

УДК 658.512: 68.3

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ МОНОЛИТНОЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ПЛИТЫ ДНИЩА СИЛОСОХРАНИЛИЩА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «МОНОМАХ»

**Некрашевич Владимир Федорович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Механизация животноводства»

**Ревич Яков Львович**, магистр наук, соискатель кафедры «Механизация животноводства»

ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени профессора Костычева»

390044, г. Рязань, ул. Костычева, д. 1; тел.: 8 (4912)35-37-22;

e-mail: tamonov.agrotexnol@yandex.ru

**Ключевые слова:** днище силосохранилища, монолитная железобетонная плита, программный комплекс «Мономах», модель грунта, изополя перемещений.

Железобетонное днище силосохранилища должно быть долговечным, прочным и герметичным, эффективно защищать окружающую среду от силосного сока и проникновения грунтовых вод в силосохранилище. Решение этой задачи сегодня актуально. Днище силосохранилища проектируют в виде монолитной железобетонной фундаментной плиты на естественном упругом основании. В статье предложена методика проектирования и расчета монолитной железобетонной плиты днища силосохранилища с использованием современного программного комплекса «Мономах».

### Введение

Железобетонное днище заглубленного силосохранилища должно быть долговечным, прочным и герметичным, эффективно защищать окружающую среду от силосного сока и проникновения грунтовых вод в силосохранилище, что сегодня является актуальной проблемой [1]. Такое днище обычно выполняют в виде монолитной железобетонной фундаментной плиты сплошного сечения, устанавливаемой на естественном упругом основании. Контур плиты имеет

прямоугольное очертание с размерами в плане 12 x 30 м. Благодаря своей площади и пространственному армированию, такой фундамент позволяет снизить давление на грунт до 0,01 МПа, а также воспринимать знакопеременные нагрузки, которые возникают при различных подвижках грунта. Основными преимуществами фундаментов из плит можно считать простоту и невысокую стоимость изготовления монолитной плиты и ее высокую несущую способность вследствие большой площади опоры на грунт [2].

Гарантированная целостность стен сооружения обеспечивается общей платформой, не подверженной локальной деформацией. Монолитная плита днища представляет собой жесткую негнущуюся площадку.

Расчет выполняют с учетом «Норм технологического проектирования хранилищ силоса и сенажа НПК АПК 1.10.11-001-00 Министерства сельского хозяйства РФ» п.10.4, которые рекомендуют днище сооружений для хранения кормов проектировать с учетом нагрузок от трамбующих механизмов и транспортных средств [3].

### Объекты и методы исследований

#### 1. Исходные данные и методика расчета

Плита днища толщиной 300 мм в конструктивной ячейке 12 x 30 м. Расчетные пролеты:  $l_1 = 12000$  мм;  $l_2 = 30000$  мм.

Для фундаментной плиты предусмотрено задание участков с разными характеристиками грунта по инженерно-геологическому разрезу.

Расчетную схему формировали в режиме импорта и слияния с моделью грунта, заданной в подпрограмме ПК «Мономах–Грунт». Программный комплекс «Мономах» служит для автоматизированного проектирования железобетонных конструкций сооружений с выдачей эскизов рабочих черте-

жей. Его также используют при экспертной оценке выполненных проектов.

В подпрограмме «Грунт» формируют пространственную модель грунтового основания по заданным инженерно-геологическим условиям площадки строительства.

- Для описания площадки строительства задают базу характеристик слоев грунта (ИГЭ).

- При вводе геометрических параметров плиты автоматически формируется конечно-элементная схема.

- Нагрузка – равномерно распределенная. Автоматически учитывается собственный вес конструктивных элементов. Схема плиты, сечения, нагрузки, сведения о материалах и требования конструирования задают или корректируют в интерактивном графическом режиме.

- По результатам статического расчета строят поля перемещений и усилий, а для заданного отрезка – эпюры.

- Строят поля напряжений под подошвой фундаментной плиты днища.

