

УДК 519.642:624.044:624.15

А. С. Моргун, д. т. н., проф.; А. В. Ницевич**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ПЛИТНО-СВАЙНОГО ПОЛЯ
ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ ПО ЧИСЛОВОМУ МЕТОДУ ГРАНИЧНЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ**

В работе по числовому методу граничных элементов смоделирована осадка 16-тиэтажного монолитно-кирпичного жилого дома высотой 54 м и проведена обработка результатов исследований.

Ключевые слова: метод граничных элементов.

Введение

Одна из актуальных проблем современного фундаментомпроектирования – выбор надежных основ и фундаментов высотных зданий, которые одновременно растут вверх и вниз. Проектирование высотных домов и их фундаментов во многих случаях выходит за рамки нормативных документов, а их сооружение должно сопровождаться мониторингом как основ, так и надземных сооружений. Требования к величинам предельных деформаций основ таких зданий (особенно к их неровностям и кренам высотных зданий) остаются крайне жесткими. Мировой и отечественный опыт проектирования высотных зданий свидетельствует, что инженерных (традиционных) методов расчета основ и фундаментов явно недостаточно. Нужны научные подходы, числовые пространственные нелинейные расчеты всей системы «здание – фундамент – основа».

Плитно-свайные фундаменты – наиболее перспективный и наиболее экономичный вид фундаментов по всем параметрам, которые используются при сооружении высотных зданий, обеспечивая незначительную осадку и небольшую вероятность появления крена сооружения. Но в теории свайного поля есть неточности, которые снижают возможность достоверного их прогнозирования. Одной из таких неточностей является учет взаимодействия свай.

Постановка задачи, определяющие соотношения

Концепция плитно-свайного фундамента предусматривает передачу части нагрузки от здания к подошве плиты, а части – на сваи. Важным вопросом является доля нагрузки, которую получает плита. Конструкция высотного здания имеет достаточно высокую жесткость, потому почва под фундаментом такого здания работает, как в основе жесткого штампа.

В работе по числовому методу граничных элементов (МГЭ) смоделирована осадка 16-тиэтажного монолитно-кирпичного жилого дома высотой 54 м с подвалом в г. Санкт-Петербург [1] (рис. 1).

В плане здание имеет форму трилистника с площадью пола подвала 870 м^2 , вес здания – 222720 кН.

Поведение почвы описывалось моделью упруго-пластичного сжатия со сдвигом пористой

среды на основе нелинейных методов решений геотехнических задач теории пластичного течения с введением функции, которая выражает поверхность течения (1), и кинематических соотношений пластичного течения (2). Достижение предела текучести связано с приходом предельного равновесия в соответствии с условием Мизеса – Шлейхера – Боткина:

$$\begin{cases} f = \sigma_i + \sigma \cdot \operatorname{tg} \psi - \tau_s, \text{ при } \sigma \leq p_0 \\ f = \sigma_i + p_0 \cdot \operatorname{tg} \psi - \tau_s, \text{ при } \sigma > p_0 \end{cases} \quad (1)$$

где σ – гидростатическое давление; σ_i – интенсивность девиатора напряжений; ψ – угол внутреннего трения; τ_s – параметр, аналогичный сцеплению; p_0 – параметр грунтовой среды.

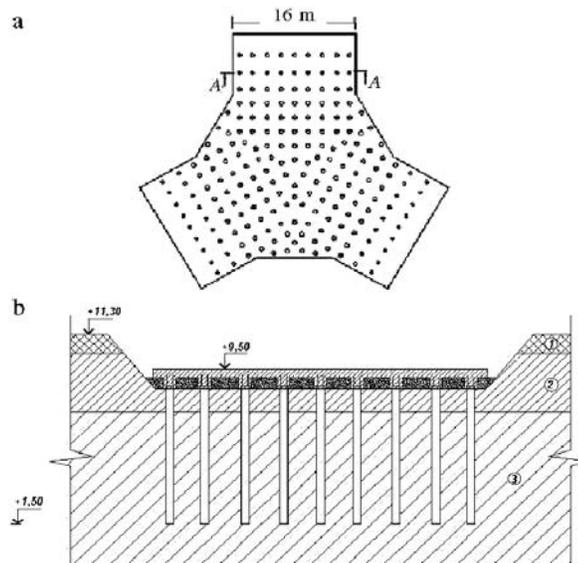


Рис. 1. План плиты и свайного поля (а) и разрез А-А (б)

