

1.2.2.

<sup>1</sup>А.О. Попов, <sup>1</sup>Ф.М. Ахметов, <sup>1,2</sup>Л.С. Сабитов, <sup>3</sup>И.Н. Гарькин, <sup>4</sup>Л.И. Киямова<sup>1</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань,<sup>2</sup>Казанский государственный энергетический университет, Казань,<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (Первый казачий университет), Пенза,<sup>4</sup>Казанский филиал НО Ассоциация «Ростехэкспертиза», Казань

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ С ФУНДАМЕНТАМИ СВАЙНОГО ТИПА

Для сохранения объектов культурного наследия требуется определить при его реальное напряжённно-деформированного состояния свайных оснований с использованием САПР. На примере создания массива моделей доказываются преимущества использование программного комплекса PLAXIS для сохранения объектов культурного наследия.

Ключевые слова: программный комплекс, автоматизация расчетов, PLAXIS, цифровое моделирование, объекты культурного наследия, обследование, свайный фундамент.

Объекты культурного наследия федерального значения являются знаковыми объектами архитектуры и в большинстве своём уникальными с инженерной точки зрения объектами. Соответственно их сохранению является сложной и многогранной технической задачей, решение которой возможно только с помощью передовых методов, особенно с использованием цифрового моделирования.

Результаты комплексных научных исследований и описания объектов исследований приведем на наиболее сложных и интересных объектах основания, которых устроены с использованием свайных фундаментов. Свайные основания использовались как для устройства основания зданий, так и для основания набережных и подпорных стен. Результаты комплексных исследований проведем на примере объектов культурного наследия федерального значения, обеспечение сохранности которых не вызывает сомнения, а именно:

- «Центральная башня Главного Адмиралтейства г. Санкт-Петербург».

Моделирование моделей массива нескального грунта использовалась упругопластическая модель с поверхностью текучести по Мору-Кулону. Каменная кладка моделировалась с использованием критерия разрушения Хека-Брауна. Для моделирования свайного основания использовалась пользовательская модель «custom model of the transformed pile». На рис.1-3 показаны модели здания на основе реальных обмеров.

Целью проведения поверочных расчетов является выявление качественных и количественных характеристик напряженно деформированного состояния. При построении конечно-элементной геотехнической модели учитывались подземная часть

Для определения зоны влияния и прогнозирования возможных дополнительных деформаций (горизонтальные, вертикальные, общие перемещения) массива грунта, вмещающие в себя фундаменты существующих зданий, сооружений и подземных коммуникаций, проведенные строительные работы, построены геомеханические модели массива грунта.

Расчет глубины сжимаемой толщи произведен по формуле 8 Приложения 2 СП 22.13330.2011:

$$H = (H_0 + \psi \cdot b)k_p, \text{ где}$$

где  $H_0$  и  $\psi$  – принимаются соответственно равными для оснований, сложенных: глинистыми грунтами – 6 м и 0,1;

$b=5,5$  м - ширина прямоугольного фундамента;

$k_p$  – коэффициент, принимаемый равным:  $k_p = 0,8$  при среднем давлении под подошвой фундамента  $p = 100$  кПа ( $1 \text{ кгс/см}^2$ );  $k_p = 1,2$  при  $p = 500$  кПа ( $5 \text{ кгс/см}^2$ ), а при промежуточных значениях – по интерполяции.

