

УДК 624.154.1

05.00.00 Технические науки

ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ НЕСТАНДАРТНЫХ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА ФУНДАМЕНТОВ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ

Мариничев Максим Борисович

к.т.н., доцент

РИНЦ Author ID: 851761

РИНЦ SPIN-код: 4156-8483

E-Mail: m.marinichev@mail.ru

Internet: www.geo-technics.com

Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия

UDC 624.154.1

Engineering

THE EXPERIENCE OF NON-STANDARD DESIGN AND CONSTRUCTION METHODS FOR THE FOUNDATIONS OF HIGH-RISE BUILDINGS IN SEISMIC REGIONS

Marinichev Maxim Borisovich

Cand.Tech.Sci., assistant professor

E-Mail: m.marinichev@mail.ru

Internet: www.geo-technics.com

Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

В результате массового строительства в последние годы возведено большое количество высотных зданий различной этажности, высотности, формы, функционального назначения. Зачастую такие здания располагаются на площадках со сложными грунтовыми условиями, обуславливающими значительные абсолютные и относительные деформации основания. Разнообразие доступных методов расчета деформаций демонстрирует значительную разницу между получаемыми результатами. Поэтому данные геотехнического мониторинга о фактических перемещениях представляют собой большой научный и практический интерес

Due to the mass construction activity during the recent years, many multistoried buildings with different height, shape and function have been built. Very often, such buildings are located on territories with very complicated subsoil conditions, which cause considerable total and differential subsoil displacements. Reachable variety of settlement calculation methods performs wide difference between achieved results. Thus the data of the geotechnical monitoring is very important for practical and scientific issues

Ключевые слова: ФУНДАМЕНТ, МОНИТОРИНГ, СВАЯ, СВАЙНО-ПЛИТНЫЙ ФУНДАМЕНТ, ФУНДАМЕНТ С ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ПОДУШКОЙ, СЛАБЫЙ ГРУНТ, ДЕФОРМАЦИИ, ПЛИТНЫЙ ФУНДАМЕНТ

Keywords: FOUNDATION, MONITORING, PILE, PILE-SLAB FOUNDATION, FOUNDATION WITH INTERMEDIATE SOIL CUSHION, SOFT GROUND, DEFORMATIONS, SLAB FOUNDATION

Doi: 10.21515/1990-4665-125-043

Введение

Стремительный рост населения нашей планеты определяет необходимость постоянно пересматривать требования, предъявляемые к социально значимым объектам. Зачастую это касается необходимости совмещения внутри одного строения большого количества процессов, что, конечно, ведет к увеличению требуемых проектных площадей. Ввиду нехватки территорий в крупных городах, здания устремляются ввысь. Передаваемые ими нагрузки на грунты сегодня требуют новых подходов в фундаментостроении.

Зачастую такие здания располагаются на площадках со сложными грунтовыми условиями, обуславливающими значительные абсолютные и относительные деформации основания. Разнообразие доступных методов расчета деформаций определяет значительную разницу между получаемыми результатами. Поэтому данные геотехнического мониторинга о фактических перемещениях представляют собой большой научный и практический интерес.

В настоящей статье рассмотрено несколько крупных строительных объектов, возводимых в г. Краснодаре на различных типах фундаментов, в различных грунтовых условиях и плотности городской застройки. На всех объектах с момента начала строительства выполнялись мероприятия по геотехническому мониторингу. Объекты представлены на рисунке 1.

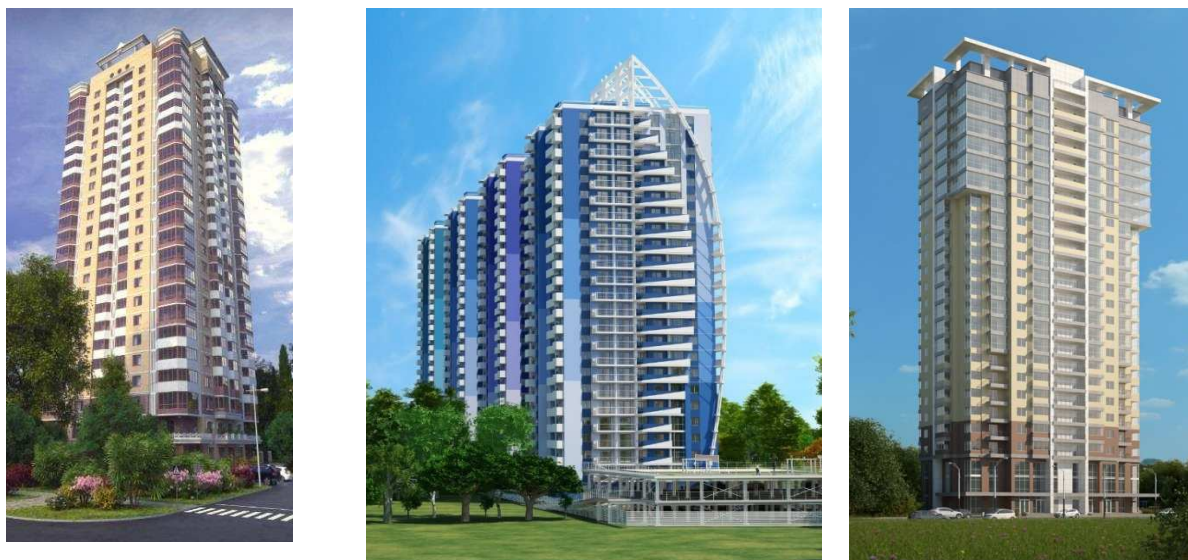


Рисунок 1 – Рассматриваемые объекты

- | | | |
|---|--|---|
| а) 24-этажный
жилой дом по ул.
Березанской в г.
Краснодаре | б) 25-этажный жилой
комплекс «Парусная
Регата» в г. Краснодаре | в) 25-этажный жилой
дом по ул.
Монтажников
в г. Краснодаре |
|---|--|---|

Все представленные выше объекты на данный момент либо находятся на стадии завершения строительства либо сданы в эксплуатацию.

При проектировании фундаментов каждого объекта проводился анализ инженерно-геологической ситуации на площадке строительства, в ходе которого было выявлено, что грунтовые условия для таких тяжелых зданий крайне сложные. Глубина залегания слабых слоев, а также их чередование с более жесткими, приближается к отметке 10-15 м от поверхности земли. В связи с этим фундаментные конструкции анализировались исходя из возможности их применения в данных грунтовых условиях. Грунтовые условия площадок строительства представлены на рисунке 3 (а, б, в).

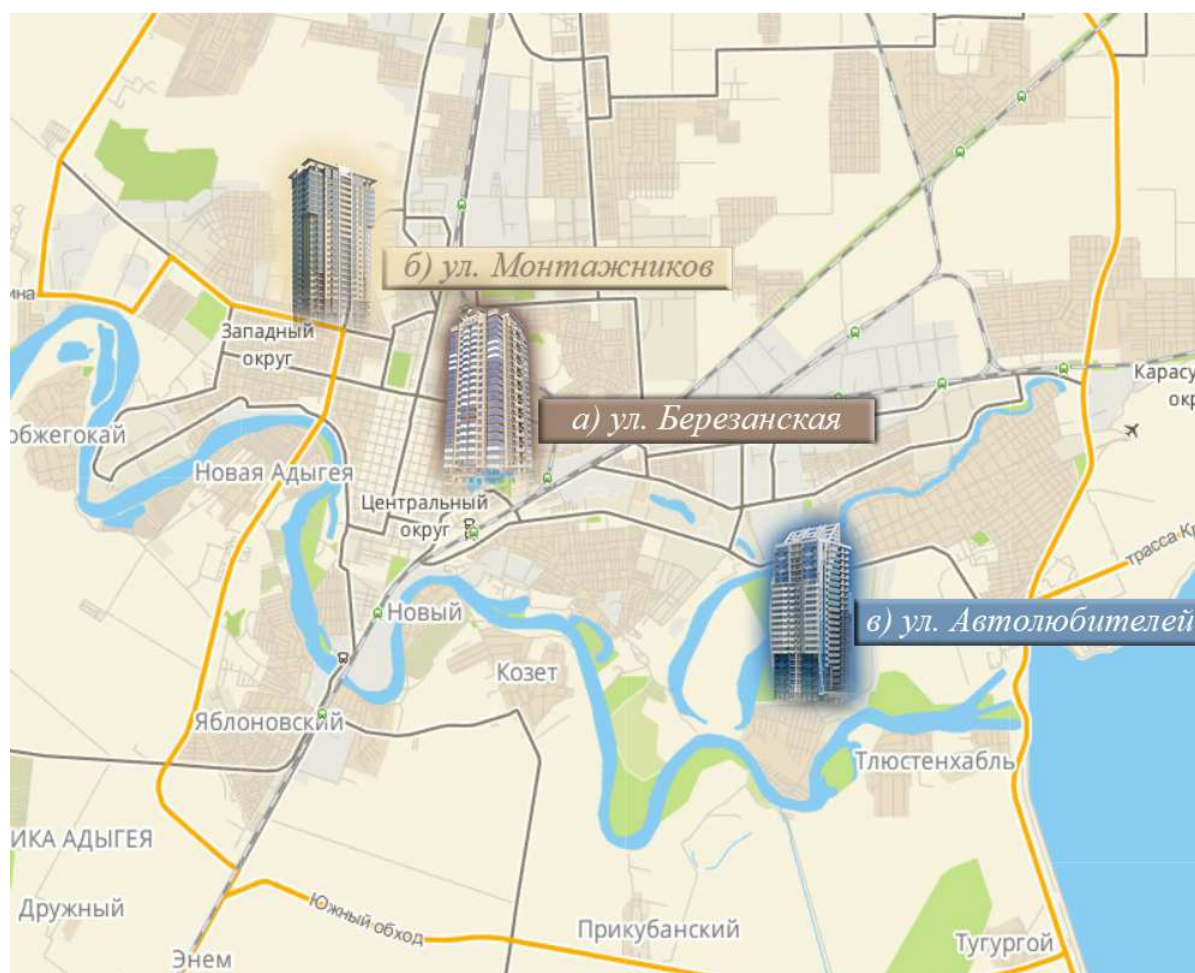
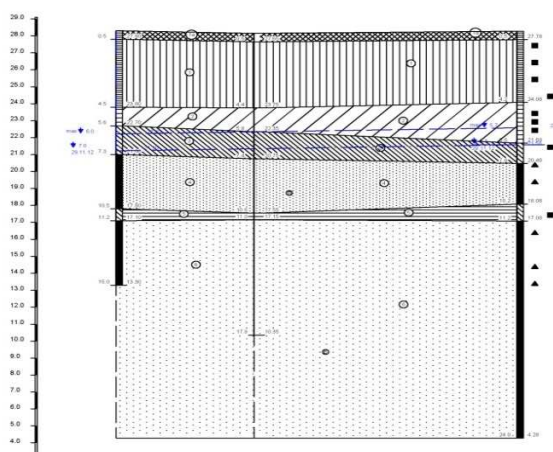
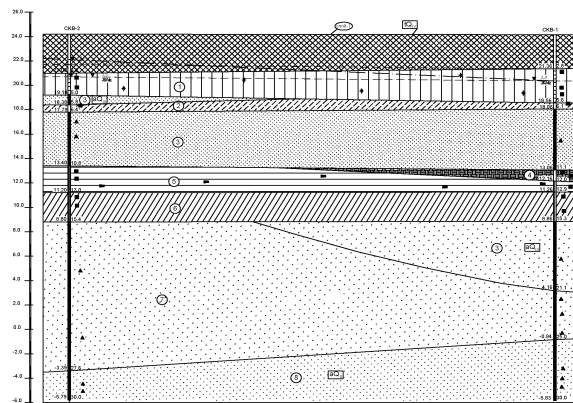


