

## Пояснительная записка к расчету

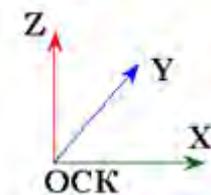
Емкость силоса составляет 1700 тонн. Расчет фундамента выполнен на давление веса зерна, вес силоса, ветровое воздействие, собственный вес фундамента.

В расчете принята плита толщиной 400. В качестве армирующего материала использована стеклопластиковая арматура АКС «Армастек» по ТУ 2296-001-60722703-2010 и для сравнения металлическая арматура А-500С.

### Введение

Расчет выполнен программным комплексом «ЛИРА-Windows» версии 9.6R7. В основу расчета положен метод конечных элементов (МКЭ) в перемещениях. В качестве основных неизвестных приняты следующие перемещения узлов:

- $X$  – линейное по оси  $X$ ;
- $Y$  – линейное по оси  $Y$ ;
- $Z$  – линейное по оси  $Z$ ;
- $UX$  – угловое вокруг оси  $X$ ;
- $UY$  – угловое вокруг оси  $Y$ ;
- $UZ$  – угловое вокруг оси  $Z$ .



В ПК «ЛИРА-Windows» реализованы положения следующих разделов СНиП (с учетом последних изменений):

- СНиП 2.01.07-85\* «Нагрузки и воздействия»;
- СНиП 52-01-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции»;
- СНиП II-7-81\* «Строительство в сейсмических районах»;
- СНиП II-23-81\* «Стальные конструкции».

В расчетные схемы включены следующие типы конечных элементов (КЭ):

- Тип 10. Универсальный пространственный стержневой конечный элемент;
- Тип 41. Прямоугольный элемент оболочки;
- Тип 42. Треугольный элемент оболочки;
- Тип 44. Четырёхугольный элемент оболочки.

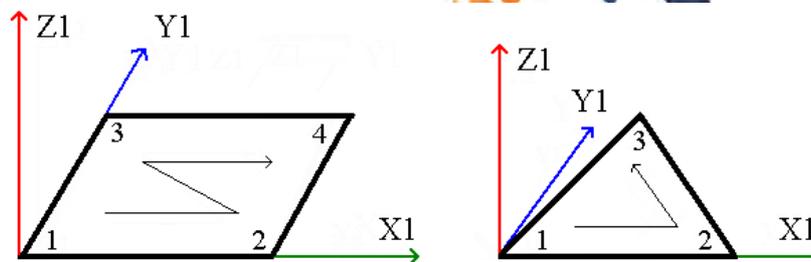
Для фиксации местоположения конечного элемента в схеме служит общая система координат  $X, Y, Z$ .

Местная система координат  $X1, Y1, Z1$  необходима для задания жесткостных характеристик, для ориентации местной нагрузки, главных осей инерции в сечении стержня, усилий и напряжений, возникающих в элементе. Каждая система координат является правой декартовой.

## Индексация и правила знаков усилий в КЭ

### Типы 41, 42, 44. Элементы плиты-оболочки

Для всех плоскостных КЭ ось  $X1$  направлена от первого узла ко второму. Для прямоугольных элементов плиты и оболочки ось  $Y1$  направлена от первого узла к третьему. Для треугольных и четырехугольных элементов оболочки ось  $Y1$  ортогональна оси  $X1$  и расположена в плоскости элемента.



Конечные элементы воспринимает следующие виды усилий, напряжений и реакций:

$N_x, N_y$  – нормальное напряжение вдоль осей  $X1$  и  $Y1$  соответственно. Положительный знак соответствует растяжению;

$T_{xy}$  – сдвигающее напряжение, параллельное оси  $X1$  и лежащее в плоскости, параллельной  $X1OZ1$ . Положительный знак усилия определяет удлинение диагонали 1 – 4 (медианы, выходящей из узла 1, для треугольного конечного элемента типа 42);

$M_x, M_y$  – изгибающий момент, действующий на сечения, ортогональные осям  $X1$  и  $Y1$  соответственно. Положительный знак соответствует растяжению нижнего волокна (относительно оси  $Z1$ );

$M_{xy}$  – крутящий момент. Положительный знак определяет кривизну диагонали 1 – 4, направленной выпуклостью вниз (относительно оси  $Z1$ ). Для треугольного элемента типа 42 – медианы, выходящей из узла 1;

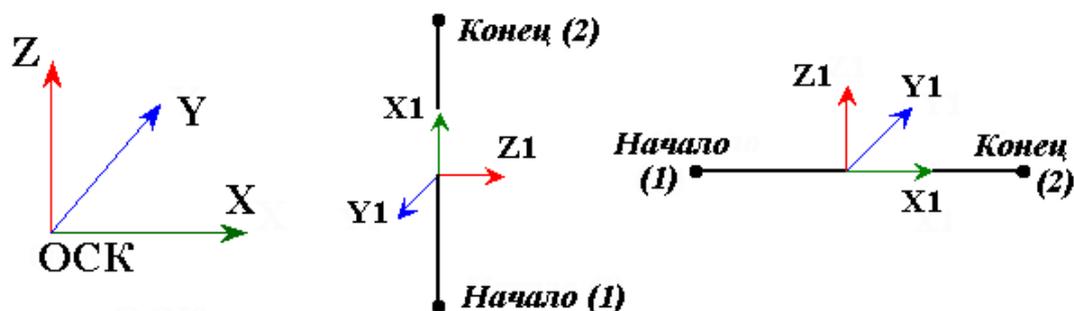
$Q_x$  – перерезывающая сила вдоль оси  $Z1$  в сечении, ортогональном оси  $X1$ . Положительный знак определяет совпадение направления силы с направлением оси  $Z1$  на той части элемента, в которой отсутствует узел 1;

$Q_y$  – перерезывающая сила вдоль оси  $Z1$  в сечении, ортогональном оси  $Y1$ . Положительный знак определяет совпадение направления силы с направлением оси  $Z1$  на той части элемента, в которой отсутствует узел 1;

$R_z$  – реактивный отпор грунта при расчете оболочек на упругом основании. Положительное усилие действует по направлению оси  $Z1$ .

