

УДК 69.003.13

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ ЖИЛОГО ДОМА В СЛОЖНЫХ ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЯХ

Тарасеева Нелли Ивановна,

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г. Пенза,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Геотехника и дорожное
строительство».*

Калашникова Ирина Владимировна

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г. Пенза,*

студент.

Аннотация

На основании анализа грунтовых и гидрогеологических условий предложено несколько вариантов свайных фундаментов. Учитывая сложность территории застройки, принято оптимальное решение – составные сваи. Выполнен расчет конструкции.

Ключевые слова: инженерно-геологические изыскания, свайные фундаменты, составные сваи.

DESIGNING OF DESIGNS OF PILABLE FOUNDATIONS OF THE HOUSING HOUSE IN COMPLEX GROUND CONDITIONS

Taraseeva Nelli Ivanovna,

Penza State University of Architecture and Construction, Penza,

*Candidate of Sciences, Associate Professor of the department “Geotechnics and road
construction”.*

Kalashnikova Irina Vladimirovna

*Penza State University of Architecture and Construction, Penza,
student*

Abstract

Based on the analysis of soil and hydrogeological conditions, several options for pile foundations have been proposed. Given the complexity of the built-up area, the optimal decision was made - composite piles. Computed design.

Key words: geological engineering surveys, pile foundations, composite piles.

Любое строительство, не может начаться просто с ограждения строительной площадки и завоза строительных материалов. Всему этому предшествует серьёзная и кропотливая работа служб различного профиля. Одними из основных на подготовительном этапе являются инженерно-геологические изыскания, по результатам которых станет ясно, возможно ли строительство на данном участке и если да, то какие технологии при этом следует использовать.

Основные задачи, возлагающиеся на инженерно-геологические изыскания, это мониторинг геологического строения, сложения, состояния, а также свойств грунтов, с целью выяснения их способностей работать в качестве основания под здание. В процессе изысканий, с помощью разработанных методик получают данные об их физико-механических свойствах, чтобы произвести расчёт прочности и возможной деформации оснований. Определяют условия залегания, агрессивность, напор и распространение подземных вод.

В каком объёме необходимо проводить изыскания, в том числе и глубину разведочных скважин, определяет подрядная организация, в зависимости от наличия данных об исследуемом районе, сложности геологического строения, особенностей гидрологического и гидрогеологического характера

непосредственно в месте закладки фундамента и характеристик самой конструкции фундамента.

В частности, в г. Заречном Пензенской области грунты – влажные суглинки, глины и супеси за счет близости русла реки Сура, город расположен на третьей надпойменной террасе. Поэтому, при проектировании и возведении фундамента жилых зданий и сооружений важно учитывать данные факторы [1, 2].

Район строительства жилого дома переменной этажности с нежилыми помещениями на 1-ом и цокольном этажах расположен в микрорайоне №13а в районе пересечения улиц Зеленая и Ленина в г. Заречном.

Необходимость и целесообразность строительства выражаются в повышении уровня жилищной обеспеченности населения города в результате планируемого ввода в эксплуатацию проектируемого 16-10-16-этажного жилого дома.

Характеристика фундамента

Поскольку категория сложности инженерно-геологических условий II, согласно приложения «Б» [4], часть I, предпочтительно проектировать фундаменты свайного типа. Устройство подобных оснований под фундаменты проектируемого здания даёт следующие преимущества перед другими типами:

- повышение надёжности,
- уменьшение объемов земляных работ,
- уменьшение материальных затрат,
- возможность выполнять работы в зимний период,
- исключает просадки фундамента в случае замачивания основания.

Недостатком является трудоемкость работ по забивке свай.

В данной работе на основании расчета конструкций принят оптимальный вариант фундаментов – сплошная плита на сваях. Высота плиты у 1 и 3 секции – 0.7 м, у 2 секции – 0.6 м, сваи длиной 10 м. Класс бетона фундаментов – В25, W2.

Расчет и сравнение свайных фундаментов выполняются в несколько стадий. Осуществляется сбор нагрузок на основание, учитывая специфику и назначение проектируемого 16-10-16-этажного дома с нежилыми помещениями на 1-ом и цокольном этажах (табл. 1).

