

УДК 624.15

В. М. Чикишеев, Я. А. Пронозин, Л. Е. Мальцев, Ю. В. Зазуля, М. А. Степанов

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВАЙНО-ОБОЛОЧЕЧНЫХ ФУНДАМЕНТОВ В ВЫСОТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Рассмотрен способ строительства свайно-оболочечных фундаментов под высотные здания с использованием предварительного напряжения оболочек и начального обжатия грунтового основания.

К л ю ч е в ы е с л о в а : фундамент, оболочка, свая, усиление, грунтовое основание, осадка, вертикальные напряжения, расчетное сопротивление, условный пригруз.

The paper considers the method for the construction of pile-and-shell foundation under high-rise buildings, applying shells prestressing and initial compression of soil foundation bed.

K e y w o r d s: foundation, shell, pile, shoring, soil foundation bed, settlement, vertical stresses, design resistance, conditional counterweight.

Градостроительная политика крупных российских городов сталкивается с необходимостью строительства высотных зданий. Современные требования городской инфраструктуры основаны на максимальном использовании городских территорий и четкой организации пространства. Данные требования приводят к появлению как отдельных высотных сооружений, так и многофункциональных комплексов, состоящих из отдельных зданий, жестко соединенных между собой функциональными связями. Зачастую под застройку такого комплекса попадает целый городской квартал, со всех сторон очерченный транспортными магистралями и существующими строениями. Строительство отдельных высотных зданий и особенно их комплексов является сложным инженерным делом, которое должно учитывать большое количество факторов, определяющих все стадии жизни объекта, как-то: предпроектная подготовка, проектирование, строительство, эксплуатация.

Большинство крупных городов России находятся на равнинных территориях, сложенных осадочными породами с относительно невысокими деформационными и прочностными характеристиками. Значительная часть таких городов, как Санкт-Петербург, Пермь, Тюмень и др. создана на территориях со слабыми, пылевато-глинистыми, водонасыщенными грунтами. В таких условиях достаточно сложной инженерной задачей является устройство фундаментов высотных зданий и особенно их комплексов, отвечающих требованиям разумных экономических затрат и норм по непревышению максимальных осадок, неравномерности осадок и средним давлениям под подошвой фундамента, а в случае плитной конструкции — предельным значениям [1, 2].

Наряду с инженерными сложностями возведения высотных зданий их строительство зачастую осложняет нормальную эксплуатацию рядом расположенных строений, нередко относящихся к объектам историко-культурного наследия (памятники архитектуры). Не рассматривая в настоящей статье градостроительный и архитектурный аспекты такого соседства, следует отметить значительное влияние строительства высотных сооружений на напряженно-деформированное состояние грунтового основания соседних зданий, в том числе и памятников архитектуры, в силу значительных глубин заложения

и передаваемых на основание нагрузок. Особое внимание соседству высотных сооружений и памятников архитектуры следует уделять в силу жестких ограничений по дополнительным деформациям фундаментов последних согласно [3].

Существующие технологии строительства фундаментов высотных зданий предлагают достаточно большое количество вариантов, предполагающих учет: гидро-геологических особенностей территории строительства, глубины котлована, конструктивных особенностей надземной части, технических возможностей подрядных организаций и ряда других факторов. Не рассматривая варианты различных инженерных мероприятий по защите стен котлованов на период возведения высотных зданий, отметим наиболее распространенные виды самих фундаментов высотных зданий.

Плитные фундаменты. Проектируются, как правило, сплошной массивной железобетонной плитой толщиной от 1,5 до 4 м под всю площадь застройки здания или превышающей ее за счет выносных консолей. Используются на достаточно прочных и плотных грунтах естественного сложения или с промежуточной искусственной подушкой, выполненной из малосжимаемых минеральных материалов (крупный песок, щебень). Характеризуются относительно высокими осадками, нередко случаи неравномерности осадок и кренов, особенно в случае значительной разнагруженности отдельных участков.

