УДК 693.22:624.04

С.В. ЮЩУБЕ[1], И.И. ПОДШИВАЛОВ[1], Р.В. ШАЛГИНОВ[1], Д.Г. САМАРИН[1], А.А. ФИЛИППОВИЧ[1], В.Л. УСТЮЖАНИН[1], А.Е. ТРЯПИЦИН[2],
[1]Томский государственный архитектурно-строительный университет,
[2]ООО «Газпром трансгаз Томск»

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КИРПИЧНОГО ЗДАНИЯ НА СВАЙНОМ ФУНДАМЕНТЕ ПРИ ЕГО НАДСТРОЙКЕ

Настоящая работа посвящена моделированию напряженно-деформированного состояния кирпичного здания на свайном фундаменте при его надстройке с использованием проектно-вычислительного комплекса MicroFe, который позволяет создать расчетную схему системы «основание – фундамент – надземная часть» с использованием свай в виде стержневых конечных элементов в грунтовом массиве. Это позволяет создать расчетную схему, отражающую реальную работу конструкций и основания.

Целью работы является анализ деформирования системы «основание – фундамент – надземная часть» и сопоставление фактических и расчетных значений.

Реализуется два основных подхода к расчету: в первом основание здания принималось жестким (расчетная схема № 1); во втором свайное основание моделировалось податливым за счет осадок свай (расчетная схема № 2).

Расчет блок-секции по расчетной схеме № 1 показал, что усилия и напряжения в отдельных строительных конструкциях превысили проектные значения, а по расчетной схеме № 2 наибольший дефицит армирования составил менее 1 % по сравнению с проектом. Полученные значения расчетных перемещений и фактических осадок в контролируемых точках цокольной части стен показали их удовлетворительную сходимость, разница составила в среднем 15 %.

В процессе надстройки здания на жестком основании расчетные усилия и напряжения в отдельных сваях и строительных конструкциях надземной части могут принимать пиковую форму и превышать проектные значения. Учет податливости свайного фундамента, в определенных грунтовых условиях, приводит к сглаживанию и снижению усилий и напряжений в строительных конструкциях.

Сопоставление расчетных значений деформаций с результатами геодезического мониторинга осадок здания показало, что основные нормируемые параметры – абсолютные и относительные осадки – не превысили допустимых значений, определяемых национальными стандартами.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние; расчетная схема; абсолютно жесткое основание; податливое свайное основание; осадки.

Для цитирования: Ющубе С.В., Подшивалов И.И., Шалгинов Р.В., Самарин Д.Г., Филиппович А.А., Устюжанин В.Л., Тряпицин А.Е. Моделирование напряженно-деформированного состояния кирпичного здания на свайном фундаменте при его надстройке // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. Т. 20. № 2. С. 137–149.

© Ющубе С.В., Подшивалов И.И., Шалгинов Р.В., Самарин Д.Г., Филиппович А.А., Устюжанин В.Л., Тряпицин А.Е., 2018

S.V. YUSHCHUBE[1], I.I. PODSHIVALOV[1], R.V. SHALGINOV[1], D.G. SAMARIN[1], A.A. FILIPPOVICH[1], V.L. USTYUZHANIN[1], A.E. TRYAPITSIN[2],
[1]Tomsk State University of Architecture and Building,
[2]OOO 'Gazprom transgaz Tomsk'

STRESS-STRAIN STATE FINITE ELEMENT MODEL OF PILE-FOUNDATION BRICK BUILDING VERTICAL EXTENSION

Relevance: Numerical simulation is provided for the stress-strain state of a pile-foundation brick building with the additional structure. The simulation is performed with MicroFe computer system which creates a model of the base – foundation – superstructure system. In this model, finite elements represent the piles. **Purpose:** The aim of the paper is to perform the finite element analysis of the base – foundation – superstructure system deformation and compare the theoretical and experimental results. **Methodology/approach:** Two approaches to the numerical simulation are used: 1) rigid foundation and 2) pliable foundation due to the pile displacement. **Findings:** The bay analysis based on the first approach shows that the stress values exceed the theoretical in some of the structures. The bay analysis based on the second approach shows that the reinforcement deficit amounts to less than 1 % as compared to the theoretical calculations. The obtained results on the estimated and actual displacement at the wall pedestal part show a 15 % difference. During constructing the additional structure, the calculated values of the stress achieve the maximum and exceed design values. With account of the piled foundation, the stress reduction is obtained in engineering structures. **Results:** The finite element model is designed for the base – foundation – superstructure system. As a result of comparison of theoretical and experimental results, the main parameters of the absolute and relative vertical pile displacement do not exceed the allowable values determined by the national standards.