- Плиту рассчитывают по первому и второму предельным состояниям (расчет по раскрытию трещин). Определяют необходимую площадь сечения арматуры, строят поля расчетного армирования. Плиту конструируют сетками и стержнями. Выполня-

Таблица 1

Расчетные характеристики физико-механических свойств грунтов

| Слой | Наименование грунта   | Данные для расчета по деформациям |                     |         | $\rho_s$ , г/см <sup>3</sup> | Коэффициент пористости | Угол естественного откоса при естественной влажности, град. | $E_0$ , МПа |
|------|---|-----------------------------------|---------------------|---------|------------------------------|------------------------|---|-------------|
|      |   | $\rho_n^*$ , г/см <sup>3</sup>    | $\varphi_n$ , град. | Сп, кПа |                              |                        |   |             |
| 1    | Супесь пластичная   | 1,85                              | 7                   | 1       | 27,0                         | 0,59                   | 40  | 3           |
| 2    | Суглинки пылеватые, тяжелые, полутвердые и тугопластичные, макropористые, просадочные I-го типа | 1,87                              | 21                  | 23      | 2,71                         | 0,75                   | 45  | 7,6         |
| 3    | Пески мелкие, средней плотности   | 1,8                               | 32                  | 2       | 2,65                         | 0,65                   | 36  | 20          |

\*Примечание:  $\rho_n$  – плотность грунта;  $\varphi_n$  – угол внутреннего трения; Сп – удельное сцепление;  $E_0$  – модуль упругости

ют чертеж AutoCAD, где указывают спецификацию и расположение арматуры, а также ее расход на объект.

## 2. Инженерно-геологические характеристики площадки строительства

Расчетные характеристики физико-механических свойств грунтов приведены в табл. 1.

### 3. Определение нагрузок и усилий в плите днища силосохранилища

выполняют в соответствии с приложением Г Норм технологического проектирования хранилищ силоса и сенажа НТП АПК 1.10.11-001-00).

#### 3.1. Определение давления массы силоса и трамбующих механизмов на конструкцию наземного силосохранилища

Вертикальное нормативное давление, Па, на днище от массы силоса и трамбующих средств

$$P_b^H = (\gamma h + q) K_n K_{H'} \quad (1)$$

где:  $\gamma$  - нормируемая плотность силосной массы, принимается равной  $750 \text{ кг/м}^3$ ,  $h$  - высота от верха массы до уровня днища траншеи, м;  $q$  - временная приведенная нагрузка на  $1 \text{ м}^2$  горизонтальной поверхности массы от трамбующего средства,  $\text{н/м}^2$ , для силосохранилищ  $q = 10^7 \text{ Па}$ , что соответствует нагрузке от гусеничного трактора массой  $15000 \text{ кг}$ ;  $K_n$  - коэффициент, учитывающий уменьшение давления вследствие податливости ограждений (для стен из каменной, бетонной и бутобетонной кладки  $K_n = 1$ , для железобетонных стен  $K_n = 0,9$  и для деревянных стен  $K_n = 0,8$ );  $K_{H'}$  - коэффициент надежности по назначению, учитывающий ответственность сооружений  $K_{H'} = 0,9$ .

Горизонтальное нормативное давление, Па, на стены силосохранилища определяют как часть вертикального давления по формуле строительной механики сыпучих тел:

$$P_r^H = K_d P_b^H = K_d (\gamma h + q) K_n K_{H'} \quad (2)$$

где:  $K_d$  - коэффициент бокового давления массы, определяемый по формуле

$$K_d = \text{tg}^2 (45 - \varphi/2), \quad (3)$$

где  $\varphi = 32^\circ$  - нормируемый угол внутреннего трения силоса.

Расчетные значения вертикального и горизонтального давлений принимают с учетом коэффициентов перегрузки  $p_c = 1,4$

для силосуемой массы,  $p_m = 1,2$  для трамбующих механизмов.

$$P_b^{pp} = (n_c \gamma h + n_H q) K_n K_{H'} \quad (4)$$

$$P_r^{pp} = (n_c \gamma h + n_H q) K_n K_{H'} K_d \quad (5)$$

При наклонных стенах силосохранилища нормативное и расчетное давление на поверхности наклонных стен определяют с учетом отклонения стены от вертикали на угол  $\alpha$ . При этом  $\alpha$  принимают в пределах отклонения стены от вертикали ( $i \leq 1:10$ ). Давление, Па, поперечное к наклонной поверхности стены, определяют по формуле:

$$P_\alpha^n = P_r \cos^2 \alpha + P_b \sin^2 \alpha \quad (6)$$

Давление, Па, продольное к наклонной поверхности стены,

$$P_\alpha^{pp} = P_r \sin^2 \alpha + P_b \cos^2 \alpha, \quad (7)$$

где:  $P_r$  - горизонтальное нормативное и расчетное давление, Па;  $P_b$  - вертикальное давление, Па, нормативное и расчетное, определенное по формулам (1 и 4).