### Тип 10. Универсальный пространственный стержневой элемент

Ось  $X1$  направлена по продольной оси стержня от начала (первый узел) к концу (второй узел). Оси  $Y1$  и  $Z1$  являются главными центральными осями инерции. Ось  $Z1$  всегда направлена в верхнее полупространство. По умолчанию полагается, что у произвольно ориентированных стержней ось  $Y1$  параллельна горизонтальной плоскости  $XOY$  глобальной системы координат, а у вертикальных стержней – параллельна оси  $Y$  глобальной системы координат и направлена в противоположную сторону.



Конечный элемент воспринимает следующие виды усилий:

$N$  – осевое усилие, положительный знак соответствует растяжению;

$M_k$  – крутящий момент относительно оси  $X1$ , положительный знак соответствует действию момента против часовой стрелки, если смотреть с конца оси  $X1$  на сечение, принадлежащее концу стержня;

$M_y$  – изгибающий момент относительно оси  $Y1$ , положительный знак соответствует действию момента против часовой стрелки, если смотреть с конца оси  $Y1$  на сечение, принадлежащее концу стержня;

$M_z$  – изгибающий момент относительно оси  $Z1$ , положительный знак соответствует действию момента против часовой стрелки, если смотреть с конца оси  $Z1$  на сечение, принадлежащее концу стержня;

$Q_y$  – перерезывающая сила вдоль оси  $YI$ , положительный знак соответствует совпадению направления силы с осью  $YI$  для сечения, принадлежащего концу стержня;

$Q_z$  – перерезывающая сила вдоль оси  $ZI$ , положительный знак соответствует совпадению направления силы с осью  $ZI$  для сечения, принадлежащего концу стержня;

$R_z$  – реактивный отпор грунта для стержня на упругом основании, положительное усилие действует по направлению оси  $ZI$  (грунт растянут).

Вышеперечисленные типы конечного элемента кроме своего прямого функционального назначения предназначаются для сбора распределенных нагрузок с целью приведения их в узлы. В этом случае жесткость КЭ принимается минимально возможной, с тем, чтобы не исказить реальную работу пространственной расчетной схемы.

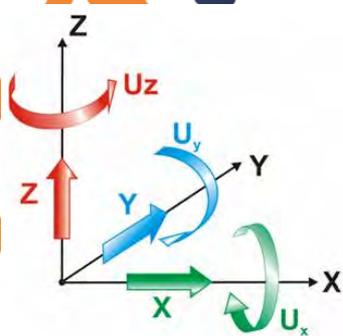
## Чтение результатов расчёта

Результаты расчета разбиты на следующие разделы (основные):

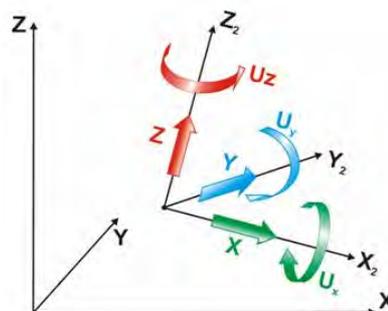
- Раздел 1. Протокол работы процессора;
- Раздел 5. Перемещения узлов;
- Раздел 6. Усилия (напряжения) в элементах;
- Раздел 8. Расчетные сочетания усилий (PCY).

В разделе 5 в табличной форме печатаются перемещения узлов рассчитываемой задачи. Размерность перемещений указана в шапке таблицы. В первой графе находится номер загрузки и индексация перемещений. Некоторые типы перемещений могут отсутствовать в таблице, если при печати перемещений была задана соответствующая маска печати перемещений. В остальных графах – номера узлов в порядке возрастания и величины перемещений, им соответствующие. Линейные перемещения считаются положительными, если они направлены вдоль осей системы координат (СК). Положительные угловые перемещения соответствуют вращению против часовой стрелки, если смотреть с конца соответствующей оси.

### Перемещения в общей СК



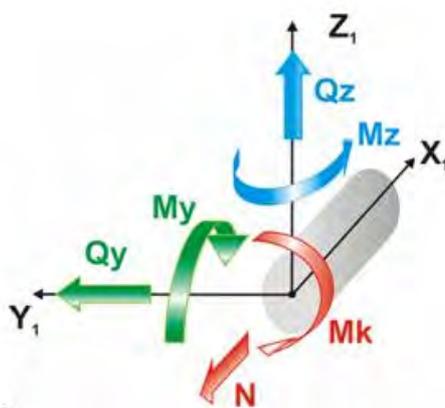
### Перемещения в местной СК



В разделе 6 в табличной форме печатаются усилия в элементах расчетной схемы. Размерность усилий указана в шапке таблицы. В первой графе указывается номер процедуры из библиотеки конечных элементов, номер загрузки и индексация усилий. В последующих графах указываются: в первой строке шапки – номера первых двух узлов; во второй строке – номер элемента и номер сечения в этом элементе, для которого печатаются усилия.

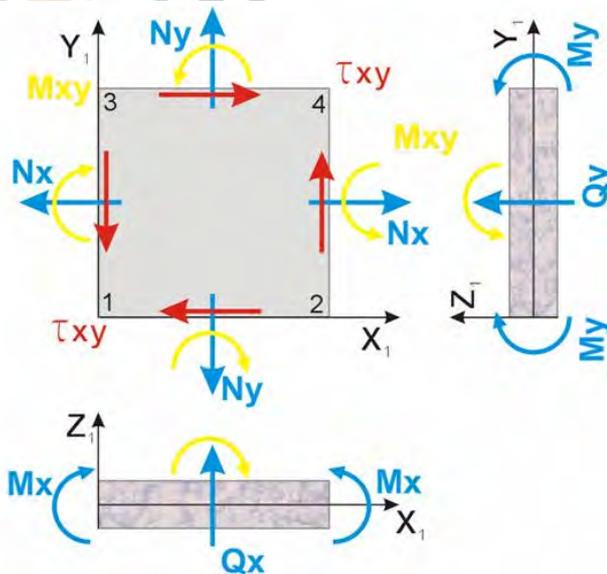
### *Положительные усилия в КЭ10*

### *Правила знаков*



### *Положительные усилия в КЭ41*

### *Правила знаков*



В разделе 8 в табличной форме выдаются расчетные сочетания усилий в элементах для каждого сечения и дополнительная информация о сочетаниях усилий. Шапка таблицы содержит следующие графы:

ЭЛМ – номер элемента;  
СЧ – номер сечения;  
КР – номер критерия, по которому составлено данное сочетание усилий.

