

МОДЕЛИРОВАНИЕ КИРПИЧНОГО ЗДАНИЯ ПОВЫШЕННОЙ ЭТАЖНОСТИ НА СВАЙНОМ ФУНДАМЕНТЕ

И.И. Подшивалов, А.В. Журавлев

Томский государственный архитектурно-строительный университет
(ТГАСУ),
г. Томск, Россия

АННОТАЦИЯ

Актуальность. Настоящая работа посвящена моделированию напряженно-деформированного состояния кирпичного здания повышенной этажности на свайном фундаменте в сложных инженерно-геологических условиях с использованием проектно-вычислительного комплекса MicroFe, который позволяет создать расчетную схему в системе «основание–фундамент–здание» с использованием свай в виде стержневых конечных элементов в грунтовом массиве.

Цель. Анализ напряженно-деформированного состояния системы «основание – фундамент – здание», получение расчетных значений усилий и армирования в ростверке.

Материалы и методы. Расчет проводился как в линейной постановке, так и в конструктивно нелинейной постановке с односторонними нелинейными связями между объемными элементами грунта и стержневыми элементами свай.

Результаты. В нелинейной постановке решения задачи при ограничении допускаемой расчетной нагрузки на сваи получено перераспределение усилий между сваями через ростверк.

Выводы. Линейный расчет проводится в случае, когда наибольшие усилия в сваях не превышают заданную расчетную нагрузку. Если это условие не выполняется, то в расчетной модели вводится ограничение по величине предельной нагрузки на сваи, равной расчетному значению, и расчет выполняется с учетом конструктивной нелинейности односторонних связей между стержневыми элементами свай и объемными элементами грунта.

Решение задачи в нелинейной постановке позволяет учесть перераспределение усилий между сваями через ростверк, в результате чего за счет изменения расположения свай можно получить оптимальное конструктивное решение как свайного фундамента, так и надземной части здания.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: здание, свайный фундамент, напряженно-деформированное состояние, расчетная модель, линейный и нелинейный расчеты, перераспределение усилий между сваями.

Поступила 17.11.20, принята к публикации 25.12.2020.

Авторы прочитал и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования И.И. Подшивалов, А.В. Журавлев. Моделирование кирпичного здания повышенной этажности на свайном фундаменте. Вестник СибАДИ. 2020; 17 (6): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-6-754-763>

© Подшивалов И.И., Журавлев А.В.



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-6-754-763>

MODELING OF A BRICK BUILDING OF HIGH STOREYS ON A PILE FOUNDATION

Ivan I. Podshivalov, Alexey V. Zhuravlev

*Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering
(TSUACE),
Tomsk, Russia*

ABSTRACT

Relevance. This work is devoted to modeling the stress-strain state of a high-rise brick building on a pile foundation in engineering and geological conditions using the MicroFe design and computing complex, which allows you to create a design scheme in the “base – foundation – building” system using piles in the form of rod end. elements in the soil mass.

Goal. Analyzed-deformed state of the system “base – foundation – building”, obtaining the calculated values of tension and reinforcement in the grillage.

Materials and methods. The calculation was carried out both in a linear formulation and in a constructively nonlinear formulation with one-sided nonlinear connections between bulk soil elements and pile bar elements.

Results. In a nonlinear formulation of the solution to the problem, with a limitation of the permissible design load on the piles, a redistribution of efforts between the piles through the grillage is obtained.

Conclusions. Linear calculation is carried out in the case when the greatest forces in the piles do not exceed the specified design load. If this condition is not met, then in the design model, a limitation is introduced on the value of the ultimate load on the piles, equal to the design value, and the calculation is performed considering the constructive nonlinearity of one-sided connections between the pile bar elements and bulk soil elements.

Solving the problem in a non-linear formulation allows us to consider the redistribution of efforts between the piles through the grillage, because of which, by changing the location of the piles, it is possible to obtain an optimal design solution for both the pile foundation and the overhead part of the building.

KEYWORDS: building; pile foundation; stress-strain state; calculation model; linear and nonlinear calculations; redistribution of efforts between piles.

Submitted 17.11.20, revised 25.12.2020.

The authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation: Ivan I. Podshivalov, Alexey V. Zhuravlev. Modeling of a brick building of high storeys on a pile foundation. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020; 17 (6): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-6-754-763>

© Podshivalov I.I., Zhuravlev A.V.



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Обоснованное использование запасов прочности надземных конструкций и фундаментов позволяет увеличивать этажность зданий на свайном фундаменте. Стены кирпичных зданий повышенной этажности по конструктивной схеме относятся к жестким системам, в которых учет податливости свайного основания зданий имеет большое значение [1, 2, 3, 4]. Выбор расчетной схемы, которая наиболее полно может смоделировать конструктивную схему здания, является одним из важнейших факторов при определении напряженно-деформированного состояния строительных конструкций и фундаментов [5, 4, 6, 7, 8, 9]. Моделирование взаимодействия свайных фундаментов с грунтовым основанием и анализ распределения нагрузки между сваями в настоящее время является достаточно актуальным [10, 11, 12, 13, 14, 15]. Оптимальное расположение свай в составе свайных фундаментов позволяет снизить затраты на возведение фундаментов при сохранении требуемой несущей способности.

По методике, принятой в нормативных документах, если продольное усилие хотя бы в одной свае превысило расчетную нагрузку на сваю, то считается, что предельное состояние наступило во всем свайном фундаменте. При этом предельное состояние при расчете по деформациям еще не было достигнуто. В этом случае, допуская возможность перераспределения усилий между сваями без превышения расчетной нагрузки, можно получить более полное использование запасов несущей способности свайных фундаментов за счет уменьшения количества или длины свай.

