

## Математический расчет железобетонных ленточных ростверков свайных фундаментов

*Бабашов Даниэль Эльманович*

*Приамурский государственный университет им. Шолом-Алейхема*

*Студент*

### Аннотация

В данной статье описаны расчеты железобетонных ленточных ростверков свайных фундаментов и их применение в строительстве. Данные расчеты выполнены с применением математических формул и исходных данных.

**Ключевые слова:** железобетон, фундамент, строительство, расчёт.

## Mathematical calculation of reinforced concrete strip grillings of pile foundations

*Babashov Daniel Elmanovich*

*Sholom-Aleichem Priamursky State University*

*Student*

### Abstract

This article describes the calculations of reinforced concrete strip grillings of pile foundations and their application in construction. These calculations are performed using mathematical formulas and initial data.

**Keywords:** reinforced concrete, foundation, construction, calculation.

## 1 Введение

### 1.1 Актуальность

Железобетонные ленточные ростверки свайных фундаментов являются ключевым элементом в строительстве зданий и сооружений. Их основная функция — равномерное распределение нагрузки от вышележащих конструкций на сваи и на грунт. При проектировании таких фундаментов важно учитывать множество факторов, включая свойства материалов, характер грунтовых условий и тип нагрузки. Математический расчет ростверков позволяет обеспечить прочность, долговечность и устойчивость всей конструкции. Для этого применяются методы строительной механики и теории упругости, с учетом нормативных документов и строительных стандартов. Корректный математический расчет обеспечивает не только надежность конструкции, но и оптимизацию затрат на материалы и строительство, что делает его важнейшим этапом проектирования свайных фундаментов.

## 1.2 Обзор исследований

В статье М.Б. Мариничева, П.А. Ляшенко, В.В. Денисенко и И.Г. Ткачева рассматриваются методы расчета и проектирования свайных фундаментов для высотных зданий в сложных грунтовых условиях [1]. Также в статье В.С. Уткин, Л.А. Сушев, С.А. Соловьёв рассмотрена работа сваи в свайном основании фундамента, по-новому описана система механических воздействий на нее для расчета сваи по осадке фундамента с учетом распределения упругой деформации материала сваи в грунте основания [2]. Д.Д. Федоренко в своей статье сравнивает расчет осадки как условного фундамента на естественном основании и расчет с учетом взаимного влияния свай в группе [3]. В статье Н.М. Дорошкевич, В.В. Знаменский, В.И. Кудинов рассматриваются инженерные методы расчёта свайных фундаментов с учётом различных схем нагружения, включая постоянные, длительные и кратковременные нагрузки. Авторы предлагают теоретические и практические подходы для определения несущей способности свайных оснований, основываясь на характеристиках грунтов и результатах испытаний свай [4]. А. В. Самородова анализирует методики расчёта и нормативные положения, предлагает инженерные методики определения параметров фундаментов и методы оценки их эффективности [5].

## 1.3 Цель исследования

Расчет железобетонных ленточных ростверков свайных фундаментов, отвечающий всем строительным нормам и правилам.

## 2 Общая часть

Расчет железобетонных ленточных ростверков свайных фундаментов был произведён для жилого дома в г. Биробиджане.

Здание кирпичное, пятиэтажное.

Математический расчёт выполнен в соответствии с СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия».

## 3 Расчет железобетонных ленточных ростверков свайных фундаментов

### 3.1 Подбор продольной арматуры

Ростверки, расположенные под стенами кирпичных зданий, должны быть спроектированы с учётом эксплуатационных и строительных нагрузок. Расчёты основываются на предпосылке, что нагрузка распределяется в виде треугольной формы с максимальной ординатой  $P$ , находящейся над осью сваи и определяемой по следующей формуле:

$$P = \frac{q_0 \times L}{a} \quad (1.1)$$

где  $L$  – расстояние между осями свай вдоль ряда, м;

$q_0$  – равномерно распределенная нагрузка от здания на уровне основания ростверка, кН/м;

$a$  – длина базы нагрузки м, которая вычисляется следующей формулой:

$$a = 3.14 \times \sqrt[3]{\frac{E_p \times I_p}{E_k \times b_k}}, \quad (1.2)$$

где  $E_p$  – модуль упругости бетона ростверка, МПа;

$I_p$  – момент инерции сечения ростверка, м<sup>4</sup>;

$E_k$  – модуль упругости блоков бетона, расположенных над ростверком, МПа;

$b_k$  – ширина стены блоков, поддерживающих ростверк.

$$I_p = \frac{b_p \times h_p^3}{12} = \frac{1,5 \times 0,6^3}{12} = 0,027 \text{ м}^4 \quad (1.3)$$

$b_p$  – ширина ростверка, равна 1,5 м;

$h_p$  – высота ростверка, равна 0,6 м.