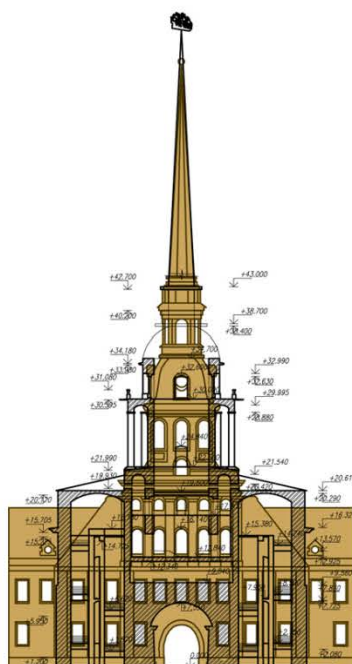


Рис. 1 - Схематичное наложение разреза, построенного по обмерам

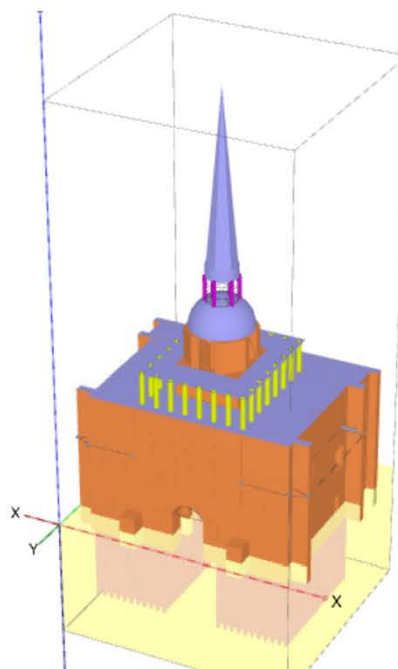


Рис. 2 - Расчетная схема здания Главного Адмиралтейства г. Санкт-Петербург

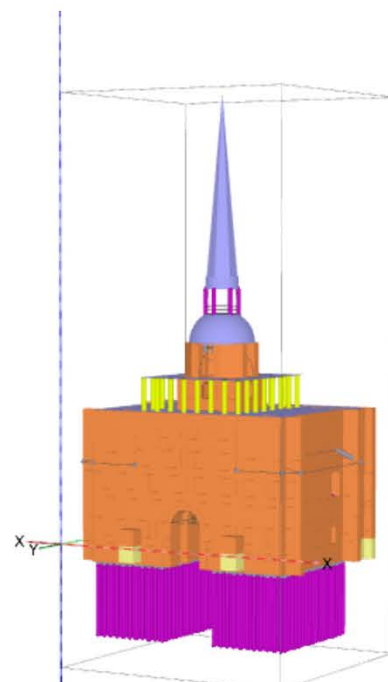
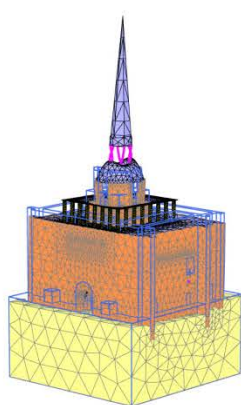


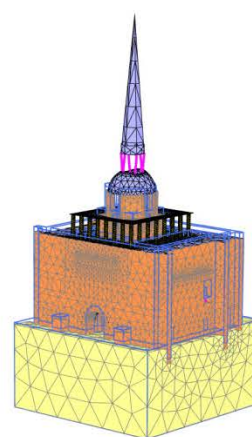
Рис. 3 - Расчетная схема здания Главного Адмиралтейства г. Санкт-Петербург на этапе утраты оголовков свай

В ходе обследования были смоделирована работа строительных конструкций здания до и после потери оголовков свай (рис.4..7). Возможные дефекты основания объекта культурного значения могут являться причиной потери устойчивости, что может привести к возникновению аварийной ситуации вплоть до обрушения здания.



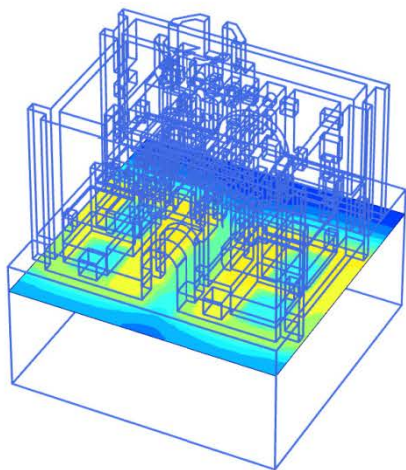
Deformed mesh  $|u|$  (scaled up 50,0 times)  
Maximum value = 0,06117 m (at Node 23488)

Рис. 4 - Деформированная схема здания Главного Адмиралтейства г. Санкт-Петербург до утраты оголовков свай

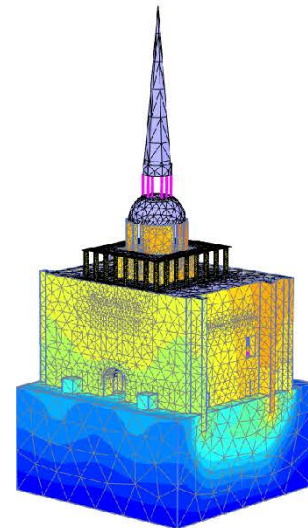


Deformed mesh  $|u|$  (scaled up 20,0 times)  
Maximum value = 0,07742 m (at Node 2823)