В расчете свайного поля основным является не несущая способность одиночной сваи, а деформации грунта межсвайного пространства и ниже конца свай. В связи с этим расчет свайного фундамента рекомендуется выполнять численным методом в объемной постановке, моделирующим поведение каждой сваи. При расчете необходимо учитывать взаимодействие свай между собой в свайном поле и с грунтом, перегруженность крайних свай относительно центральных, зависимость результатов расчета от прочностных характеристик грунта. По данным [6, 7], в соответствие с результатами мониторинга высотных зданий и выполненного численного моделирования, было установлено, что угловые сваи перегружены в 2,4–4 раза по сравнению с центральными, а контурные – 1,5–2 раза. Распределение усилий между сваями в свайном

фундаменте рекомендуется определять на основании расчетов в объемной постановке в системе «основание–фундамент–здание» [16, 17, 18, 19]. При расчете свайных фундаментов следует учитывать влияние свай друг на друга, перегруженность угловых и контурных свай относительно центральных, при проектировании с помощью конструктивных мероприятий выравнивать усилия в сваях.

Верифицированный ПВК MicroFe позволяет достаточно адекватно реализовать конечно-элементное моделирование расчетной схемы системы «основание–фундамент–здание» [20, 21, 22, 23, 24, 25].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Ниже приведен пример использования ПВК MicroFe при анализе проектных решений строящегося 16-этажного кирпичного здания в г. Томске. Кирпичное здание запроектировано из трех продольно расположенных на разных отметках блок-секциях, разделенных между собой осадочными швами (рисунок 1). Размеры в плане по габаритным осям каждой блок-секции составляют 25,32х16,35 м, высота этажа – 2,8 м, общая высота здания с учетом подвала и технического этажа с лифтовой надстройкой – 56,34 м. Наружные и внутренние стены толщиной, соответственно, 770 и 510 мм запроектированы из керамического кирпича марки М125 на цементно-песчаном растворе марки М100. Несущими элементами перекрытий и покрытия являются сборные железобетонные многослойные плиты толщиной 220 мм различной длины и ширины. Стены подвала запроектированы из сборных бетонных стеновых блоков толщиной 500 и 800 мм. Монолитный железобетонный ленточный ростверк толщиной 750 мм имеет ширину от 1,4 до 2 м. Сваи сечением 300х300 мм выполнены длиной 12 м в первых двух блок-секциях и длиной 16 м (составные) в третьей блок-секции. Инженерно-геологический разрез площадки строительства с привязкой свай и ростверка, основные физико-механические характеристики грунтов приведены на рисунке 1 и в таблице. При разработке котлована насыпной грунт ИГЭ 714 и торф ИГЭ 136 были заменены на привозной грунт, по характеристикам, близким к ИГЭ 306 – суглинок аллювиальный легкий текучей консистенции.

В качестве расчетной схемы использовалась пространственная оболочечно-стержневая конечно-элементная модель. В расчетной модели кирпичные стены, диски железобетонных перекрытий и ростверк моделировались конечным элементом типа «плоский прямоу-

гольный элемент оболочки», сваи моделировались конечным элементом типа «стержень». Грунтовое основание под ростверком принималось в виде четырехслойного основания из объемных конечных элементов с послойным заданием модуля деформаций и коэффициента Пуассона $\nu = 0,33$. Свайное основание моделировалось с фактическими размерами свай с возможностью ограничения предельной нагрузки на сваи, что вполне коррелируется с работой свайного куста, в котором грунтово-свайный массив, в условиях обжатого грун-

та между сваями, передает нагрузку на свое основание. Сопряжение свай с ростверком принято жестким. По результатам статического зондирования свай, расчетная нагрузка на сваи составила 600 кН. Кирпичная кладка рассматривалась как ортотропный материал, в железобетонных конструкциях материал принимался как изотропный. Сопряжение кирпичной кладки стен первого этажа с бетонными блоками подвала и последних с монолитным ростверком, а также плит перекрытий со стенами – шарнирное неподвижное.

