

25 декабря 2019 г. состоялось заседание НС РААСН «Цифровые технологии в строительстве и архитектуре». Программа заседания:

1. «Об особенностях нормативных расчетов железобетонных конструкций, реализованных в программных комплексах и специализированных программах. Состояние вопроса» (докладчик – член-корреспондент РААСН, д.т.н. С.Б.Крылов (НИЦ «Строительство»). На этом заседании я выступал с подробными комментариями по задачам 1,3,4,5,6,10.

В своем выступлении подробно рассказывал, о некоторых ошибочных результатах. Никто из присутствующих на заседании не возражал! Забавно, что эти ошибочные результаты автор видео, размещенного в интернете совершенно необоснованно обозвал эталонными. Первый раз сталкиваюсь с тем, чтобы ошибки называли эталоном. Как минимум 4 (четыре) задачи решены ОМ СНиП неверно. Ниже я поясню почему неверно. Все 9 (девять) задач Ing+ решил правильно и именно эти решения являются эталоном.

Подробные вычисления с анализом уравнений равновесия были приведены в моих иллюстраций к выступлению на заседании Научного совета РААСН 25.12.2019г. Если кого-то они интересуют – вот ссылка: http://tech-soft.ru/doc/K_SCHBK_2019_Tl_1.pdf

Этот файл отличается от оригинала тем, что я добавил сейчас последний слайд с таблицей.

1. Задача 1. Условие задачи неоднозначно. Никаких требований в условии по ограничению на значения диаметров в группах нет. В такой ситуации результат полученный по Ing+ по прочности более оптимален, чем по ОМ СНиП. Результат ОМ СНиП по трещиностойкости просто неверен. Для диаметров (22мм,10мм) полученных по ОМ СНиП $a_{сгс_1} = 0,311$ мм при предельном значении 0,3 мм, $a_{сгс_2} = 0,218$ мм при предельном значении 0,2 мм.

Т.е. по этой задаче для ОМ СНиП – незачет!

2. Задача 4. Круглый внецентренно сжатый элемент. В условии задачи положение арматуры не задано. В результате решение, полученное по ОМ СНиП неверное. Диаметр 20 мм по прочности не проходит, ну и естественно о трещиностойкости для этого диаметра говорить не приходится. Если сечение разрушилось, то никаких трещин уже нет.

В так называемом «Доказательстве правильности расчетов сечений на прочность по программе «ОМ СНиП Железобетон»» грубые ошибки. Для этой задачи, из «Доказательства...» видно, что не учтен случайный эксцентриситет. Если его учесть, то действующий момент $M_y = \eta * (M_y + e * N) = 1,0841 * 127,3 = 138$ кНм $> 135,3$ кНм – воспринимаемый момент. Здесь я использовал коэффициент η и значение воспринимаемого момента из так называемого «Доказательства...».

Если же правильно посчитать воспринимаемые усилия, для воспринимаемой продольной силы получим $N = 535,5$ кН, что меньше действующей 550 кН.

Воспринимаемый момент также имеет другое значение. Замечу, что в этой задаче нельзя ограничиться одним изгибающим моментом. При правильном учете случайного эксцентриситета появляется второй момент!

Т.е. по этой задаче для ОМ СНиП – минус.

3. Задача 5. Косо внецентренно сжатый элемент. Решение, полученное по ОМ СНиП опять неверное. Для диаметра 25 мм условия прочности не выполняются.

В так называемом «Доказательстве правильности расчетов сечений на прочность по программе «ОМ СНиП Железобетон»» опять грубые ошибки. Для этой задачи из Доказательства также видно, что не учтен случайный эксцентриситет. Если его учесть, то действующий момент $M_x = \eta_x \cdot (M_x + e_x \cdot N) = 1,0264 \cdot 430 = 441,4 \text{ кНм} > 431,5 \text{ кНм}$ - воспринимаемый момент, $M_y = \eta_y \cdot (M_y + e_y \cdot N) = 1,0197 \cdot 1040 = 1060 \text{ кНм} > 1031,6 \text{ кНм}$ – воспринимаемый момент. Здесь я опять использовал коэффициенты η и значения воспринимаемых моментов из так называемого «Доказательства...».

Если правильно посчитать положение нейтральной линии для диаметра 25 (ОМ СНиП), то воспринимаемая продольная сила $N = 1431,15 \text{ кН}$, что меньше действующей 1500 кН; воспринимаемые моменты также имеют другие значения.

Вычисления для уравнений равновесия автора ОМ СНиП в ролике неверные!

Т.е. по этой задаче для ОМ СНиП – минус.

4. Задача 6. Косо внецентренно сжатый элемент. Решение, полученное по ОМ СНиП снова неверное. Для диаметра 32 мм условия прочности не выполняются.

В так называемом «Доказательстве правильности расчетов сечений на прочность по программе «ОМ СНиП Железобетон»» опять грубые ошибки. Для этой задачи из Доказательства также видно, что не учтен случайный эксцентриситет. Если его учесть, то действующий момент

$$M_x = \eta_x \cdot (M_x + e_x \cdot N) = 1,179 \cdot 744 = 877,2 \text{ кНм} > 855,3 \text{ кНм}$$

$M_y = \eta_y \cdot (M_y + e_y \cdot N) = 1,023 \cdot 3210 = 3283,8 \text{ кНм} > 3198,8 \text{ кНм}$ – воспринимаемый момент. Здесь я снова и опять использовал коэффициенты η и значения воспринимаемых моментов из так называемого «Доказательства...».

Если правильно посчитать положение нейтральной линии для диаметра 25 (ОМ СНиП), то воспринимаемая продольная сила $N = 2179,6 \text{ кН}$, что меньше действующей 2200 кН; воспринимаемые моменты также имеют другие значения.

Вычисления для уравнений равновесия автора ОМ СНиП в ролике неверные!

Т.е. по этой задаче для ОМ СНиП – минус.

4. Задача 6. Косо внецентренно сжатый элемент. Решение, полученное по ОМ СНиП снова неверное. Для диаметра 32 мм условия прочности не выполняются.

В так называемом «Доказательстве правильности расчетов сечений на прочность по программе «ОМ СНиП Железобетон»» опять грубые ошибки. Для этой задачи из Доказательства также видно, что не учтен случайный эксцентриситет. Если его учесть, то действующий момент

$$M_x = \eta_x \cdot (M_x + e_x \cdot N) = 1,179 \cdot 744 = 877,2 \text{ кНм} > 855,3 \text{ кНм}$$

$M_y = \eta_y \cdot (M_y + e_y \cdot N) = 1,023 \cdot 3210 = 3283,8 \text{ кНм} > 3198,8 \text{ кНм}$ – воспринимаемый момент. Здесь я снова и опять использовал коэффициенты η и значения воспринимаемых моментов из так называемого «Доказательства...».

Если правильно посчитать положение нейтральной линии для диаметра 25 (ОМ СНиП), то воспринимаемая продольная сила $N = 2179,6 \text{ кН}$, что меньше действующей 2200 кН; воспринимаемые моменты также имеют другие значения.

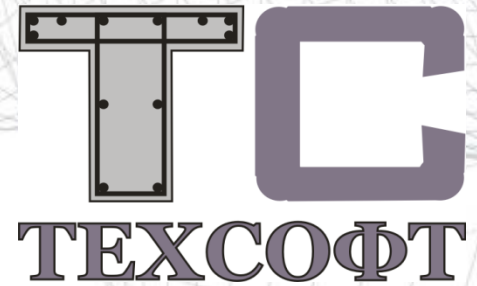
Вычисления для уравнений равновесия автора ОМ СНиП в ролике неверные!

Т.е. по этой задаче для ОМ СНиП – минус.

5. Задача 9. Наглядный пример неряшливости не только в формулировках условий задач, но и в неумении читать примечания к результатам! Решение по Ing+ верное и еще с комментариями.

Итак, как минимум для 4-х задач результат по ОМ СНиП не соответствует правильному и никакого отношения к эталонным результатам не имеет (решение просто неверно). Результат задачи 2 не проверял, а история с предыдущими задачами показывает, что верить этому результату без проверки нельзя. Результат всех 9 решенных задач по Ing+ соответствует уравнениям механики и требованиям норм.

Итог: Результаты и выводы видеоролика неверны



К верификации проектирующей системы Ing_R
(подсистемы СТАДИКОН и СТАТИКА)

2019 год

*К нормативным расчетам железобетонных
конструкций, реализованных в программах
СТАДИКОН и СТАТИКА.*

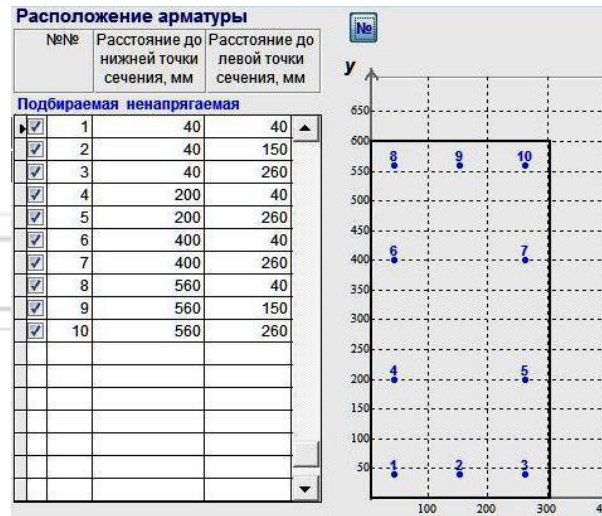
Основные вопросы

1. Примеры для расчетов, представленные проф. М.Б.Краковским
– 10 различных задач
2. Примеры для расчетов, представленные ТЕХСОФТ
– 4 различные задачи
3. Задача пользователя



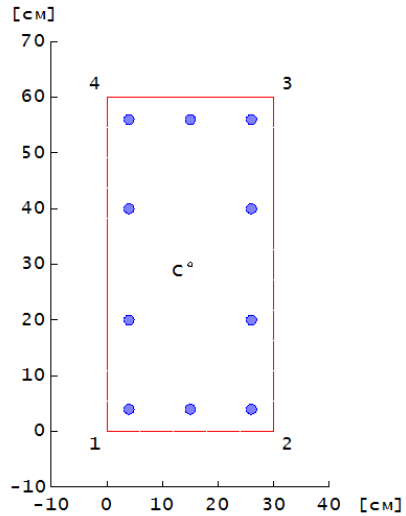
Задачи, предложенные проф. Краковским М.Б.

Пример 1. Прямоугольный изгибаемый элемент. Нормальное сечение. Прочность и трещиностойкость. Подбор армирования.



Рассматривается прямоугольное сечение со следующими параметрами: $b = 300$ мм; $h = 600$ мм, бетон класса В15. Расположение арматурных стержней показано на рисунке. Стержни принадлежат двум группам. Первая и вторая группы содержат соответственно стержни № 1, 2, 3 и остальные стержни. Требуется определить диаметры стержней каждой группы из условий прочности и трещиностойкости. При расчете по прочности изгибающий момент от всех нагрузок $M = 200$ кНм; при расчете по трещиностойкости изгибающий момент при действии всех нагрузок $M = 180$ кНм, при действии постоянных и длительных нагрузок $M = 130$ кНм.