Keywords: stress-strain state; design diagram; rigid base; pliable pile foundation; setting.

For citation: Yushchube S.V., Podshivalov I.I., Shalginov R.V., Samarin D.G., Filippovich A.A., Ustyuzhanin V.L., Tryapitsin A.E. Modelirovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya kirpichnogo zdaniya na svainom fundamente pri ego nadstroike [Stress-strain state of pile-foundation brick building vertical extension]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2018. V. 20. No. 2. Pp. 137–149. (rus)

Стремление использовать существующие запасы прочности несущих надземных конструкций и фундаментов кирпичных зданий позволяет надстроить дополнительные этажи как при новом строительстве, так и при реконструкции. Используемая конструктивная схема кирпичных зданий, как правило, состоит из стенового заполнения в виде каменной или кирпичной кладки и горизонтальных железобетонных дисков перекрытий. В подвале для размещения автостоянки могут устраиваться монолитные железобетонные рамы, фундаменты свайные с монолитным железобетонным ростверком.

Стены зданий, выполненные из каменной кладки, по конструктивной схеме чаще всего относятся к жестким системам[1]. Стремление надстроить как

[1] СП 15.133302012. Каменные и армокаменные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-22–81*.

можно больше этажей в здании приводит к необходимости использовать высокопрочные материалы кладки – камень, кирпич и раствор. В результате получаем конструкцию кладки стен с повышенными жесткостными характеристиками, в которой первые трещины могут образоваться до проектного значения нагружения стен [1]. В этом случае большое значение имеет учет податливости свайного основания здания, который при определенных обстоятельствах может существенно «сгладить» расчетные экстремальные усилия и напряжения в кладке стен [2–4].

В настоящее время реализуется два основных подхода к расчету зданий – «раздельный» и «совместный» [5]. При первом подходе выполняется расчет надземной части в предположении наличия под ним жесткого основания, а затем нагрузка от этой части здания прикладывается на фундамент. Расчет надземной части нередко выполняется по грузовым площадям без учета пространственной работы здания, что в принципе для многоэтажных зданий недопустимо. При втором подходе надземная часть и фундамент рассчитываются совместно с учетом реальных инженерно-геологических условий площадки строительства. Практика проектирования показывает, что совместная и раздельная схемы могут приводить не только к количественным, но и к качественным отличиям в результатах расчета.

Выбор расчетной схемы, которая наиболее полно моделирует конструктивную схему здания, является важным факторов при определении запасов прочности строительных конструкций и фундаментов [6, 7].

В настоящее время с точки зрения возможности моделирования свайного основания совместно со зданием существующие расчетные компьютерные программы условно можно разбить на три группы. Программы первой группы (SCAD, LIRA, Stark, APM Winmachine Structure 3D и др.) имеют широкие возможности в оценке напряженно-деформированной надземной части здания при весьма упрощенном моделировании основания: с помощью коэффициентов постели для фундаментов мелкого заложения и связей конечной жесткости для свай [8, 9]. Специализированные геотехнические программы второй группы (Plaxis 2D, Plaxis 3D и др.), напротив, имеют широкие возможности в оценке напряженно-деформированного состояния оснований при приближенном моделировании строительных конструкций [10, 11]. Программы третьей группы (MicroFe, FemModels, Midas и др.) позволяют моделировать расчетную схему в виде системы «основание – фундамент – надземная часть» с различным набором особенностей: сваи в виде стержневых конечных элементов с ограничением допускаемой нагрузки; залегание грунтов в виде неоднородного трехмерного массива; физическая и геометрическая нелинейность поведения материалов конструкций и грунтов [12].

Верифицированный проектно-вычислительный комплекс MicroFe (ПВК MicroFe) позволяет реализовать конечно-элементное моделирование расчетных схем системы «основание – фундамент – надземная часть». Ниже приведен пример использования этой программы применительно к расчету кирпичного здания в г. Томске.

Строительство здания было начато в конце 2009 г. по проекту на девять этажей. В период с 2009 г. по начало 2011 г. был разработан котлован и вы-

полнено свайное основание. В конце 2011 г. строительство было продолжено. После испытания отдельных свай статической нагрузкой было принято решение о надстройке еще трех этажей. Строительство уже 12-этажного здания было завершено в 2014 г., а в 2015 г. объект был введен в эксплуатацию.

Рассматриваемое здание с гаражами-стоянками в подвале с несущими конструкциями из монолитных железобетонных рам четырехсекционное, кирпичное, Г-образного очертания в плане. Конструктивная схема – с несущими продольными и поперечными стенами. Блок-секции разделены деформационными неосадочными температурными швами. Компоновочная схема с расположением геодезических марок в цокольной части и общий вид здания приведены соответственно на рис. 1, 2.

