

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА ПЛИТНЫХ ФУНДАМЕНТОВ С СИСТЕМОЙ ЗАКРЫТЫХ ПОЛОСТЕЙ В СЛОЖНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Клебанюк Д.Н., Пойга П.С., Сливка Д.Н., Шведовский П.В.

Сегодня, как никогда, становится все актуальней проблема проектирования и строительства многоэтажных и высотных зданий, обусловленная увеличением удельных нагрузок на основания и, соответственно, стоимостью фундаментных конструкций.

Традиционными видами фундаментов, в зависимости от грунтовых условий, при давлении на основание порядка 300-600 кПа являются плитные или плитно-свайные фундаменты с различными вариантами свайной составляющей – сплошные свайные поля, свайные кусты, подкрепляющие и одиночные сваи [1, 2].

Выбор конструкции фундаментов осуществляется на основании технико-экономического сравнения вариантов и зависит от инженерно-геологических условий, физико-механических характеристик несущих слоев грунтов основания, конструктивно-планировочной схемы и взаимодействия здания с грунтовым массивом и окружающей застройкой.

Большинство конструкций плитных фундаментов представляют собой сплошную железобетонную плиту повышенной жесткости (толщиной 0,8 м и более), расположенную под всей площадью здания, при этом нагрузки распределяются по всей площади плиты и передаются на грунты основания, главным образом, через ее подошву.

Применяются на практике и фундаментные плиты переменной толщины с утоньшением в области краев, т.е. тонкостенные площадные конструкции в виде вогнутых или выпуклых, по отношению к грунту, оболочек или плиты с выпуклой поверхностью опирания.

Однако условия взаимодействия таких фундаментов с основанием, при применении их для многоэтажных и высотных зданий, требуют тщательного расчетного обоснования из-за возможного выпора грунта из-под края фундамента, значительных изгибающих усилий в конструкции фундамента, крена и потенциальной возможности потери общей устойчивости здания.

Плитные фундаменты могут проектироваться и в виде балочных и безбалочных бетонных или железобетонных плит, при этом ребра балочных плит могут быть обращены как вверх, так и вниз. Ребра жесткости обычно располагаются по осям зданий и в местах действия максимальных продольных и поперечных сил и изгибающих моментов. Места их пересечения служат для установки колонн каркаса. При необходимости обеспечения большей жесткости фундаментные плиты могут проектироваться коробчатого сечения [3, 4].

Все это позволяет сделать вывод, что при проектировании фундаментов под многоэтажные и высотные здания в сложных инженерно-геологических условиях необходима реализация таких мероприятий, как усиление грунтов в основании, устройство консольных выпусков из фундаментной плиты за пределы контура здания или отсечных стенок-ребер, препятствующих выпору грунта из-под фундаментной плиты, оптимизация схемы передачи нагрузок на основание и др. [4, 5].

Следует отметить перспективность в фундаментостроении, с целью повышения надежности и снижения материалоемкости, использования облегченных плитных фундаментов с системой закрытых полостей, формируемых пустотообразователями – модулями из пустотелых конструкций «Eco-Line» или «Slim-Line», изготавливаемые из вторичного полипропилена и соответственно плитных фундаментов с формированием такой же системы.

Еще более эффективным может быть использование этих конструкций фундаментов в комплексе с облегченными многопустотными дисками перекрытий.

Общий вид плитного фундамента, после формирования системы закрытых полостей из модульных пустотообразователей, приведен на рисунке 1.