Таблица 1 - Сбор нагрузок на фундаменты здания

№ п/п	Нагрузки	Нормативная нагрузка на ед. площ. (N_{II}), кН/м ²	γ_f	Расчетная нагрузка (N_I), кН/м
Постоянные нагрузки				
От покрытия				
1	Гидроизоляция – 2 слоя «Унифлекс»	0,125	1,1	0,14
2	Цементно-песчаная стяжка, 30 мм	1,35	1,3	1,75
3	Крошка из ячеистого бетона, 20- 130 мм	2,25	1,3	2,93
4	Утеплитель – минеральная вата «Технориф», 100 мм	0,125	1,3	0,16
5	Пароизоляция - Бикрост	0,05	1,3	0,065
6	Железобетонная плита покрытия, 200 мм	10	1,1	11
От чердачного перекрытия				
7	Цементно-песчаная стяжка, 30 мм	1,35	1,3	1,75
8	Утеплитель – минеральная вата «Технориф»,	0,0625	1,3	0,08

Продолжение таблицы 1

9	Пароизоляция – пленка полиэтиленовая	0.05	1.3	0.065
10	Железобетонная плита перекрытия, 200 мм	10	1.1	11
От междуэтажного перекрытия				
1	Междуэтажные плиты перекрытия на 10 и 16 этажах, 200 мм	160	1.1	176
12	Вес конструкции пола на 10 и 16 этажах	20	1.3	26
13	От перегородок	10	1.1	11
14	От наружных стен	120	1.1	132
Временные нагрузки				
15	От снега	5,6		
	Кратковременная	3,725	1.4	5,22
	Длительного действия	1,875	1.4	2,63
16	На перекрытие	3,75		
	Кратковременная с учетом коэффициента $\psi=1$	2,5	1.2	3
	Длительного действия с учетом коэффициента $\psi=1$	1,25	1.2	1,5
	Итого под стены 3-3:	344,71		386,3
	Итого по колонну 1-1	2068,3		2317,8

Конструирование свайных фундаментов состоит из определения глубины заложения ростверка, назначения длины сваи, вычисления несущей способности, определения расчетно-допускаемой нагрузки, количества свай под колоннами или шаг под стенами. Глубина заложения ростверка принята, ориентируясь на наличие подвала и глубины сезонного промерзания грунтов.

Забивная свая 30x30, l = 9м, суглинки

Для сравнения принимаем 1 вариант свайных фундаментов сечением 30x30. При определении длины сваи учитываем, что острие должно быть погружено в наиболее прочные слои грунта. В глинистых грунтах это слои с наименьшим показателем текучести I_L , в песчаных грунтах – в зависимости от крупности песка. В слой, выбранный в качестве несущего, свая должна быть погружена не $< 1,0$ м. При этом следует учитывать, что после забивки необходимо срубить голову сваи в пределах 300мм, а на 100мм свая заделывается в ростверк.

Исходя из результатов анализа грунтовых условий, назначаем длину свай С 9-30. При этом острие сваи погружаем в наиболее прочный слой грунта. Несущая способность сваи будет складываться из сопротивления грунта под острием сваи R и сопротивлением вдоль боковой поверхности f . Значения R и f принимаем по таблице 1 и 2 [5]. Всю длину сваи разбиваем на участки из условия: $l_i \leq 2$ м.

Несущая способность сваи определяется по формуле:

$$F = \gamma_c (RA\gamma_{CR} + U \sum_{i=1}^n f_i h_i \gamma_{cf}), \quad (1)$$

где A – площадь сваи, принимаемая $0,3 \times 0,3 \text{ м}^2$,

U – периметр сваи.

По таблицам 7.1 и 7.2 [5] для глины на глубине 9 м находим:

Расчетное сопротивление под острием сваи: $R = 2300 \text{ кПа}$.

Получаем значение несущей способности сваи:

$$F = 1,0 \cdot [2300 \cdot 0,09 \cdot 1 + 1,2 \cdot (1,45 \cdot (21 + 27 \cdot 2 + 31 \cdot 2 + 33 \cdot 2 + 33,5))] = \\ = (2300 \cdot 0,09 + 1,2 \cdot 342,93) = 207 + 411,51 = 618,5 \text{ кН}$$

Забивная свая(составная) 35x35, l = 13м, глины

Рассчитываем 2 вариант свайных фундаментов из забивных свай (составных) сечением 35x35.