Задачи, предложенные проф. Краковским М.Б. Пример 1. Прочность



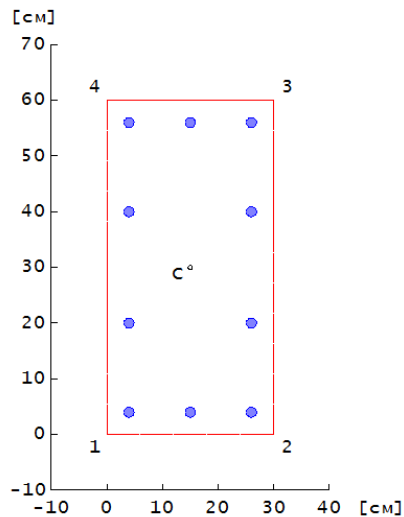
Арматурные слои

№	Группа	Y1 [см]	Z1 [см]
1	1	4.0	4.0
2	1	15.0	4.0
3	1	26.0	4.0
4	2	4.0	20.0
5	2	26.0	20.0
6	2	4.0	40.0
7	2	26.0	40.0
8	2	4.0	56.0
9	2	15.0	56.0
10	2	26.0	56.0

Требуемая арматура

№	Y1 [см]	Z1 [см]	A _s [см ²]
1	4.0	4.0	3.23
2	15.0	4.0	3.23
3	26.0	4.0	3.23
4	4.0	20.0	0.00
5	26.0	20.0	0.00
6	4.0	40.0	0.00
7	26.0	40.0	0.00
8	4.0	56.0	0.00
9	15.0	56.0	0.00
10	26.0	56.0	0.00

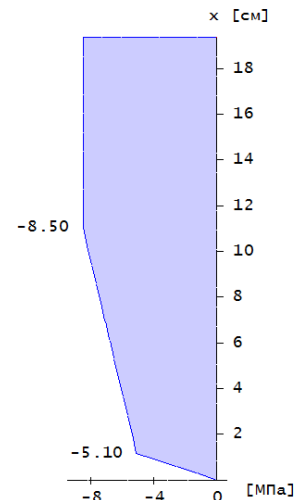
Задачи, предложенные проф. Краковским М.Б. Пример 1. Прочность



Деформации стали

№	ε_1 [%.]	ε_2 [%.]	σ_1 [МПа]	σ_2 [МПа]
1	6.63		435.00	
2	6.63		435.00	
3	6.63		435.00	

Напряжение в бетоне



x - расстояние от нейтральной линии

Усилия

	N [кН]	M_y [кНм]	M_z [кНм]
в бетоне	421.89	90.31	0.00
в арматуре	-421.89	109.69	0.00
суммарные	0.00	200.00	0.00
расчетные	0.00	200.00	0.00

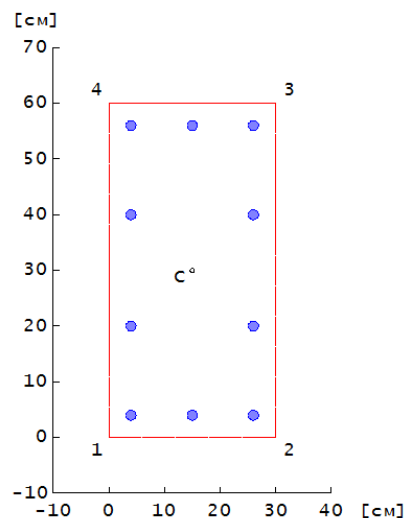
Выбранные стержни

Слой	n	d_s [мм]	A_s [см ²]
1	1	22	3.80
2	1	22	3.80
3	1	22	3.80
Общая площадь арматуры		$A_{s, tot} =$	11.40 см ²
Коэффициент армирования		$\mu_{tot} =$	0.63 %

Предельные усилия для сечения с подобранными арматурными стержнями

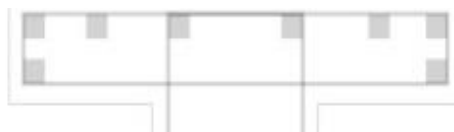
N_u [кН]	M_{yu} [кНм]	M_{zu} [кНм]	γ_u
0.0	227.7	0.0	1.138

Задачи, предложенные проф. Краковским М.Б. Пример 1. Прочность



Арматурные слои

№	Группа	y ₁ [см]	z ₁ [см]	Пост. A _s [см ²]
1	1	4.0	4.0	
2	1	15.0	4.0	
3	1	26.0	4.0	
4		4.0	20.0	0.27
5		26.0	20.0	0.27
6		4.0	40.0	0.27
7		26.0	40.0	0.27
8		4.0	56.0	0.27
9		15.0	56.0	0.27
10		26.0	56.0	0.27



Выбранные стержни

Слой	n	d _s [мм]	A _s [см ²]
1	1	20	3.14
2	1	20	3.14
3	1	20	3.14
4	1	10	0.79
5	1	10	0.79
6	1	10	0.79
7	1	10	0.79
8	1	10	0.79
9	1	10	0.79
10	1	10	0.79

Общее число стержней

n_{tot} = 10

Общая площадь арматуры

A_{s,tot} = 14.92 см²

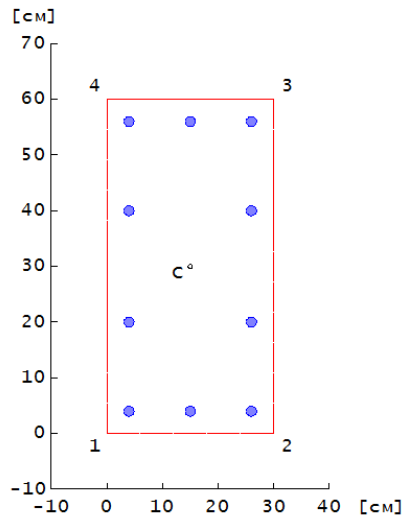
Коэффициент армирования

μ_{tot} = 0.83 %

Предельные усилия для сечения с подобранными арматурными стержнями

N _u [кН]	M _{yu} [кНм]	M _{zu} [кНм]	γ _u
0.0	223.6	0.0	1.118

Задачи, предложенные проф. Краковским М.Б. Пример 1. Трещиностойкость



Арматурные слои

№	Группа	Y1 [CM]	Z1 [CM]
1	1	4.0	4.0
2	1	15.0	4.0
3	1	26.0	4.0
4	2	4.0	20.0
5	2	26.0	20.0
6	2	4.0	40.0
7	2	26.0	40.0
8	2	4.0	56.0
9	2	15.0	56.0
10	2	26.0	56.0

Требуемая арматура

№	Y1 [CM]	Z1 [CM]	A _s [CM ²]
1	4.0	4.0	3.23
2	15.0	4.0	3.23
3	26.0	4.0	3.23
4	4.0	20.0	0.00
5	26.0	20.0	0.00
6	4.0	40.0	0.00
7	26.0	40.0	0.00
8	4.0	56.0	0.00
9	15.0	56.0	0.00
10	26.0	56.0	0.00

Выбранные стержни

Слой	n	d _s [MM]	A _s [CM ²]
1	1	25	4.91
2	1	25	4.91
3	1	25	4.91

Общее число стержней

n_{tot} = 3 -

Общая площадь арматуры

A_{s,tot} = 14.73 CM²

Коэффициент армирования

μ_{tot} = 0.82 %

Задачи, предложенные проф. Краковским М.Б. Пример 1. Трещиностойкость

Предельные усилия для сечения с подобранными арматурными стержнями

K	N_u [кН]	M_{yu} [кНм]	M_{zu} [кНм]	γ_u
1	0.0	275.1	0.0	1.376

Проверка трещиностойкости сечения с подобранной арматурой

Предельная ширина раскрытия трещин
 Непродолжительное раскрытие $a_{crs1} = 0.30$ мм
 Продолжительное раскрытие $a_{crs2} = 0.20$ мм

Расчет по образованию трещин

K	N_{crs} [кН]	$M_{y,crs}$ [кНм]	$M_{z,crs}$ [кНм]	Условие проверки
1	0.0	49.6	0.0	не выполняется

Расчет по непродолж. раскрытию трещин

K	σ_s [МПа]	a_{crs} [мм]	Условие проверки
1	258.4	0.255	выполняется

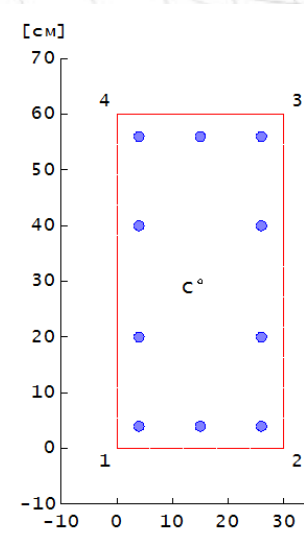
Расчет по продолж. раскрытию трещин

K	σ_s [МПа]	a_{crs} [мм]	Условие проверки
1	179.7	0.176	выполняется

Прочность и трещиностойкость сечения обеспечены

ТЕХСОФТ

Задачи, предложенные проф. Краковским М.Б. Пример 1. Трещиностойкость



Арматурные слои

№	Группа	y ₁ [см]	z ₁ [см]	Пост. A _s [см ²]
1	1	4.0	4.0	
2	1	15.0	4.0	
3	1	26.0	4.0	
4		4.0	20.0	0.27
5		26.0	20.0	0.27
6		4.0	40.0	0.27
7		26.0	40.0	0.27
8		4.0	56.0	0.27
9		15.0	56.0	0.27
10		26.0	56.0	0.27

Выбранные стержни

Слой	n	d _s [мм]	A _s [см ²]
1	1	22	3.80
2	1	22	3.80
3	1	22	3.80
4	1	16	2.01
5	1	16	2.01
6	1	16	2.01
7	1	16	2.01
8	1	16	2.01
9	1	16	2.01
10	1	16	2.01

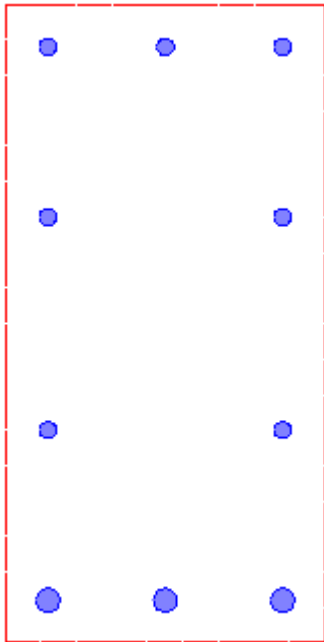
Общее число стержней $n_{tot} = 10$

Общая площадь арматуры $A_{s,tot} = 25.48 \text{ см}^2$
Коэффициент армирования $\mu_{tot} = 1.42 \%$