Рисунок 2 – Карта г. Краснодара с расположением площадок строительства высотных зданий



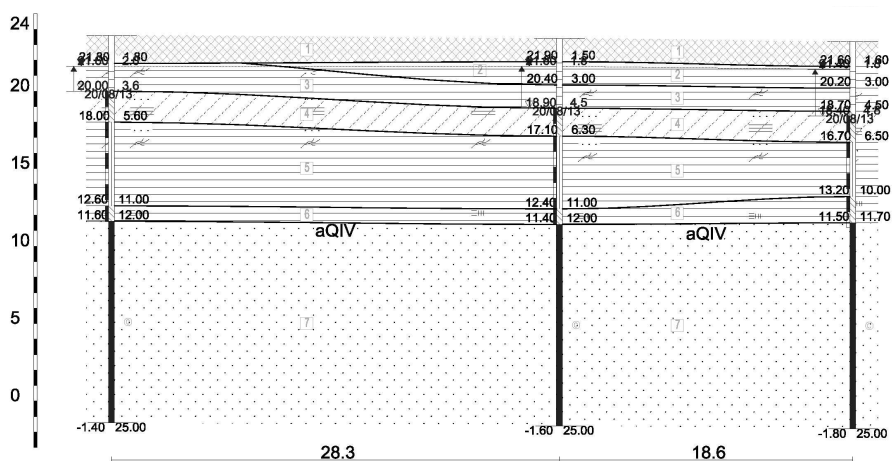
а) 24-этажный жилой дом



б) 25-этажный жилой дом

в г. Краснодаре по ул. Березанской

по ул. Монтажников в г. Краснодаре



в) 25-этажный жилой комплекс «Парусная Регата» в г. Краснодаре

Рисунок 3 – Характерные грунтовые условия площадок строительства для различных районов г. Краснодара

Основная часть

Основными методами прогнозирования деформаций зданий на сегодняшний день являются нормативные документы (СП 22.13330.2011[1] и СП 24.13330.2011[2]) и конечно-элементные программные комплексы (MIDAS GTS NX[14,15], PLAXIS 3D[17], Лира, Ing+, SCAD и др.).

Нормативными методиками предлагается упрощенные расчеты взаимодействия здания и основания, где основание рассматривается в виде линейно-деформируемого полупространства с осредненными в пределах сжимаемого слоя H значением коэффициента Пуассона грунта ν и модуля деформации грунтов основания $E[1]$.

Современные компьютерные технологии позволяют рассматривать различные ситуации при строительстве и эксплуатации зданий. Также сегодня возможно оценить работу конструкций в целом во всем здании с учетом многообразия нагрузок и воздействий, которые практически невозможно оценить корректно с использованием только нормативных методик. В конечном итоге трехмерный нелинейный конечно-элементный расчет используется при решении широкого круга задач механики твердого деформируемого тела, а также успешно применяется в других отраслях. При решении геотехнических задач в расчетных комплексах, моделируется массив грунта, конструкция фундамента и надземное сооружение, что позволяет более реально оценивать взаимодействие системы.

В первую очередь для всех перечисленных выше высотных зданий был рассмотрен плитный вариант фундамента на естественном основании - наиболее простое, технологичное и экономически выгодное решение. Целью данного расчета оснований по деформациям являлось ограничение абсолютных и относительных перемещений такими значениями, при которых обеспечивается безопасная эксплуатация сооружения. Ограничение деформаций проводилось согласно нормативным документам [1,2] и представлено в таблице 1.

**Таблица 1 - ПРЕДЕЛЬНЫЕ ДОПУСТИМЫЕ ДЕФОРМАЦИИ
ОСНОВАНИЙ ФУНДАМЕНТОВ**

Сооружения	Предельные деформации основания фундамента		
	Относительная разность осадок $(\Delta s/L)_u$	Крен i_u	Максимальная или средняя осадка, s, см
Производственные и гражданские одноэтажные и многоэтажные железобетонные здания с полным монолитным каркасом	0,002	-	15
Здания и сооружения, в конструкциях которых не возникают усилия от неравномерных осадок	0,006	-	20
Многоэтажные бескаркасные здания монолитной конструкции	0,0024	-	18

Все расчеты выполнялись также в геотехнических программных комплексах с использованием идеально-упругопластической модели грунтов, описываемой критерием Кулона-Мора. Данная модель была принята исходя из анализа данных инженерно-геологических изысканий. На сегодняшний день наиболее применимыми для задач высотного строительства геотехническими программными комплексами являются: PLAXIS 3D[17] и MIDAS GTS NX[14,15]. В целом, данные программные комплексы схожи по функционалу, однако они имеют ряд отличий, которые определяют пределы их применимости.

PLAXIS 3D – геотехническая программа, предлагающая гибкую и унифицированную геометрию, реалистичное моделирование этапов строительства, устойчивое к ошибкам и надёжное расчётное ядро, подробная обработка результатов расчёта – всё это даёт полное комплексное решение геотехнических проектов и расчётов. Программа PLAXIS 3D предназначена для комплексных расчётов напряжённо-деформированного состояния и устойчивости геотехнических объектов

различного назначения методом конечных элементов в условиях пространственной задачи. Программа учитывает различные особенности геотехнических конструкций и процессов возведения сооружения, используя при этом хорошо отлаженные и теоретически обоснованные вычислительные процедуры. Возможности программного комплекса PLAXIS 3D показаны на рисунке 4.

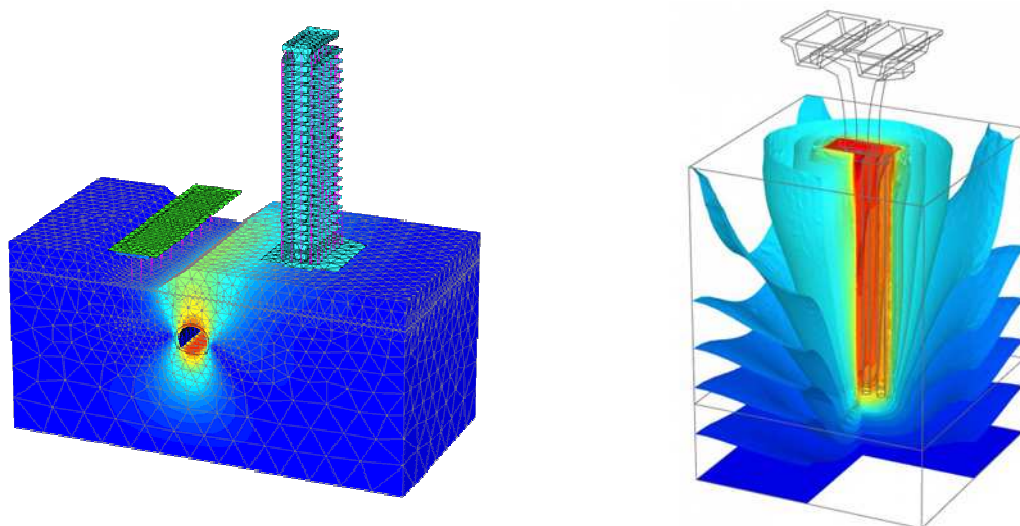


Рисунок 4 – Некоторые задачи геотехники, решенные при помощи PLAXIS 3D

MIDAS GTS NX – программный комплекс, предназначенный для комплексных геотехнических расчетов. GTS NX обладает дружественным к пользователю современным интерфейсом, а также мощным и быстрым решателем с поддержкой 64-битных систем и графического процессора. С MIDAS GTS NX возможно максимально быстро и качественно выполнять самые сложные расчеты. Основные области применения данного программного комплекса показаны на рисунке 5.

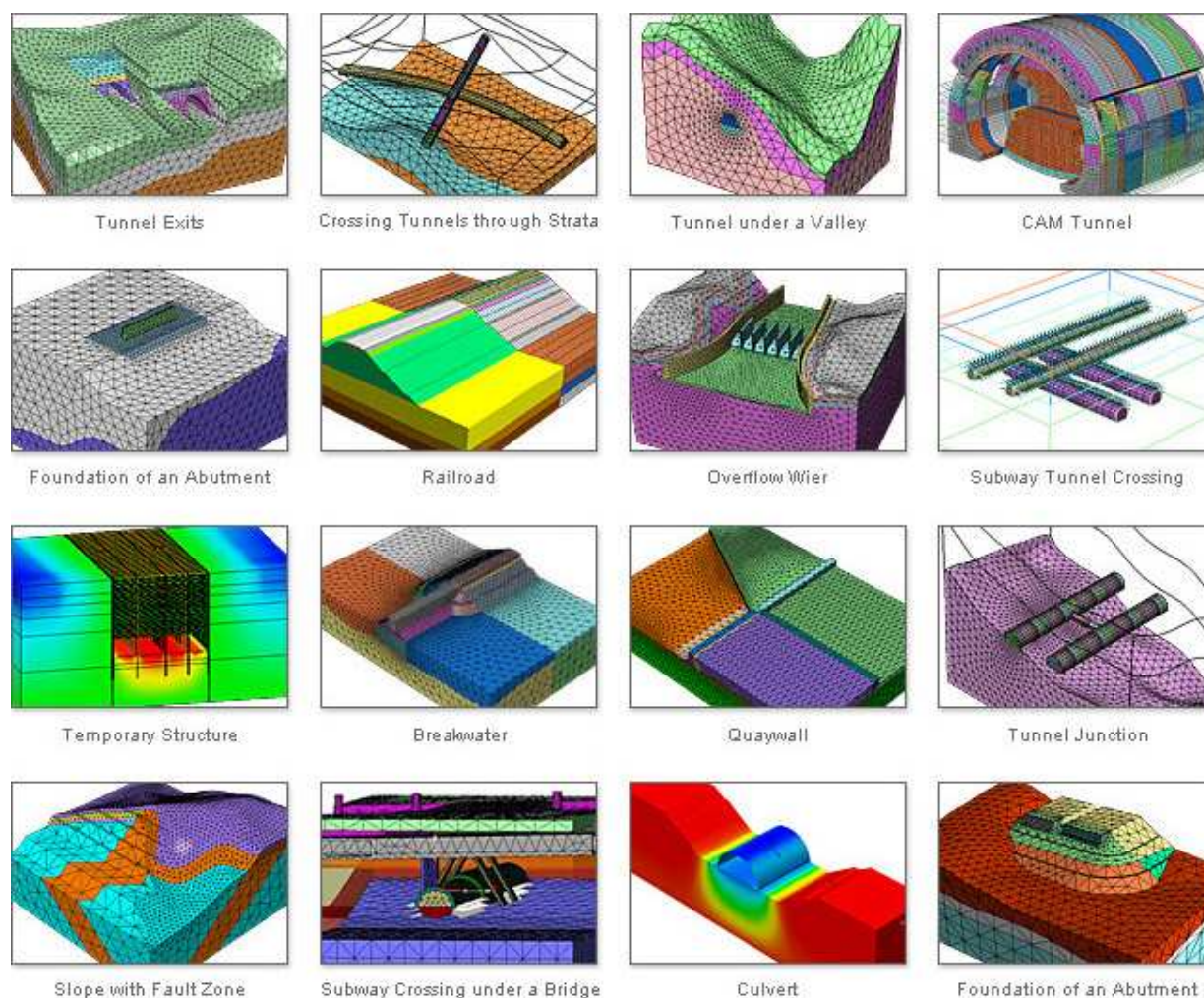


Рисунок 5 – Области применения MIDAS GTS NX

В настоящей статье приводятся результаты расчетов в MIDAS GTS NX как одного из передовых и технически продвинутых программных комплексов для моделирования грунтовых массивов и различных неравномерных напластований.

