

2. Кригер Л. В. Архитектура исторических городов Воронежской области / Л. В. Кригер, Г. А. Чесноков. – Воронеж: Центр духовного возрождения Черноземного края, 2002. – С. 166–167.
3. Караулов Е. В. Каменные конструкции. Их развитие и сохранение / Е. В. Караулов. – М.: Госстройиздат, 1966. – 248 с.
4. Онищик Л. И. Прочность и устойчивость каменных конструкций: в 2 ч. / Л. И. Онищик. – М.: ОНТИ, 1937. – Ч. I: Работа элементов каменных конструкций.
5. Камейко В. А. Прочность кирпичной кладки, включенной в обойму / В. А. Камейко, Р. Н. Квитницкий // Исследования по каменным конструкциям: сб. ст. – М.: Стройиздат, 1957. – С. 14–51.
6. Материалы по истории строительной техники. Работы американцев Гиатта и Уорда по созданию железобетона. – М., 1962. – Вып. 2. – С. 92–99.
7. Гойкалов А. Н. Несущая способность стен из мелких ячеистобетонных блоков с косвенным армированием / А. Н. Гойкалов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2005. – № 12. – С. 20–21.
8. Инчик В. В. Кирпичный наряд Невского проспекта / В. В. Инчик. – СПб., 2016. – 180 с.
9. Инчик В. В. Высолы и солевая коррозия кирпичных стен / В. В. Инчик. – СПб., 1998. – 324 с.
10. Фиш Л. М. Фабрики и заводы всей России / Л. М. Фиш. – Киев, 1913. – С. 1107.
11. Указатель фабрик и заводов Европейской России и Царства Польского. – СПб., 1887. – С. 287.
12. Щеглов А. С. Инженерная реставрация памятников архитектуры: учеб. пос. / А. С. Щеглов, А. А. Щеглов. – М., 2018. – 520 с.

© А. Н. Гойкалов, В. И. Щербаков

**Ссылка для цитирования:**

Гойкалов А. Н., Щербаков В. И. Исследование технического состояния исторических зданий и анализ сохранности каменной кладки несущих конструкций // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань: ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2021. № 1 (35). С. 15–19.

УДК 624.036.621.87

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО АНАЛИЗА СИСТЕМЫ «ЗДАНИЕ – СВАЙНЫЙ ФУНДАМЕНТ – ГРУНТОВОЕ ОСНОВАНИЕ» С ПОМОЩЬЮ «MIDAS GTS NX»**

**Н. В. Купчикова, А. Н. Сычков**

*Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Россия*

Рассмотрен поэтапный процесс создания модели «здание – свайный фундамент – грунтовое основание». Показана подготовка 3D-модели здания в программных комплексах «САПФИР» и «ЛИРА-САПР», её экспорт в комплекс по решению сложных геотехнических задач «MIDAS GTS NX» с помощью встроенного конвертора. Продемонстрировано создание модели «грунтовое основание» в программном комплексе «MIDAS GTS NX» путем формирования заготовки для грунта в виде объемного тела; разделение массива основания и выемки на слои, которые соответствуют слоям грунта; добавление скважин, а также объединение массива основания с выемкой. Отражено задание свойств интерфейса для всех свай проекта, а также связывание свойств каждой части свай со слоем грунта, который она пронизывает. Задана стадийность, которая включает в себя расчет массива основания до выемки и после выемки грунта, возведения фундамента и здания. Выполнен анализ напряженно-деформированного состояния системы «здание – свайный фундамент – грунтовое основание».