Одним из критериев нелинейности является сдвиг по заданной поверхности, которая соответствует сдвигу почвы по боковой поверхности при нагрузке на сваю. Связь между скоростями пластичных деформаций и напряжениями при работе почвы в нелинейной стадии сдвигов описывалась по неассоциированному закону пластичного течения.

$$d\varepsilon_{ij}^p = d\lambda \frac{dF}{d\sigma_{ij}}, F \neq f, \quad (2)$$

где F – пластичный потенциал, функция истории деформирования, f – критерий перехода к пластичному состоянию; λ – скалярный коэффициент простой нагрузки, который определяется в ходе решения пластичной задачи; $d\sigma_{ij}$ – прирост тензора напряжений и тензора пластических деформаций.

Для решения задач теории пластичного течения необходимо знать традиционные физико-механические параметры почвы, которые позволяют использовать метод при массовом проектировании.

Геологическую ситуацию основы описывают следующие средневзвешенные физико-механические характеристики почвы.

$E=18,43$ МПа; $\nu=0,39$; $c=1,8852$ г/см³; $\rho_{\min}=1,56$ г/см³; $\rho_{\max}=2,67$ г/см³; $c=39,33$ кПа; $\varphi=19,15^{\circ}$.

Материалу свай заданы довольно высокие значения изгибаемой и нормальной жесткости, что позволяет пренебречь деформацией самих свай в расчете.

В построенном здании сваи перерезали верхние слабые почвы и передавали нагрузку на глуболежащие пласты почв (твердая глина, $E=23$ МПа, $\rho=1,9$ г/см³), характеризующиеся высокими строительными свойствами. Поскольку под плитой на глубине 9 м расположены почвы с относительно хорошими строительными свойствами ($E=10$ МПа), то возникает вопрос об использовании их сопротивления.

С целью определения доли нагрузки, которая передаётся на фундаментную плиту и непосредственно на свайное поле, проведены расчеты по числовому МГЭ для данных геологических условий строительной площадки.

Схема дискретизации грунтового массива под отдельно работающей фундаментной плитой приведена на рис. 2.

