cr} = 1,8$.

6) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Начальный модуль упругости, принимаемый при продолжительном действии нагрузки:

$$E_b, \tau = E_b / (1 + \varphi_b, cr) = \\ = 30000 / (1 + 1,8) = 10714,28571 \text{ МПа (формула (6.3); п. 6.1.15).}$$

7) Расчетные значения прочностных характеристик арматуры

Класс ненапрягаемой продольной арматуры - А400.

Расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению:
 $R_s = 350 \text{ МПа .}$

Расчетное сопротивление продольной арматуры сжатию:
 $R_{sc} = 350 \text{ МПа .}$

Поперечная арматура - рассматривается в данном расчете.

Класс поперечной арматуры - А400.

Расчетное сопротивление поперечной арматуры растяжению:
 $R_{sw} = 280 \text{ МПа .}$

Расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению:
 $R_s = m_{кр} R_s = 1 \cdot 350 = 350 \text{ МПа .}$

Расчетное сопротивление продольной арматуры сжатию:
 $R_{sc} = m_{кр} R_{sc} = 1 \cdot 350 = 350 \text{ МПа .}$

8) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:
 $E_s = 200000 \text{ МПа .}$

9) Определение граничной относительной высоты сжатой зоны

Относительная деформация растянутой арматуры:
 $\epsilon_{s, el} = R_s / E_s = 350 / 200000 = 0,00175 \text{ (формула (8.2); п. 8.1.6).}$

Относительная деформация бетона:
 $\epsilon_{b2} = 0,0035 \text{ .}$

10) Продолжение расчета по п. п. 8.1.6 СП 63.13330.2012

Граничная относительная высота сжатой зоны:
 $\xi_R = 0,8 / (1 + \epsilon_{s, el} / \epsilon_{b2}) = \\ = 0,8 / (1 + 0,00175 / 0,0035) = 0,53333 \text{ (формула (8.1); п. 8.1.6).}$

11) Расчет изгибаемых элементов

Сечение - прямоугольное.

Т.к. $R_s A_s = 350 \cdot 0,00589 = 2,0615 \text{ МН} = 210,2145 \text{ тс} > R_{sc} A'_s = 350 \cdot 0,00047 = 0,1645 \text{ МН} = 16,77433 \text{ тс} :$

Высота сжатой зоны:
 $x = (R_s A_s - R_{sc} A'_s) / (R_b b) = \\ = (350 \cdot 0,00589 - 350 \cdot 0,00047) / (13,05 \cdot 1) = 0,14536 \text{ м} = 14,54 \text{ см (формула (8.5); п. 8.1).}$

Рабочая высота сечения:
 $h_0 = h - a_s = 0,7 - 0,08 = 0,62 \text{ м} = 62 \text{ см .}$

Относительная высота сжатой зоны:
 $\xi = x / h_0 = 0,14536 / 0,62 = 0,23445 \text{ .}$

Т.к. $\xi = 0,23445 \leq \xi_R = 0,53333; x > 0 \text{ м} = 0 \text{ см} :$

Предельный изгибающий момент:
 $M_{ult} = R_b b x (h_0 - 0,5 x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a'_s) = \\ = 13,05 \cdot 1 \cdot 0,14536 \cdot (0,62 - 0,5 \cdot 0,14536) + 350 \cdot 0,00047 \cdot (0,62 - 0,04) = 1,13365 \text{ МН м} = 115,6 \text{ тс м (формула (8.4); п. 8.1.9).}$

$M = 0,78453 \text{ МН м} = 79,9998 \text{ тс м} \leq M_{ult} = 1,13365 \text{ МН м} = 115,60013 \text{ тс м (69,2039\% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.3); п. п. 8.1.8).}$

12) Определение значения начального модуля упругости бетона

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000$ МПа .

13) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Т.к. $\gamma_{b1} < 1$:

Коэффициент ползучести принимается по табл. 6.12 $\varphi_{b, cr} = 1,8$.

14) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Начальный модуль упругости, принимаемый при продолжительном действии нагрузки:

$$E_{b, \tau} = E_b / (1 + \varphi_{b, cr}) = \\ = 30000 / (1 + 1,8) = 10714,28571 \text{ МПа (формула (6.3); п. 6.1.15).}$$

15) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа .}$$

16) Определение характеристик приведенного сечения

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:

$$\alpha_s = E_s / E_b = 200000 / 10714,29 = 18,66666 .$$

$$h'_o = h - a'_s = 0,7 - 0,04 = 0,66 \text{ м} = 66 \text{ см} .$$

Площадь сечения:

$$A = b h = 1 \cdot 0,7 = 0,7 \text{ м}^2 = 7000 \text{ см}^2 .$$

Статический момент бетонного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_t = b h^2 / 2 = 1 \cdot 0,7^2 / 2 = 0,245 \text{ м}^3 = 245000 \text{ см}^3 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00047 - 0,00589 = 0,69364 \text{ м}^2 = 6936,4 \text{ см}^2 .$$

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{red} = \alpha_s (A_s + A'_s) + A_b = 18,66666 \cdot (0,00589 + 0,00047) + 0,69364 = 0,81236 \text{ м}^2 = 8123,6 \text{ см}^2 .$$

Статический момент приведенного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_{t, red} = (\alpha_s - 1) (A_s a_s + A'_s (h - a'_s)) + b h^2 / 2 = \\ = (18,66666 - 1) \cdot (0,00589 \cdot 0,08 + 0,00047 \cdot (0,7 - 0,04)) + 1 \cdot 0,7^2 / 2 = 0,2588 \text{ м}^3 = 258800 \text{ см}^3 .$$

Координата центра тяжести расчетного контура:

$$y_o = S_{t, red} / A_{red} = 0,2588 / 0,81236 = 0,31858 \text{ м} = 31,86 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее растянутого волокна бетона до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_t = y_o = 0,31858 \text{ м} = 31,86 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_c = h - y_t = 0,7 - 0,31858 = 0,38142 \text{ м} = 38,14 \text{ см} .$$

$$y_s = y_o - a_s = 0,31858 - 0,08 = 0,23858 \text{ м} = 23,86 \text{ см} .$$

$$y'_s = h - a_s - a'_s - y_s = 0,7 - 0,08 - 0,04 - 0,23858 = 0,34142 \text{ м} = 34,14 \text{ см} .$$

Момент инерции бетонного сечения относительно центра тяжести приведенного сечения:

$$I = b h^3 / 12 + A (h/2 - y_t)^2 = \\ = 1 \cdot 0,7^3 / 12 + 0,7 \cdot (0,7/2 - 0,31858)^2 = 0,02927 \text{ м}^4 = 2927000 \text{ см}^4 .$$

17) Определение момента образования трещин

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:

$$R_{b, ser} = R_{bn} = 18,5 \text{ МПа} .$$

Расчетное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний второй группы:

$$R_{bt, ser} = R_{btn} = 1,55 \text{ МПа} .$$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_c)^2 = 0,00589 \cdot (0,7 - 0,08 - 0,38142)^2 = 0,000335261 \text{ м}^4 = 33526,1 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$I'_s = A'_s (y_c - a'_s)^2 = \\ = 0,00047 \cdot (0,38142 - 0,04)^2 = 0,000054787 \text{ м}^4 = 5478,7 \text{ см}^4 .$$

18) Продолжение расчета по п. п. 8.2.12 СП 63.13330.2012

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{red} = I + I_s (\alpha_s - 1) + I'_s (\alpha_s - 1) = \\ = 0,02927 + 0,000335261 \cdot (18,66666 - 1) + 0,000054787 \cdot (18,66666 - 1) = 0,03616 \text{ м}^4 = 3616000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.125); п. 8.2.12)} .$$

Упругий момент сопротивления приведенного сечения:

$$W_{red} = I_{red} / y_t = 0,03616 / 0,31858 = 0,1135 \text{ м}^3 = 113500 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.123); п. 8.2.12)} .$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны:

$$e_x = W_{red} / A_{red} = 0,1135 / 0,81236 = 0,13972 \text{ м} = 13,97 \text{ см} \text{ (формула (8.124); п. 8.2.12)} .$$

Момент образования трещин определяется - с учетом неупругих деформаций.

Упругопластический момент сопротивления сечения:

$$W_{pl} = 1,3 W_{red} = 1,3 \cdot 0,1135 = 0,14755 \text{ м}^3 = 147550 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.122); п. 8.2.11)} .$$

Изгибающий момент, воспринимаемый нормальным сечением элемента при образовании трещин:

$$M_{crc} = R_{bt, ser} W_{pl} = 1,55 \cdot 0,14755 = 0,2287 \text{ МН м} = 23,32 \text{ тс м} \text{ (формула (8.121); п. 8.2.11)} .$$

19) Проверка необходимости увеличения площади сечения продольной растянутой арматуры, если предельное усилие по прочности меньше предельного усилия по образованию трещин

$$\text{Т.к. } M_{ult} = 1,13365 \text{ МН м} = 115,60013 \text{ тс м} \geq M_{crc} = 0,2287 \text{ МН м} = 23,32091 \text{ тс м} :$$

в соответствии с п. 8.1.3 при M_{ult} не менее M_{crc} площадь сечения растянутой продольной арматуры не должна быть увеличена по сравнению с требуемой.

20) Проверка необходимости сжатой арматуры

(проверяем несущую способность, предполагая отсутствие сжатой арматуры)

Высота сжатой зоны:

$$x = R_s A_s / (R_b b) = \\ = 350 \cdot 0,00589 / (13,05 \cdot 1) = 0,15797 \text{ м} = 15,8 \text{ см} \text{ (формула (8.5); п. 8.1)} .$$

Относительная высота сжатой зоны:

$$\xi = x / h_0 = 0,15797 / 0,62 = 0,25479 .$$

$$\text{Т.к. } \xi = 0,25479 \leq \xi_R = 0,53333 :$$

Предельный изгибающий момент:

$$M_{ult} = R_b b x (h_0 - 0,5 x) = \\ = 13,05 \cdot 1 \cdot 0,15797 \cdot (0,62 - 0,5 \cdot 0,15797) = 1,11531 \text{ МН м} = 113,73 \text{ тс м} \text{ (формула (8.4); п. 8.1)} .$$

21) Продолжение расчета по п. п. 8.1.8 СП 63.13330.2012

$$\text{Т.к. } M = 0,78453 \text{ МН м} = 79,9998 \text{ тс м} \leq M_{ult} = 1,11531 \text{ МН м} = 113,72997 \text{ тс м} :$$

- сжатая арматура по расчету не требуется, поэтому не требуется устанавливать поперечную арматуру в соответствии с п. 10.3.14.

22) Расчет железобетонных элементов по полосе между наклонными сечениями

Коэффициент:

$$\phi_{b1} = 0,3 .$$

Приведенное значение толщины защитного слоя растянутой арматуры:

$$a = a_s = 0,08 \text{ м} = 8 \text{ см} .$$

Приведенное значение толщины защитного слоя сжатой арматуры:

$$a' = a'_s = 0,04 \text{ м} = 4 \text{ см} .$$

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a = 0,7 - 0,08 = 0,62 \text{ м} = 62 \text{ см} .$$

23) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа} .$$

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:

$$\alpha_s = E_s / E_b = 200000 / 10714,29 = 18,66666 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00047 - 0,00589 = 0,69364 \text{ м}^2 = 6936,4 \text{ см}^2 .$$

Приведенная площадь сечения элемента с учетом продольной арматуры:

$$A = A_b + \alpha_s (A'_s + A_s) = \\ = 0,69364 + 18,66666 \cdot (0,00047 + 0,00589) = 0,81236 \text{ м}^2 = 8123,6 \text{ см}^2 .$$

Коэффициент, учитывающий влияние сжимающих и растягивающих напряжений:

$$\varphi_n = 1 .$$

$$Q = 0,68647 \text{ МН} = 70,00046 \text{ тс} \leq \varphi_n \varphi_{b1} R_b b h_0 = 1 \cdot 0,3 \cdot 13,05 \cdot 1 \cdot 0,62 = 2,4273 \text{ МН} = 247,51572 \text{ тс} \text{ (28,28122\% от предельного значения)} - \text{условие выполнено (формула (8.55)); п. 8.1.32} .$$

24) Расчет железобетонных элементов по наклонным сечениям на действие поперечных сил

Коэффициент:

$$\varphi_{b2} = 1,5 .$$

Расчет - по упрощенным формулам, полученным на основе анализа СП 63.13330.2012.

Коэффициент:

$$\varphi_{sw} = 0,75 .$$

Усилия в поперечной арматуре на единицу длины:

$$q_{sw} = R_{sw} A_{sw} / s_w = 280 \cdot 0,000471 / 0,2 = 0,6594 \text{ МН/м} = 67,24 \text{ тс/м} \text{ (формула (8.59)); п. 8.1.33} .$$

Длина проекции наклонного сечения:

$$c = \sqrt{2 R_{bt} b h_0^2 / q_{sw}} = \\ = \sqrt{2 \cdot 0,945 \cdot 1 \cdot 0,62^2 / 0,6594} = 1,04966 \text{ м} = 104,97 \text{ см} .$$

$$\text{Т.к. } c = 1,04966 \text{ м} = 104,966 \text{ см} \leq 2 h_0 = 2 \cdot 0,62 = 1,24 \text{ м} = 124 \text{ см} \text{ и } c = 1,04966 \text{ м} = 104,966 \text{ см} \geq h_0 = 0,62 \text{ м} = 62 \text{ см} :$$

Поперечная сила, воспринимаемая бетоном:

$$Q_b = \varphi_{b2} R_{bt} b h_0^2 / c = \\ = 1,5 \cdot 0,945 \cdot 1 \cdot 0,62^2 / 1,04966 = 0,51911 \text{ МН} = 52,93 \text{ тс} \text{ (формула (8.57)); п. 8.1.33} .$$

Усилие в поперечной арматуре:

$$Q_{sw} = \varphi_{sw} q_{sw} c = \\ = 0,75 \cdot 0,6594 \cdot 1,04966 = 0,51911 \text{ МН} = 52,93 \text{ тс} \text{ (формула (8.58)); п. 8.1.33} .$$

$$q_{sw} = 0,6594 \text{ МН} = 67,24009 \text{ тс} \geq 0,25 R_{bt} b = 0,25 \cdot 0,945 \cdot 1 = 0,23625 \text{ МН} = 24,0908 \text{ тс} \text{ (279,1111\% от предельного значения)} - \text{условие выполнено} .$$

$$Q = 0,68647 \text{ МН} = 70,00046 \text{ тс} \leq R_{bt} b h_0^2 / s_w = 0,945 \cdot 1 \cdot 0,62^2 / 0,2 = 1,81629 \text{ МН} = 185,21004 \text{ тс} \text{ (37,79518\% от предельного значения)} - \text{условие выполнено} .$$

(из требования по ограничению шага арматуры)

$$s_w = 0,2 \text{ м} = 20 \text{ см} \leq \min(0,5 h_0 ; 0,3) = \min(0,5 \cdot 0,62 ; 0,3) = 0,3 \text{ м} = 30 \text{ см} \text{ (66,66667\% от предельного значения)} - \text{условие выполнено} .$$

25) Продолжение расчета по п. п. 8.1.33 СП 63.13330.2012

Коэффициент, учитывающий влияние сжимающих и растягивающих напряжений:

$$\varphi_n = 1 .$$

$$Q = 0,68647 \text{ МН} = 70,00046 \text{ тс} \leq \varphi_n Q_b + Q_{sw} = 1 \cdot 0,51911 + 0,51911 = 1,03822 \text{ МН} = 105,86898 \text{ тс} \text{ (66,1199\% от предельного значения)} - \text{условие выполнено (формула (8.56)); п. 8.1.33} .$$

26) Проверка требования минимального процента армирования

Арматура расположена по контуру сечения - не равномерно.

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a_s = 0,7 - 0,08 = 0,62 \text{ м} = 62 \text{ см} .$$

Коэффициент армирования:

$$\mu_s = A_s / (b h_0) \cdot 100 = 0,00589 / (1 \cdot 0,62) \cdot 100 = 0,95 \% .$$

$\mu_s \geq 0,1 \%$ (950% от предельного значения) - условие выполнено .

Расчет балок прямоугольного сечения по прочности при изгибе в одной плоскости. Ростверк РМ11, продольная арматура вдоль Y. Принимаемый вариант.

Информация о расчете:

Дата выполнения расчета: 08.11.2021 9:07:19;

Исходные данные:

Защитный слой:

- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S до грани сечения

$$a_s = 8,5 \text{ см} = 8,5 / 100 = 0,085 \text{ м};$$

- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S' до грани сечения

$$a'_s = 4 \text{ см} = 4 / 100 = 0,04 \text{ м};$$

Площадь ненапрягаемой наиболее растянутой продольной арматуры:

(Стержневая арматура, диаметром 32 мм; 6 шт.):

- Площадь ненапрягаемой растянутой арматуры

$$A_s = 48,3 \text{ см}^2 = 48,3 / 10000 = 0,00483 \text{ м}^2;$$

Площадь ненапрягаемой сжатой или наименее растянутой продольной арматуры:

(Стержневая арматура, диаметром 10 мм; 6 шт.):

- Площадь ненапрягаемой сжатой арматуры $A'_s = 4,7 \text{ см}^2 = 4,7 / 10000 = 0,00047 \text{ м}^2;$

Площадь поперечной арматуры:

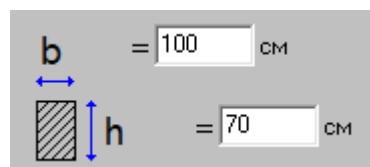
(Стержневая арматура, диаметром 10 мм; 6 шт.):

- Площадь поперечной арматуры $A_{sw} = 4,71 \text{ см}^2 = 4,71 / 10000 = 0,000471 \text{ м}^2;$

Поперечная арматура:

- Шаг стержней поперечной арматуры $s_w = 20 \text{ см} = 20 / 100 = 0,2 \text{ м};$

Размеры сечения:



- Высота сечения $h = 70 \text{ см} = 70 / 100 = 0,7 \text{ м};$

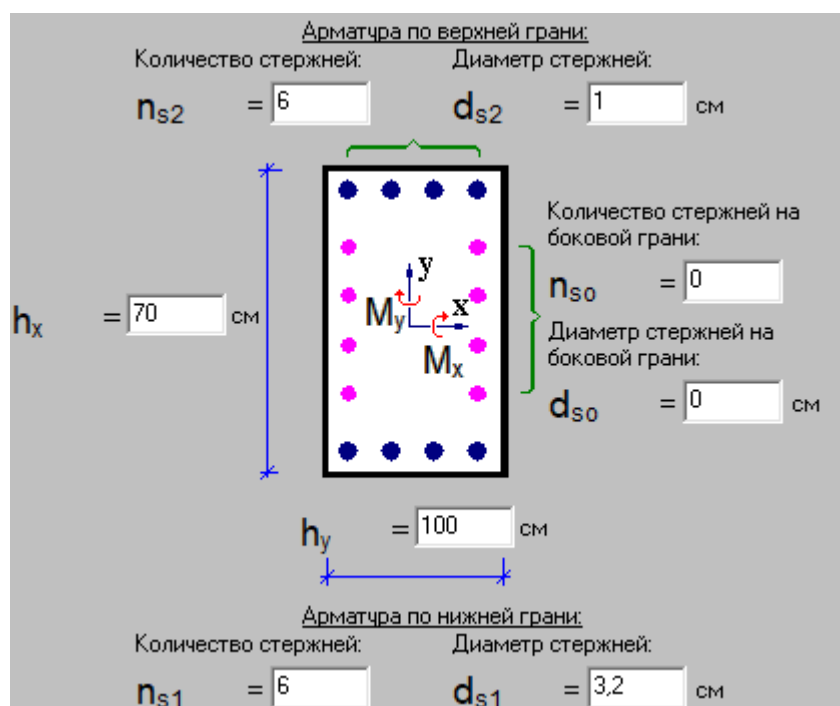
- Ширина прямоугольного сечения $b = 100 \text{ см} = 100 / 100 = 1 \text{ м};$

Усилия:

- Изгибающий момент $M = 80 \text{ тс м} = 80 / 101,97162123 = 0,78453 \text{ МН м};$

- Поперечная сила $Q = 70 \text{ тс} = 70 / 101,97162123 = 0,68647 \text{ МН};$

Характеристики арматуры при расчете на кручение:



- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у нижней грани элемента $d_{s1} = 3,2$ см = $3,2 / 100 = 0,032$ м;
- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у нижней грани элемента $n_{s1} = 6$;
- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у верхней грани элемента $d_{s2} = 1$ см = $1 / 100 = 0,01$ м;
- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у верхней грани элемента $n_{s2} = 6$;
- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у боковой грани элемента $d_{so} = 0$ см = $0 / 100 = 0$ м;
- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у боковой грани элемента $n_{so} = 0$;

Результаты расчета:

1) Расчетное сопротивление бетона

Конструкция - железобетонная.

Предварительное напряжение арматуры - отсутствует.

Класс бетона - В25.

Бетон - тяжелый.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{bn} = 18,5$ МПа .

Нормативное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{btn} = 1,55$ МПа .

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию принимается по табл. 6.8 $R_b = 14,5$ МПа .

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению принимается по табл. 6.8 $R_{bt} = 1,05$ МПа .

Класс бетона по прочности:

$B = 25$.

2) Продолжение расчета по п. п. 8.1 СП 63.13330.2012

Расчет - балок.

Элемент - изгибаемый.

Изгиб элемента - в одной плоскости.

3) Учет особенностей работы бетона в конструкции

Действие нагрузки - продолжительное.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий длительность действия нагрузки:

$\gamma_{b1} = 0,9$.

Конструкция бетонируется - в горизонтальном положении.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий бетонирование в вертикальном положении:

$\gamma_{b3} = 1$.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий характер разрушения ячеистого бетона:
 $\gamma_{b4} = 1$.

Для надземной конструкции, при расчетной температуре наружного воздуха в зимний период не менее -40 град.:

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий влияние попеременного замораживания и оттаивания:
 $\gamma_{b5} = 1$.

Группа предельных состояний - первая.

Сейсмичность площадки строительства - не более 6 баллов.

Коэффициент условия работы по СП 14.13330 "Строительство в сейсмических районах":
 $m_{кр} = 1$.

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию при $m_{кр} = 1$:
 $R_b = \gamma_{b1} \gamma_{b3} \gamma_{b4} \gamma_{b5} R_b =$
 $= 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 14,5 = 13,05 \text{ МПа}.$

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию:
 $R_b = m_{кр} \gamma_{b1} \gamma_{b3} \gamma_{b4} \gamma_{b5} R_b =$
 $= 1 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 14,5 = 13,05 \text{ МПа}.$

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению при расчете на действие поперечных сил:
 $R_{bt} = \gamma_{b1} R_{bt} = 0,9 \cdot 1,05 = 0,945 \text{ МПа}.$

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению:
 $R_{bt} = m_{кр} \gamma_{b1} R_{bt} = 1 \cdot 0,9 \cdot 1,05 = 0,945 \text{ МПа}.$

4) Определение значения начального модуля упругости бетона

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000 \text{ МПа}.$

5) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Т.к. $\gamma_{b1} < 1$:

Относительная влажность воздуха окружающей среды - выше 75%.

Коэффициент ползучести принимается по табл. 6.12 $\varphi_{b, cr} = 1,8$.

6) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Начальный модуль упругости, принимаемый при продолжительном действии нагрузки:
 $E_b, \tau = E_b / (1 + \varphi_{b, cr}) =$
 $= 30000 / (1 + 1,8) = 10714,28571 \text{ МПа (формула (6.3); п. 6.1.15)}.$

7) Расчетные значения прочностных характеристик арматуры

Класс ненапрягаемой продольной арматуры - А400.

Расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению:
 $R_s = 350 \text{ МПа}.$

Расчетное сопротивление продольной арматуры сжатию:
 $R_{sc} = 350 \text{ МПа}.$

Поперечная арматура - рассматривается в данном расчете.

Класс поперечной арматуры - А400.

Расчетное сопротивление поперечной арматуры растяжению:
 $R_{sw} = 280 \text{ МПа}.$

Расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению:
 $R_s = m_{кр} R_s = 1 \cdot 350 = 350 \text{ МПа}.$

Расчетное сопротивление продольной арматуры сжатию:
 $R_{sc} = m_{кр} R_{sc} = 1 \cdot 350 = 350 \text{ МПа}.$

8) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа} .$$

9) Определение граничной относительной высоты сжатой зоны

Относительная деформация растянутой арматуры:

$$\epsilon_{s, el} = R_s/E_s = 350/200000 = 0,00175 \text{ (формула (8.2); п. 8.1.6) .}$$

Относительная деформация бетона:

$$\epsilon_{b2} = 0,0035 .$$

10) Продолжение расчета по п. п. 8.1.6 СП 63.13330.2012

Граничная относительная высота сжатой зоны:

$$\begin{aligned} \xi_R &= 0,8/(1+\epsilon_{s, el}/\epsilon_{b2}) = \\ &= 0,8/(1+0,00175/0,0035) = 0,53333 \text{ (формула (8.1); п. 8.1.6) .} \end{aligned}$$

11) Расчет изгибаемых элементов

Сечение - прямоугольное.

$$\text{Т.к. } R_s A_s = 350 \cdot 0,00483 = 1,6905 \text{ МН} = 172,38303 \text{ тс} > R_{sc} A'_s = 350 \cdot 0,00047 = 0,1645 \text{ МН} = 16,77433 \text{ тс} :$$

Высота сжатой зоны:

$$\begin{aligned} x &= (R_s A_s - R_{sc} A'_s)/(R_b b) = \\ &= (350 \cdot 0,00483 - 350 \cdot 0,00047)/(13,05 \cdot 1) = 0,11693 \text{ м} = 11,69 \text{ см} \text{ (формула (8.5); п. 8.1) .} \end{aligned}$$

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a_s = 0,7 - 0,085 = 0,615 \text{ м} = 61,5 \text{ см} .$$

Относительная высота сжатой зоны:

$$\xi = x/h_0 = 0,11693/0,615 = 0,19013 .$$

$$\text{Т.к. } \xi = 0,19013 \leq \xi_R = 0,53333; x > 0 \text{ м} = 0 \text{ см} :$$

Предельный изгибающий момент:

$$\begin{aligned} M_{ult} &= R_b b x (h_0 - 0,5 x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a'_s) = \\ &= 13,05 \cdot 1 \cdot 0,11693 \cdot (0,615 - 0,5 \cdot 0,11693) + 350 \cdot 0,00047 \cdot (0,615 - 0,04) = 0,94382 \text{ МН м} = 96,24 \text{ тс м} \text{ (формула (8.4); п. 8.1.9) .} \end{aligned}$$

$M = 0,78453 \text{ МН м} = 79,9998 \text{ тс м} \leq M_{ult} = 0,94382 \text{ МН м} = 96,24286 \text{ тс м}$ (83,12284% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.3); п. п. 8.1.8).

12) Определение значения начального модуля упругости бетона

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000 \text{ МПа} .$

13) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Т.к. $\gamma_{b1} < 1 :$

Коэффициент ползучести принимается по табл. 6.12 $\varphi_{b, cr} = 1,8 .$

14) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Начальный модуль упругости, принимаемый при продолжительном действии нагрузки:

$$\begin{aligned} E_{b, \tau} &= E_b/(1+\varphi_{b, cr}) = \\ &= 30000/(1+1,8) = 10714,28571 \text{ МПа} \text{ (формула (6.3); п. 6.1.15) .} \end{aligned}$$

15) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа} .$$

16) Определение характеристик приведенного сечения

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:

$$\alpha_s = E_s/E_b = 200000/10714,29 = 18,66666 .$$

$$h'_o = h - a'_s = 0,7 - 0,04 = 0,66 \text{ м} = 66 \text{ см} .$$

Площадь сечения:

$$A = b h = 1 \cdot 0,7 = 0,7 \text{ м}^2 = 7000 \text{ см}^2 .$$

Статический момент бетонного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_t = b h^2/2 = 1 \cdot 0,7^2/2 = 0,245 \text{ м}^3 = 245000 \text{ см}^3 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00047 - 0,00483 = 0,6947 \text{ м}^2 = 6947 \text{ см}^2 .$$

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{red} = \alpha_s (A_s + A'_s) + A_b = 18,66666 \cdot (0,00483 + 0,00047) + 0,6947 = 0,79363 \text{ м}^2 = 7936,3 \text{ см}^2 .$$

Статический момент приведенного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_{t, red} = (\alpha_s - 1) (A_s a_s + A'_s (h - a'_s)) + b h^2/2 = \\ = (18,66666 - 1) \cdot (0,00483 \cdot 0,085 + 0,00047 \cdot (0,7 - 0,04)) + 1 \cdot 0,7^2/2 = 0,25773 \text{ м}^3 = 257730 \text{ см}^3 .$$

Координата центра тяжести расчетного контура:

$$y_o = S_{t, red} / A_{red} = 0,25773 / 0,79363 = 0,32475 \text{ м} = 32,48 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее растянутого волокна бетона до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_t = y_o = 0,32475 \text{ м} = 32,48 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_c = h - y_t = 0,7 - 0,32475 = 0,37525 \text{ м} = 37,53 \text{ см} .$$

$$y_s = y_o - a_s = 0,32475 - 0,085 = 0,23975 \text{ м} = 23,98 \text{ см} .$$

$$y'_s = h - a_s - a'_s - y_s = 0,7 - 0,085 - 0,04 - 0,23975 = 0,33525 \text{ м} = 33,53 \text{ см} .$$

Момент инерции бетонного сечения относительно центра тяжести приведенного сечения:

$$I = b h^3/12 + A (h/2 - y_t)^2 = \\ = 1 \cdot 0,7^3/12 + 0,7 \cdot (0,7/2 - 0,32475)^2 = 0,02903 \text{ м}^4 = 2903000 \text{ см}^4 .$$

17) Определение момента образования трещин

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:

$$R_{b, ser} = R_{bn} = 18,5 \text{ МПа} .$$

Расчетное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний второй группы:

$$R_{bt, ser} = R_{btn} = 1,55 \text{ МПа} .$$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_c)^2 = 0,00483 \cdot (0,7 - 0,085 - 0,37525)^2 = 0,000277629 \text{ м}^4 = 27762,9 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$I'_s = A'_s (y_c - a'_s)^2 = \\ = 0,00047 \cdot (0,37525 - 0,04)^2 = 0,000052825 \text{ м}^4 = 5282,5 \text{ см}^4 .$$

18) Продолжение расчета по п. п. 8.2.12 СП 63.13330.2012

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{red} = I + I_s (\alpha_s - 1) + I'_s (\alpha_s - 1) = \\ = 0,02903 + 0,000277629 \cdot (18,66666 - 1) + 0,000052825 \cdot (18,66666 - 1) = 0,03487 \text{ м}^4 = 3487000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.125); п. 8.2.12)} .$$

Упругий момент сопротивления приведенного сечения:

$$W_{red} = I_{red} / y_t = 0,03487 / 0,32475 = 0,10737 \text{ м}^3 = 107370 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.123); п. 8.2.12)} .$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны:

$$e_x = W_{red} / A_{red} = 0,10737 / 0,79363 = 0,13529 \text{ м} = 13,53 \text{ см} \text{ (формула (8.124); п. 8.2.12)} .$$

Момент образования трещин определяется - с учетом неупругих деформаций.

Упругопластический момент сопротивления сечения:

$$W_{pl} = 1,3 W_{red} = 1,3 \cdot 0,10737 = 0,13958 \text{ м}^3 = 139580 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.122); п. 8.2.11)} .$$

Изгибающий момент, воспринимаемый нормальным сечением элемента при образовании трещин:

$M_{crc} = R_{bt, ser} W_{pl} = 1,55 \cdot 0,13958 = 0,21635 \text{ МН м} = 22,06 \text{ тс м}$ (формула (8.121); п. 8.2.11).

19) Проверка необходимости увеличения площади сечения продольной растянутой арматуры, если предельное усилие по прочности меньше предельного усилия по образованию трещин

Т.к. $M_{ult} = 0,94382 \text{ МН м} = 96,24286 \text{ тс м} \geq M_{crc} = 0,21635 \text{ МН м} = 22,06156 \text{ тс м}$:

в соответствии с п. 8.1.3 при M_{ult} не менее M_{crc} площадь сечения растянутой продольной арматуры не должна быть увеличена по сравнению с требуемой.

20) Проверка необходимости сжатой арматуры

(проверяем несущую способность, предполагая отсутствие сжатой арматуры)

Высота сжатой зоны:

$$x = R_s A_s / (R_b b) = \\ = 350 \cdot 0,00483 / (13,05 \cdot 1) = 0,12954 \text{ м} = 12,95 \text{ см} \text{ (формула (8.5); п. 8.1)}.$$

Относительная высота сжатой зоны:

$$\xi = x/h_0 = 0,12954/0,615 = 0,21063 .$$

Т.к. $\xi = 0,21063 \leq \xi_R = 0,53333$:

Предельный изгибающий момент:

$$M_{ult} = R_b b x (h_0 - 0,5 x) = \\ = 13,05 \cdot 1 \cdot 0,12954 \cdot (0,615 - 0,5 \cdot 0,12954) = 0,93016 \text{ МН м} = 94,85 \text{ тс м} \text{ (формула (8.4); п. 8.1)}.$$

21) Продолжение расчета по п. п. 8.1.8 СП 63.13330.2012

Т.к. $M = 0,78453 \text{ МН м} = 79,9998 \text{ тс м} \leq M_{ult} = 0,93016 \text{ МН м} = 94,84992 \text{ тс м}$:

- сжатая арматура по расчету не требуется, поэтому не требуется устанавливать поперечную арматуру в соответствии с п. 10.3.14.

22) Расчет железобетонных элементов по полосе между наклонными сечениями

Коэффициент:

$$\varphi_{b1} = 0,3 .$$

Приведенное значение толщины защитного слоя растянутой арматуры:

$$a = a_s = 0,085 \text{ м} = 8,5 \text{ см} .$$

Приведенное значение толщины защитного слоя сжатой арматуры:

$$a' = a'_s = 0,04 \text{ м} = 4 \text{ см} .$$

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a = 0,7 - 0,085 = 0,615 \text{ м} = 61,5 \text{ см} .$$

23) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа} .$$

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:

$$\alpha_s = E_s/E_b = 200000/10714,29 = 18,66666 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00047 - 0,00483 = 0,6947 \text{ м}^2 = 6947 \text{ см}^2 .$$

Приведенная площадь сечения элемента с учетом продольной арматуры:

$$A = A_b + \alpha_s (A'_s + A_s) = \\ = 0,6947 + 18,66666 \cdot (0,00047 + 0,00483) = 0,79363 \text{ м}^2 = 7936,3 \text{ см}^2 .$$

Коэффициент, учитывающий влияние сжимающих и растягивающих напряжений:

$$\varphi_n = 1 .$$

$Q = 0,68647 \text{ МН} = 70,00046 \text{ тс} \leq \varphi_n \varphi_{b1} R_b b h_0 = 1 \cdot 0,3 \cdot 13,05 \cdot 1 \cdot 0,615 = 2,40773 \text{ МН} = 245,51962 \text{ тс}$ (28,51115% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.55); п. 8.1.32).

24) Расчет железобетонных элементов по наклонным сечениям на действие поперечных сил

Коэффициент:

$$\varphi_{b2} = 1,5 .$$

Расчет - по упрощенным формулам, полученным на основе анализа СП 63.13330.2012.

Коэффициент:

$$\varphi_{sw} = 0,75 .$$

Усилия в поперечной арматуре на единицу длины:

$$q_{sw} = R_{sw} A_{sw}/s_w = 280 \cdot 0,000471/0,2 = 0,6594 \text{ МН/м} = 67,24 \text{ тс/м (формула (8.59); п. 8.1.33)} .$$

Длина проекции наклонного сечения:

$$c = \sqrt{2 R_{bt} b h_0^2 / q_{sw}} = \\ = \sqrt{2 \cdot 0,945 \cdot 1 \cdot 0,615^2 / 0,6594} = 1,04119 \text{ м} = 104,12 \text{ см} .$$

$$\text{Т.к. } c = 1,04119 \text{ м} = 104,119 \text{ см} \leq 2 h_0 = 2 \cdot 0,615 = 1,23 \text{ м} = 123 \text{ см} \text{ и } c = 1,04119 \text{ м} = 104,119 \text{ см} \geq h_0 = 0,615 \text{ м} = 61,5 \text{ см} :$$

Поперечная сила, воспринимаемая бетоном:

$$Q_b = \varphi_{b2} R_{bt} b h_0^2 / c = \\ = 1,5 \cdot 0,945 \cdot 1 \cdot 0,615^2 / 1,04119 = 0,51492 \text{ МН} = 52,51 \text{ тс (формула (8.57); п. 8.1.33)} .$$

Усилие в поперечной арматуре:

$$Q_{sw} = \varphi_{sw} q_{sw} c = \\ = 0,75 \cdot 0,6594 \cdot 1,04119 = 0,51492 \text{ МН} = 52,51 \text{ тс (формула (8.58); п. 8.1.33)} .$$

$$q_{sw} = 0,6594 \text{ МН} = 67,24009 \text{ тс} \geq 0,25 R_{bt} b = 0,25 \cdot 0,945 \cdot 1 = 0,23625 \text{ МН} = 24,0908 \text{ тс (279,11111\% от предельного значения)} - \text{условие выполнено} .$$

$$Q = 0,68647 \text{ МН} = 70,00046 \text{ тс} \leq R_{bt} b h_0^2 / s_w = 0,945 \cdot 1 \cdot 0,615^2 / 0,2 = 1,78711 \text{ МН} = 182,23482 \text{ тс (38,41223\% от предельного значения)} - \text{условие выполнено} .$$

(из требования по ограничению шага арматуры)

$$s_w = 0,2 \text{ м} = 20 \text{ см} \leq \min(0,5 h_0 ; 0,3) = \min(0,5 \cdot 0,615; 0,3) = 0,3 \text{ м} = 30 \text{ см (66,66667\% от предельного значения)} - \text{условие выполнено} .$$

25) Продолжение расчета по п. п. 8.1.33 СП 63.13330.2012

Коэффициент, учитывающий влияние сжимающих и растягивающих напряжений:

$$\varphi_n = 1 .$$

$$Q = 0,68647 \text{ МН} = 70,00046 \text{ тс} \leq \varphi_n Q_b + Q_{sw} = 1 \cdot 0,51492 + 0,51492 = 1,02984 \text{ МН} = 105,01445 \text{ тс (66,65793\% от предельного значения)} - \text{условие выполнено (формула (8.56); п. 8.1.33)} .$$

26) Проверка требования минимального процента армирования

Арматура расположена по контуру сечения - не равномерно.