Далее следуют списки силовых факторов от расчетных нагрузок и номера загружений, вошедших в расчетные сочетания.

Расчетные сочетания усилий (РСУ) для стержней выбираются по критерию экстремальных нормальных и сдвиговых напряжений в периферийных зонах сечения.

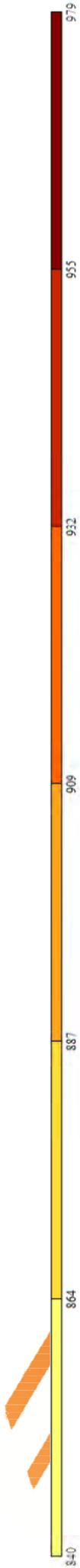
Расчетные сочетания усилий (напряжений) для пластинчатых элементов выбираются по критерию экстремальных напряжений с учетом направления главных площадок.

## Грунтовые условия

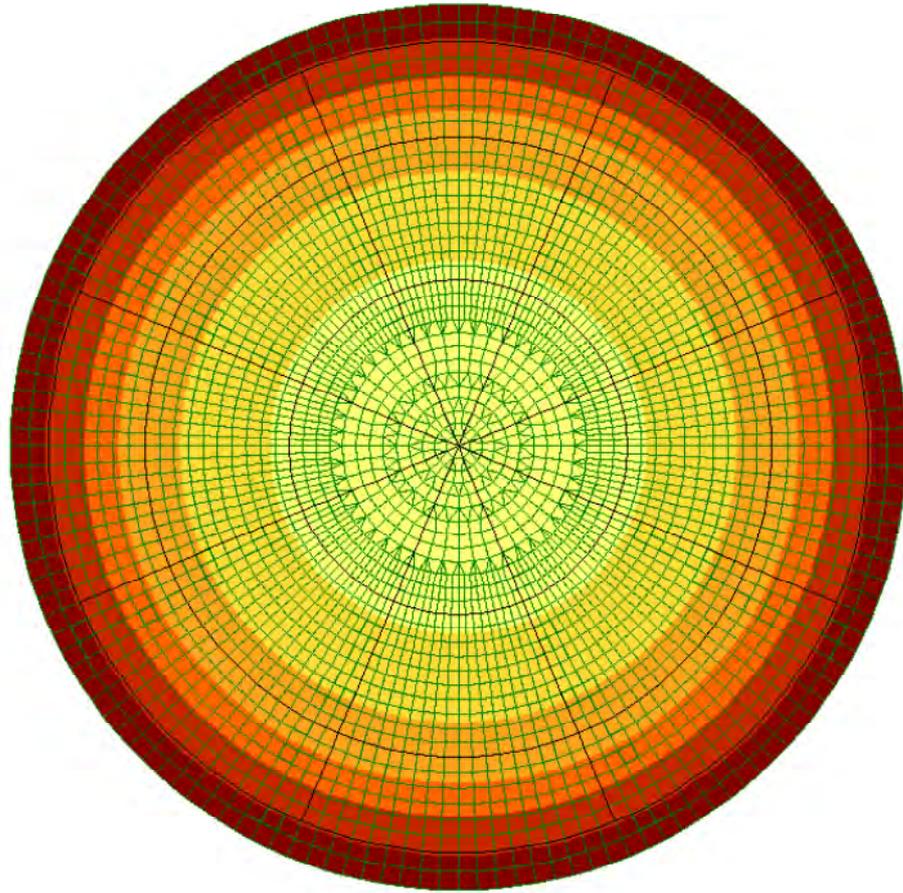
Основанием под фундаменты служат суглинки полутвердые, серовато-коричневые, пятнами рыжие и серые, с частыми прослойками маловлажного песка со следующими расчетными характеристиками:

- Модуль деформации  $E=19$  МПа.
- Угол внутреннего трения  $\varphi=20^\circ$ .
- Удельное сцепление  $c=23$  кПа.

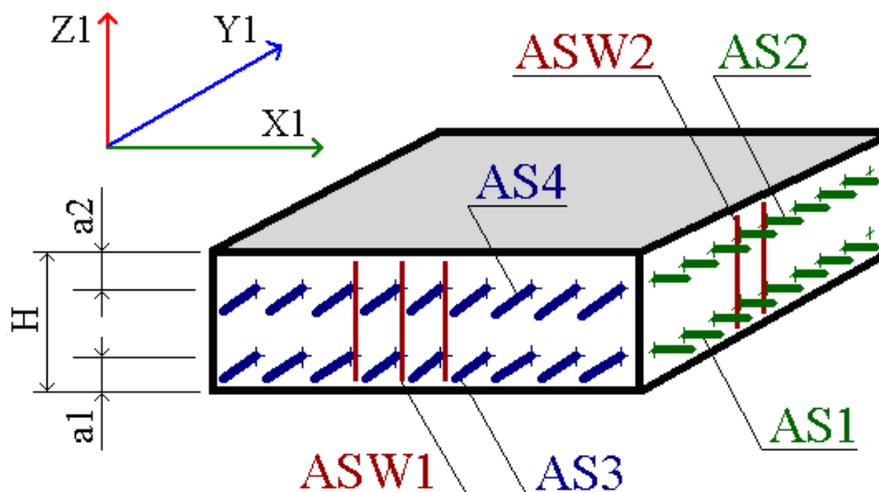
Для расчета коэффициента постели винклеровского основания использована модель упругого основания программы «ГРУНТ» с применением модифицированного метода Пастернака – метод 3. Проведены 3 итерации.



