

## **НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ ФУНДАМЕНТОВ С СИСТЕМАМИ ЗАКРЫТЫХ ПОЛОСТЕЙ ПОД МНОГОЭТАЖНЫЕ ЗДАНИЯ НА НЕОДНОРОДНЫХ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЯХ**

**Шведовский П.В.**, канд. техн. наук, профессор, **Клебанюк Д.Н.**,  
**Пойта П.С.**, д-р техн. наук, профессор  
(Брестский государственный технический университет,  
г. Брест, Беларусь)

Переход строительной индустрии на возведение многоэтажных зданий, связанной с ограниченностью свободных площадей застройки, обуславливает зачастую необходимость использования территорий с малоблагоприятным для строительства инженерно – геологическими условиями. Неоднородность деформационно – прочностных свойств грунтовых оснований приводит к перенапряжению в расчётных сечениях конструкций фундаментов и неравномерности их осадок, соответственно уменьшая прочность и долговечность отдельных частей и здания в целом. Это обуславливает необходимость поиска новых конструктивных решений и методик расчетов в области фундаментостроения [1].

В настоящее время можно выделить ряд общих принципов развития, совершенствования и оптимизации фундаментных конструкций [2, 3]:

- снижение массы фундаментов и расхода материалов на единицу несущей способности;
- снижение трудоёмкости их устройства;
- создание конструкций, позволяющих вовлечь в работу максимальный объем грунта и получить более равномерное напряжённо – деформированное (НДС) состояние массива грунта в основании фундаментов и снизить концентрацию напряжений на границе «фундамент – основание»;
- разработка и уточнение расчётных схем грунтовых оснований.

Экспериментальные модельные исследования проведенные [4, 5] выявили специфическую особенности формирования НДС и соответ-

ственно вертикальных и горизонтальных перемещений грунтовых оснований и конструктивных элементов плитно-свайных фундаментов (ПСФ). На начальном этапе нагружения (строительство), когда нагрузки не превышают  $0,2N_{пр}$ , характерно незначительное равномерное уплотнение грунтового массива по всей глубине сжимаемой толщи. Это обуславливает активное включение всех свай в работу.

При увеличении нагрузки до  $0,5N_{пр}$  начинается формирование уплотненной зоны в виде пирамиды под плитой-ростверком и противодействующей пирамиды в нижней части свайного поля, что и вызывает перераспределение усилий между центральными, угловыми и краевыми сваями. При этом деформации центральных свай, расположенных в сильно уплотненной зоне, значительно замедляются.

На этапе передачи полной проектной нагрузки резко возрастают деформации угловых и краевых свай, при практически полной стабилизации осадок центральных свай, что обуславливает значительную перегрузку угловых и крайних свай.

Аналогичную картину показывают и результаты компьютерного моделирования [6] при помощи программного комплекса Plaxis 3D Foundation. Но при этом выявлены и некоторые другие особенности процесса восприятия фундаментом нагрузок. При погружении до  $0,5N$  упругий массив грунта вокруг центральных свай перемещается практически параллельно со сваями и силы трения по боковой поверхности близки к нулю. Для краевых и угловых свай, у которых с одной стороны находится неподвижный массив грунта характерно максимальное проявление сил трения, т.е. они воспринимают большую нагрузку чем центральные сваи. При дальнейшем нагружении (до проектных нагрузок) перемещение грунта возникает уже около центральных свай, что обуславливает увеличение сил трения и создание пригрузки соседних зон, а это соответственно затрудняет выпор грунта и увеличение лобового сопротивления свай, т.е. большую часть нагрузки воспринимают центральные сваи. При этом нижняя граница зоны грунта, имеющая одинаковую осадку со сваями перемещается с увеличением нагрузки снизу вверх. В зависимости от инженерно – геологических условий, конструкции и технологии погружения свай, их длины, расстояния между ними и уровня нагрузки эта зона может быть в пределах от 0,2 до 0,7 длины свай.