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a_s = 0,7 - 0,085 = 0,615 \text{ м} = 61,5 \text{ см} .$$

Коэффициент армирования:

$$\mu_s = A_s / (b h_0) \cdot 100 = 0,00483 / (1 \cdot 0,615) \cdot 100 = 0,78537 \% .$$

$$\mu_s \geq 0,1 \% \text{ (785,37\% от предельного значения)} - \text{условие выполнено} .$$

Расчет балок прямоугольного сечения по трещиностойкости. Ростверк РМ11

Информация о расчете:

Дата выполнения расчета: 08.11.2021 9:18:45;

Исходные данные:

Защитный слой:

- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S до грани сечения
 $a_s = 8 \text{ см} = 8 / 100 = 0,08 \text{ м}$;

- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S' до грани сечения
 $a'_s = 4 \text{ см} = 4 / 100 = 0,04 \text{ м}$;

Номинальный диаметр продольной арматуры:

- Номинальный диаметр продольной ненапрягаемой арматуры растянутой зоны $d_s = 32 \text{ мм}$;

Площадь ненапрягаемой наиболее растянутой продольной арматуры:

(Стержневая арматура, диаметром 32 мм; 6 шт.):

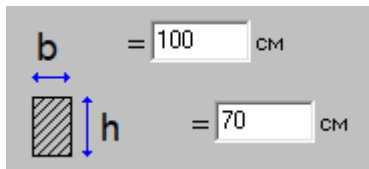
- Площадь ненапрягаемой растянутой арматуры
 $A_s = 48,3 \text{ см}^2 = 48,3 / 10000 = 0,00483 \text{ м}^2$;

Площадь ненапрягаемой сжатой или наименее растянутой продольной арматуры:

(Стержневая арматура, диаметром 10 мм; 6 шт.):

- Площадь ненапрягаемой сжатой арматуры $A'_s = 4,7 \text{ см}^2 = 4,7 / 10000 = 0,00047 \text{ м}^2$;

Размеры сечения:



- Высота сечения $h = 70 \text{ см} = 70 / 100 = 0,7 \text{ м}$;

- Ширина прямоугольного сечения $b = 100 \text{ см} = 100 / 100 = 1 \text{ м}$;

Усилия в двух направлениях:

- Изгибающий момент вокруг оси X $M_x = 72 \text{ тс м} = 72 / 101,97162123 = 0,70608 \text{ МН м}$;

- Изгибающий момент вокруг оси Y $M_y = 15,2 \text{ тс м} = 15,2 / 101,97162123 = 0,14906 \text{ МН м}$;

- Изгибающий момент вокруг оси X от постоянной и длительной нагрузки

$M_{lx} = 72 \text{ тс м} = 72 / 101,97162123 = 0,70608 \text{ МН м}$;

Усилия от нормативной нагрузки:

- Нормальная сила от полной нормативной нагрузки

$N = 0 \text{ тс} = 0 / 101,97162123 = 0 \text{ МН}$;

Результаты расчета:

Расчетное сопротивление бетона

Конструкция - железобетонная.

Предварительное напряжение арматуры - отсутствует.

Класс бетона - В25.

Бетон - тяжелый.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{bn} = 18,5 \text{ МПа}$.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{btn} = 1,55 \text{ МПа}$.

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию принимается по табл. 6.8 $R_b = 14,5 \text{ МПа}$.

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению принимается по табл. 6.8 $R_{bt} = 1,05 \text{ МПа}$.

Класс бетона по прочности:

$B = 25$.

Учет особенностей работы бетона в конструкции

Действие нагрузки - продолжительное.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий длительность действия нагрузки:

$$\gamma_{b1} = 0,9 .$$

Конструкция бетонируется - в горизонтальном положении.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий бетонирование в вертикальном положении:
 $\gamma_{b3} = 1 .$

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий характер разрушения ячеистого бетона:
 $\gamma_{b4} = 1 .$

Для надземной конструкции, при расчетной температуре наружного воздуха в зимний период не менее -40 град.:

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий влияние попеременного замораживания и оттаивания:
 $\gamma_{b5} = 1 .$

Группа предельных состояний - вторая.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний первой группы:
 $R_{bn} = \gamma_{b1} \gamma_{b3} \gamma_{b4} \gamma_{b5} R_{bn} =$
 $= 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 18,5 = 16,65 \text{ МПа} .$

Нормативное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний первой группы:
 $R_{btn} = \gamma_{b1} R_{btn} = 0,9 \cdot 1,55 = 1,395 \text{ МПа} .$

Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:
 $E_s = 200000 \text{ МПа} .$

Продолжение расчета по п. 8.2 СП 63.13330.2012

Расчет - балок.

Приведенное значение толщины защитного слоя растянутой арматуры:
 $a = a_s = 0,08 \text{ м} = 8 \text{ см} .$

Приведенное значение толщины защитного слоя сжатой арматуры:
 $a' = a'_s = 0,04 \text{ м} = 4 \text{ см} .$

Рабочая высота сечения:
 $h_0 = h - a = 0,7 - 0,08 = 0,62 \text{ м} = 62 \text{ см} .$

Деформации в арматуре - не заданы.

Определение значения начального модуля упругости при непродолжительном действии нагрузки

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000 \text{ МПа} .$

Определение характеристик приведенного сечения

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:
 $\alpha_s = E_s / E_b = 200000 / 30000 = 6,66667 .$

$$h'_0 = h - a'_s = 0,7 - 0,04 = 0,66 \text{ м} = 66 \text{ см} .$$

Сечение - прямоугольное.

Площадь сечения:
 $A = b h = 1 \cdot 0,7 = 0,7 \text{ м}^2 = 7000 \text{ см}^2 .$

Статический момент бетонного сечения относительно наиболее растянутого волокна:
 $S_t = b h^2 / 2 = 1 \cdot 0,7^2 / 2 = 0,245 \text{ м}^3 = 245000 \text{ см}^3 .$

Площадь сечения бетона:
 $A_b = b h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00047 - 0,00483 = 0,6947 \text{ м}^2 = 6947 \text{ см}^2 .$

Площадь приведенного поперечного сечения:
 $A_{red} = \alpha_s (A_s + A'_s) + A_b = 6,66667 \cdot (0,00483 + 0,00047) + 0,6947 = 0,73003 \text{ м}^2 = 7300,3 \text{ см}^2 .$

Статический момент приведенного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_{t, red} = (\alpha_s - 1) (A_s a_s + A'_s (h - a'_s)) + b h^2 / 2 =$$

$$= (6,66667 - 1) \cdot (0,00483 \cdot 0,08 + 0,00047 \cdot (0,7 - 0,04)) + 1 \cdot 0,7^2 / 2 = 0,24895 \text{ м}^3 = 248950 \text{ см}^3 .$$

Координата центра тяжести расчетного контура:

$$y_o = S_{t, red} / A_{red} = 0,24895 / 0,73003 = 0,34101 \text{ м} = 34,1 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее растянутого волокна бетона до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_t = y_o = 0,34101 \text{ м} = 34,1 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_c = h - y_t = 0,7 - 0,34101 = 0,35899 \text{ м} = 35,9 \text{ см} .$$

$$y_s = y_o - a_s = 0,34101 - 0,08 = 0,26101 \text{ м} = 26,1 \text{ см} .$$

$$y'_s = h - a_s - a'_s - y_s = 0,7 - 0,08 - 0,04 - 0,26101 = 0,31899 \text{ м} = 31,9 \text{ см} .$$

Момент инерции бетонного сечения относительно центра тяжести приведенного сечения:

$$I = b h^3 / 12 + A (h/2 - y_t)^2 =$$

$$= 1 \cdot 0,7^3 / 12 + 0,7 \cdot (0,7/2 - 0,34101)^2 = 0,02864 \text{ м}^4 = 2864000 \text{ см}^4 .$$

Определение момента образования трещин

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:

$$R_{b, ser} = R_{bn} = 16,65 \text{ МПа} .$$

Расчетное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний второй группы:

$$R_{bt, ser} = R_{btn} = 1,395 \text{ МПа} .$$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_c)^2 = 0,00483 \cdot (0,7 - 0,08 - 0,35899)^2 = 0,00032905 \text{ м}^4 = 32905 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$I'_s = A'_s (y_c - a'_s)^2 =$$

$$= 0,00047 \cdot (0,35899 - 0,04)^2 = 0,000047825 \text{ м}^4 = 4782,5 \text{ см}^4 .$$

Продолжение расчета по п. п. 8.2.12 СП 63.13330.2012

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{red} = I + I_s (\alpha_s - 1) + I'_s (\alpha_s - 1) =$$

$$= 0,02864 + 0,00032905 \cdot (6,66667 - 1) + 0,000047825 \cdot (6,66667 - 1) = 0,03078 \text{ м}^4 = 3078000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.125); п. 8.2.12)} .$$

Упругий момент сопротивления приведенного сечения:

$$W_{red} = I_{red} / y_t = 0,03078 / 0,34101 = 0,09026 \text{ м}^3 = 90260 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.123); п. 8.2.12)} .$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны:

$$e_x = W_{red} / A_{red} = 0,09026 / 0,73003 = 0,12364 \text{ м} = 12,36 \text{ см} \text{ (формула (8.124); п. 8.2.12)} .$$

Момент образования трещин определяется - с учетом неупругих деформаций.

Упругопластический момент сопротивления сечения:

$$W_{pl} = 1,3 W_{red} = 1,3 \cdot 0,09026 = 0,11734 \text{ м}^3 = 117340 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.122); п. 8.2.11)} .$$

Изгибающий момент, воспринимаемый нормальным сечением элемента при образовании трещин:

$$M_{crc} = R_{bt, ser} W_{pl} = 1,395 \cdot 0,11734 = 0,16369 \text{ МН м} = 16,69 \text{ тс м} \text{ (формула (8.121); п. 8.2.11)} .$$

1. Продолжительное раскрытие трещин

Предельная ширина раскрытия трещин при продолжительном действии нагрузки

Расчет на раскрытие трещин ведется из условия - обеспечения сохранности арматуры.

Предельно допустимая ширина раскрытия трещин:

$$a_{crc, ult} = 0,3 \text{ мм} .$$

Определение значения начального модуля упругости при продолжительном действии нагрузки

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000 \text{ МПа}$.

Относительная влажность воздуха окружающей среды - выше 75%.

Коэффициент ползучести принимается по табл. 6.12 $\varphi_{b, cr} = 1,8$.

Начальный модуль упругости, принимаемый при продолжительном действии нагрузки:

$$E_b, \tau = E_b / (1 + \varphi_{b, cr}) = \\ = 30000 / (1 + 1,8) = 10714,28571 \text{ МПа (формула (6.3); п. 6.1.15).}$$

$$M_I = M_I = 0,70608 \text{ МН м} = 72 \text{ тс м}.$$

Действие постоянных и временных длительных нагрузок

$$M = M_I = 0,70608 \text{ МН м} = 72 \text{ тс м}.$$

Коэффициент, учитывающий характер нагружения:

$$\varphi_3 = 1.$$

$$\text{Т.к. } M = 0,70608 \text{ МН м} = 72,00012 \text{ тс м} > M_{сгс} = 0,16369 \text{ МН м} = 16,69173 \text{ тс м}:$$

Требуется расчет по раскрытию трещин.

Коэффициент, учитывающий продолжительность действия нагрузки:

$$\varphi_1 = 1,4.$$

(т.к. раскрытие трещин продолжительное)

Определение характеристик приведенного сечения

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:

$$\alpha_s = E_s / E_b = 200000 / 10714,29 = 18,66666.$$

$$h'_o = h - a'_s = 0,7 - 0,04 = 0,66 \text{ м} = 66 \text{ см}.$$

Площадь сечения:

$$A = b h = 1 \cdot 0,7 = 0,7 \text{ м}^2 = 7000 \text{ см}^2.$$

Статический момент бетонного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_t = b h^2 / 2 = 1 \cdot 0,7^2 / 2 = 0,245 \text{ м}^3 = 245000 \text{ см}^3.$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00047 - 0,00483 = 0,6947 \text{ м}^2 = 6947 \text{ см}^2.$$

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{red} = \alpha_s (A_s + A'_s) + A_b = 18,66666 \cdot (0,00483 + 0,00047) + 0,6947 = 0,79363 \text{ м}^2 = 7936,3 \text{ см}^2.$$

Статический момент приведенного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_{t, red} = (\alpha_s - 1) (A_s a_s + A'_s (h - a'_s)) + b h^2 / 2 = \\ = (18,66666 - 1) \cdot (0,00483 \cdot 0,08 + 0,00047 \cdot (0,7 - 0,04)) + 1 \cdot 0,7^2 / 2 = 0,25731 \text{ м}^3 = 257310 \text{ см}^3.$$

Координата центра тяжести расчетного контура:

$$y_o = S_{t, red} / A_{red} = 0,25731 / 0,79363 = 0,32422 \text{ м} = 32,42 \text{ см}.$$

Расстояние от наиболее растянутого волокна бетона до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_t = y_o = 0,32422 \text{ м} = 32,42 \text{ см}.$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_c = h - y_t = 0,7 - 0,32422 = 0,37578 \text{ м} = 37,58 \text{ см}.$$

$$y_s = y_o - a_s = 0,32422 - 0,08 = 0,24422 \text{ м} = 24,42 \text{ см}.$$

$$y'_s = h - a_s - a'_s - y_s = 0,7 - 0,08 - 0,04 - 0,24422 = 0,33578 \text{ м} = 33,58 \text{ см}.$$

Момент инерции бетонного сечения относительно центра тяжести приведенного сечения:

$$I = b h^3 / 12 + A (h/2 - y_t)^2 = \\ = 1 \cdot 0,7^3 / 12 + 0,7 \cdot (0,7/2 - 0,32422)^2 = 0,02905 \text{ м}^4 = 2905000 \text{ см}^4.$$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_c)^2 = 0,00483 \cdot (0,7 - 0,08 - 0,37578)^2 = 0,000288078 \text{ м}^4 = 28807,8 \text{ см}^4.$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$\Gamma_s = A'_s (y_c - a'_s)^2 = 0,00047 \cdot (0,37578 - 0,04)^2 = 0,000052992 \text{ м}^4 = 5299,2 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{red} = I + I_s (\alpha_s - 1) + \Gamma_s (\alpha_s - 1) = 0,02905 + 0,000288078 \cdot (18,66666 - 1) + 0,000052992 \cdot (18,66666 - 1) = 0,03508 \text{ м}^4 = 3508000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.125); п. 8.2.12)} .$$

Упругий момент сопротивления приведенного сечения:

$$W_{red} = I_{red} / y_t = 0,03508 / 0,32422 = 0,1082 \text{ м}^3 = 108200 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.123); п. 8.2.12)} .$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны:

$$e_x = W_{red} / A_{red} = 0,1082 / 0,79363 = 0,13634 \text{ м} = 13,63 \text{ см} \text{ (формула (8.124); п. 8.2.12)} .$$

Определение ширины раскрытия трещин нормальных к продольной оси элемента

Коэффициент, учитывающий профиль продольной арматуры:

$$\varphi_2 = 0,5 .$$

т. к. арматура - периодического профиля.

Определение коэффициента ψ_s

Определение напряжений в растянутой арматуре

Принимаемая относительная деформация бетона:

$$\epsilon_{b1, red} = 0,0015 .$$

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:

$$R_{b, ser} = R_{bn} = 16,65 \text{ МПа} .$$

Приведенный модуль деформации сжатого бетона:

$$E_{b, red} = R_{b, ser} / \epsilon_{b1, red} = 16,65 / 0,0015 = 11100 \text{ МПа} \text{ (формула (8.131); п. 8.2.16)} .$$

Коэффициент приведения сжатой арматуры к бетону:

$$\alpha_{s1} = E_s / E_{b, red} = 200000 / 11100 = 18,01802 \text{ (формула (8.130); п. 8.2.16)} .$$

Напряжения в растянутой арматуре определяются при $\alpha_{s2} = \alpha_{s1}$

При этом принимается для изгибаемых элементов $u_c = x_m$ - высота сжатой зоны бетона, определяемая по п. 8.2.28.

Коэффициент приведения растянутой арматуры к бетону:

$$\alpha_{s2} = \alpha_{s1} = 18,01802 .$$

Определение средней высоты сжатой зоны для изгибаемых элементов

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a = 0,7 - 0,08 = 0,62 \text{ м} = 62 \text{ см} .$$

Коэффициент армирования:

$$\mu_s = A_s / (b h_0) = 0,00483 / (1 \cdot 0,62) = 0,00779 \% .$$

Сжатая арматура - имеется.

Коэффициент армирования сжатой ненапрягаемой арматуры:

$$\mu'_s = A'_s / (b h_0) = 0,00047 / (1 \cdot 0,62) = 0,00076 .$$

Средняя высота сжатой зоны бетона:

$$x_m = h_0 \left(\sqrt{(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1})^2 + 2(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1}) a / h_0} - (\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1}) \right) = 0,62 \cdot \left(\sqrt{(0,00779 \cdot 18,01802 + 0,00076 \cdot 18,01802)^2 + 2 \cdot (0,00779 \cdot 18,01802 + 0,00076 \cdot 18,01802 \cdot 0,04 / 0,62)} - (0,00779 \cdot 18,01802 + 0,00076 \cdot 18,01802) \right) = 0,24758 \text{ м} = 24,76 \text{ см} .$$

Определение средней высоты сжатой зоны бетона

Расчет ведется по приближенной формуле (8.154).

Высота сжатой зоны изгибаемого элемента:

$$x_M = x_m = 0,24758 \text{ м} = 24,76 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна до центра тяжести приведенного сечения без учета растянутой зоны:

$$u_{cm} = x_m = 0,24758 \text{ м} = 24,76 \text{ см} .$$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_{cm})^2 = 0,00483 \cdot (0,7 - 0,08 - 0,24758)^2 = 0,00067 \text{ м}^4 = 67000 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$I'_s = A'_s (y_{cm} - a'_s)^2 = \\ = 0,00047 \cdot (0,24758 - 0,04)^2 = 0,000020252 \text{ м}^4 = 2025,2 \text{ см}^4 .$$

Определение момента инерции сжатой зоны бетона

$$I_b = b x_m^3 / 3 = 1 \cdot 0,24758^3 / 3 = 0,00506 \text{ м}^4 = 506000 \text{ см}^4 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b x_m = 1 \cdot 0,24758 = 0,24758 \text{ м}^2 = 2475,8 \text{ см}^2 .$$

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{red} = I_b + I_s \alpha_{s2} + I'_s \alpha_{s1} = \\ = 0,00506 + 0,00067 \cdot 18,01802 + 0,000020252 \cdot 18,01802 = 0,0175 \text{ м}^4 = 1750000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.148); п. 8.2.27) .}$$

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{red} = A_b + A_s \alpha_{s2} + A'_s \alpha_{s1} = \\ = 0,24758 + 0,00483 \cdot 18,01802 + 0,00047 \cdot 18,01802 = 0,34308 \text{ м}^2 = 3430,8 \text{ см}^2 .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_c = y_{cm} = 0,24758 \text{ м} = 24,76 \text{ см} .$$

$$\sigma_s = (M (h_0 - y_c) / I_{red}) \alpha_{s1} =$$

$$= (0,70608 \cdot (0,62 - 0,24758) / 0,0175) \cdot 18,01802 = 270,74218 \text{ МПа (формула (8.129); п. 8.2.16) .}$$

Напряжения $\sigma_{s, crс}$ определяются при $M = M_{crс}$.

Напряжения в продольной растянутой арматуре в сечении с трещиной сразу после образования нормальных трещин:

$$\sigma_{s, crс} = (M_{crс} (h_0 - y_c) / I_{red}) \alpha_{s1} = \\ = (0,16369 \cdot (0,62 - 0,24758) / 0,0175) \cdot 18,01802 = 62,76596 \text{ МПа (формула (8.129); п. 8.2.18) .}$$

Т.к. $\sigma_s = 270,7422 \text{ МПа} \geq \sigma_{s, crс} = 62,76596 \text{ МПа}$:

Коэффициент, учитывающий неравномерное распределение относительных деформаций:

$$\psi_s = 1 - 0,8 \sigma_{s, crс} / \sigma_s = \\ = 1 - 0,8 \cdot 62,76596 / 270,7422 = 0,81454 \text{ (формула (8.137); п. 8.2.18) .}$$

Определение базового расстояния между трещинами

Высота растянутой зоны:

$$x_t = h - x_m = 0,7 - 0,24758 = 0,45242 \text{ м} = 45,24 \text{ см} .$$

Т.к. $x_t = 0,45242 \text{ м} = 45,242 \text{ см} > 0,5 h = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35 \text{ м} = 35 \text{ см}$:

Высота растянутой зоны:

$$x_t = 0,5 h = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35 \text{ м} = 35 \text{ см} .$$

Площадь сечения растянутого бетона:

$$A_{bt} = b x_t = 1 \cdot 0,35 = 0,35 \text{ м}^2 = 3500 \text{ см}^2 .$$

Базовое расстояние между трещинами:

$$l_s = 0,5 (A_{bt} / A_s) d_s = \\ = 0,5 \cdot (0,35 / 0,00483) \cdot 32 = 1159,42029 \text{ мм (формула (8.136); п. 8.2.17) .}$$

Т.к. $l_s > 400 \text{ мм}$:

Базовое расстояние между трещинами:

$$l_s = 400 \text{ мм} .$$

Ширина раскрытия трещин:

$$a_{crс} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s (\sigma_s / E_s) l_s = \\ = 1,4 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 0,81454 \cdot (270,7422 / 200000) \cdot 400 = 0,29994 \text{ мм (формула (8.128); п. 8.2.15) .}$$

$a_{crс} = 0,29994 \text{ мм} \leq a_{crс, ult} = 0,3 \text{ мм}$ (99,98% от предельного значения) - условие выполнено .
(формула (8.118); п. п. 8.2) .

Расчет изгибаемых балок прямоугольного сечения по прочности при изгибе в одной плоскости. Ростверк РМ11.

Информация о расчете:

Дата выполнения расчета: 26.10.2021 17:00:42;

Исходные данные:

Защитный слой:

- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S до грани сечения $a_s = 8 \text{ см} = 8 / 100 = 0,08 \text{ м}$;
- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S' до грани сечения $a'_s = 4 \text{ см} = 4 / 100 = 0,04 \text{ м}$;

Площадь ненапрягаемой наиболее растянутой продольной арматуры:

(Стержневая арматура, диаметром 25 мм; 10 шт.):

- Площадь ненапрягаемой растянутой арматуры $A_s = 49,1 \text{ см}^2 = 49,1 / 10000 = 0,00491 \text{ м}^2$;

Площадь ненапрягаемой сжатой или наименее растянутой продольной арматуры:

(Стержневая арматура, диаметром 10 мм; 5 шт.):

- Площадь ненапрягаемой сжатой арматуры $A'_s = 3,9 \text{ см}^2 = 3,9 / 10000 = 0,00039 \text{ м}^2$;

Площадь поперечной арматуры:

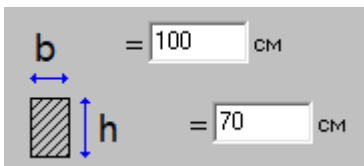
(Стержневая арматура, диаметром 10 мм; 5 шт.):

- Площадь поперечной арматуры $A_{sw} = 3,93 \text{ см}^2 = 3,93 / 10000 = 0,000393 \text{ м}^2$;

Поперечная арматура:

- Шаг стержней поперечной арматуры $s_w = 15 \text{ см} = 15 / 100 = 0,15 \text{ м}$;

Размеры сечения:

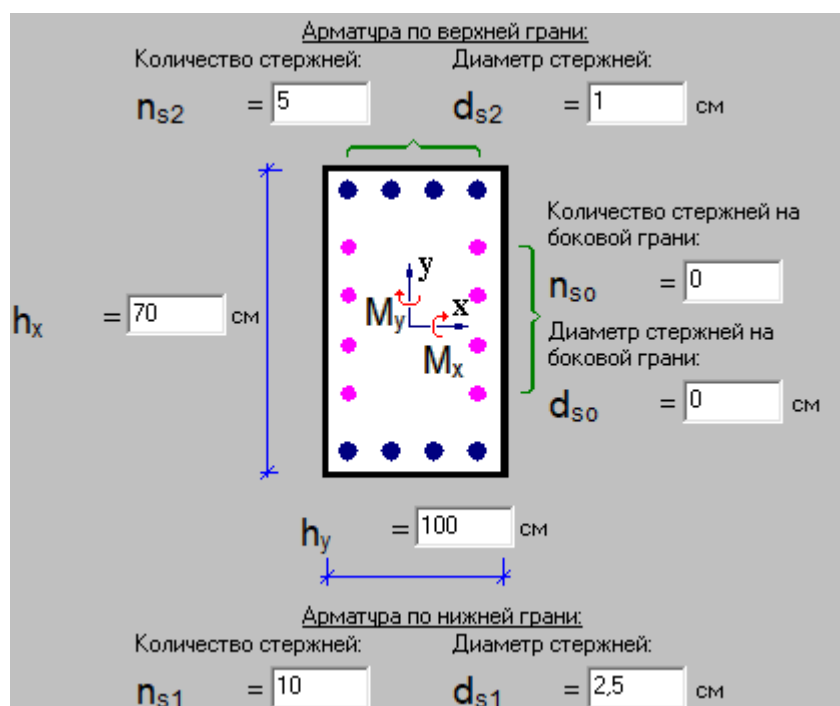


- Высота сечения $h = 70 \text{ см} = 70 / 100 = 0,7 \text{ м}$;
- Ширина прямоугольного сечения $b = 100 \text{ см} = 100 / 100 = 1 \text{ м}$;

Усилия:

- Изгибающий момент $M = 71 \text{ тс м} = 71 / 101,97162123 = 0,69627 \text{ МН м}$;
- Поперечная сила $Q = 76 \text{ тс} = 76 / 101,97162123 = 0,74531 \text{ МН}$;

Характеристики арматуры при расчете на кручение:



- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у нижней грани элемента $d_{s1} = 2,5$ см = $2,5 / 100 = 0,025$ м;
- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у нижней грани элемента $n_{s1} = 10$;
- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у верхней грани элемента $d_{s2} = 1$ см = $1 / 100 = 0,01$ м;
- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у верхней грани элемента $n_{s2} = 5$;
- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у боковой грани элемента $d_{so} = 0$ см = $0 / 100 = 0$ м;
- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у боковой грани элемента $n_{so} = 0$;

Результаты расчета:

1) Расчетное сопротивление бетона

Конструкция - железобетонная.

Предварительное напряжение арматуры - отсутствует.

Класс бетона - В25.

Бетон - тяжелый.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{bn} = 18,5$ МПа .

Нормативное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{btn} = 1,55$ МПа .

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию принимается по табл. 6.8 $R_b = 14,5$ МПа .

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению принимается по табл. 6.8 $R_{bt} = 1,05$ МПа .

Класс бетона по прочности:

$B = 25$.

2) Продолжение расчета по п. п. 8.1 СП 63.13330.2012

Расчет - балок.

Элемент - изгибаемый.

Изгиб элемента - в одной плоскости.

3) Учет особенностей работы бетона в конструкции

Действие нагрузки - продолжительное.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий длительность действия нагрузки:

$\gamma_{b1} = 0,9$.

Конструкция бетонируется - в горизонтальном положении.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий бетонирование в вертикальном положении:

$\gamma_{b3} = 1$.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий характер разрушения ячеистого бетона:
 $\gamma_{b4} = 1$.

Для надземной конструкции, при расчетной температуре наружного воздуха в зимний период не менее -40 град.:

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий влияние попеременного замораживания и оттаивания:
 $\gamma_{b5} = 1$.

Группа предельных состояний - первая.

Сейсмичность площадки строительства - не более 6 баллов.

Коэффициент условия работы по СП 14.13330 "Строительство в сейсмических районах":
 $m_{кр} = 1$.

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию при $m_{кр} = 1$:
 $R_b = \gamma_{b1} \gamma_{b3} \gamma_{b4} \gamma_{b5} R_b =$
 $= 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 14,5 = 13,05 \text{ МПа}.$

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию:
 $R_b = m_{кр} \gamma_{b1} \gamma_{b3} \gamma_{b4} \gamma_{b5} R_b =$
 $= 1 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 14,5 = 13,05 \text{ МПа}.$

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению при расчете на действие поперечных сил:
 $R_{bt} = \gamma_{b1} R_{bt} = 0,9 \cdot 1,05 = 0,945 \text{ МПа}.$

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению:
 $R_{bt} = m_{кр} \gamma_{b1} R_{bt} = 1 \cdot 0,9 \cdot 1,05 = 0,945 \text{ МПа}.$

4) Определение значения начального модуля упругости бетона

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000 \text{ МПа}.$

5) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Т.к. $\gamma_{b1} < 1$:

Относительная влажность воздуха окружающей среды - выше 75%.

Коэффициент ползучести принимается по табл. 6.12 $\varphi_{b, cr} = 1,8$.

6) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Начальный модуль упругости, принимаемый при продолжительном действии нагрузки:
 $E_b, \tau = E_b / (1 + \varphi_{b, cr}) =$
 $= 30000 / (1 + 1,8) = 10714,28571 \text{ МПа (формула (6.3); п. 6.1.15)}.$

7) Расчетные значения прочностных характеристик арматуры

Класс ненапрягаемой продольной арматуры - А400.

Расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению:
 $R_s = 350 \text{ МПа}.$

Расчетное сопротивление продольной арматуры сжатию:
 $R_{sc} = 350 \text{ МПа}.$

Поперечная арматура - рассматривается в данном расчете.

Класс поперечной арматуры - А400.

Расчетное сопротивление поперечной арматуры растяжению:
 $R_{sw} = 280 \text{ МПа}.$

Расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению:
 $R_s = m_{кр} R_s = 1 \cdot 350 = 350 \text{ МПа}.$

Расчетное сопротивление продольной арматуры сжатию:
 $R_{sc} = m_{кр} R_{sc} = 1 \cdot 350 = 350 \text{ МПа}.$

8) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа} .$$

9) Определение граничной относительной высоты сжатой зоны

Относительная деформация растянутой арматуры:

$$\epsilon_{s, el} = R_s/E_s = 350/200000 = 0,00175 \text{ (формула (8.2); п. 8.1.6) .}$$

Относительная деформация бетона:

$$\epsilon_{b2} = 0,0035 .$$

10) Продолжение расчета по п. п. 8.1.6 СП 63.13330.2012

Граничная относительная высота сжатой зоны:

$$\begin{aligned} \xi_R &= 0,8/(1+\epsilon_{s, el}/\epsilon_{b2}) = \\ &= 0,8/(1+0,00175/0,0035) = 0,53333 \text{ (формула (8.1); п. 8.1.6) .} \end{aligned}$$

11) Расчет изгибаемых элементов

Сечение - прямоугольное.

$$\text{Т.к. } R_s A_s = 350 \cdot 0,00491 = 1,7185 \text{ МН} = 175,23823 \text{ тс} > R_{sc} A'_s = 350 \cdot 0,00039 = 0,1365 \text{ МН} = 13,91913 \text{ тс} :$$

Высота сжатой зоны:

$$\begin{aligned} x &= (R_s A_s - R_{sc} A'_s)/(R_b b) = \\ &= (350 \cdot 0,00491 - 350 \cdot 0,00039)/(13,05 \cdot 1) = 0,12123 \text{ м} = 12,12 \text{ см (формула (8.5); п. 8.1) .} \end{aligned}$$

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a_s = 0,7 - 0,08 = 0,62 \text{ м} = 62 \text{ см} .$$

Относительная высота сжатой зоны:

$$\xi = x/h_0 = 0,12123/0,62 = 0,19553 .$$

$$\text{Т.к. } \xi = 0,19553 \leq \xi_R = 0,53333; x > 0 \text{ м} = 0 \text{ см} :$$

Предельный изгибающий момент:

$$\begin{aligned} M_{ult} &= R_b b x (h_0 - 0,5 x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a'_s) = \\ &= 13,05 \cdot 1 \cdot 0,12123 \cdot (0,62 - 0,5 \cdot 0,12123) + 350 \cdot 0,00039 \cdot (0,62 - 0,04) = 0,96415 \text{ МН м} = 98,32 \text{ тс м (формула (8.4); п. 8.1.9) .} \end{aligned}$$

$$M = 0,69627 \text{ МН м} = 70,99978 \text{ тс м} \leq M_{ult} = 0,96415 \text{ МН м} = 98,31594 \text{ тс м (72,21594\% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.3); п. п. 8.1.8) .}$$

12) Определение значения начального модуля упругости бетона

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000 \text{ МПа} .$

13) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

$$\text{Т.к. } \gamma_{b1} < 1 :$$

Коэффициент ползучести принимается по табл. 6.12 $\varphi_{b, cr} = 1,8 .$

14) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Начальный модуль упругости, принимаемый при продолжительном действии нагрузки:

$$\begin{aligned} E_{b, \tau} &= E_b/(1+\varphi_{b, cr}) = \\ &= 30000/(1+1,8) = 10714,28571 \text{ МПа (формула (6.3); п. 6.1.15) .} \end{aligned}$$

15) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа} .$$

16) Определение характеристик приведенного сечения

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:

$$\alpha_s = E_s/E_b = 200000/10714,29 = 18,66666 .$$

$$h'_o = h - a'_s = 0,7 - 0,04 = 0,66 \text{ м} = 66 \text{ см} .$$

Площадь сечения:

$$A = b h = 1 \cdot 0,7 = 0,7 \text{ м}^2 = 7000 \text{ см}^2 .$$

Статический момент бетонного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_t = b h^2/2 = 1 \cdot 0,7^2/2 = 0,245 \text{ м}^3 = 245000 \text{ см}^3 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00039 - 0,00491 = 0,6947 \text{ м}^2 = 6947 \text{ см}^2 .$$

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{red} = \alpha_s (A_s + A'_s) + A_b = 18,66666 \cdot (0,00491 + 0,00039) + 0,6947 = 0,79363 \text{ м}^2 = 7936,3 \text{ см}^2 .$$

Статический момент приведенного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_{t, red} = (\alpha_s - 1) (A_s a_s + A'_s (h - a'_s)) + b h^2/2 = \\ = (18,66666 - 1) \cdot (0,00491 \cdot 0,08 + 0,00039 \cdot (0,7 - 0,04)) + 1 \cdot 0,7^2/2 = 0,25649 \text{ м}^3 = 256490 \text{ см}^3 .$$

Координата центра тяжести расчетного контура:

$$y_o = S_{t, red} / A_{red} = 0,25649 / 0,79363 = 0,32319 \text{ м} = 32,32 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее растянутого волокна бетона до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_t = y_o = 0,32319 \text{ м} = 32,32 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_c = h - y_t = 0,7 - 0,32319 = 0,37681 \text{ м} = 37,68 \text{ см} .$$

$$y_s = y_o - a_s = 0,32319 - 0,08 = 0,24319 \text{ м} = 24,32 \text{ см} .$$

$$y'_s = h - a_s - a'_s - y_s = 0,7 - 0,08 - 0,04 - 0,24319 = 0,33681 \text{ м} = 33,68 \text{ см} .$$

Момент инерции бетонного сечения относительно центра тяжести приведенного сечения:

$$I = b h^3/12 + A (h/2 - y_t)^2 = \\ = 1 \cdot 0,7^3/12 + 0,7 \cdot (0,7/2 - 0,32319)^2 = 0,02909 \text{ м}^4 = 2909000 \text{ см}^4 .$$

17) Определение момента образования трещин

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:

$$R_{b, ser} = R_{bn} = 18,5 \text{ МПа} .$$

Расчетное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний второй группы:

$$R_{bt, ser} = R_{btn} = 1,55 \text{ МПа} .$$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_c)^2 = 0,00491 \cdot (0,7 - 0,08 - 0,37681)^2 = 0,000290384 \text{ м}^4 = 29038,4 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$I'_s = A'_s (y_c - a'_s)^2 = \\ = 0,00039 \cdot (0,37681 - 0,04)^2 = 0,000044242 \text{ м}^4 = 4424,2 \text{ см}^4 .$$

18) Продолжение расчета по п. п. 8.2.12 СП 63.13330.2012

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{red} = I + I_s (\alpha_s - 1) + I'_s (\alpha_s - 1) = \\ = 0,02909 + 0,000290384 \cdot (18,66666 - 1) + 0,000044242 \cdot (18,66666 - 1) = 0,035 \text{ м}^4 = 3500000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.125); п. 8.2.12)} .$$

Упругий момент сопротивления приведенного сечения:

$$W_{red} = I_{red} / y_t = 0,035 / 0,32319 = 0,1083 \text{ м}^3 = 108300 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.123); п. 8.2.12)} .$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны:

$$e_x = W_{red} / A_{red} = 0,1083 / 0,79363 = 0,13646 \text{ м} = 13,65 \text{ см} \text{ (формула (8.124); п. 8.2.12)} .$$

Момент образования трещин определяется - с учетом неупругих деформаций.

Упругопластический момент сопротивления сечения:

$$W_{pl} = 1,3 W_{red} = 1,3 \cdot 0,1083 = 0,14079 \text{ м}^3 = 140790 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.122); п. 8.2.11)} .$$

Изгибающий момент, воспринимаемый нормальным сечением элемента при образовании трещин:

$M_{crc} = R_{bt, ser} W_{pl} = 1,55 \cdot 0,14079 = 0,21822 \text{ МН м} = 22,25 \text{ тс м}$ (формула (8.121); п. 8.2.11).

19) Проверка необходимости увеличения площади сечения продольной растянутой арматуры, если предельное усилие по прочности меньше предельного усилия по образованию трещин

Т.к. $M_{ult} = 0,96415 \text{ МН м} = 98,31594 \text{ тс м} \geq M_{crc} = 0,21822 \text{ МН м} = 22,25225 \text{ тс м}$:

в соответствии с п. 8.1.3 при M_{ult} не менее M_{crc} площадь сечения растянутой продольной арматуры не должна быть увеличена по сравнению с требуемой.

20) Проверка необходимости сжатой арматуры

(проверяем несущую способность, предполагая отсутствие сжатой арматуры)

Высота сжатой зоны:

$$x = R_s A_s / (R_b b) = \\ = 350 \cdot 0,00491 / (13,05 \cdot 1) = 0,13169 \text{ м} = 13,17 \text{ см (формула (8.5); п. 8.1)}.$$

Относительная высота сжатой зоны:

$$\xi = x/h_0 = 0,13169/0,62 = 0,2124 .$$

Т.к. $\xi = 0,2124 \leq \xi_R = 0,53333$:

Предельный изгибающий момент:

$$M_{ult} = R_b b x (h_0 - 0,5 x) = \\ = 13,05 \cdot 1 \cdot 0,13169 \cdot (0,62 - 0,5 \cdot 0,13169) = 0,95235 \text{ МН м} = 97,11 \text{ тс м (формула (8.4); п. 8.1)}.$$

21) Продолжение расчета по п. п. 8.1.8 СП 63.13330.2012

Т.к. $M = 0,69627 \text{ МН м} = 70,99978 \text{ тс м} \leq M_{ult} = 0,95235 \text{ МН м} = 97,11267 \text{ тс м}$:

- сжатая арматура по расчету не требуется, поэтому не требуется устанавливать поперечную арматуру в соответствии с п. 10.3.14.