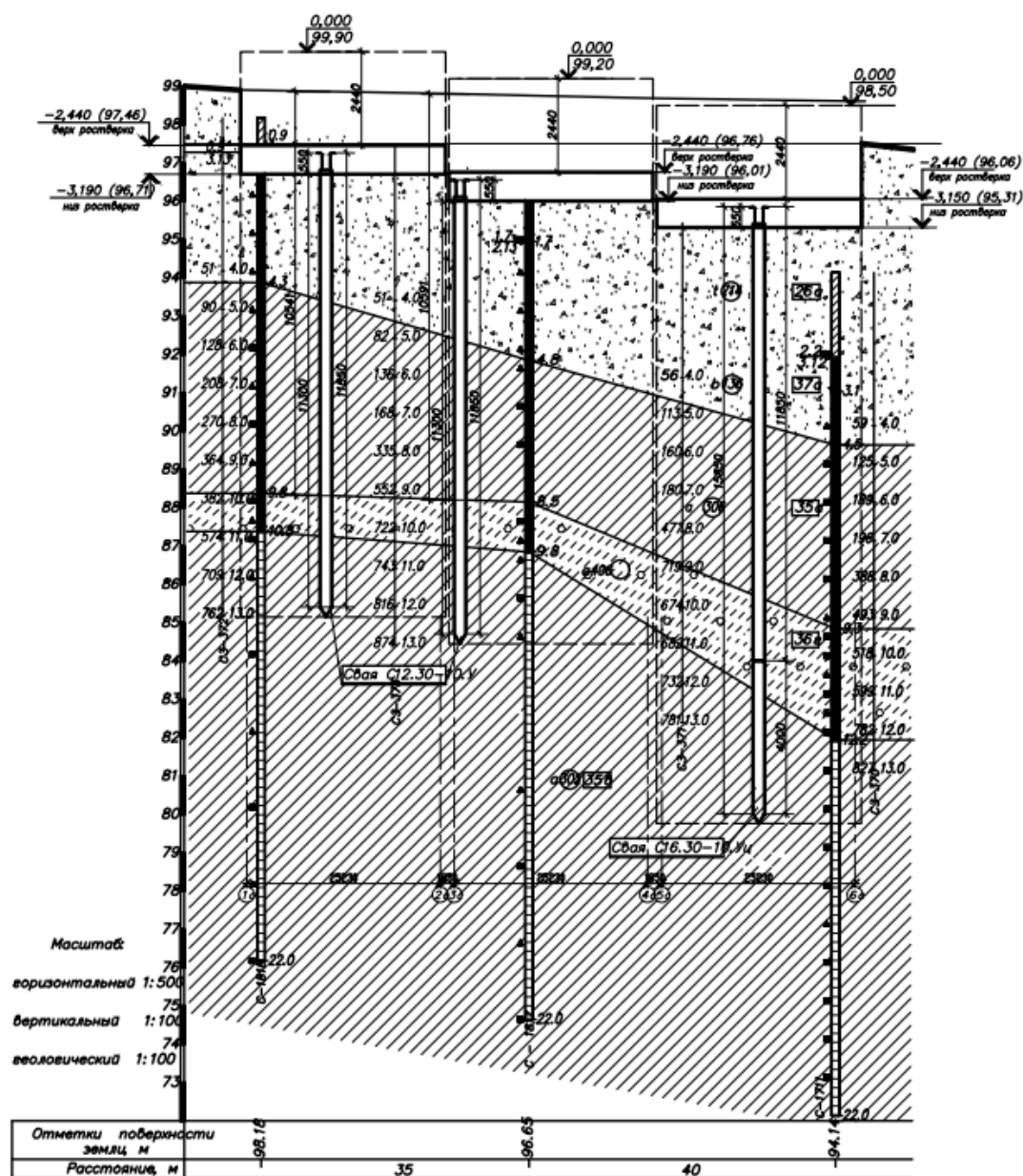


Рисунок 1 – Инженерно-геологический разрез с посадкой трех блок-секций на разных отметках

Figure 1 – Engineering-geological section with landing of three block-sections at different elevations

Таблица
Основные нормативные и расчетные значения показателей свойств грунтов

Table
Basic normative and calculated values of soil properties indicators

№ ИГЭ слоя	Описание грунтов	Плот-ность природ- ного грунта, ρ , т/м ³	Число пластич- ности, I_p	Расчетный угол внутреннего трения по, град.		Расчетное удельное сцепление по, МПа		Модуль дефор- маций, Е МПа,
				дефор- мациям, φ_1	несу-щей способ- ности, φ_2	деформа- циям, C_{II}	несу- щей способ- ности, C_1	
306	Суглинок аллюви- альный легкий теку- чей консистенции	1,95	10	20	17	21	14	11
406	Супесь гравелистая текучей консистен- ции	2,02	4	31	27	8	5	45
302	Суглинок элювиаль- ный легкий пыле- ватый полутвердой консистенции	2,00	10	23	22	31	31	31

Пулсационная составляющая ветровой нагрузки определялась при абсолютно жестком закреплении свайного основания, которая затем транслировалась в расчетную модель блок-секции на свайном основании в качестве дополнительной нагрузки. Конструктивная и расчетная конечно-элементная модели блок-секций даны на рисунок 2.

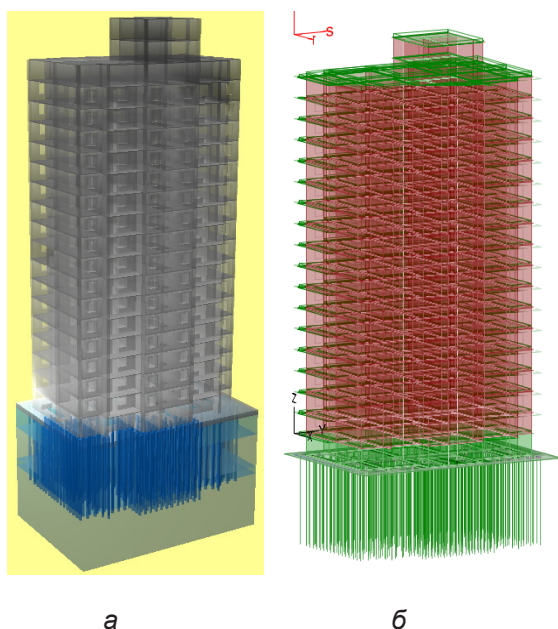


Рисунок 2 – Конструктивная (а) и расчетная (б) конечно-элементная модель блок-секции

Figure 2 – Constructive (a) and calculated (b) finite element model of the block section

РЕЗУЛЬТАТЫ

Расчет проводился в следующей последовательности:

1. На первом этапе в линейной постановке выполнялся расчет каждой блок-секции в своих грунтовых условиях, определялись усилия в сваях, которые сравнивались с заданной расчетной нагрузкой, равной 600 кН. Из полученных результатов было установлено, что во всех трех блок-секциях максимальные усилия в сваях оказались разными, а в контурных сваях превысили расчетную нагрузку, причем во второй блок-секции – это превышение было наибольшим и составило 251,69 кН (рисунок 3). Следует отметить, что превышения расчетного значения усилий в сваях не может произойти, так как в этом случае скорость осадки сваи увеличивается, свая становится более податливой и не способна воспринять нагрузку, превышающую расчетную величину в системе «сваи–ростверк». Таким образом, в многоэтажных зданиях, где наибольшие усилия в сваях превышают расчетную нагрузку, линейный статический расчет приводит к некорректному результату.