Однако ни один из программных комплексов не может быть признан неким эталонным продуктом для получения достоверного результата. Многое зависит от квалификации расчетчика и его способности анализировать полученные данные.

Только натурные измерения способны подтвердить расчетный прогноз и констатировать непревышение допустимых параметров,

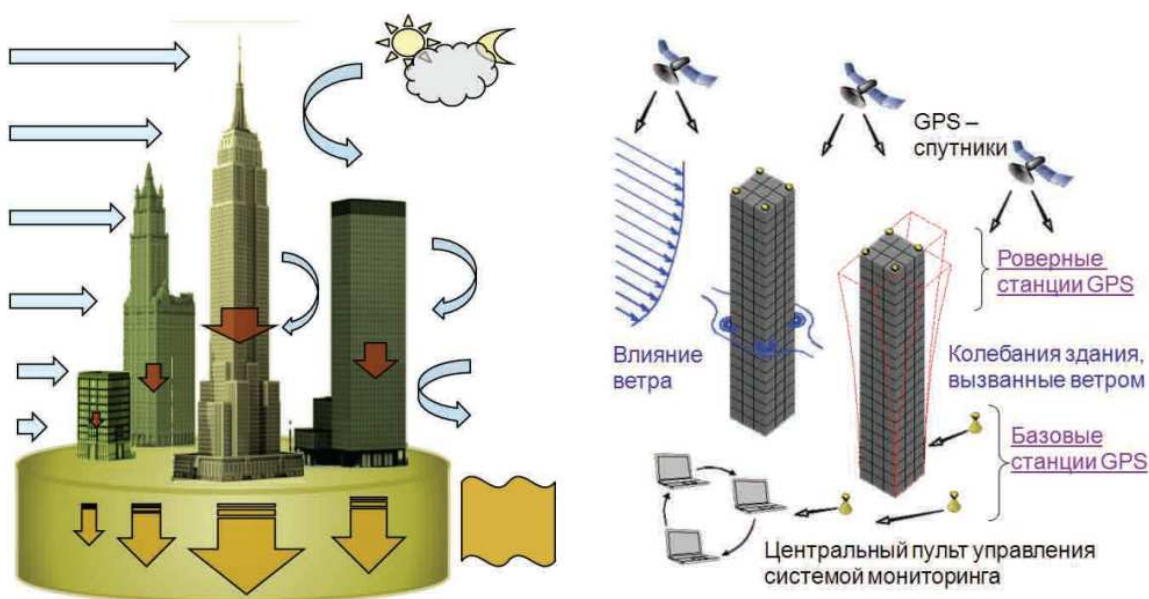
обеспечивающих безаварийность зданий в период их строительства и дальнейшей эксплуатации.

На сегодняшний день для мониторинга зданий и сооружений используются [16]:

- геодезические наблюдения за деформациями;
- GPS – мониторинг;
- лазерное сканирование высотных объектов.

Геодезический мониторинг подразумевает геодезические наблюдения за деформациями строящихся зданий и сооружений, а также за зданиями, находящимися в зоне влияния строительства. Целью геодезического мониторинга является своевременное выявление критичных величин деформаций, установление причин их возникновения, составление прогнозов развития деформаций, выработка и принятие мер для устранения нежелательных процессов.

Методика GPS-мониторинга здания во многом подобна традиционным геодезическим наблюдениям. При создании системы мониторинга по периметру высотного здания и на отдельных конструктивных элементах устанавливаются высокоточные GPS приемники, а также создается опорная сеть, на основе базовых станций, расположенных вне зоны влияния сооружения. Определяя координаты контрольных точек и сопоставляя результаты измерений в отдельных точках, получают изменение пространственного положения здания в целом и перемещение конструктивных элементов относительно друг друга. Схема GPS-мониторинга приведена на рисунке 6.



а) Общая схема статического и динамического воздействия на высотные сооружения

б) Схема проведения GPS измерений при автоматической системе мониторинга

Рисунок 6 – Взаимодействие зданий с окружающей средой и GPS-мониторинг деформаций

Наиболее современным методом наблюдений за деформациями здания является их лазерное сканирование. Суть технологии заключается в определении пространственных координат точек поверхности объекта посредством измерения расстояния до всех точек с помощью лазерного безотражательного дальномера. При каждом измерении луч дальномера отклоняется от своего предыдущего положения так, чтобы пройти через узел некой мнимой нормальной сети, называемой сканирующей матрицей. Количество строк и столбцов матрицы может регулироваться. Чем выше плотность точек матрицы, тем выше плотность точек на поверхности объекта. Результатом измерений является некое множество точек с трехмерными координатами.

В большинстве конструкций сканеров используется импульсный лазерный дальномер. На пути к объекту импульсы лазерного излучения

проходят через систему зеркал, которые осуществляют пошаговое отклонение лазерного луча. Наиболее распространенной является конструкция, состоящая из двух подвижных зеркал, одно из которых отвечает за вертикальное смещение луча, а другое – за горизонтальное.

Отличие от тахеометра заключается в том, что ежедневная съемка при помощи лазерного сканера – это десятки миллионов измерений, получение аналогичного объема информации с тахеометром займет не одну сотню лет.

Первоначальный результат работы сканера представляет собой облако точек. В процессе съемки для каждой из них записываются три координаты (XYZ) и численный показатель интенсивности отраженного сигнала. Он определяется свойствами поверхности, на которую падает лазерный луч. Облако точек раскрашивается в зависимости от степени интенсивности и после сканирования выглядит как трехмерное цифровое фото. Приборы и результаты использования такого вида мониторинга приведены на рисунке 7,8.



Рисунок 7 - Приборы для выполнения лазерного сканирования объекта

В результате мониторинга получаемые данные направляются в инженерно вычислительный центр, в котором конечный пользователь, владея программным комплексом и обладая соответствующими знаниями, способен анализировать текущую ситуацию на объекте в реальном времени.



а) Пример объекта лазерного сканирования



б) Трехмерное облако точек объекта, снятое с нескольких станций



в) Трехмерная модель, созданная в Leica Cyclone MODEL и текстурированная в 3ds max

Рисунок 8 – Приборы и результаты лазерного мониторинга объекта

В дополнение к системе мониторинга в инженерно-вычислительный центр входят системы предупреждения аварийных ситуаций, которые способны на основании заданных ограничений и данных, получаемых с датчиков, установленных на несущих конструкциях сооружения, своевременно предупреждать инженеров-строителей о возможном начале внештатной ситуации на объекте. Современные системы оповещения используют передовые способы передачи информации такие, как e-mail-рассылка и sms-оповещения.

Далее в статье рассмотрены объекты, возводимые в г. Краснодаре на неравномерно сжимаемых слабых грунтах, и представлены результаты геотехнического мониторинга за ними.

Объект №1. Жилой комплекс «Парусная Регата» по ул. Автолюбителей.

Динамичное развитие строительной отрасли России, точечная застройка тяжелыми зданиями в крупных городах требуют использования новых высокотехнологичных методов в области фундаментостроения. Одним из таких методов является струйная цементация (jet grouting) [9,10,11,13], основанная на закреплении грунтов путём их размыва и перемешивания высоконапорной струёй цементного раствора. В результате струйной цементации формируются грунтобетонные сваи диаметром 300 – 2500 мм.

Характерным примером использования данной технологии в Краснодарском крае в сложных инженерно-геологических условиях являются 25-этажные жилые дома по ул. Автолюбителей в г. Краснодаре. Четыре 25-этажных монолитных дома выполнены в едином архитектурном стиле концептуально напоминающих парусную регату (см. рисунок 9).

Дома попарно соединены между собой одноэтажными стилобатами, где расположены аптеки, магазины, фитнес центр, салоны красоты, детские студии.

Решая задачу по поиску рационального типа фундаментов для группы жилых зданий, были проанализированы данные инженерно-геологических изысканий, а также условия территориального расположения исследуемого жилого комплекса.



**Рисунок 9 - Генеральный план застройки жилого комплекса
(перспективный вид)**

В геологическом строении площадки проектируемого строительства принимают участие породы четвертичной системы, представленные почвенно-растительным слоем – глиной, аллювиальными песками и глинами.

Подземные воды на период изысканий (август 2013 г.) вскрыты скважинами на глубине 2,00 – 5,00 м от поверхности земли. Площадка изысканий относится к подтопленной (СП 11-105-97, часть II) [5].

Грунты основания площадки строительства представляют собой сложное напластование слоев грунта с различными физико-механическими характеристиками: от слабых глин (с модулем деформации менее 5 МПа) до относительно прочных слоев песка (22 МПа). В процессе исследования массива грунта было установлено, что на изученной глубине площадка строительства представлена семью инженерно-геологическими слоями, встречающимися в различных комбинациях.

Опасные геологические и инженерно-геологические процессы представлены повышенной сейсмичностью и возможным затоплением техногенной «верховодкой».

Сейсмичность является основным фактором, осложняющим строительство. Для сооружений нормального уровня ответственности по СП 14.13330.2011[3], (карта ОСР-97-А) и по ТСН 22-301-2002 [4] фоновая сейсмичность участка составляет 7 баллов. Согласно инструментальным сейсмогеологическим работам расчетная сейсмичность составляет 8 баллов.

Поскольку при сейсмичности площадки 8 баллов существующими нормами высота зданий, возводимых из железобетона, ограничивается двадцатью этажами [3], были реализованы мероприятия по улучшению строительных свойств грунтов с целью снижения сверхнормативных осадок (более 55-65см по СП 22.13330.2011 [1], MIDAS GTS NX [14,15]) и повышения сейсмической жесткости основания под зданиями.

Свайный фундамент для данных зданий также рассматривался, однако согласно данным статического зондирования грунтов установлено, что его реализация потребует устройства свай на глубину более 30м и диаметром 1,2м, что по стоимости значительно превзойдет вариант армирования основания грунтоцементными элементами.