22) Расчет железобетонных элементов по полосе между наклонными сечениями

Коэффициент:

$$\varphi_{b1} = 0,3 .$$

Приведенное значение толщины защитного слоя растянутой арматуры:

$$a = a_s = 0,08 \text{ м} = 8 \text{ см} .$$

Приведенное значение толщины защитного слоя сжатой арматуры:

$$a' = a'_s = 0,04 \text{ м} = 4 \text{ см} .$$

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a = 0,7 - 0,08 = 0,62 \text{ м} = 62 \text{ см} .$$

23) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа} .$$

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:

$$\alpha_s = E_s/E_b = 200000/10714,29 = 18,66666 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00039 - 0,00491 = 0,6947 \text{ м}^2 = 6947 \text{ см}^2 .$$

Приведенная площадь сечения элемента с учетом продольной арматуры:

$$A = A_b + \alpha_s (A'_s + A_s) = \\ = 0,6947 + 18,66666 \cdot (0,00039 + 0,00491) = 0,79363 \text{ м}^2 = 7936,3 \text{ см}^2 .$$

Коэффициент, учитывающий влияние сжимающих и растягивающих напряжений:

$$\varphi_n = 1 .$$

$Q = 0,74531 \text{ МН} = 76,00047 \text{ тс} \leq \varphi_n \varphi_{b1} R_b b h_0 = 1 \cdot 0,3 \cdot 13,05 \cdot 1 \cdot 0,62 = 2,4273 \text{ МН} = 247,51572 \text{ тс}$ (30,70531% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.55); п. 8.1.32).

24) Расчет железобетонных элементов по наклонным сечениям на действие поперечных сил

Коэффициент:

$$\varphi_{b2} = 1,5 .$$

Расчет - по упрощенным формулам, полученным на основе анализа СП 63.13330.2012.

Коэффициент:

$$\varphi_{sw} = 0,75 .$$

Усилия в поперечной арматуре на единицу длины:

$$q_{sw} = R_{sw} A_{sw}/s_w = 280 \cdot 0,000393/0,15 = 0,7336 \text{ МН/м} = 74,81 \text{ тс/м (формула (8.59); п. 8.1.33)} .$$

Длина проекции наклонного сечения:

$$c = \sqrt{2 R_{bt} b h_0^2 / q_{sw}} = \\ = \sqrt{2 \cdot 0,945 \cdot 1 \cdot 0,62^2 / 0,7336} = 0,99516 \text{ м} = 99,52 \text{ см} .$$

Т.к. $c = 0,99516 \text{ м} = 99,516 \text{ см} \leq 2 h_0 = 2 \cdot 0,62 = 1,24 \text{ м} = 124 \text{ см}$ и $c = 0,99516 \text{ м} = 99,516 \text{ см} \geq h_0 = 0,62 \text{ м} = 62 \text{ см}$:

Поперечная сила, воспринимаемая бетоном:

$$Q_b = \varphi_{b2} R_{bt} b h_0^2 / c = \\ = 1,5 \cdot 0,945 \cdot 1 \cdot 0,62^2 / 0,99516 = 0,54754 \text{ МН} = 55,83 \text{ тс (формула (8.57); п. 8.1.33)} .$$

Усилие в поперечной арматуре:

$$Q_{sw} = \varphi_{sw} q_{sw} c = \\ = 0,75 \cdot 0,7336 \cdot 0,99516 = 0,54754 \text{ МН} = 55,83 \text{ тс (формула (8.58); п. 8.1.33)} .$$

$q_{sw} = 0,7336 \text{ МН} = 74,80638 \text{ тс} \geq 0,25 R_{bt} b = 0,25 \cdot 0,945 \cdot 1 = 0,23625 \text{ МН} = 24,0908 \text{ тс}$ (310,51852% от предельного значения) - условие выполнено .

$Q = 0,74531 \text{ МН} = 76,00047 \text{ тс} \leq R_{bt} b h_0^2 / s_w = 0,945 \cdot 1 \cdot 0,62^2 / 0,15 = 2,42172 \text{ МН} = 246,94671 \text{ тс}$ (30,77606% от предельного значения) - условие выполнено .

(из требования по ограничению шага арматуры)

$s_w = 0,15 \text{ м} = 15 \text{ см} \leq \min(0,5 h_0 ; 0,3) = \min(0,5 \cdot 0,62; 0,3) = 0,3 \text{ м} = 30 \text{ см}$ (50% от предельного значения) - условие выполнено .

25) Продолжение расчета по п. п. 8.1.33 СП 63.13330.2012

Коэффициент, учитывающий влияние сжимающих и растягивающих напряжений:

$$\varphi_n = 1 .$$

$Q = 0,74531 \text{ МН} = 76,00047 \text{ тс} \leq \varphi_n Q_b + Q_{sw} = 1 \cdot 0,54754 + 0,54754 = 1,09508 \text{ МН} = 111,66708 \text{ тс}$ (68,05987% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.56); п. 8.1.33) .

26) Проверка требования минимального процента армирования

Арматура расположена по контуру сечения - не равномерно.

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a_s = 0,7 - 0,08 = 0,62 \text{ м} = 62 \text{ см} .$$

Коэффициент армирования:

$$\mu_s = A_s / (b h_0) \cdot 100 = 0,00491 / (1 \cdot 0,62) \cdot 100 = 0,79194 \% .$$

$\mu_s \geq 0,1 \%$ (791,94% от предельного значения) - условие выполнено .

Расчет балок прямоугольного сечения по прочности при изгибе в одной плоскости. Ростверк РМ11. Арматура вдоль X

Информация о расчете:

Дата выполнения расчета: 08.11.2021 9:54:38;

Исходные данные:

Защитный слой:

- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S до грани сечения $a_s = 8 \text{ см} = 8 / 100 = 0,08 \text{ м}$;
- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S' до грани сечения $a'_s = 4 \text{ см} = 4 / 100 = 0,04 \text{ м}$;

Площадь ненапрягаемой наиболее растянутой продольной арматуры:

(Стержневая арматура, диаметром 20 мм; 4 шт.):

- Площадь ненапрягаемой растянутой арматуры $A_s = 12,6 \text{ см}^2 = 12,6 / 10000 = 0,00126 \text{ м}^2$;

Площадь ненапрягаемой сжатой или наименее растянутой продольной арматуры:

(Стержневая арматура, диаметром 10 мм; 4 шт.):

- Площадь ненапрягаемой сжатой арматуры $A'_s = 3,1 \text{ см}^2 = 3,1 / 10000 = 0,00031 \text{ м}^2$;

Площадь поперечной арматуры:

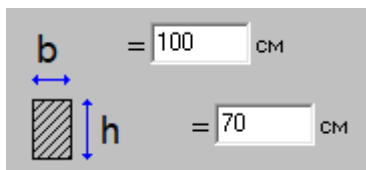
(Стержневая арматура, диаметром 10 мм; 6 шт.):

- Площадь поперечной арматуры $A_{sw} = 4,71 \text{ см}^2 = 4,71 / 10000 = 0,000471 \text{ м}^2$;

Поперечная арматура:

- Шаг стержней поперечной арматуры $s_w = 20 \text{ см} = 20 / 100 = 0,2 \text{ м}$;

Размеры сечения:

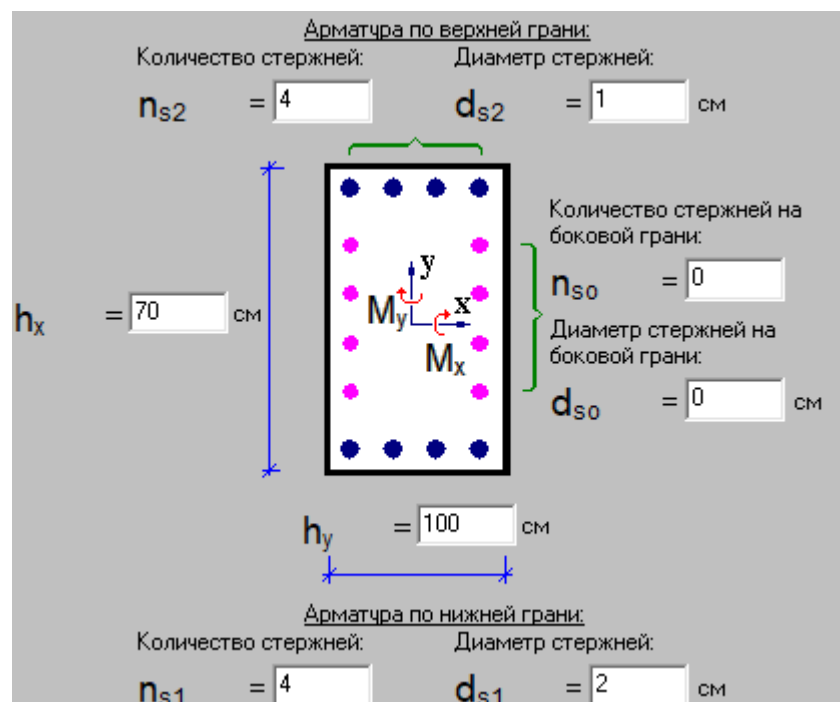


- Высота сечения $h = 70 \text{ см} = 70 / 100 = 0,7 \text{ м}$;
- Ширина прямоугольного сечения $b = 100 \text{ см} = 100 / 100 = 1 \text{ м}$;

Усилия:

- Изгибающий момент $M = 17,2 \text{ тс м} = 17,2 / 101,97162123 = 0,16867 \text{ МН м}$;
- Поперечная сила $Q = 68 \text{ тс} = 68 / 101,97162123 = 0,66685 \text{ МН}$;

Характеристики арматуры при расчете на кручение:



- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у нижней грани элемента $d_{s1} = 2 \text{ см} = 2 / 100 = 0,02 \text{ м}$;
- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у нижней грани элемента $n_{s1} = 4$;
- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у верхней грани элемента $d_{s2} = 1 \text{ см} = 1 / 100 = 0,01 \text{ м}$;
- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у верхней грани элемента $n_{s2} = 4$;
- Диаметр одного стержня ненапрягаемой арматуры у боковой грани элемента $d_{s0} = 0 \text{ см} = 0 / 100 = 0 \text{ м}$;
- Количество стержней ненапрягаемой арматуры у боковой грани элемента $n_{s0} = 0$;

Результаты расчета:

1) Расчетное сопротивление бетона

Конструкция - железобетонная.

Предварительное напряжение арматуры - отсутствует.

Класс бетона - В25.

Бетон - тяжелый.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{bn} = 18,5$ МПа .

Нормативное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний первой группы принимается по табл. 6.7 $R_{btн} = 1,55$ МПа .

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию принимается по табл. 6.8 $R_b = 14,5$ МПа .

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению принимается по табл. 6.8 $R_{bt} = 1,05$ МПа .

Класс бетона по прочности:

$B = 25$.

2) Продолжение расчета по п. п. 8.1 СП 63.13330.2012

Расчет - балок.

Элемент - изгибаемый.

Изгиб элемента - в одной плоскости.

3) Учет особенностей работы бетона в конструкции

Действие нагрузки - продолжительное.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий длительность действия нагрузки:

$\gamma_{b1} = 0,9$.

Конструкция бетонируется - в горизонтальном положении.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий бетонирование в вертикальном положении:

$\gamma_{b3} = 1$.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий характер разрушения ячеистого бетона:

$\gamma_{b4} = 1$.

Для надземной конструкции, при расчетной температуре наружного воздуха в зимний период не менее -40 град.:

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий влияние попеременного замораживания и оттаивания:

$\gamma_{b5} = 1$.

Группа предельных состояний - первая.

Сейсмичность площадки строительства - не более 6 баллов.

Коэффициент условия работы по СП 14.13330 "Строительство в сейсмических районах":

$m_{кр} = 1$.

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию при $m_{кр} = 1$:

$$R_b = \gamma_{b1} \gamma_{b3} \gamma_{b4} \gamma_{b5} R_b = \\ = 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 14,5 = 13,05 \text{ МПа .}$$

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию:

$$R_b = m_{кр} \gamma_{b1} \gamma_{b3} \gamma_{b4} \gamma_{b5} R_b = \\ = 1 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 14,5 = 13,05 \text{ МПа .}$$

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению при расчете на действие поперечных сил:

$$R_{bt} = \gamma_{b1} R_{bt} = 0,9 \cdot 1,05 = 0,945 \text{ МПа .}$$

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению:

$$R_{bt} = m_{кр} \gamma_{b1} R_{bt} = 1 \cdot 0,9 \cdot 1,05 = 0,945 \text{ МПа .}$$

4) Определение значения начального модуля упругости бетона

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000$ МПа .

5) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Т.к. $\gamma_{b1} < 1$:

Относительная влажность воздуха окружающей среды - выше 75%.

Коэффициент ползучести принимается по табл. 6.12 $\varphi_{b, cr} = 1,8$.

6) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Начальный модуль упругости, принимаемый при продолжительном действии нагрузки:

$$E_{b, \tau} = E_b / (1 + \varphi_{b, cr}) = \\ = 30000 / (1 + 1,8) = 10714,28571 \text{ МПа (формула (6.3); п. 6.1.15).}$$

7) Расчетные значения прочностных характеристик арматуры

Класс ненапрягаемой продольной арматуры - А400.

Расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению:

$$R_s = 350 \text{ МПа .}$$

Расчетное сопротивление продольной арматуры сжатию:

$$R_{sc} = 350 \text{ МПа .}$$

Поперечная арматура - рассматривается в данном расчете.

Класс поперечной арматуры - А400.

Расчетное сопротивление поперечной арматуры растяжению:

$$R_{sw} = 280 \text{ МПа .}$$

Расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению:

$$R_s = m_{kr} R_s = 1 \cdot 350 = 350 \text{ МПа .}$$

Расчетное сопротивление продольной арматуры сжатию:

$$R_{sc} = m_{kr} R_{sc} = 1 \cdot 350 = 350 \text{ МПа .}$$

8) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа .}$$

9) Определение граничной относительной высоты сжатой зоны

Относительная деформация растянутой арматуры:

$$\epsilon_{s, el} = R_s / E_s = 350 / 200000 = 0,00175 \text{ (формула (8.2); п. 8.1.6).}$$

Относительная деформация бетона:

$$\epsilon_{b2} = 0,0035 \text{ .}$$

10) Продолжение расчета по п. п. 8.1.6 СП 63.13330.2012

Граничная относительная высота сжатой зоны:

$$\xi_R = 0,8 / (1 + \epsilon_{s, el} / \epsilon_{b2}) = \\ = 0,8 / (1 + 0,00175 / 0,0035) = 0,53333 \text{ (формула (8.1); п. 8.1.6).}$$

11) Расчет изгибаемых элементов

Сечение - прямоугольное.

Т.к. $R_s A_s = 350 \cdot 0,00126 = 0,441 \text{ МН} = 44,96948 \text{ тс} > R_{sc} A'_s = 350 \cdot 0,00031 = 0,1085 \text{ МН} = 11,06392 \text{ тс}$:

Высота сжатой зоны:

$$x = (R_s A_s - R_{sc} A'_s) / (R_b b) = \\ = (350 \cdot 0,00126 - 350 \cdot 0,00031) / (13,05 \cdot 1) = 0,02548 \text{ м} = 2,55 \text{ см (формула (8.5); п. 8.1).}$$

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a_s = 0,7 - 0,08 = 0,62 \text{ м} = 62 \text{ см} .$$

Относительная высота сжатой зоны:

$$\xi = x/h_0 = 0,02548/0,62 = 0,0411 .$$

Т.к. $\xi = 0,0411 \leq \xi_R = 0,53333$; $x > 0 \text{ м} = 0 \text{ см}$:

Предельный изгибающий момент:

$$M_{ult} = R_b b x (h_0 - 0,5 x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a'_s) = \\ = 13,05 \cdot 1 \cdot 0,02548 \cdot (0,62 - 0,5 \cdot 0,02548) + 350 \cdot 0,00031 \cdot (0,62 - 0,04) = 0,26485 \text{ МН м} = 27,01 \text{ тс м (формула (8.4); п. 8.1.9)} .$$

$M = 0,16867 \text{ МН м} = 17,19955 \text{ тс м} \leq M_{ult} = 0,26485 \text{ МН м} = 27,00718 \text{ тс м}$ (63,6851% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.3); п. п. 8.1.8).

12) Определение значения начального модуля упругости бетона

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 $E_b = 30000 \text{ МПа}$.

13) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Т.к. $\gamma_{b1} < 1$:

Коэффициент ползучести принимается по табл. 6.12 $\varphi_{b, cr} = 1,8$.

14) Продолжение расчета по п. п. 6.1.15 СП 63.13330.2012

Начальный модуль упругости, принимаемый при продолжительном действии нагрузки:

$$E_b, \tau = E_b / (1 + \varphi_{b, cr}) = \\ = 30000 / (1 + 1,8) = 10714,28571 \text{ МПа (формула (6.3); п. 6.1.15)} .$$

15) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа} .$$

16) Определение характеристик приведенного сечения

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:

$$\alpha_s = E_s / E_b = 200000 / 10714,29 = 18,66666 .$$

$$h'_0 = h - a'_s = 0,7 - 0,04 = 0,66 \text{ м} = 66 \text{ см} .$$

Площадь сечения:

$$A = b h = 1 \cdot 0,7 = 0,7 \text{ м}^2 = 7000 \text{ см}^2 .$$

Статический момент бетонного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_t = b h^2 / 2 = 1 \cdot 0,7^2 / 2 = 0,245 \text{ м}^3 = 245000 \text{ см}^3 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00031 - 0,00126 = 0,69843 \text{ м}^2 = 6984,3 \text{ см}^2 .$$

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{red} = \alpha_s (A_s + A'_s) + A_b = 18,66666 \cdot (0,00126 + 0,00031) + 0,69843 = 0,72774 \text{ м}^2 = 7277,4 \text{ см}^2 .$$

Статический момент приведенного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_{t, red} = (\alpha_s - 1) (A_s a_s + A'_s (h - a'_s)) + b h^2 / 2 = \\ = (18,66666 - 1) \cdot (0,00126 \cdot 0,08 + 0,00031 \cdot (0,7 - 0,04)) + 1 \cdot 0,7^2 / 2 = 0,2504 \text{ м}^3 = 250400 \text{ см}^3 .$$

Координата центра тяжести расчетного контура:

$$y_0 = S_{t, red} / A_{red} = 0,2504 / 0,72774 = 0,34408 \text{ м} = 34,41 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее растянутого волокна бетона до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_t = y_0 = 0,34408 \text{ м} = 34,41 \text{ см} .$$

Расстояние от наиболее сжатого волокна в бетоне до центра тяжести приведенного сечения:

$$y_c = h - y_t = 0,7 - 0,34408 = 0,35592 \text{ м} = 35,59 \text{ см} .$$

$$y_s = y_0 - a_s = 0,34408 - 0,08 = 0,26408 \text{ м} = 26,41 \text{ см} .$$

$$y'_s = h - a_s - a'_s - y_s = 0,7 - 0,08 - 0,04 - 0,26408 = 0,31592 \text{ м} = 31,59 \text{ см} .$$

Момент инерции бетонного сечения относительно центра тяжести приведенного сечения:

$$I = b h^3 / 12 + A (h/2 - y_t)^2 = \\ = 1 \cdot 0,7^3 / 12 + 0,7 \cdot (0,7/2 - 0,34408)^2 = 0,02861 \text{ м}^4 = 2861000 \text{ см}^4 .$$

17) Определение момента образования трещин

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:

$$R_{b, \text{ser}} = R_{bn} = 18,5 \text{ МПа} .$$

Расчетное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний второй группы:

$$R_{bt, \text{ser}} = R_{btn} = 1,55 \text{ МПа} .$$

Момент инерции площадей сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s (h - a_s - y_c)^2 = 0,00126 \cdot (0,7 - 0,08 - 0,35592)^2 = 0,00008787 \text{ м}^4 = 8787 \text{ см}^4 .$$

Момент инерции площадей сечения сжатой арматуры:

$$I'_s = A'_s (y_c - a'_s)^2 = \\ = 0,00031 \cdot (0,35592 - 0,04)^2 = 0,00003094 \text{ м}^4 = 3094 \text{ см}^4 .$$

18) Продолжение расчета по п. п. 8.2.12 СП 63.13330.2012

Момент инерции приведенного поперечного сечения:

$$I_{\text{red}} = I + I_s (\alpha_s - 1) + I'_s (\alpha_s - 1) = \\ = 0,02861 + 0,00008787 \cdot (18,66666 - 1) + 0,00003094 \cdot (18,66666 - 1) = 0,03071 \text{ м}^4 = 3071000 \text{ см}^4 \text{ (формула (8.125); п. 8.2.12)} .$$

Упругий момент сопротивления приведенного сечения:

$$W_{\text{red}} = I_{\text{red}} / y_t = 0,03071 / 0,34408 = 0,08925 \text{ м}^3 = 89250 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.123); п. 8.2.12)} .$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны:

$$e_x = W_{\text{red}} / A_{\text{red}} = 0,08925 / 0,72774 = 0,12264 \text{ м} = 12,26 \text{ см} \text{ (формула (8.124); п. 8.2.12)} .$$

Момент образования трещин определяется - с учетом неупругих деформаций.

Упругопластический момент сопротивления сечения:

$$W_{\text{pl}} = 1,3 W_{\text{red}} = 1,3 \cdot 0,08925 = 0,11603 \text{ м}^3 = 116030 \text{ см}^3 \text{ (формула (8.122); п. 8.2.11)} .$$

Изгибающий момент, воспринимаемый нормальным сечением элемента при образовании трещин:

$$M_{\text{crс}} = R_{bt, \text{ser}} W_{\text{pl}} = 1,55 \cdot 0,11603 = 0,17985 \text{ МН м} = 18,34 \text{ тс м} \text{ (формула (8.121); п. 8.2.11)} .$$

19) Проверка необходимости увеличения площади сечения продольной растянутой арматуры, если предельное усилие по прочности меньше предельного усилия по образованию трещин

$$\text{Т.к. } M_{\text{ult}} = 0,26485 \text{ МН м} = 27,00718 \text{ тс м} \geq M_{\text{crс}} = 0,17985 \text{ МН м} = 18,3396 \text{ тс м} :$$

в соответствии с п. 8.1.3 при M_{ult} не менее $M_{\text{crс}}$ площадь сечения растянутой продольной арматуры не должна быть увеличена по сравнению с требуемой.

20) Проверка необходимости сжатой арматуры

(проверяем несущую способность, предполагая отсутствие сжатой арматуры)

Высота сжатой зоны:

$$x = R_s A_s / (R_b b) = \\ = 350 \cdot 0,00126 / (13,05 \cdot 1) = 0,03379 \text{ м} = 3,38 \text{ см} \text{ (формула (8.5); п. 8.1)} .$$

Относительная высота сжатой зоны:

$$\xi = x / h_0 = 0,03379 / 0,62 = 0,0545 .$$

$$\text{Т.к. } \xi = 0,0545 \leq \xi_R = 0,53333 :$$

Предельный изгибающий момент:

$$M_{\text{ult}} = R_b b x (h_0 - 0,5 x) = \\ = 13,05 \cdot 1 \cdot 0,03379 \cdot (0,62 - 0,5 \cdot 0,03379) = 0,26594 \text{ МН м} = 27,12 \text{ тс м} \text{ (формула (8.4); п. 8.1)} .$$

21) Продолжение расчета по п. п. 8.1.8 СП 63.13330.2012

Т.к. $M = 0,16867 \text{ МН м} = 17,19955 \text{ тс м} \leq M_{ult} = 0,26594 \text{ МН м} = 27,11833 \text{ тс м}$:

- сжатая арматура по расчету не требуется, поэтому не требуется устанавливать поперечную арматуру в соответствии с п. 10.3.14.

22) Расчет железобетонных элементов по полосе между наклонными сечениями

Коэффициент:

$$\varphi_{b1} = 0,3 .$$

Приведенное значение толщины защитного слоя растянутой арматуры:

$$a = a_s = 0,08 \text{ м} = 8 \text{ см} .$$

Приведенное значение толщины защитного слоя сжатой арматуры:

$$a' = a'_s = 0,04 \text{ м} = 4 \text{ см} .$$

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a = 0,7 - 0,08 = 0,62 \text{ м} = 62 \text{ см} .$$

23) Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости ненапрягаемой арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа} .$$

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:

$$\alpha_s = E_s / E_b = 200000 / 10714,29 = 18,66666 .$$

Площадь сечения бетона:

$$A_b = b h - A'_s - A_s = 1 \cdot 0,7 - 0,00031 - 0,00126 = 0,69843 \text{ м}^2 = 6984,3 \text{ см}^2 .$$

Приведенная площадь сечения элемента с учетом продольной арматуры:

$$\begin{aligned} A &= A_b + \alpha_s (A'_s + A_s) = \\ &= 0,69843 + 18,66666 \cdot (0,00031 + 0,00126) = 0,72774 \text{ м}^2 = 7277,4 \text{ см}^2 . \end{aligned}$$

Коэффициент, учитывающий влияние сжимающих и растягивающих напряжений:

$$\varphi_n = 1 .$$

$Q = 0,66685 \text{ МН} = 67,99978 \text{ тс} \leq \varphi_n \varphi_{b1} R_b b h_0 = 1 \cdot 0,3 \cdot 13,05 \cdot 1 \cdot 0,62 = 2,4273 \text{ МН} = 247,51572 \text{ тс}$ (27,47291% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.55); п. 8.1.32).

24) Расчет железобетонных элементов по наклонным сечениям на действие поперечных сил

Коэффициент:

$$\varphi_{b2} = 1,5 .$$

Расчет - по упрощенным формулам, полученным на основе анализа СП 63.13330.2012.

Коэффициент:

$$\varphi_{sw} = 0,75 .$$

Усилия в поперечной арматуре на единицу длины:

$$q_{sw} = R_{sw} A_{sw} / s_w = 280 \cdot 0,000471 / 0,2 = 0,6594 \text{ МН/м} = 67,24 \text{ тс/м}$$
 (формула (8.59); п. 8.1.33).

Длина проекции наклонного сечения:

$$\begin{aligned} c &= \sqrt{2 R_{bt} b h_0^2 / q_{sw}} = \\ &= \sqrt{2 \cdot 0,945 \cdot 1 \cdot 0,62^2 / 0,6594} = 1,04966 \text{ м} = 104,97 \text{ см} . \end{aligned}$$

Т.к. $c = 1,04966 \text{ м} = 104,966 \text{ см} \leq 2 h_0 = 2 \cdot 0,62 = 1,24 \text{ м} = 124 \text{ см}$ и $c = 1,04966 \text{ м} = 104,966 \text{ см} \geq h_0 = 0,62 \text{ м} = 62 \text{ см}$:

Поперечная сила, воспринимаемая бетоном:

$$\begin{aligned} Q_b &= \varphi_{b2} R_{bt} b h_0^2 / c = \\ &= 1,5 \cdot 0,945 \cdot 1 \cdot 0,62^2 / 1,04966 = 0,51911 \text{ МН} = 52,93 \text{ тс} \end{aligned}$$
 (формула (8.57); п. 8.1.33).

Усилия в поперечной арматуре:

$$\begin{aligned} Q_{sw} &= \varphi_{sw} q_{sw} c = \\ &= 0,75 \cdot 0,6594 \cdot 1,04966 = 0,51911 \text{ МН} = 52,93 \text{ тс} \end{aligned}$$
 (формула (8.58); п. 8.1.33).

$q_{sw} = 0,6594 \text{ МН} = 67,24009 \text{ тс} \geq 0,25 R_{bt} b = 0,25 \cdot 0,945 \cdot 1 = 0,23625 \text{ МН} = 24,0908 \text{ тс}$ (279,11111% от предельного значения) - условие выполнено.

$Q = 0,66685 \text{ МН} = 67,99978 \text{ тс} \leq R_{bt} b h_0^2 / s_w = 0,945 \cdot 1 \cdot 0,62^2 / 0,2 = 1,81629 \text{ МН} = 185,21004 \text{ тс}$ (36,71495% от предельного значения) - условие выполнено .

(из требования по ограничению шага арматуры)

$s_w = 0,2 \text{ м} = 20 \text{ см} \leq \min(0,5 h_0 ; 0,3) = \min(0,5 \cdot 0,62; 0,3) = 0,3 \text{ м} = 30 \text{ см}$ (66,66667% от предельного значения) - условие выполнено .

25) Продолжение расчета по п. п. 8.1.33 СП 63.13330.2012

Коэффициент, учитывающий влияние сжимающих и растягивающих напряжений:
 $\varphi_n = 1$.

$Q = 0,66685 \text{ МН} = 67,99978 \text{ тс} \leq \varphi_n Q_b + Q_{sw} = 1 \cdot 0,51911 + 0,51911 = 1,03822 \text{ МН} = 105,86898 \text{ тс}$ (64,23012% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.56); п. 8.1.33).

26) Проверка требования минимального процента армирования

Арматура расположена по контуру сечения - не равномерно.

Рабочая высота сечения:
 $h_0 = h - a_s = 0,7 - 0,08 = 0,62 \text{ м} = 62 \text{ см}$.

Коэффициент армирования:
 $\mu_s = A_s / (b h_0) \cdot 100 = 0,00126 / (1 \cdot 0,62) \cdot 100 = 0,20323 \%$.

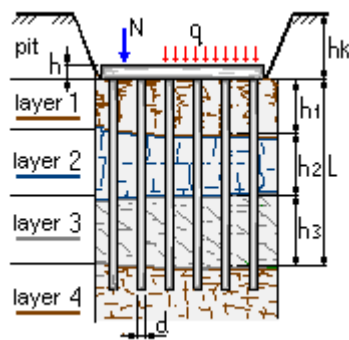
$\mu_s \geq 0,1 \%$ (203,23% от предельного значения) - условие выполнено .



Результаты расчета

Расчет плиты на свайном основании. Ростверк РМ10.

1. - Исходные данные :



Количество слоев 2

Характеристики грунта:

Номер слоя	Тип грунта	Модуль E	Ед. изм.	1 Точка, м	2 Точка, м	3 Точка, м	4 Точка, м
Слой 1	Глинистый	800	тс/м ²	h= 7,8	h= 7,8	h= 7,8	h= 7,8
Слой 2	Песчаный	2800	тс/м ²				

Исходные данные для расчета:

Прямоугольная плита

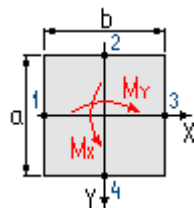
Наименование исходных данных	Величина	Ед. измерения
Длина вдоль Y	2,3	м
Ширина вдоль X	6,3	м
Допустимая расчетная нагрузка на сваю (Fd)	40	тс
Длина сваи (L)	8,3	м

Диаметр (сторона)	0,3	м
Толщина плиты	0,7	м
Вылет плиты за грань крайней сваи	0,1	м

Квадратные сваи

Приведенная нагрузка: $N = 746$ тс; $M_y = 26,5$ тс*м; $M_x = 3,4$ тс*м

2. - Выводы:



Требуемое количество свай 21 шт.

Ориентировочный шаг свай (для расчета осадки) 0,88 м

По расчету на продавливание рядовой сваей несущей способности плиты ДОСТАТОЧНО.

По расчету на продавливание угловой сваей несущей способности плиты ДОСТАТОЧНО.

Расположение свай принято равномерным по всей площади плиты.

Расчетный момент в плите $M = 5,76$ тс*м (на погонный метр)

Армирование симметричное, шаг 200 мм во всех направлениях.

Защитный слой 35 мм в верхней, 70 мм в нижней зоне плиты.

Арматура $d 8$ А 400 в обоих направлениях.

Армирование свайной плиты следует уточнить, выполнив расчет плиты на естественном основании с применением приведенного модуля деформации $E_{red} = 5085,28$ тс/м²

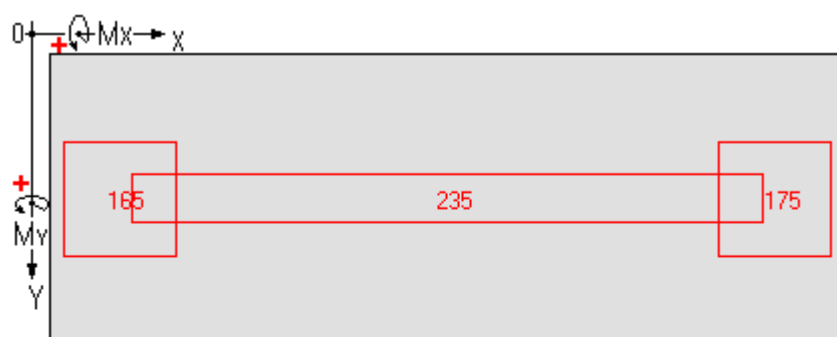
либо расчет плиты на упругих опорах (сваях) с коэффициентом упругости 5287,46 тс/м



Результаты расчета

Расчет плиты. Ростверк РМ10

1. - Исходные данные:



Длина вдоль X 6,3 м
 Ширина вдоль Y 2,3 м
 Толщина плиты 0,7 м

Характеристики грунта Суглинки
 Модуль деформации грунта 5085 тс/м²
 Коэффициент постели 7373,25 (тс/м)/м²

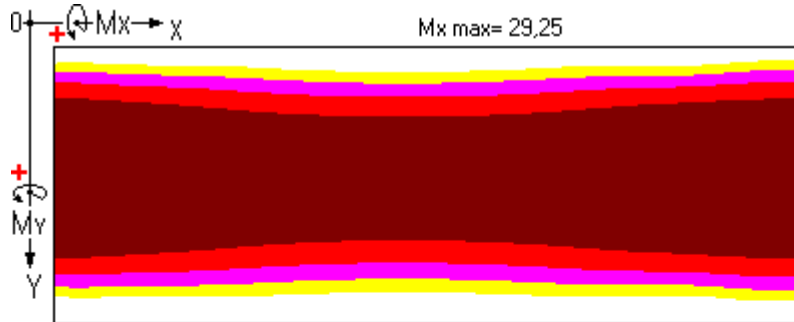
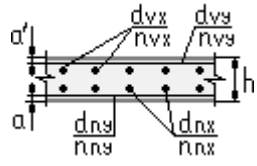
Расчетные нагрузки на конструкцию:

Полосовые нагрузки	начало x,y (м),	конец x,y (м),	величина q (тс/м ²),	Ширина (м)
1	0,55;0,7	0,55;1,6	165	0,9

2	5,75;0,7	5,75;1,6	175	0,9
3	0,65;1,15	5,65;1,15	235	0,4

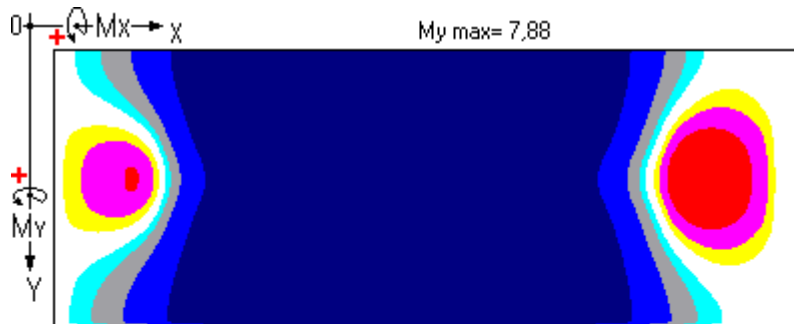
Приведенные суммарные нагрузки на плиту:
 $N = 706,6 \text{ тс}$; $M_x = -32,08 \text{ тс*м}$; $M_y = -24,18 \text{ тс*м}$

2. - Выводы:



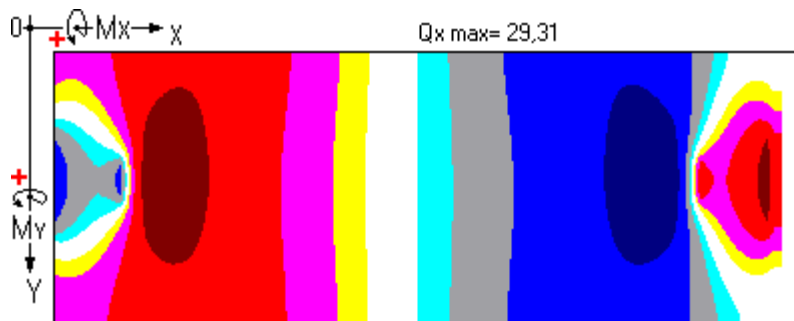
Эпюра моментов вокруг оси X

$M_x \text{ min} = -0,02$



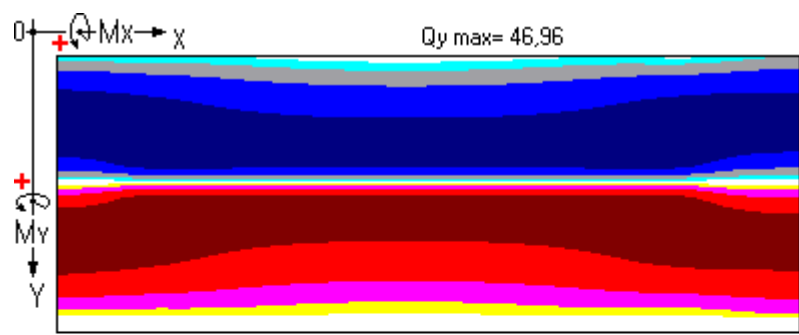
Эпюра моментов вокруг оси Y

$M_y \text{ min} = -23,59$

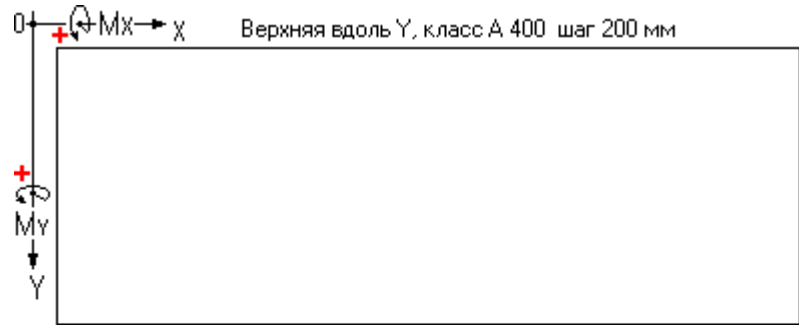


Эпюра поперечных сил вдоль оси X

$Q_x \text{ min} = -30,24$



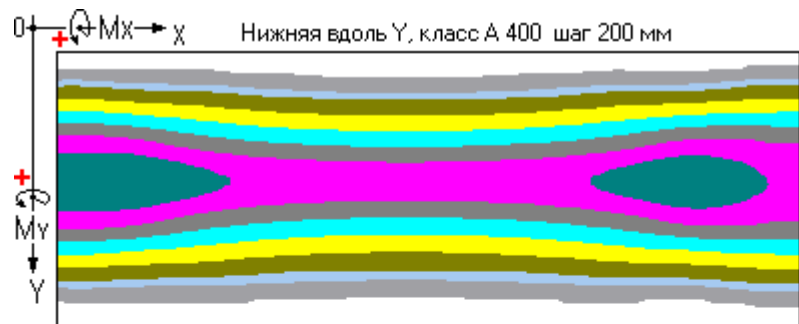
Эпюра поперечных сил вдоль оси Y $Qy \text{ min} = -48,7$



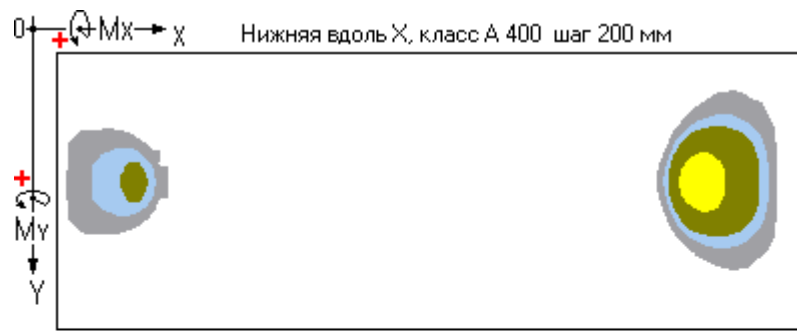
Бетон В15
Верхнее армирование плиты вдоль оси Y, d , мм



Бетон В15
Верхнее армирование плиты вдоль оси X, d , мм



Нижнее армирование плиты вдоль оси Y, d, мм



Бетон В15

Нижнее армирование плиты вдоль оси X, d, мм

d=3-5 мм	d=10 мм	d=16 мм	d=22 мм	d=32 мм
d=6 мм	d=12 мм	d=18 мм	d=25 мм	d=36 мм
d=8 мм	d=14 мм	d=20 мм	d=28 мм	d=40 мм

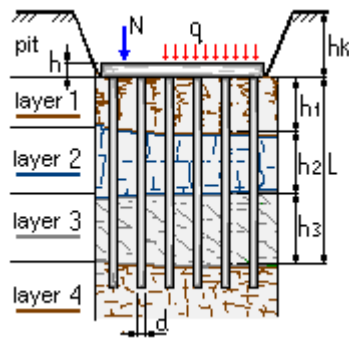
Цветовая палитра полей армирования



Результаты расчета

Расчет плиты на свайном основании. Ростверк РМ5

1. - Исходные данные:



Количество слоев 2

Характеристики грунта:

Номер слоя	Тип грунта	Модуль E	Ед. изм.	1 Точка, м	2 Точка, м	3 Точка, м	4 Точка, м
Слой 1	Глинистый	800	тс/м ²	h= 7,8	h= 7,8	h= 7,8	h= 7,8
Слой 2	Песчаный	2800	тс/м ²				

Исходные данные для расчета:
Прямоугольная плита

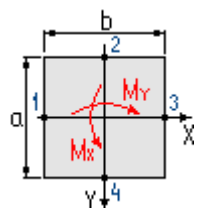
Наименование исходных данных	Величина	Ед. измерения
Длина вдоль Y	7,8	м

Ширина вдоль X	2,1	м
Допустимая расчетная нагрузка на сваю (Fd)	40	тс
Длина сваи (L)	8,3	м
Диаметр (сторона)	0,3	м
Толщина плиты	0,7	м
Вылет плиты за грань крайней сваи	0.1	м

Квадратные сваи

Приведенная нагрузка: $N = 795,2$ тс; $M_y = 1,2$ тс*м; $M_x = 31,7$ тс*м

2. - Выводы:



Требуемое количество свай 22 шт.

