

Полищук А.И., Межаков А.С. Оценка влияния наклона разделительного ряда из свай между фундаментами соседних зданий на их осадки // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2019. – Т. 10, № 1. – С. 69–79. DOI: 10.15593/2224-9826/2019.1.07

Polishchuk A.I., Mezhakov A.S. Assessing the effect of an inclined dividing line from piles between the foundations of neighboring buildings on their settlements. *Bulletin of PNRPU. Construction and Architecture*. 2019. Vol. 10. No. 1. Pp. 69–79. DOI: 10.15593/2224-9826/2019.1.07



**ВЕСТНИК ПНИПУ.
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА**
Т. 10, № 1, 2019
**PNRPU BULLETIN.
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE**
<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>



DOI: 10.15593/2224-9826/2019.1.07

УДК 624.137.7

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НАКЛОНА РАЗДЕЛИТЕЛЬНОГО РЯДА ИЗ СВАЙ МЕЖДУ ФУНДАМЕНТАМИ СОСЕДНИХ ЗДАНИЙ НА ИХ ОСАДКИ

А.И. Полищук, А.С. Межаков

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

О СТАТЬЕ

Получена: 20 декабря 2018
Принята: 08 февраля 2019
Опубликована: 29 марта 2019

Ключевые слова:

осадки фундаментов, реконструируемое здание, разделительный ряд из свай, глинистые грунты основания, буроинъекционные сваи.

АННОТАЦИЯ

Рассматриваются осадки фундаментов существующего (реконструируемого) здания, при сроке его эксплуатации более 20 лет, на глинистых грунтах. В непосредственной близости от рассматриваемого здания завершено строительство нового соседнего здания на расстоянии 3 м в свету. Фундаменты обоих зданий плитные из монолитного железобетона. Грунты основания строительной площадки представлены двумя инженерно-геологическими элементами: суглинком текучепластичным (ИГЭ-1) мощностью 14 м и супесью пластичной (ИГЭ-2) мощностью более 16 м. Расчетом выявлены дополнительные осадки плитного фундамента существующего (реконструируемого) здания от давления на основание, передаваемого новым соседним зданием. Для уменьшения дополнительных осадок фундаментов рассмотрены варианты устройства разделительного ряда из буроинъекционных свай между зданиями, имеющего различный угол наклона к вертикали. Численные расчеты осадок фундаментов зданий и их приращений выполнены в программном комплексе Midas GTS NX, дана оценка полученных результатов.

© ПНИПУ

© Полищук Анатолий Иванович – доктор технических наук, профессор, e-mail: ofpai@mail.ru.
Межаков Александр Сергеевич – аспирант, e-mail: as.mezhakov@gmail.com.

Anatoly I. Polishchuk – Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: ofpai@mail.ru.
Alexander S. Mezhakov – Postgraduate Student, e-mail: as.mezhakov@gmail.com.

ASSESSING THE EFFECT OF AN INCLINED DIVIDING LINE FROM PILES BETWEEN THE FOUNDATIONS OF NEIGHBORING BUILDINGS ON THEIR SETTLEMENTS

A.I. Polishchuk, A.S. Mezhakov

Kuban State Agrarian University named I.T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 20 December 2018
Accepted: 08 February 2019
Published: 29 March 2019

Keywords:

foundation settlements, reconstructed building, dividing line from piles, clay base soils, bored injection piles.

ABSTRACT

We consider the settlements of foundations of an existing (reconstructed) building, with a life span of more than 20 years, on clay soils. In the immediate vicinity of the object under consideration, the construction of a new building was completed at a distance of 3 m in light. The foundations of both buildings are slabs of monolithic reinforced concrete. The grounds of the foundation are represented by two engineering-geological elements: fluid-plastic loam (EGE 1) 14 m thick and plastic sandy loam (EGE 2) more than 16 m thick. The calculation revealed additional settlements of the slab foundation of the existing (reconstructed) building from the pressure on the base transferred by the new neighboring building. To reduce the additional settlements of the foundations, the options for dividing line from injection piles between buildings with a different angle of inclination to the vertical are considered. Numerical calculations of the settlements of foundations buildings and their increments are performed in the Midas GTS NX software package; given an assessment of the results.

© PNRPU

1. Общие положения

Устройство фундаментов вблизи существующих зданий наиболее часто ведется в условиях плотной городской застройки. На этапе их проектирования необходимо прогнозировать осадки зданий и их неравномерности для обеспечения надежной эксплуатации строительных конструкций. При уплотнении городской застройки фундаменты существующих (реконструируемых) зданий могут получать дополнительные осадки, которые часто возникают от давления, передаваемого новыми соседними фундаментами. Вокруг фундаментов существующего здания появляется «осадочная воронка», размеры которой в плане соизмеримы с мощностью (высотой) сжимаемой толщи основания. Максимальные дополнительные осадки фундаментов существующих зданий образуются в том случае, когда соседние (вновь устраиваемые) фундаменты находятся в непосредственной близости друг от друга. Дополнительные осадки обычно не возникают, если соседние фундаменты устраиваются в глинистых грунтах на расстоянии примерно 8–10 м и более [1–6].