Улучшение физико-механических характеристик грунта основания выполнено при помощи струйной геотехнологии с устройством в основании плиты грунтоцементных вертикальных армирующих элементов диаметром 1,5 м с шагом осей 1,85м длиной 10,5м. В этом случае грунтоцементные элементы работают в едином массиве с окружающим грунтом, под всей площадью плиты и не рассматриваются как свайный элемент, передающий острием нагрузку на нижележащие слои [9,10,11,13].

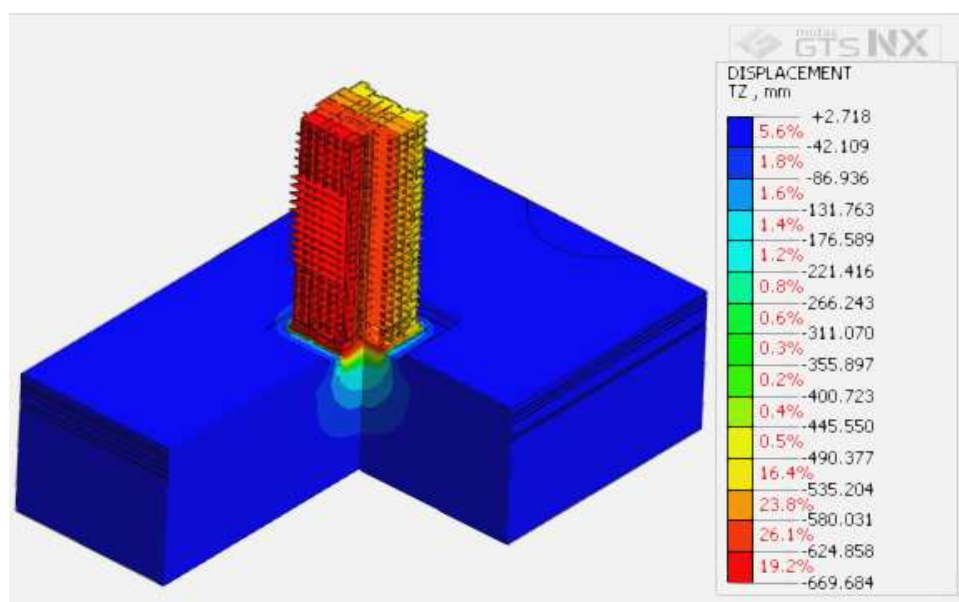
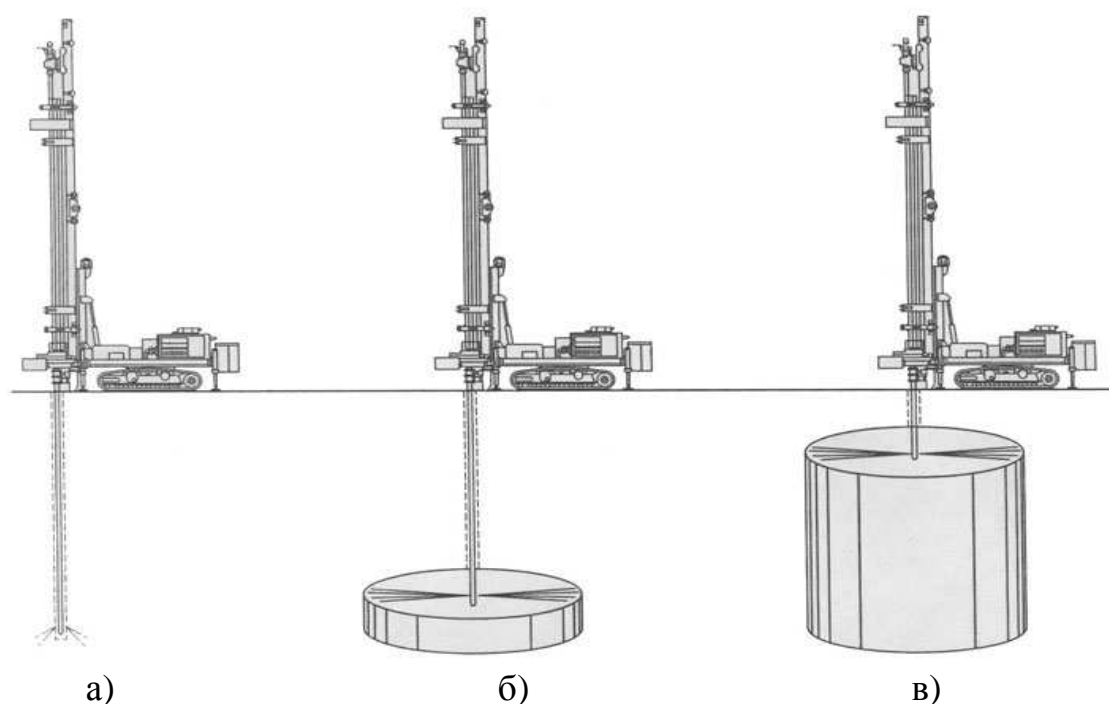


Рисунок 10 - Оценка деформативности плитного фундамента на сильносжимаемых грунтах

Физико-механические характеристики грунтоцементного элемента: плотность материала = 18 кН/м³; расчетное сопротивление сжатию R=2,0-2,5МПа; модуль деформации E=1500-3000 МПа.

Приведенные деформативные характеристики такого геомассива становятся значительно более высокими и достигают значений: модуль общих деформаций в ходе штамповых испытаний E=100-110 МПа, по сравнению с природными значениями 5–22 МПа. Технология производства работ по струйной цементации грунта позволяет контролировать зоны уплотнения основания, и модифицировать его свойства на оптимальную глубину (см. рисунок 11).



а) бурение лидерной скважины до проектной отметки; б) подача под высоким давлением цементного раствора; в) подъем колонны с одновременным ее вращением, образование грунтоцементной сваи

Рисунок 11 - Технологические циклы устройства армирования основания вертикальными грунтоцементными элементами

Другой задачей армирования основания является повышение его сейсмической жесткости. Устройство регулярной сетки армирующих элементов с более высокой, по отношению к естественному грунту скоростью прохождения поперечной сейсмической волны (V_s) приводит к тому, что в них рассеивается значительная часть энергии сейсмической волны, и ее воздействие на грунт, защищенный элементами, становится минимальным.

Для исследований был рассмотрен один из проектируемых жилых домов. Инженерно-геологические условия площадки строительства (см. рисунок 12), а физико-механические характеристики грунтов сведены в таблице 2.

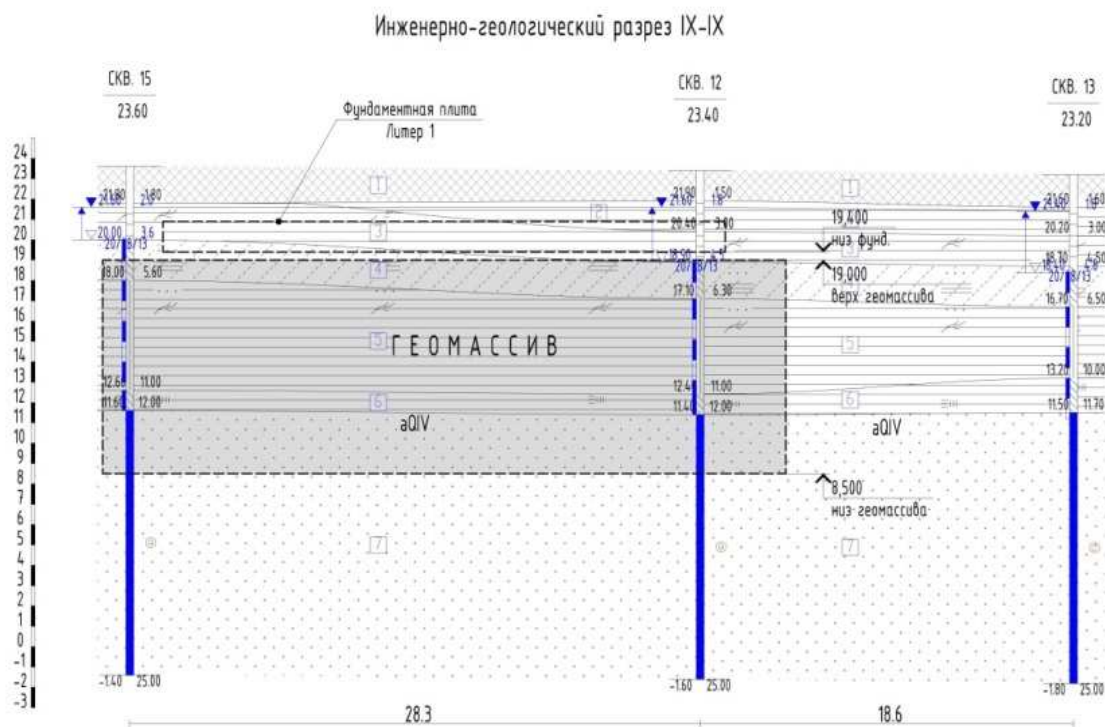


Рисунок 12 – Инженерно-геологический разрез под исследуемым жилым домом

Таблица 2 – ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ ПЛОЩАДКИ СТРОИТЕЛЬСТВА МНОГОЭТАЖНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ ПО УЛ. АВТОЛЮБИТЕЛЕЙ В Г. КРАСНОДАРЕ

№ п/п	Наименование грунта	Мощность, м	ρ , г/см ³	ϕ , град	C, кПа	E, МПа
1	Насыпной неоднородный грунт	1,8-2,0	1,5	-	-	-
2	Глина легкая, твердая, с примесью органических веществ	1,4-1,6	1,91	18	41	6
3	Глина легкая, полутвердая, с примесью орган. вещества	1,85-2,0	1,95	18	14	8
4	Супесь пластичная, с примесью орган. веществ	2,0-2,5	1,99	18	35	4
5	Глина легкая, тугопластичная, с примесью орган. вещества	более 5,0	1,88	18	14	5
6	Глина легкая, текучая, слаботорфованная	1,0-1,5	1,63	14	38	3
7	Песок средней крупности, насыщенный водой, средней плотности	Более 13,0	2,06	33	1	22

Для проверки данного технического решения фундаментов здания было проведено численного моделирование его работы в ПК MIDAS NX.