Свайные фундаменты. Выполняются, как правило, в виде различных буровых или буронабивных свай значительного диаметра и длины 0,6...2,0 и 15...40 м. Используются при недостаточно прочных верхних и прочных подстилающих слоях, на которые могут быть переданы нагрузки от свай. Характеризуются относительно небольшими осадками. Экономические затраты на возведение таких фундаментов весьма значительны по причине достаточно глубокого залегания прочных коренных пород.

Комбинированные свайно-плитные фундаменты (КСПФ). Проектируются для совмещения преимуществ плитного и свайного фундаментов, а именно вовлечения в работу верхних слоев основания плитной частью и глубоких слоев сваями. Используются при относительно плотных грунтах на глубину сжимаемой толщи и отсутствии очень прочного подстилающего слоя. Характеризуются промежуточными между свайными и плитными фундаментами значениями осадок.

Согласно [4] в КСПФ фундаментная плита воспринимает и соответственно передает на грунтовое основание 15 % общей нагрузки от здания, а сваи соответственно 85 %. Процент перераспределения между плитой и сваями существенно зависит от инженерно-геологических условий и конструктивных параметров КСПФ, однако очевидно, что роль плитной части в расчетах незначительна и несущая способность грунтового основания под плитной частью используется далеко не в полной мере. Во многом это объясняется не столько потенциальной разницей в возможности передачи нагрузки от здания через плитную часть или сваи, сколько существенной разницей в характере кривой зависимости осадки от нагрузки $s = f(p)$. Свайные фундаменты являются существенно более жесткими системами, работающими на малых осадках вплоть до нагрузок, составляющих 70...85 % от несущей способности свайного фундамента, в отличие от осадок плитных фундаментов, осадки

которых развиваются благодаря эффекту уплотнения, сдвиговым деформациям и увеличению глубины сжимаемой толщи с ростом нагрузки.

Таким образом, в условиях высотного строительства весьма важной является задача максимального вовлечения в работу грунта под плитной частью фундамента уже на начальном этапе загрузки, то есть с начала строительства. Вовлечение в работу грунта под плитной частью на начальном этапе позволит выровнять жесткостные параметры отдельных элементов КСПФ, в большей степени использовать ресурс плитной части и в конечном итоге снизить осадки сооружения и уменьшить влияние на фундаменты соседних зданий. Решение этой задачи возможно путем применения комбинированных свайно-оболочечных фундаментов (КСОФ) с предварительно напряженными оболочками (рис. 1).

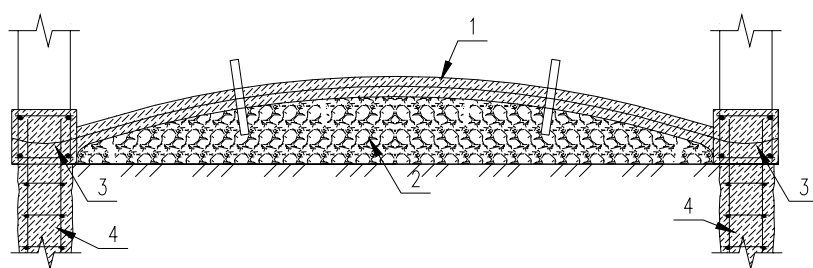


Рис. 1. Конструкция КСОФ

КСОФ состоит из несущих армированных оболочек положительной гауссовой кривизны 1, устроенными по криволинейной поверхности искусственного основания 2. Оболочки ограничены перекрестно расположенными ростверками 3, объединяющими несущие сваи 4. Из конструктивных и технологических требований оболочки целесообразно выполнять пологими с соотношением стрелы подъема к пролету $f/L \leq 1/8$ и соотношением высоты сечения к пролету $h/L \leq 1/60$. При этом оболочки представляют собой тонкостенные сечения с однослойным армированием. При такой конструктивной форме оболочки работают на растяжение. В качестве внутреннего армирования оболочки могут использоваться стальные, стекловолокнистые или полимерные стержни. Прикрепление стержней армирования оболочки производится в теле бетона ростверков.

Восприятие распора ростверками в крайних пролетах осуществляется за счет изгибной жесткости ростверков, бокового отпора вдоль ростверков минерального основания, заполненного под давлением цементным раствором.