**Ключевые слова:** *грунтовое основание, свая, свайный интерфейс, программный комплекс, модель здания, массив основания, напряженно-деформированное состояние.*

**RESULTS OF NUMERICAL ANALYSIS OF THE "BUILDING – PILE FOUNDATION – GROUND FOUNDATION" SYSTEM USING THE "MIDAS GTS NX"**

**N. V. Kupchikova, A. N. Sychkov**

*Astrakhan State University of Architecture and Construction, Astrakhan, Russia*

The step-by-step process of building-soil foundation model creation is considered. The preparation of the building model in «SAP-PHIR» and «LIRA-SAPR» software complexes is shown, the model is exported from «LIRA-SAPR» software complex to «MIDAS GTS NX» software complex using an integrated converter. The creation of the «soil base» model in the program complex «MIDAS GTS NX» is shown, by forming a blank for soil in the form of a volume body, creating an excavation, dividing the base mass and excavation into layers that correspond to soil layers, adding wells, as well as combining the base mass with excavation. Specifies the pile interface properties for all piles in the project, and links the properties of each part of the pile to the soil layer it penetrates. The staging which includes calculation of the mass of the basis before dredging, calculation after dredging, calculation after construction of the base and calculation after construction of the building is set. This model was calculated and the stress-strain state of the building-soil foundation model was analyzed.

**Keywords:** *the soil basis, a pile, the pile interface, a program complex, building model, the mass of the basis, the intense deformed state.*

Развитие компьютерных технологий и увеличение вычислительных возможностей позволило расширить объемы решаемых задач и сократить время их вычислений, в особенности при проектировании сложных геотехнических задач. Все это вызвало появление большого количество специализированных геотехнических программных комплексов (ПК), которые позволяют моделировать и проводить расчеты грун-

тового массива, а также оценивать его напряженно-деформированное состояние (НДС – история нагружения, деформации пластического течения, реологические свойства грунта и т. д.) [1–16].

Современные нормы проектирования оснований и фундаментов не дают четкого ответа как спрогнозировать или оценить поведение грунтового массива на всех этапах строительства, так как аналитическими методами расчета

это сделать практически невозможно. Поэтому было введено допущение рассматривать грунтовый массив как сплошную среду, что позволило применить математический аппарат теории упругости и пластичности, механики сплошных сред.

В нашей стране для расчета оснований и фундаментов зданий и сооружений различного класса ответственности широко применяется ПК «MIDAS GTS NX» корейской компании MIDAS IT (MIDAS Information Technology Co., Ltd.). Данный комплекс позволяет выполнять широкий спектр геотехнических расчетов любой сложности. В основу расчета положен метод конечных элементов (МКЭ), который позволяет генерировать гибридную сетку элементов независимо от сложности задачи.

В данной статье рассматриваются этапы моделирования, расчета и анализа НДС массива грунта при строительстве семиэтажного жилого здания с монолитным железобетонным каркасом.

Для подготовки передачи модели здания в ПК «MIDAS GTS NX» были выполнены следующие этапы:

- проведен сбор нагрузок, действующих на проектируемое здание;
- определены усилия в конструктивных элементах;
- произведены расчеты его конструктивных элементов, а также пространственной схемы здания при различном сочетании нагрузок.

Расчеты элементов конструкций, а также анализ пространственной работы проектируемого здания проводились с применением ПК «ЛИРА-САПР» и «САПФИР».

Данное здание имеет размеры в осях А-М – 27200 мм, в осях 1–11 – 2700 мм. Сетка осей имеет нерегулярный шаг, что вызвано архитектурно-планировочным решением. Несущей системой

здания являются колонны из монолитного железобетона. Пространственная жесткость здания обеспечивается стенами лестнично-лифтового узла, жестко связанными с плитами перекрытия.

Фундамент свайно-плитный. Размеры фундаментной железобетонной плиты в осях 30200 × 30200 мм. Высота плиты  $h = 800$  мм. Для свайно-плитного фундамента были приняты забивные сваи с размерами  $H \times B = 400 \times 400$  мм и длиной  $L = 7000$  мм. Расстояние между центрами свай 2000 мм. Сваи равномерно распределены по всей площади фундаментной плиты. Кроме того, плита имеет вылет 1000 мм.

Модель здания с плитно-свайным фундаментом показана на рисунке 1. Далее для статического расчета выполняем перенос модели здания из ПК «САПФИР» в ПК «ЛИРА-САПР» (рис. 2).