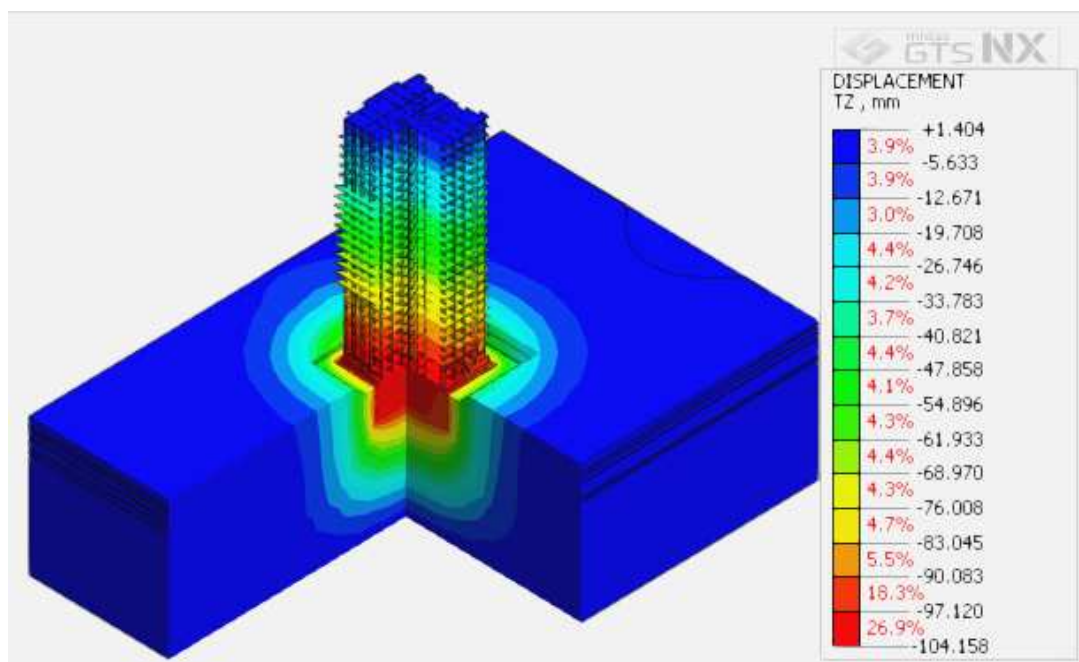


Рисунок 13 – Результаты моделирования работы геомассива под плитным фундаментом жилого дома

Из результатов моделирования видно, что использование вертикально армированного грунтового основания плитного фундамента в таких грунтовых условиях обеспечивает нормативные требования по первой и второй группе предельных состояний ($S_{max} < S_u$).

В настоящее время на объекте ведется геотехнический мониторинг за осадками зданий. На момент возведения пятнадцатого этажа максимальная осадка углов здания составила 44 мм, что не превышает расчетного значения осадок с учетом поэтапного возведения здания (рисунок 14).

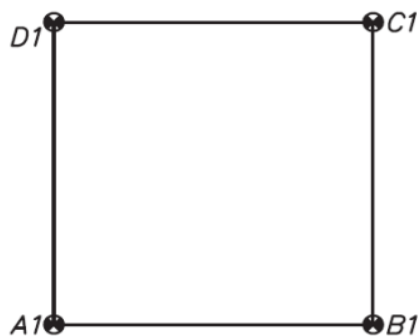


Рисунок 14 – Схема расположения деформационных марок для геотехнического мониторинга

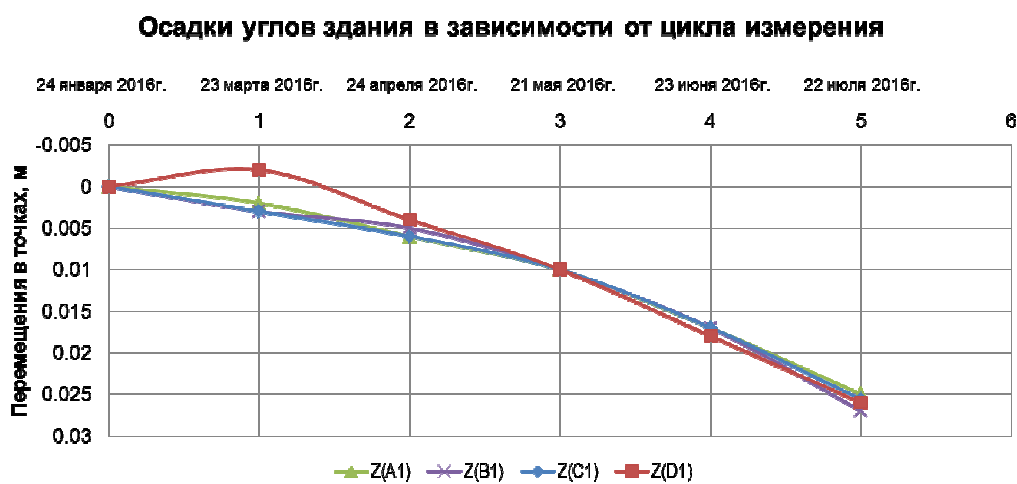


Рисунок 15 - Осадки углов здания в зависимости от цикла измерения

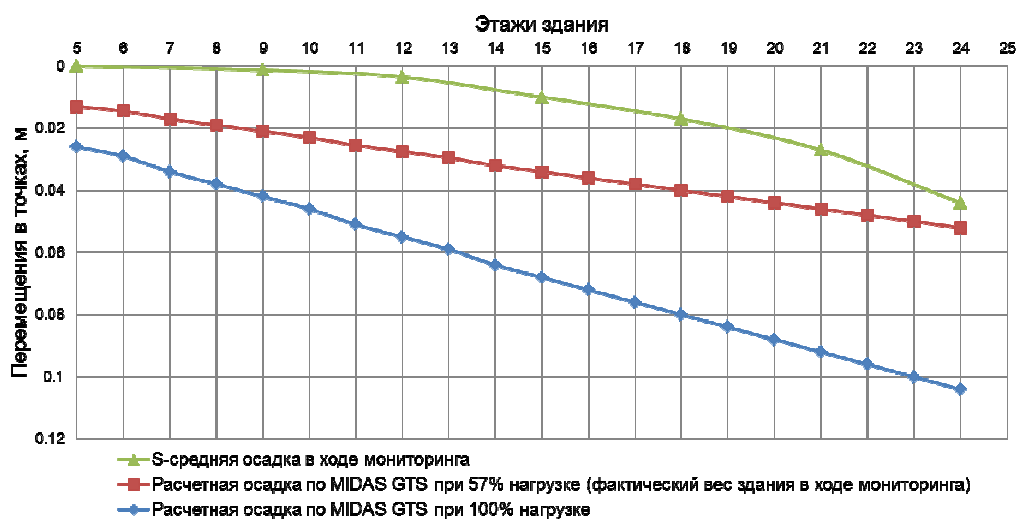


Рисунок 16 - Сопоставление замеренных и расчетных осадок здания

После анализа результатов выявлено, что деформации системы относительно первоначального варианта (плитного фундамента) снизились на 83,3%. Переход к армированию основания грунтоцементными сваям длиной 10,5 м обеспечивает соблюдение требований двух групп предельных состояний, в связи с чем технико-экономические показатели строительства значительно повышаются.



Рисунок 17 - Общий вид комплекса на момент сдачи 1 очереди строительства

Анализ результатов расчётов в ПК MIDAS GTS NX позволил выявить следующее:

- Выбор рационального технического решения плитного фундамента высотного здания, вида армирующих элементов, технологии их устройства, осевого расстояния между ними позволяют решать сложные задачи снижения сверхнормативных деформаций и кренов зданий;
- Устройство регулярной сетки армирующих элементов с более высокой, по отношению к естественному грунту скоростью прохождения поперечной сейсмической волны (V_s) приводит к тому, что в них рассеивается значительная часть энергии сейсмической волны, и ее воздействие на грунт, защищенный элементами, становится минимальным;
- Для всех жилых домов, рассчитанная величина максимальных деформаций основания оказалась ниже рекомендуемой существующими нормами. Неравномерность осадок зданий при таком техническом решении во много раз ниже рассчитанных для фундаментов на естественном основании.

Объект №2. Многоэтажный жилой дом по ул. Монтажников в г. Краснодаре

Известно, что устройство свайно-плитных фундаментов является наиболее экономичным при использовании свай заводского изготовления. Однако забивка свай как динамический процесс по своей природе развивает вблизи существующих зданий дополнительные осадки от сотрясения, а их конструкции получают повреждения от действия инерционных сил в радиусе не менее 30м. Поэтому очень важно учитывать

плотность городской застройки при проектировании и строительстве фундаментных конструкций тяжелых зданий на участках уже сложившейся инфраструктуры. При отсутствии должного внимания, полученные дополнительные осадки и крены существующих зданий могут повлечь за собой аварийные ситуации. Для таких зданий на неравномерно сжимаемых и слабых грунтах необходимо переходить на свайные фундаменты из буровых или грунтоцементных свай, которые позволяют практически полностью исключить динамические воздействия на соседние здания.

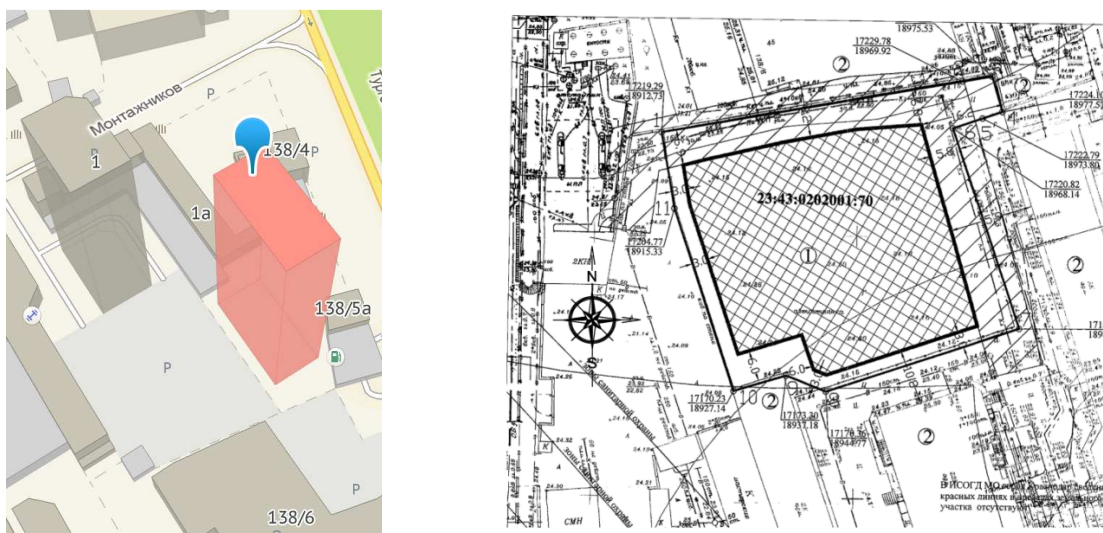


Рисунок 18 – Схема расположения строящегося многоэтажного жилого дома в сложившейся городской застройке (в непосредственной близости находится 24-этажный бизнес-центр)

Подобная инженерно-геологическая ситуация сложилась при строительстве жилого двадцати пяти этажного жилого дома по ул. Монтажников в г. Краснодаре (см. рисунок 18).

При проектировании высотного здания были проанализированы инженерно-геологические условия данной площадки, основными осложняющими особенностями которой стали просадочные грунты ИГЭ-1, расположенные вблизи поверхности ($P_{sl}=170\text{кПа}$). В средней части разреза

выявлен слой торфа сильноразложившегося ИГЭ-4, мощность до 1 метра (см. таблицу 3 и рисунок 19).