Предельные усилия для сечения с подобранными арматурными стержнями

K	N _u [кН]	M _{yu} [кНм]	M _{zu} [кНм]	γ_u
1	0.0	300.6	0.0	1.503

Задачи, предложенные проф. Краковским М.Б. Пример 1. Трещиностойкость



Проверка трещиностойкости сечения с подобранной арматурой

Предельная ширина раскрытия трещин Непродолжительное раскрытие $a_{crs1} = 0.30$ мм
Продолжительное раскрытие $a_{crs2} = 0.20$ мм

Расчет по образованию трещин	K	N_{crs} [кН]	$M_{y,crs}$ [кНм]	$M_{z,crs}$ [кНм]	Условие проверки
	1	0.0	48.6	0.0	не выполняется

Расчет по непродолж. раскрытию трещин	K	σ_s [МПа]	a_{crs} [мм]	Условие проверки
	1	282.6	0.280	выполняется

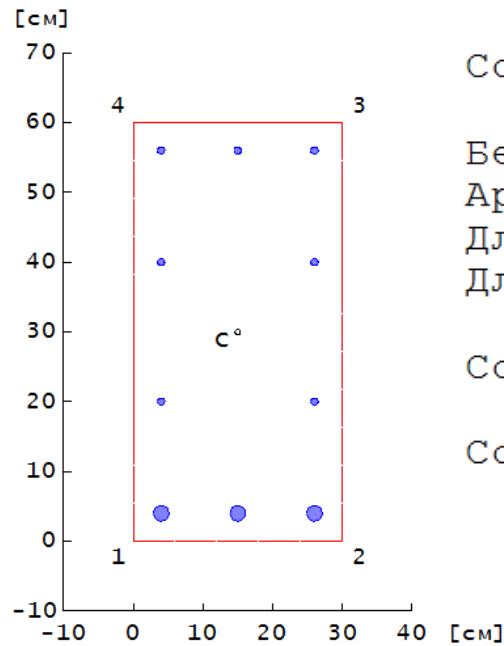
Расчет по продолж. раскрытию трещин	K	σ_s [МПа]	a_{crs} [мм]	Условие проверки
	1	198.2	0.196	выполняется

Прочность и трещиностойкость сечения обеспечены



ТЕХСОФТ

Задачи, предложенные проф. Краковским М.Б. Пример 1. Трещиностойкость Проверка диаметров (22, 10)



Согласно СП 63.13330.2012 Бетон.и железобетон.кон.

Бетон

B 15 (тяжелый)

Арматура

A500

Для бетона применяется

трехлинейная диаграмма

Для арматуры применяется

двухлинейная диаграмма

Сопротивление бетона

$R_{b\ n} = 11.00$ МПа

Сопротивление арматуры

$R_{b\ t\ n} = 1.10$ МПа

$R_{s\ n} = 500$ МПа



Арматура

№	y [см]	z [см]	d _s [мм]	№	y [см]	z [см]	d _s [мм]
1	4.0	4.0	22	2	15.0	4.0	22
3	26.0	4.0	22	4	4.0	20.0	10
5	26.0	20.0	10	6	4.0	40.0	10
7	26.0	40.0	10	8	4.0	56.0	10
9	15.0	56.0	10	10	26.0	56.0	10

Общая площадь арматуры

$A_{s\ tot} = 16.90$ см²

Коэффициент армирования

$\mu_{tot} = 0.94$ %

Усилия

Относительно центральных осей бетонного сечения

Нормативные усилия

K	N [кН]	M _y [кНм]	M _z [кНм]	N ₁ [кН]	M _{y 1} [кНм]	M _{z 1} [кНм]
1		180.0			130.0	

Задачи, предложенные проф. Краковским М.Б. Пример 1. Трещиностойкость

Проверка диаметров (22, 10)

Проверка трещиностойкости сечения с заданной арматурой

Предельная ширина раскрытия трещин

Непродолжительное раскрытие

$a_{crs1} = 0.30$ мм

Продолжительное раскрытие

$a_{crs2} = 0.20$ мм

Расчет по образованию трещин

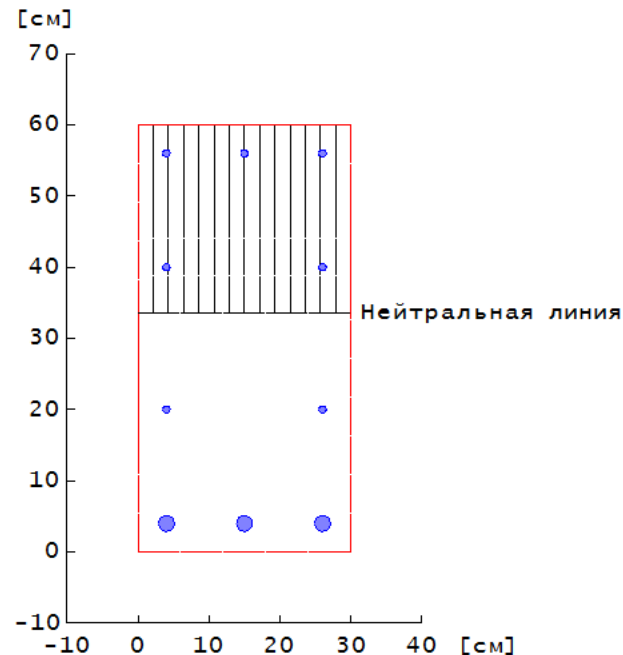
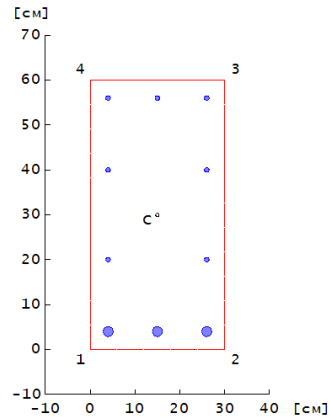
K	N_{crs} [кН]	$M_{y,crs}$ [кНм]	$M_{z,crs}$ [кНм]	Условие проверки
1	0.0	47.1	0.0	не выполняется

Нейтральная линия

y_1 [см]	z_1 [см]	y_2 [см]	z_2 [см]
0.00	33.58	30.00	33.58

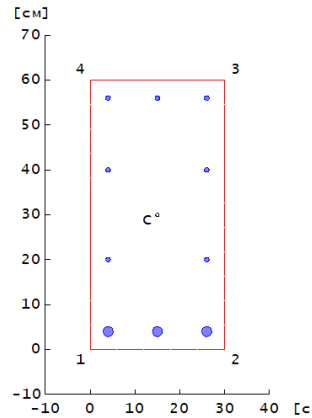
Сжатая зона

сечения непосредственно перед образованием трещин



Задачи, предложенные проф. Краковским М.Б. Пример 1. Трещиностойкость

Проверка диаметров (22, 10)



Деформации бетона

Вершина	ε [‰.]	σ [МПа]
1	0.15	1.10
2	0.15	1.10
3	-0.12	-2.83
4	-0.12	-2.83

Деформации стали

Слой	ε_1 [‰.]	ε_2 [‰.]	σ_1 [МПа]	σ_2 [МПа]
1	0.13		26.43	
2	0.13		26.43	
3	0.13		26.43	
4	0.06		12.13	
5	0.06		12.13	
6	-0.03		-5.74	
7	-0.03		-5.74	
8	-0.10		-20.04	
9	-0.10		-20.04	
10	-0.10		-20.04	

Расчет по непродолж.
раскрытию трещин

K	σ_s [МПа]	a_{crc} [мм]	Условие проверки
1	310.1	0.311	не выполняется

Данные для расчета

K	$\sigma_{s, crc}$ [МПа]	ψ_s [-]	A_{bt} [см ²]	A_s [см ²]	d_s [мм]	l_s [см]
1	76.8	0.802	900.0*	12.13	22	40.0

* Учтены ограничения на высоту растянутой зоны

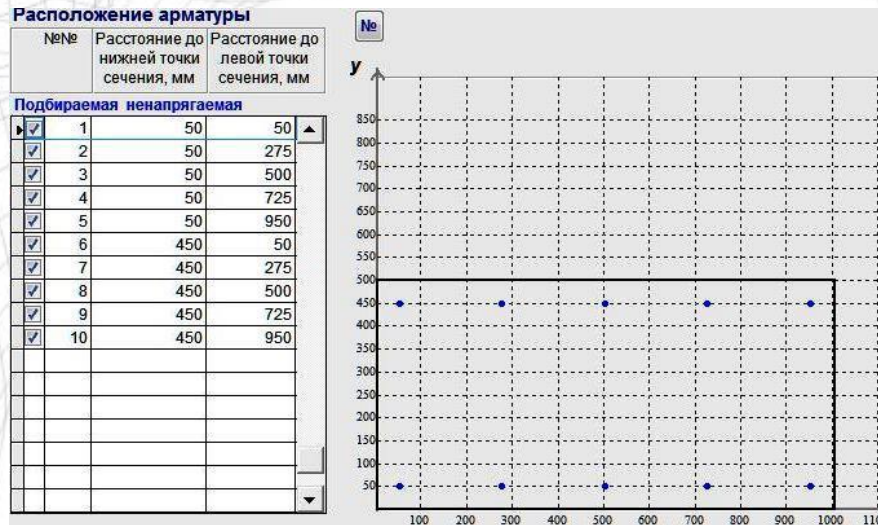
Расчет по продолж.
раскрытию трещин

K	σ_s [МПа]	a_{crc} [мм]	Условие проверки
1	216.8	0.218	не выполняется

Трещиностойкость сечения не обеспечена

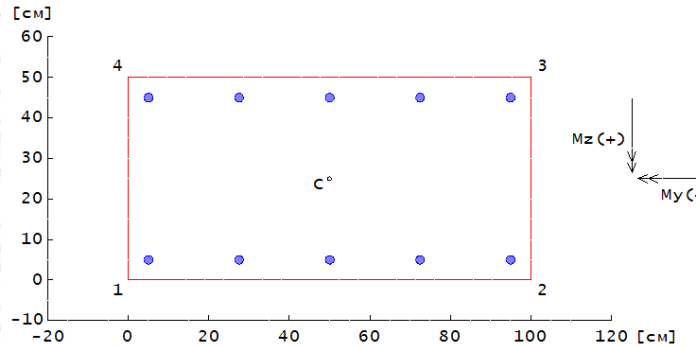
Задачи, предложенные проф. Краковским М.Б.

Пример 3. Прямоугольный симметрично армированный внецентренно сжатый элемент. Нормальное сечение. Прочность и трещиностойкость. Подбор армирования.