Для моделирования основания была принята площадка строительства  $120 \times 120$  м; размеры котлована понизу:  $L_1 = 36$  м и  $L_2 = 36$  м; поверху –  $L_3 = 46$  и  $L_4 = 46$  м. Коэффициент откоса  $m$  равен  $m = 2$ . Высота котлована  $H = 2,2$  м. Грунтовый массив включает следующие инженерно-геологические элементы, представленные в таблице 1.

Таблица 1

**Инженерно-геологические элементы**

ИГЭ	Грунт	Толщина, м	Отметка, м
1	Песок средней крупности	1,2	1,2
2	Песок средней крупности	1,5	2,7
3	Суглинок	2,4	5,1
4	Супесь	1,7	6,8
5	Песок мелкий	7,0	13,8
6	Глина	6,2	20,0

Характеристики грунта приведены в таблицах 2, 3 и 4.

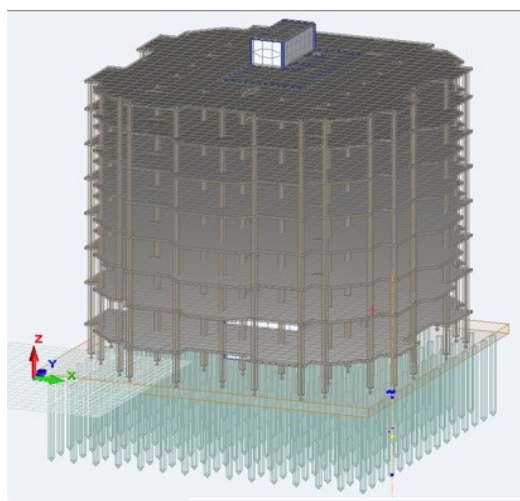


Рис. 1. Модель здания в ПК «САПФИР»

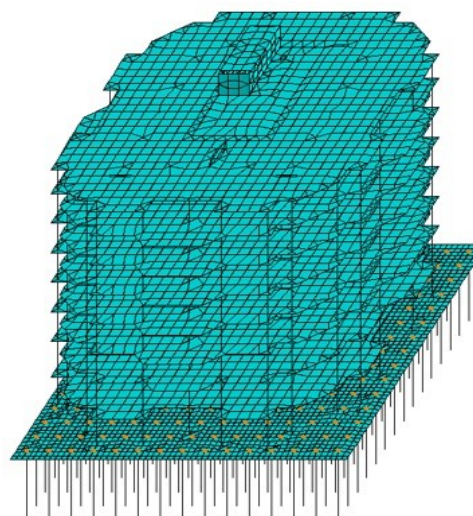


Рис. 2. Модель здания в ПК «ЛИРА-САПР»

Таблица 2

**Характеристики грунта**

Name	$\nu$	$\gamma$	$K_0$	Thermal Coeff.	Molecular Vapor Diffusion	Thermal diffusion Enhancem	Damping Ratio	$\gamma_{sat}$	$e_o$
1	0.21	17.4	0.41	1.00E-06	0	0	0.05	21	0.5
2	0.23	17.4	0.58	1.00E-06	0	0	0.05	21	0.5
3	0.18	20.2	0.46	1.00E-06	0	0	0.05	21	0.5
4	0.21	17.7	0.51	1.00E-06	0	0	0.05	21	0.5
5	0.25	19.3	0.73	1.00E-06	0	0	0.05	21	0.5
6	0.17	19.5	0.79	1.00E-06	0	0	0.05	21	0.5

Таблица 3

**Характеристики грунта**

Name	$k_x$	$k_y$	$k_z$	$S_s$	E50ref	Eoedref	Eurref	Ref. Pressure (Pref)	Power of Stress Level
1	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	5.23E-06	30000	34000	116000	100	0.51
2	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	5.23E-06	29000	31000	102000	100	0.54
3	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	5.23E-06	37000	35000	148000	100	0.49
4	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	5.23E-06	18000	28000	92000	200	0.76
5	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	5.23E-06	14000	25000	89000	200	0.78
6	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	5.23E-06	16000	19000	83000	300	0.83

