

УДК 624.15

## СРАВНЕНИЕ ФУНДАМЕНТОВ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

◆◆◆◆

## COMPARISON OF HIGH-RISE BUILDING FOUNDATIONS

**Булдыжов Федор Олегович**Кубанский государственный технологический университет  
fed\_1999@mail.ru**Черняк Владимир Евгеньевич**Кубанский государственный технологический университет  
vladimir\_chernyak@inbox.ru**Леонова Анна Николаевна**

Кубанский государственный технологический университет

**Аннотация.** В данной статье рассмотрены различные способы устройства фундаментов высотных зданий. Описываются условия выбора типа фундаментов. Приведено сравнение по стоимости и трудоемкости выполнения свайно-плитного и плитного фундаментов.

**Ключевые слова:** фундаменты высотных зданий; монолитная железобетонная плита; свайно-плитный; свайный фундамент.

**Buldyzhov Fedor Olegovich**Kuban State Technological University  
fed\_1999@mail.ru**Chernyak Vladimir Evgenievich**Kuban State Technological University  
vladimir\_chernyak@inbox.ru**Leonova Anna Nikolaevna**

Kuban State Technological University

**Annotation.** This article discusses various ways of constructing the foundations of high-rise buildings. The conditions for choosing the type of foundations are described. A comparison is made of the cost and labor intensity of the implementation of pile-slab and slab foundations.

**Keywords:** foundations of high-rise buildings; monolithic reinforced concrete slab; pile-slab; pile foundation.

**В** ыбор типа фундаментов высотных зданий определяется, в основном, конструкцией здания и грунтовыми условиями. При благоприятных инженерно-геологических условиях бывает возможность устройства фундаментов в виде отдельных опор под колонны или в виде монолитных железобетонных фундаментных плит. В остальных случаях применяются плитно-свайные и свайные фундаменты. При наличии стилобатных частей у возводимых зданий возможны комбинации различных технических решений по устройству фундаментов, когда фундаменты различных типов разделяются деформационными швами. Возможность применения плитных фундаментов для высотных зданий определяется расчетной величиной осадки и ее неравномерности, величинами усилий в фундаментных конструкциях. Если расчетные величины деформаций и внутренних усилий конструкций возводимого здания находятся в допустимых пределах, то этот вариант в большинстве случаев может быть принят для дальнейшей проработки. Если же проектные требования по усилиям и деформациям не могут быть обеспечены, возникает необходимость локального ужесточения основания, устройства консольных выпусков, изменения конструктивной схемы здания с устройством дополнительных деформационных швов. Если же указанными приемами не удастся достичь желаемого результата, то проектируются фундаменты глубокого заложения: свайные и свайно-плитные. Применение свай или глубоких опор непосредственно под тяжело нагруженными вертикальными несущими конструкциями может позволить обеспечить нормальное функционирование возводимого здания. Эффективным с инженерной точки зрения решением может оказаться сгущение шага свай под колоннами, стенами и ядрами жесткости возводимых многоэтажных зданий. Выбор конструкции фундамента высотного здания должен осуществляться не только на основании технико-экономического сравнения нескольких вариантов, а с учетом требований обеспечения безопасной и эффективной эксплуатации здания.

### **Монолитная железобетонная плита**

В качестве фундаментов на естественном основании, принимая во внимание высокие нагрузки, передаваемые на фундамент, в основном применяется сплошная монолитная железобетонная плита. Монолитная железобетонная фундаментная плита применяется, как правило, при давлении по подошве фундамента до 0,6 МПа (здание высотой до 100–120 м) и грунтах основания, представленных песками (за исключением

пылеватых и рыхлых) или переуплотнёнными глинистыми грунтами, в том числе подверженными воздействию ледников (моренные, флювиогляциальные, каменноугольные и другие отложения), а также в случае расположения в основании фундамента скальных грунтов. В зависимости от инженерно-геологических условий, величины и схемы приложения нагрузки толщина фундаментной плиты может составлять 1,0–2,5 м и более. Для уменьшения высоты фундаментной плиты в местах действия максимальных продольных и поперечных сил, а также изгибающих моментов применяются рёбра жёсткости располагаемые, как правило, по осям здания или уширения в зоне расположения колонн. Сплошная монолитная железобетонная плита может также иметь коробчатую конструкцию, что при устройстве консолей позволяет расширить область применения данного вида фундамента.