Ориентировочный шаг свай (для расчета осадки) 0,93 м

По расчету на продавливание рядовой сваей несущей способности плиты ДОСТАТОЧНО.

По расчету на продавливание угловой сваей несущей способности плиты ДОСТАТОЧНО.

Расположение свай принято равномерным по всей площади плиты.

Расчетный момент в плите $M = 0,57$ тс*м (на погонный метр)

Армирование симметричное, шаг 200 мм во всех направлениях.

Защитный слой 35 мм в верхней, 70 мм в нижней зоне плиты.

Арматура d 3 A 400 в обоих направлениях.

Армирование свайной плиты следует уточнить, выполнив расчет плиты на естественном основании с применением приведенного модуля деформации $E_{red} = 4712,73$ тс/м²

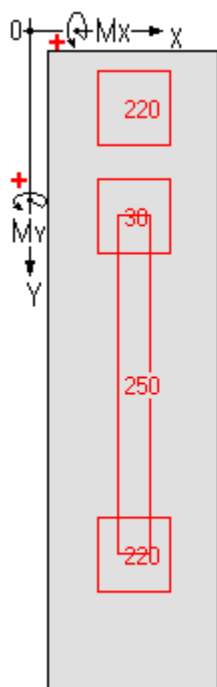
либо расчет плиты на упругих опорах (сваях) с коэффициентом упругости 5287,46 тс/м



Результаты расчета

Расчет плиты. Ростверк РМ5

1. - Исходные данные:



Длина вдоль X 2,1 м
 Ширина вдоль Y 7,8 м
 Толщина плиты 0,7 м

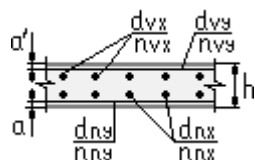
Характеристики грунта Суглинки
 Модуль деформации грунта 4710 тс/м²
 Коэффициент постели 6829,5 (тс/м)/м²

Расчетные нагрузки на конструкцию:

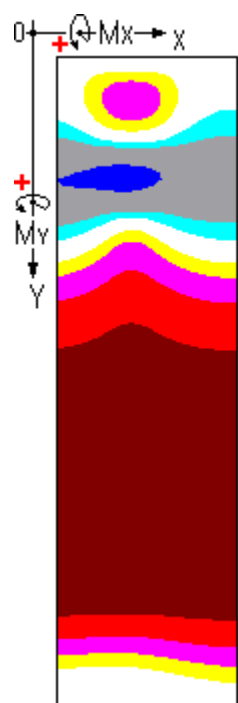
Полосовые нагрузки	начало x,y (м),	конец x,y (м),	величина q (тс/м ²),	Ширина (м)
1	1,05;0,25	1,05;1,15	220	0,9
2	1,05;1,55	1,05;2,45	30	0,9
3	1,05;5,65	1,05;6,55	220	0,9
4	1,05;2	1,05;6,1	250	0,4

Приведенные суммарные нагрузки на плиту:
 N= 863,32 тс; M_x= -221,26 тс*м; M_y= -60,71 тс*м

2. - Выводы:



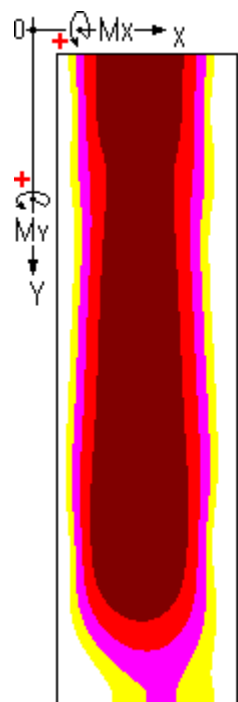
Элемент с координатами X= 0 м, Y= 0 м
 Нагрузки в сечении M_x= 0 тс*м Q_x= 0 тс M_y= 0 тс*м Q_y= 0 тс
 Бетон В15 Защитный слой a= 35 a₋= 35 мм
 Подбор арматуры вдоль X
 Верхняя арматура 5D 3 А 400
 Нижняя арматура 5D 3 А 400



M_x max= 62,63

M_x min= -9,91

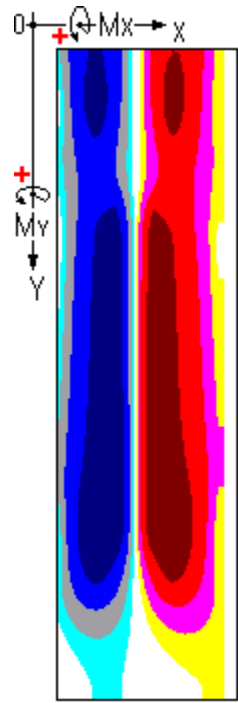
Эпюра моментов вокруг оси X



M_y max= 32,23

M_y min= -0,31

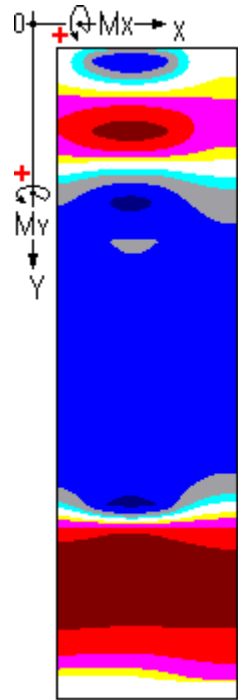
Эпюра моментов вокруг оси Y



$Q_x \text{ max} = 55,52$

$Q_x \text{ min} = -57,26$

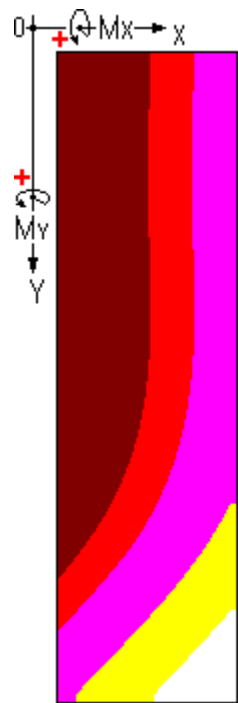
Эпюра поперечных сил вдоль оси X



$Q_y \text{ max} = 67,57$

$Q_y \text{ min} = -35,06$

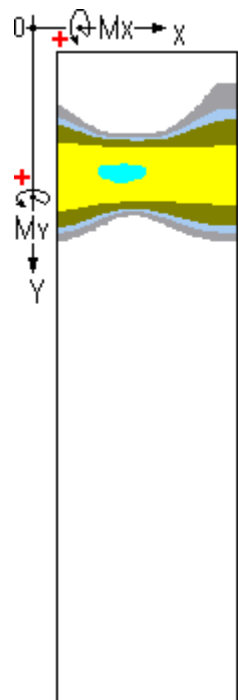
Эпюра поперечных сил вдоль оси Y



$S \text{ max} = 10,09$

$S \text{ min} = 2,95$

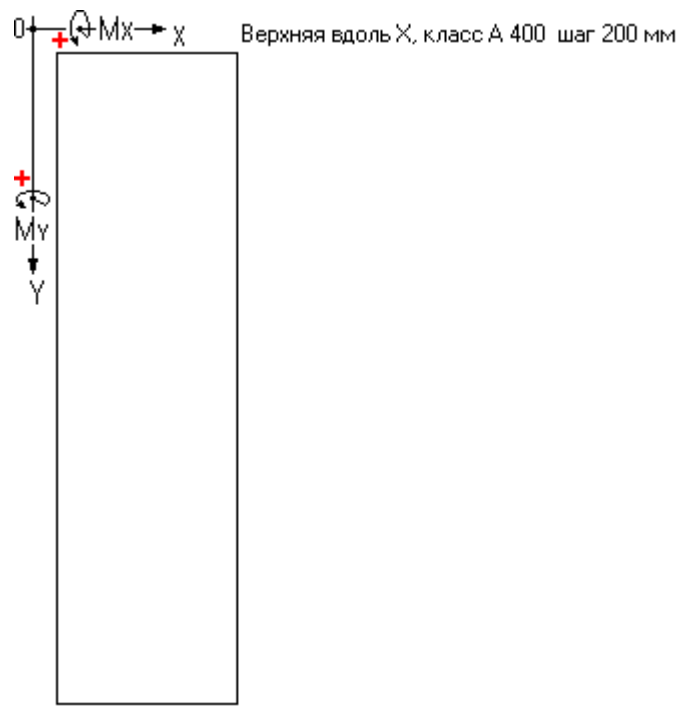
Эпюра вертикальных перемещений, мм



Верхняя вдоль Y, класс A 400 шаг 200 мм

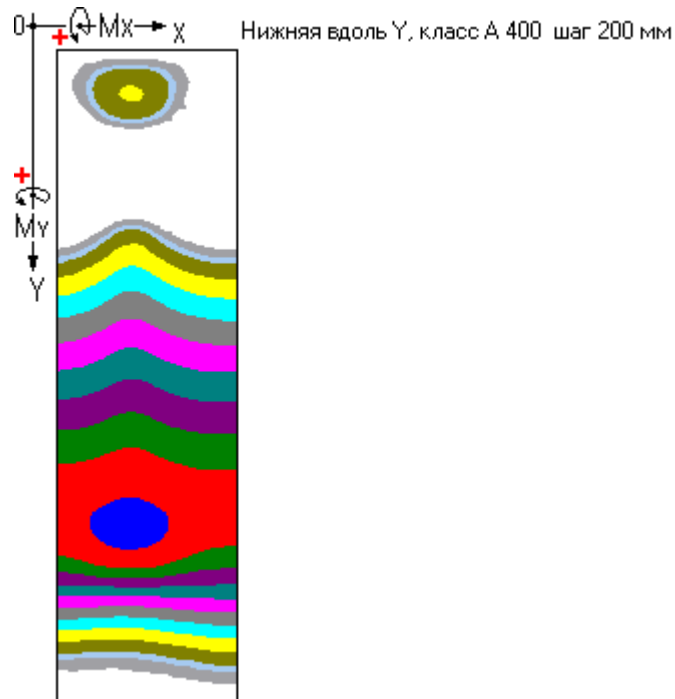
Бетон В15

Верхнее армирование плиты вдоль оси Y, d, мм



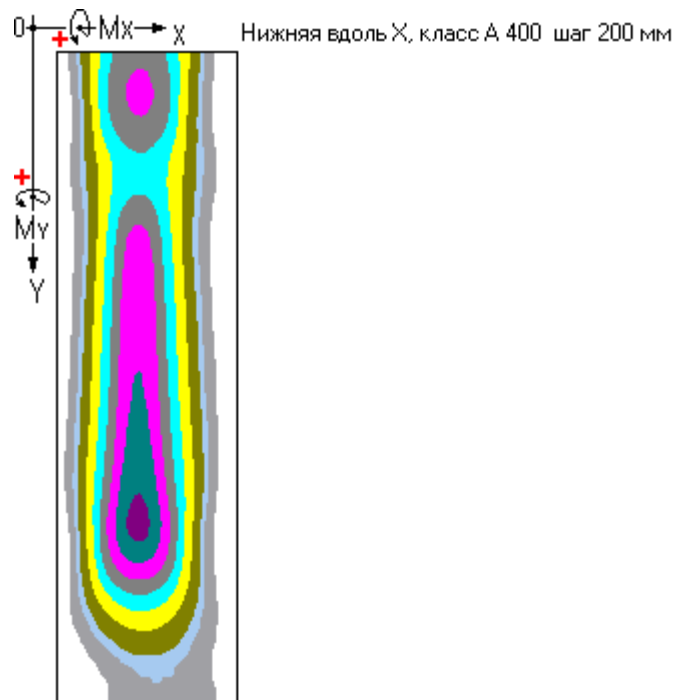
Бетон В15

Верхнее армирование плиты вдоль оси X, d, мм



Бетон В15

Нижнее армирование плиты вдоль оси Y, d, мм



Бетон В15

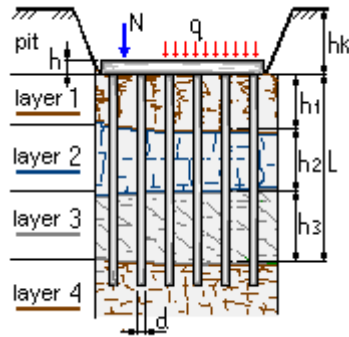
Нижнее армирование плиты вдоль оси X, d, мм

d=3-5 мм	d=10 мм	d=16 мм	d=22 мм	d=32 мм
d=6 мм	d=12 мм	d=18 мм	d=25 мм	d=36 мм
d=8 мм	d=14 мм	d=20 мм	d=28 мм	d=40 мм

Цветовая палитра полей армирования

Расчет плиты на свайном основании. Ростверк РМ1.

1. - Исходные данные:



Количество слоев 2

Характеристики грунта:

Номер слоя	Тип грунта	Модуль E	Ед. изм.	1 Точка, м	2 Точка, м	3 Точка, м	4 Точка, м
Слой 1	Глинистый	800	тс/м ²	h= 7,6	h= 7,6	h= 7,6	h= 7,6
Слой 2	Песчаный	2800	тс/м ²				

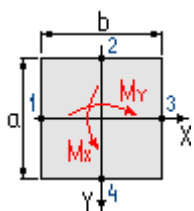
Исходные данные для расчета:
Прямоугольная плита

Наименование исходных данных	Величина	Ед. измерения
Длина вдоль Y	2,3	м
Ширина вдоль X	9,5	м
Допустимая расчетная нагрузка на сваю (Fd)	40	тс
Длина сваи (L)	8,5	м
Диаметр (сторона)	0,3	м
Толщина плиты	0,7	м
Вылет плиты за грань крайней сваи	0,1	м

Квадратные сваи

Приведенная нагрузка: N= 1220 тс; M_y= 2,7 тс*м; M_x= 12,5 тс*м

2. - Выводы:



Требуемое количество свай 33 шт.

Ориентировочный шаг свай (для расчета осадки) 0,85 м

По расчету на продавливание рядовой сваей несущей способности плиты ДОСТАТОЧНО.

По расчету на продавливание угловой сваей несущей способности плиты ДОСТАТОЧНО.

Расположение свай принято равномерным по всей площади плиты.

Расчетный момент в плите M= 8,08 тс*м (на погонный метр)

Армирование симметричное, шаг 200 мм во всех направлениях.

Защитный слой 35 мм в верхней, 70 мм в нижней зоне плиты.

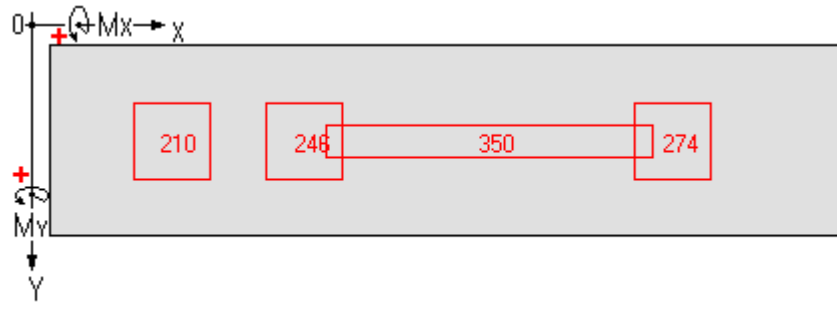
Арматура d 10 А 400 в обоих направлениях.

Армирование свайной плиты следует уточнить, выполнив расчет плиты на естественном основании с применением приведенного модуля деформации E_{red}= 5702,42 тс/м²

либо расчет плиты на упругих опорах (сваях) с коэффициентом упругости 5665,6 тс/м

Результаты расчета

1. - Исходные данные:



Длина вдоль X 9,5 м
 Ширина вдоль Y 2,3 м
 Толщина плиты 0,7 м

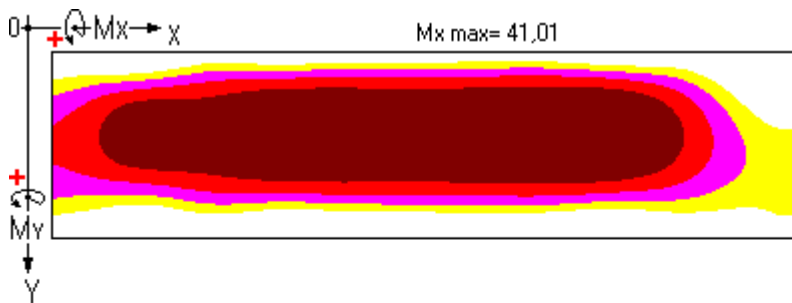
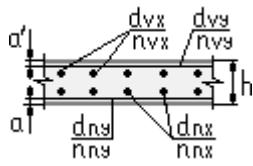
Характеристики грунта Суглинки
 Модуль деформации грунта 5700 тс/м²
 Коэффициент постели 8265 (тс/м)/м²

Расчетные нагрузки на конструкцию:

Полосовые нагрузки	начало x,y (м),	конец x,y (м),	величина q (тс/м ²),	Ширина (м)
1	1,45;0,7	1,45;1,6	210	0,9
2	3,05;0,7	3,05;1,6	246	0,9
3	7,45;0,7	7,45;1,6	274	0,9
4	3,3;1,15	7,2;1,15	350	0,4

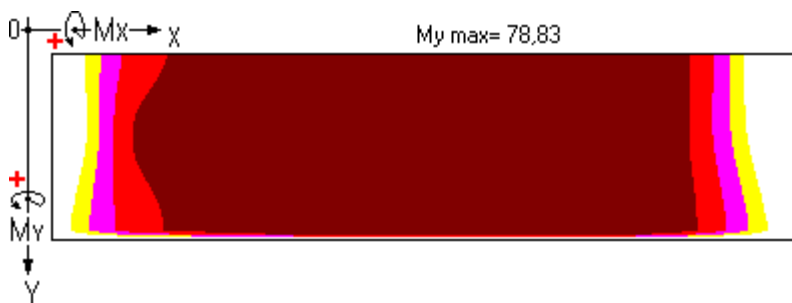
Приведенные суммарные нагрузки на плиту:
 $N = 1220,5$ тс; $M_x = -126,22$ тс*м; $M_y = -72,36$ тс*м

2. - Выводы:



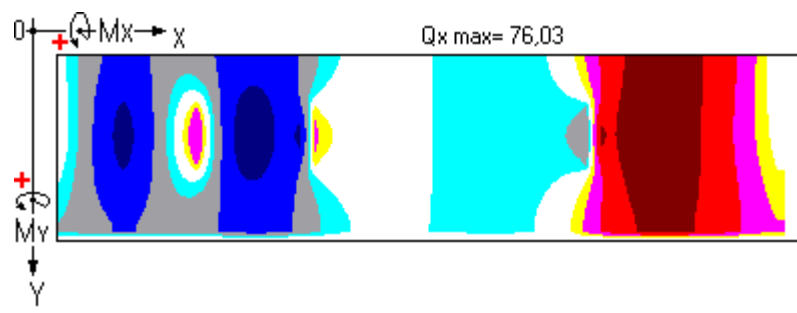
Эпюра моментов вокруг оси X

$M_x \min = -0,8$

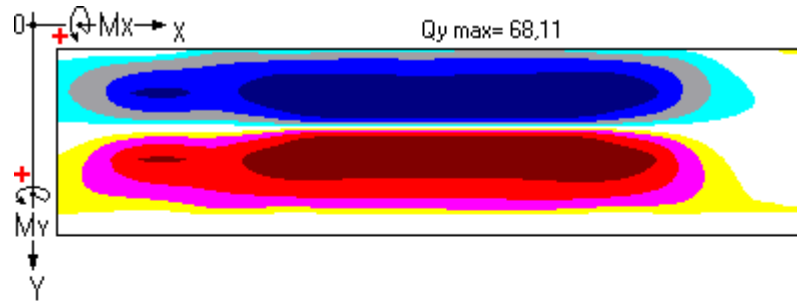


$M_y \min = -0,5$

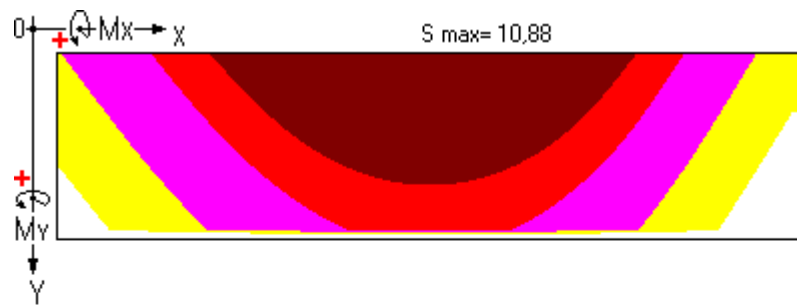
Эпюра моментов вокруг оси Y



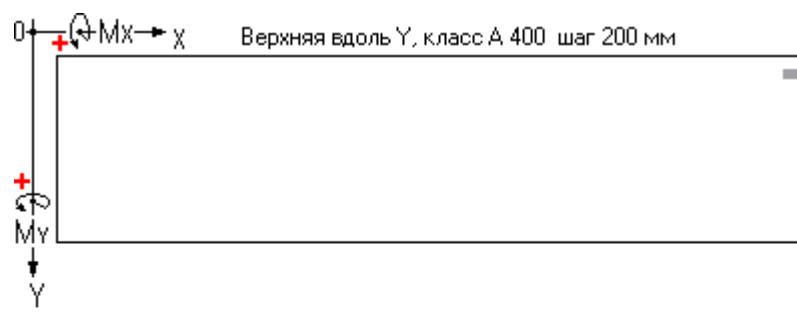
Эпюра поперечных сил вдоль оси X $Q_x \min = -55,65$



Эпюра поперечных сил вдоль оси Y $Q_y \min = -71,21$

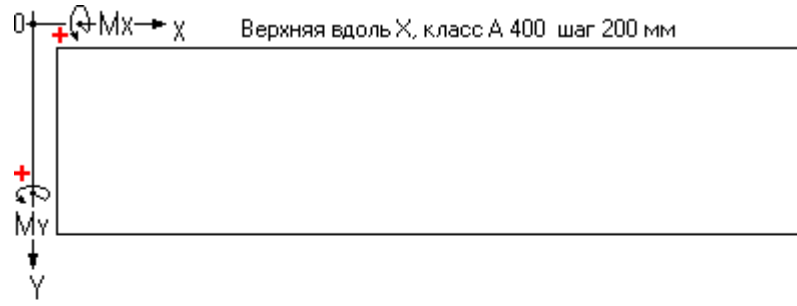


Эпюра вертикальных перемещений, мм $S \min = 0,58$



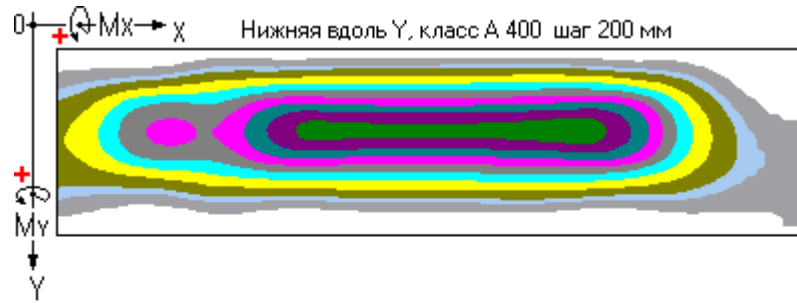
Бетон В15

Верхнее армирование плиты вдоль оси Y, d, мм



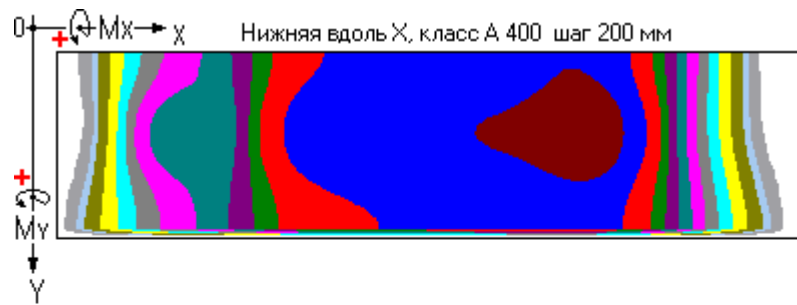
Бетон В15

Верхнее армирование плиты вдоль оси X, d, мм








Бетон В15

Нижнее армирование плиты вдоль оси Y, d, мм



Бетон В15

Нижнее армирование плиты вдоль оси X, d, мм



 d=3-5 мм	 d=10 мм	 d=16 мм	 d=22 мм	 d=32 мм
 d=6 мм	 d=12 мм	 d=18 мм	 d=25 мм	 d=36 мм
 d=8 мм	 d=14 мм	 d=20 мм	 d=28 мм	 d=40 мм

Цветовая палитра полей армирования





СОДЕРЖАНИЕ

Обозначение	Наименование	Примечание
05-РП-20-У-КР.РР.С	Содержание тома	
05-РП-20-У-КР.РР.ПЗ	Пояснительная записка	
	<u>Прилагаемые документы:</u>	
05-РП-20-У-КР.РР.П1	Приложение 1. Общие результаты расчётов	
05-РП-20-У-КР.РР.П2	Приложение 2. Конструктивные расчёты	

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	05-РП-20-У-КР.РР.С						Стадия	Лист	Листов
			Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата			
			ГИП		Зотов		05.20	П	1	1	
			Разработал		Гельрот		05.20				
								ООО "УДС-ИНЖИНИРИНГ"			
			Содержание раздела								

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение и постановка задачи	4
2. Исходные данные	4
3. Характеристика объекта и площадки строительства	5
4. Конструктивная схема здания	6
5. Расчётная модель здания	8
6. Результаты расчётов	15
7. Нормативные ссылки и литература	16

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	05-РП-20-У-КР.ПЗ.С							
			Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата		
			ГИП	Зотов		05.20	Содержание	Стадия	Лист	Листов
			Разработал	Гельрот		05.20		П	1	1
								ООО "УДС-ИНЖИНИРИНГ"		

1 ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Наименование объекта: “Жилая многоквартирная, угловая секция для повторного применения. Г. Нефтекамск”.

Расчет несущих конструкций проектируемого объекта выполнен методом конечных элементов с помощью программы “STARK_ES 2020” (релиз 1, лицензионный ключ 10319, разработчик – ООО «ЕВРОСОФТ», г. Москва, сертификат соответствия № RA.RU.AB86.H01070 от 20.02.2018г). Конструктивные расчёты выполнены в ПК ОМ СНИП “Железобетон”.

Теоретической основой ПК “STARK_ES 2020” является метод конечных элементов (МКЭ). Комплекс реализует конечно-элементное моделирование статических и динамических расчетных схем, проверку устойчивости, выбор невыгодных сочетаний усилий, подбор арматуры железобетонных конструкций.

В основу расчета положен метод конечных элементов с использованием в качестве основных неизвестных перемещений и поворотов узлов расчетной схемы. В связи с этим идеализация конструкции выполнена в форме, приспособленной к использованию этого метода, а именно: система представлена в виде набора тел стандартного типа (стержней, пластин, оболочек и т.д.), называемых конечными элементами и присоединенных к узлам.

Цель расчета – определение усилий и армирования в элементах здания выше отм. фундаментов.

Данный проект разрабатывается без привязки к месту строительства (без фундаментов).


Необходимые сведения по основаниям и фундаментам описываются при привязке объекта.

2 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Исходными данными для выполнения конструктивных расчетов являются:

- чертежи марки “АР”, объёмно-планировочные архитектурные решения;
- конструктивное решение несущих и ограждающих конструкций;
- эксплуатационные нагрузки;

05-РП-20-У-КР.РР.ПЗ

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подп.	Дата				
Гл. констр.	Гельрот				05.20	Пояснительная записка	Стадия	Лист	Листов
							П	1	17
						ООО “УДС-ИНЖИНИРИНГ”			

3 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА И ПЛОЩАДКИ СТРОИТЕЛЬСТВА

Данный объект расположен в г. Нефтекамске. Ветровой район II, $w_0=0,3$ кН/м², тип местности – В. Снеговой район V, нормативное значение веса снегового покрова на 1м² горизонтальной поверхности земли $S_g=2,5$ кПа.

Расчетная зимняя температура наружного воздуха, равная средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 = -34.

Продолжительность периода со средней суточной температурой воздуха ниже или равной 8С = 218.

Средняя температура периода со средней суточной температурой воздуха ниже или равной 8С = -6,1.

Назначение здания – многоквартирный жилой дом.

Конструктивная схема здания.

Габариты здания в осях 23,3х19,4м, имеет 9 жилых этажей, подвал, чердак (технический этаж), высота жилых этажей 3,0м от пола до пола. Кровля – вентилируемая, с холодным чердаком, с внутренним водостоком, отапливаемая. Конструктивная высота здания составляет 31,42 м от верха фундаментов до плиты покрытия.

Лифтовая шахта имеет машинное помещения. Выход на кровлю осуществляется в пределах лестничной клетки.

Относительная отметка нуля принята за уровень чистого пола первого этажа. Абсолютная отметка нуля определяется при привязке данного объекта по листу ГП.

Конструктивные решения принимались исходя из объемно-планировочных решений зданий и требований заказчика к конструкциям, а также в соответствии с действующими строительными нормами и правилами, ведомственными нормативными документами, обеспечивающими безопасную эксплуатацию здания и, в случае необходимости, безопасную эвакуацию людей из помещений. Конструктивные решения учитывают особенности площадки строительства, климатические, геологические и гидрогеологические условия.

Конструктивная схема здания – сборно-монолитный железобетонный каркас.

Вертикальные нагрузки от веса людей, конструкций, оборудования воспринимаются несущими элементами каркаса: сборные колонны, сборно-монолитные ригели, сборные плиты перекрытия, сборные железобетонные панели диафрагм жесткости.

Пространственная жесткость и устойчивость, восприятие горизонтальных нагрузок обеспечиваются рамами с жесткими узлами, образуемыми колоннами и ригелями, а также создания жесткого диска перекрытий путем замоноличивания стыков и наличия монолитных участков. Горизонтальные нагрузки передаются на рамы каркаса через диски сборных

Взаи. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

							05-РП-20-У-КР.РР	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			

железобетонных перекрытий, работающих совместно. Диафрагмы жесткости обеспечивают необходимую жесткость здания в обоих направлениях.

В результате принятых технических решений и выбранной пространственной схемы обеспечивается необходимая прочность, устойчивость и пространственная неизменяемость зданий.

Уровень ответственности зданий и сооружений.

Уровень ответственности здания – КС2 (нормальный) по ГОСТ 27751-2014.

В расчетах учитывался коэффициент надежности по ответственности $\gamma_n = 1,0$.

4 КОНСТРУКТИВНАЯ СХЕМА ЗДАНИЯ

Особенностью данного проекта жилого дома является использование сборно-монолитного каркаса.

1. Колонны каркаса сечением 300x300мм, 300x600мм индивидуального изготовления. Класс бетона по прочности на сжатие от В30 F75 до В40 F75 (по расчету). Колонны армированы стержневой арматурой класса А500С по ГОСТ 34028-2016 диаметром 16...36 мм. В местах примыкания ригелей и перекрытий тело колонны лишено бетона для пропуска дополнительной арматуры ригелей через тело колонны, посредством чего образуется жесткий узел сопряжения ригеля с колонной. Колонны между собой соединяются с помощью «штепсельного» стыка: стержневые выпуски вышестоящей колонны заводятся в заранее подготовленные отверстия диаметром 50мм в колонне, глубиной 600мм и крепятся на полимеррастворе. Стыковка колонны производится на 1/2 высоты этажа в зоне наименьших изгибающих моментов. Расчет контактных швов (в случае частичного обрыва арматуры) производится согласно «Рекомендации по проектированию контактных стыков с обрывом арматуры в железобетонных колоннах многоэтажных зданий» НИИЖБ ГОССТРОЯ СССР. Москва 1985г. Соединение колонн с фундаментами – жесткое с установкой колонны в стакан фундамента с последующим омоноличиванием.

2. Ригели. Сборно-монолитные железобетонные ригели таврового сечения с полкой внизу 300x470x250(h), состоящих из сборной железобетонной детали и монолитного железобетонного пояса. Сборная часть ригеля предварительно-напряженная из бетона класса В30, армированная канатами К7 (d12). Для обеспечения сцепления сборной части с монолитным бетоном предусмотрены арматурные выпуски хомутов. После монтажа плит перекрытий во внутреннее пространство, образованное сборной частью и торцами плит, устанавливают рабочую арматуру класса А500С диаметром 16 мм - 20мм внизу, 16-36 мм в верхней зоне ригеля в виде отдельных стержней, обеспечивающей связь ригеля с колонной. Затем производится укладка тяжелого бетона класса В30 (В40) совместно с полостью колонны.

Инва. № подл.	Подп. и дата	Взаи. инв. №
---------------	--------------	--------------

						05-РП-20-У-КР.РР	Лист
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

3. Наружные стены подвала.

Необходимые сведения описываются при привязке объекта.

4. Ограждающие конструкции выше отметки нуля выполнены из кирпичной кладки толщиной 380мм. Поверх кладки снаружи крепится утеплитель и конструкция фасада.

5. Шахты лифтов - сборные железобетонные панели толщиной 140мм, бетон класса В25 F75.

6. Перегородки межкомнатные, межквартирные, санузлов – кирпичные, толщиной 120 и 250мм.

7. Перекрытия сборные железобетонные предварительно-напряженные многопустотные плиты перекрытия типа ПБ толщиной 220мм и шириной 1000мм, 1200мм, 1500мм по ГОСТ 9561-2016. Класс бетона для перекрытий – В30 (В40) F75. Плиты перекрытия принимаются по несущей способности от 800 кг/м² без учета собственного веса в зависимости от действующей нагрузки.

8. Лестницы выполняются из сборных железобетонных маршей по серии 1.151.1-7, а также применяются сборные железобетонные площадки и балки индивидуального изготовления. Лестница для выхода в машинное помещение и кровлю выполняется металлическими ступенями по стальным косоурам.

9. Диафрагмы жесткости первого этажа и выше – сборные железобетонные панели толщиной 160мм, бетон класса В25 F75 (В30 F75). В местах опирания плит перекрытий панели диафрагмы жесткости имеют консоли. Крепление панелей к колоннам и между собой осуществляется с помощью монолитной железобетонной шпонки. Петлевые выпуски панелей соединяются перепуском с приваренными петлями к закладной колонне, пропущенными внутри петель дополнительной вертикальной арматуры и омоноличиванием бетоном класса В25 (В30). В подвале – монолитные элементы диафрагм жесткости, толщиной 200 и 160мм.

10. Фундаменты.

Необходимые сведения описываются при привязке объекта.

Пространственная жесткость и устойчивость, восприятие горизонтальных нагрузок обеспечиваются рамами с жесткими узлами, образуемыми колоннами и ригелями, а также создания жесткого диска перекрытий путем замоноличивания стыков и наличия монолитных участков. Горизонтальные нагрузки передаются на рамы каркаса через диски сборных железобетонных перекрытий, работающих совместно.

Жесткость узлов каркаса обеспечивается пропуском горизонтальной арматуры через тело колонны с последующим омоноличиванием. Класс бетона омоноличивания принимается не менее класса принятого для бетона колонн.

Инв. № подл.	Взаи. инв. №
	Подп. и дата

							05-РП-20-У-КР.РР	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			

Соединения сборных многопустотных плит типа ПБ по торцам с монолитной частью ригеля осуществляется посредством шпонок. Шпонки образуются за счет захождения монолитного бетона при обетонировании ригеля в открытые пустоты плит на 300 мм до ограничивающих заглушек из пенополистирола или специальных пластиковых заглушек. Бетонирование необходимо вести полностью заполняя просечку колонны, лоткообразную часть ригеля и внутреннее пространство, образованное ригелем и торцами плит.

Необходимая прочность, устойчивость и пространственная неизменяемость здания обеспечивается принятыми техническими решениями, а также статическими расчетами пространственной расчетной модели здания по МКЭ (метод конечных элементов) в программном комплексе STARK_ES и конструктивными расчетами по подбору сечений элементов и их армирования.

5 РАСЧЁТНАЯ МОДЕЛЬ ЗДАНИЯ

Расчетная модель здания представляет собой пространственную систему, отражающую геометрию здания и физико-механические характеристики его несущих элементов на основе применения МКЭ.

Каркас здания рассматривается как пластинчато-стержневая система с дискретными связями. Несущими элементами каркаса являются колонны и жестко связанные с ними диски перекрытий, жесткостные и геометрические характеристики которых постоянны по длине.

Параметры МКЭ определены из геометрических соображений, класса бетона, законов работы материала в упругой стадии.

В расчетную схему включены следующие типы конечных элементов: 3D стержневые элементы, изгибно-плосконапряженный конечный элемент (оболочка), объемный элемент грунтового основания.