Таблица 4

**Характеристики грунта**

Name	C	$\Phi$	$\Psi$	Failure Ratio	G0ref	hold Shear	Conductivity	Specific Heat	Heat Gen. Factor
1	1	31	5	0.9	134000	0.0001	0	0	1
2	0.8	30	0	0.9	134000	0.0001	0	0	1
3	20	25	0	0.9	134000	0.0001	0	0	1
4	2	30	7	0.9	134000	0.0001	0	0	1
5	15	20	0	0.9	134000	0.0001	0	0	1
6	20	20	0	0.9	134000	0.0001	0	0	1

Создание модели «здание – грунтовое основание» в ПК «MIDAS GTS NX» происходило в несколько этапов:

- с помощью встроенного конвертора осуществлен перенос модели здания из ПК «ЛИРА-САПР» в ПК «MIDAS GTS NX» (результаты на рисунке 3);
- формирование массива основания с подключением характеристик грунта;
- создание массива точек фундаментной плиты путем отпечатки данных точек на поверхности основания и выемки с введением характеристик грунта, назначением свойств объемным элементам;

- формирование сетки конечных элементов (КЭ) на массиве основания и выемки (рис. 4);

- загрузка расчетных значений свай в ПК «MIDAS GTS NX» с помощью утилиты «Свайный интерфейс» (рис. 5) с заданием свойств интерфейса для всех свай, а также под пятой каждой из них. Поскольку свая пронизывает несколько слоев грунта, то производим связывание свойств каждой ее части со слоем грунта, которые она пересекает;

- соединение КЭМ свай с КЭМ фундаментной плитой путем перепрошивки точек КЭ, а также задаем граничные условия.

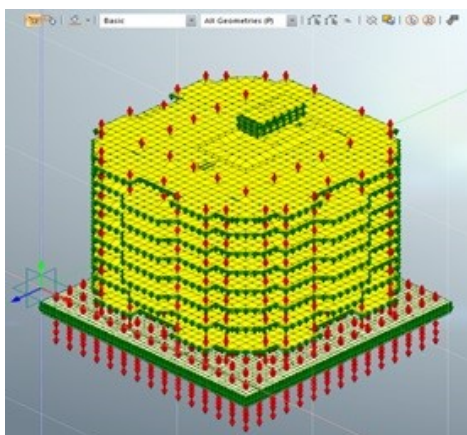


Рис. 3. Модель здания с нагрузками в ПК «MIDAS GTS NX»

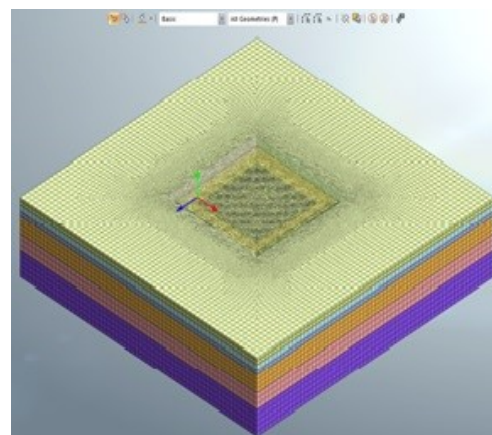


Рис. 4. Сформированная сетка КЭ на массиве основания и выемки



На заключительном этапе задаем стадийность, которая включает в себя расчет массива основания до выемки, после выемки грунта, возведения фундамента и здания.