Петрухиным В.П. [4] также выявлено, что в случае достижения несущей способности краевой сваи по грунту, появляется обратный эффект, т.е. нагрузка на центральные сваи превышает нагрузку на краевые, при этом поверхность плиты-ростверка в краевых зонах выгибается, а материал в верхней зоне начинает работать на растяжение. В нижней же зоне плиты-ростверка проявляется обратный эффект. Отсюда при проектировании ПСФ учет эффекта «краевой сваи» обязателен. Конструктивно это обуславливает, в случае формирования в краевых и угловых зонах плиты-ростверка значительных изгибающих моментов, необходимость анализа устройства плитно-ребристых свайных фундаментов (рис. 1).

Конструктивно этот фундамент является разновидностью ПСФ с периметральными вертикальными стенками, расположенными на некотором расстоянии от края плиты ростверка и прилегающие к их внутренним граням безопорных участков определенной длины.

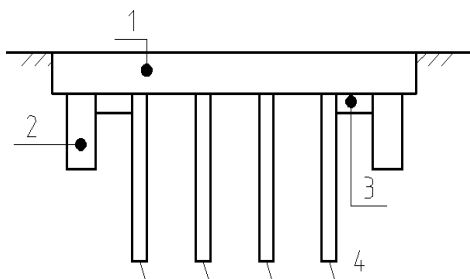


Рис.1. Конструктивная схема плитно – ребристого свайного фундамента:  
 1 – плита ростверка; 2 – периметральная вертикальная стенка;  
 3 – безопорные участки; 4 – свайное поле

Вертикальные давления на грунт, которые концентрируются в краевой части плиты-ростверка обуславливают пригруз грунта основания, что приводит к существенному увеличению как активного, так и пассивного давления грунта на наружные грани стенки. Это приводит к формированию разгружающих моментов в краевой части плиты-ростверка и соответственно уменьшению ее прогиба. Безопорные участки способствуют уменьшению пригруза грунта у внутренних граней стенки и, соответственно, снижению активного давления грунта противодействующего разгружающим давлениям,

что и обуславливает уменьшение прогиба. Наибольшего эффекта можно достичь при нулевом активном и максимальном разгружающем давлении, т.е. когда безопорный участок выходит за пределы призмы обрушения, а расстояние от края плиты-ростверка до грани стенки перекрывает границу призмы выпирания. Как показывают расчёты для наиболее характерных инженерно – геологических условий и конструктивных решений многоэтажных зданий г. Бреста эти параметры следующие: высота стенки  $h_c = 0,8 \div 0,9$  м; длина безопорного участка –  $0,9h_c$ ; расстояние от края плиты ростверка до наружной грани стенки –  $1,6 \div 1,9h_c$ .

Одним из конструктивных решений по снижению материалоемкости в области армирования и обеспечению минимального уровня неравномерности вертикальных напряжений и соответственно неравномерности осадок, является разнесенная схема размещения свайных рядов. Каждую из осей первого ряда свай расположенную со стороны поперечных стен, необходимо располагать относительно их оси со смещением определенным соотношением –

$$y = (0,05 \div 0,1) \frac{a}{d} \cdot H + d, \quad (1)$$

где  $a$  – расчетный шаг размещения свай, м;

$d$  – диаметр свай, м;

$H$  – толщина фундаментной плиты, м.

При этом сваи следующих рядов также должны устанавливаться с меньшим шагом до линии проходящей через центральную часть здания. Величину уменьшения шага необходимо назначать в соответствии с изменением вертикальных напряжений в зоне сопряжения несущих элементов с ПСФ.

Целесообразно в качестве конкурентоспособного варианта рассматривать и конструктивную схему фундаментов с поэтапной передачей нагрузки (рис.2).

Их особенностью является то, что отдельные группы свай жестко объединены с плитой-ростверком, а все другие – через полости заполненные низко модульными материалами. Такая схема объединения позволяет на начальном этапе включить в работу не только плиту-ростверк, но и часть свайных групп, расположенных в зоне максимальных усилий.