Способ устройства свайно-оболочечного фундамента осуществляется следующим образом. Открытым способом или под защитой шпунтовых стен разрабатывается котлован до планировочной отметки основания. Выполняется устройство свай с арматурными выпусками. Выставляется опалубка и устанавливаются арматурные каркасы в ростверках. Планируется искусственное криволинейное основание из минеральных материалов. Устанавливается армирование оболочки в виде криволинейных стержней. Производится установка перфорированных иньекторов. Выполняется бетонирование оболочек по поверхности искусственного основания и бетонирование ростверков. Про-

изводится заполнение искусственного основания цементным раствором под давлением через перфорированные инъекторы.

В процессе заполнения искусственного основания цементно-песчаным раствором под давлением происходит вовлечение в работу оболочек и естественного грунтового основания под оболочечной частью. При этом оболочка натягивается, грунтовое основание уплотняется. Подъем оболочки при создании давления в области минерального основания ограничен закреплением ее в ростверке, который, в свою очередь, закреплен от перемещений в вертикальной плоскости анкерующим действием свай. Таким образом, до приложения нагрузки от здания или сооружения оболочки и грунтовое основание включаются в работу, при этом сваи работают на выдергивание. После приложения нагрузки от надземной части здания или сооружения происходят осадки всего свайно-оболочечного фундамента, которые весьма незначительны до величины средней нагрузки, соответствующей предварительному обжатию грунтового основания. С увеличением нагрузки сваи воспринимают сжимающие усилия и передают их на глубокие слои грунтового основания. Осадки свай и ростверков вовлекают в работу оболочки. В оболочках возникают дополнительные усилия растяжения, связанные с передачей на оболочку реактивных давлений от искусственного основания, уплотняющего основание естественное.

Взаимодействие КСОФ с грунтовым основанием смоделировано в программе Plaxis 8х в упруго-пластической постановке с критерием прочности Кулона — Мора. За исходные были приняты следующие данные: шаг несущих стен — 6 м; погонная нагрузка на стены — 150 т/м, что соответствует среднему давлению на основание 0,25 МПа, грунтовые условия приняты в виде однородного массива тугопластичного суглинка со следующими физико-механическими характеристиками: $\gamma=19,7$ кН/м³; $\gamma_s=27$ кН/м³; $W=22$ %, $S_r=0,88$; $e=0,67$; $I_p=15$ %; $I_L=0,27$; $\varphi=23^\circ$; $c=35$ кПа, $E=8,2$ МПа. В качестве вариантов рассматривались следующие виды фундаментов: плитный с толщиной плиты 2,5 м; комбинированный свайно-плитный фундамент — КСПФ, состоящий из плиты толщиной 1,5 м и буровых свай диаметром 0,8 м длиной 20 м; комбинированный свайно-оболочечный фундамент — КСОФ, состоящий из оболочек со стрелой подъема 0,6 м, толщиной 0,1 м и буровых свай диаметром 0,8 м, длиной 20 м; комбинированный свайно-оболочечный фундамент — КСОФ (рис. 2), состоящий из оболочек со стрелой подъема 0,6 м, толщиной 0,1 м и буровых свай диаметром 0,8 м, длиной 20 м, с опрессовкой подоболочечного пространства.

В результате моделирования (рис. 3) установлено, что:

в пределах среднего давления от 0 до 0,25 МПа графики нагрузка — осадка для всех видов рассматриваемых фундаментов практически линейны;

наибольшая осадка 270 мм при максимальной нагрузке соответствует плитному фундаменту, минимальная осадка — 102 мм, соответствует комбинированному свайно-оболочечному фундаменту с предварительной опрессовкой подоболочечного пространства КСОФ;

осадка КСОФ с опрессовкой подоболочечного пространства меньше осадки КСОФ на 25 %, меньше осадки КСПФ на 36 %, меньше осадки фундаментной плиты в 2,7 раза.

