

ОСАДКИ ДВУХ ВЫСОТНЫХ ЖИЛЫХ БАШЕН, В ОСНОВАНИИ КОТОРЫХ ЗАЛЕГАЮТ ГЛУБОКИЕ АЛЛЮВИАЛЬНЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ

М. С. ЭРВИН – директор компании GolderAssociates Pty Ltd (Австралия).

С. М. ХАБЕРФИЛД – главный специалист компании GolderAssociates Pty Ltd (Австралия).

При реконструкции южного берега реки Ярра в Мельбурне планировалось возвести 8 многоуровневых жилых башен и других сопутствующих строений. Во время устройства свайного фундамента двух из этих башен возникли проблемы, которые могли привести к увеличению осадок. Описываются возникшие проблемы и методы, применяемые для оценки потенциальных осадок башен. На основе этих оценок было принято решение о необходимости устройства дополнительных свай в одной из башен. Фундаменты другой башни были признаны удовлетворительными. Мониторинг осадок, проводившийся во время строительства башен, показал совпадение реальных осадок с прогнозируемыми, что подтверждает верность принятых решений.

1. ИСТОРИЯ ВОПРОСА

Реконструкция застройки южного берега реки Ярра в Мельбурне предполагала возведение 8 многоуровневых жилых башен и других строений. У башен 2 (20 эт. + 6-этажный подиум) и 3 (31 эт. + 6-этажный подиум) возникли проблемы со свайными фундаментами.

Геологический разрез участка представлен аллювиальными отложениями, подстилаемыми слоем алевролитовых отложений на глубине примерно 37 м от дневной поверхности. Стратификация разреза следующая: примерно 2 м техногенных грунтов, 25 м морских глин различной консистенции (от пластичной до полутвердой), 3...7 м плотного и очень плотного гравия (Moray Street Gravel) и/или полутвердых глин с очень плотным гравием (формация Верриби), 3,5...6 м жестких и очень жестких глин (формация Ньюпорт) и алевролитовые отложения. Уровень грунтовых вод расположен на глубине примерно 2 м. На самой восточной оконечности площадки (рядом с башней 2) под слоем формации Верриби расположен тонкий слой базальта.

Общий размер зданий примерно 120×50 м. Они состоят из двух сильно нагруженных башенных конструкций, окруженных

менее нагруженным подиумом. Подвала нет, но для устройства лифтовых шахт, заглубленных в фундамент, была проведена откопка на глубину до 4 м в слои техногенных грунтов и мягкой глины.

Предварительные проектные расчеты показали, что для обеспечения эксплуатационной надежности башни должны опираться на сваи, заглубленные в алевролит. Предпочтительным решением считалось использование буронабивных свай большого диаметра, острия которых были бы заглублены на 10 м в алевролит под основными колоннами и центральной частью зданий. Более легкая конструкция подиума могла опираться на буронабивные сваи, устраиваемые по технологии сплошного шнека без обсадной трубы (CFA сваи), с меньшим диаметром или же забивные сваи с остриями, уходящими в слой гравия Moray Street (MSG), базальт или формацию Верриби (WF).

Подрядчик, выполнявший свайные работы, предложил альтернативное решение для свай под колоннами и центральной частью здания. Оно заключалось в устройстве групп 350- и 400-метровых квадратных сборных железобетонных свай, забиваемых до отказа в верхний слой алевролита. Подобная технология потенциально более экономична, как по стоимости, так и по затрачиваемому времени,

однако существовала опасность, что сваи не пройдут через слой MSG до алевролита. Подрядчик был уверен, что его сваи пройдут сквозь слои MSG, WF и зайдут в алевролит, и для доказательства провел предварительные испытания. Испытания прошли успешно, и было принято решение использовать технологию забивных свай. На рис. 1 показаны расположение колонн и их нагрузка (в кН), а также предлагаемое решение по готовым бетонным сваям для башни 3. Фундамент башни 2 был выполнен аналогичным образом, но нагрузки были значительно ниже. Эксплуатационные нагрузки центральной части и основных колонн в башне 3 составляют примерно 60000 и 25000 кН, соответственно.

Компания, в которой работают авторы статьи, была приглашена застройщиком для оценки грунтовых условий, предложения решений по устройству фундаментов и оценки альтернативных решений, предлагаемых подрядчиками.

После устройства фундаментов на забивных сваях в башнях были выполнены работы по откопке для сооружения лифтовых шахт. Откопка без устройства распорок в насыпных грунтах и мягкой глине привела к значительным боковым подвижкам свай (более 400 мм) в некоторых местах. В результате возник риск превышения несущей способности свай. Надежность значительного числа забитых свай была признана неудовлетворительной и вместо них были забиты новые сваи.

К концу процесса устройства дополнительных свай мы получили информацию о том, что большое число свай в башнях 2 и 3 не прошли сквозь слои MSG и WF, как ожидал подрядчик. В результате вся нагрузка от башен прямо передавалась бы на жесткую и очень жесткую глину формации Ньюпорт (NF) непосредственно под остриями свай. Тем самым создавался бы значительный риск появления неприемлемых осадков конструкций башен и необходимости устранения повреждений. Застройщик потребовал проведения детального анализа, чтобы определить вероятность возникновения осадков в построенных таким образом фундаментах башен при полной нагрузке от зданий и оценить эффективность ремонтных работ, предлагаемых различными подрядчиками.

2. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ

Из опыта предыдущих работ в данном районе следует, что конструкции подиума могут строиться на сваях, заглубленных в слои MSG, базальт или WF, но сваи для конструкций башен должны быть заглублены в алевролит. Для подтверждения характера напластований и характеристик грунтов основания проводились инженерно-геологические изыскания, состоявшие из бурения 12 скважин и 9 испытаний на сопротивление конусу (испытания СРТ). Скважины бурились под защитой обсадной трубы и бентонитового раствора. Для лабораторных исследований были изъяты неповрежденные колонки связанного грунта диаметром 63 мм. Чтобы оценить прочность сыпучих и связанных грунтов проводились SPT-тесты. Для проведения лабораторных исследований изымались образцы скальных пород по стандартам NMLC. Жесткость скальных пород в алевролите оценивалась по результатам 11 прессиометрических испытаний. Так как башни должны были иметь свайные фундаменты, заглубленные ниже слоя NF, отбор этой породы для проведения испытаний не выполнялся.

3. ОЦЕНКА ОСАДКОВ

Предварительные оценки общих осадков законченного свайного фундамента при использовании стандартных упругих решений для гибкого фундамента показали, что осадки башни 3 будут, вероятно, чрезмерными, а в башне 2 – в лучшем случае предельно допустимыми. Чтобы определить, какие меры необходимо принять для снижения осадков в башнях до приемлемого уровня, требуется более точно оценить осадки.

С этой целью было решено максимально точно смоделировать:

- стратификацию разреза;
- различные уровни пяты свай в рамках каждого отдельного ростверка;
- нагрузку на каждый ростверк;
- взаимодействие между сваями в каждом ростверке;
- трехмерную геометрию фундамента;
- взаимодействие между ростверками;

3.1. Характеристики уплотнения и ползучести

Чтобы правильно определить уплотнение и ползучесть слоя NF, требовалось бурение дополнительных скважин для забора образцов с целью проведения одометрических испытаний (рис. 2).

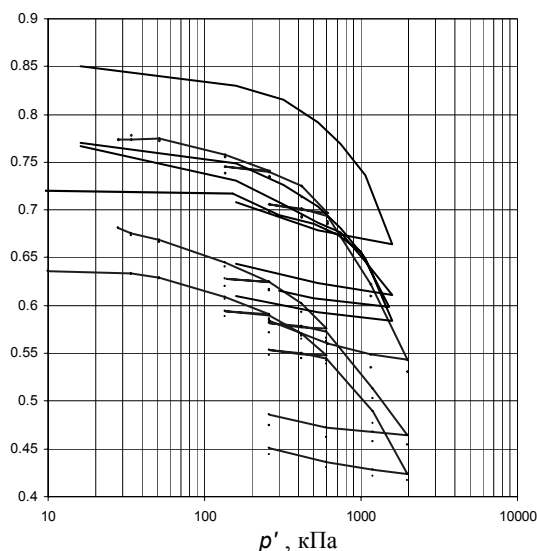


Рис. 2. Результаты компрессионных испытаний слоя NF

Результаты испытаний анализировались с применением упрощенного подхода (табл. 1), не учитывающего нарушения структуры образца, и подхода Шмертманна [3], который вносит поправки на повреждение образцов (табл. 2).

Результаты одометрических испытаний «с поправкой» указывают на значительно более высокое давление предуплотнения, чем результаты, полученные при упрощенном подходе. С учетом важности этого параметра для оценки осадок был проведен ряд быстрых консолидированно-дренированных испытаний на трехосное сжатие на образцах NF. Они показали, что в недренированном состоянии прочность на сдвиг составляет от 165 до 245 кПа. Используя эмпирическую корреляцию, предложенную в работе Jamiolkowski et al (1985), давление предуплотнения можно оценить в пределах от 800 до 1000 кПа. Это также говорит в пользу принятия более высоких величин давления предуплотнения, полученных путем введения в результаты испытаний поправки на повреждение образцов.

Величина коэффициента консолидации, полученная на фазе уплотнения в опытах на трехосное сжатие, в целом сходилась с величинами, полученными из одометрических испытаний.

Таблица 1

Характеристики уплотнения – результаты без поправки на повреждение образцов

Коэффициент сжимаемости $C_c/(1 + e_p)$	0,13...0,21
Коэффициент рекомпрессии $C_r/(1 + e_o)$	0,015...0,03
Давление предуплотнения p'_c , кПа	500...690

Таблица 2

Средние характеристики консолидации – результаты с поправкой на повреждение образцов

Начальный коэффициент пористости e_o	0,72
Коэффициент компрессии $C_c/(1 + e_p)$	0,21
Коэффициент рекомпрессии $C_r/(1 + e_o)$	0,025
Давление предуплотнения p'_c , кПа	750

Для анализов осадок использовалась трехлинейная модель $e-\log p'$ для слоев NF, которая обеспечивает более плавный переход от переуплотненного состояния к нормально уплотненному, что лучше соответствует данным, полученным на практике.