2. На втором этапе в расчетную схему вводилось ограничение по величине предельной нагрузки на сваи, равной расчетному значению 600 кН. В этом случае расчет проводился с учетом конструктивной нелинейности с односторонними связями с изменяющейся жесткостью между стержневыми элементами сваи и объемными элементами грунта. Односторонние связи по контакту свай с грунтом

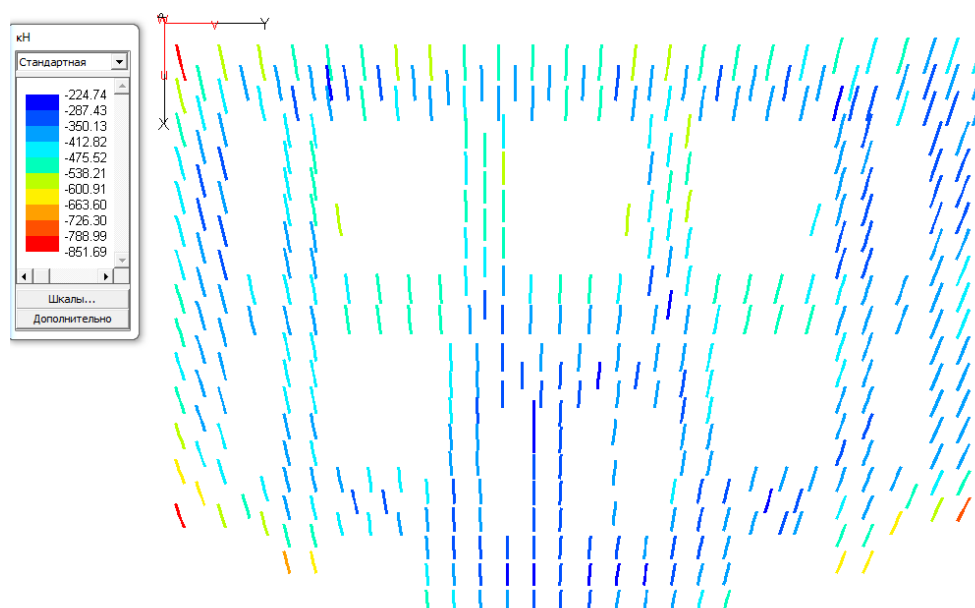


Рисунок 3 – Расчетные усилия в сваях во второй блок-секции при линейном расчете

Figure 3 – Calculated forces in piles in the second block section during linear calculation

допускают вертикальные перемещения свай только вниз. При превышении ограничения величины предельной нагрузки на сваи меняется жесткость этих односторонних связей, после чего расчет проводится для новой схемы. По протоколу статического анализа было выпол-

нено пять нелинейных итераций при точности 0,001. Данный подход позволяет получить более равномерные и правдоподобные усилия в сваях (рисунок 4), а также приближенные к реальным вертикальные перемещения свай (рисунок 5).

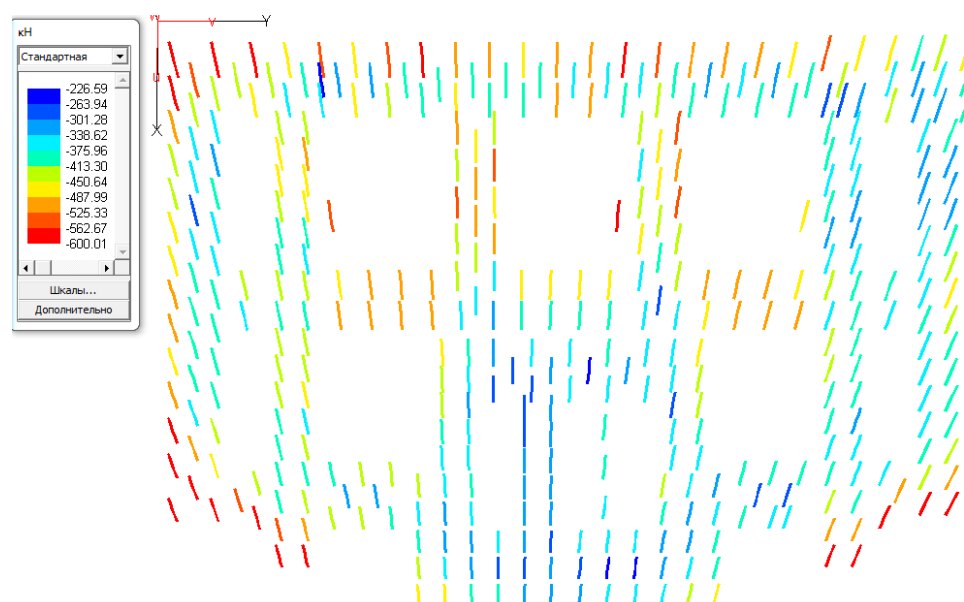


Рисунок 4 – Расчетные усилия в сваях во второй блок-секции при конструктивной нелинейности связей между объемными элементами грунта и стержневыми элементами свай

Figure 4 – Calculated forces in piles in the second block section with constructive nonlinearity of connections between bulk elements of soil and core elements of piles