Модель здания составлена в виде пространственной расчетной схемы состоящей из стержневых и плоскостных элементов. Схема – рамно-связевая.

Опираие колонн и стен на фундамент жесткое. Узлы соединения ригелей с колоннами жесткое. Соединение панелей диафрагм жесткости с колоннами жесткое. Опираие сборных плит перекрытий на полки ригеля и консоли диафрагм принято шарнирным.

Расчёт на устойчивость и перемещения здания произведён с учётом расчётных нагрузок и пониженных жесткостей элементов здания, согласно п. 6.2.8, СП 52-103-2007.

5.1 Расчётная длина колонн

Расчетные длины l_0 внецентренно сжатых элементов (колонн) приняты в соответствии с п. 8.1.17 СП 63.13330.2012, как для элементов рамной конструкции с учетом ее

Взаи. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.

								05-РП-20-У-КР.РР	Лист
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подп.	Дата				

деформированного состояния при наиболее невыгодном для данного элемента расположении нагрузки.

- $l_0=0,5l$ – для элементов с несмещаемыми заделками на двух концах, жесткими (без поворота), прием в запас - $l_0=0,8l$ – для элементов с несмещаемыми заделками на двух концах, податливыми (с ограниченным поворотом);

-где l - расстояние между центрами узлов

При расчете по прочности бетонных и железобетонных элементов на действие сжимающей продольной силы в расчете учитывается случайный эксцентриситет e_a , принимаемый не менее: 1/600 длины элемента или расстояния между его сечениями, закрепленными от смещения; 1/30 высоты сечения; 10 мм.

5.2 Защитный слой

Защитный слой бетона для продольной рабочей арматуры до поверхности стержня, принят не менее диаметра стержня и не менее:

- в плитах и стенках толщиной свыше 100 мм - 20 мм.;
- в колоннах - 35 мм.;
- в фундаментах монолитных при наличии бетонной подготовки - 40 мм.

5.3 Расчетные и нормативные характеристики бетона и арматуры

Расчетные и нормативные характеристики для бетона и арматуры класса А500С принимались согласно СП 63.13330.2012, $R_s=435\text{МПа}$, $R_{s,c}=400\text{МПа}$, $R_{s,n}=500\text{МПа}$. Расчетное сопротивление поперечной арматуры (хомутов и отогнутых стержней) $R_{sw}=300\text{МПа}$.

Согласно п.6.1.12 СП 63.13330.2012, расчетные значения прочностных характеристик бетона для предельных состояний первой группы снижаются путем умножения на соответствующие коэффициенты условий работы γ_{bi} , учитывающие особенности работы бетона в конструкции (характер нагрузки, условия окружающей среды и т.д.):

- $\gamma_{b1}=0,9$ коэффициент условия работы, учитывающий длительное действие нагрузки;
- $\gamma_{b3}=0,85$ коэффициент условия работы, для конструкции, бетонируемых в вертикальном положении при высоте слоя бетонирования свыше 1,5м.

Для тяжелого бетона кл. В25: расчетное сопротивление бетона $R_b=14,5\text{МПа}$, нормативное сопротивление бетона $R_{b,n}=18,5\text{МПа}$. Для тяжелого бетона кл. В30: расчетное сопротивление бетона $R_b=17\text{МПа}$, нормативное сопротивление бетона $R_{b,n}=22\text{МПа}$. Для тяжелого бетона кл. В40: расчетное сопротивление бетона $R_b=22\text{МПа}$, нормативное сопротивление бетона $R_{b,n}=29\text{МПа}$.

Инд. № подл.
Подп. и дата
Взаи. инв. №

						05-РП-20-У-КР.РР	Лист
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

5.4 Нагрузки

Нагрузки и воздействия и их расчетные сочетания приняты согласно СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» (актуализированный СНиП 2.01.07-85*).

Постоянные нагрузки определены в соответствии с объемно-планировочными, архитектурными и конструктивными решениями, удельными весами материалов.

Нагрузками на схему являются собственный вес конструкций (перекрытий, стен), временная нагрузка на перекрытия, нагрузка от снега и ветра.

Таблица 1. Сбор нагрузок, кН/м² (кроме оговоренных)

Вид нагрузки	Нормативное значение	Коэф. надежн. по нагрузке, γ_f	Расчетное значение
Постоянные нагрузки			
Собственный вес несущих ЖБ конструкции, кН/м³	25	1,1	<u>27,5</u>
- конструкция полов 1-9 этажей ЦПС+чистовая отделка - 0,09м $\gamma=18\text{кН/м}^3$	1,62	1,1	1,78
- конструкция полов балконов и межэтажных лестничных площадок ЦПС+чистовая отделка - 0,05м $\gamma=18\text{кН/м}^3$	0,9	1,1	≈1,0
- конструкция пола чердака Бетонный пол 0,05м $\gamma=25\text{кН/м}^3$; Утеплитель пенополистирол 0,1м, $\gamma=0,35\text{кН/м}^3$; Пароизоляция 0,005м $\gamma=18\text{кН/м}^3$	1,37	1,11	1,52
- конструкция пола машинного помещения ЦПС - 0,05м $\gamma=18\text{кН/м}^3$	0,9	1,1	≈1,0
- конструкция кровли (покрытие) Кровельный ковер 3 слоя Унифлекс, пароизоляция, итого 0,015м $\gamma=18\text{кН/м}^3$; ЦПС 0,03 $\gamma=18\text{кН/м}^3$; Утеплитель пенополистирол 0,1м, $\gamma=0,35\text{кН/м}^3$; Теплоизоляционный слой (керамзитовый гравии) 0,2м $\gamma=4\text{кН/м}^3$;	1,65	1,2	<u>1,98</u>
- конструкция кровли над машинным помещением Кровельный ковер 3 слоя Унифлекс, пароизоляция, итого 0,015м $\gamma=18\text{кН/м}^3$; ЦПС 0,03 $\gamma=18\text{кН/м}^3$; Утеплитель пенополистирол 0,18м, $\gamma=0,35\text{кН/м}^3$; Теплоизоляционный слой (керамзитовый гравии) 0,2м $\gamma=4\text{кН/м}^3$;	1,67	1,2	<u>2,0</u>
- наружное ограждение Кирпичная кладка 0,38м $\gamma=18\text{кН/м}^3$; Утеплитель пенополистирол 0,12м, $\gamma=0,25\text{кН/м}^3$; Штукатурка с внутренней стороны 0,02м $\gamma=18\text{кН/м}^3$; Базовый штукатурный слой Ceresit СТ 190 MW Flex – 0,003м $\gamma=18\text{кН/м}^3$; Декор. штукатурка Ceresit СТ 35 – 0,005м $\gamma=18\text{кН/м}^3$ Итого, кН/м ² :	7,37	≈1,1	8,12

Инд. № подл.	Подп. и дата	Взаим. инв. №

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подп.	Дата	05-ПП-20-У-КР.РР	Лист

<p>А) Высота стены для 1...9 этажей с учетом выступающей сборной части ригеля $H_{ст}=3,0м-0,22-0,25=2,53м$ и с учетом коэффициента проемности $K=0,75$ кН/п.м 15,4</p> <p>Б) Для торцевых стен 1...9 этажей без коэффициента проемности $K=0,75$ кН/п.м 20,54</p> <p>В) Для стен чердака, $H_{ст}=1,71м$ и без коэффициента проемности кН/п.м 13,88</p> <p>Нагрузка задана в виде линейной равномерно-распределённой согласно планам чертежей марки АР</p>			
<p>-наружное ограждение стен машинного помещения Кирпичная кладка 0,25м $\gamma=18кН/м3$; Утеплитель пенополистирол 0,12м, $\gamma=0,25кН/м3$; Штукатурка с внутренней стороны 0,02м $\gamma=18кН/м3$; Базовый штукатурный слой Ceresit СТ 190 MW Flex – 0,003м $\gamma=18кН/м3$; Декор. штукатурка Ceresit СТ 35 – 0,005м $\gamma=18кН/м3$ Итого, кН/м2: 5,03 $H_{ст}=2,3м$ кН/п.м</p> <p>Нагрузка задана в виде линейной равномерно-распределённой согласно планам чертежей марки АР</p>	5,03	≈1,1	5,54 12,74
<p>- вес перегородок 1...9 этажа А) Межквартирная перегородка. Кирпичная кладка 0,25м $\gamma=18кН/м3$; штукатурка с двух сторон 0,04м $\gamma=18кН/м3$ Итого, кН/м2: 5,22 Высота стены этажа $H_{ст}=2,78м$ кН/п.м</p> <p>Б) Перегородка санузлов и вентблоков. Кирпичная кладка 0,12м $\gamma=18кН/м3$; штукатурка с двух сторон 0,04м $\gamma=18кН/м3$ Итого, кН/м2: 2,88 Высота стены этажа $H_{ст}=2,78м$ кН/п.м</p> <p>Б) Перегородка межкомнатная. Пазогребневая гипсовая 0,1м $\gamma=13,5кН/м3$; затирка с двух сторон 0,02м $\gamma=18кН/м3$ Итого, кН/м2: 1,71 Высота стены этажа $H_{ст}=2,78м$ кН/п.м</p> <p>Нагрузка задана в виде линейной равномерно-распределённой согласно планам чертежей марки АР</p>	5,22 2,88 1,71	1,1 1,1 ≈1,17	5,74 15,96 3,17 8,81 2,0 5,56
<p>- вес перегородок вентблоков чердака Б) Перегородки вентблоков. Кирпичная кладка 0,12м $\gamma=18кН/м3$; штукатурка с одной стороны 0,02м $\gamma=18кН/м3$ Итого, кН/м2: 2,52 Высота стены этажа $H_{ст}=1,96м$ кН/п.м</p>	2,52	1,1	2,77 5,45
<p>- вес перегородок вентблоков на кровле Б) Перегородки вентблоков. Кирпичная кладка 0,12м $\gamma=18кН/м3$; штукатурка с одной стороны 0,02м $\gamma=18кН/м3$; утеплитель пенополистирол 0,12м, $\gamma=0,25кН/м3$;</p>	2,55	1,1	2,81

Взаи. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.
--------------	--------------	--------------

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подп.	Дата
------	--------	------	--------	-------	------

05-РП-20-У-КР.РР

Лист

Высота стены $H_{ст}=2,0\text{м}$	Итого, кН/м2: кН/п.м			<u>5,62</u>
Затирка стен диафрагм жесткостей по 0,01м с каждой стороны (итого 0,02м) $\gamma=18\text{кН/м}^3$;		0,36	1,1	0,39
- ограждения балконов: А) Перегородка, расположенная вдоль балкона. Кирпичная кладка 0,12м $\gamma=18\text{кН/м}^3$; штукатурка с двух сторон 0,04м $\gamma=18\text{кН/м}^3$; остекление Высота стены $H_{ст}=1,3\text{м}$ кН/п.м		3,9	1,1	<u>4,3</u>
Б) Перегородка, расположенная по торцам балкона и межквартирная балконная. Кирпичная кладка 0,25м $\gamma=18\text{кН/м}^3$; штукатурка с двух сторон 0,04м $\gamma=18\text{кН/м}^3$; Высота стены $H_{ст}=2,78\text{м}$ кН/п.м		14,51	1,1	<u>15,96</u>
-парапет Кирпичная кладка 0,38м $\gamma=18\text{кН/м}^3$; Утеплитель пенополистирол 0,12м, $\gamma=0,25\text{кН/м}^3$; Базовый штукатурный слой Ceresit СТ 190 MW Flex – 0,003м $\gamma=18\text{кН/м}^3$; Декор. штукатурка Ceresit СТ 35 – 0,005м $\gamma=18\text{кН/м}^3$ Итого, кН/м2: Высота парапета $h=0,8\text{м}$ кН/п.м		7,01	$\approx 1,1$	<u>7,72</u> <u>9,57</u>
-парапет над балконами, парапет над машинным отделением Кирпичная кладка 0,25м $\gamma=18\text{кН/м}^3$; Базовый штукатурный слой Ceresit СТ 190 MW Flex – 0,003м $\gamma=18\text{кН/м}^3$; Декор. штукатурка Ceresit СТ 35 – 0,005м $\gamma=18\text{кН/м}^3$ Итого, кН/м2: Высота парапета $h=0,8\text{м}$ кН/п.м		4,64	$\approx 1,1$	<u>5,1</u> <u>4,08</u>
Временные (кратковременные полезные) нагрузки на перекрытия				
- коридоры и л/к 1...9 этажей		3,0	1,2	3,6
- машинное помещение лифта		2,0	1,2	2,4
- жилые помещения 1...9 этажей		1,5	1,3	1,95
- чердачное помещение		0,7	1,3	0,91
Снеговая нагрузка				
Нормативное значение $S_0=C_e \cdot C_t \cdot \mu \cdot S_g$, Где: $S_g=2,5$ кН/м ² , снеговой район V, μ - коэффициенты перехода от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытие. $\mu=1$ – площадь кровли, $C_e=1$ коэф. сноса снега у перепадов высот, при наличии парапетов; $C_t=1$ термич. коэф.				
- поверхность покрытия			1,4	3,5
- снеговые мешки у парапета, с коэф-том $\mu=1,42$			1,4	$\approx 5,0$
- снеговые мешки у стен выхода на кровлю, с коэффициентом $\mu=3,0$			1,4	10,5
Ветровая нагрузка (средняя составляющая)				
Ветровой район II, $w_0=0,3$ кН/м ² , тип местности – В, коэф. надёжности $\gamma_f=1,4$; коэф. $k(z_e)=0,5 \dots 1,0$				

Взаи. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подп.	Дата

05-РП-20-У-КР.РР

Лист

$W=W_0 \cdot k \cdot C \cdot \gamma_f$			
На наветренную сторону ($C_e=0,8$), кН/м ²		1,4	0,17-0,33
На подветренную сторону ($C_i=-0,5$), кН/м ²		1,4	0,1-0,2

5.5 Комбинации нагрузжений

Комбинации

Тип MIN/MAX наложения : для комбинаций и нагрузжений

Номер	НГ-1	НГ-2	НГ-3	НГ-4	НГ-5	НГ-6	НГ-7	НГ-8	НГ-9	НГ-10	НГ-11	НГ-12
К-1	1	1	1	1	1	1	1	0,9	0,9	0	0,9	0,9
К-2	1	1	1	1	1	1	1	0,9	-0,9	0	-0,9	-0,9
К-3	1	1	1	1	1	1	1	0,9	0	0,9	0	0
К-4	1	1	1	1	1	1	1	0,9	0	-0,9	0	0
К-5	0,91	0,91	0,833	0,91	0,91	0,833	0,769	0,642	0,642	0	0,642	0,642
К-6	0,91	0,91	0,833	0,91	0,91	0,833	0,769	0,642	-0,642	0	-0,642	-0,642
К-7	0,91	0,91	0,833	0,91	0,91	0,833	0,769	0,642	0	0,642	0	0
К-8	0,91	0,91	0,833	0,91	0,91	0,833	0,769	0,642	0	-0,642	0	0

Комбинации (продолжение)

Номер	НГ-13	НГ-14	НГ-15	НГ-16
К-1	0,9	0	0	0
К-2	-0,9	0	0	0
К-3	0	0,9	0,9	0,9
К-4	0	-0,9	-0,9	-0,9
К-5	0,642	0	0	0
К-6	-0,642	0	0	0
К-7	0	0,642	0,642	0,642
К-8	0	-0,642	-0,642	-0,642

Нагружение 1 – Собственный вес конструкции;

Нагружение 2 – Постоянная, вес конструкции пола;

Нагружение 3 – Постоянная, вес конструкции кровли;

Нагружение 4 – Постоянная, вес наружного ограждения, перегородок;

Нагружение 5 – Постоянная, вес ограждения балконов, парапета;

Нагружение 6 – Полезная кратковременная (коридоры, л/к, машинное помещение лифта);

Нагружение 7 – Полезная кратковременная (жилые помещения, чердак);

Нагружение 8 – Снеговая;

Нагружение 9 – Ветер вдоль оси +X;

Нагружение 10 – Ветер вдоль оси +Y;

Нагружение 11...16 – динамические нагружения, от соответствующих статических ветровых нагружений.

Нагрузки от собственного веса конструкций (нагружение 1) учтены автоматически.

Нагружение 9, 10 статический ветер. Нагрузка приложена по торцу диска перекрытия (знакопеременное нагружение).

На схему приложены расчётные значения нагрузок.

Первая группа сопутствующих нагружений НГ-6 и НГ-7 (полезная на перекрытия).

Изн. № подл.	
Подп. и дата	
Взаим. инв. №	

						05-ПП-20-У-КР.РР	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

Первая группа взаимоисключающих нагрузке НГ-9, НГ-10 (ветер). Расчёт произведён с учётом пульсационной составляющей ветровой нагрузки.

Коэффициенты сочетания приняты программой (по умолчанию).

Перемещение системы учитывались при нормативных значениях нагрузок (комбинации К-5...К-8).

Коэффициент надёжности по ответственности $\gamma_n = 1,0$

5.6 Предельные прогибы и деформации конструкции

Расчёт по деформациям (прогибам и перемещениям) производится с учётом нормативных значений нагрузок.

Предельные вертикальные прогибы плит перекрытия для шагов колонн 6,5 м составляют:

- по конструктивным требованиям (без учёта длительности нагрузок) 40мм;
- по эстетическим требованиям (с учётом длительности нагрузок)

$$f = (1/202) \times 6500 = 32,2 \text{ мм.}$$

Предельные вертикальные прогибы плит перекрытия для шагов колонн 5,2 м составляют:

- по конструктивным требованиям (без учёта длительности нагрузок) 40мм;
- по эстетическим требованиям (с учётом длительности нагрузок)

$$f = (1/187) \times 5200 = 27,8 \text{ мм.}$$

Предельные горизонтальные перемещения каркасного здания (без учёта длительности нагрузок) $f = H/500$, где H – конструктивная высота здания (от верха фундамента до плиты покрытия $H = 31,42 \text{ м}$), $f = 31420/500 = 62,84 \text{ мм}$.

Программа автоматически вычисляет перемещения и прогибы из возможных нормативных сочетаний (комбинации) нагрузок.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взаим. инв. №

						05-РП-20-У-КР.РР	Лист
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

6 РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

6.1 Деформации, прогибы

Результирующие горизонтальные перемещения верха здания составляют $S=16,86$ мм;

Схемы перемещений представлены в Приложении 1.

6.2 Нагрузки и усилия, действующие на каркас

Общий вес здания (протокол статического расчета) см. в Приложении 1;

Армирование стен, колонн см. в Приложении 1;

Схему нагрузок на фундаменты см. графическую часть проекта;

Конструктивные расчёты ригеля см. в Приложении 2;

6.3 Устойчивость конструкции

Наименьший коэффициент запаса потери устойчивости равен $R_{cr}=10,02 \geq 2$. Условие выполнено.

Деформации здания и его конструкций не превышают нормативных значений.

Несущая способность, жёсткость и устойчивость элементов каркаса и каркаса в целом обеспечена.

При разработке рабочей документации для обеспечения несущей способности и эксплуатационной надежности конструкций здания, их армирование следует принять в соответствии с расчетом, представленном в Приложениях к настоящему отчёту.

Изнв. № подл.	Подп. и дата	Взаим. изнв. №

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подп.	Дата

05-РП-20-У-КР.РР

Лист

7 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ И ЛИТЕРАТУРА

Расчет производился в соответствии с действующими нормативными и нормативно-методическими документами:

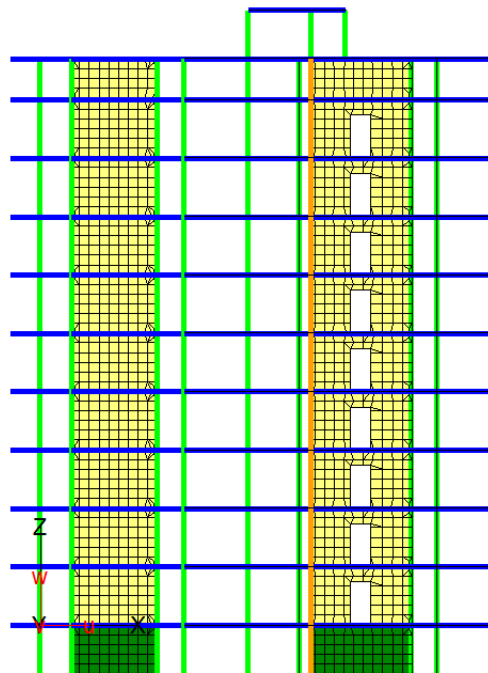
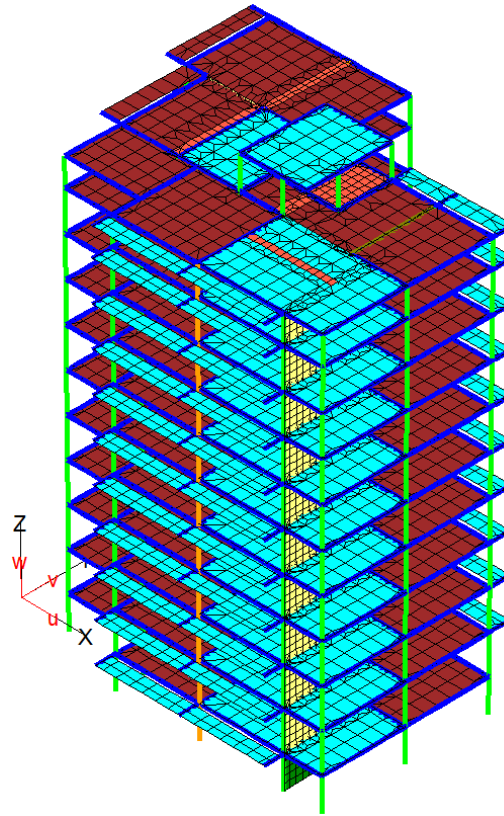
- СП 20.13330.2016 “ Нагрузки и воздействия”;
- СП 63.13330.2012 “Бетонные и железобетонные конструкции”;
- СП 15.13330.2012 “Каменные и армокаменные конструкции”;
- СП 70.13330.2012 “Несущие и ограждающие конструкции”;
- СП 54.13330.2011 “Здания жилые многоквартирные”;
- СП 52-103-2007 “Железобетонные монолитные конструкции зданий”;
- СП 28.13330.2017 “Защита строительных конструкций от коррозии”;
- СП 2.13130.2009 “Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты”;
- СТО 36554501-006-2006 “Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций”;
- Федеральный закон от 30.12.2009 N 384-ФЗ;
- ГОСТ 27751-2014 “Надежность строительных конструкций и оснований”.
- Симбиркин В.Н., Курнавина С.О. Статический и динамический расчет железобетонных монолитных каркасов зданий с помощью программного комплекса STARK ES. Учебное пособие/ Под. ред. Назарова Ю.П. – Москва: ФГУП «НИЦ «Строительство», ООО «ЕВРОСОФТ», 2009. – 158 с.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взаи. инв. №							05-РП-20-У-КР.РР	Лист
			Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

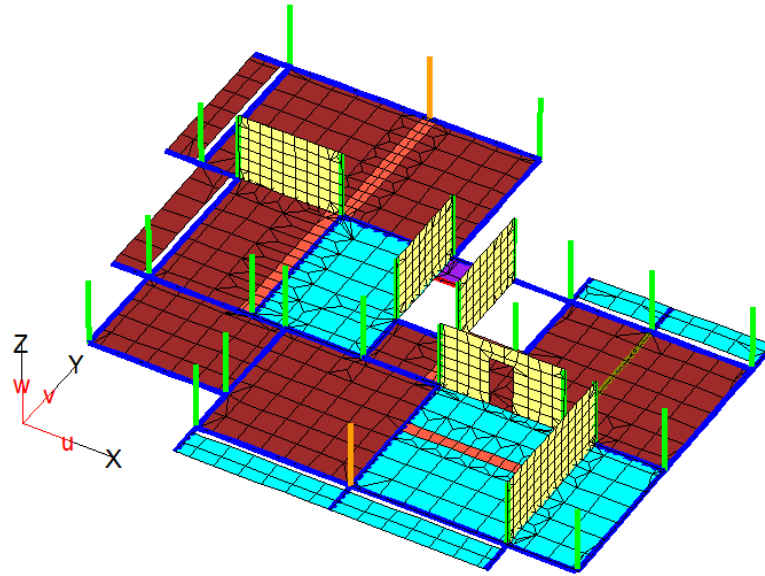
Приложение 1. Общие результаты расчётов

РАСЧЁТНАЯ СХЕМА ЗДАНИЯ

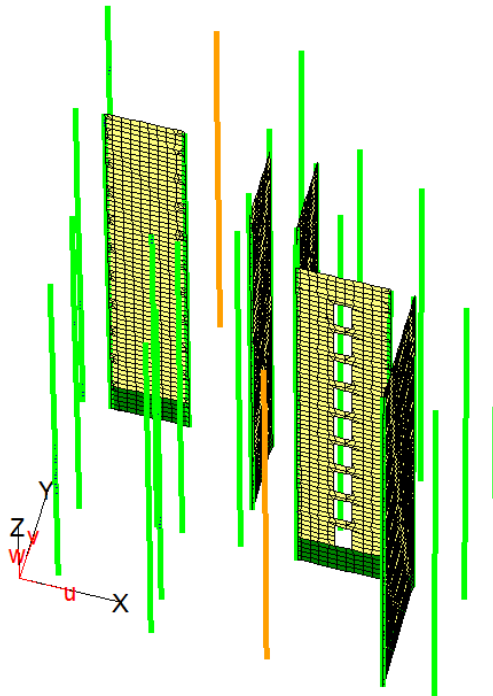
Общий вид расчетной схемы здания



Конструкции типового этажа

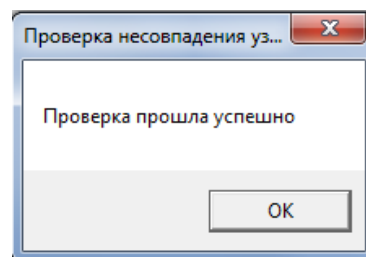
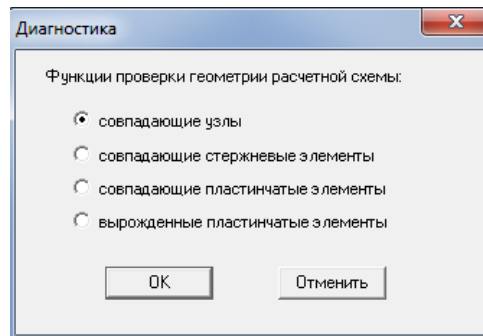


Вертикальные несущие элементы здания



КОНТРОЛЬ РАСЧЁТНОЙ СХЕМЫ

Выполнена диагностика расчётной схемы по корректности построения и расположения КЭ.



По всем пунктам проверка прошла успешна. Отсутствуют совпадающие узлы, стержни, пластинчатые элементы.

МАТЕРИАЛЫ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО ПРОЕКТА

Материал конструкций сооружения принят линейно-упругим и нелинейно-упругим. В линейно-упругих моделях физическая нелинейность работы железобетонных конструкций учтена приближенным образом. При статическом расчете усилий в элементах здания жесткость железобетонных конструкций определена с использованием понижающих коэффициентов 0.6 и 0.3, вводимых согласно рекомендации СП 52-103-2007 к начальному модулю деформации бетона преимущественно сжатых и преимущественно изгибаемых элементов соответственно. При динамическом расчете жесткость железобетонных конструкций здания принята равной их начальной жесткости.

МАТЕРИАЛЫ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО ПРОЕКТА

--МАТЕРИАЛЫ 3D-стержней

No.	A [м2]	As [м2]	At [м2]	Ir [м4]	Is [м4]	It [м4]	E [кН/м2]	G [кН/м2]	Rho [т/м3]
1	0.06600	0.00000	0.00000	0.000585	0.000495	0.000266	9e+006	1.25e+007	2.75
2	0.09000	0.00000	0.00000	0.00114	0.000675	0.000675	1.8e+007	1.25e+007	2.75
3	0.09600	0.00000	0.00000	0.00129	0.00072	0.000819	3e+007	1.25e+007	2.75
4	0.10800	0.00000	0.00000	0.00097	0.000624	0.00179	1.2e+007	1.25e+007	2.75
5	0.18000	0.00000	0.00000	0.00371	0.0054	0.00135	1.8e+007	1.25e+007	2.75

A - площадь поперечного сечения Ir - момент инерции отн. OR

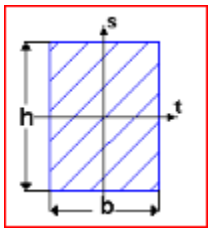
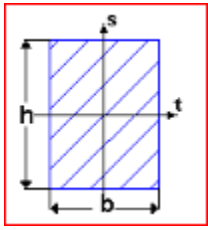
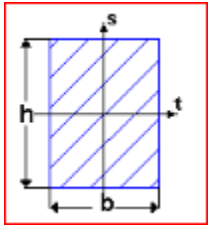
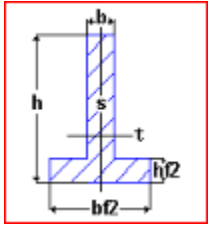
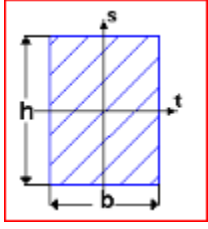
As - сдвиговая площадь в напр.OS Is - момент инерции отн. OS

At - сдвиговая площадь в напр.OT It - момент инерции отн. OT

E - модуль упругости G - модуль сдвига

Rho - плотность материала

--СЕЧЕНИЯ СТЕРЖНЕЙ

No.	Форма сечения	Размеры, см / Имя сечения
1		b = 30.00 h = 22.00 Угол = 0.00[°]
2		b = 30.00 h = 30.00 Угол = 0.00[°]
3		b = 30.00 h = 32.00 Угол = 0.00[°]
4		b = 15.00 h = 47.00 bf2 = 0.00 hf2 = 0.00 Угол = 0.00[°]
5		b = 60.00 h = 30.00 Угол = 0.00[°]

--ИЗОТРОПНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

No.	d [м]	E [кН/м2]	Mue	Rho [т/м3]
6	0.09	3e+007	0.2	2.75
7	0.16	1.8e+007	0.2	2.75
8	0.2	1.8e+007	0.2	2.75
9	0.22	9e+006	0.2	2.75

d - толщина Rho - плотность материала
 E - модуль упругости Mue - коэффициент Пуассона

Проект 05-РП-20-У-КР.РР.П1	Стр. 5
Прим. Город Нефтекамск. Угловая секция 9эт.	Файл Ugl1.fea
Дата 05.2020	Программа STARK_ES 2020
	Выполнил Гельрот А.В.

--ОРТОТРОПНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

No.	d [м]	E1 [кН/м2]	E2 [кН/м2]	Mue1	Rho [т/м3]	Alpha	fss	fdp	fSb	fP1
10	0.220	3e+007	3e+003	0.200	1.54	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11	0.220	3e+007	3e+003	0.200	1.54	90.000	0.000	0.000	0.000	0.000

d - толщина Rho - плотность материала
E1,E2 - модули упругости Mue1 - коэффициент Пуассона
Alpha - угол ориентации осей X1,Y1 относительно глобальных осей X,Y

ВЕДОМОСТИ МАТЕРИАЛОВ

--ВЕДОМОСТЬ МАТЕРИАЛОВ СТЕРЖНЕЙ

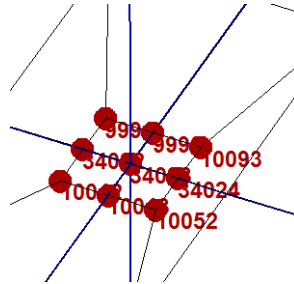
No.	Количество элементов	Суммарная длина[м]	Суммарный объем[м3]	Суммарная масса[т]
1	99	71.500	4.719	12.977
2	876	836.600	75.294	207.059
3	18	23.400	2.246	6.178
4	2921	1660.650	179.350	493.213
5	30	63.200	11.376	31.284
ИТОГО:	3944	2655.350	272.986	750.710

--ВЕДОМОСТЬ МАТЕРИАЛОВ ПЛАСТИН

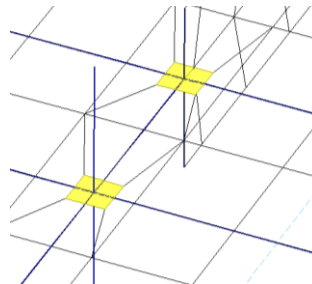
No.	Количество элементов	Суммарная площадь[м2]	Суммарный объем[м3]	Суммарная масса[т]
6	144	30.420	2.738	7.529
7	3263	694.670	111.147	305.655
8	220	50.250	10.050	27.638
9	1165	174.410	38.370	105.518
10	3099	1260.610	277.334	427.095
11	5180	2563.915	564.061	868.654
ИТОГО:	13071	4774.275	1003.701	1742.088

ОБЩАЯ МАССА ВСЕХ КОНСТРУКЦИЙ: 2492.799 т.

Моделирования сопряжения колонны с перекрытием через абсолютно твёрдые тела (по следу колонн), устанавливается автоматически при генерации сетки КЭ

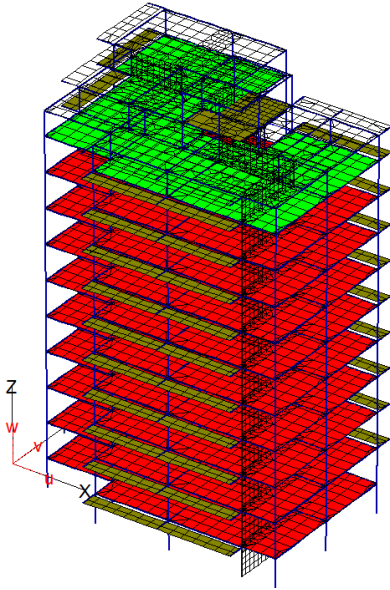


Плоскости осреднения (KNFL). Предназначены для определения групп пластин для усреднения результатов расчёта напряжений и усилий в узлах, устанавливается автоматически при генерации сетки КЭ

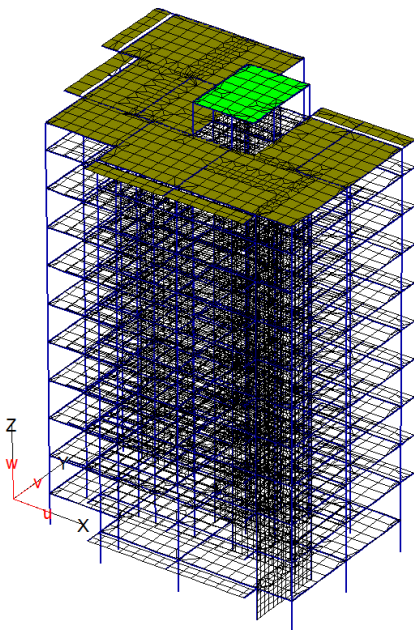


НАГРУЗКИ В СХЕМЕ

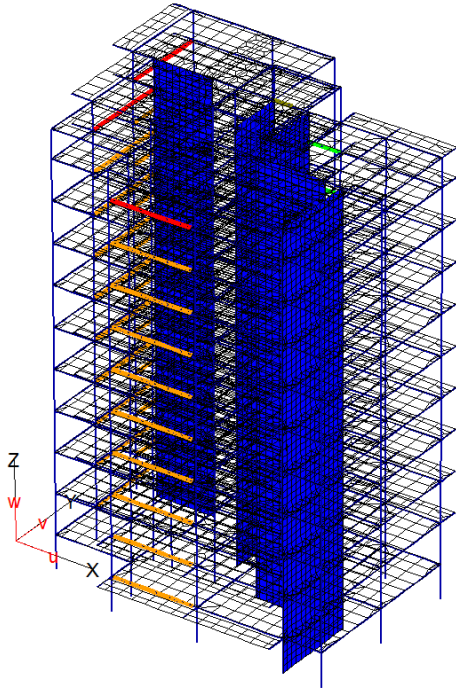
Нагружение 2, равномерно-распределенная нагрузка (Pz/t)



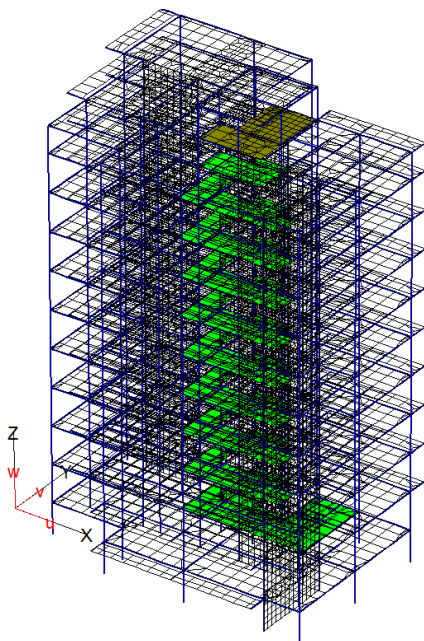
Нагружение 3, равномерно-распределенная нагрузка (Pz/t)



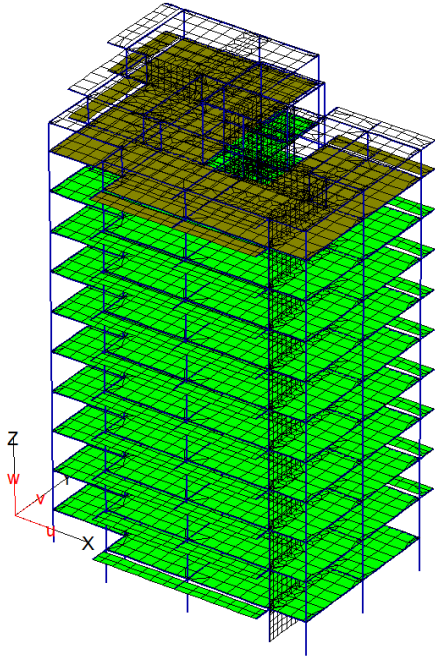
Нагружение 4, равномерно-распределенная нагрузка (Pz/t)



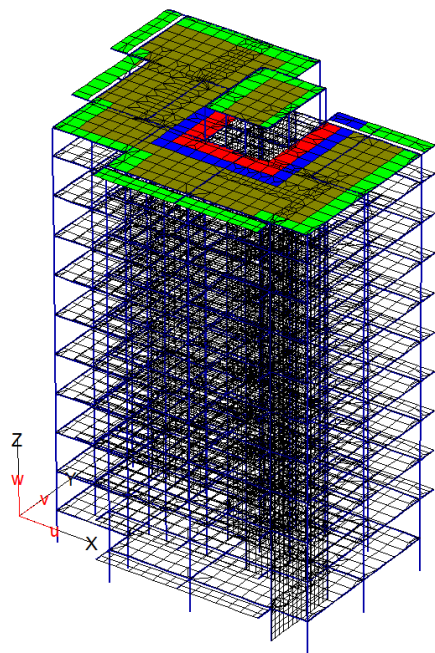
Нагружение 6, равномерно-распределенная нагрузка (Pz/t)



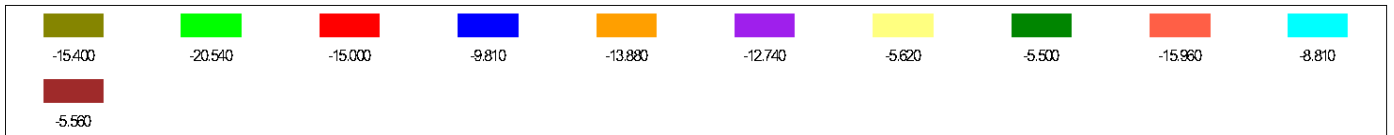
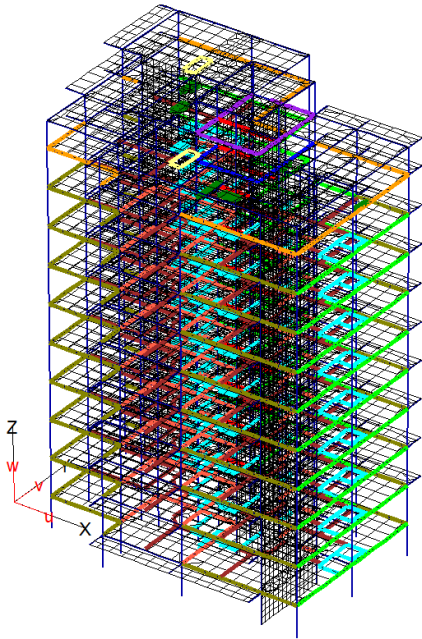
Нагружение 7, равномерно-распределенная нагрузка (Pz/t)



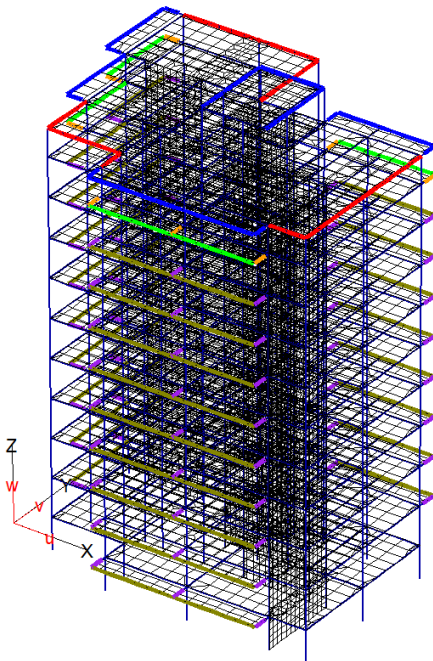
Нагружение 8, равномерно-распределенная нагрузка (Pz/t)



Нагружение 4, независимая от сетки равномерная линейная нагрузка (Pz)



Нагружение 5, независимая от сетки равномерная линейная нагрузка (Pz)



Проект 05-РП-20-У-КР.РР.П1	Стр. 11
Прим. Город Нефтекамск. Угловая секция 9эт.	Файл Ugl1.fea
Дата 05.2020	Программа STARK_ES 2020
	Выполнил Гельрот А.В.