#### **Свайно-плитный фундамент (СПФ)**

Подразумевает включение в работу как свай, так и плиты. Он применяется в случаях, когда грунт под подошвой фундамента может включиться в работу и воспринять часть нагрузки. Данный тип фундаментов эффективен при «борьбе» с креном здания в случаях, если на фундамент действуют неравномерно приложенные нагрузки или фундамент под высотную часть не разделён осадочным швом от остальной, как правило подземной части здания, а также для снижения влияния нового строительства на существующие здания и сооружения. В целом такая конструкция фундамента является наиболее эффективной при строительстве многофункциональных комплексов, состоящих из высотных частей, объединенных единым стилобатом. При проектировании СПФ приходится учитывать взаимодействие между грунтом основания, сваями и ростверком (плитой). По сравнению с традиционными методами расчет и проектирование СПФ требует применения более сложной модели взаимодействия между основанием и сооружением. На основе накопленного опыта в настоящее время выработаны следующие положения для проектирования СПФ:

- применять несколько длинных свай вместо большого количества коротких;
- сваи располагать в зоне действия нагрузки;
- при расчёте несущей способности свай по материалу и их конструировании следует учитывать перегруженность угловых и периметральных свай относительно центральных;
- мероприятия по сохранению естественного состояния грунта под плитой должны являться составной частью проекта;
- между плитной частью ростверка и сваями выполнять зазор, который после включения фундаментной плиты в работу замоноличивается.

При устройстве комбинированного фундамента (свайно-плитного) устраивают свайное поле, устраивают фундаментную плиту с отверстиями для пропуска в них оголовков свай, на фундаментной плите возводят верхние конструкции сооружения. После осадки плиты под действием веса недостроенного сооружения отверстия бетонируют, скрепляя верхние концы свай с плитой, что совпадает с существенными признаками предлагаемого. При этом свайное поле устраивают до создания фундаментной плиты, а отверстия бетонируют, когда осадка достигнет половины расчетного значения.

Недостатком данного способа является большая продолжительность работ нулевого цикла, увеличивающая общие сроки строительства, поскольку, необходимо последовательно сначала устроить свайное поле, затем устроить фундаментную плиту, затем возвести часть верхних конструкций, после чего произвести омоноличивание свай и только потом продолжить возведение сооружения. Другим недостатком способа является то, что в процессе устройства свайного поля грунты основания уже уплотняются. Оценить степень их уплотнения весьма сложно. Поэтому, из-за повышения модуля деформации от уплотнения грунтов сваями, установить расчетом значение осадки плиты представляется проблематичным. Таким образом, критерий по которому определяют начало омоноличивания свай после достижения половины расчетной осадки представляется весьма неопределенным.

#### **Свайный фундамент**

Несущая способность одиночной сваи в большинстве случаев во много раз меньше нагрузки, передаваемой надземной конструкцией, поэтому свайный фундамент приходится делать из нескольких свай. В практике современного строительства в

зависимости от характера размещений свай в плане различают следующие виды свайных фундаментов: одиночные сваи, ленточные свайные фундаменты с размещением свай рядами, свайные кусты, сплошное свайное поле. Виды свайных фундаментов в зависимости от размещения свай в плане: ленточный; свайный куст; сплошное свайное поле. Одиночные сваи применяют под сооружения, когда нагрузку от колонны здания или стыка панелей воспринимает одна свая. Иногда сваи являются одновременно колоннами здания. Ленточные свайные фундаменты устраивают под стенами зданий и другими протяженными конструкциями. Различают однорядное и многорядное размещение свай. При многорядном размещении свай свайный фундамент легко воспринимает не только вертикальную нагрузку, но и момент; при однорядном размещении свай внецентренно приложенная нагрузка вызывает изгиб свай. В случае однорядного размещения свай под внутренними и наружными стенами здания, обладающего пространственной жесткостью, верхние части свай не могут испытывать изгиба, так как надподвальные перекрытия и пересечения стен препятствуют развитию деформаций изгиба в сваях. Сплошное свайное поле устраивают под тяжелые сооружения, когда сваи располагаются по некоторой сетке под всем сооружением или частью его. На сплошное свайное поле опираются все конструкции этой части сооружения. Чтобы все сваи фундамента работали одновременно, их объединяют железобетонной плитой или балкой-ростверком, который обеспечивает распределение нагрузки на сваи и приблизительно равномерность осадки или при несимметричном загрузении – осадку с креном. Различают три типа свайных ростверков: низкий, повышенный и высокий. Низкий свайный ростверк располагают ниже поверхности грунта. Такой ростверк может передавать часть вертикального давления на грунт основания по своей подошве и при практически плотной обратной засыпке воспринимать давление от горизонтальных сил. Повышенный свайный ростверк не заглубляют в грунт, а располагают непосредственно на его поверхности. В связи с этим отпадает необходимость в устройстве опалубки снизу ростверка. Высокий свайный ростверк располагают выше поверхности грунта. Так как верхняя часть вертикальных свай имеет небольшое сопротивление поперечному изгибу при действии горизонтальных нагрузок, кроме вертикальных свай забивают наклонные сваи по двум-четырем направлениям.