Таблица 3

Трехлинейная модель $e-\log p'$

Напряжение, кПа	Наклон кривой $e-\log p'$
250...600	0,043
600-800	0,102
>800	0,357

По результатам одометрических испытаний выявлены характеристики ползучести, которые также должны включаться в долгосрочную оценку осадок. Уровень ползучести на логарифмический цикл постепенно увели-

чивался вместе с давлением уплотнения примерно с 0,1 до 0,5% деформаций на логарифмический цикл. По результатам испытаний одомером величина эффективного напряжения составила менее 250 кПа, что указывает на уровень ползучести в пределах 0,1% на логарифмический цикл. В полевых условиях это маловероятно, и подобный результат связывался с повреждением образца. С учетом сказанного было выведено следующее эмпирическое выражение:

$$\left[\begin{array}{c} \text{Скорость деформации ползучести} \\ \text{на log цикл времени} \end{array} \right] = 0,498 \log \left(\frac{p'}{p'_0} \right), \quad (1)$$

где p' – вертикальное эффективное напряжение, прикладываемое во время испытания в одомере; p'_0 – предполагаемое начальное вертикальное напряжение в средней части слоя NF до приложения дополнительных нагрузок от фундамента. Эта величина была оценена приблизительно в 250 кПа.

Количество логарифмических циклов ползучести, которые должны быть включены в оценку осадок, зависит от времени, требующегося на первичное уплотнение в полевых условиях, и проектной долговечности конструкций. Результаты одометрических испытаний указывают на то, что значения коэффициентов консолидации варьируют от 9 до 3 м²/год, в зависимости от уровня напряжения. Полевые величины коэффициентов уплотнения, вероятно, будут выше полученных в лабораторных условиях. Согласно лабораторным исследованиям, при обычной мощности слоя NF, равной 4 м, первичная консолидация займет от 4 месяцев до года. Следовательно, в долгосрочную оценку осадок требуется включить три логарифмических цикла ползучести.

3.2. Анализ осадок

Для расчета осадок фундаментов зданий предлагалось использовать различные аналитические программы. Однако ни одна из них не позволяла удовлетворительно смоделировать все перечисленные характеристики без значительного упрощения условий, а это

снизило бы доверие к полученным оценкам. Например, программа анализа группы свай DEFPIG [2] была признана непригодной, так как не давала приемлемых результатов, когда под пятой сваи находились мягкие породы. Общие программы двумерного численного моделирования, такие как FLAC [1], и программы, основанные на методе конечных элементов, не подходили ввиду трехмерной постановки задачи.

Наконец, был принят смешанный подход, при котором программа FLAC применялась для моделирования поведения индивидуальной группы свай и оценки изменения вертикальных эффективных напряжений в слое NF. Затем использовалась крупноформатная таблица EXCEL [1] для моделирования взаимодействия между группами свай и расчета общего изменения эффективного вертикального напряжения в слое NF. Теория одномерной консолидации применялась для оценки осадок за счет консолидации в результате изменений вертикального эффективного напряжения. Осадки ползучести рассчитывались с учетом долговременной линейной реакции на осадочные перемещения в логарифмическом масштабе.

Моделирование изолированной группы свай программой FLAC

На рис. 1 изображены основные колонны, стоящие на группах свай. Каждая группа была смоделирована в соответствии с приблизительным (эквивалентным) радиусом группы свай (ростверка). Для пяти ростверков с различными радиусами был проведен осесимметричный анализ по программе FLAC (табл. 4).

Таблица 4
Размеры групп свай и нагрузки на них

Радиус группы свай, м	Нагрузка, мН
5,35	68
1,7	19
1,15	11
0,6	4
0,2	1,6

Анализ проводился для профиля грунта, состоящего из следующих слоев: 27 м насыпного грунта и глины (от мягкой до жесткой),

7 м слоя MSG и 4 м слоя NF над алевролитом. Также принималось, что острия свай на 2,5 м были заглублены в слой MSG. Сопротивление ствола сваи игнорировалось для слоя насыпных грунтов и верхних 20 м глины, для нижних 5 м глины и слоя MSG сопротивление ствола принималось равным 50 и 200 кПа соответственно.

Используя результаты анализа по программе FLAC, определяли изменение увеличения вертикального эффективного напряжения в верхней, средней и нижней частях слоя NF в зависимости от радиуса, проведенного от центра каждой группы. Полученные результаты были нормализованы по отношению к радиусу каждой группы свай и перечисленным выше нагрузкам. Шестипорядковые многочлены добавлялись к колебаниям вертикального напряжения для каждого размера группы свай при радиусе, взятом для центральной части слоя NF. На рис. 3 показано увеличение эффективного напряжения с радиусом свайной группы, проведенным от центра, равным 1,7. Эти многочлены были последовательно использованы для вычисления вертикального эффективного напряжения в слое NF под каждой свайной группой, на которые опираются две башни.

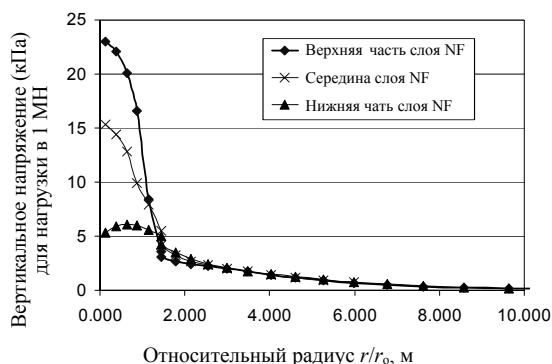


Рис. 3. Изменения вертикального напряжения с изменением радиуса

Для проверки расчетов, сделанных при помощи программы FLAC, мы смоделировали свайную группу как кольцевой гибкий фундамент, опирающийся на верхнюю часть слоя MSG, и применили программу упругих конечных элементов (FLEA) [4] для оценки изменений вертикального эффективного напряжения с радиусом в центре слоя NF. Вертикальное

распределение напряжения по программе FLEA совпадало с величиной, полученной при расчете по FLAC примерно в 2 м от радиуса центра основания. Для рассмотренных групп свай большего размера ($r = 5,35...1,15$ м) программа FLAC выдавала немного меньшее увеличение вертикального напряжения за пределами радиуса (примерно в 2 м) и несколько большее увеличение напряжения внутри радиуса. Для групп свай меньшего размера и одиночных свай распределение напряжения при моделировании по FLAC совпадало с результатами, полученными с помощью программы FLEA.