Составные сваи применяют, как правило, не только в тех случаях, когда необходимо опору делать максимальной длинны, но и учитывая сложные

гидрогеологические характеристики района застройки [3]. В нашем случае верхний слой грунта неустойчивый толщиной больше, чем длина цельной железобетонной сваи. Поскольку строительство нового дома запроектировано в существующей застройке, доставка длинномерных свай невозможна по причине ограниченных дорожно-транспортных условий городской сети. С технологической точки зрения, забивка свай длиной больше 12 м затруднительна и не может быть качественно выполнена строительной компанией при отсутствии копровой установки.

Все эти аспекты, в том числе и сравнение технико-экономических показателей обосновали эффективность принятого конструктивного решения (рис. 1).

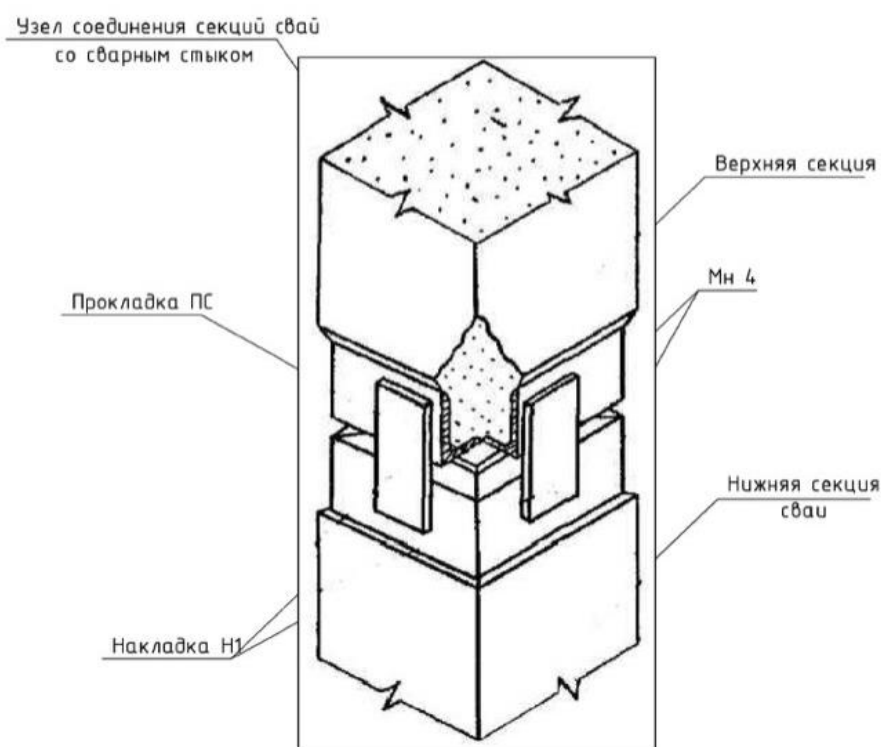


Рисунок 1 - Узел стыковки составных свай

Исходя из результатов анализа грунтовых условий, назначаем длину свай С 13-35, при этом острие погружаем в наиболее прочный слой грунта. Несущая способность составной сваи также будет складываться из сопротивления грунта под острием сваи R и сопротивлением вдоль боковой поверхности f . Значения R

и f принимаем по таблице 1 и 2 [5]. Всю длину сваи разбиваем на участки из условия: $l_i \leq 2\text{м}$.

Несущая способность составной сваи определяется по формуле (1). Для этого по таблицам 7.1 и 7.2 [5] для глины на глубине 9 м находим:

- расчетное сопротивление под острием сваи $R = 1600\text{кПа}$;

- получаем несущую способность

$$F = 1,0 \cdot [1600 \cdot 0,1225 \cdot 1 + 1,2 \cdot (1,45 \cdot (17 + 22 \cdot 2 + 25 \cdot 2 + 26 \cdot 2 + 27 \cdot 2 + 27,3 \cdot 2 + 27,5))] = (1600 \cdot 0,1225 + 1,2 \cdot 433,7) = 196 + 520 = 716 \text{ кН}$$

Проектирование свай под стены здания

Определяем расчетную нагрузку, допускаемую на сваю:

$$N_{\text{р.д.}} = \frac{F}{\gamma_n} = \frac{716}{1,4} = 511 \text{ кН},$$

где γ_n – коэффициент надежности, зависящий от способа определения несущей способности 1,4.

Принимаем ростверк шириной $b_p = 0,6\text{м}$, высотой $h_p = 0,6\text{м}$.