СОБСТВЕННЫЕ ЧАСТОТЫ И ФОРМЫ КОЛЕБАНИИ ЗДАНИЯ

Собственные частоты

Форма	W рад/с	f Гц	T с
1	3.51	0.56	1.79
2	4.69	0.75	1.34
3	6.49	1.03	0.97
4	11.61	1.85	0.54
5	17.23	2.74	0.36
6	18.86	3.00	0.33

Ускорение узлов перекрытия последнего жилого этажа (отметка пола 9 этажа +24,000)

составляет:

От нагружения 9 (ветер по X) $a=0,009\text{м/с}^2 < 0,08 \text{ м/с}^2$. Условие выполнено,

От нагружения 10 (ветер по Y) $a=0,020\text{м/с}^2 < 0,08 \text{ м/с}^2$. Условие выполнено.

РАСЧЁТ НА УСТОЙЧИВОСТЬ

Расчёт выполнен с использованием понижающих коэффициентов 0.6 и 0.3, вводимых согласно рекомендации СП 52-103-2007 к начальному модулю деформации бетона преимущественно сжатых и преимущественно изгибаемых элементов соответственно.

Критические числа

Комб.	Форма	Pcr
1	1	10.17
	2	10.91
	3	12.12
2	1	10.02
	2	10.80
	3	12.21
3	1	10.31
	2	11.08
	3	12.43
4	1	10.13
	2	10.91
	3	12.28

Минимальное значение критической силы $P_{cr}=10,02 > 2$ от комбинации 2, форма 1. Условие выполнено.

ПРОТОКОЛ СТАТИЧЕСКОГО РАСЧЁТА

```

Решатель           : YESolver x64
Версия             : 1.0.4.011
Проект            :
Исполнитель       :
Примечание        :
Расширенная диагностика модели : да
Точный учет элементарных шарниров : нет
Файл проекта      : ugl
Количество узлов  : 13589
Количество элементов : 17015
Тип оболочечных элементов : гибридный 1+
Осреднение с весами : да
Согласованные нагрузки : да
Количество нагружений : 16
Тип расчета       : Статический
Тип разложения    : LLt
Многопоточный расчет : да
2020-05-27 22:34:02 Построение матрицы жесткости
Размерность матрицы жесткости : 70062
МАХ/МІN диагональный элемент: 1.29e+008/1.65e+002.
Количество уравнений : 70062
Количество элементов факторизованной матрицы: 13445892
2020-05-27 22:34:07 Решение системы
2020-05-27 22:34:07 запись результатов
Общая опорная реакция, кН:

```

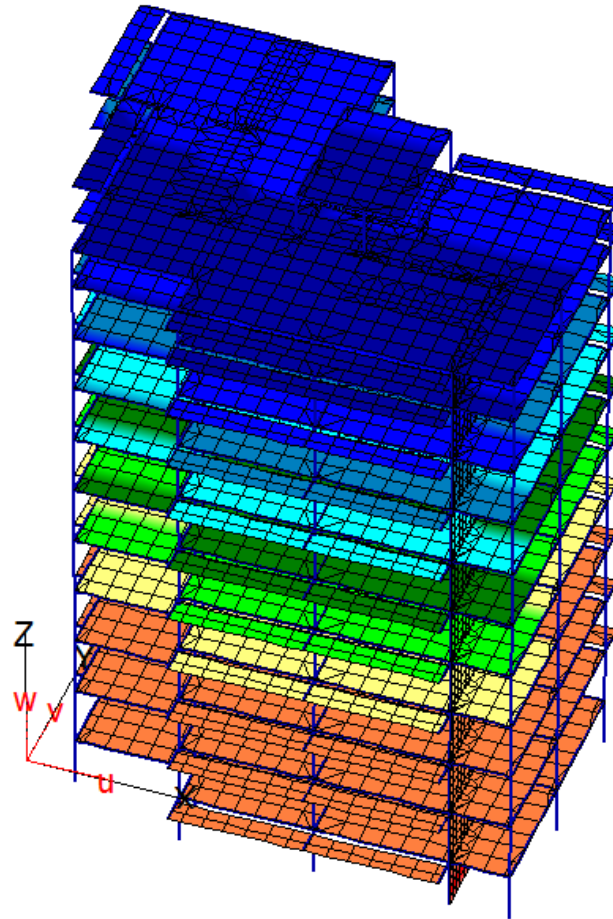
Нагружение	Rx	Ry	Pz
1	0.00	0.00	24927.99
2	0.00	0.00	6062.15
3	0.00	0.00	748.98
4	-0.00	-0.00	24823.95
5	0.00	0.00	3577.54
6	0.00	0.00	1207.82
7	0.00	0.00	6089.36
8	0.00	0.00	1826.65
9	-355.84	-0.00	-0.00
10	-0.00	-391.94	-0.00
11	-0.08	-0.54	-0.00
12	-165.71	-46.43	0.09
13	-27.88	53.56	0.16
14	-7.50	-93.22	0.02
15	-50.81	-10.52	-0.00
16	66.44	-118.06	-0.51

Расчет завершен.
Количество ошибок: 0. Количество предупреждений: 3.
Общее время расчета: 00:00:08.

ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ЗДАНИЯ

Перемещения определены с использованием понижающих коэффициентов 0.6 и 0.3, вводимых согласно рекомендации СП 52-103-2007 к начальному модулю деформации бетона преимущественно сжатых и преимущественно изгибаемых элементов соответственно

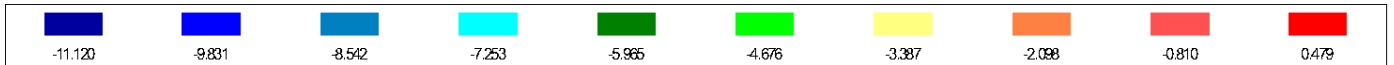
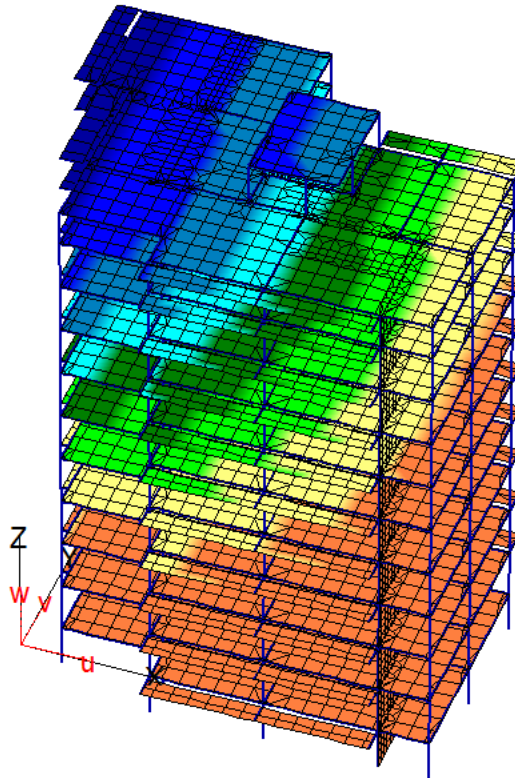
Перемещение по направлению оси -X



Max: Узел 7624, $U_x=0.256$ мм Min: Узел 13487, $U_x=-16.465$ мм

Комбинация 6

Перемещение по направлению оси +Y

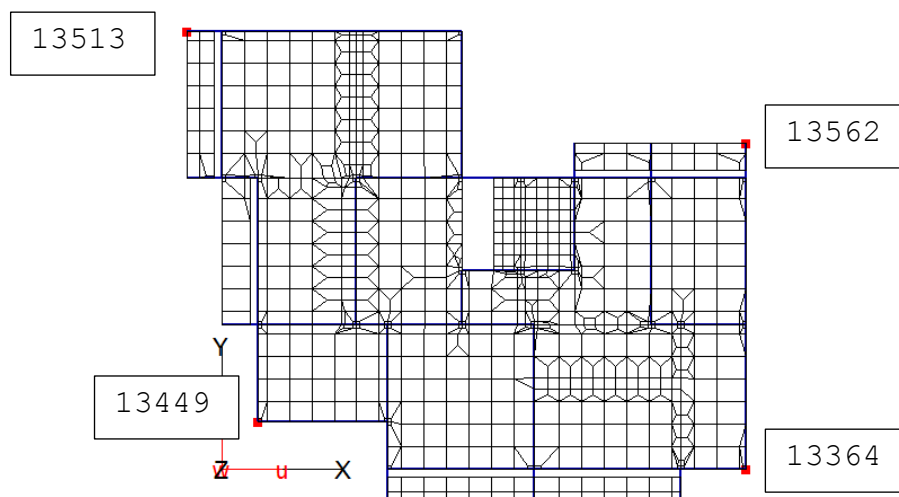


Max: Узел 7843, $U_y=0.479$ мм Min: Узел 13511, $U_y=-11.120$ мм

Комбинация 8

Суммарные горизонтальные перемещения верха здания определим по результатам табличных данных по перемещению точек покрытия.

Нумерация и расположение узлов покрытия



Перемещение узлов

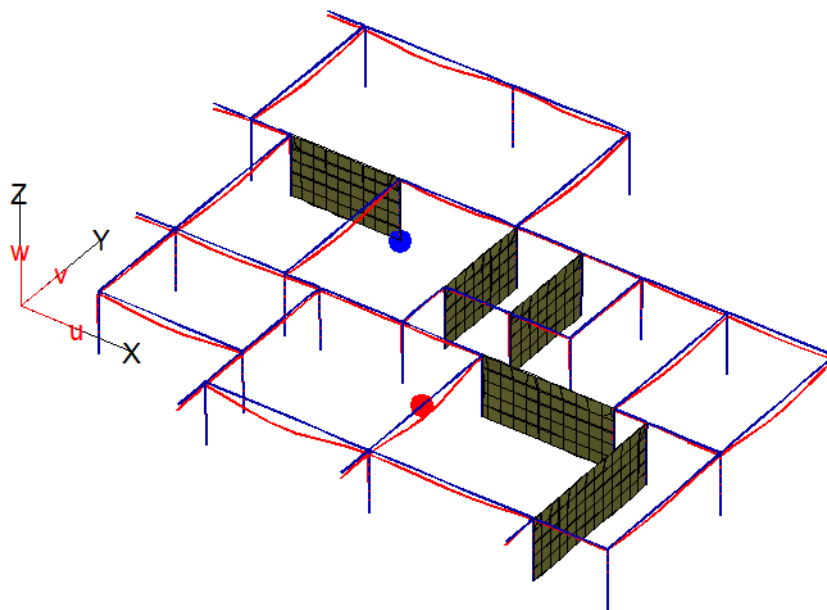
Узел	Комб.	Ux [мм]	Uy [мм]
13364	1	-2.034	2.116
	2	-19.633	-2.950
	3	-14.200	2.435
	4	-7.065	-3.298
	5	-3.384	1.443
	6	-16.226	-2.150
	7	-12.349	1.692
	8	-7.260	-2.398
13449	1	-1.507	2.164
	2	-18.859	0.926
	3	-12.221	17.894
	4	-7.821	-14.502
	5	-2.890	1.981
	6	-15.499	0.883
	7	-10.764	12.986
	8	-7.625	-10.123
13513	1	-1.474	2.280
	2	-16.149	1.555
	3	-0.289	20.158
	4	-16.739	-15.971
	5	-2.509	2.151
	6	-13.401	1.383
	7	-2.088	14.653
	8	-13.822	-11.119
13562	1	-1.169	2.130
	2	-16.461	-2.924
	3	-3.156	2.449
	4	-13.934	-3.271
	5	-2.311	1.456
	6	-13.605	-2.130
	7	-4.114	1.703
	8	-11.802	-2.377

Итого, максимальные результирующие горизонтальные перемещения составляют $S=16,86$ мм (узел 13449 комбинация 7).

Допустимые перемещения $f=N/500=31420/500=62,84$ мм, где $N=31420$ мм – конструктивная высота здания (от верха фундамента до плиты покрытия). $S=16,86\text{мм}<[67,36]\text{мм}$ условие выполнено.

РИГЕЛИ

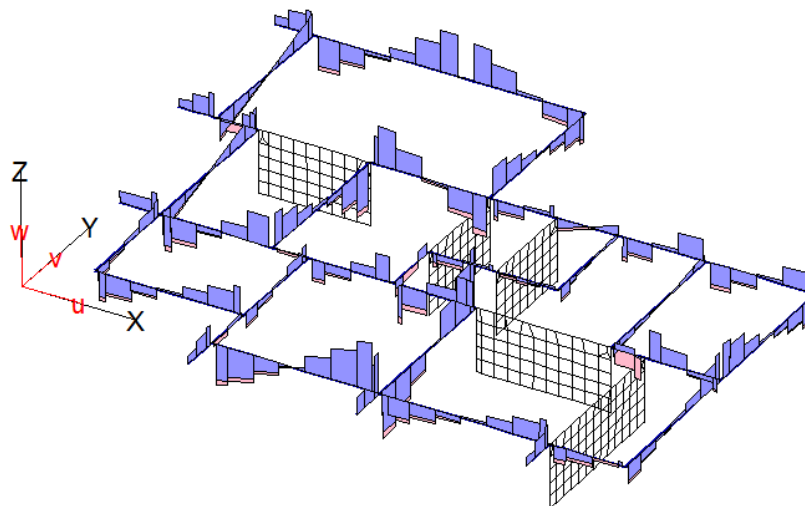
Картина прогибов ригелей



Max: Узел 7578, $U_z=0.000$ мм Min: Узел 10812, $U_z=-11.023$ мм

Комбинация 6

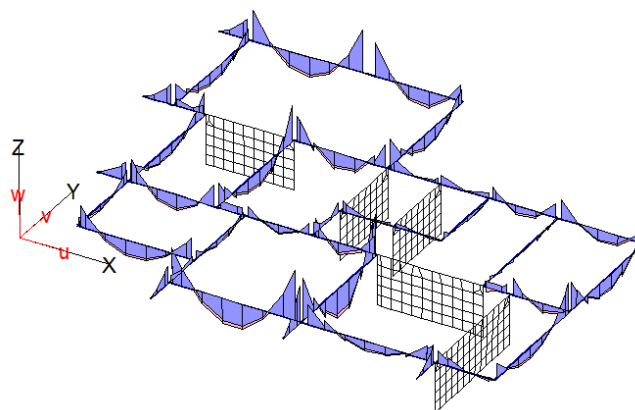
Огибающая эпюра поперечных сил



Max: $Q_s = 127.683$ кН (элемент 13541), Min: $Q_s = -169.641$ кН (элемент 13547)

MinMax наложение(комбинации)

Огибающая эпюра изгибающих моментов



Max: $M_t = 84.4879$ кНм (элемент 13545), Min: $M_t = -143.429$ кНм (элемент 13530)

MinMax наложение(комбинации)

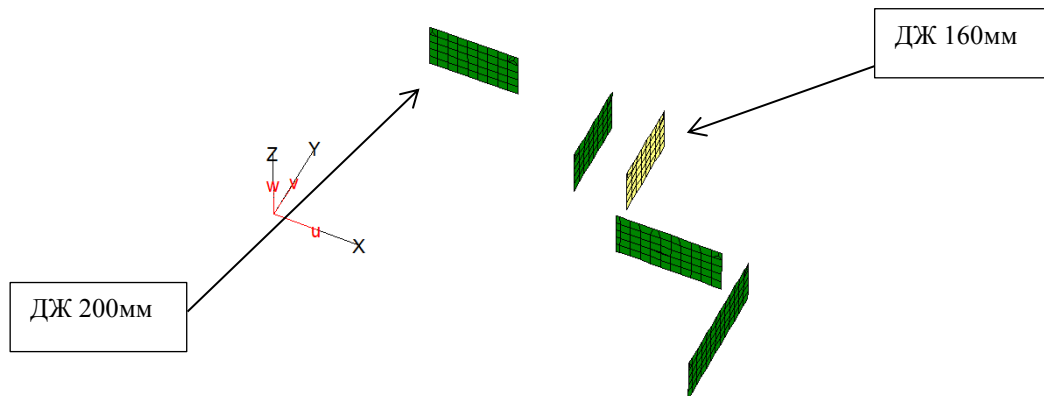
Армирование сборной части ригеля подбирается по расчётным изгибающим моментам, воспринимаемым нормальным сечением сборно-монолитного ригеля в середине пролёта.

Армирование верхней узловой опорной арматуры подбирается по расчётным изгибающим моментам, воспринимаемым нормальным сечением сборно-монолитного ригеля на опоре (с учетом трещиностойкости).

Конструктивные расчеты наиболее нагруженного ригеля см. в Приложении 2.

ДИАФРАГМЫ ЖЕСТКОСТИ

Армирование диафрагм жесткости подвала



Характеристики материала:

Тип бетона - тяжелый, класс бетона – В25, толщина стен – 200мм и 160мм.

Класс продольной арматуры А500С, класс поперечной арматуры А500С

Коэффициент условий работы бетона $G_b = 0.85$ $M_{krb} = 1.00$

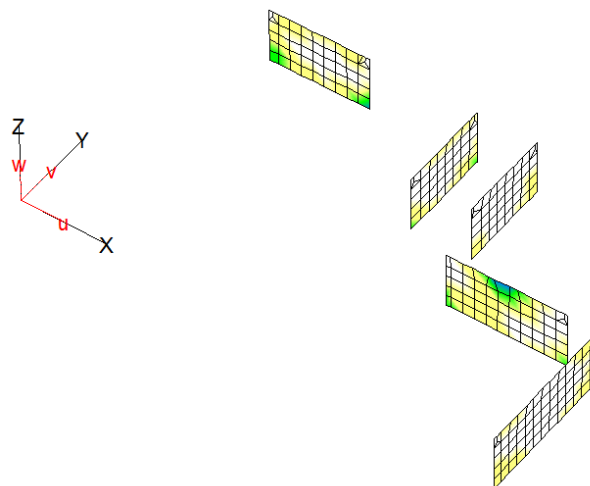
Коэффициент условий работы арматуры $G_s = 1.00$ $M_{krs} = 1.00$

Толщина защитного слоя (см):

Для горизонтальной арматуры 3,5;

Для вертикальной арматуры 4,5;

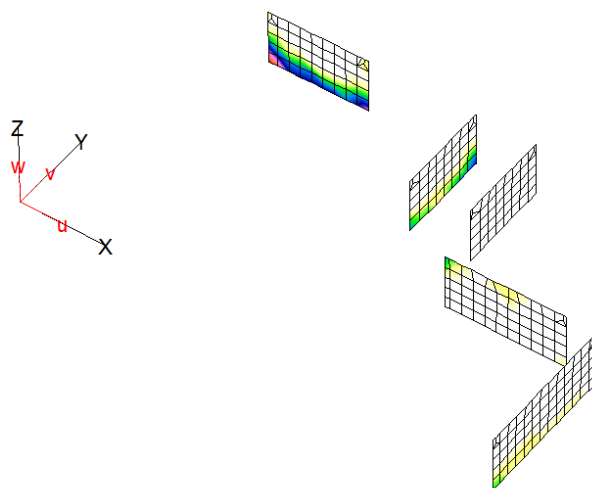
Мозаика горизонтального армирования



Min: $A_{sro} = 0$ см²/м, Max: $A_{sro} = 4.34648$ см²/м

Расчет по РСУ

Мозаика вертикального армирования



Min: $A_{so} = 0 \text{ см}^2/\text{м}$, Max: $A_{so} = 12.7482 \text{ см}^2/\text{м}$ (пик)

Расчет по РСУ

Армирование диафрагм жесткости 1-9 этажей, чердака

Характеристики материала:

Тип бетона - тяжелый, класс бетона – В25, толщина стен – 160мм.

Класс продольной арматуры А500С, класс поперечной арматуры А500С

Коэффициент условий работы бетона $G_b = 0.85$ (по монолитным соединениям) $M_{krb} = 1.00$

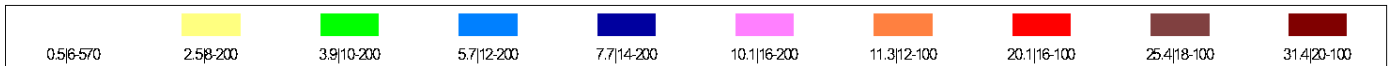
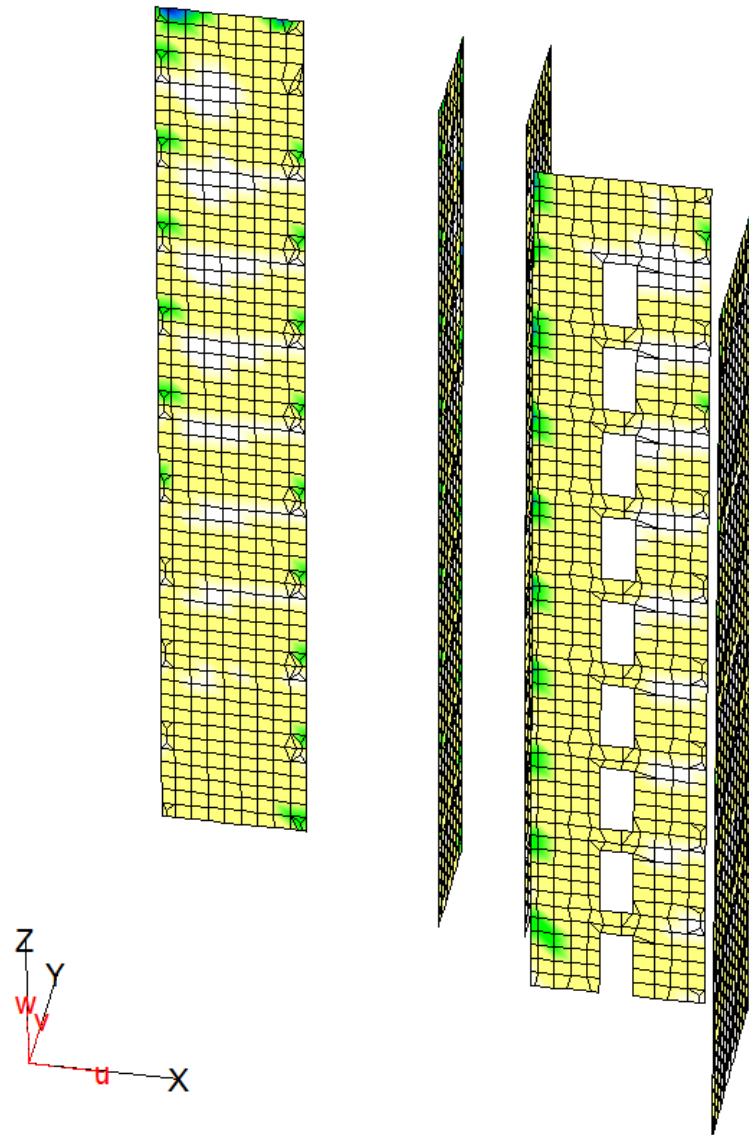
Коэффициент условий работы арматуры $G_s = 1.00$ $M_{krs} = 1.00$

Толщина защитного слоя (см):

Для горизонтальной арматуры 2,5;

Для вертикальной арматуры 3,5;

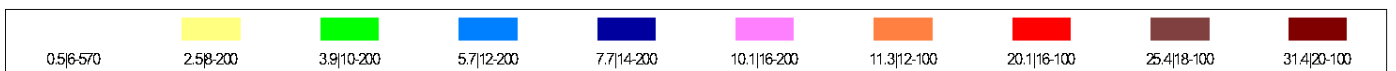
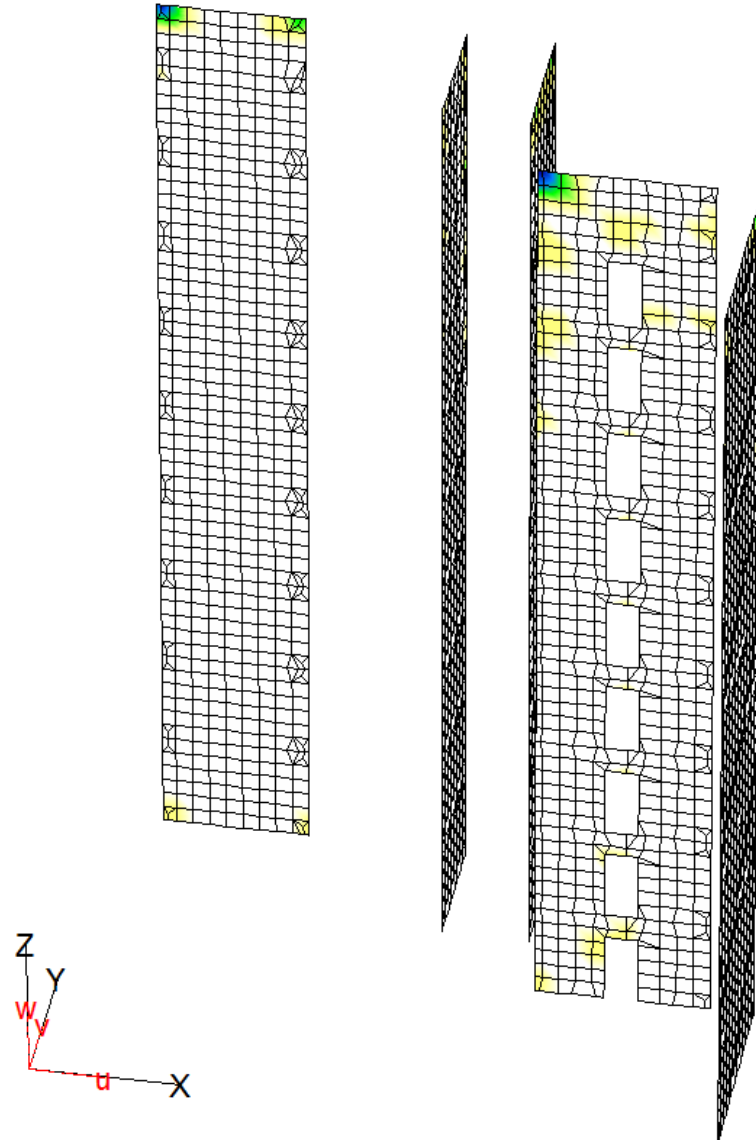
Мозаика горизонтального армирования



Min: $A_{su} = 0 \text{ см}^2/\text{м}$, Max: $A_{su} = 9.69272 \text{ см}^2/\text{м}$ (пик)

Расчет по РСУ

Мозаика вертикального армирования



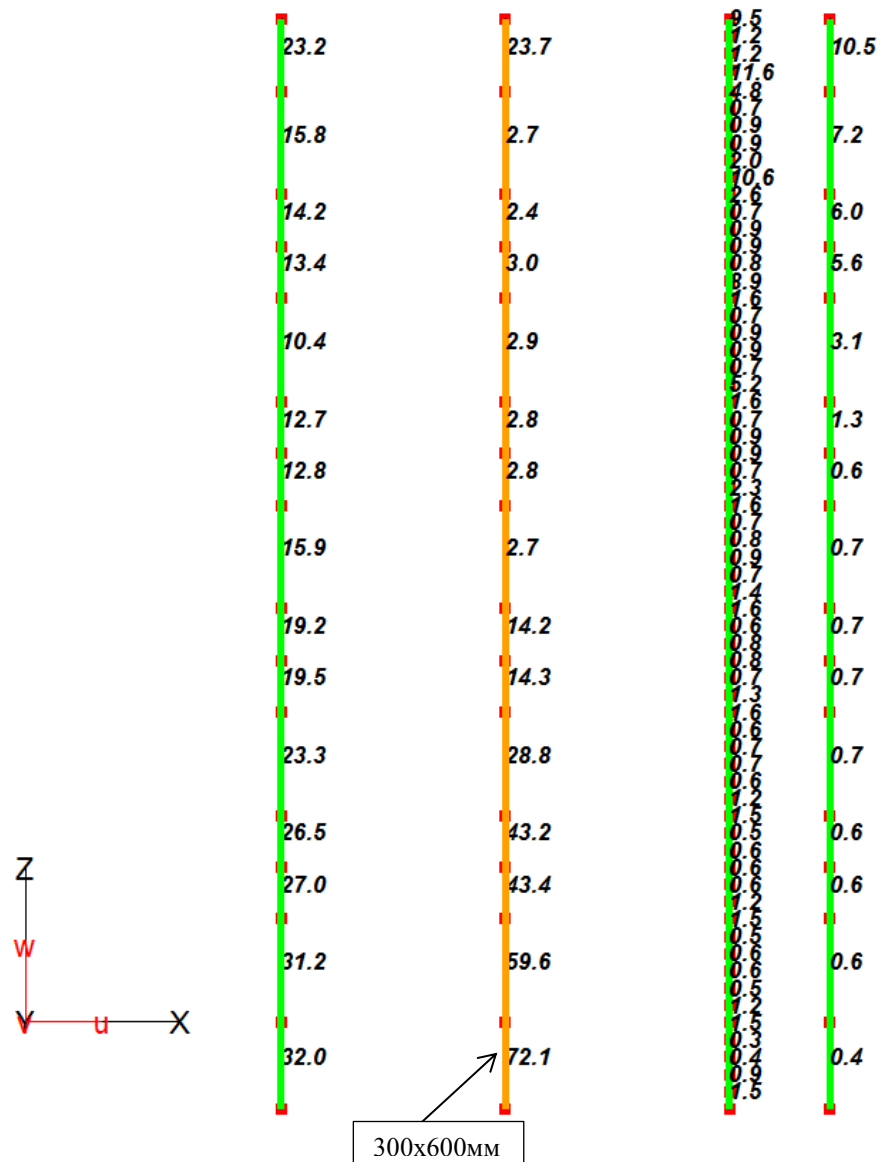
Min: Assu = 0 см²/м, Max: Assu = 15.9039 см²/м (пик)

Расчет по РСУ

АРМИРОВАНИЕ КОЛОНН

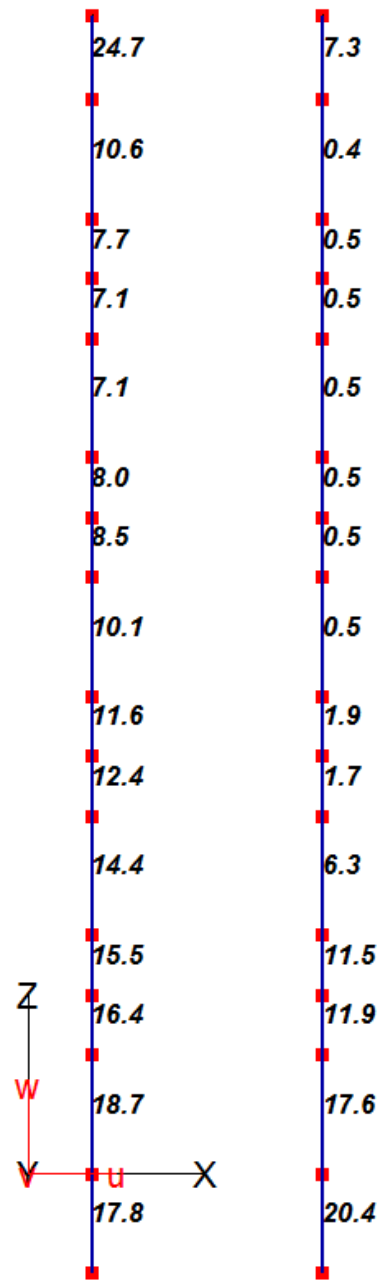
Колонны сборные сечением 300x300мм, 300x600мм (отмечено), материал тяжелый бетон кл. В30, арматура кл. А500С, привязка до центра тяжести арматуры $a=a'=5\text{см}$. Расчетные длины l_0 внецентренно сжатых элементов (колонн) приняты в соответствии с п. 8.1.17 СП 63.13330.2012, как для элементов рамной конструкции с учетом ее деформированного состояния при наиболее невыгодном для данного элемента расположении нагрузки. Принимаем $l_0=0,8l$ – для элементов с несмещаемыми заделками на двух концах, податливыми (с ограниченным поворотом), где l – расстояние между центрами узлов. Учитывается случайный эксцентриситет в колоннах, а также крутящие усилия.