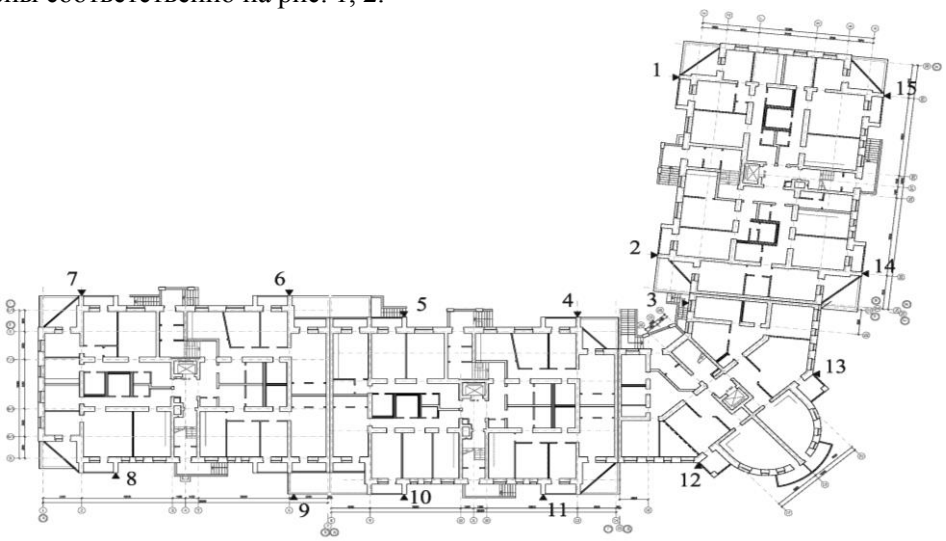


Рис. 1. Компоновочная схема здания с точками расположения геодезических марок по периметру цокольной части на отм. –1.900 м



Рис. 2. Общий вид здания жилого дома по пер. Спортивному, 7, в г. Томске

При создании расчетной модели использовались фактические геометрические и физико-механические характеристики материалов и конструкций, полученные по результатам обследования здания и испытаний фрагментов кладки, отобранных из подоконных участков стен [1]. Прочность камней в теле кладки и облицовочного кирпича соответствует марке М125, прочность раствора – М100.

Грунтовые условия площадки определены как сложные согласно СП 11-105–97[2]. Площадка строительства расположена под уклоном, перекрыта толщей неоднородных насыпных грунтов, ниже которых залегают обводненные глинистые грунты низкой несущей способности (суглинки мягкопластичные, супеси текучие). Суглинки тугопластичной консистенции залегают с глубины 11,0 м от поверхности. Встречены два горизонта подземных вод с близким залеганием от поверхности.

Сваи сечением 30×30 см, длиной 12 м прорезают насыпной гравийно-галечниковый грунт (ИГЭ-1), слои мягкопластичного суглинка (ИГЭ-3) и супеси текучей (ИГЭ-4). Нижние концы свай опираются на суглинок тугопластичной консистенции (ИГЭ-3) (рис. 3). Физико-механические характеристики грунтов приведены в таблице.