решка - 100°3



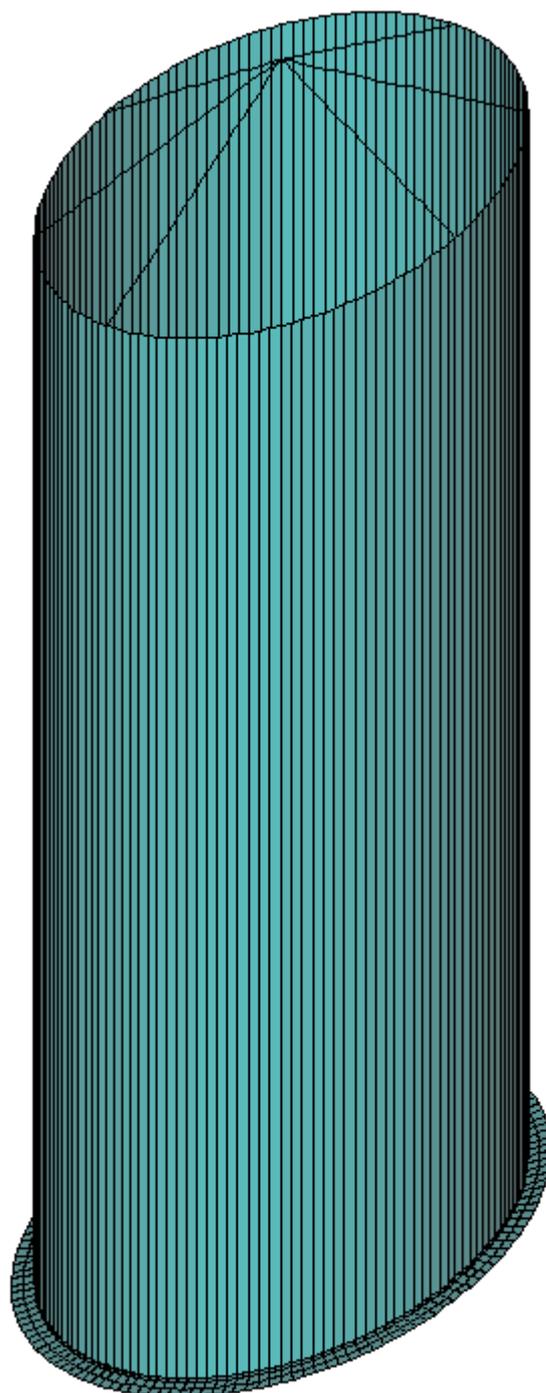
## Армирование пластин



## Площадь арматуры

D, мм	Расчетная площадь ( см <sup>2</sup> / 1м ширины ) при шаге стержней ( мм )														D, мм	Масса стержня кг / мп
	50	75	100	125	133	150	175	200	220	250	300	350	400	440		
3	1.41	0.94	0.71	0.57	0.53	0.47	0.40	0.35	0.32	0.28	0.24	0.20	0.18	0.16	3	0.055
4	2.51	1.68	1.26	1.01	0.94	0.84	0.72	0.63	0.57	0.50	0.42	0.36	0.31	0.29	4	0.099
5	3.93	2.62	1.96	1.57	1.48	1.31	1.12	0.98	0.89	0.79	0.65	0.55	0.49	0.45	5	0.154
6	5.65	3.77	2.83	2.26	2.13	1.88	1.62	1.41	1.29	1.13	0.94	0.81	0.71	0.64	6	0.222
7	7.70	5.13	3.85	3.08	2.89	2.57	2.20	1.92	1.75	1.54	1.28	1.10	0.96	0.87	7	0.302
8	10.05	6.70	5.03	4.02	3.78	3.35	2.87	2.51	2.28	2.01	1.68	1.44	1.26	1.14	8	0.395
10	15.71	10.47	7.85	6.28	5.91	5.24	4.49	3.93	3.57	3.14	2.62	2.24	1.96	1.78	10	0.617
12	22.62	15.08	11.31	9.05	8.50	7.54	6.46	5.65	5.14	4.52	3.77	3.23	2.83	2.57	12	0.888
14	30.79	20.53	15.39	12.32	11.57	10.26	8.80	7.70	7.00	6.16	5.13	4.40	3.85	3.50	14	1.208
16	40.21	26.81	20.11	16.08	15.12	13.40	11.49	10.05	9.14	8.04	6.70	5.74	5.03	4.57	16	1.578
18	50.89	33.93	25.45	20.36	19.13	16.96	14.54	12.72	11.57	10.18	8.48	7.27	6.36	5.78	18	1.998
20	62.83	41.89	31.42	25.13	23.62	20.94	17.95	15.71	14.26	12.57	10.47	8.98	7.85	7.14	20	2.466
22	76.03	50.68	38.01	30.41	28.58	25.34	21.72	19.01	17.28	15.21	12.67	10.86	9.50	8.64	22	2.984
25	98.17	65.45	49.09	39.27	36.91	32.72	28.05	24.54	22.31	19.63	16.36	14.02	12.27	11.16	25	3.853
28	123.15	82.10	61.58	49.26	46.30	41.05	35.19	30.79	27.99	24.53	20.53	17.59	15.39	13.99	28	4.834
32	160.85	107.23	80.42	64.34	60.47	53.62	45.96	40.21	36.56	32.17	26.81	22.98	20.11	18.28	32	6.313
36	203.58	135.72	101.79	81.43	76.53	67.86	58.16	50.89	46.27	40.72	33.93	29.08	25.45	23.13	36	7.990
40	251.33	167.55	125.66	100.53	94.48	83.78	71.81	62.83	57.42	50.27	41.89	35.90	31.42	28.56	40	9.865