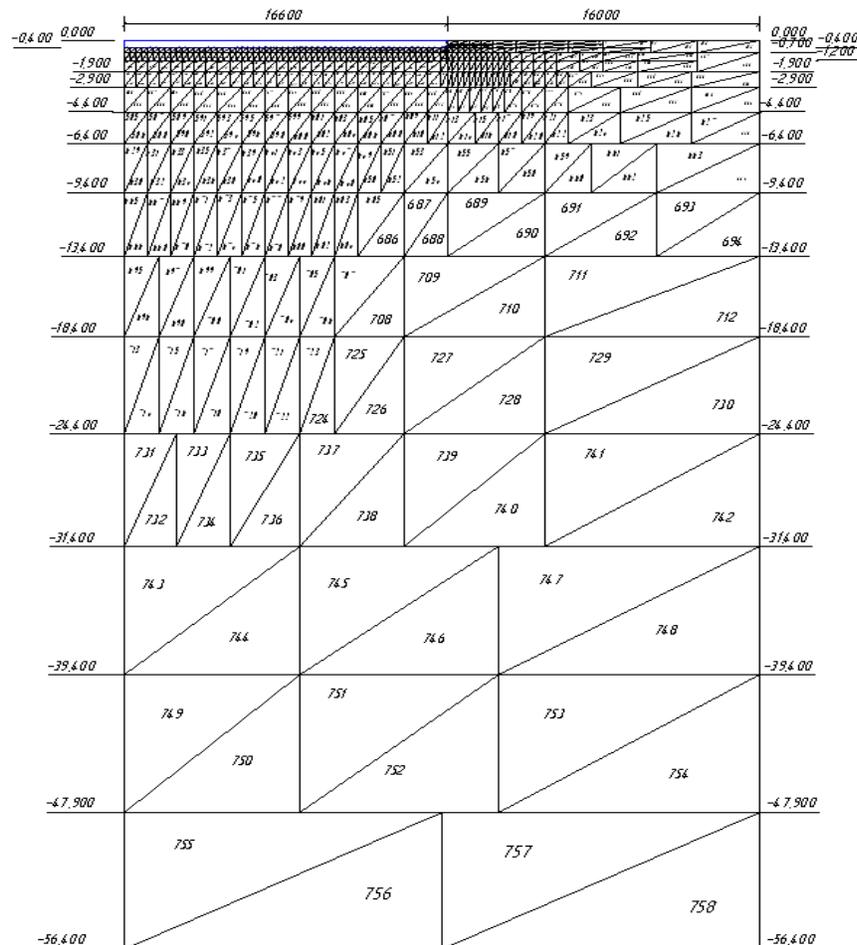


Рис. 2. Дискретизация грунтового массива под подошвой и по боковой поверхности фундаментной плиты

По данным числовых расчетов, максимальная нагрузка, которую может выдержать плита толщиной 40 см на данных грунтах, приблизительно равна 37.000 кН (рис. 3). Эта величина в Наукові праці ВНТУ, 2009, № 2

процентном отношении к весу здания составляет 16,6% и соответствует нормам по расчету плитно-свайных фундаментов СП 50-102-2003, которые рекомендуют передавать на плитный ростверк плитно-свайного фундамента $\approx 15\%$ нагрузки.

В числовом расчете ширина активной зоны между сваями принята $11 d$ [2], что соответствует экспериментальным исследованием О. А. Бартоломея, согласно которым при расстоянии между сваями $10 d$ взаимовлияние свай не наблюдается [3].

Результаты расчета свайного поля по МГЭ (рис. 4) показывают, что в интервале осадок до 16 см зависимость между нагрузкой и осадкой практически линейная, что свидетельствует об отсутствии зон пластических деформаций и сдвигов почвы основы. Последние в свайных полях появляются при $S > 14 - 30$ см [3]. Из результатов исследования на рис. 4 видно, что свайное поле работает в линейной стадии процесса уплотнения грунта как единое целое с зажатым между сваями грунтом, поскольку расстояние между сваями $< 10 d$ (это расстояние составляет от 1500 до 1850 мм). При этом удерживание почвы осуществляется лишь в пределах зоны влияния свай.