Таким образом, результаты моделирования с помощью программ FLAC и FLEA подтвердили, что большая часть усилия на головы свай компенсируется за счет основного сопротивления в пяте сваи. Это приводит к более высокой концентрации напряжения внутри слоя NF под группой свай по сравнению с результатами, получаемыми при анализе упругости в программах моделирования групп свай (таких как DEFPIG).

Моделирование взаимодействия между кустами свай

Была составлена крупноформатная таблица EXCEL, в которой указывались координаты центров каждой свайной группы (x, y) в плане по каждой из двух башен (включая одиночные сваи). Рассчитывали расстояния между центрами каждой группы свай. Затем рассчитывали вертикальное напряжение в слое NF под каждой группой свай, вызванное нагрузкой от других групп свай, используя соответствующий многочлен напряжения, усилие и диаметр каждой группы свай.

Распределение вертикального напряжения в слое NF в местах расположения каждой группы свай затем оценивали путем суммирования распределения всего напряжения в данной группе. На рис. 4 и 5 показаны изолинии предполагаемого увеличения вертикального напряжения в центральной части слоя NF для башен 2 и 3. Увеличение вертикального напряжения вблизи ядра для башни 3 составит, согласно оценкам, порядка 500 кПа. Судя по результатам одометрических испытаний, этого достаточно, чтобы нагрузить

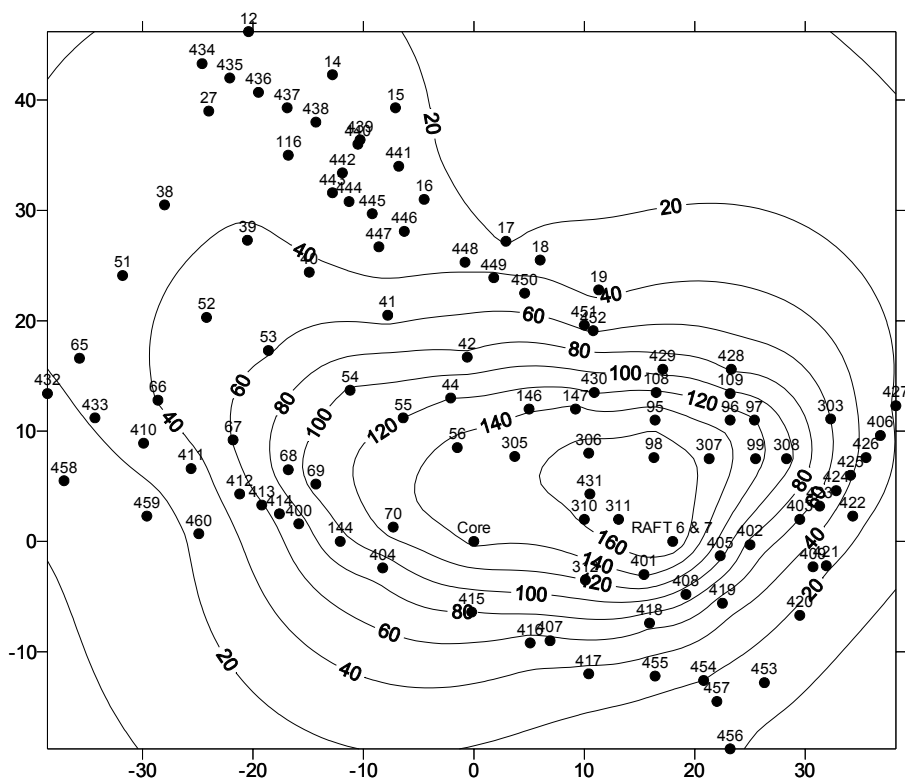
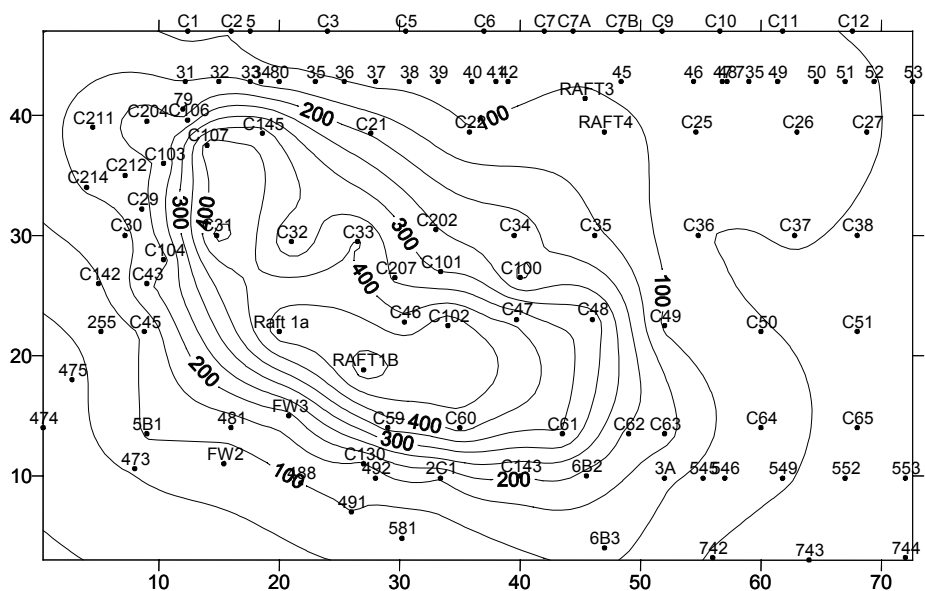