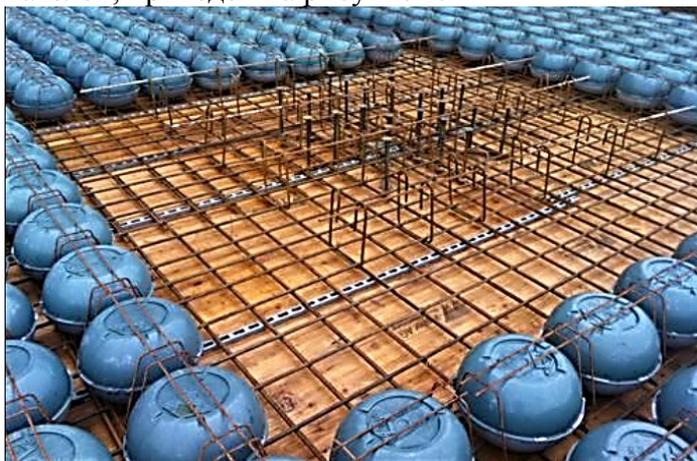


Рисунок 1 – Общий вид плитного фундамента после формирования системы закрытых полостей

С целью определения закономерностей расположения и допустимого объема закрытых полостей были проведены расчеты плитного фундамента для односекционного жилого дома прямоугольной конфигурации с размерами в плане 16×30 м. Фундамент – плитный монолитный железобетонный толщиной 0,7 м. Конструктивная схема здания запроектирована в каркасно-монолитном варианте с монолитными дисками перекрытия. Пространственная жесткость обеспечивается за счет колонн, диафрагм жесткости и трех ядер жесткости (лестнично-лифтовые блоки). Перекрытия и покрытия - облегченные диски с системой закрытых полостей. Стены лифтовых блоков и диафрагм – монолитные, железобетонные. Расчеты выполнялись как для слабых, так и для прочных грунтовых оснований и различной этажности – 10, 22 и 32 этажей.

Расчет был выполнен с применением метода конечных элементов с помощью программного комплекса «Лира-Windows», позволяющий учитывать совместную работу основания, фундамента и вышележащих конструкций здания. Расчетная схема основания была разработана для определения вертикальных коэффициентов жесткости основания, которые использовались для определения напряженно-деформированного состояния системы «основание-фундаменты-верхнее строение» [4, 5, 6].

Анализ изополей напряжений в основании плиты показывает, что этажность существенно влияет как на величину и диапазон напряжений (10 этажей – 0,188-0,287 МПа; 22 этажа – 0,38-0,50 МПа и 32 этажа – 0,54-0,677 МПа), так и их распределение в плане. При этом увеличение этажности нивелирует разность величин напряжений в плане и соответственно для 10-этажного здания соотношение $R_z^{\max} / R_z^{\min} = 1,53$, 22-этажного – 1,32 и 32-этажного – 1,22.