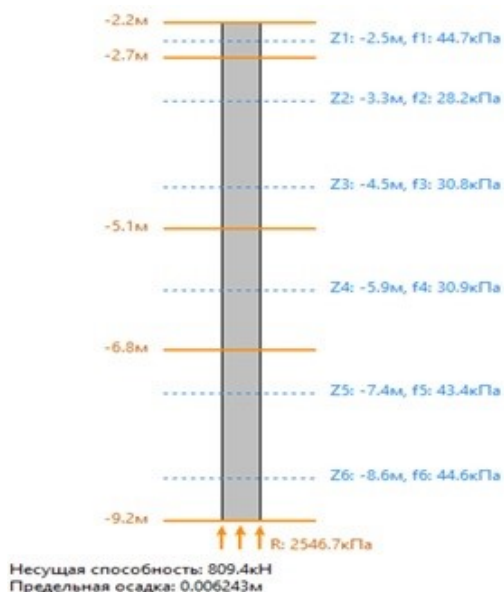


Рис. 5. Результаты расчета

Подготовленная к расчету модель «здание – грунтовое основание» показана на рисунке 6.

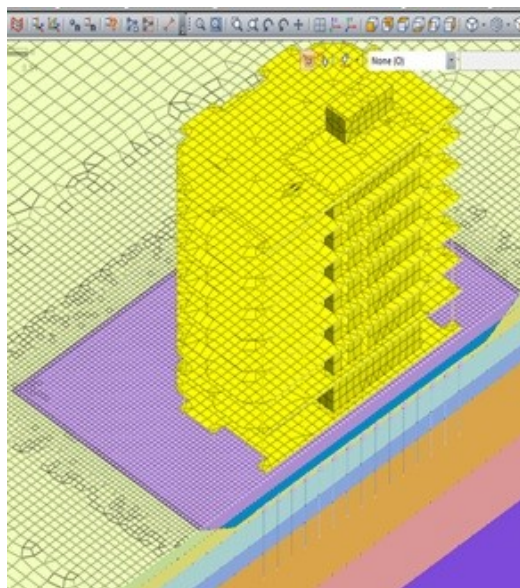


Рис. 6. Модель «здание – грунтовое основание»

На основании выполненного расчета системы «здание – свайный фундамент – грунтовое основание» были получены следующие результаты:

- изополя перемещений системы (рис. 7);

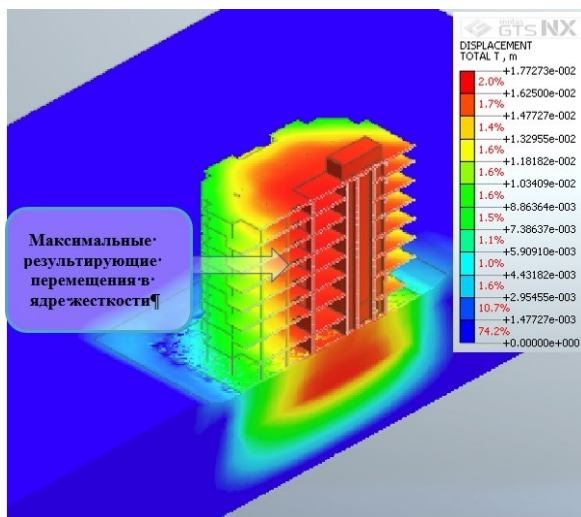


Рис. 7. Изополя результирующих перемещений системы «здания – грунтовое основание»

На рисунке 7 представлены изополя результирующих перемещений от действия постоянных нагрузок. Анализируя полученные данные, можно сделать вывод о том, что средняя часть здания получила большие перемещения в месте жесткостного ядра относительно крайних точек здания. Принятые в расчётной модели подземной части здания и конструкции фундамента

- эпюры усилий в балочных элементах (рис. 8)
- эпюры усилий в сваях от продольной силы (рис. 9);
- реакции под пятой свай (рис. 10).