Рассматривается элемент прямоугольного сечения со следующими параметрами: $b = 1000$; $h = 500$; $a = a' = 40$ мм; бетон класса В35. Симметричная арматура состоит из пяти стержней одинакового диаметра у верхней и нижней граней (см. рисунок). Расстояние между сечениями элемента, закрепленными от смещения, составляет 1 м. Конструкция статически определима в плоскости и из плоскости изгиба. Требуется определить диаметр стержней арматуры из условий прочности и трещиностойкости. При расчете на прочность продольные силы и изгибающие моменты: от длительных нагрузок $N = 450$ кН, $M = 280$ кНм; от всех нагрузок $N = 800$ кН, $M = 550$ кНм. Усилия определены расчетом по деформированной схеме, т.е. продольный изгиб не учитывается. При расчете на трещиностойкость продольные силы и изгибающие моменты: от длительных нагрузок $N = 380$ кН, $M = 120$ кНм; от всех нагрузок $N = 720$ кН, $M = 480$ кНм.

Задачи, предложенные проф. Краковским М.Б. Пример 3. Трещиностойкость



Арматурные слои

№	Группа	y_1 [см]	z_1 [см]
1	1	5.0	5.0
2	1	27.5	5.0
3	1	50.0	5.0
4	1	72.5	5.0
5	1	95.0	5.0
6	1	5.0	45.0
7	1	27.5	45.0
8	1	50.0	45.0
9	1	72.5	45.0
10	1	95.0	45.0

Расчетные усилия

K	N [кН]	M_y [кНм]	M_z [кНм]
1	800.0	550.0	

Нормативные усилия

K	N [кН]	M_y [кНм]	M_z [кНм]	N_1 [кН]	M_{y1} [кНм]	M_{z1} [кНм]
1	720.0	480.0		380.0	120.0	

Расчет

Согласно СП 63.13330.2012 Бетон.и железобетон.кон.

Бетон

B 35 (тяжелый)

Арматура

A500

Для бетона применяется трехлинейная диаграмма

Для арматуры применяется двухлинейная диаграмма

Коэффициент условий работы $\gamma_b = 1.000$

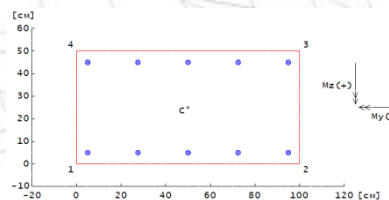
Сопротивление бетона

$R_{b,n} = 25.50$ МПа

$R_{b,t,n} = 1.95$ МПа

$\gamma_b R_b = 19.50$ МПа

Задачи, предложенные проф. Краковским М.Б. Пример 3. Трещиностойкость



Требуемая арматура

№	Y1 [см]	Z1 [см]	As [см²]
1	5.0	5.0	4.24
2	27.5	5.0	4.24
3	50.0	5.0	4.24
4	72.5	5.0	4.24
5	95.0	5.0	4.24
6	5.0	45.0	4.24
7	27.5	45.0	4.24
8	50.0	45.0	4.24
9	72.5	45.0	4.24
10	95.0	45.0	4.24

Общая площадь арматуры

$A_{s, tot} = 42.39 \text{ см}^2$

Коэффициент армирования

$\mu_{tot} = 0.85 \%$

Предельные усилия

K	Nu [кН]	Myu [кНм]	Mzu [кНм]	γ_u
1	800.0	550.0	0.0	1.000

Выбранные стержни

Слой	n	ds [мм]	As [см²]
1	1	25	4.91
2	1	25	4.91
3	1	25	4.91
4	1	25	4.91
5	1	25	4.91
6	1	25	4.91
7	1	25	4.91
8	1	25	4.91
9	1	25	4.91
10	1	25	4.91

Общее число стержней

$n_{tot} = 10$

Общая площадь арматуры

$A_{s, tot} = 49.09 \text{ см}^2$

Коэффициент армирования

$\mu_{tot} = 0.98 \%$

Предельные усилия для сечения с подобранными арматурными стержнями

K	Nu [кН]	Myu [кНм]	Mzu [кНм]	γ_u
1	916.0	629.7	0.0	1.145

Задачи, предложенные проф. Краковским М.Б. Пример 3. Трещиностойкость

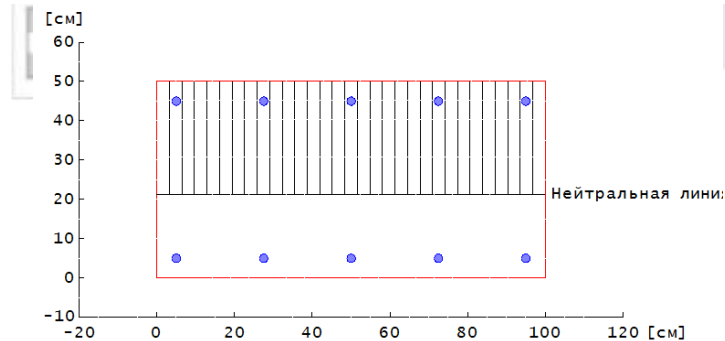
Проверка трещиностойкости сечения с подобранной арматурой

Предельная ширина раскрытия трещин	Непродолжительное раскрытие	$a_{crs1} = 0.30$	мм
	Продолжительное раскрытие	$a_{crs2} = 0.20$	мм

Расчет по образованию трещин	K	N_{crs} [кН]	$M_{y,crs}$ [кНм]	$M_{z,crs}$ [кНм]	Условие проверки
	1	720.0	234.4	0.0	не выполняется

Нейтральная линия	y_1 [см]	z_1 [см]	y_2 [см]	z_2 [см]
	0.00	21.25	100.00	21.25

Сжатая зона сечения непосредственно перед образованием трещин



Деформации бетона

Вершина	ε [‰]	σ [МПа]
1	0.15	1.95
2	0.15	1.95
3	-0.20	-7.00
4	-0.20	-7.00

Деформации стали

Слой	ε_1 [‰]	ε_2 [‰]	σ_1 [МПа]	σ_2 [МПа]
1	0.11		22.94	
2	0.11		22.94	
3	0.11		22.94	
4	0.11		22.94	
5	0.11		22.94	
6	-0.17		-33.53	
7	-0.17		-33.53	
8	-0.17		-33.53	
9	-0.17		-33.53	
10	-0.17		-33.53	

Задачи, предложенные проф. Краковским М.Б. Пример 3. Трещиностойкость

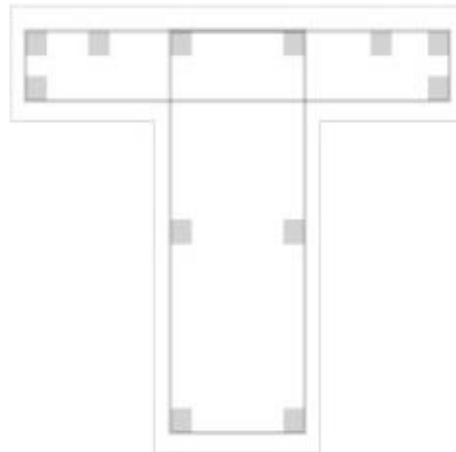
Расчет по непродолж.
раскрытию трещин

K	σ_s [МПа]	$a_{срс}$ [мм]	Условие проверки
1	336.3	0.258	выполняется

Данные для расчета

K	$\sigma_{s,срс}$ [МПа]	ψ_s [-]	A_{bt} [см ²]	A_s [см ²]	d_s [мм]	l_s [см]
1	97.6	0.768	2125.1	24.54	25	40.0

Прочность и трещиностойкость сечения обеспечены

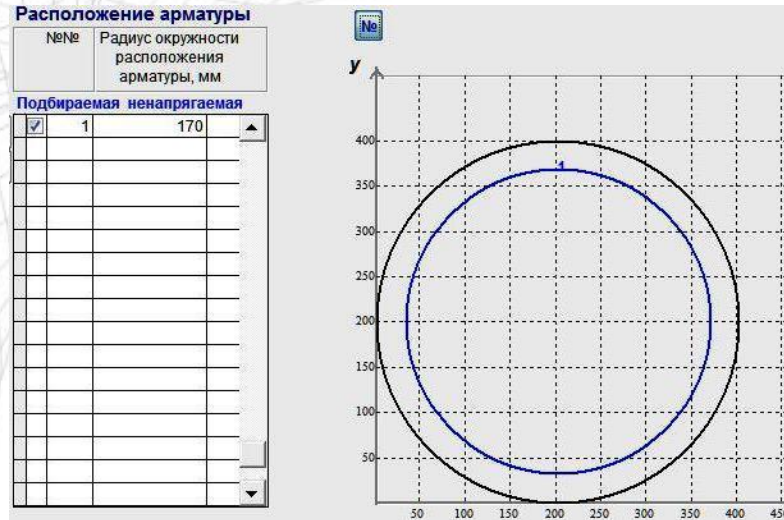


ТЕХСОФТ

Задачи, предложенные проф. Краковским М.Б.

Пример 4. Круглый внецентренно сжатый элемент. Нормальное сечение.

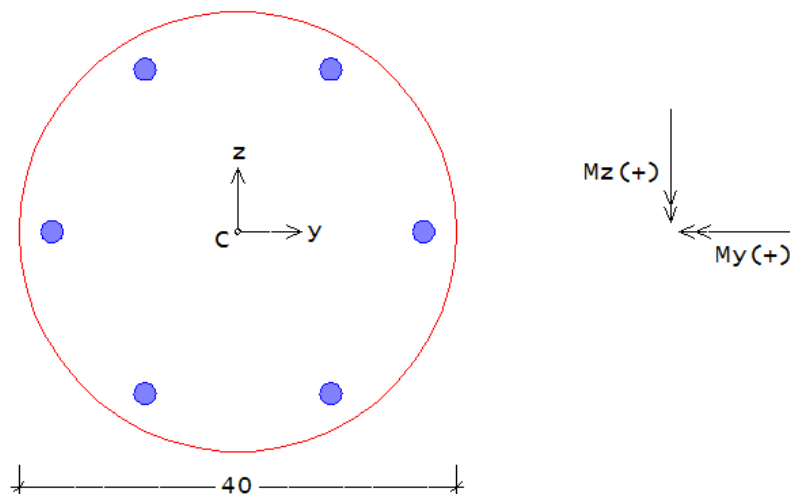
Прочность и трещиностойкость. Подбор армирования.



Рассматривается круглое сечение диаметром 400 мм. Бетон класса В20. Конструкция статически определима. Арматура состоит из шести стержней одинакового диаметра, расположенных на окружности диаметром 340 мм (см. рисунок). При расчете по прочности продольные силы и изгибающие моменты: от длительных нагрузок $N = 450$ кН, $M = 80$ кНм, от всех нагрузок $N = 550$ кН, $M = 120$ кНм. Расчетная длина элемента и расстояние между его сечениями, закрепленными от смещения, составляет 3 м. При расчете по трещиностойкости продольные силы и изгибающие моменты: от длительных нагрузок $N = 380$ кН, $M = 70$ кНм, от всех нагрузок $N = 480$ кН, $M = 100$ кНм. Требуется определить диаметр стержней арматуры из условий прочности и трещиностойкости.