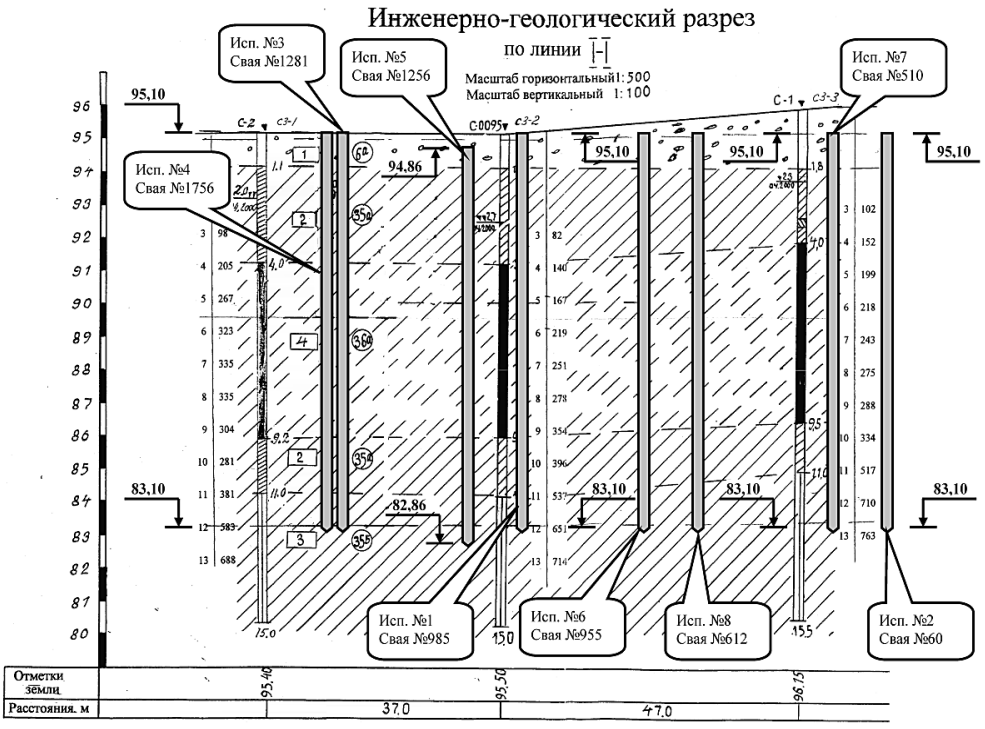


Рис. 3. Инженерно-геологический разрез с привязкой свай, которые были испытаны статической вдавливающей нагрузкой

[2] СП 11-105–97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Ч. I. Общие правила производства работ. 83 с.

Физико-механические характеристики грунтов

№ инженерно-геологического элемента (ИГЭ)	Наименование грунта	Плотность грунта, г/см^3		Влажность, %	Коэф. пористости, д. е.	Степень водонасыщения, д. е.	Число пластичности, %	Показатель текучести, д. е.	Удельное сцепление, кПа			Угол внутреннего трения, град			Модуль деформации, МПа
		ρ		ω	e	S_r	I_p	I_l	C	C_{II}	C_I	φ	φ_{II}	φ_I	E
1	Насыпной гравийно-галечниковый грунт со строительным мусором														
2	Суглинок мягкопластичный с примесью органических веществ	1,89		21,2	0,72	0,79	8	0,65	28	28	19	14	14	12	9
3	Суглинок тугопластичный с примесью органических веществ	1,91		32,4	0,86	1,0	16	0,46	22	22	22	17	17	15	12
4	Супесь текучей консистенции	2,0		26,5	0,69	1,0	5	>1	9	9	6	18	18	16	

По результатам восьми испытаний грунтов статическими нагрузками на сваи и их статистической обработки (рис. 4) были определены несущая способность свай и расчетная нагрузка на сваи, которые составили 740,6 и 617,2 кН соответственно.

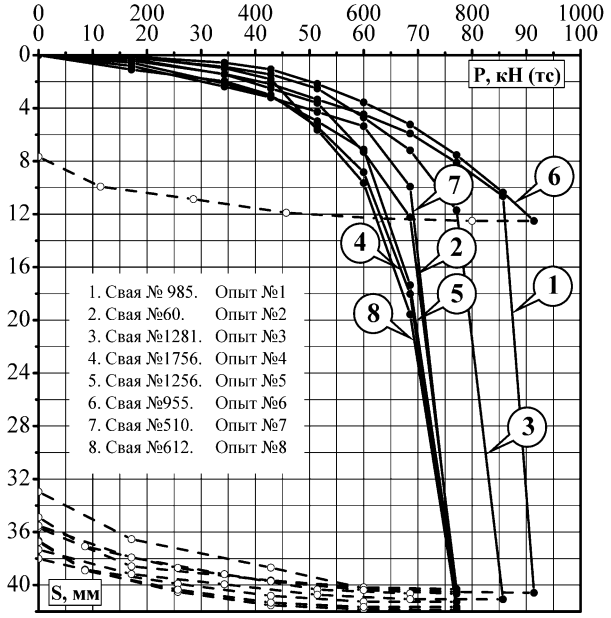


Рис. 4. Совмещенный график результатов испытаний восьми свай

Расчет на действие динамической ветровой нагрузки (пульсационная составляющая) выполнялся при абсолютно жестком закреплении конструкций подвала в уровне ростверка. Затем пульсационная составляющая ветровой нагрузки передавалась в расчетную схему здания на свайном основании в качестве дополнительной нагрузки. Общий вид конструктивной и расчетной конечно-элементной схемы блок-секции дан на рис. 5.

Расчет проводился в два этапа: на первом этапе основание здания принималось жестким (расчетная схема № 1); на втором этапе свайное основание моделировалось податливым за счет осадок свай (расчетная схема № 2).

Расчет блок-секции по расчетной схеме № 1 показал, что усилия и напряжения в отдельных строительных конструкциях превысили проектные значения. Например, максимальный дефицит армирования ригелей в монолитных рамах подвала составил 16 %.

Таким образом, «совместный» и «раздельный» расчет зданий приводит к существенным количественным отличиям в результатах расчета, что в принципе недопустимо в практике проектирования. Кроме того, при расчете здания в пространственной постановке на жестком основании нагрузка на фундамент определяется величиной опорных реакций от надземной части, что не позволяет получить корректные данные об осадках и кренах фундамента, что весьма актуально при проектировании многоэтажных зданий.