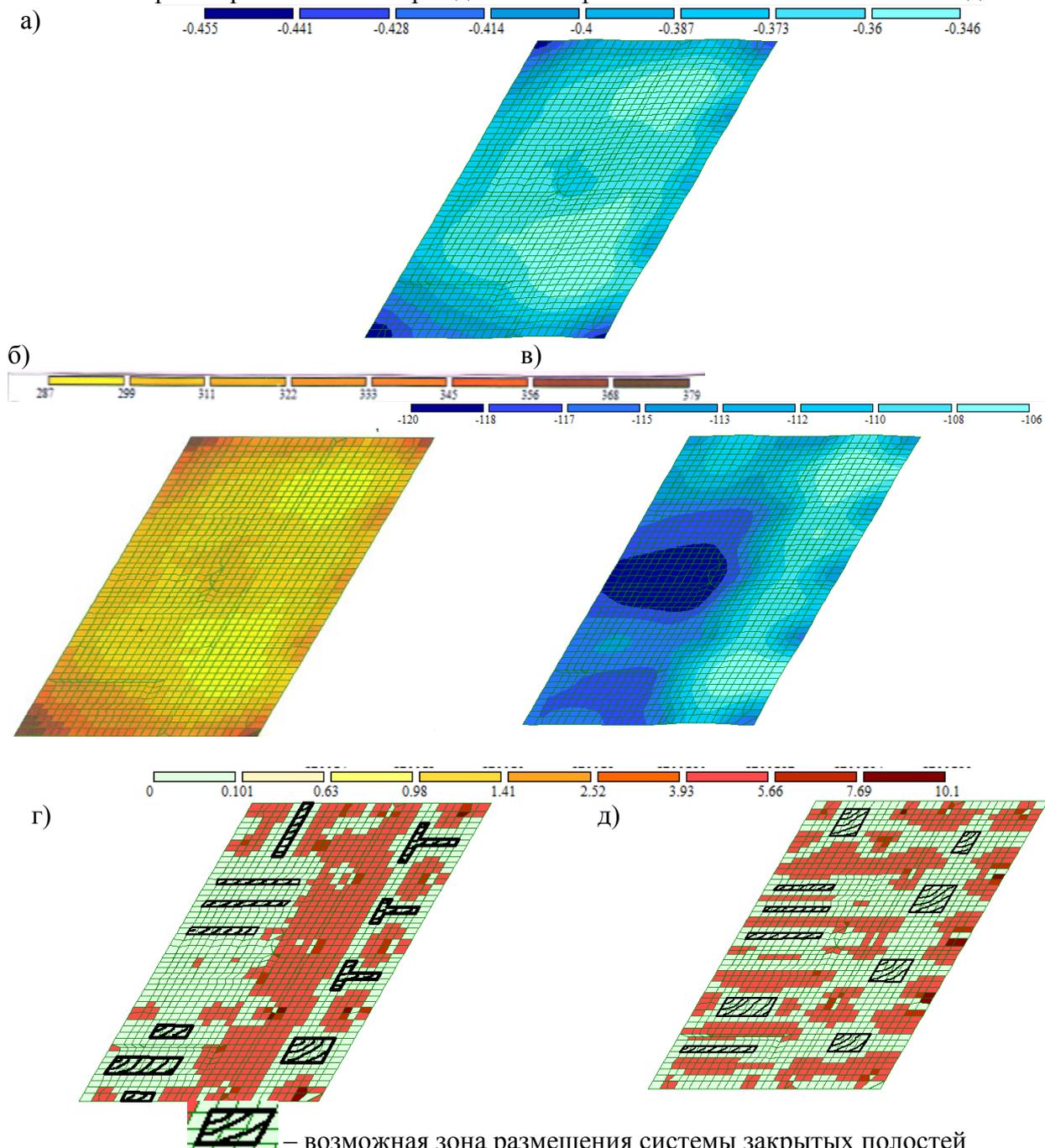
Не менее характерна взаимосвязь этажности зданий с величинами давлений по подошве фундаментов и вертикальных перемещений плиты (осадок). Анализ мозаики и изополей величин давлений по подошве фундаментов (P_z) и вертикальных перемещений (S_z) плиты показывает схожесть влияния этажности на эти величины. Соответственно для 10-ти, 22-ух и 32-ух этажных зданий P_z изменяется в диапазонах – 142-217 кН/м², 287-379 кН/м², и 408-515 кН/м², а S_z – 40-47 мм, 106-120 мм и 175-195 мм. Также следует отметить, что увеличение этажности нивелирует разность величин как давлений по подошве (R_z^{\max} / R_z^{\min} соответственно 1,53; 1,32 и 1,26), так и вертикальных перемещений (S_z^{\max} / S_z^{\min} – соответственно 1,18; 1,13 и 1,11).

Конструирование плитных фундаментов и расчет распределения площади арматуры в верхней и нижней зонах плиты, а также поперечной арматуры вдоль осей x и y позволил определить возможные зоны размещения системы закрытых полостей, как для прочных, так и в случае слабых грунтовых оснований.

Анализ зон возможного размещения систем закрытых полостей, с точки зрения обеспечения прочности и несущей способности плитного фундамента, позволяет отметить следующее:

- для 10-ти этажных зданий площадь системы закрытых полостей может составлять для слабых оснований до 32%, а прочных – до 43% от общей площади плиты;
- для 22-ух этажных зданий соответственно 10,2 и 11,9%, а 32-ух – 1,7 и 2,1%.

На рисунке 2 приведены соответствующие результаты расчетов плитных фундаментов для наиболее широко применяемых в гражданском строительстве 22-этажных жилых зданий.