Задачи, предложенные проф. Краковским М.Б. Пример 4. Прочность. Проверка диаметров (20, 20)

Круговое сечение



Диаметр	D	=	40.0	см
Диаметр арматуры	d_s	=	20	мм
Толщина защитного слоя	a_s	=	20	мм
Общая площадь арматуры	$A_{s, tot}$	=	18.85	см ²
Коэффициент армирования	μ_{tot}	=	1.50	%

K	N [кН]	M_y [кНм]	M_z [кНм]	N_1 [кН]	M_{y1} [кНм]	M_{z1} [кНм]
1	550.0	120.0		450.0	80.0	

Задачи, предложенные проф. Краковским М.Б. Пример 4. Прочность. Проверка диаметров (20, 20)

Согласно СП 63.13330.2018 Бетон.и железобетон.кон.

Бетон	<i>B 20 (тяжелый)</i>		
Арматура	<i>A500</i>		
Для бетона применяется	трехлинейная	диаграмма	
Для арматуры применяется	двухлинейная	диаграмма	
Коэффициент условий работы	γ_b	= 1.000	-
Сопротивление бетона	$\gamma_b R_b$	= 11.50	МПа
Сопротивление арматуры	R_s	= 435	МПа
	$R_{s c}$	= 400	МПа
Модуль упругости бетона	E_b	= 27.5	ГПа
Длина колонны	l	= 3.00	м
Расчетная длина в пл. Y	$l_{0 y}$	= 3.00	м
в пл. Z	$l_{0 z}$	= 3.00	м
Случ. эксцентриситет в пл. Y	$e_{a y}$	= 13.3	мм
в пл. Z	$e_{a z}$	= 13.3	мм
Эксцентриситет e_0 увеличивается на e_a			

Задачи, предложенные проф. Краковским М.Б. Пример 4. Прочность. Проверка диаметров (20, 20)

Расчетный момент в плоскости Y

K	M _z [кНм]	φ ₁ [-]	δ _e [-]	D [МНм ²]	N _{сr} [кН]	η [-]	η * M _z [кНм]
1	7.3	1.818	0.150	10.12	11092.9	1.052	7.7

Расчетный момент в плоскости Z

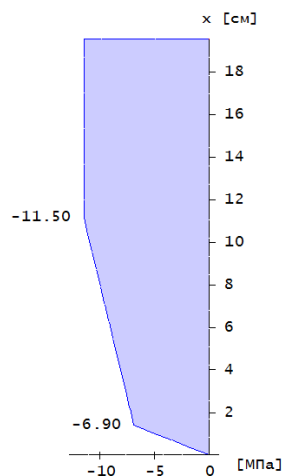
K	M _y [кНм]	φ ₁ [-]	δ _e [-]	D [МНм ²]	N _{сr} [кН]	η [-]	η * M _y [кНм]
1	127.3	1.731	0.580	7.20	7894.7	1.075	136.9

Кривизны $\kappa_y / \kappa_z = 0.01788 / 0.00111 \text{ 1/м}$

Деформации бетона	Максимальная деформация		Минимальная деформация	
	ε [%.]	σ [МПа]	ε [%.]	σ [МПа]
	3.67	0.00	-3.50	-11.50

Деформации стали	Максимальная деформация		Минимальная деформация	
	ε [%.]	σ [МПа]	ε [%.]	σ [МПа]
	2.81	435.00	-2.64	-400.00

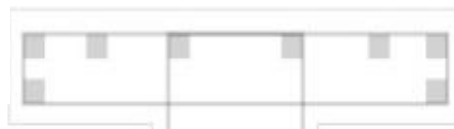
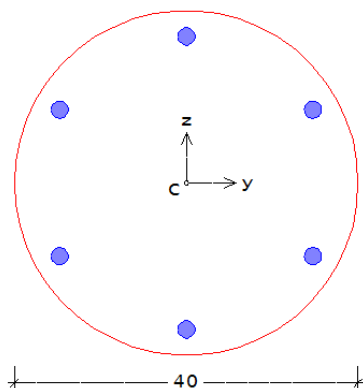
Напряжение в бетоне



	N [кН]	M _y [кНм]	M _z [кНм]
в бетоне	568.40	56.13	3.49
в арматуре	-32.41	77.24	4.03
суммарные	535.99	133.37	7.52
расчетные	550.00	136.85	7.72

Прочность сечения не обеспечена

Задачи, предложенные проф. Краковским М.Б. Пример 4. Прочность. Проверка диаметров (20, 20)



K	N [кН]	M _y [кНм]	M _z [кНм]	N ₁ [кН]	M _{y 1} [кНм]	M _{z 1} [кНм]
1	550.0	120.0		450.0	80.0	

Предельные усилия

N _u [кН]	M _{y u} [кНм]	M _{z u} [кНм]	γ _u
535.5	133.3	7.5	0.974

	N [кН]	M _y [кНм]	M _z [кНм]
в бетоне	567.94	56.16	2.74
в арматуре	-32.41	77.11	4.77
суммарные	535.53	133.27	7.51
расчетные	550.00	136.87	7.72

Прочность сечения не обеспечена

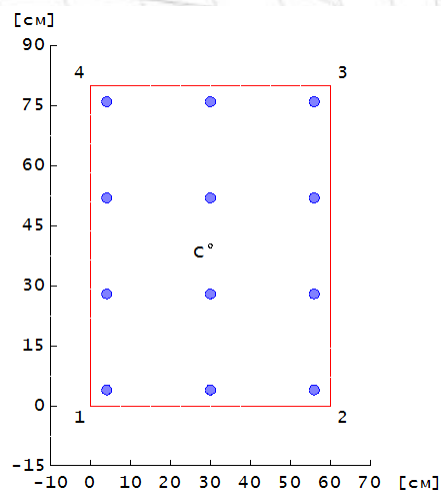
Задачи, предложенные проф. Краковским М.Б.

Пример 5 Прямоугольный косо внецентренно сжатый элемент. Нормальное сечение. Прочность. Подбор армирования.



Рассматривается элемент прямоугольного сечения со следующими параметрами: $b = 600$; $h = 800$ мм. Бетон класса В40. Элемент армирован 12 стержнями одинакового диаметра, расположенными как показано на рисунке. Напряженное состояние - косо внецентренное сжатие. Продольные силы и изгибающие моменты: от длительных нагрузок $N = 1000$ кН, $M_x = 300$ кНм, $M_y = 800$ кНм; от всех нагрузок $N = 1500$ кН, $M_x = 400$ кНм, $M_y = 1000$ кНм. Изгибающие моменты M_x и M_y действуют в плоскостях, параллельных осям x и y соответственно (см. рисунок). Расстояние между сечениями элемента, закрепленными от смещения, а также расчетная длина элемента в обеих плоскостях составляет 4 м. Конструкция статически определима в обеих плоскостях. Требуется определить диаметр арматурных стержней из условий прочности.

Задачи, предложенные проф. Краковским М.Б. Пример 5. Прочность. Проверка диаметра (25)



Арматура

№	y [см]	z [см]	d _s [мм]	№	y [см]	z [см]	d _s [мм]
1	4.0	4.0	25	2	4.0	28.0	25
3	4.0	52.0	25	4	4.0	76.0	25
5	30.0	4.0	25	6	30.0	28.0	25
7	30.0	52.0	25	8	30.0	76.0	25
9	56.0	4.0	25	10	56.0	28.0	25
11	56.0	52.0	25	12	56.0	76.0	25

Общая площадь арматуры

$A_{s, tot} = 58.90 \text{ см}^2$

Коэффициент армирования

$\mu_{tot} = 1.23 \%$

Усилия

Относительно осей, параллельных выбранным осям y, z

K	N [кН]	M _y [кНм]	M _z [кНм]	N ₁ [кН]	M _{y1} [кНм]	M _{z1} [кНм]
1	1500.0	1000.0	400.0	1000.0	800.0	300.0

Согласно СП 63.13330.2018 Бетон.и железобетон.кон.

Бетон

B 40 (тяжелый)

Арматура

A500

Для бетона применяется

трехлинейная диаграмма

Для арматуры применяется

двухлинейная диаграмма

Коэффициент условий работы

$\gamma_b = 1.000$ -

Сопротивление бетона

$\gamma_b R_b = 22.00 \text{ МПа}$

Сопротивление арматуры

$R_s = 435 \text{ МПа}$

$R_{sc} = 400 \text{ МПа}$

Модуль упругости бетона

$E_b = 36.0 \text{ ГПа}$

Длина колонны

$l = 4.00 \text{ м}$

Расчетная длина в пл. Y

$l_{0y} = 4.00 \text{ м}$

в пл. Z

$l_{0z} = 4.00 \text{ м}$

Случ. эксцентриситет в пл. Y

$e_{ay} = 20.0 \text{ мм}$

в пл. Z

$e_{az} = 26.7 \text{ мм}$

Эксцентриситет e_0 увеличивается на e_a

Задачи, предложенные проф. Краковским М.Б. Пример 5. Прочность. Проверка диаметра (25)

Расчетный момент в плоскости Y

K	M _z [кНм]	φ ₁ [-]	δ _e [-]	D [МНм ²]	N _{c r} [кН]	η [-]	η * M _z [кНм]
1	430.0	1.707	0.478	95.72	59046.8	1.026	441.2

Расчетный момент в плоскости Z

K	M _y [кНм]	φ ₁ [-]	δ _e [-]	D [МНм ²]	N _{c r} [кН]	η [-]	η * M _y [кНм]
1	1040.0	1.751	0.867	127.04	78367.6	1.020	1060.3

Предельные усилия

N _u [кН]	M _{y u} [кНм]	M _{z u} [кНм]	γ _u
1431.1	1011.6	421.0	0.954

Нейтральная линия

y ₁ [см]	z ₁ [см]	y ₂ [см]	z ₂ [см]
0.00	34.06	60.00	77.84

Кривизны

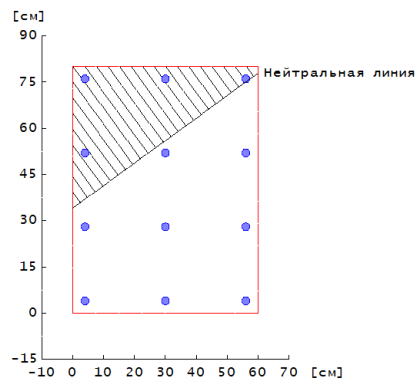
$$\kappa_y / \kappa_z = 0.00762 / 0.00556 \text{ 1/м}$$