#### 3.2. Определение давления массы силоса в заглубленных и полузаглубленных силосохранилищах, в которых возможно скопление влаги и сока

Вертикальное нормативное давление, Па, на днище заглубленного и полузаглубленного силосохранилища:

$$P_b^H = [\gamma_c (h - h_{ж}) + q + \gamma_{ж} h_{ж}] K_n K_{H'} \quad (8)$$

где:  $\gamma_c$ ,  $h$ ,  $q$ ,  $K_n$  и  $K_{H'}$  - имеют значения, приведенные в пояснениях к формуле (1);  $h_{ж}$  - высота от расчетного уровня влаги до поверхности днища сооружения, принимают в соответствии с запроектированными устройствами для удаления влаги, но не менее  $0,25$  высоты стен в сооружениях склада, м;  $\gamma_{ж}$  - плотность влаги, принимают равной  $1000 \text{ кг/м}^3$ .

Горизонтальное нормативное давление на стены вертикальные и наклонные (с уклоном от вертикали в пределах до  $1:10$ )

$$P_H^n = K_d P_b^H \quad (9)$$

где:  $K_d$  - коэффициент бокового давления силосной массы, определяемый по формуле (3);  $P_b^H$  - вертикальное нормативное давление, Па, определяемое по формуле (8).

Расчетное значение вертикального и горизонтального давлений определяют по формулам (4 - 7) с учетом коэффициентов перегрузки: для силосной массы  $p_c = 1,4$ , для

трамбующих механизмов  $p_n = 1,2$  и для влаги  $p_{ж} = 1$ .

Вертикальное нормативное давление на днище заглубленного и полузаглубленного силосохранилища

$$P_b^H = [\gamma(h - h_{ж}) + q + \gamma_{ж} h_{ж}] K_n K_H \quad (10)$$

где:  $q = \rho_{ж/б} \cdot t_{дн.} = 25 \times 0,3 = 7,5$  кПа – давление, создаваемое днищем;  $\gamma$  – нормируемая плотность силосной массы, принимается равной  $7,50$  кН/м<sup>3</sup>;  $h = 3,6$  м – высота от верха силосной массы до уровня днища траншеи, м;  $K_n$  – коэффициент, учитывающий уменьшение давления вследствие податливости ограждений (для стен из каменной, бетонной и бутобетонной кладки  $K_n = 1$ , для железобетонных стен  $K_n = 0,9$ );  $K_H$  – коэффициент надежности по назначению, учитывающий ответственность сооружений,  $K_H = 0,9$ ;  $h_{ж} = 0$  м – высота от расчетного уровня влаги до поверхности днища сооружения, принимаемая в соответствии с типом проектируемых устройств для удаления влаги, но не менее  $0,25$  высоты стен сооружения, м;  $\gamma_{ж}$  – плотность влаги, принимают равной  $1000$  кг/м<sup>3</sup>.

$$P_b^H = [7,5(3,6 - 0) + 7,5 + 0] 0,9 \times 0,9 = 27,945 \text{ кПа.}$$

4. Ввод данных в ПК «Мономах»

По результатам оценки физико-механических свойств грунтов и расчета нагрузок данные вводят в ПК «Мономах». В основе метода расчета лежат уравнения статики, модель винклеровского основания и жесткость плиты [4].

Расчеты основаны на следующих допущениях: реакция грунтового массива на плиту фундамента описывается моделью Винклера – коэффициентом жесткости (коэффициентом постели); фундаментная

плита является твердым телом (изгибными деформациями плиты пренебрегаем) [5]; геологические процессы в грунтовом массиве при достаточной несущей способности основания плиты направлены на установление равновесного состояния грунтового массива, если давление на грунт уменьшается до величины, не превышающей расчетного сопротивления грунта R.

На первом этапе расчетов определяют осадку плиты днища. Расчет выполняют с применением модели Винклера для жесткой плиты, нагруженной весом сооружения. Для неконсолидированных грунтов коэффициент постели  $C$  рассчитывают по фактической осадке плиты. Для консолидированного грунта коэффициент постели определяют по нормативным документам.

На втором этапе рассчитывают конечную осадку плиты. Грунт считают консолидированным, а коэффициент постели определяют по нормативным документам.