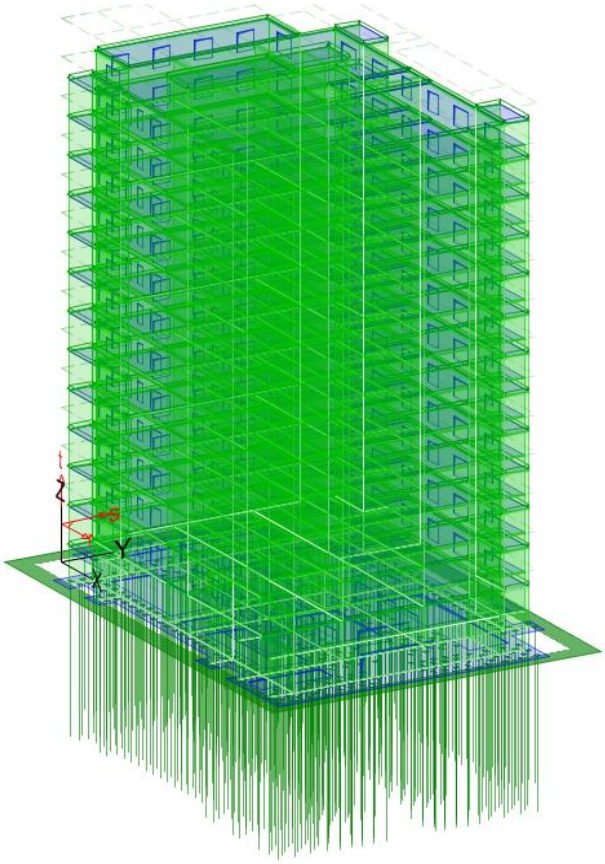


Рис. 5. Конечно-элементная схема блок-секции рассматриваемого здания жилого дома

Расчет блок-секции по расчетной схеме № 2 проводился в такой последовательности:

1-й этап. По результатам линейного расчета определялась величина максимального расчетного усилия $N_{р.н}$ = 560,38 кН (рис. 6), передаваемого на сваи, которая сравнивалась со значением расчетной нагрузки на сваи $N_{ст.н}$ = 617,2 кН, полученным при испытании свай статической нагрузкой:

$$N_{max} = –560,38 \text{ кН}.$$

2-й этап. Выполнялся анализ усилий и вертикальных перемещений (далее перемещений) в сваях, напряжений и деформаций в строительных конструкциях. Так наибольший дефицит армирования ригелей в монолитных рамах подвала составил менее 1 % по сравнению с проектом. Максимальные напряжения в армокирпичной кладке нижних простенков составили σ = 3,01 МПа и уменьшились на 15,4 % по сравнению с жестким основанием, не превысив расчетного сопротивления армокирпичной кладки. Максимальные перемещения основания здания составили 79,6 мм, что не превышает предельно допустимые значения 180 мм. Относительная разница осадок была равна 0,00059, что меньше предельно допустимого значения 0,0024.