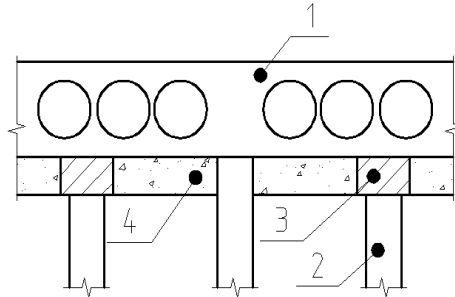


Рис. 2. Конструктивная схема фундамента с поэтапно циклической схемой передачи нагрузки:

1 – плита-ростверк; 2 – сваи; 3 – полость заполненная низко модульным материалом; 4 – бетонная подготовка

Для еще более существенной передачи нагрузки на плиту-ростверк и соответственно снижения осадки целесообразно рассматривать и ПСФ с комбинацией коротких и длинных свай и с различной схемой их объединения – жесткая и полужесткая.

Длинные сваи располагают по осям несущих элементов (стен), а короткие – в промежутках между ними, при этом короткие сваи объединяют жестко с плитой-ростверком, а длинные – с образованием зазора, равного половине осадки, допустимой для конструктивной схемы здания, дополняя его пористым легкосжимаемым материалом.

Достаточно интересным является и конструктивное решение фундаментов из пост-напряженных плит на свайном основании (рис. 3).

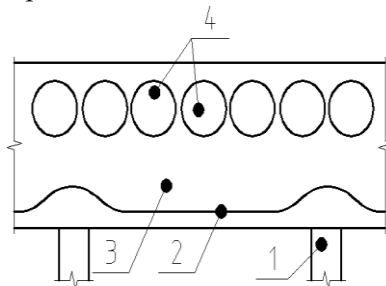


Рис. 3. Конструктивная схема фундамента из пост-напряженных плит на свайном основании:

1 – сваи; 2 – натягающий канат; 3 – плита-ростверк; 4 – система закрытых полостей

Применение напрягающих канатов, без сцепления с бетоном, способствуют деформированию эквивалентных нагрузок, разгружающих плиту, что улучшает ее работу при продавливании, и создают сжимающие напряжения, компенсирующие растягивающие напряжения. Как показывают исследования [7] наиболее эффективно размещать напрягающие канаты на участках, непосредственно примыкающих к периметру колонн или несущих стен, с шириной  $b = c + h$ , где  $c$  – ширина колонны,  $h$  – толщина плиты-ростверка. При этом не менее двух канатов нужно размещать внутри участка, ограниченного вертикальными арматурными стержнями. Натяжение напрягающих канатов согласно рекомендаций [7] осуществляется в два этапа: первый – 50% от фактического продавливающего усилия при достижении передаточной прочности не менее 25 МПа (2-3 суток после бетонирования) и второй – полное натяжение при достижении проектной прочности.

Такая конструктивная схема позволяет значительно увеличить площадь размещения систем закрытых полостей.

Не менее перспективными будут конструктивные решения с применением свай с широкой пятой (рис. 4а) и двухслойных плит (рис. 4б) с пластической подушкой.

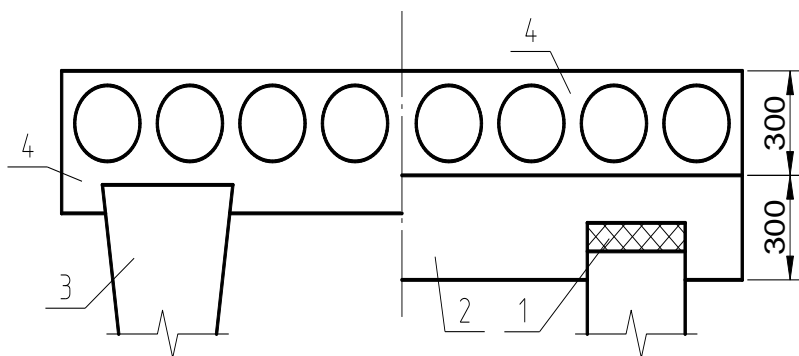


Рис. 4. Конструктивные решения плитно – свайных фундаментов:  
 1 – пластическая подушка; 2 – монолитный слой; 3 – свая с широкой пятой;  
 4 – плита-ростверк

Достаточно перспективен и ПСФ с силовой бетонной подготовкой (рис. 5).