5. Задание грунтовых условий в про-

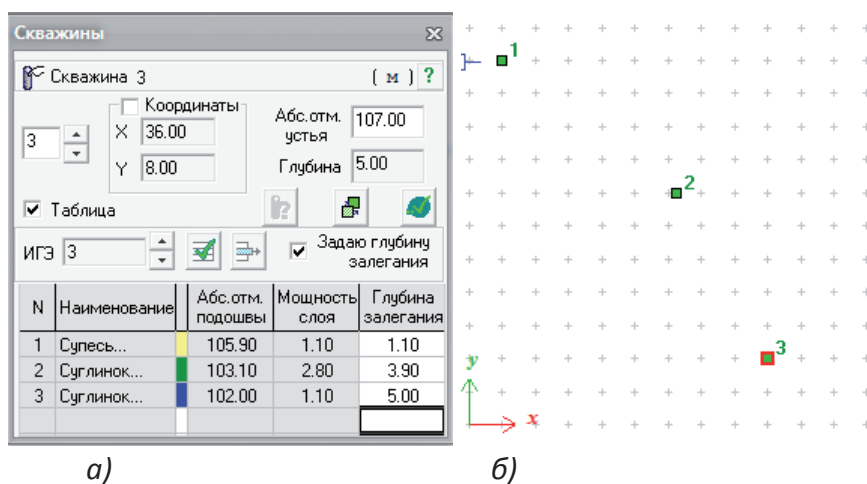
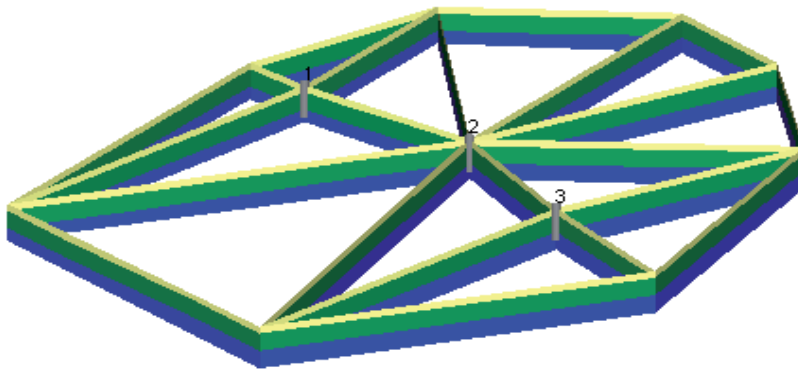


Рис. 1 - Геологические характеристики скважин а) и их расположение на участке строительства б)

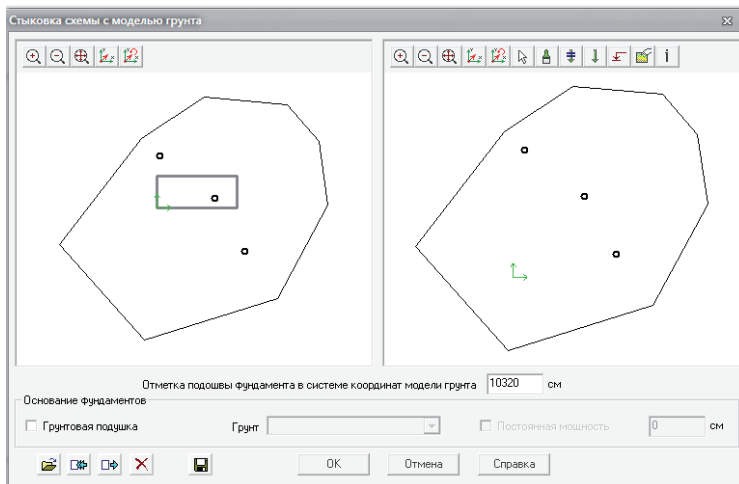
Таблица 2

Ввод характеристик грунтов в ПК «Мономах»

| № | А         | В           | С                   | Д       | Е                                    | Ф                    | Г                                      | Н   |
|---|-----------|-------------|---------------------|---------|--------------------------------------|----------------------|--|---|
| 1 | Номер ИГЭ | Усл. обозн. | Наименование грунта | Цвет    | Модуль деформации, тс/м <sup>2</sup> | Коэффициент Пуассона | Удельный вес грунта, тс/м <sup>3</sup> | Кoeffициент перекрестной деформации ко 2 мод деформ |
| 2 | 1         |             | Супесь пластич      | Желтый  | 300                                  | 0.3                  | 1.85                                   |   |
| 3 | 2         |             | Суглинок            | Зеленый | 760                                  | 0.3                  | 1.87                                   |   |
| 4 | 3         |             | Суглинок Песок      | Синий   | 2000                                 | 0.35                 | 1.8                                    |   |



**Рис. 2 - Графическая модель грунта:**  
1, 2, 3 – номера скважин



**Рис. 3 - Стыковка модели грунта**

грамме «ГРУНТ»

В табл. 2 приведены характеристики грунтов, введенные в ПК «Мономах».