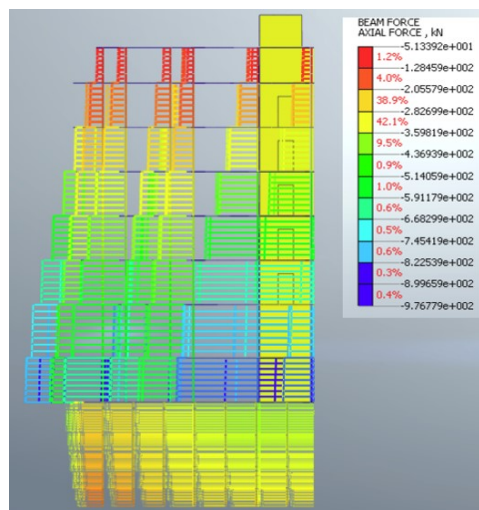


Рис. 8. Эпюры усилий в балочных элементах

глубокого заложения сведения из аналитических расчётов, выполненных ранее, показали:

- запроектированный плитно-свайный фундамент из свай одинакового сечения (400 × 400 мм) и длины (7000 мм) усиливает напряжённое состояние;
- для того чтобы снизить перемещения в средней части здания, необходимо увеличение

длины свай, сечения свай или числа свай под ядром жесткости.

Максимальные напряжения в колоннах на первом этаже составляют 89,6 кН. При расчете данного здания в ПК «ЛИРА-САПР» максималь-

ные напряжения в колоннах на первом этаже составляют 82,3 кН. Процент расхождения в вычислениях напряжений в колоннах первого этажа составляет 5 %, что для данной задачи является допустимым.

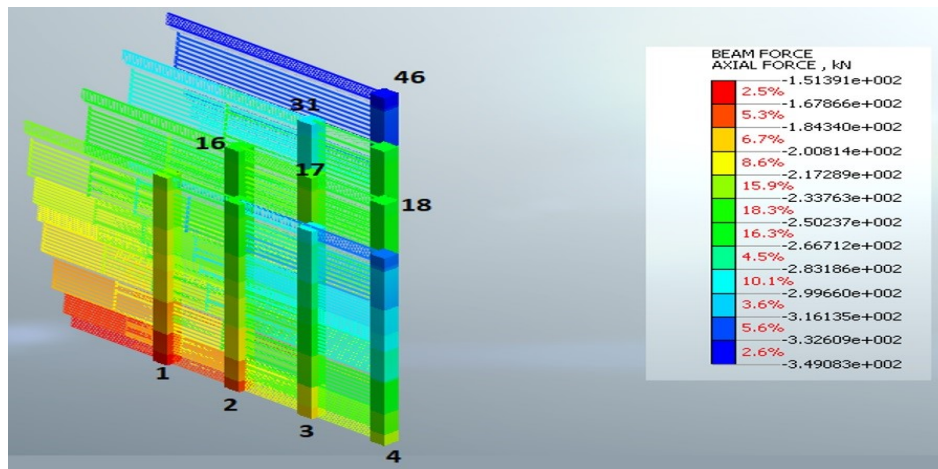


Рис. 9. Эпюры усилий в сваях от продольной силы в отсеченной части свайного поля

В свае № 46 действует максимальная продольная сила, то есть она является наиболее нагруженной. В сваях № 16-18, 31 и 32 действует меньшая сила в сравнении с № 46. Это связано с тем, что данная свая находится ближе к зоне с большими нагрузками.

Максимальное значение под наиболее нагруженной свайей (рис. 10), полученное после расчета в ПК «MIDAS GTS NX», составляет 278,97 кН.

Отсюда расчетное сопротивление грунта  $R_{расч}$  под нижним концом сваи – 1744 кПа. Сопротивление под нижним концом сваи согласно таблице 7.2 [1] для мелких песков составляет  $R = 2600$  кПа. В результате можно сделать вывод, что условие по несущей способности грунта  $R_{расч} \leq R$  выполняется.