Рис. 4. Рассчитанное увеличение вертикального напряжения (кПа) в центральной части слоя NF для башни 2



Осадки по каждой группе свай определяли с использованием трехлинейной зависимости «напряжение – деформация» в слое NF (см. табл. 3). Осадки рассчитывали на короткий и длительный сроки (1 и 3 логарифмических цикла ползучести соответственно) на основе одномерной модели. Рассмотрение размера нагруженной площади по отношению к мощности слоя NF показывает, что одномерный подход оправдан, так как слой NF в непосредственной близости от острия свай является относительно тонким. С другой стороны, используя одномерный подход, можно переоценить осадки. Сравнение результатов, полученных при применении программы FLEA, с результатами одномерного анализа показывает, что последние должны быть уменьшены на 20...25%.

В крупномасштабной таблице были учтены осадки в слое MSG и алевролите, а также укорачивание свай.

На рис. 6 и 7 показаны изолинии прогнозируемых краткосрочных осадок, вычисленных с применением трехлинейной модели (с учетом трехмерных эффектов значения осадок

уменьшены на 20%) для башен 2 и 3. Величины долгосрочных осадок были примерно на 20% выше, чем краткосрочных.

Таким образом, согласно прогнозу осадок для башни 2 не требуется проведение работ по корректировке фундамента. Осадки, рассчитанные для башни 3, оказались слишком высокими, поэтому было принято решение начать ремонтные работы на фундаменте здания.

4. РЕМОНТНЫЕ РАБОТЫ В БАШНЕ 3

Предполагалось несколько вариантов ремонтных работ, включая устройство дополнительных свай в скальной породе, предварительную нагрузку фундаментов, удаление опоры на грунт [2], стягивание групп свай ростверком и укрепление фундаментов с использованием буроинъекционных методов. В конце концов приняли решение об устройстве дополнительных более сильно нагруженных оснований фундамента с Н-образным сваями, забитыми до отказа в алевролит. По расчетам, применение Н-образных свай может

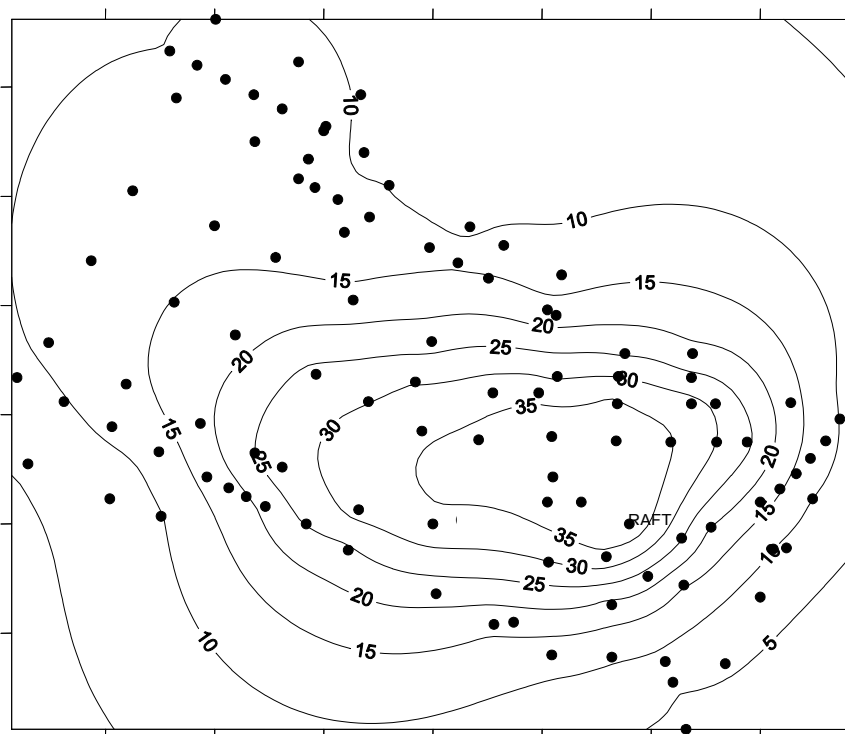


Рис. 6. Рассчитанные краткосрочные осадки (мм) в башне 2

уменьшить дополнительные вертикальные напряжения, возникающие в слое NF в связи со строительством башни 3, и тем самым уменьшить осадки.

Однако оставались нерешенными следующие геотехнические вопросы:

обладают ли Н-образные сваи достаточной прочностью, чтобы пройти в слой алевролита;

сколько потребуется Н-образных свай и под какими колоннами;

как можно оценить взаимодействие между Н-образными сваями и существующими плавающими фундаментами (группами свай) и в какой пропорции распределится усилие между ними; не будут ли Н-образные сваи перенапряженными в силу опирания на скальную породу;

как можно оценить взаимодействие между смежными фундаментами, содержащими и не содержащими Н-образные сваи; как проанализировать систему «Н-образные сваи – плавающий фундамент», чтобы присутствовала уверенность в надежности расчетов и работы этой системы;

как влияет на предполагаемую работу составных фундаментов различие в мощности и характеристиках разных слоев грунта.