Эпюра арматуры колонн, $A_{s,\text{tot}}$ [см²]. Развёртка каркаса по оси “Ас”



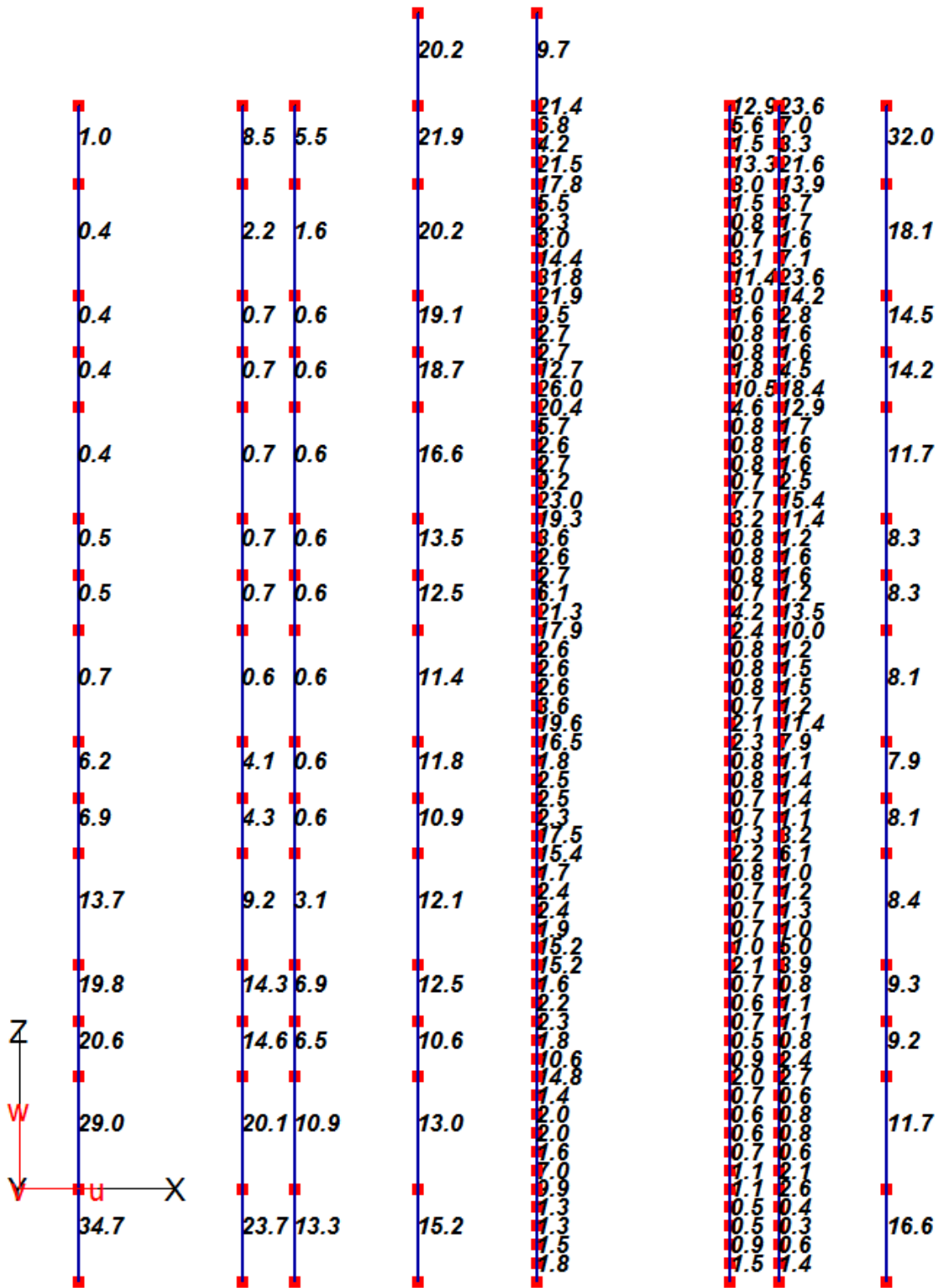
Min: $A_s = 0.322283 \text{ cm}^2$ (элемент 16112), Max: $A_s = 72.0527 \text{ cm}^2$ (элемент 13086)

Эпюра арматуры колонн, $A_{s,tot}$ [см²]. Развёртка каркаса по оси "Бс"



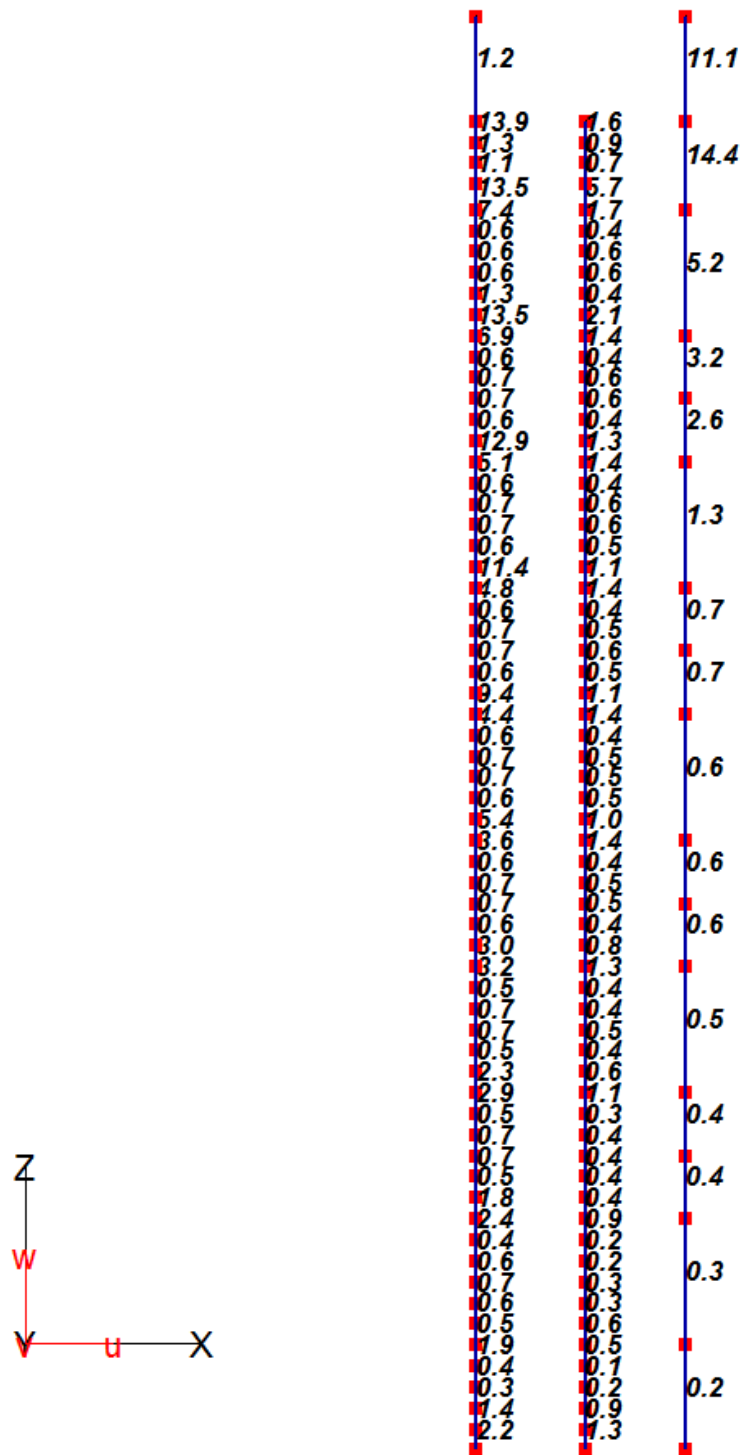
Min: $A_s = 0.436843$ см² (элемент 13131), Max: $A_s = 24.6955$ см² (элемент 13324)

Эпюра арматуры колонн, $A_{s,tot}$ [см²]. Развёртка каркаса по оси "Bc"



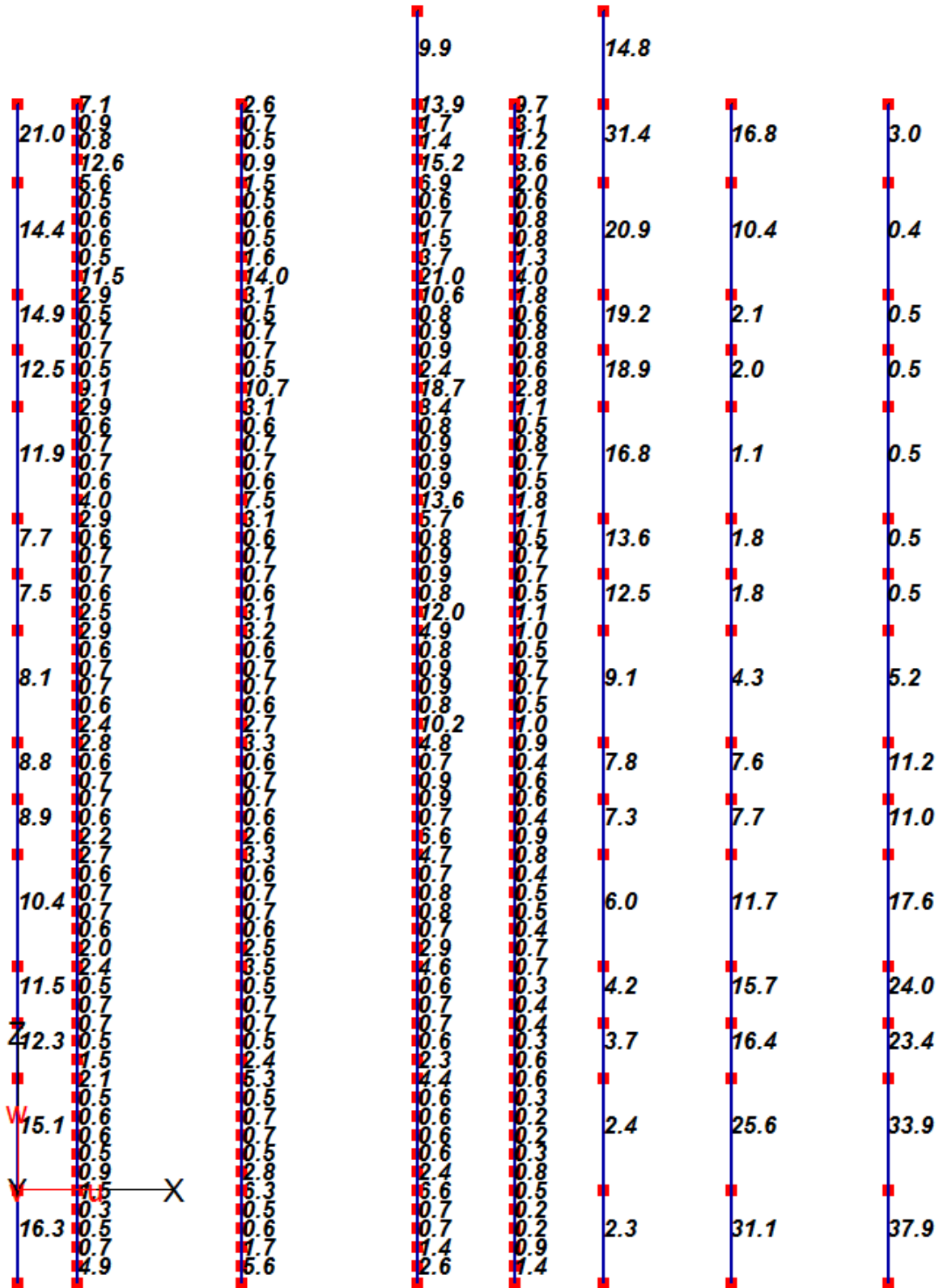
Min: $A_s = 0.301892 \text{ cm}^2$ (элемент 16118), Max: $A_s = 34.6641 \text{ cm}^2$ (элемент 13084)

Эпюра арматуры колонн, $A_{s,tot}$ [см²]. Развёртка каркаса по оси "Гс"



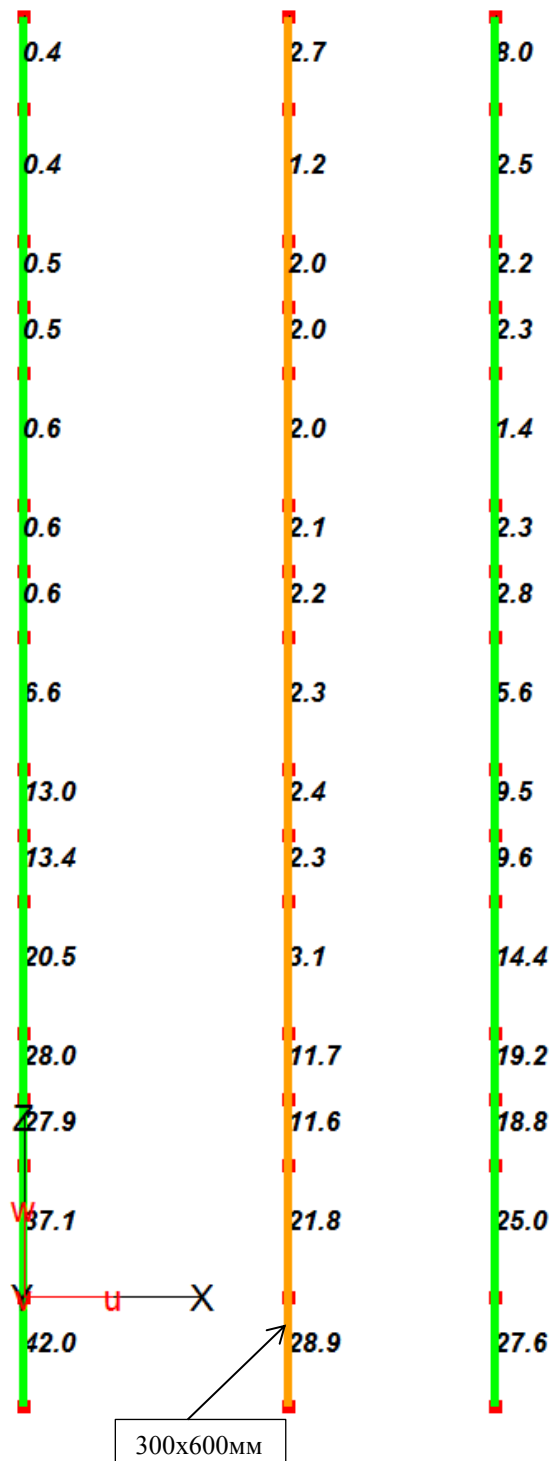
Min: $A_s = 0.115832 \text{ cm}^2$ (элемент 16127), Max: $A_s = 14.4233 \text{ cm}^2$ (элемент 13331)

Эпюра арматуры колонн, $A_{s,tot}$ [см²]. Развёртка каркаса по оси "Дс"



Min: $A_s = 0.213454 \text{ cm}^2$ (элемент 16199), Max: $A_s = 37.8633 \text{ cm}^2$ (элемент 13077)

Эпюра арматуры колонн, $A_{s,tot}$ [см²]. Развёртка каркаса по оси "Ес"



Min: $A_s = 0.428401$ cm² (элемент 13341), Max: $A_s = 42.0469$ cm² (элемент 13089)

Приложение 2. Конструктивные расчёты

КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЁТ РИГЕЛЯ НА ПОПЕРЕЧНУЮ СИЛУ ВЫПОЛНИМ В ПК
“ОМ СНИП ЖЕЛЕЗОБЕТОН v9.2”

Расчет № 112. Ригель Нефт. Угл. L=6100**Общие результаты**

Расчет элемента на действие поперечной силы по наклонному сечению:

требования СНиП52 выполнены

Расчет элемента на действие поперечной силы по наклонной полосе:

требования СНиП52 выполнены

Расчет элемента на действие изгибающего момента по наклонной трещине:

требования СНиП52 выполнены

Исходные данные**Условия расчетов**

Выполнить следующие расчеты:

1. На поперечную силу по наклонному сечению (п. 8.1.33 СНиП52): произвести проверку прочности.
2. На поперечную силу по наклонной полосе (п. 8.1.32 СНиП52).
3. На момент (п. 8.1.35 СНиП52).

Установлена ненапрягаемая продольная арматура

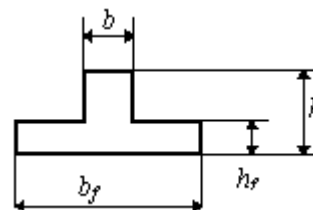
Геометрия

Вид сечения: тавровое с растянутой полкой

Размеры сечения, мм

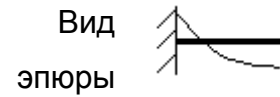
$$h = 470, h_f = 250$$

$$b = 160, b_f = 300$$



Характеристики элемента в продольном направлении

Тип элемента: защемленный (неразрезной)



моментов:

Длина (расстояние между торцами)
элемента

6100 мм

Сочетания нагрузок и усилия (усилия M и Q определяются по нагрузкам)

Сочетание нагрузок № 1

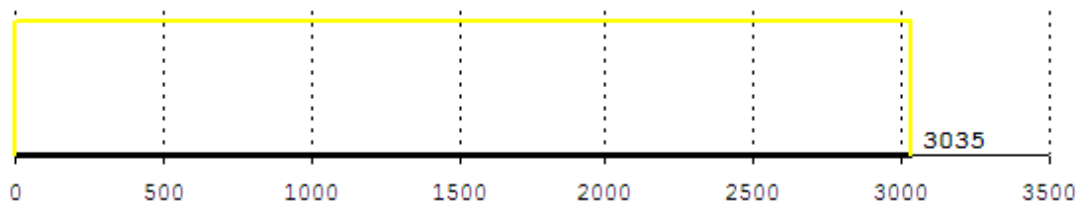
Действие нагрузки: продолжительное (длительное)

Продольная сила 0.000 кН

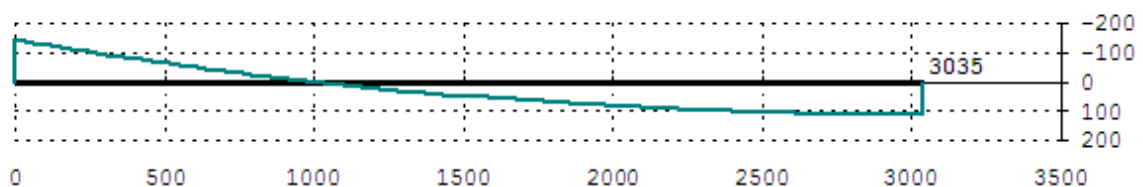
Левая опорная реакция 170.000 кН

Левый опорный момент -144.000 кНм

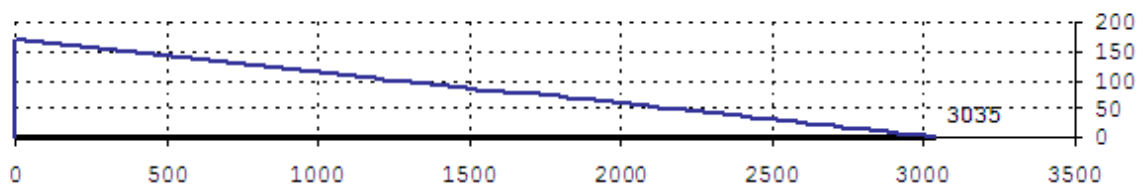
Схема нагрузок



Эпюра изгибающих моментов M, кНм



Эпюра поперечных сил Q, кН



Распределенные нагрузки в сочетании нагрузок № 1

Расстояние, мм, от левого торца элемента до границы участка действия нагрузки		Интенсивность нагрузки, кН/м, на границе участка ее действия	
левой	правой	левой	правой
0	6100	56.000	56.000

Продольная растянутая арматура

Расстояние от центра тяжести растянутой арматуры до ближайшей грани сечения: 60 мм

Расстояние от левого торца элемента до расчетного сечения: 2000 мм

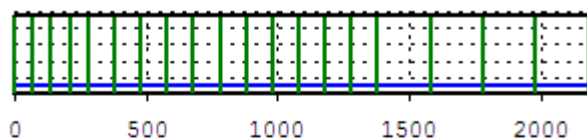
Класс установленной ненапрягаемой арматуры: А500

№№	Количество стержней, канатов	Диаметр арматуры, мм	Арматура находится в зоне анкеровки	Расстояние, мм
1	2	32.0	нет	

Характеристики хомутов

Класс арматуры хомутов **A240**

№№ участка хомутов	Расстояние, мм, от торца элемента до		Диаметр хомутов, мм	Число ветвей в одной плоскости	Шаг хомутов, мм
	начала участка	конца участка			
1	0	280	10.0	2	70
2	380	1380	10.0	2	100
3	1580	2980	10.0	2	200



Бетон

Вид бетона: тяжелый

Класс по прочности на сжатие **B30**

Коэффициент $\gamma_{b5} = 1$ (учитывает влияние попеременного замораживания и оттаивания, отрицательных температур, атмосферные воздействия и др., п. 6.1.12 СНиП52)

Коэффициент $\gamma_{bt} = 1$ (учитывает влияние попеременного замораживания и оттаивания на деформационные характеристики бетона, п. 6.1.27 СНиП52)

Результаты

Расчет элемента на действие поперечной силы по наклонному сечению

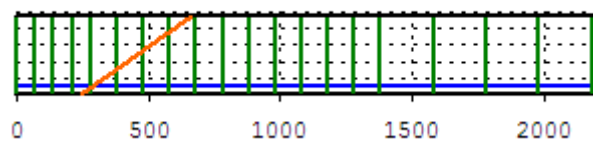
Общие результаты по всем сочетаниям нагрузок: требования СНиП52 выполнены

Сочетание нагрузок № 1

при продолжительном (длительном) действии нагрузки (п. 6.1.12 СНиП52)

Характеристики наиболее опасного наклонного сечения	Расстояние от левого торца элемента до ближайшей т. сечения	243	мм
	Длина проекции сечения	419	мм
Поперечные силы для проверки требования п. 8.1.33 СНиП52	Действующая	133.00	кН
	Воспринимаемая	167.24	кН
	Требования СНиП52 выполнены		

Наиболее опасное наклонное сечение:



Расчет элемента на действие поперечной силы по наклонной полосе

Общие результаты расчета элемента на действие поперечной силы по наклонной полосе между наклонными трещинами: требования СНиП52 выполнены

№№ сочетания нагрузок	Поперечные силы для проверки требования п. 8.1.32 СНиП52		Требования СНиП52
	действующая	воспринимаемая	
1	58.000	301.104	выполнены

Расчет элемента на действие изгибающего момента по наклонной трещине

Общие результаты расчета элемента на действие изгибающего момента по наклонной трещине: требования СНиП52 выполнены

№№ сочетания нагрузок	Моменты, кНм, для проверки требований п. 8.1.35 СНиП52		Требования СНиП52
	действующий	воспринимаемый	
1	84.000	269.412	выполнены

КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЁТ УЗЛОВОЙ ОПОРНОЙ АРМАТУРЫ В ПК "ОМ СНИП
ЖЕЛЕЗОБЕТОН v9.2"

Пособие к СП 63.13330.2012

Объект расчета "Нормальные сечения" (СНиП52)

Расчет № 150. Ригель Нефтек. Угл L=6100 сору

Общие результаты

Результаты расчета по всем сочетаниям нагрузок:

требования СНиП52 выполнены

Исходные данные

Условия расчетов

Произвести проверку прочности

В сечении установлена ненапрягаемая арматура

Класс ненапрягаемой арматуры А500

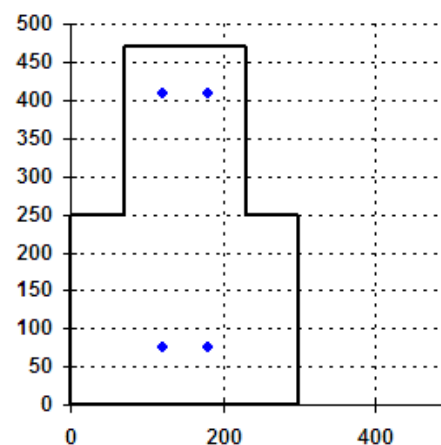
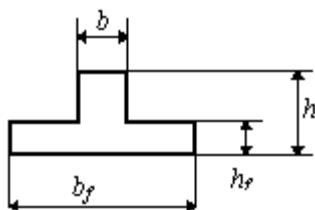
Геометрия

Вид сечения: тавровое с полкой
растянутой

Размеры сечения, мм

$$h = 470, h_f = 250$$

$$b = 160, b_f = 300$$



Усилия

Сочетание нагрузок № 1

Действие нагрузки: непродолжительное (кратковременное)

Напряженное состояние "Внецентренное растяжение"

Продольная сила N 20.000 кН

Момент M_y -144.000 кНм

Установленная ненапрягаемая арматура

Класс арматуры: **A500**

№№	Количество о стержней	Диаметр арматуры , мм	Расстояние до нижней точки сечения, мм	Расстояние до крайней левой точки сечения, мм
1	1	32.0	410	120
2	1	32.0	410	180
3	1	20.0	75	120
4	1	20.0	75	180

Бетон

Вид бетона: тяжелый

Класс по прочности на сжатие **B30**

Влажность воздуха окружающей среды: 40 - 75% (табл. 6.6 СНиП52)

Вид диаграммы состояния бетона: трехлинейная (п. 6.1.19 СНиП52)

Коэффициент $\gamma_{b5} = 1$ (учитывает влияние попеременного замораживания и оттаивания, отрицательных температур, атмосферные воздействия и др., п. 6.1.12 СНиП52)

Проект 05-РП-20-У-КР.РР.П2	Стр. 9
Прим. Город Нефтекамск. Угловая секция 9эт.	Файл KR.fea
Дата 05.2020	Выполнил Гельрот А.В.
Программа STARK_ES 2020	

Коэффициент $\gamma_{bt} = 1$ (учитывает влияние попеременного замораживания и оттаивания на деформационные характеристики бетона, п. 6.1.27 СНиП52)

Результаты

Результаты расчета по всем сочетаниям нагрузок:

требования СНиП52 выполнены

Сочетание нагрузок № 1

Действующие усилия:		
Продольная сила N	20.000	кН
Момент M_x	0.000	кНм
Момент M_y	-144.000	кНм
Кривизна продольной оси $1/r_y$ в плоскости действия момента M_y	-4.7776	$\times 10^{-6}$ мм ⁻¹
Относительная деформация волокна ϵ_0 в центре тяжести сечения	2.84727	$\times 10^{-4}$

Относительная деформация

бетона		арматуры ненапрягаемой	
макс. расчетная	предельная	макс. расчетная	предельная
0.0006	0.0035	0.0013	0.0250
Требования СНиП52 выполнены		Требования СНиП52 выполнены	

КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЁТ РИГЕЛЯ НА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ НА ОПОРЕ
ВЫПОЛНИМ В ПК "ОМ СНИП ЖЕЛЕЗОБЕТОН V9.2"

Пособие к СП 63.13330.2012

Объект расчета "Трещины" (СНиП52)

Расчет № 272. Ригель Нефтек. Угл L=6100 (копия)

Общие результаты

Проверка трещиностойкости: требования СНиП52 выполнены

Исходные данные

Условия расчетов

Выполнить проверку трещиностойкости (пп. 8.2.4 - 8.2.18 СНиП52)

Установлена продольная ненапрягаемая арматура

Необходимо обеспечить сохранность арматуры (п. 8.2.6 СНиП52)

Усилия

Сочетание нагрузок № 1

Напряженное состояние "Изгиб"

Постоянные и длительные нагрузки	Момент M_y	-120.000 кНм
	Момент M_y	-144.000 кНм

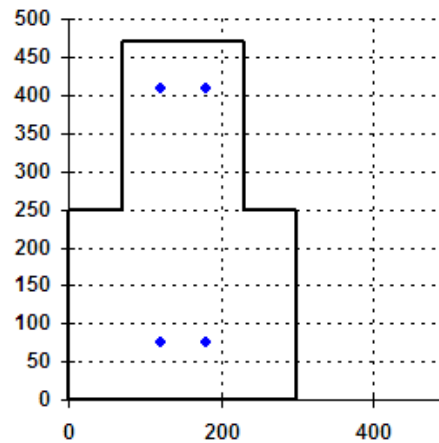
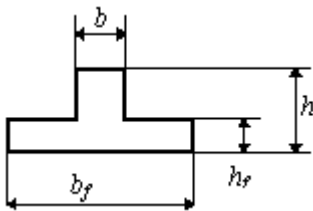
Геометрия

Вид сечения: тавровое с полкой
растянутой

Размеры сечения, мм

$$h = 470, h_f = 250$$

$$b = 160, b_f = 300$$



Продольная арматура

Класс ненапрягаемой арматуры: А500

Расположение ненапрягаемой арматуры в сечении

№№	Расстояние до нижней точки сечения, мм	Расстояние до крайней левой точки сечения, мм	Диаметр арматуры, мм
1	410	120	32.0
2	410	180	32.0
3	75	120	20.0
4	75	180	20.0

Бетон

Вид бетона: тяжелый

Класс по прочности на сжатие **B30**

Вид диаграммы состояния бетона: трехлинейная (п. 6.1.19 СНиП52)

Проект 05-РП-20-У-КР.РР.П2	Стр. 12
Прим. Город Нефтекамск. Угловая секция 9эт.	Файл KR.fea
Дата 05.2020	Программа STARK_ES 2020
	Выполнил Гельрот А.В.

Коэффициент $\gamma_{b5} = 1$ (учитывает влияние попеременного замораживания и оттаивания, отрицательных температур, атмосферные воздействия и др., п. 6.1.12 СНиП52)

Коэффициент $\gamma_{bt} = 1$ (учитывает влияние попеременного замораживания и оттаивания на деформационные характеристики бетона, п. 6.1.27 СНиП52)

Результаты

Проверка трещиностойкости

Общие результаты по всем сочетаниям нагрузок: требования СНиП52 выполнены

Сочетание нагрузок № 1

Напряженное состояние "Изгиб"

Постоянные и длительные нагрузки

Момент, кНм, для проверки образования трещин (п.8.2.4 СНиП52)					Трещины
M_y	действующий	-120.00	воспринимаемый	-29.25	образуются
Ширина раскрытия трещин, мм, при действии момента					Требования СНиП52
M_y	расчетная	0.264	допустимая	0.300	выполнены

Постоянные, длительные и кратковременные нагрузки

Момент, кНм, для проверки образования трещин (п.8.2.4 СНиП52)					Трещины
M_y	действующий	-144.00	воспринимаемый	-29.23	образуются
Ширина раскрытия трещин, мм, при действии момента					Требования СНиП52
M_y	расчетная	0.309	допустимая	0.400	выполнены

ОГНЕСТОЙКОСТЬ ПАНЕЛИ ДИАФРАГМЫ ЖЕСТКОСТИ

Исходные данные:

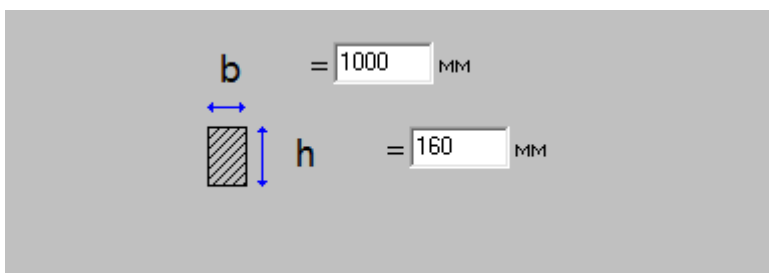
Огнестойкость:

- Длительность стандартного огневого воздействия $T_{fr} = 90$ мин;

Размеры элемента:

- Длина элемента или расстояние между точками закрепления $l = 2600$ мм;

Размеры в сечении, мм:



- Высота сечения $h = 160$ мм;

Продольная арматура:

(Растянутая продольная арматура - Стержневая арматура, диаметром 12 мм; 5 шт.):

- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S до грани сечения $a = 45$ мм;

Усилия от нормативной нагрузки:

- Изгибающий момент от постоянной и длительной нормативной нагрузки $M_n = 12000000$ Н мм;

- Нормальная сила от постоянной и длительной нормативной нагрузки $N_n = 880000$ Н;

Результаты расчета:

Определение нормативного сопротивления бетона

Класс бетона - В25.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний первой группы принимается по табл. 5.1 СП 52-101 $R_{bn} = 18,5$ МПа .

Нормативное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний первой группы принимается по табл. 5.1 СП 52-101 $R_{btn} = 1,55$ МПа .

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию принимается по табл. 5.2 СП 52-101 $R_b = 14,5$ МПа .

Назначение класса бетона - по прочности на сжатие.

Проект 05-РП-20-У-КР.РР.П2	Стр.	14
Прим. Город Нефтекамск. Угловая секция 9эт.	Файл	KR.fea
Дата 05.2020	Программа	STARK_ES 2020
	Выполнил	Гельрот А.В.

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению принимается по табл. 5.2 СП 52-101
 $R_{bt} = 1,05 \text{ МПа}$.

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:

$$R_{b, ser} = R_{bn} = 18,5 \text{ МПа (формула (5.1); п. 5.1.9 СП 52-101).}$$

Расчетное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний второй группы:

$$R_{bt, ser} = R_{btm} = 1,55 \text{ МПа (формула (5.2); п. 5.1.9 СП 52-101).}$$

Прочностные характеристики определяется - по СТО 36554501-006-2006.

Учет особенностей работы бетона в конструкции

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий длительность действия нагрузки:
 $\gamma_{b1} = 1$.

(действие нагрузки непродолжительное по п. 4.9)

Конструкция бетонируется - в вертикальном положении.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий бетонирование в вертикальном положении:

$$\gamma_{b3} = 0,9$$
 .

Для надземной конструкции, при расчетной температуре наружного воздуха в зимний период не менее -40 град.:

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий попеременное замораживание и оттаивание бетона:

$$\gamma_{b4} = 1$$
 .

(коэффициенты $\gamma_{b1} - \gamma_{b4}$ по п. 5.1.10 СП 52-101-2003)

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию:

$$R_b = \gamma_{b1} \gamma_{b3} \gamma_{b4} R_b = 1 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 14,5 = 13,05 \text{ МПа} .$$

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению:

$$R_{bt} = \gamma_{b1} R_{bt} = 1 \cdot 1,05 = 1,05 \text{ МПа} .$$

Определение значения начального модуля упругости бетона

Начальный модуль упругости принимается по табл. 5.4 СП 52-101 $E_b = 30000 \text{ МПа}$.

Расчетные значения прочностных характеристик арматуры

Класс продольной арматуры - А500.

Расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению:

$$R_s = 435 \text{ МПа} .$$

Расчетное значение сопротивления продольной арматуры сжатию:
 $R_{sc} = 400$ МПа .

(действие нагрузки непродолжительное по п. 4.9)

Поперечная арматура - не рассматривается в данном расчете.

Нормативное значение сопротивления арматуры растяжению:
 $R_{s, n} = 500$ МПа .

Нормативное значение сопротивления продольной арматуры сжатию:
 $R_{sc, n} = 460$ МПа .

Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости арматуры:
 $E_s = 200000$ МПа .

Приведенные размеры сечений

Теплотехнический расчет выполняется - по СТО 36554501-006-2006.

Тип конструкции - стена.

Бетон - тяжелый на силикатном заполнителе.

Учет опирания стен на упругоподатливое основание

Контактное опирание стен на упругоподатливое основание - отсутствует.

Продолжение расчета по п. п. 8.2 СТО 36554501-006-2006

Глубина прогрева бетона до критической температуры:
По рис. А.1 - А.2 в зависимости от h и T_{fr}
 $a_t = 28$ мм .

Рабочая высота сечения:
 $h_o = h - a = 160 - 45 = 115$ мм .

Расчетная высота сечения при нагреве:
 $h_t = h - a_t = 160 - 28 = 132$ мм (формула (8.4); п. 8.2).

Расчетная ширина стенки сечения при нагреве:
 $b_t = b = 1000$ мм .

Расчетная рабочая высота сечения:
 $h_{ot} = h_o - a_t = 115 - 28 = 87$ мм (формула (8.8); п. 8.2).

Расчет эксцентриситета продольной силы

Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S' до грани сечения:
 $a' = a = 45$ мм .

Продольная сила:

$$N = N_n = 880000 \text{ Н} .$$

Изгибающий момент:

$$M = M_n = 12000000 \text{ Н мм} .$$

Случайный эксцентриситет:

$$e_a = \max(l/600 ; h/30 ; 10) = \max(2600/600; 160/30; 10) = 10 \text{ мм} .$$

Элемент - статически неопределимой конструкции.

Для элементов статически неопределимых конструкций значение эксцентриситета продольной силы относительно центра тяжести приведенного сечения принимают равным значению эксцентриситета, полученного из статического расчета, но не менее e_a .

Эксцентриситет продольной силы относительно центра тяжести приведенного сечения:

$$e_o = M/N = 12000000/880000 = 13,63636 \text{ мм} .$$

Продолжение расчета по п. п. 8.16 СТО 36554501-006-2006

Коэффициент:

$$\delta_e = e_o/h_t = 13,63636/132 = 0,10331 .$$

Т.к. $\delta_e < 0,3$:

Коэффициент:

$$\delta_e = 0,3 .$$

Закрепление по концам элемента - податливые заделки с ограниченным поворотом.

Расчетная длина элемента:

$$l_o = 0,8 l = 0,8 \cdot 2600 = 2080 \text{ мм} .$$

Коэффициент a для расчета e_t , зависящий от условий закрепления:

$$a = 0,7 .$$

В формуле $\varphi_1 = 1 + M_{11}/M_1$ (8.32) отношение $M_{11}/M_1 = 1$, т.к по п.п. 4.8 и 4.9 статический расчет предела огнестойкости по потере несущей способности выполняется при непродолжительном действии постоянных и временных длительных нормативных нагрузок (в данном сочетании нагрузок момент от полной нагрузки M_1 равен моменту от постоянных и временных нагрузок M_{11}).

Коэффициент, учитывающий влияние длительности действия нагрузки:

$$\varphi_1 = 2 .$$

Момент инерции бетонного сечения относительно центра тяжести приведенного сечения:

$$I = b_t h_t^3/12 = 1000 \cdot 132^3/12 = 191664000 \text{ мм}^4 .$$

Момент инерции всей продольной арматуры относительно центра тяжести сечения элемента:

$$I_s = A_s (h-2a)^2/2 = 570 \cdot (160-2 \cdot 45)^2/2 = 1396500 \text{ мм}^4 .$$

Определение E_{st}

Расстояние от обогреваемой поверхности:

$$z = a = 45 \text{ мм} .$$

Температура бетона в плитах (стенах) на расстоянии z от обогреваемой поверхности

Т.к. $t_z < 20 \text{ }^\circ\text{C}$:

Температура на расстоянии z от обогреваемой поверхности:

$$t_z = 20 \text{ }^\circ\text{C} .$$

Конструкция - не является туннелем, в котором перевозят горючие жидкости или газы.

Конструкция - не предназначена для хранения каучука, синтетических материалов, масел, лаков, красок, сжиженного газа, бумаги, зерна или муки.

Характеристики арматуры при нагреве

Арматура А's - имеется.

Элемент - внецентренно-сжатый.

Для арматуры со стороны противоположной нагреву:

Нагрев - со стороны сжатого бетона.

Коэффициент условия работы растянутой арматуры при нагреве:

$$\gamma_{st} = 1 .$$

Нормативное значение сопротивления арматуры растяжению при нагреве:

$$R_{snt} = R_{s, n} \gamma_{st} = 500 \cdot 1 = 500 \text{ МПа (формула (5.8); п. 5.10) .}$$

Расчетное значение сопротивления продольной арматуры растяжению при нагреве:

$$R_{st} = R_s \gamma_{st} = 435 \cdot 1 = 435 \text{ МПа (формула (5.8); п. 5.10) .}$$

Для арматуры со стороны нагрева:

Расстояние от обогреваемой поверхности:

$$z = a' = 45 \text{ мм} .$$

Температура бетона в плитах (стенах) на расстоянии z от обогреваемой поверхности

Температура на расстоянии z от обогреваемой поверхности:

По рис. А.2 в зависимости от z и T_{fr}

$$t_z = 355 \text{ }^\circ\text{C} .$$

Коэффициенты при нагреве арматуры определяется - по СТО 36554501-006-2006.

Коэффициент условия работы растянутой арматуры при нагреве принимается по табл. 5.5 $\gamma_{st} = 0,9175$.

Коэффициент условия работы сжатой арматуры при нагреве:

$$\gamma'_{st} = \gamma_{st} = 0,9175 .$$

Расчетное значение сопротивления продольной арматуры сжатию при нагреве:

$$R_{sct} = R_{sc} \gamma'_{st} = 400 \cdot 0,9175 = 367 \text{ МПа (формула (5.9); п. 5.10) .}$$

По табл. 5.5 $\beta_s = 0,8725$.

Модуль упругости арматуры при нагреве:

$$E_{st} = E_s \beta_s = 200000 \cdot 0,8725 = 174500 \text{ МПа (формула (5.10); п. 5.10) .}$$

Расчет по несущей способности

Определение E_{bt} в центре тяжести приведенного сечения

Расстояние от обогреваемой поверхности:

$$z = h/2 = 160/2 = 80 \text{ мм .}$$

Температура бетона в плитах (стенах) на расстоянии z от обогреваемой поверхности

Температура на расстоянии z от обогреваемой поверхности:

По рис. А.2 в зависимости от z и T_{fr}

$$t_z = 160 \text{ }^\circ\text{C} .$$

Определение модуля упругости бетона при нагреве

По табл. 5.1 $\beta_b = 0,76667$.

Начальный модуль упругости при нагреве:

$$E_{bt} = E_b \beta_b = 30000 \cdot 0,76667 = 23000,1 \text{ МПа (формула (5.3); п. 5.4) .}$$

Коэффициент α_{st} определяют в зависимости от температуры арматуры у нагреваемой стороны.

Расстояние от обогреваемой поверхности:

$$z = a = 45 \text{ мм .}$$

Температура бетона в плитах (стенах) на расстоянии z от обогреваемой поверхности

Температура на расстоянии z от обогреваемой поверхности:

По рис. А.2 в зависимости от z и T_{fr}

$$t_z = 355 \text{ }^\circ\text{C} .$$

Температура арматуры:

$$t_s = t_z = 355 \text{ }^\circ\text{C} .$$

По табл. 5.6 $\alpha_{st} = 0,000013275$.

Коэффициент α_{bt} определяют в зависимости от температуры у ненагреваемой стороны бетона.

Расстояние от обогреваемой поверхности:

$$z = h = 160 \text{ мм .}$$

Температура бетона в плитах (стенах) на расстоянии z от обогреваемой поверхности

Температура на расстоянии z от обогреваемой поверхности:

По рис. А.2 в зависимости от z и T_{fr}

$$t_z = 40 \text{ } ^\circ\text{C} .$$

$$t_b = t_z = 40 \text{ } ^\circ\text{C} .$$

По табл. 5.2 $\alpha_{bt} = 0,000009$.

Дополнительный эксцентриситет продольной от огневого воздействия:

$$e_t = a (\alpha_{st} t_s - \alpha_{bt} t_b) l_o^2 / (8 h_o) =$$

$$= 0,7 \cdot (0,00013275 \cdot 355 - 0,000009 \cdot 40) \cdot 2080^2 / (8 \cdot 115) = 14,32808 \text{ мм}$$

(формула (8.34); п. 8.16).