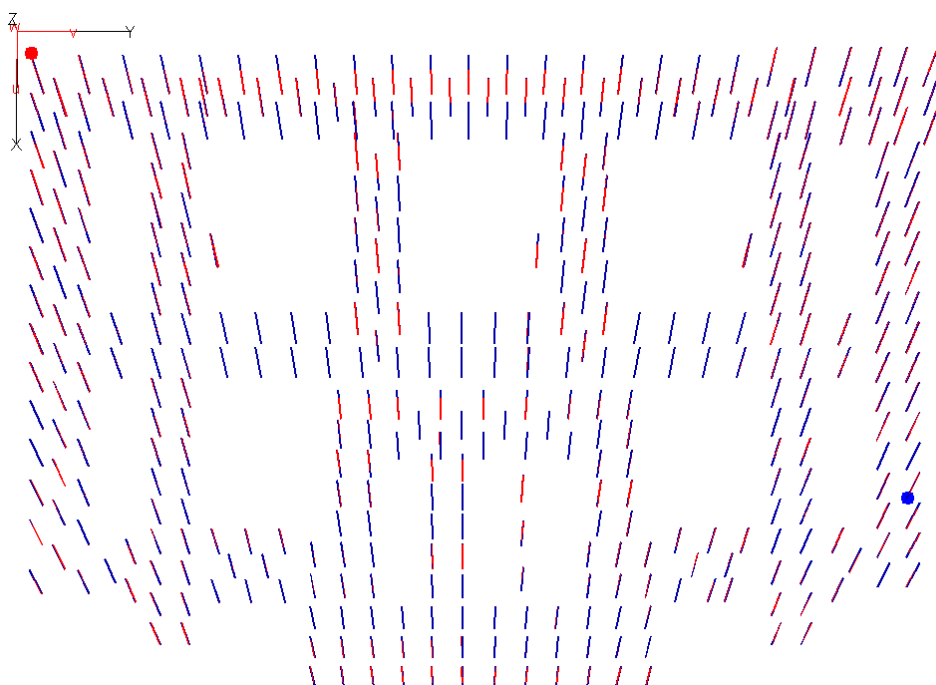


Рисунок 5 – Вертикальные перемещения свай во второй блок-секции

Figure 5 – The vertical movement of the piles in the second block section

При оптимизации свайного поля, увеличивая расстояние между «синими» и «голубыми» сваями, которые нагружены, соответственно, на $\frac{1}{2}$ и $\frac{1}{3}$ от расчетной нагрузки, можно полу-

чить свайное поле из «красных» и «оранжевых» свай, в которых усилия будут равны или близки по значению к заданной расчетной нагрузке на сваи.

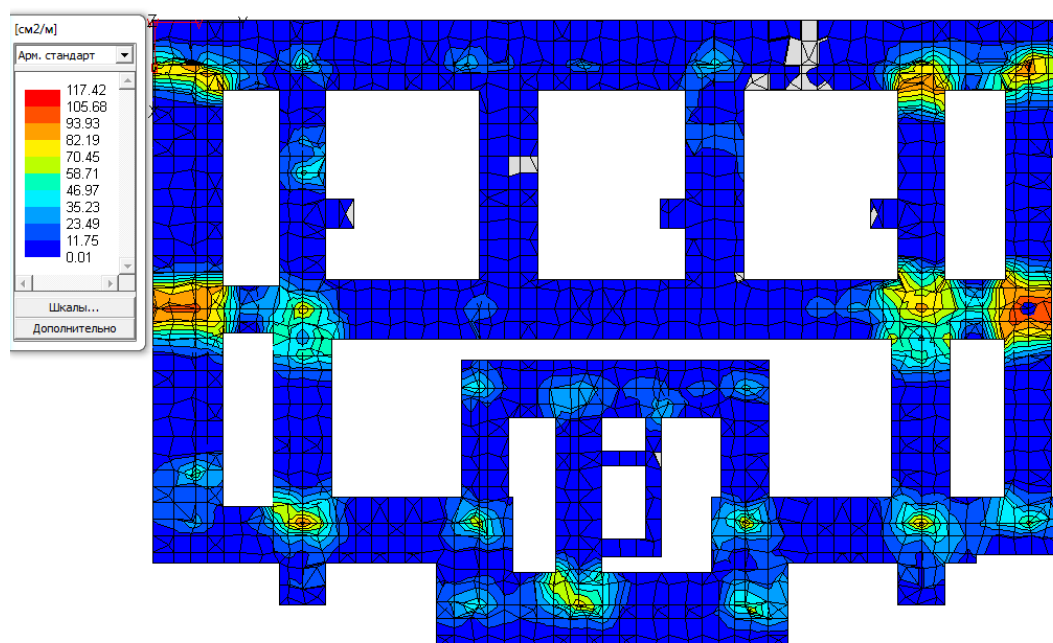


Рисунок 6 – Необходимое нижнее продольное армирование в поперечных лентах ростверка второй блок-секции

Figure 6 – Necessary lower longitudinal reinforcement in the cross belts of the grillage of the second block section

Следует отметить, что при нелинейном расчете, вводя ограничение по предельной нагрузке на сваи и учитывая перераспределение усилий между сваями, превышения предельного состояния по первой группе в свайном фундаменте не происходит. По сравнению с линейным расчетом в нелинейном расчете увеличиваются вертикальные перемещения свай, которые не должны превышать нормативных значений по предельному состоянию второй группы.

Максимальные вертикальные перемещения свайного основания второй блок-секции составили 112,3 мм, что не превышает предельно допускаемые значения 180 мм. Относительная разница вертикальных перемещений свай равна 0,00078, что меньше предельно допускаемого значения 0,0024.