Определяем шаг свай под стены здания:

$$C = \frac{N_{\text{р.д.}}}{q + Q_p},$$

где $q = N_1 = 386,3\text{кН/м}$

Вес погонного метра ростверка $Q_p = 0,6 \cdot 0,6 \cdot 25 \cdot 1,0 = 9\text{кН/м.п.}$

Определяем шаг свай:

$$C = \frac{511}{386,3 + 9} = 1,29 \approx 1,3\text{м}$$

При конструировании ростверка расстояние между сваями должно удовлетворять условию: $3d \leq c \leq 6d$.

Исходя из минимального допустимого расстояния между сваями $l=3d$, определяем минимальную допустимую ширину ростверка b_p . Сваи располагаем в одну линию.

$$b_p = d + 2 \cdot 0,05 = 0,35 + 2 \cdot 0,05 = 0,45\text{м}$$

Окончательно принимаем ростверк шириной $b_p = 0,6$ м, высотой $h_p = 0,6$ м.

$$Q_p = 0,6 \cdot 0,6 \cdot 25 = 9 \text{ кН/м.п.}$$

$$C = \frac{511}{386,3 + 9} = 1,3 \text{ м}$$

Принимаем шаг составных свай $C = 1,3$ м.

Расчет осадки свайного фундамента

Расчет осадки свайного фундамента сводится к расчету осадки некоторого условного фундамента, подошва которого проходит через начало заострения свай, а боковые грани через точку пересечения плоскости подошвы и линии, расположенной под углом $\varphi_{cp}/4$, где среднее значение угла внутреннего трения грунтов, прорезаемых сваями определяется:

$$\varphi_{cp} = \frac{\varphi_2 \cdot h_2 + \varphi_{13} \cdot h_{13} + \varphi_{10} \cdot h_{10}}{h_2 + h_{13} + h_{10}}$$

$$\varphi_{cp} = \frac{12 \cdot 4 + 12 \cdot 4}{8} = 12^\circ$$

Ширина и длина условного фундамента соответственно будут равны:

$$a = l_0 \operatorname{tg} \alpha, \text{ где}$$

$$l_0 = 13 - 0,4 = 12,6 \text{ м} - \text{приведенная длина свай.}$$

$$B_y = 3d + d + l_0 \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi_{2cp}}{4} \cdot n = 1,05 + 0,35 + 12,6 \cdot 0,1 \cdot 5 = 7,7 \text{ м}$$

$$L_y = 2 \cdot 3d + d + l_0 \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi_{2cp}}{4} \cdot 2 = 2 \cdot 1,05 + 0,35 + 12,6 \cdot 0,1 \cdot 2 = 4,97 \text{ м}$$

$$\text{Площадь подошвы условного фундамента: } A_y = B_y \cdot L_y = 7,7 \cdot 4,97 = 38,3 \text{ м}^2$$

Определяем вес условного фундамента:

$$Q_{\text{усл.ф.}} = B_y \cdot L_y \cdot 20 \text{ кН/м}^3 \cdot (l_0 + 1 \text{ м}) = 7,7 \cdot 4,97 \cdot 13,6 \cdot 20 = 10417,6 \text{ кН}$$

Дальнейший расчет осадки свайных фундаментам аналогичен расчету осадки фундаментам мелкого заложения.

Среднее давление условного фундамента:

$$P = \frac{N_{II} + Q_{ф.гр.}}{A_y} = \frac{2068 + 10417,6}{38,3} = 326 \text{кПа}$$

Таким образом, требуется определить осадку условного фундамента с давлением под подошвой $P = 326 \text{кПа}$. Расчет осадки ведем методом послойного суммирования с использованием расчетной схемы грунтового основания в виде линейно-деформируемого полупространства. Эта схема применяется в случае, если выполняется условие $P \leq R$.

Проверим это условие:

$$R = \frac{\gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2}}{k} [M_{\gamma} \cdot b \cdot k_n \cdot \gamma_{II} + M_q \cdot d_1 \cdot \gamma'_{II} + M_c \cdot c_{II}] =$$

$$= \frac{1,25 \cdot 1,0}{1} [0,23 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 12 + 1,94 \cdot 12 \cdot 13 + 4,42 \cdot 21] = 50 \text{кПа}$$

$P = 326 \text{кПа} < R = 50 \text{кПа}$ - условие выполняется.

Вся толща грунта ниже подошвы условного фундамента разбивается послойно на слои толщиной $h_i \leq 0,4b$.

В нашем случае $h_i \leq 0,4 \cdot 2,3 = 1,1 \text{м}$ примем слой толщиной 1,2 м и 2 м.