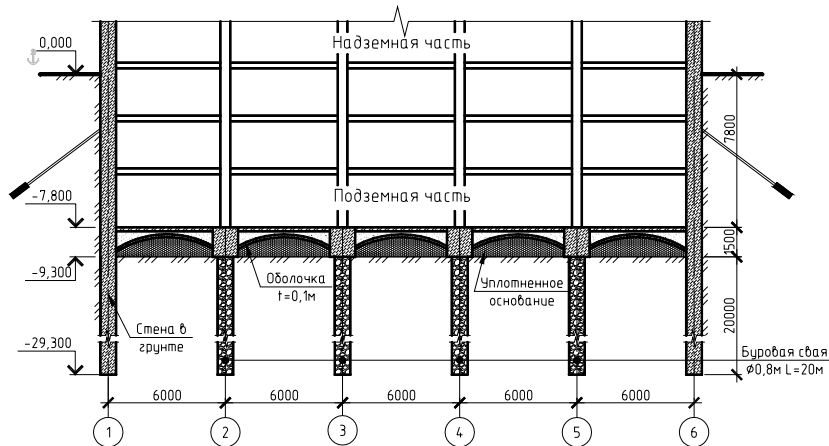


Рис. 2. Комбинированный свайно-оболочечный фундамент (КСОФ) с опрессовкой подбололочного пространства

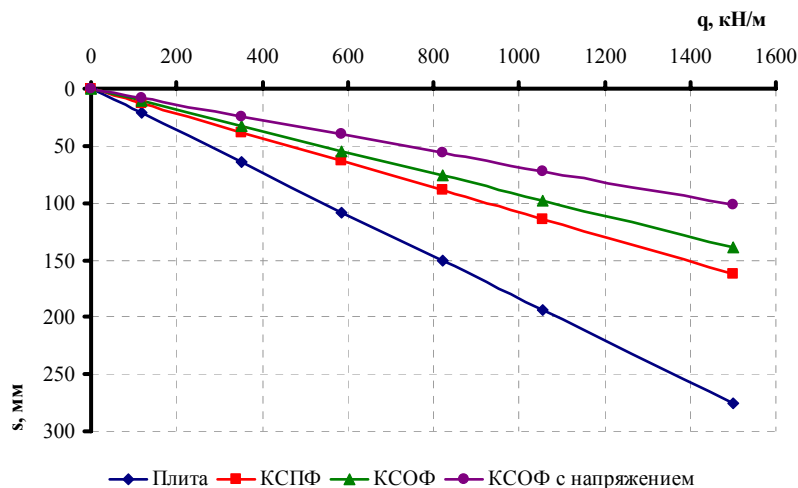


Рис. 3. Результаты моделирования работы фундаментов

В результате численного моделирования выявлено, что за счет предварительного обжатия грунта начальным давлением раствора, нагнетаемого в искусственное основание подбололочного пространства КСОФ, происходит уплотнение естественного основания и большее включение пролетной (оболочечной) части в работу всего фундамента.

Для подтверждения полученных расчетных данных на экспериментальной площадке в городе Тюмени летом 2011 г. были проведены полевые исследования. Экспериментом предусматривались испытания моделей двух вариантов фундаментов: КСОФ и монолитной плиты. КСОФ представляла собой конструкцию размерами в плане $3 \times 1,8$ м, с шириной ребер 0,25 м, оболочечной части 1,3 м. Под ребрами были устроены шесть буронабивных свай длиной 2,5 м, диаметром 0,2 м и уширенной пятой диаметром 0,5 м. После устройства КСОФ была проведена опрессовка подбололочного пространства, заполненного щебнем мелкой фракции, до давления в 0,08 МПа. Опрессовка проводилась цементным раствором с В/Ц=1/1. Монолитная фун-

даментная плита представляла собой штамп размерами в плане $3 \times 1,8$ м высотой сечения 0,25 м.

Испытание моделей фундаментов проводилось согласно [5]. Нагружение велось предварительно взвешенными фундаментными блоками ФБС 24.6.6 (рис. 4). Регистрация перемещений производилась поверенными индикаторами БПАО.



Рис. 4. Статическое испытание КСОФ

Грунтовое основание экспериментальной площадки представляли суглинки, верхний слой 1,5...2 м тугопластичной ниже текучепластичной консистенции.

Результаты полевых исследований приведены на рис. 5.