В качестве примера из результатов расчета на рисунке 6 приведено необходимое нижнее продольное армирование в поперечных лентах ростверка второй блок-секции при учете конструктивной нелинейности связей между объемными элементами грунта и стержневыми элементами свай. Анализируя результаты расчета ростверков, можно отметить, что необходимое продольное и поперечное армирование находится в «синей» и «голубой» зонах со значением расчетного армирования в пределах 11,75 см²/м. Зоны другого цвета получились в результате «издержек» в генерации сетки, проведенной самой программой, в которой появились треугольные и четырехугольные конечные элементы «неправильной формы». Для устранения этих зон разработчики программы рекомендуют выполнить сгущение сетки в ростверке с использованием функции соединения несогласованных сеток ростверка с вышерасположенными стенами подвала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Использование расчетной модели системы «основание–фундамент–здание» в ПК MicroFe позволяет достаточно адекватно отобразить конструктивную схему здания повышенной этажности в реальных инженерно-геологических условиях.

2. Линейный расчет проводится в случае, когда наибольшие усилия в сваях не превышают заданную расчетную нагрузку. Если это условие не выполняется, то в расчетной модели вводится ограничение по величине предельной нагрузки на сваи, равной расчетному значению, и расчет выполняется с учетом конструктивной нелинейности односторонних связей между стержневыми элементами свай и объемными элементами грунта.

3. Решение задачи в нелинейной постановке позволяет учесть перераспределение усилий между сваями через ростверк, в результате чего за счет изменения расположения свай можно получить оптимальное конструктивное решение как свайного фундамента, так и надземной части здания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шашкин В.А. Эффекты взаимодействия оснований и сооружений // Развитие городов и геотехническое строительство. 2012. № 14. С. 141-167.
2. Шашкин А.Г., Шашкин К.Г. Взаимодействие здания и основания: методика расчета и практическое применение при проектировании. Санкт-Петербург, Стройиздат, 2002. 48 с.
3. Ильичев В.А., Мангушев Р.А. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения. Москва, АСВ, 2014. 728 с.
4. Шашкин А.Г., Улицкий В.М. Основы мониторинга механической безопасности сооружений при строительстве и эксплуатации // Промышленное и гражданское строительство. 2017. №12. С. 6-14.
5. Карпенко Н.И., Карпенко С.Н., Кузнецов Е.Н. О современных проблемах расчета высотных зданий из монолитного железобетона // II Всероссийская (Международная) конференция. Бетон и железобетон – пути развития. 2005. Т. 1. 149-166 с.
6. Шулятьев О.А. Основания и фундаменты высотных зданий. Москва, 2016. 392 с.
7. Шулятьев О.А. Фундаменты высотных зданий // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2014. №4. С. 202-244.
8. Шулятьев О.А. Геотехнические особенности проектирования высотных зданий в Москве // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 10. С. 17-25.
9. Харичкин А.И., Безволев С.Г., Шулятьев О.А. Практическое исследование краевой сваи // Сборник научных трудов 75 лет НИИОСП им. Н.М. Герсеванова. 2006. С. 224-230.
10. Колчунов В.И., Потапов В.В., Дмитриева К.О. Расчетный анализ длительного деформирования системы «здание-основание» хранилища ядерных отходов АЭС // Строительство и реконструкция. 2017. №3 (71). С. 27-33.
11. Сапожников А.И., Григорьев С.М. Учет последовательности возведения зданий методом конечных элементов с поэтажным формированием расчетной модели // Строительная механика и расчет сооружений. 2010. № 1. С. 19-26.
12. Кабанцев О.В., Тамразян А.Г. Учет изменений расчетной схемы при анализе работы конструкции // Инженерно-строительный журнал. 2014. № 5. С. 15-26.
13. Алмазов В.О., Климов А.Н. Экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния конструкций высотного здания // Вестник МГСУ. 2013. № 10. С. 102-109.
14. Нуджин Л.В., Михайлов В.С. Численное моделирование свайных фундаментов в расчетно-аналитическом комплексе SCAD Office // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2018. № 1. С. 5-18.

15. Нуждин М.Л., Пономарев А.Б. Расчетное обоснование усиления грунтового основания многоэтажного жилого дома в г. Новосибирске пакетным высоконапорным инъецированием // Проблемы строительного производства и управления недвижимостью. 2020. С. 261-266.

16. Михайлов В.С., Теплых А.В. Учет характерных особенностей различных моделей основания при расчете взаимного влияния зданий на больших фундаментных плитах с использованием расчетно-аналитической системы SCAD Office // Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений. 2016. С.133-134.

17. Королев К.В., Полянкин А.Г., Кузнецов А.А. Несущая способность свай на горизонтальную и моментную нагрузку и оптимальное проектирование свайных фундаментов // Транспортное строительство. № 3, 2013. С. 13-15.

18. Малышкин А.П., Есипов А.В., Бараняк А.И. Современный подход к проектированию высотных зданий в условиях плотной городской застройки // Вестник Московского государственного строительного университета. 2008. №2. С. 158-162.

19. Платонова С.В., Александрова Е.А. Моделирование системы «здание–основание» в расчетном программном комплексе ЛИРА–САПР с применением системы грунта // Проблемы строительного производства и управления недвижимостью. 2020. С. 267-274.

20. Ющубе С.В., Подшивалов И.И., Самарин Д.Г., Филиппович А.А., Шалгинов Р.В. Экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния фрагментов кладки наружных стен из керамического камня // Вестник ТГАСУ. 2017. № 1. С. 174-180.

21. Ющубе С.В., Подшивалов И.И., Филиппович А.А., Тряпицин А.Е. Моделирование напряженно-деформированного состояния кирпичного здания повышенной этажности на свайном фундаменте // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 4 (69). С. 72-77.