Граница слоя грунта также является и границей i -того элементарного слоя.

Для полученных точек определяем природное давление грунта:

$$\sigma_{zq,i} = \sum_{i=1}^n \gamma_{II,i} \cdot h_i$$

σ_{zq0} - среднее давление от собственного веса грунта в уровне подошвы фундамента.

$$\sigma_{zq0} = 12 \cdot 4 + 15 \cdot 0,8 + 12 \cdot 1,6 = 79 \text{кПа};$$

Определяем дополнительное давление в уровне подошвы фундамента

$$P_0 = P - \sigma_{zq0},$$

где $P = 326 \text{кПа}$;

$$P_0 = 326 - 79 = 247 \text{кПа}$$

Находим дополнительное давление в характерных точках:

$$\sigma_{zp} = P_0 \cdot \alpha$$

Расчет осадки ведем в пределах сжимаемой толщи, нижняя граница которой определяется из условий:

$$\text{при } E \geq 7 \text{ МПа } \sigma_{zp} \leq 0,5 \sigma_{zq}$$

$$\text{при } E < 5 \text{ МПа } \sigma_{zp} \leq 0,2 \sigma_{zq}$$

Расчет осадки сводится к проверке условия:

$$S = \beta \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_i \cdot h_i}{E_i} \leq S_u = 100 \text{ мм (} S_u \text{ - предельно допустимая осадки)}.$$

$$\sigma_i = \frac{\sigma_{zpi} + \sigma_{zpi+1}}{2}; \beta = 0,8$$

Весь расчет сводим в таблицу 2.

Таблица 2 - Расчет осадки свайного фундамента

№ точки	z, м	$\xi = \frac{2z}{b}$	α	σ_{zq} , кПа	σ_{zp} , кПа	σ_i , кПа	E, МПа	h_i , м	
0	0	0	1,00	79	68	62	8000	1,2	
1	1,2	1.2	0,91	102	56	44		1,2	
2	2,4	2,4	0,52	131	32	22		2	
3	4,4	4.4	0,23	144	13	12		2	
4	6,4	6.4	0,191	158	12	8		14000	2
5	8,4	8.4	0,088	163	7	4			2
6	10,4	10.4	0,045	192	4	3	2		
7	12,4	12.4	0,034	228	3				

$$S = 0,8 \left[\frac{(66 + 44) \cdot 1,2}{8000} + \frac{(24 + 12 + 7 + 4 + 3) \cdot 2}{14000} \right] = 0,018 \text{ м} = 18 \text{ мм} \leq S_u = 100 \text{ мм}$$

Условие выполняется.

Выводы

В ходе оценки рассчитанных свайных фундаментов (Фундамент из забивных свай 30x30, $l=9\text{м}$; фундамент из забивных свай 35x35, составной, $l=13\text{м}$; фундамент СПС), их устройства и конструкций, можно сделать выводы, что по несущим способностям и с наименьшей осадкой, наиболее эффективными показали себя забивные (составные) сваи, длиной 13м.

Проектирование многоэтажных зданий – ответственное задание, требующее максимально точных изучений территории под застройку и составления прогнозов изменений данных условий со временем при эксплуатации нового здания. Поскольку многоэтажное здание имеет достаточно большую нагрузку на грунт, важно правильно выбрать тип фундамента и точно его рассчитать.

Библиографический список

1. Тарасеева Н. И., Шаронова Т. С. Влияние грунтовых условий и уровня грунтовых вод на строительство и эксплуатацию здания в г. Заречном // Актуальные проблемы современного фундаментостроения с учетом энергосберегающих технологий. Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции. Пенза, 2016.

2. Тарасеева Н. И., Шаронова Т. С., Калашников А.В. Выбор способов инженерной защиты территории строительства дорог в городских условиях // 3-я Международная научно-практическая конференция Института архитектуры, строительства и транспорта ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет» «Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт». Тамбов, 2016.

3. Тарасеева Н.И., Шаронова Т.С., Калашников А.В. Применение составных свай на слабом основании // В сборнике: «Актуальные проблемы

современного фундаментостроения с учетом энергосберегающих технологий». Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции. Пенза: Изд-во ПГУАС, 2018.

4. СП 11-105-97. Свод правил. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть I. Общие правила производства работ.

5. СП 50-102-2003. Свод правил по проектированию и строительству. Проектирование и устройство свайных фундаментов.