# Результаты расчета



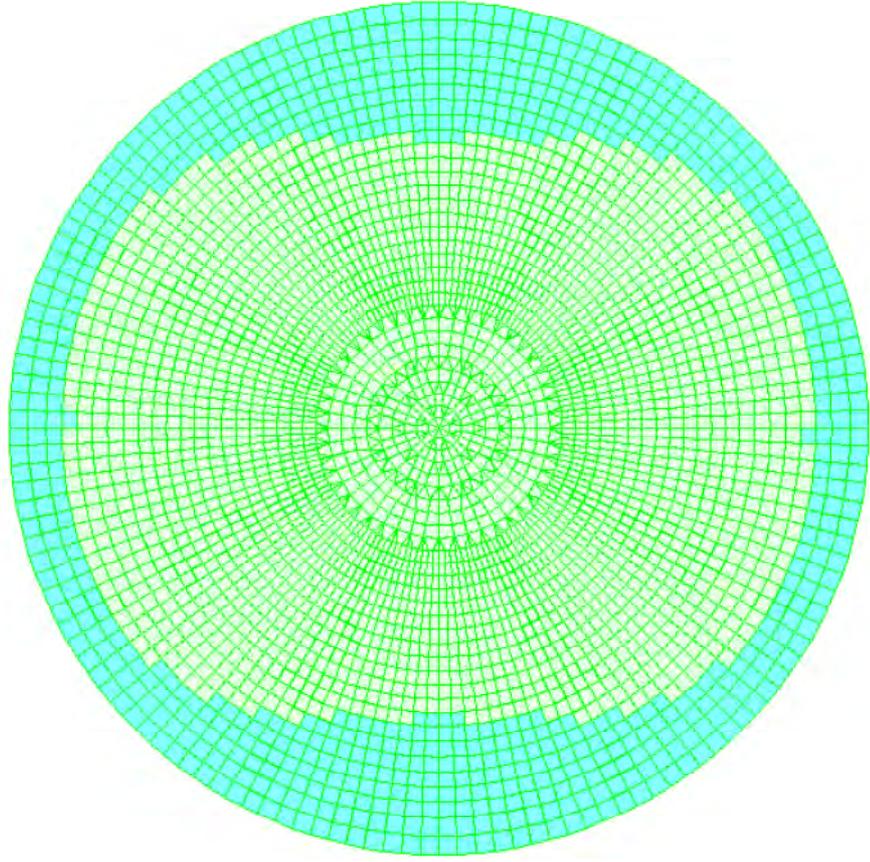
Общий вид фундамента с силосом

Армирование стеклопластиковой арматурой АКС



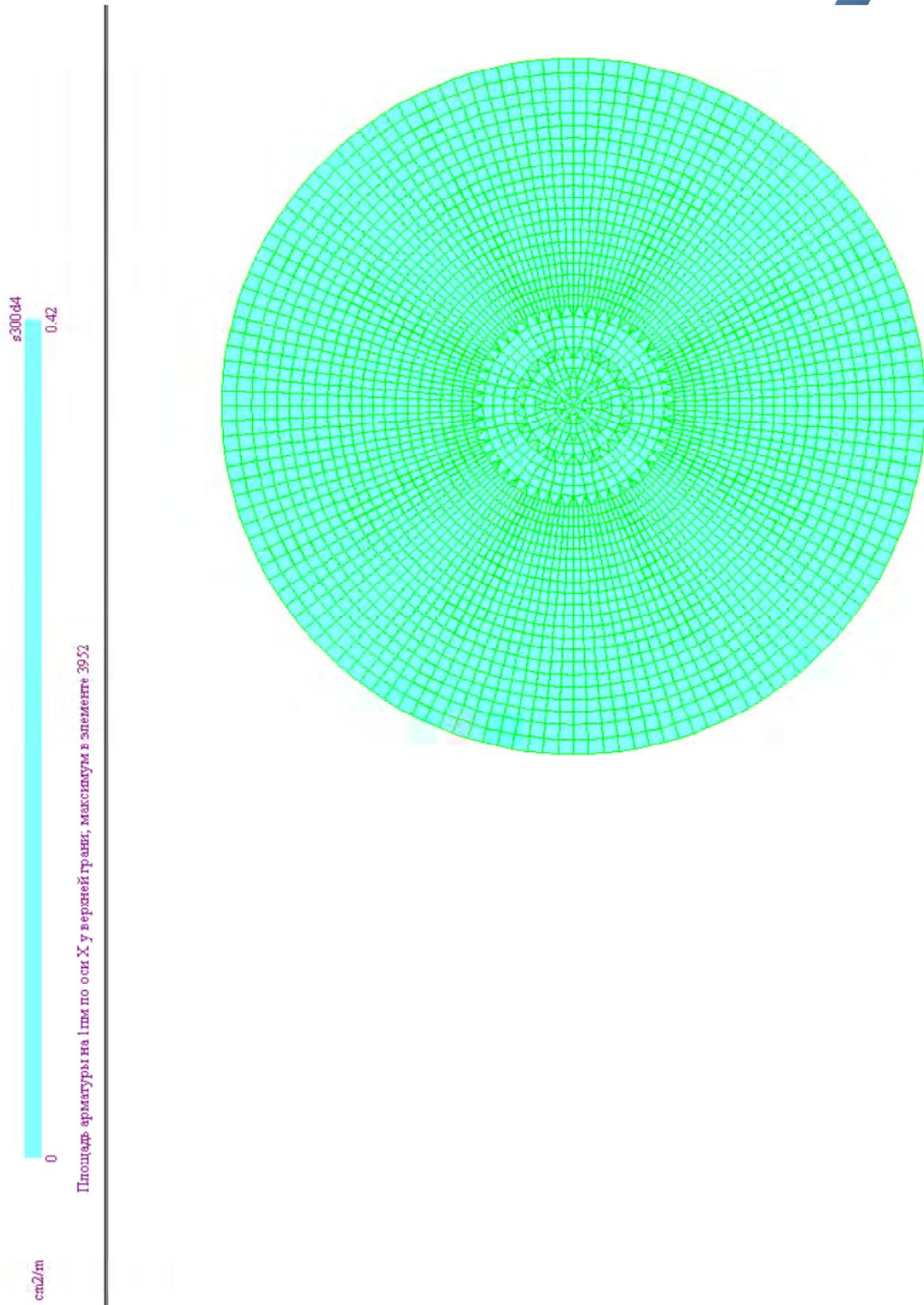


Площадь арматуры на 1м<sup>2</sup> по оси X у нижней грани (балки-стенки - посередине); максимум в элементе 2022