Подрядчик по свайным работам провел испытания забивки свай в разных местах (где уже были плотно забиты готовые бетонные сваи), чтобы подтвердить, что Н-образные

сваи пройдут в слой алевролита. Были выполнены динамические испытания забитых Н-образных свай и результаты проанализированы с помощью программы CAPWAP для оценки характеристик свай по кривой «усилие–осадка». Анализ полученных кривых позволил оценить секущую жесткость свай. Значения жесткости варьировали от 0,12 до 0,16 мН/мм в зависимости от уровня усилия и по различным сваям.

Осадки составного основания фундамента смоделировали путем внесения изменений в крупноформатную таблицу EXCEL, описанную выше. Для этого использовался следующий итеративный процесс:

1. Напряжения и осадки внутри слоя NF рассчитывали путем анализа широкоформатной таблицы, игнорируя наличие Н-образных свай.

2. Жесткость каждого (плавающего) фундамента оценивали путем деления нагрузки, прикладываемой к основанию фундамента, на рассчитанные осадки фундамента.

3. Для оснований, содержащих Н-образные сваи и/или готовые бетонные сваи, опирающиеся на скальную породу, рассчитывали новую общую жесткость основания через моделирование плавающего фундамента, где Н-образные сваи и готовые бетонные сваи работали параллельно, как пружины.

4. Распределение нагрузок на колонну, плавающий фундамент, Н-образные сваи и

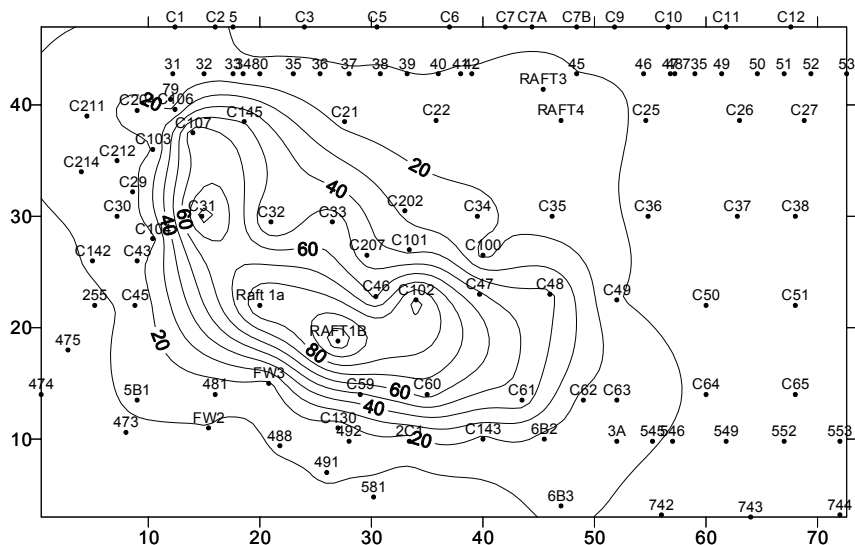


Рис. 7. Рассчитанные краткосрочные осадки (мм) в башне 3

готовые сваи рассчитывали по отношению их индивидуальной жесткости к общей жесткости составного основания фундамента.

5. Усилия, приложенные к плавающим фундаментам, скорректировали на их новые (пониженные) величины и рассчитали вертикальное напряжение в слое NF. Затем рассчитали осадку плавающего фундамента.

6. Процессы, описанные в пп. 2–5, повторяли до получения конвергенции.

Описанные расчеты были выполнены при помощи программы EXCEL. Это позволило проводить их автоматически. Обычно на введение данных и анализ уходило не более 5 мин. Сходимость достигалась достаточно быстро, при этом получали данные по вертикальному напряжению в слое NF, осадкам в различных местах основания фундамента и нагрузкам на H-образные сваи. На рис. 8 показаны изолинии увеличения вертикального

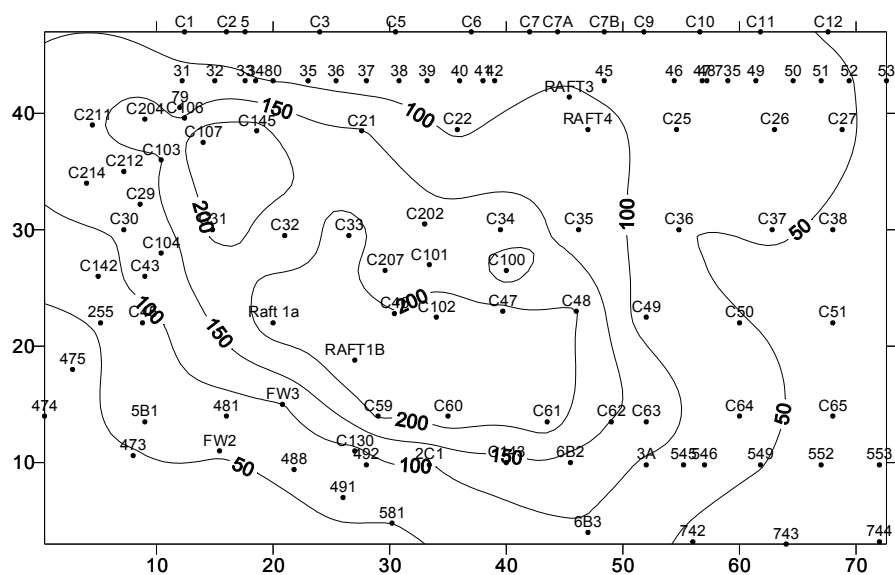


Рис. 8. Прогнозируемое увеличение вертикальных напряжений (кПа) в средней части слоя NF в башне 3 после устройства H-образных свай