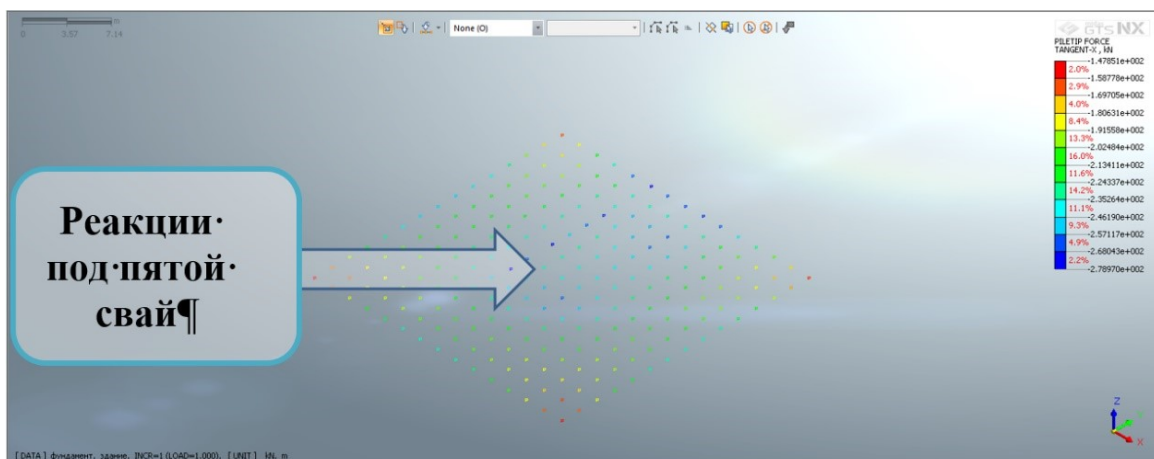


Рис. 10. Реакции под пятой свайей

В ходе расчета системы «здание – свайный фундамент – грунтовое основание» были получены следующие значения максимальных результирующих перемещений:

- в ядре жесткости здания –  $1,77 \cdot 10^{-2}$  м, что не превышает предельно допустимых значений согласно таблице Д.1 [2]. Максимальный прогиб при пролете 6 м составляет  $f = 6000200 = 30$  мм. Полученный результат 17,7 мм меньше допустимого прогиба, равного 30 мм;

- по оси X модели «здание – свайный фундамент» –  $1,17 \cdot 10^{-3}$  м, что не превышает предельно допустимых значений согласно таблице Д.4 [2]. Максимальное перемещение при высоте здания 50,2 м составляет  $f = 50200500 = 100,4$  мм. Данный результат 0,00117 мм меньше прогиба, равного 100,4 мм;

- по оси Y –  $1,92 \cdot 10^{-3}$  м, что не превышает предельно допустимых значений согласно таб-

лице Д.4 [2]. Максимальное перемещение при высоте здания 50,2 м –  $f = 50200500 = 100,4$  мм. Полученный результат 0,00192 мм меньше предельно допустимого прогиба, равного 100,4 мм;

- по оси Z –  $1,76 \cdot 10^{-2}$  м, что не превышает предельно допустимых значений согласно таблице Д.1 [2]. Максимальный прогиб при пролете 6 м составляет  $f = 6000200 = 30$  мм. Данный результат 17,6 мм меньше прогиба, равного 30 мм;

- максимальное значение реакции под пятой сваи –  $2,79 \cdot 10^2$  кПа. Полученное значение меньше  $R = 2400$  кПа, которое принято по таблице 7.2. [1].

Таким образом, ПК «MIDAS GTS NX» позволяет выполнять любые типы геотехнических расчетов и решать комплексные задачи в единой программной среде. Данный программный комплекс охватывает весь спектр инженерно-геотехнических проектов, включая расчеты глубоких котлованов с различными вариантами крепления, тоннелей сложной формы, консолидации и фильтрации, на динамические воздействия и устойчивость. Специализированный программный комплекс позволяет разрабатывать модели, которые наиболее точно воссоздают геологические и рельефные условия и проводить расчеты с учетом взаимодействия «здании – грунтовое основание», получать более достоверные результаты.