#### Сравнение типов фундаментов по экономическим показателям

Сравним по стоимости 2 вида фундамента: плитный и свайно-плитный фундамент (табл. 1).

**Таблица 1** – Расчет стоимости и трудоемкости возведения фундамента типа СПФ и монолитной железобетонной плиты

Норм. докум.	Наименование работ и затрат	Ед. изм.	Объем	Стоимость, тыс. руб.		Трудоемкость чел-см	
				Единицы	Всего	Единицы	Всего
ГЭСН 05-029-03	Устройство железобетонных буронабивных свай диаметром до 600 мм с бурением скважин шнековым способом	м <sup>3</sup>	829,56	22,8	18913,97	0,311	258
ГЭСН 06-01-001-16	Устройство фундаментных плит железобетонных	м <sup>3</sup>	441,6	–	–	22,38	9883
ЦСМ 204-0025	Стоимость арматуры	т	35,77	45	1609,65	–	–
ЦСМ 401-0049	Стоимость бетона В25	м <sup>3</sup>	441,6	5	2208	–	–
<b>Итого:</b>					<b>22731,6</b>		<b>10141</b>
<b>Расчет стоимости монолитной фундаментной плиты</b>							
ГЭСН 06-01-001-16	Устройство фундаментных плит железобетонных	м <sup>3</sup>	1324,8	–	–	22,38	29649
ЦСМ 204-0025	Стоимость арматуры	т	107,31	45	4828,95	–	–
ЦСМ 401-0049	Стоимость бетона В25	м <sup>3</sup>	1324,8	5	6624	–	–
<b>Итого:</b>					<b>11452,9</b>		<b>29649</b>

Размеры фундамента для 26 этажного здания в осях приняты: 32×27,6 м, диаметр буронабивных свай 320 мм при длине 15 м, высота плитного ростверка в данном случае составит 0,5 м. Для плитного фундамента высота составит 1,5 м.

При расчете стоимости учитывались основные материалы, а также актуальные цены на 2022 год без учета расходов на транспортировку.

### **Заключение**

При проектировании фундамента высотных зданий необходимо учитывать особенности инженерно-геологических изысканий а также, уточнять механические характеристики грунта по результатам испытаний свай.

В связи с высокой «чувствительностью» высотных зданий к крену следует использовать свайно-плитный фундамент, он наиболее эффективен при строительстве многофункциональных комплексов, состоящих из высотных частей. При расчете свайных и плитно-свайных фундамента следует учитывать взаимовлияние свай друг на друга, перегруженность угловых и периметральных свай относительно центральных. Плитное монолитное основание используется в зданиях высотой до 120 метров.

По результатам таблицы 1 фундамент типа СПФ дороже плитного на 98,5 %, но в тоже время, трудоемкость свайно-плитного меньше в 3 раза, чем плитного фундамента.

### **Литература**

1. Шулятьев О.А. Фундаменты высотных зданий. – М., 2014.
2. Мариничев М.Б. Фундаменты многоэтажных и высотных зданий. Учебное пособие. – М. : Мир науки, 2022.
3. Устройство свайных фундамента. Учебное пособие / Н.И. Ватин [и др.]. – СПб., 2012.
4. Федоровский В.Г., Колыбин И.В. Расчеты и проектирование оснований и фундамента. – М., 2007.
5. СП 267.1325800.2016 «Здания и комплексы высотные». Утвержден приказом министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 30 декабря 2016 г. № 1032/пр и введен в действие с 1 июля 2017 г. Разработан акционерным обществом «ЦНИИЭП жилища – институт комплексного проектирования жилых и общественных зданий». Внесен техническим комитетом по стандартизации ТК 465 «Строительство».
6. Мангушев Р.А. Проектирование оснований, фундамента и подземных сооружений. – М., 2021.

### **References**

1. Shulyatyev O.A. Foundations of high-rise buildings. – M., 2014.
2. Marinichev M.B. Foundations of multistory and high-rise buildings. Textbook. – M. : World of Science, 2022.
3. Arrangement of pile foundations. Tutorial / N.I. Vatin [et al.]. – St. Petersburg, 2012.
4. Fedorovsky V.G., Kolybin I.V. Calculation and Design of Foundations and Foundations. – M., 2007.
5. SP 267.1325800.2016 «High-Rise Buildings and Complexes». Approved by the Order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation from December 30, 2016 № 1032/pr and put into effect from July 1, 2017. Developed by the joint-stock company «Central Institute for Scientific Research and Development of Housing – Institute of complex design of residential and public buildings». Entered by the Technical Committee on Standardization TC 465 «Construction».
6. Mangushev R.A. Design of foundations, foundations and underground structures. – M., 2021.