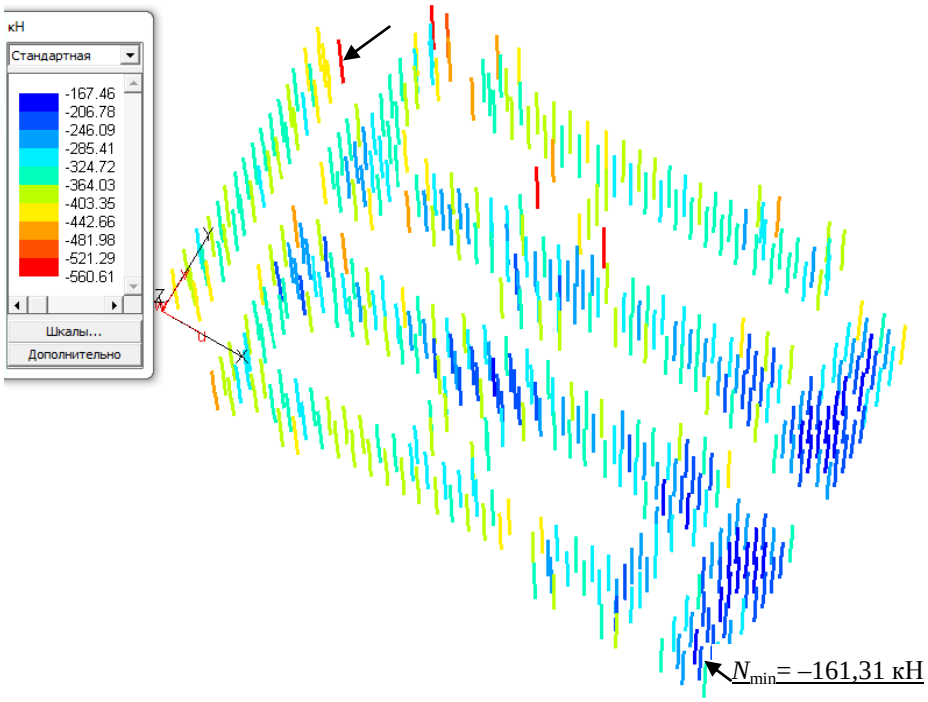


Рис. 6. Значения расчетных продольных нагрузок на сваи

Таким образом, расчет системы «основание – фундамент – надземная часть» рекомендуется проводить следующим образом:

– на основании результатов испытания свай статической нагрузкой (или другим способом, например статическим зондированием свай) задается величина расчетной нагрузки на сваи. Если наибольшее расчетное усилие, передаваемое на сваи от здания, оказывается меньше расчетной нагрузки, которую можно приложить на сваи, то расчет выполняется в линейной постановке;

– если в отдельных (как правило, краевых) сваях расчетное усилие оказывается больше, чем расчетная нагрузка, которую можно приложить на сваю, то в исходных данных статического расчета устанавливается ограничитель предельной нагрузки на сваи, равный расчетной нагрузке. В этом случае расчет проводится с учетом конструктивной нелинейности с односторонними связями с изменяющейся жесткостью между стержневыми элементами сваи и объемными элементами грунта. В этом случае усилия в сваях, которые превышают расчетную нагрузку, передаются на рядом расположенные сваи и догружают их, в результате чего происходит перераспределение усилий между сваями и, как следствие, изменение напряженно-деформированного состояния ростверка и вышерасположенных строительных конструкций по сравнению с линейным расчетом.

Основной целью анализа деформирования системы «основание – фундамент – надземная часть» являлось сопоставление фактических осадок и расчетных перемещений в контролируемых точках цокольной части на шести

этапах строительства здания – после окончания строительства третьего, пятого, шестого, девятого, одиннадцатого и двенадцатого этажей, а также в процессе проведения отделочных работ (догружения здания) по данным геодезического мониторинга и статического расчета.

Осадочные марки нивелировались с точностью 2-го класса. Нивелирование выполнено по способу «совмещения» в одном направлении при двух горизонтах инструмента. Сеть нивелирования состояла из основных ходов. На марки сооружений были переданы высоты от ближайших реперов обоснования.

Фактические осадки в контролируемых точках цокольной части стен и соответствующие значения расчетных перемещений приведены на рис. 7. Начало наблюдений 10.02.2013 г., окончание – 12.08.2014 г. Продолжительность – 19 месяцев.

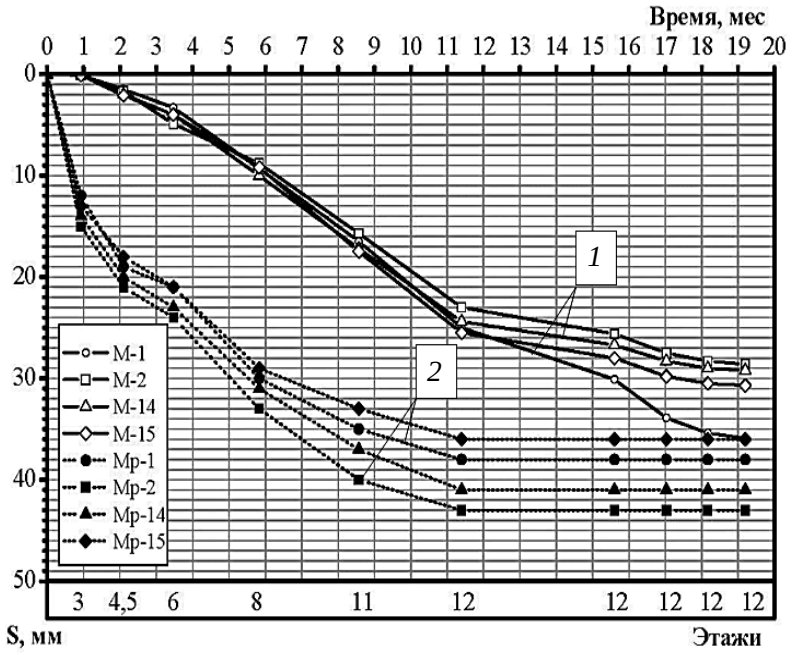


Рис. 7. Графики осадок и перемещений во времени в блок секции:
1 – фактические осадки по результатам наблюдений; *2* – расчетные перемещения

Сопоставляя фактические осадки и расчетные перемещения, можно отметить, что в период строительства расчетные перемещения превышали фактические осадки в среднем на 12 мм на первом этапе и на 15–24 мм на последующих этапах. Такое расхождение можно объяснить следующим образом: во-первых, расчетные перемещения являются конечными в отличие от фактических осадок, которые могут нарастать во времени; во-вторых, в условиях строящегося и незаселенного жилого дома отсутствует часть нагрузок, которые были учтены в расчете.