Деформации бетона

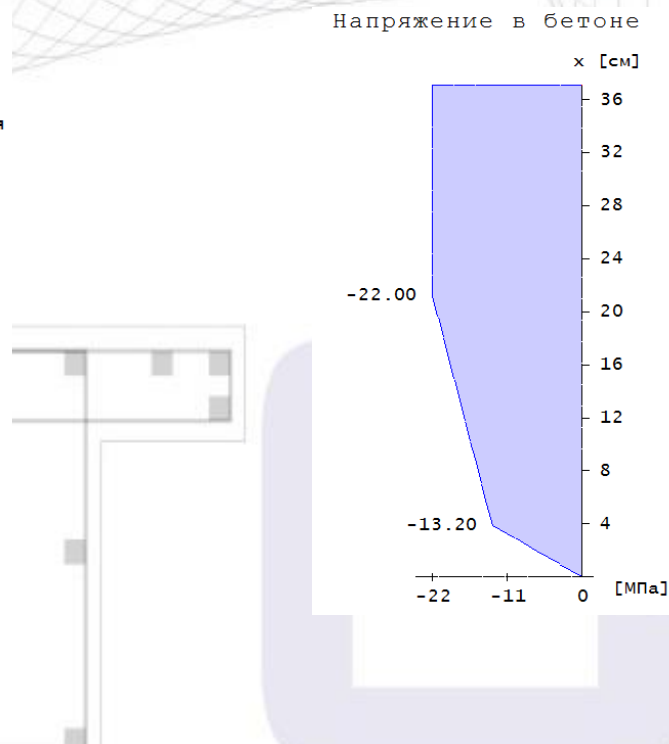
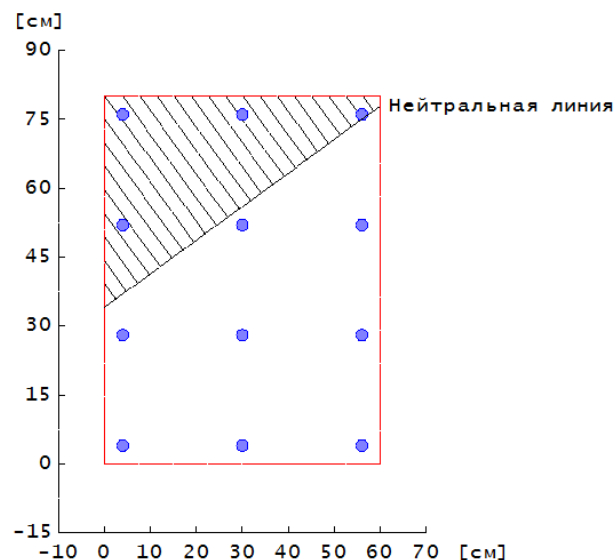
№	ε [%.]	σ [МПа]
1	2.60	0.00
2	5.93	0.00
3	-0.16	-5.92
4	-3.50	-22.00

Деформации стали

№	ε [%.]	σ [МПа]
1	2.51	435.00
2	0.68	136.83
3	-1.14	-228.87
4	-2.97	-400.00
5	3.96	435.00
6	2.13	425.92
7	0.30	60.22
8	-1.53	-305.49
9	5.40	435.00
10	3.58	435.00
11	1.75	349.30
12	-0.08	-16.40



Задачи, предложенные проф. Краковским М.Б. Пример 5. Прочность. Проверка диаметра (25)

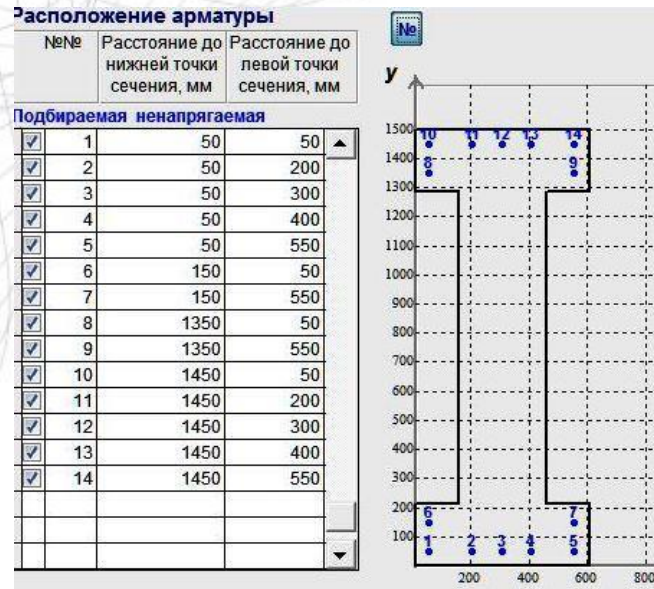


	N [кН]	M _y [кНм]	M _z [кНм]
в бетоне	2295.83	605.31	260.15
в арматуре	-864.68	406.31	160.80
суммарные	1431.15	1011.63	420.96
расчетные	1500.00	1060.29	441.21

Прочность сечения не обеспечена

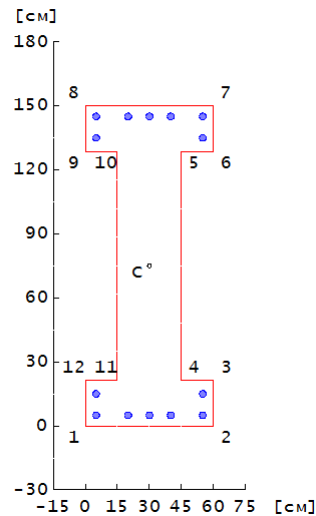
Задачи, предложенные проф. Краковским М.Б.

Пример 6. Двутавровый косо внецентренно сжатый элемент. Нормальное сечение. Прочность. Подбор армирования.



Рассматривается элемент двутаврового сечения со следующими параметрами: $b = 300$; $h = 1500$, $hf' = hf = 215$, $bf' = bf = 600$ мм. Бетон класса В55. Элемент армирован 14 стержнями одинакового диаметра, расположенными в полках как показано на рисунке. Напряженное состояние – косо внецентренное сжатие. Продольные силы и изгибающие моменты: от длительных нагрузок $N = 1700$ кН, $M_x = 550$ кНм, $M_y = 1600$ кНм; от всех нагрузок $N = 2200$ кН, $M_x = 700$ кНм, $M_y = 3100$ кНм. Изгибающие моменты M_x и M_y действуют в плоскостях, параллельных осям x и y соответственно (см. рисунок).. Расстояние между сечениями элемента, закрепленными от смещения, равно 10.3 м; расчетная длина элемента в плоскостях действия моментов M_x и M_y составляет соответственно 8.1 и 10.3 м. Конструкция статически определима в обеих плоскостях. Требуется определить диаметр арматурных стержней из условий прочности.

Задачи, предложенные проф. Краковским М.Б. Пример 6. Прочность. Проверка диаметра (32)



№	Y [cm]	Z [cm]	d _s [mm]	№	Y [cm]	Z [cm]	d _s [mm]
1	5.0	5.0	32	2	20.0	5.0	32
3	30.0	5.0	32	4	40.0	5.0	32
5	55.0	5.0	32	6	5.0	15.0	32
7	55.0	15.0	32	8	5.0	135.0	32
9	55.0	135.0	32	10	5.0	145.0	32
11	20.0	145.0	32	12	30.0	145.0	32
13	40.0	145.0	32	14	55.0	145.0	32

Общая площадь арматуры
Коэффициент армирования

$A_{s, tot} = 112.59 \text{ см}^2$
 $\mu_{tot} = 1.94 \%$

K	N [кН]	M _y [кНм]	M _z [кНм]	N ₁ [кН]	M _{y 1} [кНм]	M _{z 1} [кНм]
1	2200.0	3100.0	700.0	1700.0	1600.0	550.0

Согласно СП 63.13330.2018 Бетон.и железобетон.кон.

Бетон

B 55 (тяжелый)

Арматура

A500

Для бетона применяется трехлинейная диаграмма

Для арматуры применяется двухлинейная диаграмма

Коэффициент условий работы $\gamma_b = 1.000$ -

Сопротивление бетона $\gamma_b R_b = 30.00 \text{ МПа}$

Сопротивление арматуры $R_s = 435 \text{ МПа}$

$R_{sc} = 400 \text{ МПа}$

Модуль упругости бетона $E_b = 39.0 \text{ ГПа}$

Длина колонны $l = 10.30 \text{ м}$

Расчетная длина в пл. Y $l_{0y} = 8.10 \text{ м}$

в пл. Z $l_{0z} = 10.30 \text{ м}$

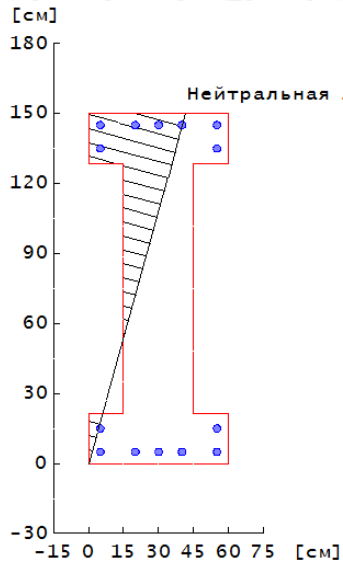
Случ. эксцентриситет в пл. Y $e_{ay} = 20.0 \text{ мм}$

в пл. Z $e_{az} = 50.0 \text{ мм}$

Эксцентриситет e_0 увеличивается на e_a

Задачи, предложенные проф. Краковским М.Б. Пример 6. Прочность.

Проверка диаметра (32)



Расчетный момент в плоскости Y

K	M _z [кНм]	φ ₁ [-]	δ _e [-]	D [МНм ²]	N _{с r} [кН]	η [-]	η * M _z [кНм]
1	744.0	1.780	0.564	99.42	14955.9	1.172	872.3

Расчетный момент в плоскости Z

K	M _y [кНм]	φ ₁ [-]	δ _e [-]	D [МНм ²]	N _{с r} [кН]	η [-]	η * M _y [кНм]
1	3210.0	1.605	0.973	1109.35	103203.1	1.022	3279.9

Предельные усилия

N _u [кН]	M _{y u} [кНм]	M _{z u} [кНм]	γ _u
2179.6	3249.6	864.2	0.991

Нейтральная линия

y ₁ [см]	z ₁ [см]	y ₂ [см]	z ₂ [см]
0.17	0.00	41.69	150.00

Кривизны

$$\kappa_y / \kappa_z = 0.00232 / 0.00840 \quad 1/\text{м}$$

Деформации бетона

№	ε [%.]	σ [МПа]
1	-0.01	-0.56
2	5.02	0.00
3	4.52	0.00
4	3.26	0.00
5	0.78	0.00
6	2.04	0.00
7	1.54	0.00
8	-3.50	-30.00
9	-3.00	-30.00
10	-1.74	-27.98
11	0.75	0.00
12	-0.51	-18.41

Деформации стали

№	ε [%.]	σ [МПа]
1	0.29	57.86
2	1.55	309.74
3	2.39	435.00
4	3.23	435.00
5	4.49	435.00
6	0.06	11.38
7	4.25	435.00
8	-2.73	-400.00
9	1.47	293.27
10	-2.96	-400.00
11	-1.70	-340.92
12	-0.87	-173.01
13	-0.03	-5.09
14	1.23	246.79