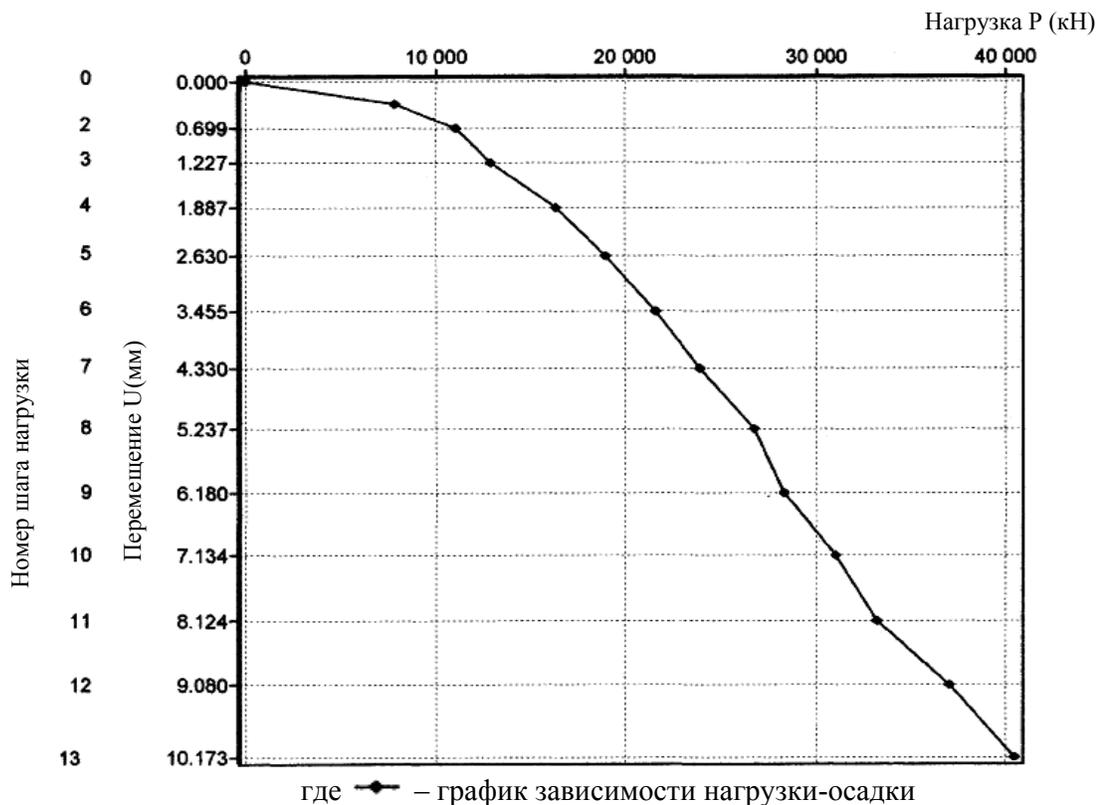


Рис. 3. Результаты расчёта фундаментной плиты по МГЭ

Данные перераспределения усилий между сваями свайного поля для конкретных грунтовых условий приведены на рис. 5. Результаты числовых исследований перераспределения усилий находятся в соответствии с нормативными документами и экспериментальными исследованиями О. А. Бартоломея: угловая свая выдерживает нагрузку почти вдвое большую, чем центральная. Соотношение между нагрузкой на крайнюю-угловую-центральную сваю составило 1-1,42-0,7.

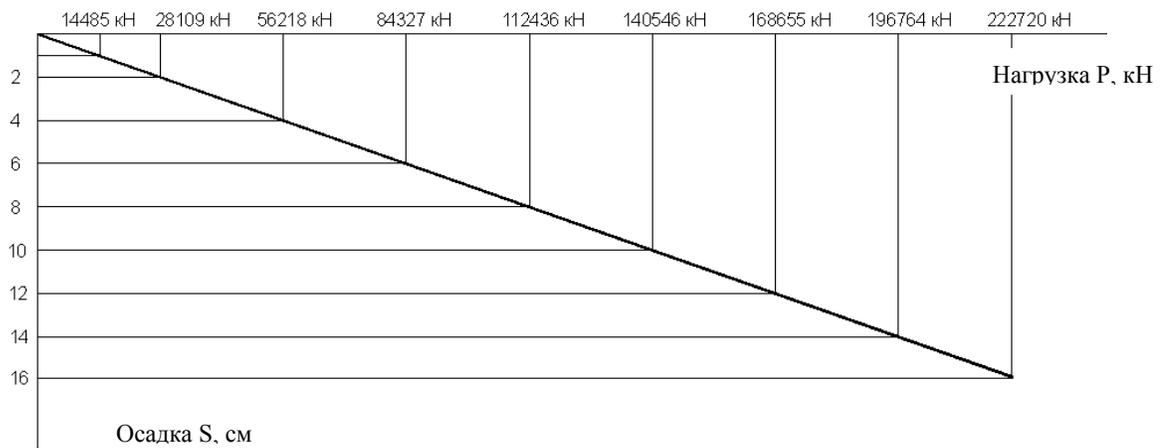


Рис. 4. Результаты расчета по МГЭ свайного поля высотного здания с учетом взаимодействия активных зон в свайном поле здания