После завершения строительства и ввода здания в эксплуатацию в течение девяти месяцев фактические осадки увеличились на 3–10 мм, разница

между расчетными перемещениями и фактическими осадками уменьшилась до 12–14 мм и составила в среднем 15 %.

Выводы

1. В процессе надстройки здания при жестком его основании расчетные усилия и напряжения в отдельных сваях и строительных конструкциях надземной части могут принимать пиковую форму и превышать проектные значения. Учет податливости свайного фундамента в определенных грунтовых условиях приводит к сглаживанию и снижению усилий и напряжений в строительных конструкциях по сравнению с жестким основанием.

2. Проведенный анализ деформированного состояния системы «основание – фундамент – надземная часть» в сопоставлении с результатами геодезического мониторинга осадок здания показал, что основные нормируемые параметры – абсолютные и относительные осадки – не превысили допустимые значения, определяемые национальными стандартами.

3. Полученные значения расчетных перемещений и фактических осадок в контролируемых точках цокольной части стен показали их удовлетворительную сходимость, разница составила в среднем 15%.

Библиографический список

1. *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 Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. № 1. С. 174–180.
2. *Улицкий В.М., Шашкин А.Г., Шашкин К.Г.* Геотехническое сопровождение развития городов (практическое пособие по проектированию зданий и подземных сооружений в условиях плотной застройки. СПб.: Стройиздат Северо-Запад, 2010. 550 с.
3. *Шашкин В.А.* Эффекты взаимодействия оснований и сооружений // Развитие городов и геотехническое строительство. 2012. № 14. С. 141–167.
4. *Шашкин А.Г., Шашкин К.Г.* Взаимодействие здания и основания: методика расчета и практическое применение при проектировании / под ред. В.М. Улицкого. СПб.: Стройиздат СПб., 2002. 48 с.
5. *Карпенко Н.И., Карпенко С.Н., Кузнецов Е.Н.* О современных проблемах расчета высотный зданий из монолитного железобетона // Бетон и железобетон – пути развития: научные труды II Всероссийской Международной конференции: в пяти книгах. Т. 1. Пленарные доклады. М., 2005. С. 149–166.
6. *Шашкин К.Г.* Использование упрощенных моделей основания для решения задач совместного расчета основания и конструкций сооружения. Условия доступа: http://www.georec.narod.ru/mag/1999n1/9.htm
7. *Справочник геотехника*. Основания, фундаменты и подземные сооружения / под общ. ред. В.А. Ильичева, Р.А. Мангушева. М.: Изд-во АСВ, 2014. 728 с.
8. *Кравченко В.С., Криксунов Э.З., Перельмутер М.А., Скорук Л.Н.* SCAD Structure. Расчет оснований и фундаментов. Руководство пользователя. Версия 1.1. М., 2006. 33 с.
9. *Ковальчук О.А., Колесников А.В., Русанова Е.М. и др.* Введение в программный комплекс ЛИРА 10.4. М.: НИУ МГСУ, 2015. – Условия доступа: http://lira-soft.com/wiki/manuals
10. *PLAXIS Finite Element Code for Soil and Rock Analyses*. Руководство пользователя. Версия 7. СПб.: НИП-Информатика, 2004. 274 с.
11. *PLAXIS 3D Foundation* / eds. R.B.J. Brinkgreve, W. Broere. Abingdon e. a.: Balkema, 2004. V. 1.
12. *MicroFe-СДК*. Программный комплекс конечно-элементных расчетов пространственных конструкций на прочность, устойчивость и колебания // ООО «ТЕХСОФТ», 2015. Условия доступа: http://www.tech-soft.ru