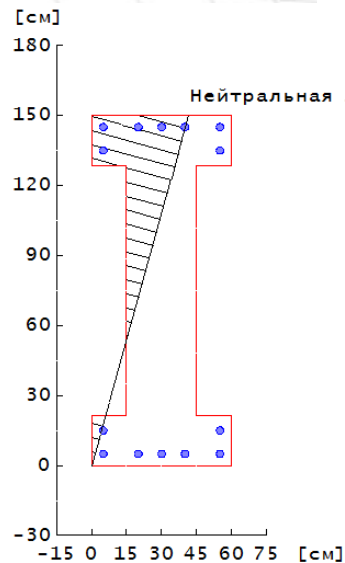
Задачи, предложенные проф. Краковским М.Б. Пример 6. Прочность. Проверка диаметра (32)

Предельные усилия

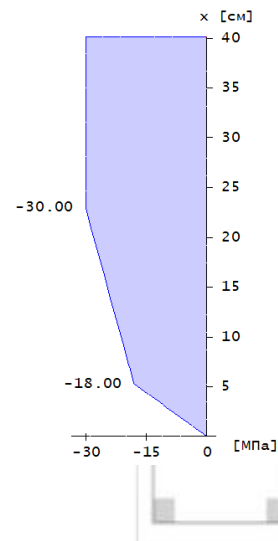
N_u [кН]	$M_{y u}$ [кНм]	$M_{z u}$ [кНм]	γ_u
2179.6	3249.6	864.2	0.991

Нейтральная линия

y_1 [см]	z_1 [см]	y_2 [см]	z_2 [см]
0.17	0.00	41.69	150.00



Напряжение в бетоне



	N [кН]	M_y [кНм]	M_z [кНм]
в бетоне	3257.35	1662.59	396.73
в арматуре	-1077.71	1586.98	467.52
суммарные	2179.64	3249.57	864.25
расчетные	2200.00	3279.92	872.32

Прочность сечения не обеспечена

Задачи, предложенные проф. Краковским М.Б. Пример 7. Прямоугольный свободно опертый элемент. Наклонное сечение. Прочность. Подбор армирования

Рассматривается свободно опертый элемент прямоугольного сечения со следующими параметрами: $b = 250$ мм; $h = 500$ мм; пролет элемента 5.5 м. Бетон класса В15. Для продольной арматуры $a = 40$ мм. На элемент действует равномерно распределенная нагрузка 60 кН/м. Поперечное армирование постоянно по длине элемента. Хомуты двухветвевые, шаг 200 мм. Требуется определить диаметр хомутов из условия прочности наклонных сечений.



Согласно СП 63.13330.2012 Бетон.и железобетон.кон.

Бетон	В 15 (тяжелый)		
Поперечная арматура	А240		
Коэффициент условий работы	γ_b	= 1.000	—
Расчетные сопротивления	$\gamma_b R_b$	= 8.50	МПа
	$\gamma_b R_{bt}$	= 0.75	МПа
	R_{sw}	= 170	МПа

Задачи, предложенные проф. Краковским М.Б. Пример 7. Прямоугольный свободно опертый элемент. Наклонное сечение. Прочность. Подбор армирования

Требуемая поперечная арматура	x [м]	C [см]	C _{sw} [см]	тр. A _{sw} /s _w [см ² /м]	s _{w, max} [см]	A _{sw} /s _w [см ² /м]
	0.460	46.0	46.0	2.76*	28.9	4.26
	0.668	66.8	66.8	4.20	31.8	4.26
	0.876	87.6	87.6	3.98	35.3	3.98
	1.085	108.5	92.0	3.84	39.7	3.84
	1.293	129.3	92.0	3.53	45.4	3.53
	1.501	138.0	92.0	2.76*	52.9	2.76
	1.709	138.0	92.0	2.76*	63.5	2.76
	1.917	138.0	92.0	2.76*	79.4	2.76
	2.014	138.0	92.0	2.76*	89.9	2.76

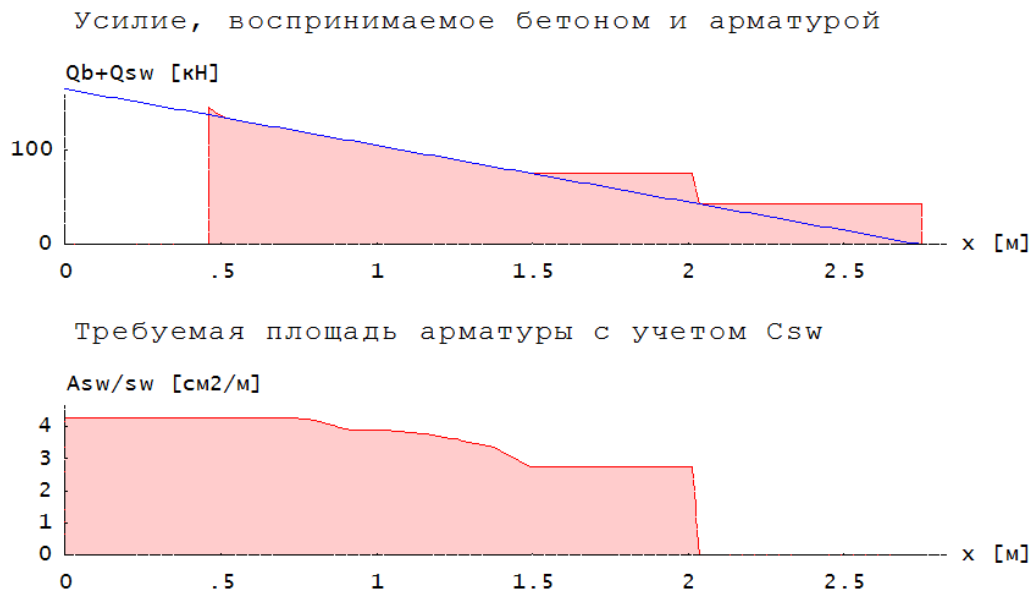
* минимально требуемая площадь поперечной арматуры
C_{sw} - длина участка размещения поперечной арматуры
s_{w, max} - расчетный верхний предел для шага хомутов

Проверка прочности

x [м]	Q [кН]	Q _b [кН]	Q _{sw} [кН]	Q / (Q _b + Q _{sw})
0.460	137.4	129.4	16.2	0.944
0.520*	133.8	114.5	19.3	1.000
0.668	124.9	89.1	35.8	1.000
0.876	112.4	67.9	44.5	1.000
1.085	99.9	54.9	45.0	1.000
1.293	87.4	46.0	41.4	1.000
1.501	74.9	43.1	32.3	0.993
1.709	62.5	43.1	32.3	0.828
1.917	50.0	43.1	32.3	0.662
2.125	37.5	43.1	0.0	0.869
2.334	25.0	43.1	0.0	0.579
2.542	12.5	43.1	0.0	0.290
2.750	0.0	43.1	0.0	0.000

* сечение с наибольшим значением Q / (Q_b + Q_{sw})

Задачи, предложенные проф. Краковским М.Б. Пример 7. Прямоугольный свободно опертый элемент. Наклонное сечение. Прочность. Подбор армирования

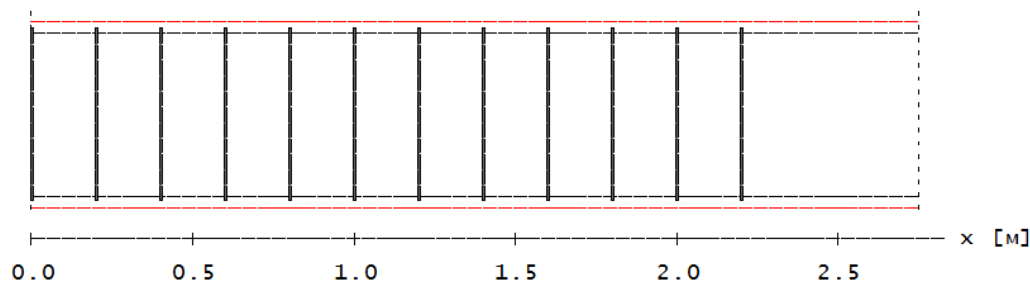


Конструирование

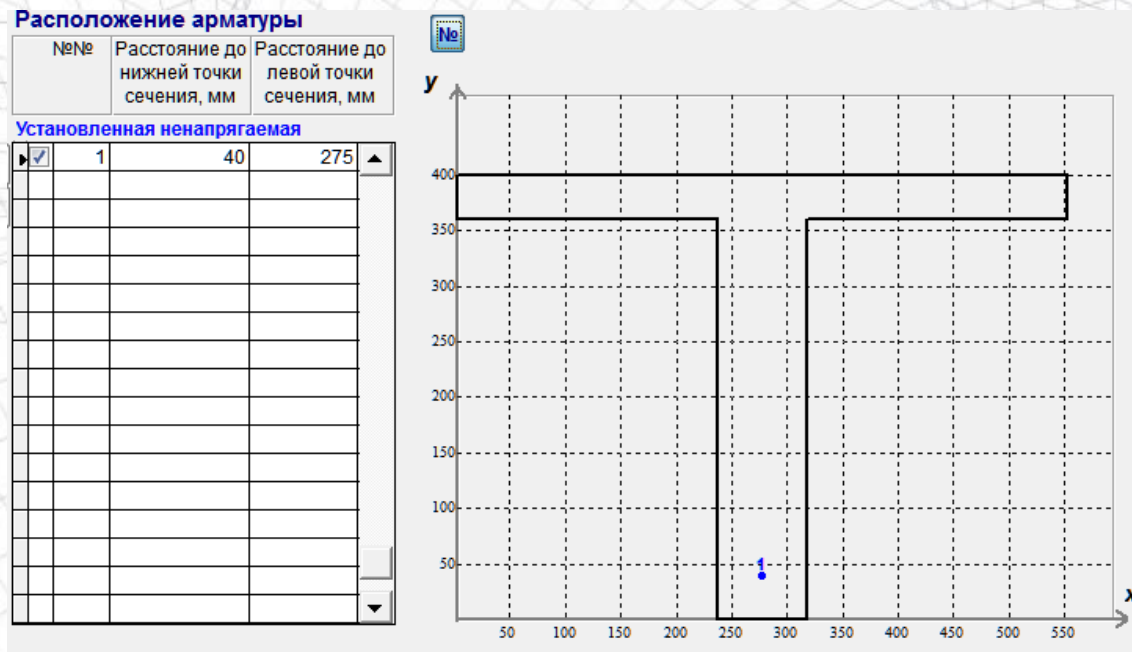
d_{sw} [мм]	Число ветвей	$S_{w, max}$ [см]	$S_w +$ [см]	S_1 [см]
8	2	20	0	0.0

Подобранная поперечная арматура

от x [м]	до x [м]	Число хомутов	Шаг [см]	A_{sw}/s_w [см ² /м]
0.000	2.200	12	20	5.03

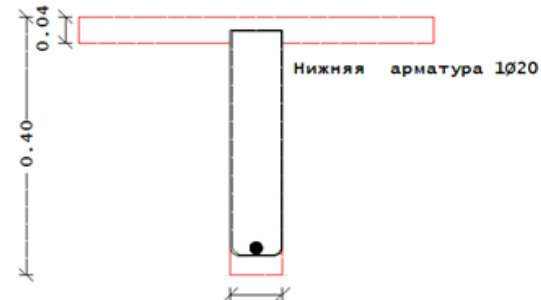
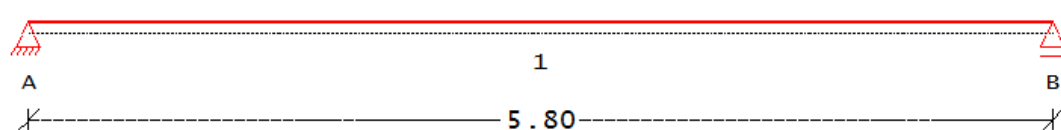


Задачи, предложенные проф. Краковским М.Б. Пример 10. Тавровый свободно опертый элемент при равномерно распределенной нагрузке. Прогиб



Рассматривается тавровый свободно опертый элемент пролетом 5800 мм. Геометрические размеры сечения: $b'f = 550$; $h'f = 40$; $b = 80$; $h = 400$, $a = 40$ мм (см. рисунок). Бетон класса В25. Растянутая арматура постоянна по длине элемента и состоит из 1 стержня диаметром 20 мм. На элемент действует длительная равномерно распределенная нагрузка интенсивностью 8 кН/м. Требуется определить максимальный прогиб элемента.