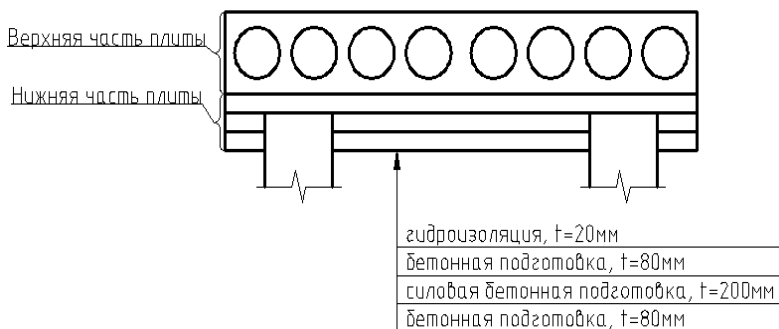


Рис. 5. Конструктивная схема плитно – свайных фундаментов с силовой бетонной подготовкой.

Бесспорно, что некоторые рассмотренные конструктивные решения фундаментов, при их экспериментальной проверке, требуют значительной коррекции, с учетом конструктивных схем зданий и спецификой инженерно – геологических условий. Но в любом случае они позволяют снизить материалоемкость и стоимость нулевого цикла до 5% и более по сравнению с традиционными.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шумятьев, О.Ф. Фундаменты высотных зданий / О.А. Шумятьев // Вестник ПНИПУ, «Строительство и архитектура». №4. – М., 2014. – С. 203 -245.
2. Оржеховский, Ю.Р. Плитно – свайные фундаменты как способ решения сложных геотехнических проблем / Ю.Р. Оржеховский, В.В. Лушников, Р.Я. Оржеховская, А.С. Ярдяков / Академ. вестник УралНИИпроекта, РААСН, 2015. – С. 82 – 86.
3. Ильичев, В.А. Принципы проектирования оснований и фундаментов высотных зданий, учитывающие их геотехнические особенности / В.А. Ильичев, В.П. Петрухин, В.И. Шейнин // Современное высотное строительство. ГУН «ИГЦ Москомархитектуры». – М., 2007. – С. 255 – 261.
4. Петрухин, В.П. Эффект краевой сваи и его учет при расчете плитного ростверка / В.П. Петрухин, С.Г. Безволев, О.А. Шулятьев

и др. // Развитие городов и геотехническое строительство, М., НИИОСП №11, 2007 – с. 90-97.

5. Береснев, А.С. О распределении заданного нагружения между плитой и сваями в плитно – свайном фундаменте / А.С. Береснев, А.Ю. Большаков, Г.Н. Гусев, В.В. Коркодинов, Б.Н. Пименов // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2008. – Volume 4, Issue 2. – P. 33.

6. Мирсаяпов, И.Т. Моделирование напряженно – деформированного состояния плитно – свайного фундамента при совместном деформировании с окружающим грунтовым массивом / И.Т. Мирсаяпов, Д.А. Артемьев // Вестник гражданских университетов. – С-Петербург, 2009. – №2. – С. 121 – 124.

7. Тур, В.В. Применение пост – напряженных плоских плит при устройстве фундаментов на слабых грунтах /В.В. Тур/ Сб. статей Междунар. НТС по геотехнике в рамках ISSMGE «Теория и практика внедрения еврокодов по геотехнике в европейских странах и Республике Беларусь», БрГТУ, Брест, 2018 – с. 98 – 104.

УДК 624.15

## **УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОСАДОК ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ АРМИРОВАННЫХ ЖЕСТКИМИ ВЕРТИКАЛЬНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ**

**Шокарев В.С., Шокарев А.С., Шокарев Е.А., Шаповал В.Г.\***

(Запорожское отделение Государственного предприятия  
«Государственный научно-исследовательский институт  
строительных конструкций», г. Запорожье, Украина

\*Национальный технический университет «Днепровская  
политехника», г. Днепр, Украина)

В статье приведена усовершенствованная методика расчета осадок грунтовых оснований армированных жесткими вертикальными элементами, разработанная благодаря проведению целого ряда научных исследований. Суть предложенной методики заключается в учете в значении рассчитываемой осадки: длины армирующих элементов, их прочности и деформационных свойств, а также