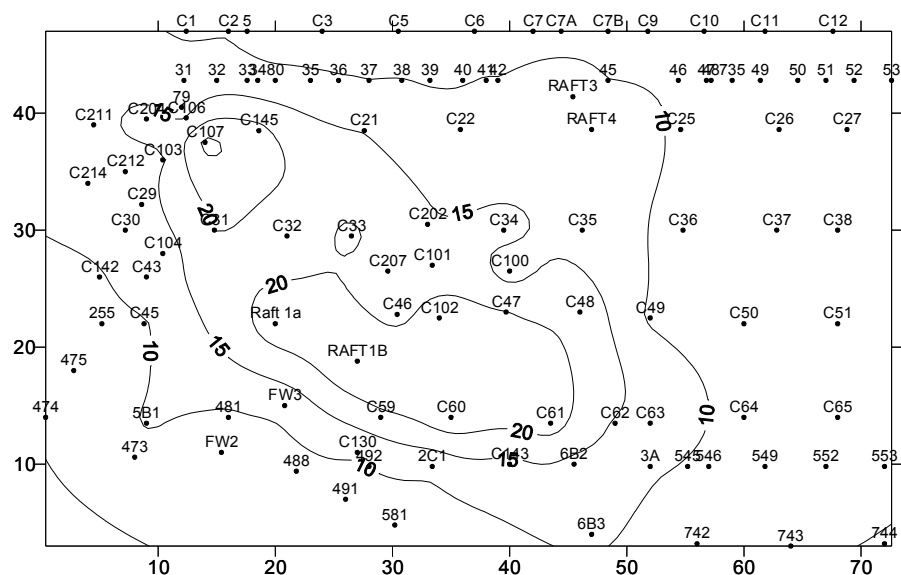


Рис. 9. Прогнозируемые краткосрочные осадки (мм) в башне 3 после устройства H-образных свай

напряжения в центральной части слоя NF, возникшего из-за усилий на основания, полученные при анализе работы 76 Н-образных свай, на рис. 9 – изолинии прогнозируемых краткосрочных осадок для той же процедуры анализа. Максимальная нагрузка на Н-образные сваи оценивалась в 2,7 и 3,3 мН для короткого и длительного отрезков времени соответственно, что удовлетворительно с точки зрения долгосрочной износостойкости и конструктивных требований.

Использование подобного метода расчетов позволило быстро оценить широкий спектр переменных. Особенно эффективным он оказался для оценки влияния количества, расположения и жесткости Н-образных свай; различия в мощности и характеристиках слоев NF и MSG.

Конечное решение включало устройство 73 Н-образных свай в 26 секциях основания. Результаты расчетов для подобного решения показаны на рис. 8 и 9.

5. МОНИТОРИНГ ОСАДОК

В течение всего периода строительства обеих башен проводился мониторинг осадок выбранных колонн. На рис. 10 показаны изолинии измеренных осадок в конце строительства башни 2. Полученные результаты можно сравнить с прогнозируемыми осадками (рис. 6). На изолиниях отмечены расположение и номера колонн. Максимальные осадки (примерно 35 мм) зафиксированы вблизи колонн 55 и 56. Прогнозируемые величины осадок в этом месте составляли 24...28 мм. Разница между прогнозируемыми и реальными величинами может объясняться всплытием готовых бетонных свай, связанным с последующей забивкой соседних свай. Большинство готовых бетонных свай были дозабиты после устройства Н-образных свай и до начала заливки ростверка, чтобы минимизировать последствия всплытия свай. Измеренное всплытие свай, подвергшихся дозабивке, составило от 0 до 16 мм. Под колоннами 55 и 56 произвести дозабивку свай не удалось, так как свайный ростверк был уже залит.