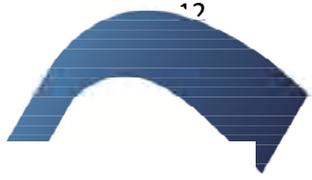


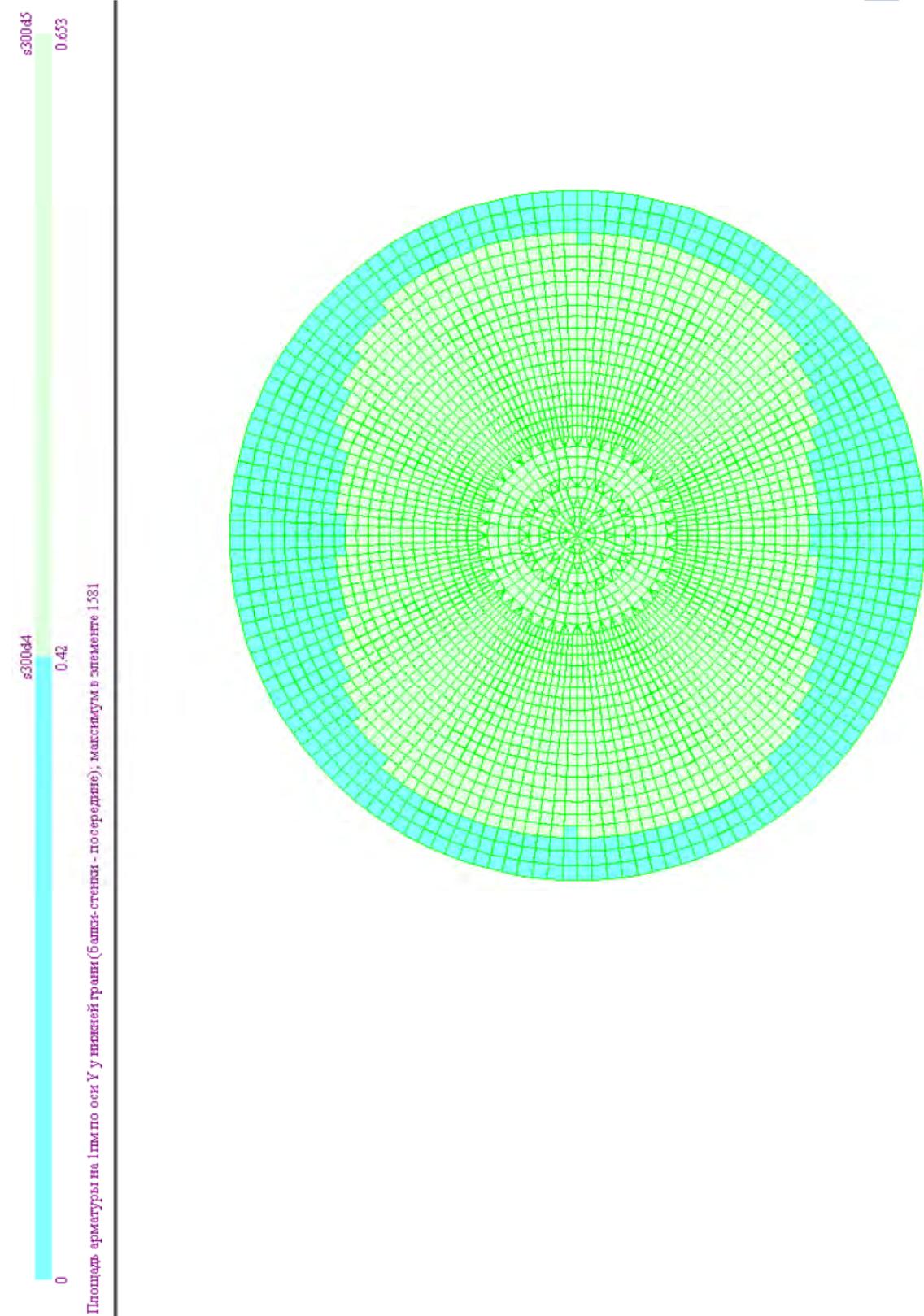
Нижние армирование по оси X



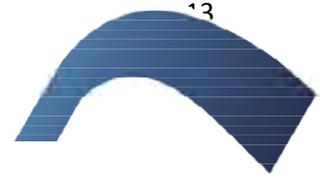


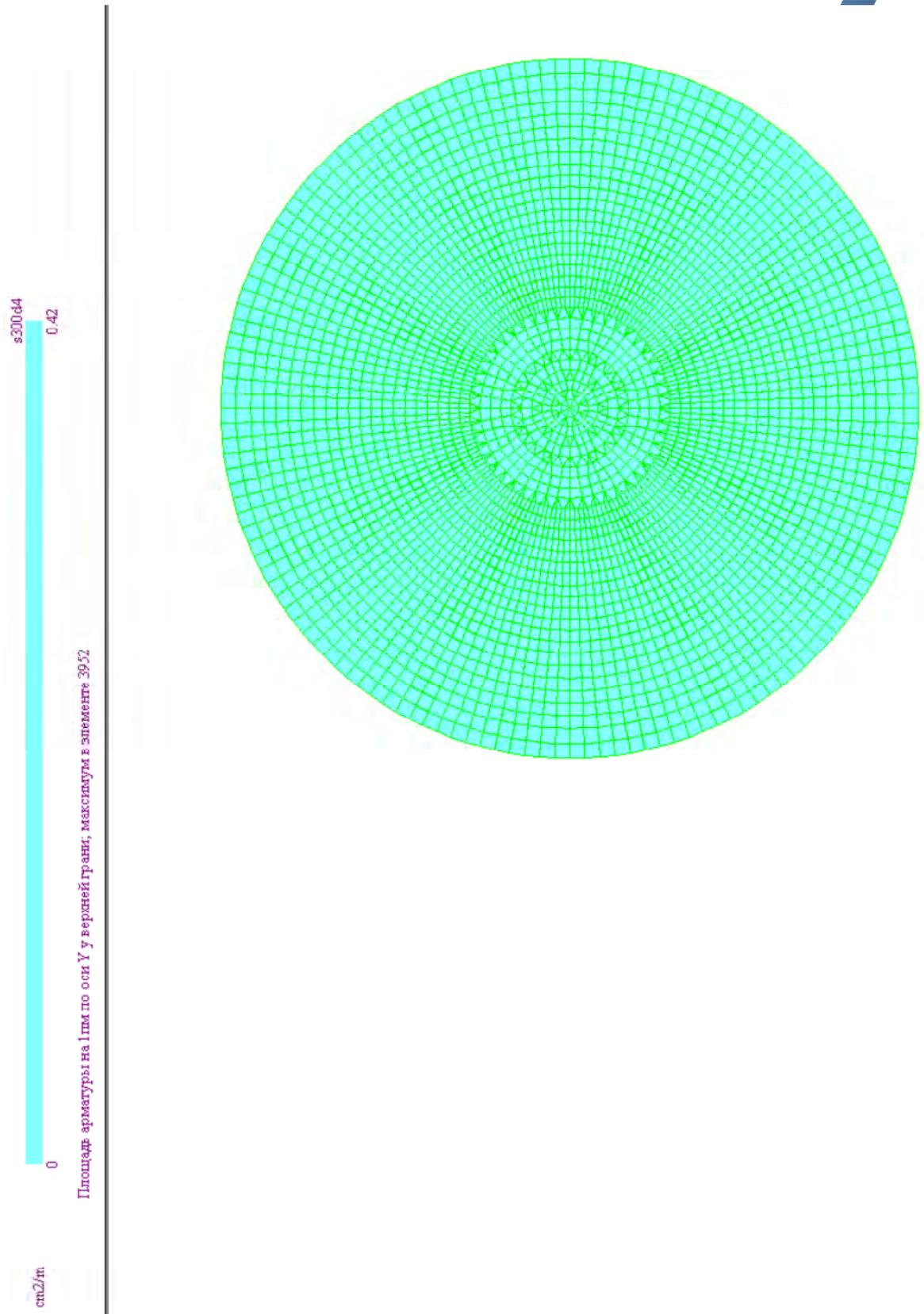
Верхнее армирование по оси X





Нижнее армирование по оси Y





s200d4  
0.42

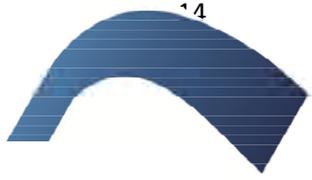
0