Здание, проектируемое в таких инженерно-геологических условиях, представляет собой монолитный железобетонный каркас, представленный перекрестно-стеновой конструктивной системой. Высота здания достигает 78м и состоит из 25 этажей. Общая масса составляет около 26480 тонн. Среднее распределенное давление по подошве фундамента составляет $P_{cp}=350$ кПа.

Для прогнозирования осадок такого тяжелого сооружения в инженерно-геологических условиях площадки строительства были выполнены пространственные расчеты для нескольких вариантов фундаментов.

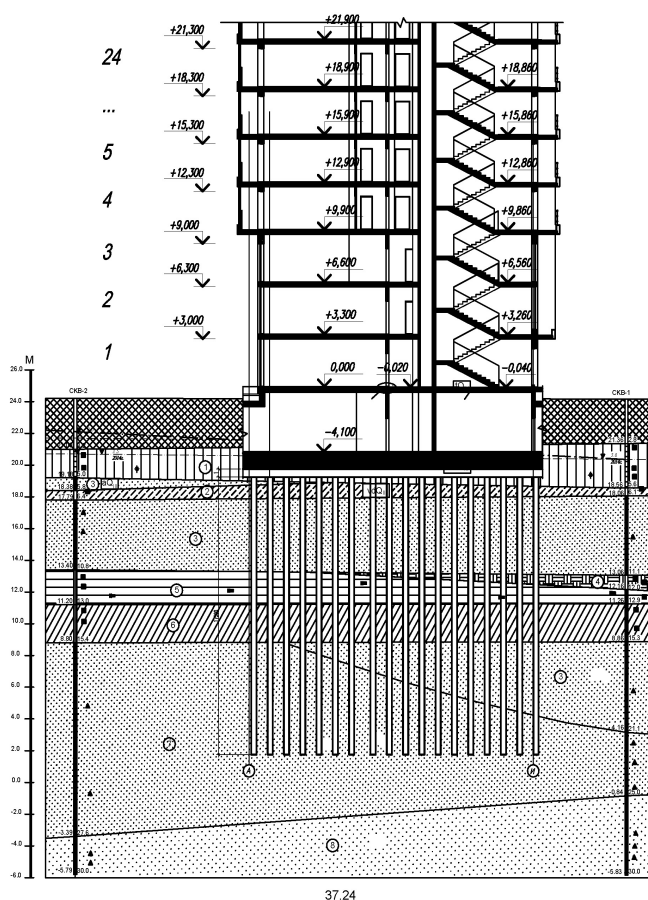


Рисунок 19 – Грунтовые условия площадки строительства 25-этажного жилого дома по ул. Монтажников в г. Краснодаре

В качестве исходного варианта был рассмотрен плитный фундамент, для которого была назначена толщина фундаментной плиты $h=1000\text{мм}$. В результате расчетов выявлены значительные деформации плиты ($S_{ф.п.}$), а также недопустимый крен в сторону поднятия слоя торфа и уменьшения мощности слоя ИГЭ-3. Выявленный факт сделал применение плитного фундамента в данных грунтовых условиях необоснованным (см. рисунок 20). Напряжения, вызванные весом здания, превышают начальное просадочное давление ($P_{st}=170\text{кПа}$) во всех точках под подошвой фундамента. Таким образом, к расчетным деформациям добавятся деформации просадки.

Таблица 3 - Сводная таблица физико-механических характеристик грунтов

№ п/п	Полное наименование грунта	Мощность, м	Плотность грунта, ρ , г/см ³	Удельное сцепление c , кПа	Угол внут. трения, φ , град.	Модуль общей деформации E , МПа
	Насыпной неоднородный слежавшийся грунт	2,1-2,8	–	–	–	–
1	Суглинок просадочный	1,8-2,8	1,83	19	20	14/7*
2	Супесь пластичная	0,5-0,6	1,99	12	14	10,5
3	Песок мелкий	4,8-6,0	1,96	-	32	23,0
4	Торф сильно разложившийся, высокозольный	0,9-1,0	1,16	23	19	1,0
5	Глина тугопластичной консистенции, слабозаторфованная.	0,9-1,1	1,88	43	17	5,0
6	Суглинок тугопластичной консистенции	2,4-4,1	1,89	27	18	17,6
7	Песок мелкий, плотный	3,9-4,3	2,02	-	34	32
	Песок средней крупности, плотный	Более 5,0	2,05	-	34	32

*- в водонасыщенном состоянии

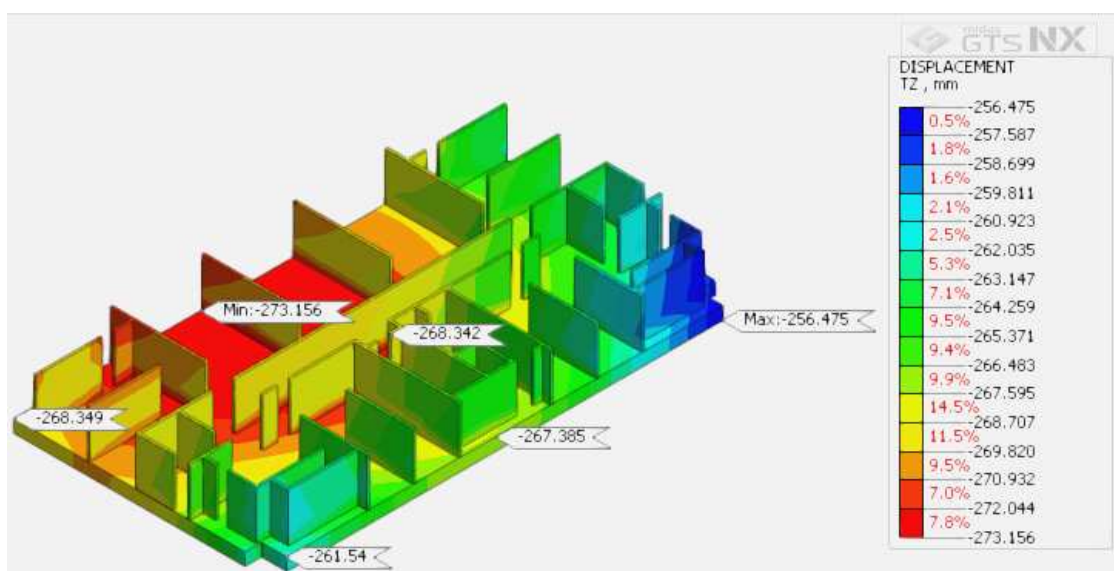


Рисунок 20 - Результаты расчета осадок плитного фундамента

В этой ситуации рассматривался вариант фундамента с заменой просадочного слоя (см. рисунок 20 **Ошибка! Источник ссылки не найден.**) на слой с высокими механическими и жесткостными характеристиками (малодеформируемый щебенистый слой толщиной 1000мм, $E_0=40\text{МПа}$, $C=20\text{кПа}$, $\varphi=35^\circ$).

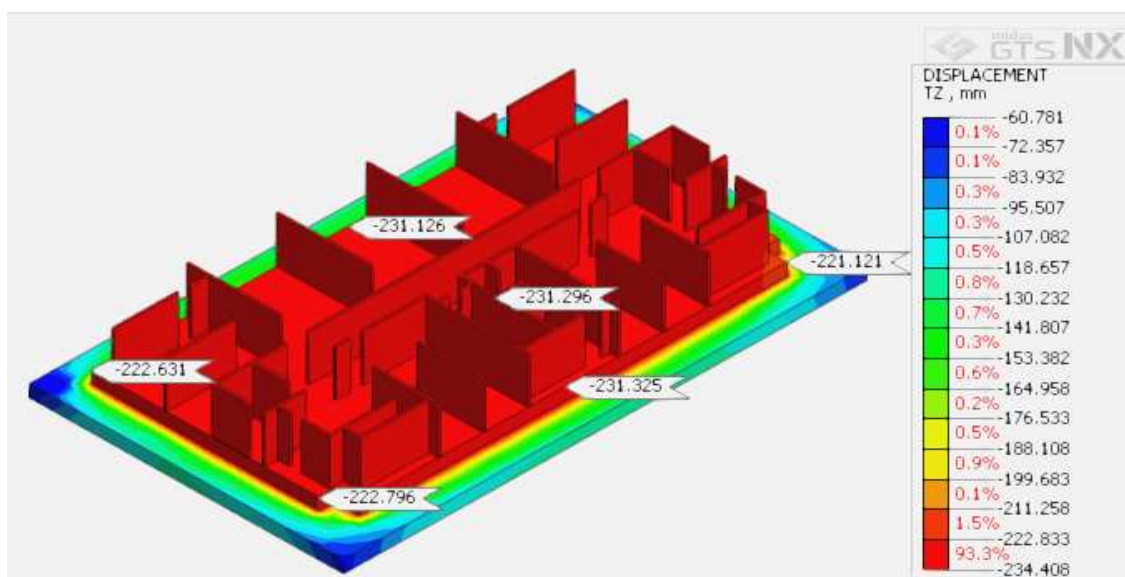


Рисунок 21 – Результаты расчётов плитного фундамента с заменой просадочных грунтов

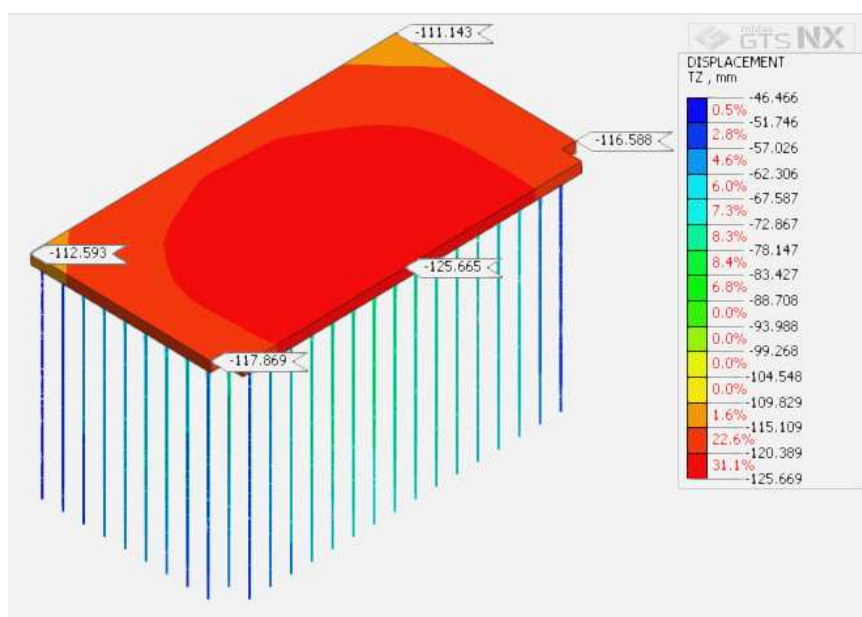
В результате сравнения установлено, что замена просадочного грунта соспособствовала снижению осадок на 15% в среднем. Однако данный вариант устройства фундамента проблему высоких осадок не решил (см. рисунок 21), но их неравномерность незначительно снизилась благодаря деформационным характеристикам подушки из щебня.