REFRRENCES

1. *Yushchube S.V., Podshivalov I.I., Samarin D.G., et al.* Eksperimental'noe issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya fragmentov kladki naruzhnykh sten iz keramicheskogo kamnya [Experimental research of stress-strain state of ceramic brick masonry fragments]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Buiding*. 2017. No. 1. Pp. 174–180. (rus)
2. *Ulitskii V.M., Shashkin A.G., Shashkin K.G.* Geotekhnicheskoe soprovozhdenie razvitiya gorodov (prakticheskoe posobie po proektirovaniyu zdanii i podzemnykh sooruzhenii v usloviyakh plotnoi zastroiki [Geotechnical support of urban development]. St.-Petersburg: Stroiizdat Severo-Zapad Publ., 2010. 550 p. (rus)
3. *Shashkin V.A.* Effekty vzaimodeistviya osnovanii i sooruzhenii [Interaction between foundations and structures]. *Razvitie gorodov i geotekhnicheskoe stroitel'stvo*. 2012. No. 14. Pp. 141–167. (rus)
4. *Shashkin A.G., Shashkin K.G.* Vzaimodeistvie zdaniya i osnovaniya: metodika rascheta i prakticheskoe primenenie pri proektirovanii [Building-foundation interaction and practical design applications]. V.M. Ulitskii (Ed.). St.-Petersburg: Stroiizdat Publ., 2002. 48 p. (rus)
5. *Karpenko N.I., Karpenko S.N., Kuznetsov E.N.* O sovremennykh problemakh rascheta vysotnyi zdanii iz monolitnogo zhelezobetona [Calculation of high-rise buildings made of monolithic reinforced concrete]. II Vserossiiskaya (Mezhdunarodnaya) konferentsiya. Beton i zhelezo-beton – puti razvitiya *(Proc. 2nd Int. Sci. Conf. 'Concrete and Reinforced Concrete – Glance at Future')*. 2005. V. 1. Pp. 149–166 p. (rus)
6. *Shashkin K.G.* Ispol'zovanie uproshchennykh modelei osnovaniya dlya resheniya zadach sovmestnogo rascheta osnovaniya i konstruktsii sooruzheniya [Simplified foundation models for structural analysis]. Available: www.georec.narod.ru/mag/1999n1/9.htm (rus)
7. *Il'ichev V.A., Mangushev R.A. (Eds)* Spravochnik geotekhnika. Osnovaniya, fundamenty i podzemnye sooruzheniya [Foundations and underground structures manual]. Moscow: ASV Publ., 2014. 728 p. (rus)
8. *Kravchenko V.S., Kriksunov E.Z., Perel'muter M.A., Skoruk L.N.* SCAD structura. Raschet osnovanii i fundamentov. Rukovodstvo pol'zovatelya [SCAD Structure. Guide for foundation analysis. Version 1.1]. Moscow, 2006. 33 p. (rus)
9. *Koval'chuk O.A., Kolesnikov A.V., Rusanova E.M., et al.* Vvedenie v programmnyi kompleks LIRA 10.4 [Introduction to LIRA 10.4 program package]. Moscow: MGSU Publ., 2015. Available: http://lira-soft.com/wiki/manuals (rus)
10. *PLAXIS Finite element code for soil and rock analyses.* St.-Petersburg: NIP-Informatika, 2004. 274 p.
11. *Brinkgreve R.B.J., Broere W. (Eds).* PLAXIS 3D foundation. Abingdon: Balkema, 2004. V. 1.
12. *MicroFe-SDK. Programmnyi kompleks konechno-elementnykh raschetov prostranstvennykh konstruktsii na prochnost', ustoichivost' i kolebaniya* [MicroFe-SDK software for finite-element analysis of spatial structures]. OOO 'TEKhSOFT', 2015. Available: www.tech-soft.ru (rus)

Сведения об авторах

Ющубе Сергей Васильевич, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, sv@tsuab.ru

Подшивалов Иван Иванович, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, ivanpodchivalov@list.ru

Шалгинов Роман Валерьевич, канд. техн. наук, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, mamoru@list.ru

Самарин Дмитрий Геннадьевич, канд. техн. наук, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, sdgsamara@mail.ru

Филиппович Анна Александровна, канд. техн. наук, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, annafilich@mail.ru

Устюжанин Владимир Леонидович, инженер, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, uvl@mail.ru

Тряпицин Андрей Евгеньевич, ведущий инженер, ООО «Газпром трансгаз Томск», 634029, г. Томск, пр. Фрунзе, 9, A.Tryapitsin@gtt.gazprom.ru

Authors Details

Sergey V. Yushchube, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, sv@tsuab.ru

Ivan I. Podshivalov, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, ivanpodchivalov@list.ru

Roman V. Shalginov, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, mamoru@list.ru

Dmitriy G. Samarin, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, sdgsamara@mail.ru

Anna A. Filippovich, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, annafilich@mail.ru

Vladimir L. Ustyuzhanin, Engineer, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, uvl@mail.ru

Andrey E. Tryapitsin, Lead Engineer, OOO ‘Gazprom transgaz Tomsk’, 9, Frunze Ave., 634029, Tomsk, Russia; fly2001@sibmail.com