Площадь арматуры на 1 м по оси Y у верхней грани; максимум в элементе 3952

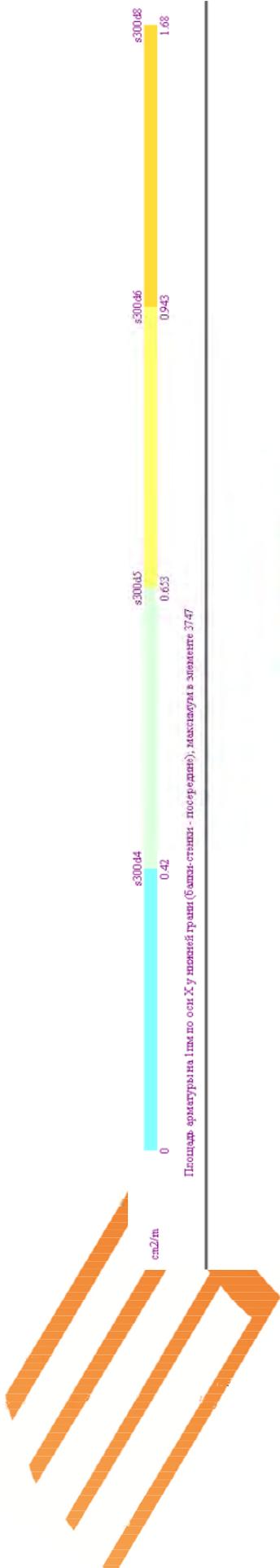
cm<sup>2</sup>/m



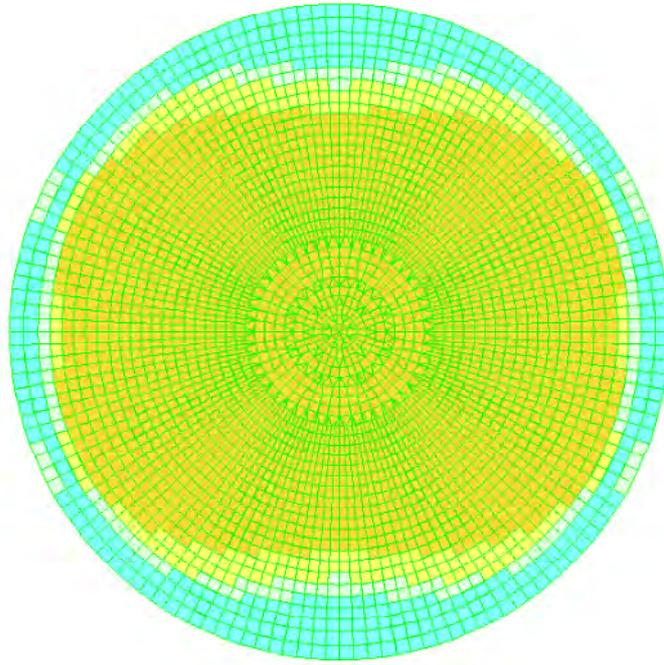
Верхнее армирование по оси Y



# Армирование металлической арматурой А-500С



Площадь арматуры на 1м по осн. X, у нижней грани (башки-стенг. - посередине), макс/мин в элементе 37-47