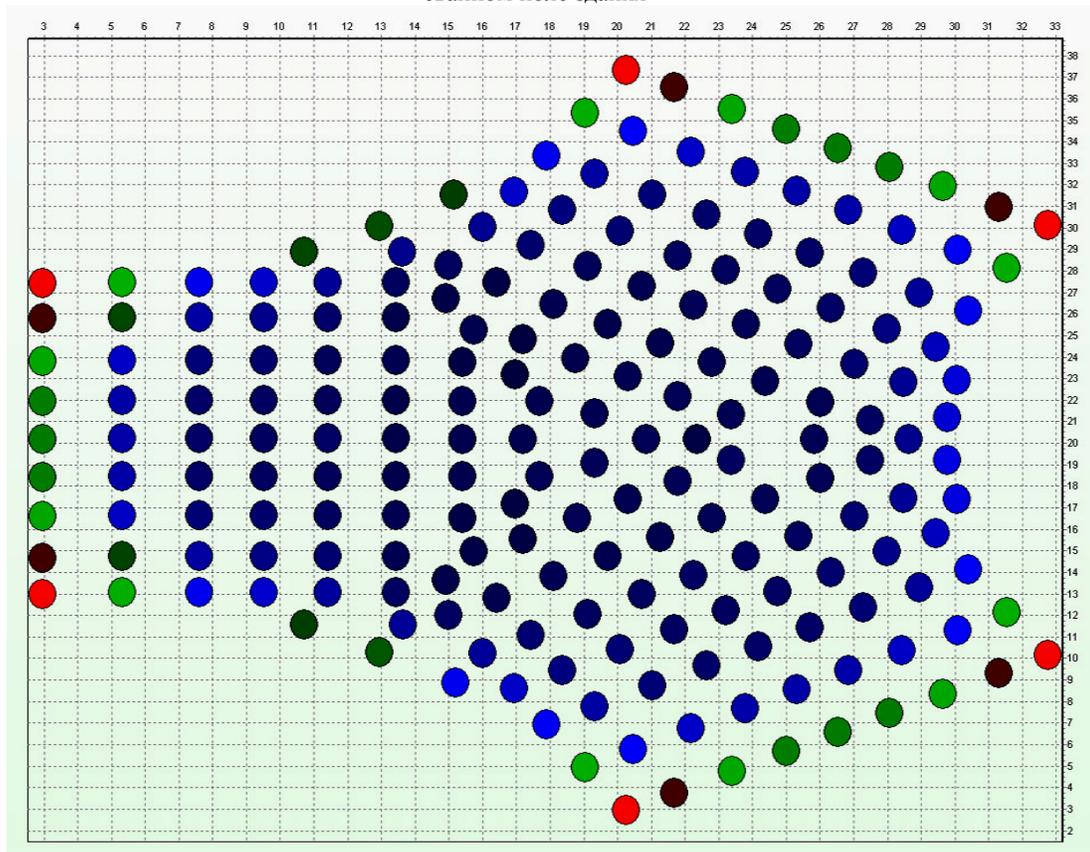


Рис. 5. Результаты расчета свайного поля в цвете:

● - 186 кН, ● - 70,5 кН, ● - 46,9 кН, ● - 58,8 кН

При учете доли нагрузки, которую может выдержать фундаментная плита толщиной 40 см (около 37.000 кН), величина осадки здания (рис. 4) составляет приблизительно 15,6 см. По данным экспериментальных исследований, после завершения строительства (250 суток) осадка на 762 сутки практически стабилизировалась и составила 13,2 см [1].

Выводы

Результаты математического моделирования по МГЭ подтверждают возможность плитно-свайных фундаментов обеспечивать для возведенных на них зданий допустимые значения

Наукові праці ВНТУ, 2009, № 2

осадок.

Предложенная дилатансионная математическая модель расчета грунтов по МГЭ позволяет достоверно анализировать и получать данные прогнозного характера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мангушев Р. А, Фадеев А. Б. Плитно-свайный фундамент для здания повышенной этажности // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2008. – №1. - С. 15 - 19.
2. Моргун А. С, Ницевич А. В., Моргун І. М. Комп'ютерна технологія розрахунку пальового поля висотних будівель із збільшеним кроком паль // Вісник ВПІ - 2007.
3. Готман Н. З. Определение параметров свайного поля из забивных свай // Основания, фундаменты и механика грунтов. -2003. - №2. - С. 2 - 6.

Моргун Алла Серафимовна – д. т. н., проф., заведующая кафедрой промышленного и гражданского строительства.

Ницевич Андрей Виталиевич – аспирант кафедры промышленного и гражданского строительства.

Винницкий национальный технический университет.