22. Ющубе С.В., Подшивалов И.И. Моделирование напряженно-деформированного состояния свайного фундамента с плитным ростверком высотного здания с учетом недопогружения свай // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. №2. С. 145-161.

23. Кравченко В.С., Криксунов Э.З., Перельмутер М.А., Скорук Л.Н. SCAD Structure. Расчет оснований и фундаментов. Москва, 2006. 33 с.

24. Ковальчук О.А., Колесников А.В., Русанова Е.М. и др. Введение в программный комплекс ЛИРА 10.4. Москва: НИУ МГСУ, 2015. URL: <http://lira-soft.com/wiki/manuals> (дата обращения: 24.12.2020).

25. Brinkgreve R.B.J., Broere W., Abingdon E.A. PLAXIS 3D Foundation. Balkema, 2004. Vol. 1.

REFERENCES

1. Shashkin, V.A. Effekty vzaimodejstviya osnovanij i sooruzhenij [Effects of interaction between bases and structures]. *Urban Development and Geotechnical Construction*. 2012. No. 14. Pp. 141-167. (in Russian)

2. Shashkin A.G., Shashkin K.G. Vzaimodejstvie zdaniya i osnovaniya: metodika rascheta i prakticheskoe primeneniye pri proektirovanii [Interaction of building and

foundation: calculation method and practical application in design]. Saint-Petersburg, Stroyizdat. 2002. 48 p. (in Russian)

3. Ilyichev V.A., Mangushev R.A. Spravochnik geotekhnika. Osnovaniya, fundamenty i podzemnye sooruzheniya [Reference book of geotechnics. Foundations, foundations and underground structures] Moscow, Publishing house ASV. 2014. 728 p. (in Russian)

4. Shashkin A.G., Ulitskiy V.M. Osnovy monitoringa mekhanicheskoy bezopasnosti sooruzhenij pri stroitel'stve i ekpluatatsii [Fundamentals of monitoring the mechanical safety of structures during construction and operation], *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2017. No. 12. S. 6-14.5. Shulyat'ev O.A. Osnovaniya i fundamenty vysotnyh zdaniy [Foundations and foundations of high-rise buildings]. M., 2016. 392 p. (in Russian)

5. Karpenko N.I., Karpenko S.N., Kuznetsov E.N., O sovremennykh problemakh rascheta vysotnykh zdaniy iz monolitnogo zhelezobetona [On modern problems of calculating high-rise buildings from monolithic reinforced concrete]. *Vserossiyskaya (Mezhdunarodnaya) konferenciya. Beton i zhelezobeton – puti razvitiya. Nauchnye trudy konferencii v pyati knigah*. 2005; 1: 149-166 (in Russian)

6. Shulyat'ev O.A. Osnovaniya i fundamenty vysotnyh zdaniy [Foundations and foundations of high-rise buildings]. Moscow, 2016. 392 p. (in Russian)

7. Shulyat'ev O.A. Fundamenty vysotnyh zdaniy [Foundations of high-rise buildings] *Vestnik PNIPU. Stroitel'stvo i arhitektura*. 2014; 4: 202-244. (in Russian)

8. Shulyat'ev O.A. Geotekhnicheskie osobennosti proektirovaniya vysotnyh zdaniy v Moskve [Geotechnical features of the design of high-rise buildings in Moscow]. *Industrial and civil construction*. 2016; 10: 17-25. (in Russian)

9. Harichkin A.I., Bezvoley S.G., Shulyan'ev O.A. Shulyan'ev O.A. Prakticheskoe issledovanie kraevoy svai [Practical research of the edge pile]. *Coll. scientific works 75 years of NIIOSP them. N.M. Gersevanov*. 2006. 224-230. (in Russian)

10. Kolchunov V.I., Potapov V.V., Dmitrieva K.O. Raschetnyy analiz dlitelnogo deformirovaniya sistemy «zdanie-osnovanie» hranilishcha yadernykh otdodov AES [Computational analysis of long-term deformation of the "building-foundation" system of the nuclear waste storage facility for nuclear power plants]. *Construction and reconstruction*. 2017; 3 (71): 27-33. (in Russian)

11. Sapozhnikov A.I., Grigorshev S.M. Uchet posledovatel'nosti vozvedeniya zdaniy metodom konechnykh elementov s poetazhnym formirovaniem raschetnoy modeli [Accounting for the sequence of erection of buildings by the finite element method with floor-by-floor formation of the computational model]. *Structural mechanics and calculation of structures*. 2010; 1: 19-26. (in Russian)

12. Kabantsev O.V., Tamrazyan A.G. Uchet izmenenij raschetnoy skhemy pri analize raboty konstrukcii [Considering changes in the design scheme when analyzing the work of the structure]. *Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal*. 2014; 5: 15-26. (in Russian)

13. Almazov V.O., Klimov A.N. Eksperimental'noe issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya konstrukcij vysotnogo zdaniya [Experimental study of the stress-strain state of high-rise building structures]. *Vestnik MGSU*. 2013; 10: 102-109. (in Russian)

14. L.V. Nuzhdin, V.S. Mikhailov Chislennoe modelirovanie svajnykh fundamentov v raschetno-analiticheskom komplekse SCAD Office [Numerical modeling of pile foundations in the computational and analytical complex SCAD Office]. *Vestnik PNIPU. Stroitelstvo i arhitektura*. 2018; 1: 5-18. (in Russian)