Нижнее армирование по X

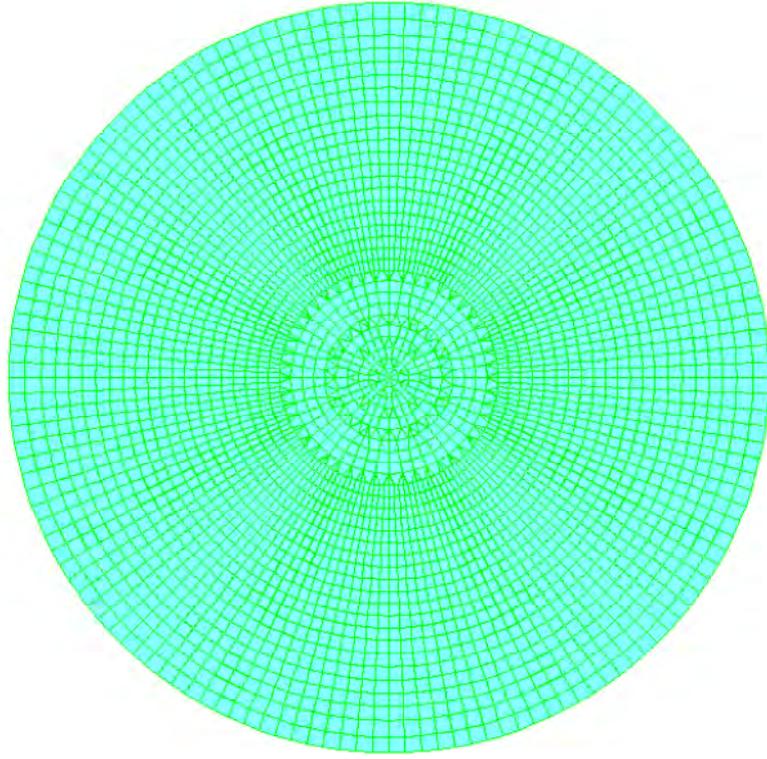


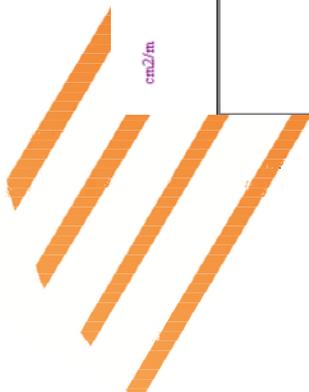


Верхнее армирование по X

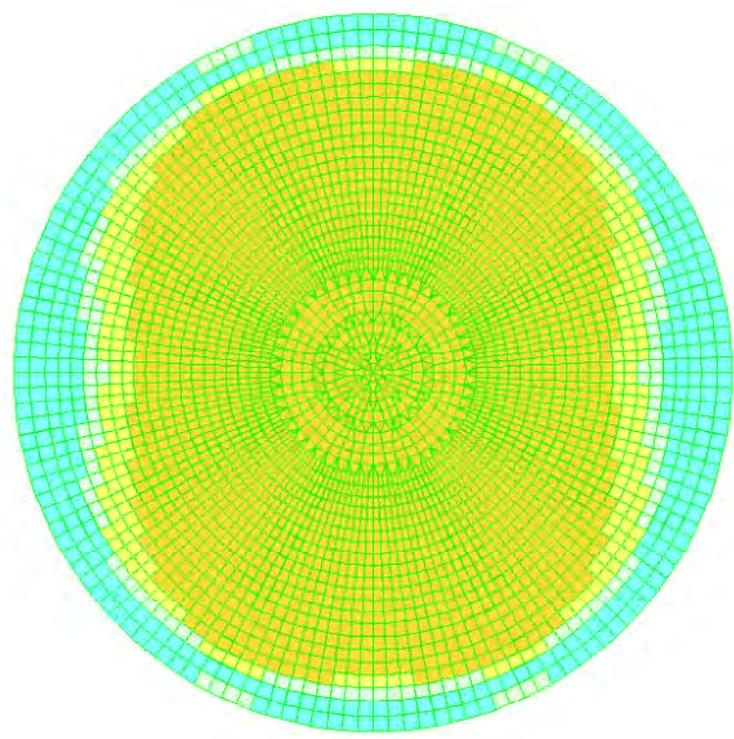


Площадь армирования на 1м по оси X у верхней грани, максимум в элементе 3952





Площадь арматуры на 1м² по оси Y у нижней грани (балки-стены - посредине), максимума в элементе 3751



Нижнее армирование по оси Y

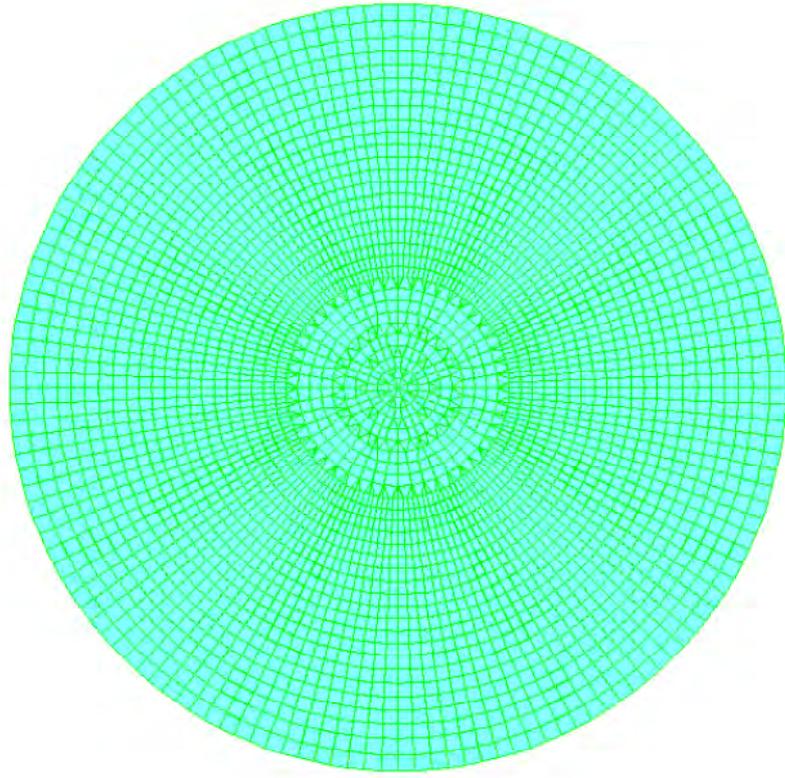




Верхнее армирование по оси Y



Площадь армирования на 1мм по оси Y в верхней грани; максимум в элементе 3932



Расчет проведен по 1-му и 2-му предельному состоянию.

С учетом требований норм принимаем армирование плиты металлической арматурой  $\square 12$  с шагом 300 мм.

При диаметре фундаментной плиты 11,550 м общая длина арматуры составит 1400 м.

#### Сравнительный анализ по ценам

Металлическая арматура				Композитная арматура АКС			
$\square$	Длина, м	Вес, т	Цена, р из условия 26000 р за 1 т	$\square$	Длина, м	Цена 1 п.м.	Цена, р
Плоская плита							
12	1400	1,243	<b>32 318</b>	8 АСК	1400	19	<b>26 600</b>

**Примечание.** Цена композитной арматуры АКС указана для розничных продаж. В зависимости от закупаемой партии стоимость за 1 п.м. может меняться в **меньшую** сторону. В таблице даны длины только основной арматуры, не учтены перехлесты, поперечная соединительная арматура и поддерживающие каркасы.

В связи с тем, что композитная арматура легче металлической более чем в 7 раз, существенная экономия будет на погрузочно-разгрузочных работах и перемещениях по стройплощадке (без привлечения спецтехники). Арматура  $\phi 10$  мм (включительно) поставляется в бухтах длиной до 300 м (стандартная длина 100 м), что обеспечивает дополнительное снижение затрат за счет **отсутствия перехлеста**. При транспортировке возможно использовать легковые автомобили или легко-тоннажные автомобили марки ГАЗЕЛЬ.

-----

ООО «Вернисаж» официальный дилер ООО НПК «Арматек» в Саратовской и Волгоградской областях  
 Адрес: г. Саратов, ул. Огородная, д. 162  
 Телефон: (8452) 49 59 59  
 E-mail: armatura64@mail.ru  
 Web-сайт: www.saratov-armatura.ru