Изгибная жесткость:

$$D = 0,15 E_{bt} I / (\varphi_l (0,3 + \delta_e)) + 0,7 E_{st} I_s =$$

$$= 0,15 \cdot 23000,1 \cdot 191664000 / (2 \cdot (0,3 + 0,3)) + 0,7 \cdot 174500 \cdot 1396500 =$$

$$721618870800 \text{ Н мм}^2 \text{ (формула (8.31); п. 8.16) .}$$

Критическая сила:

$$N_{cr} = \pi^2 D / l_o^2 = 3,14159^2 \cdot 721618900000 / 2080^2 = 1646193,8497 \text{ Н (формула (8.30); п. 8.16) .}$$

$N = 880000 \text{ Н} < N_{cr} = 1646194 \text{ Н}$ (53,45664% **от предельного значения**) - условие выполнено .

Коэффициент, учитывающий влияние прогиба:

$$\eta = 1 / (1 - N / N_{cr}) = 1 / (1 - 880000 / 1646194) = 2,14853 \text{ (формула (8.29); п. 8.16) .}$$

Расстояние от точки приложения силы N до центра тяжести сечения арматуры S:

$$e = e_o \eta + 0,5 (h_o - a') + e_t =$$

$$= 13,63636 \cdot 2,14853 + 0,5 \cdot (115 - 45) + 14,32808 = 78,62621 \text{ мм (формула (8.27); п. 8.16) .}$$

Определение граничной относительной высоты сжатой зоны

$$\epsilon_{s, el} = R_{st} / E_{st} = 435 / 174500 = 0,00249 \text{ (формула (6.12); п. 6.2.7 СП 52-101) .}$$

$$\epsilon_{b, ult} = 0,0035 .$$

Граничная относительная высота сжатой зоны:

$$\xi_R = 0,8 / (1 + \epsilon_{s, el} / \epsilon_{b, ult}) =$$

$$= 0,8 / (1 + 0,00249 / 0,0035) = 0,46745 \text{ (формула (6.11); п. 6.2.7 СП 52-101) .}$$

Расчет по прочности внецентренно-сжатых элементов с симметричным прямоугольным сечением

Площадь сжатой арматуры:

$$A'_s = A_s = 570 \text{ мм}^2 .$$

Проект 05-РП-20-У-КР.РР.П2	Стр.	20
Прим. Город Нефтекамск. Угловая секция 9эт.	Файл	KR.fea
Дата 05.2020	Программа	STARK_ES 2020
	Выполнил	Гельрот А.В.

Расчет внецентренно-сжатых элементов прямоугольного сечения

Высота сжатой зоны:

$$x = (N + R_{snt} A_s - R_{sct} A'_s) / (R_{bn} b_t) =$$

$$= (880000 + 500 \cdot 570 - 367 \cdot 570) / (18,5 \cdot 1000) = 51,66541 \text{ мм (формула (8.25); п. 8.15).}$$

Относительная высота сжатой зоны:

$$\xi = x/h_{от} = 51,66541/87 = 0,59386 .$$

Т.к. $\xi = 0,59386 > \xi_R = 0,46745$:

Высота сжатой зоны:

$$x = (N + R_{snt} A_s (1 + \xi_R) / (1 - \xi_R) - R_{sct} A'_s) / (R_{bn} b_t + 2 R_{snt} A_s / (h_0 (1 - \xi_R))) =$$

$$= (880000 + 500 \cdot 570 \cdot (1 + 0,46745) / (1 - 0,46745) - 367 \cdot 570) / (18,5 \cdot 1000 + 2 \cdot 500 \cdot 570 / (115 \cdot (1 - 0,46745))) = 52,36539 \text{ мм (формула (8.26); п. 8.15).}$$

$$N e = 880000 \cdot 78,62621 = 69191064,8 \text{ Н мм} \leq R_{bn} b_t x (h_{от} - 0,5 x) + R_{sct} A'_s (h_0 - a') = 18,5$$

$$\cdot 1000 \cdot 52,36539 \cdot (87 - 0,5 \cdot 52,36539) + 367 \cdot 570 \cdot (115 - 45) =$$

$$73560655,05887 \text{ Н мм (94,05988\% от предельного значения) - условие выполнено}$$

(формула (8.24); п. 8.15).

ОГНЕСТОЙКОСТЬ ОТДЕЛЬНО СТОЯЩЕЙ КОЛОННЫ 300x300мм

Исходные данные:

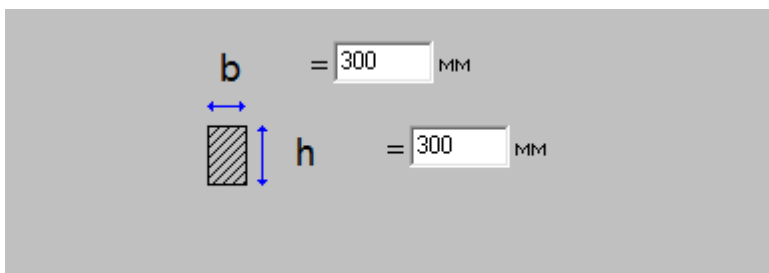
Огнестойкость:

- Длительность стандартного огневого воздействия $T_{fr} = 90$ мин;

Размеры элемента:

- Длина элемента или расстояние между точками закрепления $l = 2600$ мм;

Размеры в сечении, мм:



- Высота сечения $h = 300$ мм;
- Ширина сечения $b = 300$ мм;

Продольная арматура:

- (Растянутая продольная арматура - Стержневая арматура, диаметром 36 мм; 4 шт.):
- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S до грани сечения $a = 50$ мм;

Усилия от нормативной нагрузки:

- Изгибающий момент от постоянной и длительной нормативной нагрузки $M_n = 2400000$ Н мм;
- Нормальная сила от постоянной и длительной нормативной нагрузки $N_n = 2250000$ Н;

Результаты расчета:

Определение нормативного сопротивления бетона

Класс бетона - В30.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний первой группы принимается по табл. 5.1 СП 52-101 $R_{bn} = 22$ МПа .

Нормативное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний первой группы принимается по табл. 5.1 СП 52-101 $R_{btн} = 1,75$ МПа .

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию принимается по табл. 5.2 СП 52-101 $R_b = 17$ МПа .

Назначение класса бетона - по прочности на сжатие.

Проект 05-РП-20-У-КР.РР.П2	Стр.	22
Прим. Город Нефтекамск. Угловая секция 9эт.	Файл	KR.fea
Дата 05.2020	Программа	STARK_ES 2020
	Выполнил	Гельрот А.В.

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению принимается по табл. 5.2 СП 52-101
 $R_{bt} = 1,15 \text{ МПа}$.

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:

$$R_{b, ser} = R_{bn} = 22 \text{ МПа (формула (5.1); п. 5.1.9 СП 52-101).}$$

Расчетное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний второй группы:

$$R_{bt, ser} = R_{btm} = 1,75 \text{ МПа (формула (5.2); п. 5.1.9 СП 52-101).}$$

Прочностные характеристики определяется - по СТО 36554501-006-2006.

Учет особенностей работы бетона в конструкции

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий длительность действия нагрузки:
 $\gamma_{b1} = 1$.

(действие нагрузки непродолжительное по п. 4.9)

Конструкция бетонируется - в горизонтальном положении.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий бетонирование в вертикальном положении:

$$\gamma_{b3} = 1$$
 .

Для надземной конструкции, при расчетной температуре наружного воздуха в зимний период не менее -40 град.:

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий попеременное замораживание и оттаивание бетона:

$$\gamma_{b4} = 1$$
 .

(коэффициенты $\gamma_{b1} - \gamma_{b4}$ по п. 5.1.10 СП 52-101-2003)

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию:

$$R_b = \gamma_{b1} \gamma_{b3} \gamma_{b4} R_b = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 17 = 17 \text{ МПа} .$$

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению:

$$R_{bt} = \gamma_{b1} R_{bt} = 1 \cdot 1,15 = 1,15 \text{ МПа} .$$

Определение значения начального модуля упругости бетона

Начальный модуль упругости принимается по табл. 5.4 СП 52-101 $E_b = 32500 \text{ МПа}$.

Расчетные значения прочностных характеристик арматуры

Класс продольной арматуры - А500.

Расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению:

$$R_s = 435 \text{ МПа} .$$

Расчетное значение сопротивления продольной арматуры сжатию:

$$R_{sc} = 400 \text{ МПа} .$$

(действие нагрузки непродолжительное по п. 4.9)

Поперечная арматура - не рассматривается в данном расчете.

Нормативное значение сопротивления арматуры растяжению:

$$R_{s, n} = 500 \text{ МПа} .$$

Нормативное значение сопротивления продольной арматуры сжатию:

$$R_{sc, n} = 460 \text{ МПа} .$$

Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа} .$$

Приведенные размеры сечений

Теплотехнический расчет выполняется - по СТО 36554501-006-2006.

Тип конструкции - колонна.

Бетон - тяжелый на силикатном заполнителе.

Минимальный размер сечения:

$$b_{min} = \min(b ; h) = \min(300;300) = 300 \text{ мм} .$$

Глубина прогрева бетона до критической температуры:

По рис. 8.2 в зависимости от T_{fr} и b_{min}

$$a_t = 40 \text{ мм} .$$

Рабочая высота сечения:

$$h_o = h - a = 300 - 50 = 250 \text{ мм} .$$

Расчетная ширина стенки сечения при нагреве:

$$b_t = b - 2 a_t = 300 - 2 \cdot 40 = 220 \text{ мм (формула (8.1); п. 8.2) .}$$

Расчетная высота сечения при нагреве:

$$h_t = h - 2 a_t = 300 - 2 \cdot 40 = 220 \text{ мм (формула (8.6); п. 8.2) .}$$

Расчет площади приведенного сечения выполняется - по СТО 36554501-006-2006.

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$\begin{aligned} A_{red} &= 0,9 (b - 2 a_t) (h - 2 a_t) = \\ &= 0,9 \cdot (300 - 2 \cdot 40) \cdot (300 - 2 \cdot 40) = 43560 \text{ мм}^2 \text{ (формула (8.5); п. 8.2) .} \end{aligned}$$

Расчетная рабочая высота сечения:

$$h_{ot} = h_o - a_t = 250 - 40 = 210 \text{ мм (формула (8.8); п. 8.2) .}$$

Расчет эксцентриситета продольной силы

Проект 05-РП-20-У-КР.РР.П2	Стр. 24
Прим. Город Нефтекамск. Угловая секция 9эт.	Файл KR.fea
Дата 05.2020	Программа STARK_ES 2020
	Выполнил Гельрот А.В.

Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S' до грани сечения:
 $a' = a = 50 \text{ мм}$.

Продольная сила:
 $N = N_n = 2250000 \text{ Н}$.

Изгибающий момент:
 $M = M_n = 2400000 \text{ Н мм}$.

Случайный эксцентриситет:
 $e_a = \max(l/600 ; h/30 ; 10) = \max(2600/600; 300/30; 10) = 10 \text{ мм}$.

Элемент - статически неопределимой конструкции.

Для элементов статически неопределимых конструкций значение эксцентриситета продольной силы относительно центра тяжести приведенного сечения принимают равным значению эксцентриситета, полученного из статического расчета, но не менее e_a .

Эксцентриситет продольной силы относительно центра тяжести приведенного сечения:
 $e_o = M/N = 2400000/2250000 = 1,06667 \text{ мм}$.

Т.к. $e_o = 1,06667 \text{ мм} < e_a = 10 \text{ мм}$:

Эксцентриситет продольной силы относительно центра тяжести приведенного сечения:
 $e_o = e_a = 10 \text{ мм}$.

Продолжение расчета по п. п. 8.16 СТО 36554501-006-2006

Коэффициент:
 $\delta_e = e_o/h_t = 10/220 = 0,04545$.

Т.к. $\delta_e < 0,3$:

Коэффициент:
 $\delta_e = 0,3$.

Закрепление по концам элемента - податливые заделки с ограниченным поворотом.

Расчетная длина элемента:
 $l_o = 0,8 l = 0,8 \cdot 2600 = 2080 \text{ мм}$.

В формуле $\varphi_1 = 1 + M_{II}/M_1$ (8.32) отношение $M_{II}/M_1 = 1$, т.к. по п.п. 4.8 и 4.9 статический расчет предела огнестойкости по потере несущей способности выполняется при непродолжительном действии постоянных и временных длительных нормативных нагрузок (в данном сочетании нагрузок момент от полной нагрузки M_1 равен моменту от постоянных и временных нагрузок M_{II}).

Коэффициент, учитывающий влияние длительности действия нагрузки:
 $\varphi_1 = 2$.

Момент инерции бетонного сечения относительно центра тяжести приведенного сечения:
 $I = b_t h_t^3/12 = 220 \cdot 220^3/12 = 195213333,33333 \text{ мм}^4$.

Момент инерции всей продольной арматуры относительно центра тяжести сечения элемента:
 $I_s = A_s (h-2a)^2/2 = 4072 \cdot (300-2 \cdot 50)^2/2 = 81440000 \text{ мм}^4$.

Определение E_{st}

Расстояние от обогреваемой поверхности:

$$z = a = 50 \text{ мм}.$$

Температура бетона на расстоянии z от обогреваемой поверхности в углу сечения

Т.к. $h = 300 \text{ мм}$:

Температура прогрева при $h = 300 \text{ мм}$:

По рис. Б.3 в зависимости от z и T_{fr}

$$t_{h300} = 543,3333 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Температура на расстоянии z от обогреваемой поверхности:

$$t_z = t_{h300} = 543,3333 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Конструкция - не является туннелем, в котором перевозят горючие жидкости или газы.

Конструкция - не предназначена для хранения каучука, синтетических материалов, масел, лаков, красок, сжиженного газа, бумаги, зерна или муки.

Характеристики арматуры при нагреве

Арматура A's - имеется.

Элемент - внецентренно-сжатый.

Для арматуры A's:

Расстояние от обогреваемой поверхности:

$$z = a' = 50 \text{ мм}.$$

Коэффициенты при нагреве арматуры определяется - по СТО 36554501-006-2006.

Коэффициент условия работы растянутой арматуры при нагреве принимается по табл. 5.5 $\gamma_{st} = 0,50033$.

Коэффициент условия работы сжатой арматуры при нагреве:

$$\gamma'_{st} = \gamma_{st} = 0,50033.$$

Расчетное значение сопротивления продольной арматуры сжатию при нагреве:

$$R_{sct} = R_{sc} \gamma'_{st} = 400 \cdot 0,50033 = 200,132 \text{ МПа (формула (5.9); п. 5.10)}.$$

По табл. 5.5 $\beta_s = 0,787$.

Модуль упругости арматуры при нагреве:

$$E_{st} = E_s \beta_s = 200000 \cdot 0,787 = 157400 \text{ МПа (формула (5.10); п. 5.10)}.$$

Для арматуры A_s :

Расстояние от обогреваемой поверхности:

$$z = a = 50 \text{ мм} .$$

Коэффициент условия работы растянутой арматуры при нагреве принимается по табл. 5.5 $\gamma_{st} = 0,50033$.

Коэффициент условия работы сжатой арматуры при нагреве:

$$\gamma'_{st} = \gamma_{st} = 0,50033 .$$

Нормативное значение сопротивления арматуры растяжению при нагреве:

$$R_{snt} = R_{s, n} \gamma_{st} = 500 \cdot 0,50033 = 250,165 \text{ МПа (формула (5.8); п. 5.10) .}$$

Расчетное значение сопротивления продольной арматуры растяжению при нагреве:

$$R_{st} = R_s \gamma_{st} = 435 \cdot 0,50033 = 217,64355 \text{ МПа (формула (5.8); п. 5.10) .}$$

Нормативное значение сопротивления арматуры растяжению при нагреве:

$$R_{snt} = R_{s, n} \gamma_{st} = 500 \cdot 0,50033 = 250,165 \text{ МПа (формула (5.8); п. 5.10) .}$$

Расчетное значение сопротивления продольной арматуры растяжению при нагреве:

$$R_{st} = R_s \gamma_{st} = 435 \cdot 0,50033 = 217,64355 \text{ МПа (формула (5.8); п. 5.10) .}$$

Расчет по несущей способности**Определение E_{bt} в центре тяжести приведенного сечения**

Расстояние от обогреваемой поверхности:

$$z = h/2 = 300/2 = 150 \text{ мм} .$$

Температура бетона на расстоянии z от обогреваемой поверхности по оси сечения

Т.к. $h = 300 \text{ мм}$:

Температура прогрева при $h = 300 \text{ мм}$:

По рис. Б.3 в зависимости от z и T_{fr}

$$t_{h300} = 100 \text{ }^\circ\text{C} .$$

Температура на расстоянии z от обогреваемой поверхности:

$$t_z = t_{h300} = 100 \text{ }^\circ\text{C} .$$

Определение модуля упругости бетона при нагреве

По табл. 5.1 $\beta_b = 0,86667$.

Начальный модуль упругости при нагреве:

$$E_{bt} = E_b \beta_b = 32500 \cdot 0,86667 = 28166,775 \text{ МПа (формула (5.3); п. 5.4) .}$$

Дополнительный эксцентриситет продольной от огневого воздействия:

$$e_t = 0 \text{ мм} .$$

(для отдельностоящих колонн)

Проект 05-РП-20-У-КР.РР.П2	Стр. 27
Прим. Город Нефтекамск. Угловая секция 9эт.	Файл KR.fea
Дата 05.2020	Выполнил Гельрот А.В.
Программа STARK_ES 2020	

Изгибная жесткость:

$$D = 0,15 E_{bt} I / (\varphi_l (0,3 + \delta_e)) + 0,7 E_{st} I_s =$$

$$= 0,15 \cdot 28166,78 \cdot 195213300 / (2 \cdot (0,3 + 0,3)) + 0,7 \cdot 157400 \cdot 81440000 =$$

$$9660375459271,75 \text{ Н мм}^2 \text{ (формула (8.31)); п. 8.16).}$$

Критическая сила:

$$N_{cr} = \pi^2 D / l_0^2 = 3,14159^2 \cdot 9660375000000 / 2080^2 = 22037740,2959 \text{ Н (формула (8.30)); п. 8.16).}$$

$N = 2250000 \text{ Н} < N_{cr} = 22037740 \text{ Н}$ (10,20976% от предельного значения) - условие выполнено .

Коэффициент, учитывающий влияние прогиба:

$$\eta = 1 / (1 - N / N_{cr}) = 1 / (1 - 2250000 / 22037740) = 1,11371 \text{ (формула (8.29)); п. 8.16).}$$

Расстояние от точки приложения силы N до центра тяжести сечения арматуры S :

$$e = e_o \eta + 0,5 (h_o - a') + e_t =$$

$$= 10 \cdot 1,11371 + 0,5 \cdot (250 - 50) + 0 = 111,1371 \text{ мм (формула (8.27)); п. 8.16).}$$

Определение граничной относительной высоты сжатой зоны

$$\epsilon_{s, el} = R_{st} / E_{st} = 217,6436 / 157400 = 0,00138 \text{ (формула (6.12)); п. 6.2.7 СП 52-101).}$$

$$\epsilon_{b, ult} = 0,0035 .$$

Граничная относительная высота сжатой зоны:

$$\xi_R = 0,8 / (1 + \epsilon_{s, el} / \epsilon_{b, ult}) =$$

$$= 0,8 / (1 + 0,00138 / 0,0035) = 0,57377 \text{ (формула (6.11)); п. 6.2.7 СП 52-101).}$$

Расчет по прочности внецентренно-сжатых элементов с симметричным прямоугольным сечением

Площадь сжатой арматуры:

$$A'_s = A_s = 4072 \text{ мм}^2 .$$

$$\text{Т.к. } e_o = 10 \text{ мм} \leq h / 30 = 300 / 30 = 10 \text{ мм} :$$

$$\lambda = l_0 / h_t = 2080 / 220 = 9,45455 .$$

Коэффициент продольного изгиба определяется - по СТО 36554501-006-2006.

$$\text{Т.к. } \lambda \leq 20 :$$

Коэффициент принимается по табл. 8.1 $\varphi = 0,9$.

Площадь сечения всей продольной арматуры:

$$A_{s, tot} = A_s + A'_s = 4072 + 4072 = 8144 \text{ мм}^2 .$$

Приведенные размеры сечений

Минимальный размер сечения:

$$b_{\min} = \min(b ; h) = \min(300;300) = 300 \text{ мм} .$$

Глубина прогрева бетона до критической температуры:

По рис. 8.2 в зависимости от T_{fr} и b_{\min}

$$a_t = 40 \text{ мм} .$$

Рабочая высота сечения:

$$h_o = h - a = 300 - 50 = 250 \text{ мм} .$$

Расчетная ширина стенки сечения при нагреве:

$$b_t = b - 2 a_t = 300 - 2 \cdot 40 = 220 \text{ мм (формула (8.1); п. 8.2) .}$$

Расчетная высота сечения при нагреве:

$$h_t = h - 2 a_t = 300 - 2 \cdot 40 = 220 \text{ мм (формула (8.6); п. 8.2) .}$$

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{\text{red}} = 0,9 (b - 2 a_t) (h - 2 a_t) =$$

$$= 0,9 \cdot (300 - 2 \cdot 40) \cdot (300 - 2 \cdot 40) = 43560 \text{ мм}^2 \text{ (формула (8.5); п. 8.2) .}$$

Расчетная рабочая высота сечения:

$$h_{ot} = h_o - a_t = 250 - 40 = 210 \text{ мм (формула (8.8); п. 8.2) .}$$

$$N = 2250000 \text{ Н} \leq \varphi (R_{bn} A_{\text{red}} + R_{sct} A_{s, \text{tot}}) = 0,9 \cdot (22 \cdot 43560 + 200,132 \cdot 8144) = 2329375,5072 \text{ Н (96,59241\% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.22); п. п. 8.13) .}$$

ОГНЕСТОЙКОСТЬ ОТДЕЛЬНО СТОЯЩЕЙ КОЛОННЫ 300x600мм

Исходные данные:

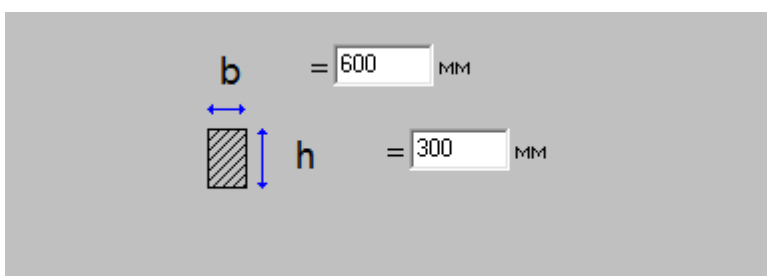
Огнестойкость:

- Длительность стандартного огневого воздействия $T_{fr} = 90$ мин;

Размеры элемента:

- Длина элемента или расстояние между точками закрепления $l = 2600$ мм;

Размеры в сечении, мм:



- Высота сечения $h = 300$ мм;
- Ширина сечения $b = 600$ мм;

Продольная арматура:

- (Растянутая продольная арматура - Стержневая арматура, диаметром 32 мм; 4 шт.):
- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S до грани сечения $a = 50$ мм;

Усилия от нормативной нагрузки:

- Изгибающий момент от постоянной и длительной нормативной нагрузки $M_n = 1500000$ Н мм;
- Нормальная сила от постоянной и длительной нормативной нагрузки $N_n = 3100000$ Н;

Результаты расчета:

Определение нормативного сопротивления бетона

Класс бетона - В30.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний первой группы принимается по табл. 5.1 СП 52-101 $R_{bn} = 22$ МПа .

Нормативное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний первой группы принимается по табл. 5.1 СП 52-101 $R_{btн} = 1,75$ МПа .

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию принимается по табл. 5.2 СП 52-101 $R_b = 17$ МПа .

Назначение класса бетона - по прочности на сжатие.

Проект 05-РП-20-У-КР.РР.П2	Стр.	30
Прим. Город Нефтекамск. Угловая секция 9эт.	Файл	KR.fea
Дата 05.2020	Программа	STARK_ES 2020
	Выполнил	Гельрот А.В.

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению принимается по табл. 5.2 СП 52-101
 $R_{bt} = 1,15 \text{ МПа}$.

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:

$$R_{b, ser} = R_{bn} = 22 \text{ МПа (формула (5.1); п. 5.1.9 СП 52-101).}$$

Расчетное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний второй группы:

$$R_{bt, ser} = R_{btm} = 1,75 \text{ МПа (формула (5.2); п. 5.1.9 СП 52-101).}$$

Прочностные характеристики определяется - по СТО 36554501-006-2006.

Учет особенностей работы бетона в конструкции

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий длительность действия нагрузки:
 $\gamma_{b1} = 1$.

(действие нагрузки непродолжительное по п. 4.9)

Конструкция бетонируется - в горизонтальном положении.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий бетонирование в вертикальном положении:

$$\gamma_{b3} = 1$$
 .

Для надземной конструкции, при расчетной температуре наружного воздуха в зимний период не менее -40 град.:

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий попеременное замораживание и оттаивание бетона:

$$\gamma_{b4} = 1$$
 .

(коэффициенты $\gamma_{b1} - \gamma_{b4}$ по п. 5.1.10 СП 52-101-2003)

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию:

$$R_b = \gamma_{b1} \gamma_{b3} \gamma_{b4} R_b = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 17 = 17 \text{ МПа} .$$

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению:

$$R_{bt} = \gamma_{b1} R_{bt} = 1 \cdot 1,15 = 1,15 \text{ МПа} .$$

Определение значения начального модуля упругости бетона

Начальный модуль упругости принимается по табл. 5.4 СП 52-101 $E_b = 32500 \text{ МПа}$.

Расчетные значения прочностных характеристик арматуры

Класс продольной арматуры - А500.

Расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению:

$$R_s = 435 \text{ МПа} .$$

Расчетное значение сопротивления продольной арматуры сжатию:

$$R_{sc} = 400 \text{ МПа} .$$

(действие нагрузки непродолжительное по п. 4.9)

Поперечная арматура - не рассматривается в данном расчете.

Нормативное значение сопротивления арматуры растяжению:

$$R_{s, n} = 500 \text{ МПа} .$$

Нормативное значение сопротивления продольной арматуры сжатию:

$$R_{sc, n} = 460 \text{ МПа} .$$

Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости арматуры:

$$E_s = 200000 \text{ МПа} .$$

Приведенные размеры сечений

Теплотехнический расчет выполняется - по СТО 36554501-006-2006.

Тип конструкции - колонна.

Бетон - тяжелый на силикатном заполнителе.

Минимальный размер сечения:

$$b_{\min} = \min(b ; h) = \min(600; 300) = 300 \text{ мм} .$$

Глубина прогрева бетона до критической температуры:

По рис. 8.2 в зависимости от T_{fr} и b_{\min}

$$a_t = 40 \text{ мм} .$$

Рабочая высота сечения:

$$h_o = h - a = 300 - 50 = 250 \text{ мм} .$$

Расчетная ширина стенки сечения при нагреве:

$$b_t = b - 2 a_t = 600 - 2 \cdot 40 = 520 \text{ мм (формула (8.1); п. 8.2) .}$$

Расчетная высота сечения при нагреве:

$$h_t = h - 2 a_t = 300 - 2 \cdot 40 = 220 \text{ мм (формула (8.6); п. 8.2) .}$$

Расчет площади приведенного сечения выполняется - по СТО 36554501-006-2006.

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$\begin{aligned} A_{red} &= 0,9 (b - 2 a_t) (h - 2 a_t) = \\ &= 0,9 \cdot (600 - 2 \cdot 40) \cdot (300 - 2 \cdot 40) = 102960 \text{ мм}^2 \text{ (формула (8.5); п. 8.2) .} \end{aligned}$$

Расчетная рабочая высота сечения:

$$h_{ot} = h_o - a_t = 250 - 40 = 210 \text{ мм (формула (8.8); п. 8.2) .}$$

Расчет эксцентриситета продольной силы

Проект 05-РП-20-У-КР.РР.П2	Стр. 32
Прим. Город Нефтекамск. Угловая секция 9эт.	Файл KR.fea
Дата 05.2020	Выполнил Гельрот А.В.
Программа STARK_ES 2020	

Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S' до грани сечения:
 $a' = a = 50 \text{ мм}$.

Продольная сила:
 $N = N_n = 3100000 \text{ Н}$.

Изгибающий момент:
 $M = M_n = 1500000 \text{ Н мм}$.

Случайный эксцентриситет:
 $e_a = \max(l/600 ; h/30 ; 10) = \max(2600/600; 300/30; 10) = 10 \text{ мм}$.

Элемент - статически неопределимой конструкции.

Для элементов статически неопределимых конструкций значение эксцентриситета продольной силы относительно центра тяжести приведенного сечения принимают равным значению эксцентриситета, полученного из статического расчета, но не менее e_a .

Эксцентриситет продольной силы относительно центра тяжести приведенного сечения:
 $e_o = M/N = 1500000/3100000 = 0,48387 \text{ мм}$.

Т.к. $e_o = 0,48387 \text{ мм} < e_a = 10 \text{ мм}$:

Эксцентриситет продольной силы относительно центра тяжести приведенного сечения:
 $e_o = e_a = 10 \text{ мм}$.

Продолжение расчета по п. п. 8.16 СТО 36554501-006-2006

Коэффициент:
 $\delta_e = e_o/h_t = 10/220 = 0,04545$.

Т.к. $\delta_e < 0,3$:

Коэффициент:
 $\delta_e = 0,3$.

Закрепление по концам элемента - податливые заделки с ограниченным поворотом.

Расчетная длина элемента:
 $l_o = 0,8 l = 0,8 \cdot 2600 = 2080 \text{ мм}$.

В формуле $\varphi_1 = 1 + M_{II}/M_1$ (8.32) отношение $M_{II}/M_1 = 1$, т.к. по п.п. 4.8 и 4.9 статический расчет предела огнестойкости по потере несущей способности выполняется при непродолжительном действии постоянных и временных длительных нормативных нагрузок (в данном сочетании нагрузок момент от полной нагрузки M_1 равен моменту от постоянных и временных нагрузок M_{II}).

Коэффициент, учитывающий влияние длительности действия нагрузки:
 $\varphi_1 = 2$.

Момент инерции бетонного сечения относительно центра тяжести приведенного сечения:
 $I = b_t h_t^3/12 = 520 \cdot 220^3/12 = 461413333,33333 \text{ мм}^4$.

Момент инерции всей продольной арматуры относительно центра тяжести сечения элемента:
 $I_s = A_s (h-2a)^2/2 = 3220 \cdot (300-2 \cdot 50)^2/2 = 64400000 \text{ мм}^4$.

Определение E_{st}

Расстояние от обогреваемой поверхности:

$$z = a = 50 \text{ мм}.$$

Температура бетона на расстоянии z от обогреваемой поверхности в углу сечения

Т.к. $h = 300 \text{ мм}$:

Температура прогрева при $h = 300 \text{ мм}$:

По рис. Б.3 в зависимости от z и T_{fr}

$$t_{h300} = 543,3333 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Температура на расстоянии z от обогреваемой поверхности:

$$t_z = t_{h300} = 543,3333 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Конструкция - не является туннелем, в котором перевозят горючие жидкости или газы.

Конструкция - не предназначена для хранения каучука, синтетических материалов, масел, лаков, красок, сжиженного газа, бумаги, зерна или муки.

Характеристики арматуры при нагреве

Арматура A's - имеется.

Элемент - внецентренно-сжатый.

Для арматуры A's:

Расстояние от обогреваемой поверхности:

$$z = a' = 50 \text{ мм}.$$

Коэффициенты при нагреве арматуры определяется - по СТО 36554501-006-2006.

Коэффициент условия работы растянутой арматуры при нагреве принимается по табл. 5.5 $\gamma_{st} = 0,50033$.

Коэффициент условия работы сжатой арматуры при нагреве:

$$\gamma'_{st} = \gamma_{st} = 0,50033.$$

Расчетное значение сопротивления продольной арматуры сжатию при нагреве:

$$R_{sct} = R_{sc} \gamma'_{st} = 400 \cdot 0,50033 = 200,132 \text{ МПа (формула (5.9); п. 5.10)}.$$

По табл. 5.5 $\beta_s = 0,787$.

Модуль упругости арматуры при нагреве:

$$E_{st} = E_s \beta_s = 200000 \cdot 0,787 = 157400 \text{ МПа (формула (5.10); п. 5.10)}.$$

Для арматуры A_s :

Расстояние от обогреваемой поверхности:

$$z = a = 50 \text{ мм} .$$

Коэффициент условия работы растянутой арматуры при нагреве принимается по табл. 5.5 $\gamma_{st} = 0,50033$.

Коэффициент условия работы сжатой арматуры при нагреве:

$$\gamma'_{st} = \gamma_{st} = 0,50033 .$$

Нормативное значение сопротивления арматуры растяжению при нагреве:

$$R_{snt} = R_{s, n} \gamma_{st} = 500 \cdot 0,50033 = 250,165 \text{ МПа (формула (5.8); п. 5.10) .}$$

Расчетное значение сопротивления продольной арматуры растяжению при нагреве:

$$R_{st} = R_s \gamma_{st} = 435 \cdot 0,50033 = 217,64355 \text{ МПа (формула (5.8); п. 5.10) .}$$

Нормативное значение сопротивления арматуры растяжению при нагреве:

$$R_{snt} = R_{s, n} \gamma_{st} = 500 \cdot 0,50033 = 250,165 \text{ МПа (формула (5.8); п. 5.10) .}$$

Расчетное значение сопротивления продольной арматуры растяжению при нагреве:

$$R_{st} = R_s \gamma_{st} = 435 \cdot 0,50033 = 217,64355 \text{ МПа (формула (5.8); п. 5.10) .}$$

Расчет по несущей способности**Определение E_{bt} в центре тяжести приведенного сечения**

Расстояние от обогреваемой поверхности:

$$z = h/2 = 300/2 = 150 \text{ мм} .$$

Температура бетона на расстоянии z от обогреваемой поверхности по оси сечения

Т.к. $h = 300 \text{ мм}$:

Температура прогрева при $h = 300 \text{ мм}$:

По рис. Б.3 в зависимости от z и T_{fr}

$$t_{h300} = 100 \text{ } ^\circ\text{C} .$$

Температура на расстоянии z от обогреваемой поверхности:

$$t_z = t_{h300} = 100 \text{ } ^\circ\text{C} .$$

Определение модуля упругости бетона при нагреве

По табл. 5.1 $\beta_b = 0,86667$.

Начальный модуль упругости при нагреве:

$$E_{bt} = E_b \beta_b = 32500 \cdot 0,86667 = 28166,775 \text{ МПа (формула (5.3); п. 5.4) .}$$

Дополнительный эксцентриситет продольной от огневого воздействия:

$$e_t = 0 \text{ мм} .$$

(для отдельностоящих колонн)

Проект 05-РП-20-У-КР.РР.П2	Стр.	35
Прим. Город Нефтекамск. Угловая секция 9эт.	Файл	KR.fea
Дата 05.2020	Программа	STARK_ES 2020
	Выполнил	Гельрот А.В.

Изгибная жесткость:

$$D = 0,15 E_{bt} I / (\varphi_l (0,3 + \delta_e)) + 0,7 E_{st} I_s =$$

$$= 0,15 \cdot 28166,78 \cdot 461413300 / (2 \cdot (0,3 + 0,3)) + 0,7 \cdot 157400 \cdot 64400000 =$$

$$8720157863771,75 \text{ Н мм}^2 \text{ (формула (8.31); п. 8.16).}$$

Критическая сила:

$$N_{cr} = \pi^2 D / l_0^2 = 3,14159^2 \cdot 8720158000000 / 2080^2 = 19892869,3082 \text{ Н (формула (8.30); п. 8.16).}$$

$N = 3100000 \text{ Н} < N_{cr} = 19892870 \text{ Н}$ (15,58347% от предельного значения) - условие выполнено .

Коэффициент, учитывающий влияние прогиба:

$$\eta = 1 / (1 - N / N_{cr}) = 1 / (1 - 3100000 / 19892870) = 1,1846 \text{ (формула (8.29); п. 8.16).}$$

Расстояние от точки приложения силы N до центра тяжести сечения арматуры S :

$$e = e_0 \eta + 0,5 (h_0 - a') + e_t =$$

$$= 10 \cdot 1,1846 + 0,5 \cdot (250 - 50) + 0 = 111,846 \text{ мм (формула (8.27); п. 8.16).}$$

Определение граничной относительной высоты сжатой зоны

$$\epsilon_{s, el} = R_{st} / E_{st} = 217,6436 / 157400 = 0,00138 \text{ (формула (6.12); п. 6.2.7 СП 52-101).}$$

$$\epsilon_{b, ult} = 0,0035 .$$

Граничная относительная высота сжатой зоны:

$$\xi_R = 0,8 / (1 + \epsilon_{s, el} / \epsilon_{b, ult}) =$$

$$= 0,8 / (1 + 0,00138 / 0,0035) = 0,57377 \text{ (формула (6.11); п. 6.2.7 СП 52-101).}$$

Расчет по прочности внецентренно-сжатых элементов с симметричным прямоугольным сечением

Площадь сжатой арматуры:

$$A'_s = A_s = 3220 \text{ мм}^2 .$$

$$\text{Т.к. } e_0 = 10 \text{ мм} \leq h / 30 = 300 / 30 = 10 \text{ мм} :$$

$$\lambda = l_0 / h_t = 2080 / 220 = 9,45455 .$$

Коэффициент продольного изгиба определяется - по СТО 36554501-006-2006.

$$\text{Т.к. } \lambda \leq 20 :$$

Коэффициент принимается по табл. 8.1 $\varphi = 0,9$.

Площадь сечения всей продольной арматуры:

$$A_{s, tot} = A_s + A'_s = 3220 + 3220 = 6440 \text{ мм}^2 .$$

Приведенные размеры сечений

Минимальный размер сечения:

$$b_{\min} = \min(b ; h) = \min(600;300) = 300 \text{ мм} .$$

Глубина прогрева бетона до критической температуры:

По рис. 8.2 в зависимости от T_{fr} и b_{\min}

$$a_t = 40 \text{ мм} .$$

Рабочая высота сечения:

$$h_o = h - a = 300 - 50 = 250 \text{ мм} .$$

Расчетная ширина стенки сечения при нагреве:

$$b_t = b - 2 a_t = 600 - 2 \cdot 40 = 520 \text{ мм (формула (8.1); п. 8.2) .}$$

Расчетная высота сечения при нагреве:

$$h_t = h - 2 a_t = 300 - 2 \cdot 40 = 220 \text{ мм (формула (8.6); п. 8.2) .}$$

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{\text{red}} = 0,9 (b - 2 a_t) (h - 2 a_t) =$$

$$= 0,9 \cdot (600 - 2 \cdot 40) \cdot (300 - 2 \cdot 40) = 102960 \text{ мм}^2 \text{ (формула (8.5); п. 8.2) .}$$

Расчетная рабочая высота сечения:

$$h_{ot} = h_o - a_t = 250 - 40 = 210 \text{ мм (формула (8.8); п. 8.2) .}$$

$$N = 3100000 \text{ Н} \leq \varphi (R_{bn} A_{\text{red}} + R_{sct} A_{s, \text{tot}}) = 0,9 \cdot (22 \cdot 102960 + 200,132 \cdot 6440) = 3198573,072 \text{ Н (96,91822\% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.22); п. п. 8.13) .}$$