#### Список литературы

1. Пособие по расчетам в программном комплексе «MIDAS GTS NX». – Режим доступа: <http://ru.midasuser.com/web/page.php?no=65>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз рус.
2. Купчикова Н. В. Технология реконструкции, санации и капитального ремонта зданий, включая экспертизу геоподосновы, оснований и фундаментов / Н. В. Купчикова. – Астрахань, 2019.
3. Fedorov V. S. Numerical researches of the work of the pile with end spherical broadening as part of the pile group / V. S. Fedorov, N. V. Kupchikova // Перспективы развития строительного комплекса: образование, наука, бизнес : мат-лы XIII Междунар. науч.-практ. конф. проф.-препод. состава, молодых ученых и студентов / под общ. ред. В. А. Гутмана, Т. В. Золиной. – Астрахань : АГАСУ, 2019. – С. 149–153.
4. Купчикова Н. В. Технология прокладки подземных инженерных коммуникаций методом горизонтального направленного бурения / Н. В. Купчикова, Д. С. Бибилова // Потенциал интеллектуально одаренной молодежи – развитию науки и образования : мат-лы VIII Междунар. науч. форума молодых ученых, инноваторов, студентов и школьников. – Астрахань : АГАСУ, 2019. – С. 129–137.
5. Kupchikova N. V. Numerical researches of the work of the pile with end spherical broadening as part of the pile group / N. V. Kupchikova // Building and Reconstruction. – 2019. – Vol. 6 (86). – P. 3–9.
8. Fyodorov V. S. Computer simulation of composite beams dynamic behavior / V. S. Fyodorov, V. N. Sidorov, E. S. Shepitko // Materials Science Forum. – 2020. – Vol. 974 MSF. – P. 687–692.
9. Tamrazyan A. G. The effect of increased deformability of columns on the resistance to progressive collapse of buildings / A. G. Tamrazyan, V. S. Fedorov, M. Kharun // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Scientific and Practical Conference Engineering Systems 2019. – 2019. – P. 012004.
10. Voronkova G. V. Reconstruction of bearing roof trusses an industrial building without interrupting the production process / G. V. Voronkova, S. S. Rekunov, O. V. Dushko // IOP Conference series : materials science and engineering. International science and technology conference "FarEastCon-2019". – 2020. – P. 032088.
11. Pshenichkina V. A. Stochastic process simulation of soil displacement in calculations of seismic resistant buildings / V. A. Pshenichkina, S. S. Rekunov, R. I. Bazhenov // IOP conference series : materials science and engineering. International science and technology conference "FarEastCon-2019". – 2020. – P. 032089.
12. Zolina T. Monitoring of the collapse of the shores of reservoirs and the technology of their surface and deep fixing / T. Zolina, S. Strelkov, N. Kupchikova, K. Kondrashin // E3S Web of Conferences. Key Trends in Transportation Innovation, KTTI 2019. – 2020. – P. 02011.
13. Zolina T. Influence of vibration impacts from vehicles on the state of the foundation structure of a residential building / T. Zolina, N. Kupchikova // E3S Web of Conferences. Innovative Technologies in Environmental Science and Education, ITESE 2019. – 2019. – P. 03053.
14. Dushko O. V. Optimization of piston compressor geometric size using the genetic algorithm method / O. V. Dushko, G. V. Voronkova, S. S. Rekunov // Lecture Notes in Mechanical Engineering. – 2019. – Part F4. – P. 1097–1105.
15. Rekunov S. The use of controlling-training software in civil engineering bachelor's educational process / S. Rekunov, G. Voronkova, M. Doskovskaya // MATEC Web of Conferences. – 2017. – P. 09016.
16. Егорушкин В. А. Биосферная совместимость. Технологии внедрения инноваций. Города, развивающие человека / В. А. Егорушкин, А. В. Городков, В. С. Федоров, В. Н. Азаров // Промышленное и гражданское строительство. – 2012. – № 10. – С. 71–72.

© Н. В. Купчикова, А. Н. Сычков

#### Ссылка для цитирования:

Купчикова Н. В., Сычков А. Н. Результаты численного анализа системы «здание – свайный фундамент – грунтовое основание» с помощью «MIDAS GTS NX» // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2021. № 1 (35). С. 19–24.