15. Nuzhdin M.L., Ponomarev A.B. Ponomarev A.B. Raschetnoe obosnovanie usileniya gruntovogo osnovaniya mnogoetazhnogo zhilogo doma v g. Novosibirsk paketsym vysokonapornym inecirovaniem. Problemy stroitel'nogo proizvodstva i upravleniya nedvizhimostyu [Calculation substantiation of strengthening the soil base of a multi-storey residential building in Novosibirsk by high-pressure batch injection]. *Problems of construction production and real estate management*. 2020. 261-266. (in Russian)

16. Mikhailov V.S., Teplykh A.V. Uchet harakternykh osobennostej razlichnykh modelej osnovaniya pri raschete vzaimnogo vliyaniya zdaniy na bolshih fundamentnykh plitah s ispolzovaniem raschetno-analiticheskoy sistemy SCAD Office. VI Mezhdunarodnyj simpozium [Considering the characteristic features of various foundation models when calculating the mutual influence of buildings on large foundation slabs using the SCAD Office analytical system]. *Aktualnye problemy kompyuternogo modelirovaniya konstrukcij i sooruzhenij*. 2016. 133-134. (in Russian)

17. Korolev K.V., Polyankin A.G., Kuznetsov A.A. Nesushchaya sposobnost svaj na gorizontalnuyu i momentnuyu nagruzku i optimalnoe proektirovanie svajnykh fundamentov [Bearing capacity of piles for horizontal and moment loads and optimal design of pile foundations]. *Transport construction*. 2013; 3: 13-15. (in Russian)

18. Malyshev A.P., Esipov A.V., Baranyak A.I. Sovremennyy podhod k proektirovaniyu vysotnykh zdaniy v usloviyakh plotnoj gorodskoj zastrojki [A modern approach to the design of high-rise buildings in a dense urban development]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo stroitel'nogo universiteta*. 2008; 2: 158-162. (in Russian)

19. Platonova S.V., Alexandrova E.A. Modelirovanie sistemy «zdanie-osnovanie» v raschetnom programnom komplekse LIRA-SAPR s primeneniem sistemy grunt. Problemy stroitel'nogo proizvodstva i upravleniya nedvizhimostyu [Modeling of the "building-base" system in the LIRA-SAPR computational software package using the soil system]. *Problems of construction production and real estate management*. 2020. 267-274. (in Russian)

20. Yushchube S.V., Podshivalov I.I., Samarin D.G., Filippovich A.A., Shalginov R.V. Eksperimentalnoe issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya fragmentov kladki naruzhnykh sten iz keramicheskogo kamnya [Experimental study of the stress-strain state of fragments of the masonry of external walls made of ceramic stone]. *Vestnik TSUAB*. 2017; 1: 174-180. (in Russian)

21. Yushchube S.V., Podshivalov I.I., Filippovich A.A., Tryapitsin A.E. Modelirovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya kirpichnogo zdaniya povyshennoj etazhnosti na svajnom fundamente [Modeling the stress-strain state of a brick building of increased number of storeys on a pile foundation]. *Bulletin of Civil Engineers*. 2018; 4 (69): 72-77. (in Russian)

22. Yushchube S.V., Podshivalov I.I. Modelirovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya svajnogo

fundamenta s plitnym rostverkom vysotnogo zdaniya s uchetoм nedopogruzheniya svaj [Modeling the stress-strain state of a pile foundation with a slab grillage of a high-rise building, considering the undershooting of piles]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2020; 22 (2): 145-161. (in Russian)

23. Kravchenko V.S., Kriksunov E.Z., Perelmuter M.A., Skoruk L.N. SCAD Structure. Raschet osnovaniy i fundamentov. Rukovodstvo polzovatelya [SCAD Structure. Calculation of bases and foundations]. Moscow. 2006. 33 p. (in Russian)

24. Kovalchuk O.A., Kolesnikov A.V., Rusanova E.M. and others. Vvedenie v programmnyj kompleks LIRA 10.4. [Introduction to the LIRA software package 10.4.]. Moscow, NRU MGSU, 2015. (in Russian)

25. Brinkgreve R.B.J., Broere W., Abingdon E.A. PLAXIS 3D Foundation. Balkema, 2004; 1.1.

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Подшивалов Иван Иванович. Выбор направления и темы исследования. Руководство процессом разработки темы. Выбор метода исследований.

Журавлев Алексей Владимирович. Анализ состояния вопроса. Выполнение расчетов, чертежа, рисунков. Оформление статьи.

AUTHORS' CONTRIBUTION

Podshivalov Ivan Ivanovich. Choice of direction and research topic. Leading the theme development process. Choice of research method;

Zhuravlev Alexey Vladimirovich. Analysis of the state of the issue. Performing calculations, drawing, drawings. Article design.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Подшивалов Иван Иванович – канд. техн. наук, доц. кафедры оснований, фундаментов и испытания сооружений. Томский государственный архитектурно-строительный университет, ORCID 0000-0001-7103-322X (634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, e-mail: ivanpodchivalov@list.ru).

Журавлев Алексей Владимирович – специалист, соискатель кафедры оснований, фундаментов и испытания сооружений. Томский государственный архитектурно-строительный университет, ORCID 0000-0001-5689-7476 (634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, e-mail: zhuravlev.a400@yandex.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Podshivalov Ivan Ivanovich – cand. tech. Sciences, Associate Professor of the Department of Foundations, Foundations and Testing of Structures. Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, ORCID 0000-0001-7103-322X (Russia, 634003, Tomsk, Solyanaya sq., 2, e-mail: ivanpodchivalov@list.ru).

Zhuravlev Alexey Vladimirovich – specialist, applicant for the department of foundations, foundations and testing of structures Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, ORCID 0000-0001-5689-7476 (Russia, 634003, Tomsk, Solyanaya sq., 2, e-mail: zhuravlev.a400@yandex.ru).