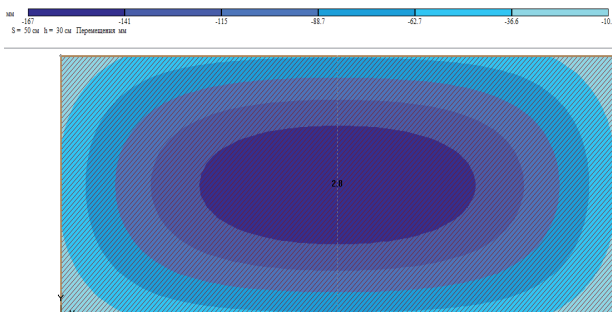
6. *Задание скважин в ПК «Мономах» и моделирование грунта*

Указывают положение скважин (рис. 1а) и на основании геологического разреза разрабатывают модель грунта (рис. 1б).

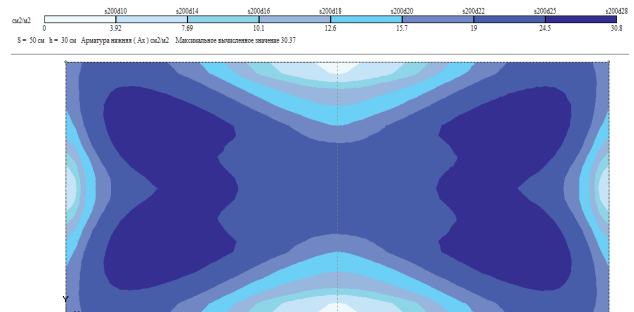
В результате экстраполяции и триангуляционной разбивки модели на конечные элементы треугольной формы получена следующая графическая модель грунта (рис. 2).

7. *Привязка сооружения к модели грунта*

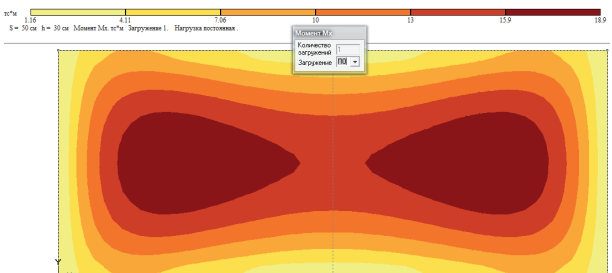
Привязку выполняют в режиме импорта и слияния с моделью грунта, заданной в подпрограмме ПК «Мономах-Грунт», с учетом грунтового основания по заданным инженерно-геологическим условиям площадки строительства. Для описания площадки строительства задают базу характеристик слоев грунта



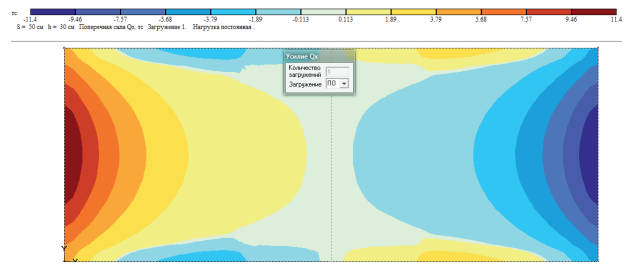
**Рис. 4 - Изополя перемещений дна, мм;**



**Рис. 5 - Изополя площади нижнего армирования вдоль оси X, см²/м²;**



**Рис. 6 - Изополя изгибающих моментов вдоль оси X, тс·м;**



**Рис. 7 - Изополя поперечной силы вдоль оси X, тс**

(ИГЭ), указывают расположение и отметки устья скважин, слои грунта, составляющие ту или иную скважину.

#### 8. Задание нагрузки на фундаментную плиту днища

Стыковку модели грунта с моделью сооружения (рис. 3) осуществляли в разделе «Компоновка» ПК «Мономах», что позволило получить наиболее точные результаты работы фундаментной плиты днища в массиве грунта.

#### 9. Результаты расчета в ПК «Мономах»

Результаты расчета параметров днища силосохранилища в ПК «Мономах» приведены на рисунках 4 - 8.