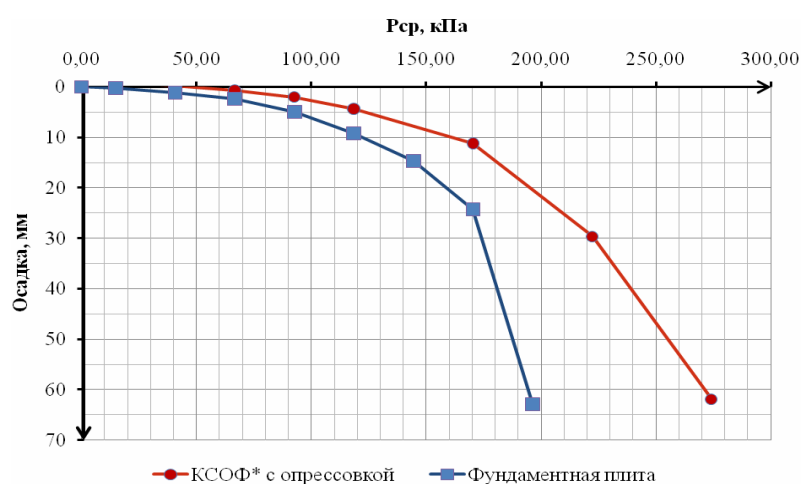


Рис. 5. Результаты испытания работы фундаментов

Установлено, что с увеличением нагрузки разность осадок фундаментов увеличивается. Так, при давлении 150 кПа осадка КСОФ меньше осадки плиты в 2,2 раза, при давлении 200 кПа — в 3 раза.

Нагрузка, воспринимаемая фундаментом при осадке 60 мм, составляет: плита — 104 т; КСОФ — 147 т, при этом несущая способность шести свай составила порядка 31 т по данным статического испытания. Таким образом, несущая способность КСОФ превышает сумму несущих способностей плиты и свай при данной осадке на 8 %.

Полученные данные подтверждают теоретические расчеты об эффективности использования комбинированных свайно-оболочечных фундаментов с предварительной опрессовкой подоболочечного пространства в высотном строительстве.

Таким образом, реализуемые совместно конструктивное и технологическое решения, представленные в настоящей статье, позволяют значительно снизить осадку высотного сооружения и существенно снизить расход железобетона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП 2.02.01—83*. Основания зданий и сооружений / Госстрой России. М. : ФГУП ЦПП, 2004.
2. СП 50-101—2004. Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений / Госстрой России. М. : ФГУП «НИЦ “Строительство”», 2004.
3. МГСН 2.07-01. Основания, фундаменты и подземные сооружения. М. : ГУП г. Москвы «НИАЦ», 2003.
4. СП 50-102—2003. Проектирование и устройство свайных фундаментов. М. : ФГУП ЦПП, 2004.
5. ГОСТ 20276—99. Грунты. Методы полевого определения характеристик деформируемости. М. : Минстрой, 1996.
1. SNiP 2.02.01—83*. Osnovaniya zdani i sooruzheni / Gosstroj Rossii. M. : FGUP TsPP, 2004.
2. SP 50-101—2004. Proektirovanie i ustroistvo osnovani i fundamentov zdani i sooruzheni / Gosstroj Rossii. M. : FGUP «NITs “Stroitelstvo”», 2004.
3. MGSN 2.07-01. Osnovaniya, fundamenty i podzemnye sooruzheniya. M. : GUP g. Moskvy «NIATs», 2003.
4. SP 50-102—2003. Proektirovanie i ustroistvo svaynykh fundamentov. M. : FGUP TsPP, 2004.
5. GOST 20276—99. Grunty. Metody polevogo opredeleniya kharakteristik deformiruемости. M. : Minstroj, 1996.

© Чикишев В. М., Пронозин Я. А., Мальцев Л. Е., Зазуля Ю. В., Степанов М. А., 2012

*Поступила в редакцию
в феврале 2012 г.*

Ссылка для цитирования:

Расчетно-экспериментальное обоснование использования свайно-оболочечных фундаментов в высотном строительстве / В. М. Чикишев, Я. А. Пронозин, Л. Е. Мальцев, Ю. В. Зазуля, М. А. Степанов // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2012. Вып. 1(20).