Рис. 5 - Деформированная схема здания Главного Адмиралтейства г. Санкт-Петербург после утраты оголовков свай



Total displacements |u| (scaled up 50,0 times)  
Maximum value = 0,04021 m



Total displacements |u| (scaled up 50,0 times)  
Maximum value = 0,07267 m (Element 2501 at Node 1985)

Рис. 6 - Горизонтальная проекция изополей перемещений основания в уровне подошвы ростверка до утраты оголовков свай

Рис. 7 - Изополя общих перемещений здания Главного Адмиралтейства г. Санкт-Петербург после утраты оголовков свай

Output Version 21.1.0.479

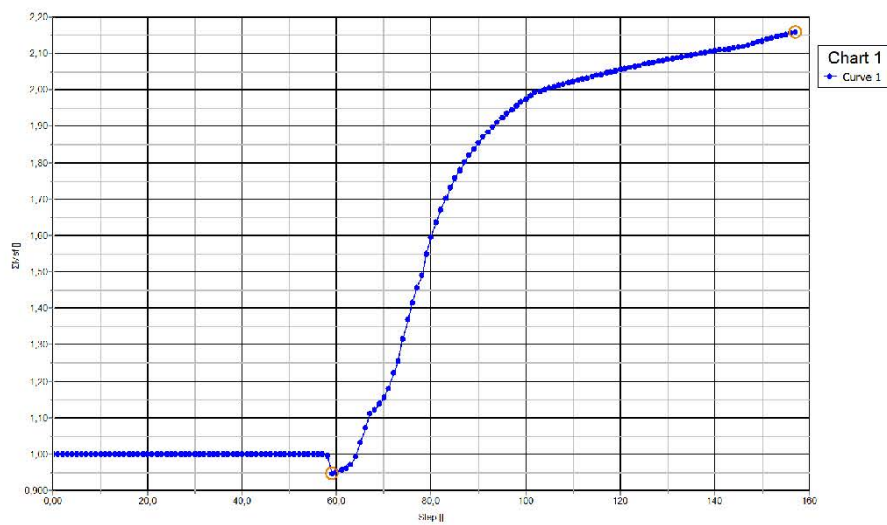


Рис. 8 - График-зависимость коэффициента устойчивости системы показывает, что коэффициент устойчивости основания фундаментов не менее 2,1, с учетом отсутствия оголовков свай

Соответственно, по результатам поверочных расчетов и моделирования конструкций выявлено, что утрата оголовков свай приведет к дополнительным перемещениям до 12 мм, что меньше регламентированных значений указанных в рекомендуемом приложении Е СП 22.13330. По выявленным дефектам была дана рекомендация об усилении строительных конструкций в т.ч. фундамента.

**Список литературы**

1. Попов А.О., Маляян Л.Р., Сабитов Л.С., Данилов А.М., Гарькин И.Н. Системный подход к анализу технического состояния объектов культурного наследия на примере корпуса «Орешек» Шлиссельбургской крепости // Региональная архитектура и строительство. 2023. № 4 (57). С. 199-205
2. Саденко Д.С., Гарькин И.Н., Маляян Л.Р., Сабитов Л.С. Виброметрические методы диагностики строительных конструкций // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2023. Т. 15. № 3 (59). С. 175-189
3. Скачков Ю.П., Данилов А.М., Гарькина И.А. Модификация метода ПАТТЕРН к решению архитектурно-строительных задач // Региональная архитектура и строительство. – 2011. – № 1. – С. 4-9
4. Языев Б.М., Чепурненко А.С., Литвинов С.В., Языев С.Б. Расчёт трёхслойной пластинки методом конечных элементов с учётом ползучести среднего слоя // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки.– 2014. – № 2 (33). – С. 47-55.
5. Гарькина И.А., Малышева К.С. Математическое моделирование: интерполяция, аппроксимация и оптимизация при анализе и синтезе сложных систем // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2022. – № 5(42). – С. 107-113
6. Андреев В.И., Языев Б.М., Чепурненко А.С., Литвинов С.В. Расчет трехслойной полой оболочки с учетом ползучести среднего слоя // Вестник МГСУ. – 2015. – № 7. –С. 17-24.
7. Попов А.О., Матвеев И.Ю., Бирюлева Д.К. Прочность по нормальным сечениям и деформативность кирпичных цилиндрических сводов, усиленных углеродными холстами // Известия КГАСУ. - 2015. -№ 2 (32). - С. 168–175.