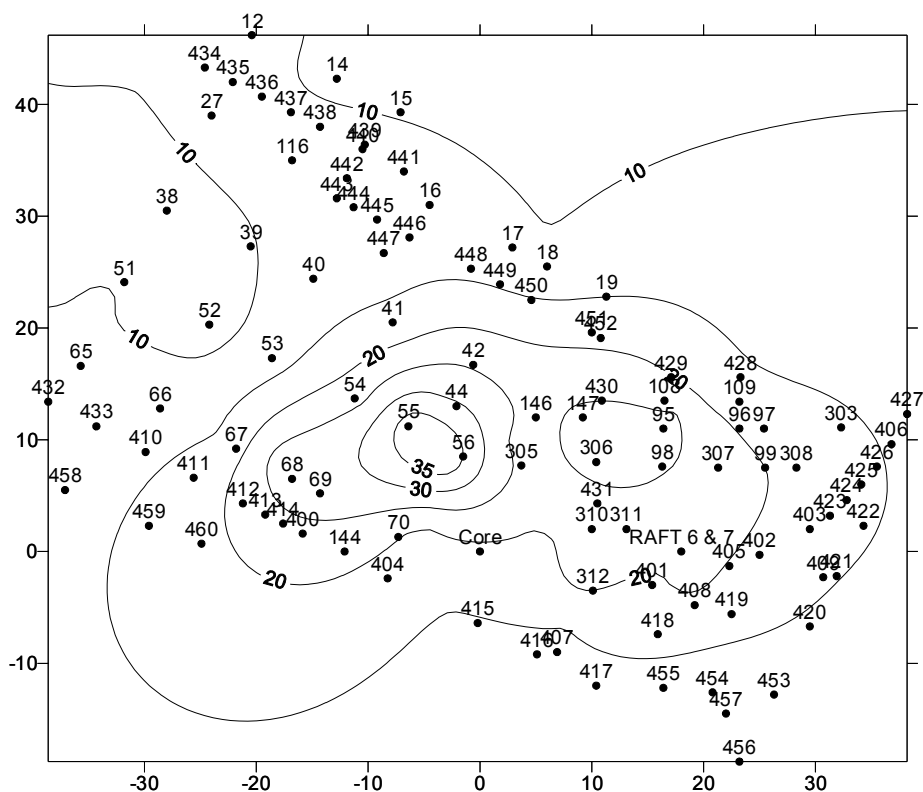


Рис. 10. Измеренные осадки в башне 2 на момент окончания строительства

Прогнозируемые осадки рассчитывали в зависимости от предполагаемых усилий на колонны на различных этапах строительства (в конце строительства этажей 9, 12, 17 и 21 (крыша)), предоставленных инженерами-надземщиками. На рис. 11–13 видно достаточно хорошее соответствие между прогнозируемыми и зафиксированными величинами осадок. Увеличение осадок по этажам башни в наиболее нагруженных колоннах составило менее 1,5 мм на этаж. В целом прогнозируемое увеличение осадок в колоннах на этаж совпадало с зарегистрированными величинами. Лишь в некоторых местах (например, в колоннах 55 и 56) наблюдаемые осадки на этаж были несколько выше прогнозных.

Мониторинг осадок проводился также на башне 3. В целом измеренные осадки до 17-го этажа совпадали с прогнозными (данные дальнейшего мониторинга были недоступны). Измеренные осадки варьировали от 0,1 мм на этаж для слабо нагруженных колонн до 0,7 мм на этаж для наиболее нагруженных колонн.

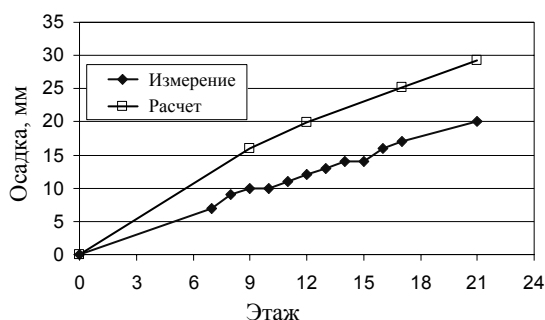


Рис. 11. Измеренные и прогнозируемые осадки ростверков 6 и 7

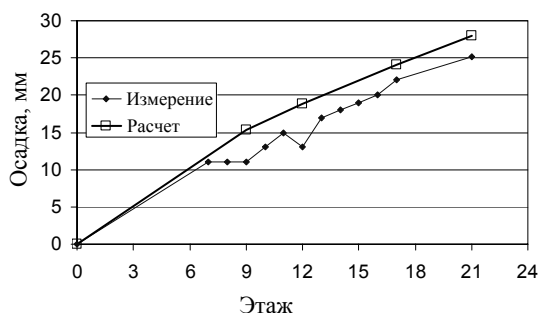


Рис. 12. Измеренные и прогнозируемые осадки колонны 98

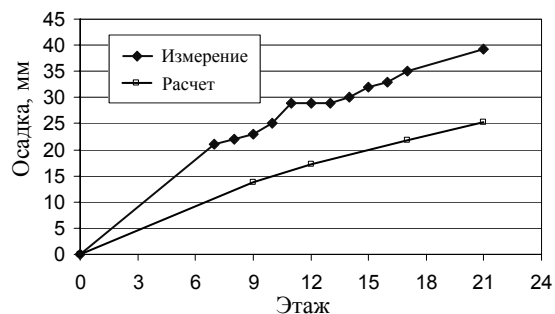


Рис. 13. Измеренные и прогнозируемые осадки колонны 56

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При устройстве свай для двух жилых башен возникли определенные проблемы, обнаруженные после завершения устройства свай, но до начала строительства надземных конструкций зданий. Для оценки необходимости проведения работ по усилению для повышения жесткости фундаментов и компенсации потенциально неприемлемых высоких осадок зданий требовалось проведение точного анализа осадок. При этом учитывалось, что возникшая проблема могла привести к увеличению осадок. Успешное применение комбинации стандартных инженерных программ позволило смоделировать взаимодействие между различными элементами фундамента, консолидацией и ползучестью грунта, а также трехмерные аспекты проблемы.

После оценки осадок под башнями были устроены дополнительные сваи. Измерение осадок в процессе строительных работ свидетельствует о том, что они были в пределах прогнозируемых величин, что подтверждает правильность принятых решений.

Список литературы

1. ITASCA 2000. FLAC, Fast Lagrangian Analysis of Contium. Microsoft 1997. EXCEL
2. Poulos, H. G. 1990. Program DEFPIG, Deformation Analysis of Pile Groups. University of Sydney.
3. Schertmann, J. H. 1955. The undisturbed consolidation behaviour of clay. Transactions ASCE. Vol 120, pp. 1201–1227.
4. Small, J and Booker, J. 1995. FLEA Finite Layer Elastic Analysis. University of Sydney.