В средней зоне изополя, т.е. средней части плиты возникают максимальные изгибающие моменты; верхняя зона плиты днища подвержена усилиям сжатия, а нижняя зона - растягивающим усилиям, что учитывают при армировании плиты днища.

#### 10. Задание армирования плиты днища

Схема раскладки арматурных сеток, параметры сеток армирования: диаметр, площадь, шаг стержней и их вес приведены на рисунках 9 - 11.

Все остальные списки подобранных сеток и спецификаций арматуры, сформированные программой, условно не показаны.

#### Выводы

Проверка принятой толщины плиты и подбор арматуры выполнены в соответствии с требованиями норм проектирования с учетом инженерно-геологических условий и грунтов площадки строительства, а запроектированная толщина плиты, равная 300 мм, и ее армирование стальными сетками и стержнями в расчетных пролетах  $l_1 = 12000$  мм и  $l_2 = 30000$  мм – оптимальны.

#### Библиографический список

1. Некрашевич, В.Ф. Расчет конструкций и оптимизация параметров заглубленных железобетонных силосохранилищ для фермерских хозяйств: монография / В.Ф. Некрашевич, Я.Л. Ревич. - Рязань, 2013. - 135с.
2. Основания, фундаменты и подземные сооружения. Справочник проектировщика / Под ред. Е.А. Сорочан, Ю.Г. Трофименкова. – М.: Стройиздат, 1985. – 480 с.
3. СНиП 2.02.01-83 «Основания и фундаменты». – М., 1995.

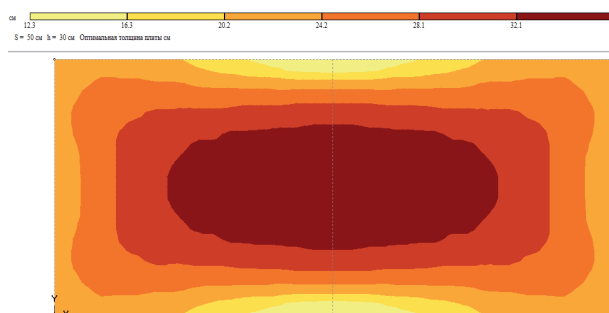


Рис. 8 - Изополя оптимальной толщины плиты, см

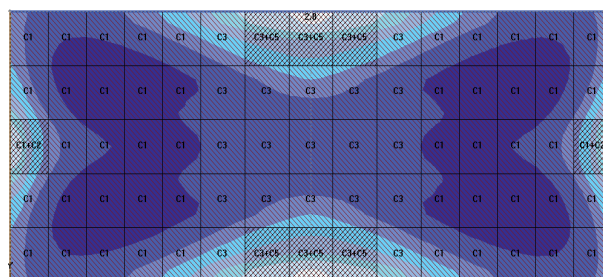


Рис. 9 - Схема раскладки арматурных сеток нижнего пояса

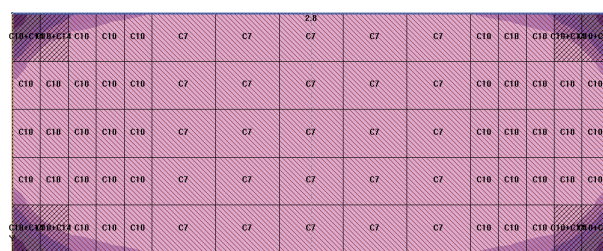


Рис. 10 - Схема раскладки арматурных сеток верхнего пояса

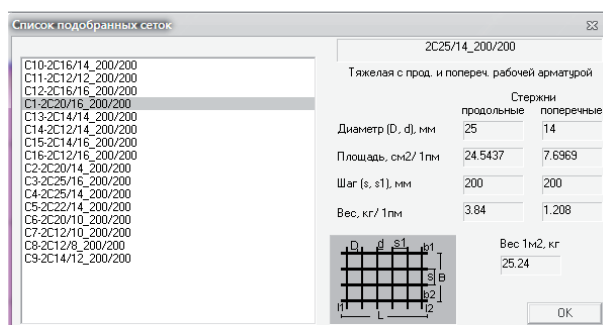


Рис. 11 - Схема подобранных арматурных сеток верхнего пояса.

4. СНиП 2.03.01 – 84\*. Нормы проектирования. Бетонные и железобетонные конструкции. – Москва, 1989.

5. Горбунов-Посадов, М.И. Основания, фундаменты и подземные сооружения / М.И. Горбунов-Посадов, В.А. Ильичев, В.И. Крутов [и др.]. – М.: Стройиздат, 1985. – 480 с.