Поскольку ни один из вариантов плитного фундамента не удовлетворял требованиям второй группы предельных состояний, было принято решение о рассмотрении вариантов с использованием свай для передачи нагрузок на более прочные грунты основания.

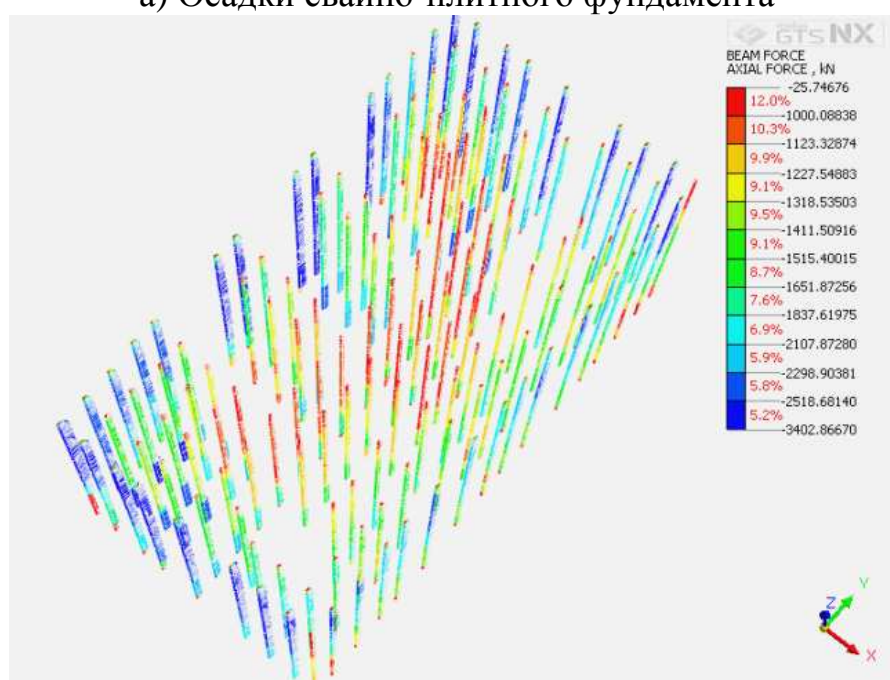
Первым вариантом технического решения фундамента здания стал свайно-плитный фундамент (СПФ) из буровых свай длиной 20м и диаметром 700мм, потому что при его устройстве практически отсутствуют динамические нагрузки на рядом расположенные здания и сооружения. В результате расчетов были получены осадки здания, удовлетворяющие нормативным требованиям ($S_{max}=126\text{мм}$) [1,2]. Однако в ходе расчетов полученные усилия и моменты в сваях оказались намного выше значений прочности грунта окружающего сваю.

Конструктивное решение фундаментной части здания показано на рисунке 22.

В качестве второго варианта фундамента было использовано известное техническое решение – плитный фундамент на армированном основании (свайный фундамент с промежуточной подушкой (СФПП)) [6,7,8,12]. Данное решение отличается от предыдущего тем, что между фундаментом и сваями нет конструктивной связи, между оголовками свай и плитным ростверком расположена промежуточная подушка из малосжимаемого материала, позволяющая при сейсмическом воздействии существенно снизить горизонтальные усилия, возникающие в сваях.



а) Осадки свайно-плитного фундамента

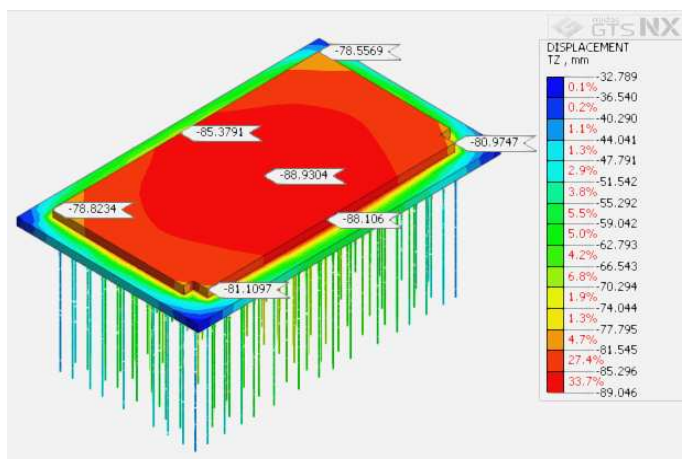


в) Вертикальные усилия в сваях

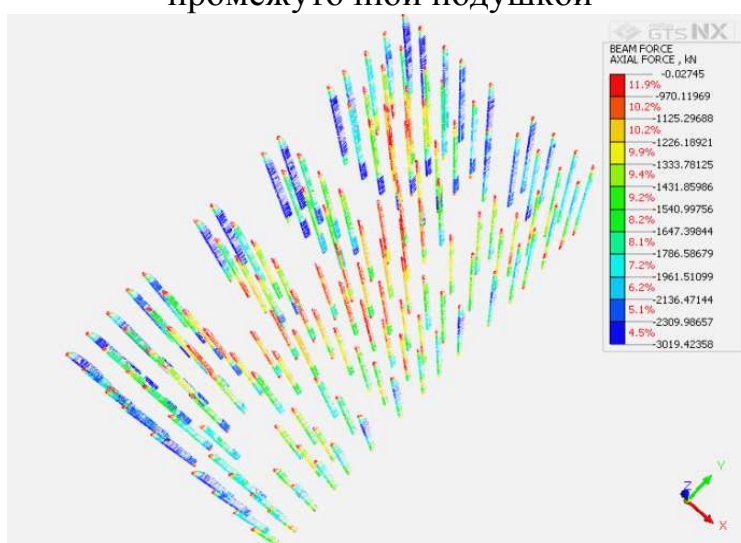
Рисунок 22 - Результаты моделирования свайно-плитного фундамента на исследуемом объекте



а) Общий вид свайного фундамента с промежуточной подушкой



б) Осадки свайного фундамента с промежуточной подушкой



в) Вертикальные усилия в элементах армирования

Рисунок 23 – Результаты моделирования вертикально армированного основания на исследуемом объекте

В результате расчетов, проведенных по данному варианту, удалось установить, что прогнозная максимальная осадка здания составит около 89мм (см. рисунок 23б), что на 67,6% ниже, чем при использовании плитного варианта. Также было отмечено, что максимальная нагрузка на сваю уменьшилась на ≈ 400 кН (см. рисунок 23в). Данный факт говорит о перераспределении нагрузок, передаваемых на основание, между фундаментной плитой и свайным основанием. В данном случае такое

перераспределение позволяет более полно использовать несущую способность плитного ростверка.

В настоящее время ведется геотехнический мониторинг за поведением несущих конструкций и фундаментов здания во времени.

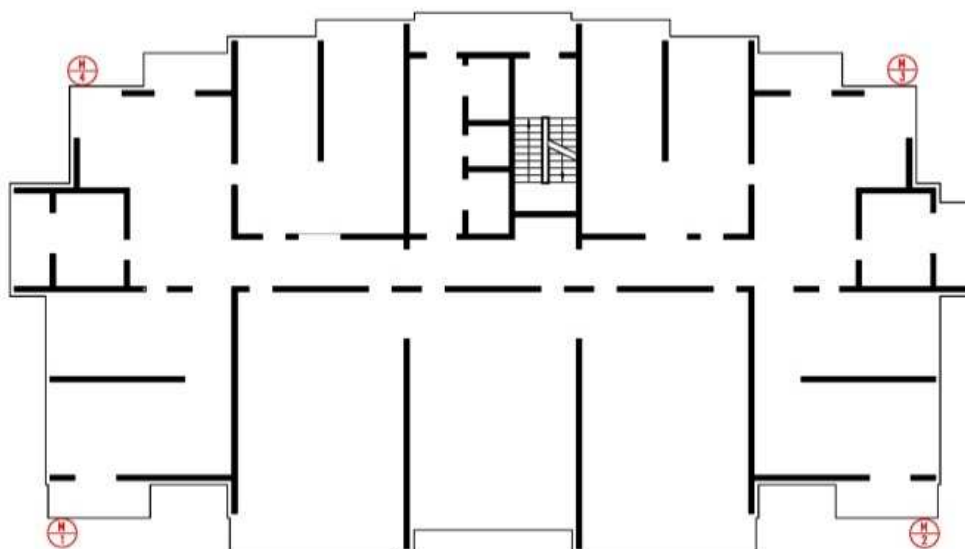


Рисунок 24 – Схема расположения деформационных марок

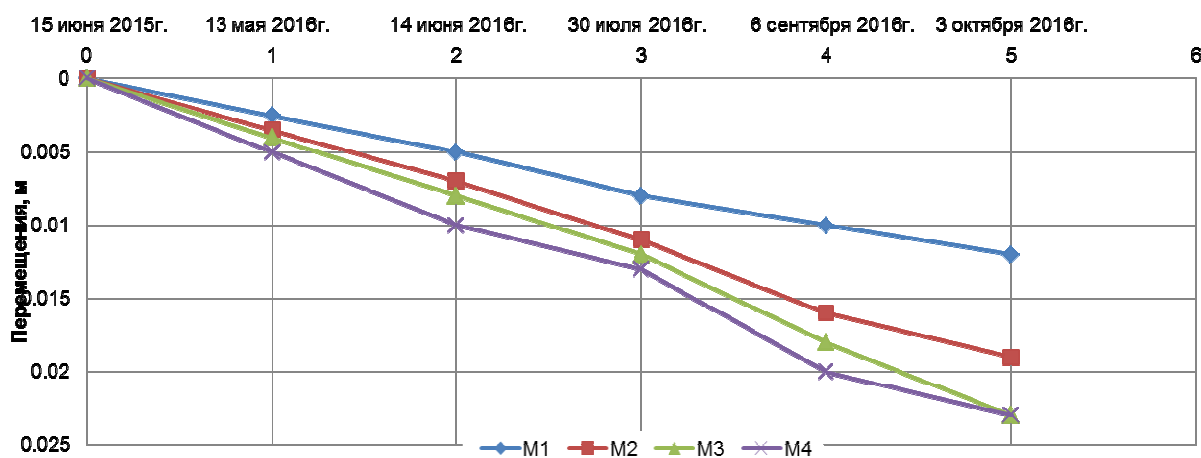


Рисунок 25 – Осадки углов здания в зависимости от циклов измерений

Из графиков (рисунок 25) видно, что углы здания садятся немного неравномерно, что в свою очередь говорит о сложном напластовании слабых грунтов. Однако все полученные значения по характеру развития деформаций соответствуют расчетных прогнозам и находятся в пределах нормативного допуска.

На рисунке 26 показано сопоставление замеренных и расчетных осадок для исследуемого жилого дома.