Подставим значения в вышеприведенную формулу:

$$a = 3,14 \times \sqrt[3]{\frac{2,7 \times 0,027}{2,7 \times 0,77}} = 3,14 \times \sqrt[3]{0,37} = 1,1 \text{ м} \quad (1.4)$$

Для вычисления максимальной ординаты эпюры свай  $p_0$  используется формула:

$$P = \frac{q_0 \times L_p}{a} \quad (1.5)$$

тогда:

$$P = \frac{q_0 \times L}{a} = \frac{1696,36 \times 1,3}{1,1} = 2004,78 \text{ кН} \quad (1.6)$$

где  $L_p$  – расчетный пролет м, равный  $1,05 \cdot L_{св}$ ;

где  $L_{св}$  – расстояние между сваями в свету, м.

$$p_0 = \frac{1696,36 \times 0,84}{1,1} = 1295,4 \text{ кН} \quad (1.7)$$

Расчетные изгибающие моменты  $M_{оп}$  и  $M_{пр}$  вычисляются по следующим формулам:

$$M_{оп} = -\frac{q_0 \times L_p^2}{12} = -\frac{1696,36 \times 0,84^2}{12} = -99,74 \text{ кН} \cdot \text{м} \quad (1.8)$$

$$M_{оп} = -\frac{q_0 \times L_p^2}{24} = -\frac{1696,36 \times 0,84^2}{24} = -49,87 \text{ кН} \cdot \text{м} \quad (1.9)$$

Для нахождения поперечной силы в ростверке у основания свай применяется формула:

$$Q = \frac{q_0 \times L_p}{2} = \frac{1696,36 \times 0,84}{2} = 712,47 \text{ кН} \quad (1.10)$$

где  $q_0$  – равномерно распределенная нагрузка от здания на уровне нижней части ростверка, кН/м;

$L_p$  – расчетный пролет, м.

Характеристики прочности бетона определяются следующим образом:

$R_b$  – расчетное сопротивление бетонной смеси класса В-20,  $R_b = 11,5$  МПа.

Прочность ростверка рассчитывается по нормальным сечениям относительно продольной оси. Подбор арматуры осуществляется по правилам СП 63.13330.2016.

Вычисляем коэффициент  $\alpha_m$ :

$$\alpha_m = \frac{M}{R_b \times b \times h_0^2} \quad (1.11)$$

где  $M$  – момент в пролете, кНм;

$b$  – ширина сечения, м;

$h_0$  – рабочая высота, м;  $h_0 = 600 - 50 = 550$  мм.

$$\alpha_m = \frac{49,87 \times 10^6}{11,5 \times 10^3 \times 1,5 \times 0,55^2} \quad (1.12)$$

При  $\alpha_m = 0,01$  определяем  $\eta = 0,977$ , затем рассчитаем требуемую площадь растянутой арматуры по формуле:

$$A_s = \frac{M}{R_s \times \eta \times h_0} \quad (1.13)$$

где  $M$  – момент в пролете, кНм;

$R_s$  – расчетное сопротивление арматуры, МПа.

$$A_s = \frac{49,87 \times 10^6}{365 \times 0,977 \times 0,55} = 2,54 \text{ см}^2 \quad (1.14)$$

Выбираем арматуру класса А400 8Ø7 мм ( $A_s = 3,08 \text{ см}^2$ ) и конструктивно - Ø12 мм ( $A_s = 9,05 \text{ см}^2$ ).

Для сечения на опоре:

Момент на опоре равен 99,74 кНм. Рабочая высота  $h_0 = 600 - 50 = 550$  мм.