Задачи, предложенные проф. Краковским М.Б. Пример 10. Тавровый свободно опертый элемент при равномерно распределенной нагрузке. Прогиб



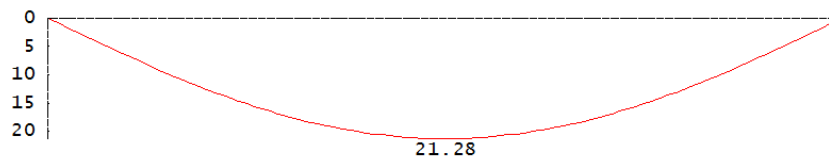
Продольн. арм.

пролёт	тип	кол.	ds	ряд	As	a	l
опора			[мм]		[см ²]	[м]	[м]
1	н	1	20	1	3.14	-0.30	6.40

Нормальные трещины

Про-лет	x	Образование		Продолжительные		Непрод.
	[м]	M	Mcrс	M	acrc2	acrc1
		[кНм]	[кНм]	[кНм]	[мм]	[мм]
1	0.00	0.0	9.8			
	0.15	3.4	9.8			
	1.45	25.2	9.8	25.2	0.22	0.22
	2.90	33.6	9.8	33.6	0.33	0.33
	4.35	25.2	9.8	25.2	0.22	0.22
	5.65	3.4	9.8			

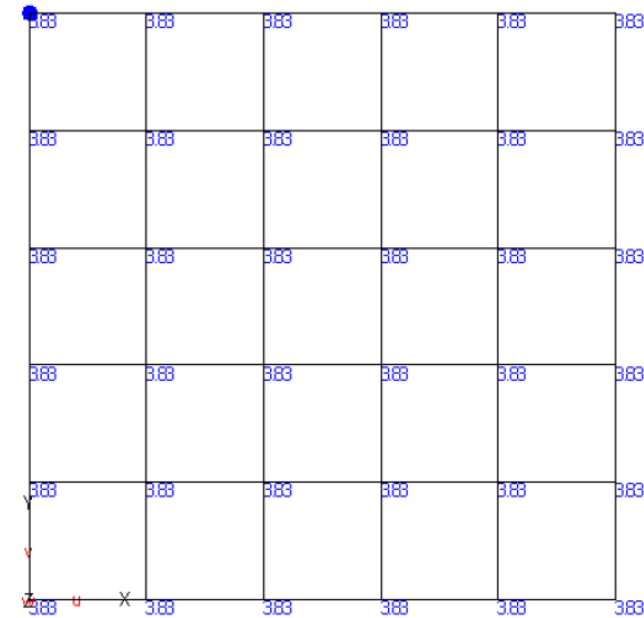
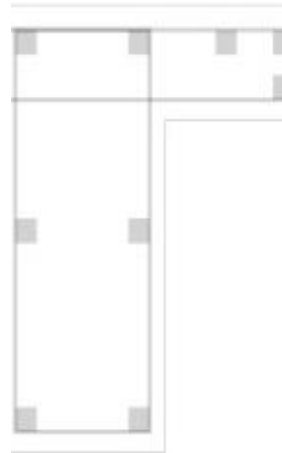
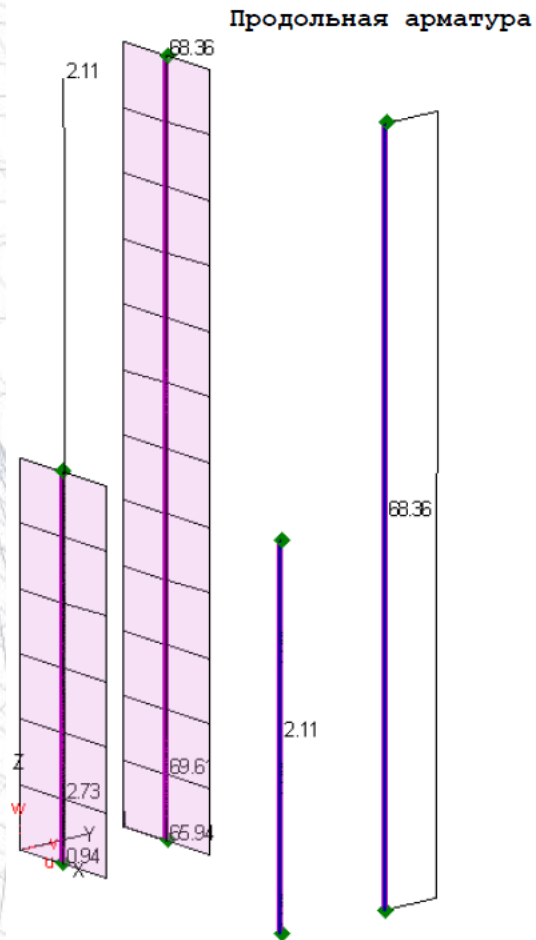
Прогибы [мм]
M = 1 : 50



Прогибы

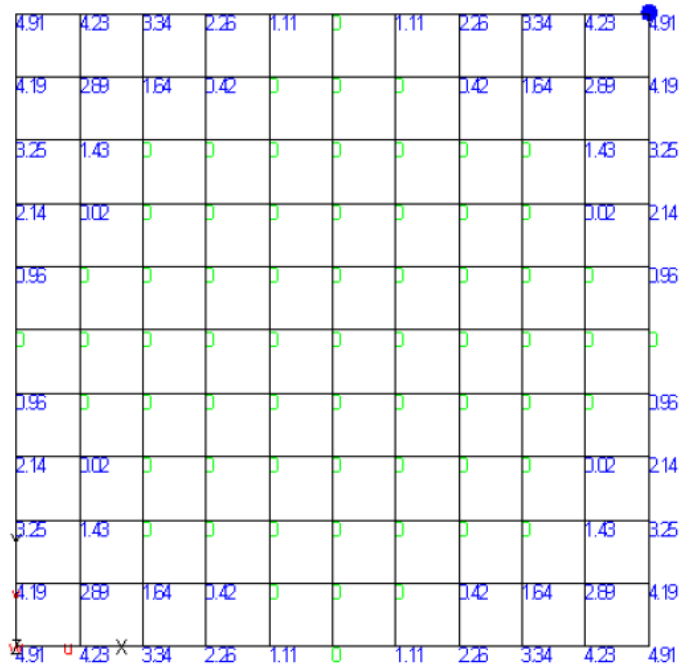
Пролет	x	M	Мдл.	100/r	w
	[м]	[кНм]	[кНм]	[1/м]	[мм]
1	0.00	0.0	0.0	0.00	0.00
	1.45	25.2	25.2	0.46	15.13
	2.90	33.6	33.6	0.61	21.28
	4.35	25.2	25.2	0.46	15.13
	5.80	0.0	0.0	0.00	0.00

Задачи, предложенные Техсофт. Пилон, сдвиг

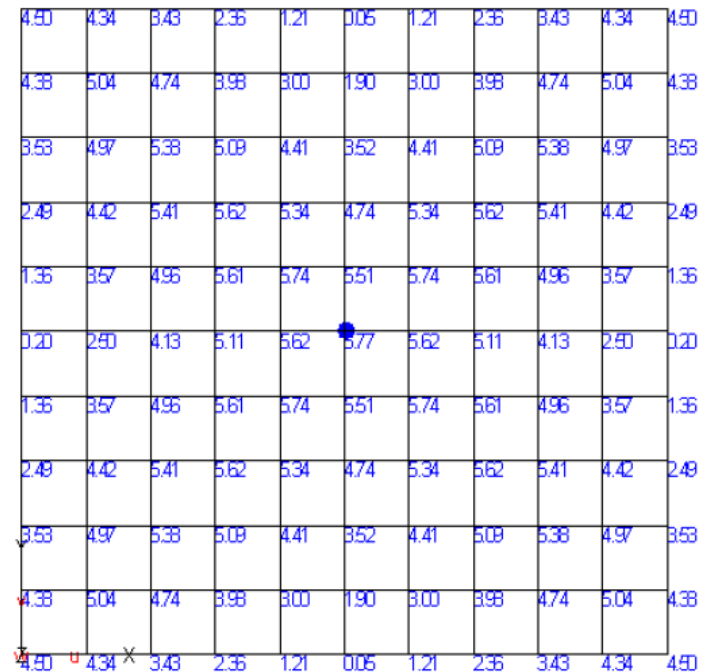


Задачи, предложенные Техсофт. Плита

Верхняя арматура вдоль оси r



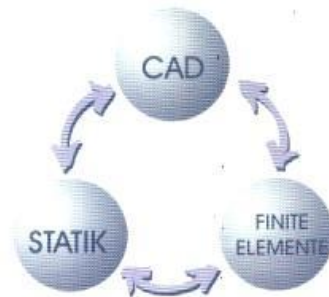
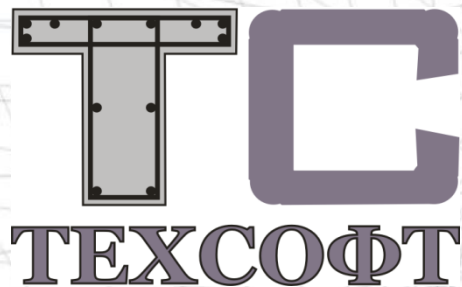
Нижняя арматура вдоль оси r



ТЕХСОФТ

Сводная таблица

№№ примеров	Программа	
	ОМ СНиП	Ing+
1	-	+
2	?	Не решалась
3	+	+
4	-	+
5	-	+
6	-	+
7	+	+
8	+	+
9	+	+
10	+	+
ЧРЭ	5	9



Ing+

ViCADo

MicroFe

СТАТИКА

COSTRUC

**Москва, ул. Архитектора
Власова, 49**

www.tech-soft.ru

Спасибо за внимание

ТЕХСОФТ