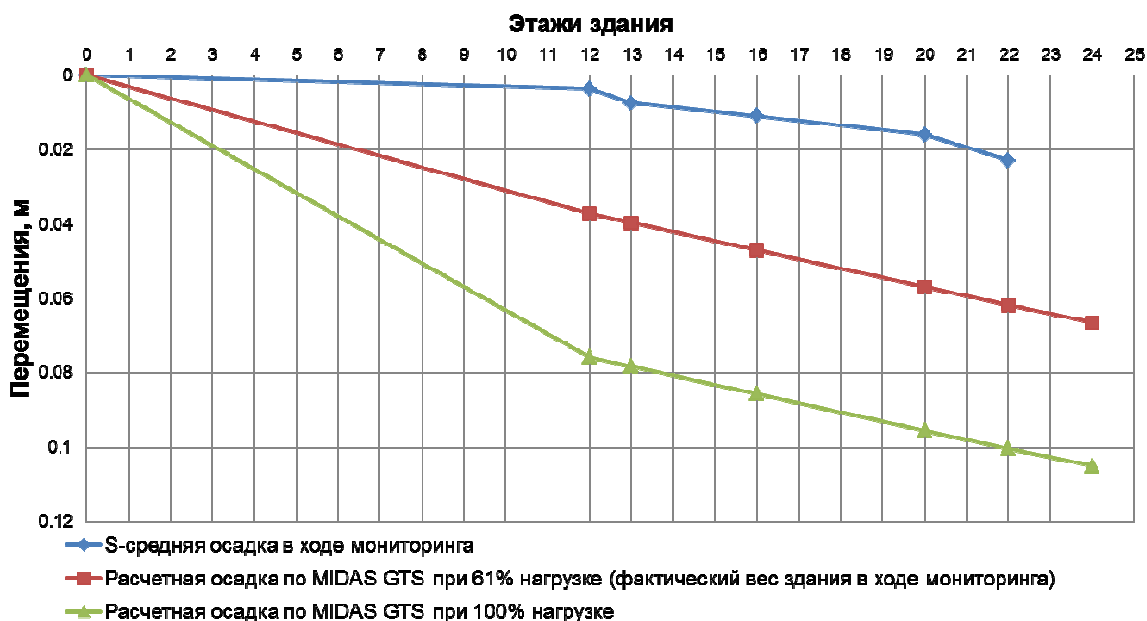


Рисунок 26 – Графики зависимости осадки здания от этажности (замеренная/расчетная)

Из результатов сопоставления видно, что расчетные осадки значительно превышают замеренные на текущем этапе строительства. Данный результат можно объяснить двумя факторами:

- недостаточность изученности инженерно-геологического строения грунтов оснований;
- высокой распределительной способностью армированных грунтовых оснований, в которых все элементы фундаментной конструкции работают в значительной степени более эффективно, нежели это предполагалось в расчетах.



Рисунок 27 – Этапы возведения 25-этажного жилого дома на вертикально армированном основании

После проведения численных экспериментов для высотного здания, возводимого на слабых глинистых грунтах, были сделаны следующие выводы:

- Применение плитного фундамента, даже с заменой просадочных грунтов на более прочные непросадочные, не обеспечивает допустимые деформации;
- Использование традиционного свайно-плитного фундамента позволяет снизить осадки за счет передачи большей части нагрузки на прочные и малосжимаемые песчаные грунты ИГЭ-7. Однако установленные в ходе расчетов значения горизонтальных сил и моментов в оголовках вызывают напряжения на боковой

поверхности сваи, превышающие значение прочности грунта, окружающего сваю;

- Предложенный вариант армирования основания жесткими вертикальными элементами позволил не только снизить деформации основания, но и распределить напряжение от здания между фундаментной плитой и массивом армированного основания более рационально.

Общие выводы и дальнейшие перспективы

1. Сопоставление полученных на этапе проектирования осадок фундаментов высотных зданий с данными периодического геотехнического мониторинга дает возможность установить пределы применимости различных моделей грунтов, а также позволяет более точно и обоснованно прогнозировать развитие деформаций оснований во времени, что является необходимым условием для обеспечения безаварийной эксплуатации зданий и сооружений.
2. Разработанные системы оперативного реагирования на превышение допустимых параметров в ходе строительства и дальнейшей эксплуатации зданий позволяют своевременно предусмотреть комплекс мер по минимизации влияния неравномерных деформаций.
3. Корректная оценка работы системы «основание – фундамент – надземное сооружение» позволяет избежать необоснованных расходов на возведение фундаментов и надземных конструкций высотных зданий.

Литература

1. СП 22.13330.2011 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* / институт ОАО «НИЦ «Строительство» (НИИОСП им. Н.М. Герсеванова). — Москва, Россия, Минрегион, 2011.
2. СП 24.13330.2011 Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85* / институт ОАО "НИЦ "Строительство" (НИИОСП им. Н.М.Герсеванова). — Москва, Россия, Минрегион, 2011.
3. СП 14.13330.2011 Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81* / институт ОАО "НИЦ "Строительство". — Москва, Минрегион, 2011. — с. 167.
4. СНКК 22-301-2000 Строительство в сейсмических районах Краснодарского края / НТЦ GeoПроект Кубанского Государственного аграрного университета. — Краснодар, Типография администрации Краснодарского края, 2002.
5. СП 11-105-97 Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов / (ПНИИИС) Госстроя России, МГСУ. — Москва, 2001.
6. Справочник проектировщика. Основания и фундаменты, подземные сооружения / Сорочан Е.А., Трофименков Ю.Г. — Москва, Россия, Стройиздат, 1985.
7. Руководство по проектированию свайных фундаментов / НИИОСП им. Герсеванова. — Москва Госстрой, 1980.
8. Рекомендации по проектированию свайных фундаментов с промежуточной подушкой для зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах / НИИ оснований им. Герсеванова при уч.института "Фундамент-проект". — Кишинев, МолдавияЦК КП Молдавии, 1974.
9. Маковецкий О.А., Зуев С.С. Опыт армирования слабых грунтов в основании фундаментных плит с применением струйной геотехнологии // Международная конференция по геотехнике. — Москва, 2010.
10. Малинин, А. Г., Гладков И. Л., Жемчугов А. А. Исследование прочностных и деформационных характеристик грунтоцемента в зависимости от технологических параметров струйной цементации// Промышленное и гражданское строительство, №6 2011. — с. 55.
11. Мирсаяпов И.Т., Попов А.О. Экспериментально-теоретические исследования работы армированных грунтовых массивов// Известия КазГАСУ, №2, Oct. 2008. — с. 75-80.
12. Столяров В.Г. О сейсмических воздействиях и сейсмостойких фундаментах// Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета, №3, 2005. — с. 34-38.
13. Мирсаяпов И.Т. Веб-сайт Министерства строительства, архитектуры и ЖКХ Республики Татарстан. [Электронный ресурс], [http://minstroy.tatarstan.ru/file/1%D0%B4\(1\).pdf](http://minstroy.tatarstan.ru/file/1%D0%B4(1).pdf), (дата обращения: 12.Июнь.2013).
14. Применение. Возможности. Midas GTS NX. [Электронный ресурс], <http://midasit.ru/products/products.asp?strCate=midasGTS>
15. Skorobagatko K. www.youtube.com. [Электронный ресурс], <https://www.youtube.com/watch?v=ZuNEKPogU6s>
16. Сайт: <http://www.navgeocom.ru>
17. Сайт: <http://www.plaxis.ru/page/4862/>

References

1. SP 22.13330.2011 Osnovaniya zdaniy i sooruzhenij. Aktualizirovannaja redakcija SNiP 2.02.01-83* / institut OAO «NIC «Stroitel'stvo» (NIIOSP im. N.M. Gersevanova). — Moskva, Rossija, Minregion, 2011.
2. SP 24.13330.2011 Svajnye fundamenty. Aktualizirovannaja redakcija SNiP 2.02.03-85* / institut OAO "NIC "Stroitel'stvo" (NIIOSP im. N.M.Gersevanova). — Moskva, Rossija, Minregion, 2011.
3. SP 14.13330.2011 Stroitel'stvo v sejsmicheskikh rajonah. Aktualizirovannaja redakcija SNiP II-7-81* / institut OAO "NIC "Stroitel'stvo". — Moskva, Minregion, 2011. — c. 167.
4. SNKK 22-301-2000 Stroitel'stvo v sejsmicheskikh rajonah Krasnodarskogo kraja / NTC GeoProekt Kubanskogo Gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. — Krasnodar, Tipografija administracii Krasnodarskogo kraja, 2002.
5. SP 11-105-97 Inzhenerno-geologicheskie izyskanija dlja stroitel'stva. Chast' II. Pravila proizvodstva rabot v rajonah razvitija opasnyh geologicheskikh i inzhenerno-geologicheskikh processov / (PNIIS) Gosstroja Rossii, MGSU. — Moskva, 2001.
6. Spravochnik proektirovshhika. Osnovaniya i fundamenty, podzemnye sooruzhenija / Sorochan E.A., Trofimenkov Ju.G. — Moskva, Rossija, Strojizdat, 1985.
7. Rukovodstvo po proektirovaniju svajnyh fundamentov / NIIOSP im. Gersevanova. — Moskva Gosstroj, 1980.
8. Rekomendacii po proektirovaniju svajnyh fundamentov s promezhutochnoj podushkoj dlja zdaniy i sooruzhenij, vozvodimyh v sejsmicheskikh rajonah / NII osnovanij im. Gersevanova pri uch.instituta "Fundament-proekt". — Kishinev, MoldavijaCK KP Moldavii, 1974.
9. Makoveckij O.A., Zuev S.S. Opyt armirovaniya slabyh gruntov v osnovanii fundamentnyh plit s primeneniem strujnoj geotehnologii // Mezhdunarodnaja konferencija po geotehnike. — Moskva, 2010.
10. Malinin, A. G., Gladkov I. L., Zhemchugov A. A. Issledovanie prochnostnyh i deformacionnyh harakteristik gruntocementa v zavisimosti ot tehnologicheskikh parametrov strujnoj cementacii// Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo, №6 2011. — c. 55.
11. Mirsajapov I.T., Popov A.O. Jeksperimental'no-teoreticheskieissledovanija raboty armirovannyh gruntovyh massivov// Izvestija KazGASU, №2, Oct. 2008. — c. 75-80.
12. Stoljarov V.G. O sejsmicheskikh vozdeystvijah i sejsmostojkikh fundamentah// Vestnik Severo-Kavkazskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta, №3, 2005. — c. 34-38.
13. Mirsajapov I.T. Veb-sajt Ministerstva stroitel'stva, arhitektury i ZhKH Respubliki Tatarstan. [Jelektronnyj resurs], [http://minstroy.tatarstan.ru/file/1%D0%B4\(1\).pdf](http://minstroy.tatarstan.ru/file/1%D0%B4(1).pdf), (data obrashhenija: 12.Ijun'.2013).
14. Primenenie. Vozmozhnosti. Midas GTS NX. [Jelektronnyj resurs], <http://midasit.ru/products/products.asp?strCate=midasGTS>
15. Skorobagatko K. www.youtube.com. [Jelektronnyj resurs], <https://www.youtube.com/watch?v=ZuNEKPogU6s>
16. Sajt: <http://www.navgeocom.ru>
17. Sajt: <http://www.plaxis.ru/page/4862/>