– возможная зона размещения системы закрытых полостей

Рисунок 2 – Изополя напряжений в основании плиты (а), осадок (в) и мозаика давлений по подошве плиты (б), зон распределения площади поперечной арматуры вдоль оси х плитного фундамента и возможных зон размещения систем закрытых полостей на естественных (г) и упрочненных (д) основаниях

Аналогичные расчеты плитно-свайных фундаментов для рассматриваемых грунтовых условий показали, что необходимо устраивать свайные поля, либо свайные кусты с размерами в плане, не позволяющими размещать в плите систем закрытых полостей. Расчеты были проведены для свай сечением 0,3×0,3 м длиной 9-12 м.

Очевидно, что инженерное решение вопроса использования систем закрытых полостей, для снижения материалоемкости плитно-свайных фундаментов, находится в плоскости перехода к

забивным сваям большей длины (до 18 м) и более, либо использованию буронабивных свай или выштампованных в грунтах конических свай, т.е. свай устраиваемых в грунте.

Результаты расчетов для экспериментальных проектируемых зданий позволяют отметить, что снижение материалоемкости плитных фундаментов под многоэтажные здания, используя систему закрытых полостей, формируемых пустотообразователями – в виде модулей из пустотелых конструкций «Eco-Line» или «Slim-Line», изготовленных из вторичного полипропилена, эффективно для зданий с этажностью не более 15 этажей.

Большую роль при этом играют особенности грунтовых оснований. Так, если для слабых грунтовых оснований общая площадь системы закрытых полостей не превышает 32% от общей площади плитного фундамента, то для прочных грунтовых оснований она может достигать и 43%. При этажности зданий от 15 до 22 этажей возможная площадь системы закрытых полостей не превышает 11,9% общей площади плиты, при этом прочность грунтового основания особого значения не имеет.

Для зданий с плитно-свайным фундаментом любой этажности предлагаемое техническое решение эффективно только при упрочнении грунтового основания свайными кустами и подкрепляющими сваями высокой несущей способности и ограниченностью площади взаимодействия с плитой.

Анализ особенностей формирования напряженно-деформированного состояния (НДС) плитного фундамента и грунтового основания позволяет отметить, что еще более эффективным будет применение предлагаемого технического решения по снижению материалоемкости и стоимости фундаментов многоэтажных зданий для крупнопанельных зданий из-за специфических особенностей формирования НДС фундаментной плиты и грунтового основания.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шумятьев, О.А. Фундаменты высотных зданий / О.А. Шумятьев // Вестник ПНИПУ, «Строительство и архитектура». № 4. – М., 2014. – С. 203-245.
2. Ильичёв, В.А. Принципы проектирования оснований и фундаментов высотных зданий, учитывающие их геотехнические особенности / В.А. Ильичёв, В.П. Петрухин, В.И. Шейнин // Современное высотное строительство / ГУН «ИГЦ Москомархитектуры». – М., 2007. – С. 255-261.
3. Тер-Мартirosян, З.Г. Проблемы механики грунтов, оснований и фундаментов при строительстве многофункциональных высотных зданий и комплексов / З.Г. Тер-Мартirosян, В.И. Теличенко, М.В. Королёв // Вестник МГСУ. – 2006. – № 1. – С. 18-27.
4. Оржеховский, Ю.Р. Оптимизация решений плитных фундаментов на неоднородном основании / Ю.Р. Оржеховский // Геотехнические проблемы строительства, архитектуры и геоэкологии на рубеже XXI века. Темиртау, т. 2, 2006. – С. 106-114.
5. Коцюра, И.П. Экспериментальные исследования балочного фрагмента монолитной многопустотной плиты перекрытия / И.П. Коцюра, Е.А. Деркач, Н.Н. Шалобыта // Вестник ГТУ, т. 6, № 2. – 2026. – С. 74-82.
6. Безволев, С.Г. Особенности расчетов оснований и фундаментов зданий и сооружений ММДЦ «Москва-СИТИ» / С.Г. Безволев, О.А. Шулятьев, И.А. Боков, С.О. Шулятьев // Развитие городов и геотехническое строительство. – 2008. – № 12. – С. 223-249.
7. 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.