Коэффициент  $\alpha_m$ :

$$\alpha_m = \frac{M}{R_b \times b \times h_0^2} = \frac{99,74 \times 10^6}{11,5 \times 10^3 \times 1,5 \times 0,55^2} = 0,019 \quad (1.15)$$

Находим  $\eta = 0,99$ , затем рассчитываем необходимую площадь для арматуры класса А400,  $R_s = 360$  МПа:

$$A_s = \frac{M}{R_s \times \eta \times h_0} = \frac{99,74 \times 10^6}{360 \times 0,99 \times 550} = 5,02 \text{ см}^2 \quad (1.16)$$

Выбор – стержни арматуры А400, 8Ø10 мм ( $A_s = 6,28 \text{ см}^2$ ).

### 3.2 Расчет поперечных стержней

Расчет ведут по наклонному сечению. Диаметр поперечных стержней задают из условия сварки, так, чтобы отношение диаметра поперечного стержня к диаметру продольного составляло 1/4, поэтому диаметр поперечных стержней принимаем равным 4 мм, арматура класса А-I с шагом  $S = 310$  мм.

### 3.3 Расчет на продавливание

Расчет на продавливаемость конструкций под воздействием сил, равномерно распределенных по большой площади, должен осуществляться на основании следующего условия:

$$F \leq \alpha \times R_{bt} \times U_m \times h_0 \quad (1.17)$$

$F$  – сила продавливания, кН;

$\alpha$  – коэффициент, принимаемый равным 1;

$U_m$  – среднее арифметическое периметров верхнего и нижнего оснований пирамиды, образующейся в процессе продавливания.

При вычислении  $U_m$  предполагается, что продавливание происходит по боковой поверхности пирамиды, и ее грани наклонены под углом  $45^\circ$  к горизонту. Если в пределах пирамиды устанавливаются хомуты, расчет выполняется по условию:

$$F = F_d + 0,8 \cdot F_{sw} = 1696,36 + 0,8 \cdot 6,615 = 1701,65 \text{ кН} \quad (1.18)$$

$$F_d = F \quad (1.19)$$

Сила  $F_{sw}$  рассчитывается как сумма всех поперечных усилий, действующих на хомуты, проходящие через боковые грани пирамиды:

$$F_{sw} = \sum R_{sw} \times A_{sw}, \quad (1.20)$$

где  $R_{sw}$  – расчетное сопротивление арматуры, не превышающее значения для арматуры класса А-I. При учете поперечной арматуры значение  $F_{sw}$  должно составлять не менее  $0,5 \cdot F_b$ ;

$A_{sw}$  – площадь поперечного сечения арматуры хомутов, равная  $12,6 \text{ мм}^2$ .

$$F_{sw} = 3 \times 175 \times 103 \times 0,0000126 = 6,615 \text{ кН} \quad (1.21)$$

$$F \leq 1 \times 0,9 \times 2 \times 0,55 = 990 \text{ кН} = P \quad (1.22)$$

$F = 1696,36 \text{ кН} > P = 990 \text{ кН}$ , что соответствует условию расчета на продавливание.

### Заключение

В заключении, можно отметить, что расчет железобетонных ленточных ростверков свайных фундаментов является важным и ответственным этапом в процессе проектирования зданий и сооружений. Учет множества факторов, правильное определение нагрузок и выбор материалов обеспечивают надежность и долговечность конструкций.

### Библиографический список

1. Мариничев М.Б., Ляшенко П.А., Денисенко В.В., Ткачев И.Г. Расчет и конструирование свайных фундаментов высотных зданий в сложных грунтовых условиях // Фундаменты. 2021. № 1(3). С. 58-63. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44877763>
2. Уткин В.С., Сушев Л.А., Соловьёв С.А. Совершенствование методов расчета свайных фундаментов по осадке // Вестник МГСУ. 2021. Т. 10. № 3. С. 331-339. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46384056>
3. Федоренко Д.Д. Сравнение двух методов расчетов осадки свайных фундаментов // Севергеоэкотех-2024. 2024. С. 115-123. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=67342226>
4. Дорошкевич Н.М., Знаменский В.В., Кудинов В.И. Инженерные методы расчета свайных фундаментов при различных схемах их нагружения // Вестник МГСУ. 2006. № 1. С. 119-132. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15204297>
5. Самородов А.В. Особенности расчета, проектирования и оценки эффективности, комбинированных свайных и плитных фундаментов многоэтажных зданий // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2017. № 6. С. 15-20. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32398668>
6. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования. М., 2016 г.