Существует целый ряд способов уменьшения дополнительных осадок фундаментов существующих (реконструируемых) зданий. Они оправдали себя на практике и применяются в виде: геотехнического барьера в основании между соседними зданиями; консольного примыкания соседнего (вновь устраиваемого) здания; разделительного ряда из инъекционных и буринъекционных свай между зданиями; превентивного усиления фундаментов существующего (реконструируемого) здания и др. Такие мероприятия могут рассматриваться в качестве превентивных. Но гарантированно обеспечить сохранность существующих (реконструируемых) зданий в стесненных условиях строительства довольно сложно [7–10].

2. Основная часть

Цель работы заключалась в оценке влияния разделительного ряда из свай, устраиваемого в глинистых грунтах наклонно под углом 5–15° к вертикали, на осадки фундаментов существующего (реконструируемого) здания. Для определения осадок фундаментов существующего здания от влияния давления соседних (вновь устраиваемых) фундаментов было выполнено моделирование их работы в программном комплексе Midas GTS NX [11–15].

В качестве грунтовых условий была принята строительная площадка, сложенная глинистыми грунтами. Грунты основания представлены двумя инженерно-геологическими элементами: суглинком текучепластичным (ИГЭ-1) мощностью 14 м и супесью пластичной (ИГЭ-2) мощностью более 16 м (рис. 1). Основные физико-механические характеристики грунтов основания представлены в табл. 1.

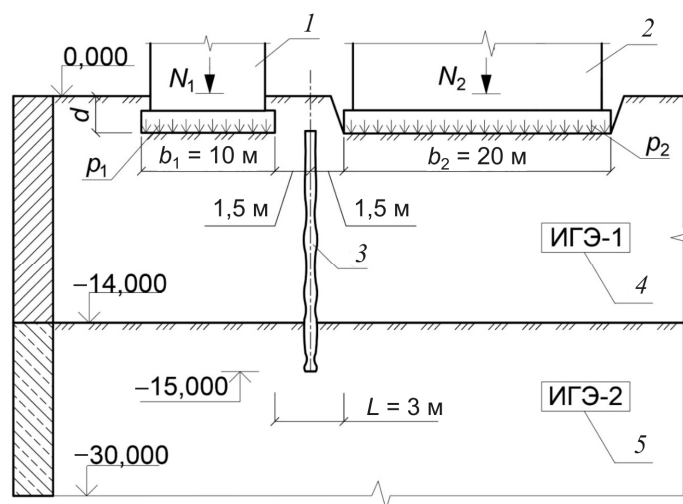


Рис. 1. Расчетная схема для оценки влияния разделительного ряда из буроинъекционных свай на осадки существующего (реконструируемого) здания: 1 – фундамент существующего (реконструируемого) здания; 2 – вновь устраиваемый фундамент; 3 – разделительный ряд из буроинъекционных свай; b_1 , b_2 – ширина подошвы фундаментов; d – глубина заложения фундаментов; L – расстояние в свету между фундаментами; p_1 , p_2 – давление по подошве фундаментов; N_1 , N_2 – нагрузки на фундаменты

Fig. 1. The design scheme for assessing the impact of the dividing line of the bored injection piles on the settlements of the existing (reconstructed) building: 1 – the foundation of an existing (reconstructed) building; 2 – newly arranged foundation; 3 – dividing line from bored injection piles; b_1 , b_2 – width of the base of the foundations, d – depth of the foundations; L – distance between the foundations; p_1 , p_2 – pressure along the base of the foundations, N_1 , N_2 – loads on the foundations

Размеры подошвы плитных фундаментов зданий были приняты: для существующего здания $b_1 = 10$ м, $l_1 = 30$ м, для нового соседнего здания $b_2 = 20$ м, $l_2 = 30$ м. Давление по подошве фундамента p_1 существующего (реконструируемого) здания и соседнего (вновь устраиваемого) фундамента p_2 составляло $p = p_1 = p_2 = 150$ кПа. План-схема расположения фундаментов, разделительного ряда из свай и места снятия отсчетов осадок фундаментов приведена на рис. 2. По результатам расчета перемещений фундаментов в программном комплексе Midas GTS NX (табл. 2–5) и анализа материалов графической информации рассматриваемых объектов (рис. 3–6) были выявлены данные о снижении дополнительных осадок фундамента реконструируемого здания за счет устройства разделительного ряда из буроинъекционных свай с различным углом его наклона к вертикали [12, 13].

Таблица 1

Физико-механические характеристики грунтов основания строительной площадки зданий

Table 1

Physical and mechanical characteristics of soils of the building area of buildings

Грунты основания фундаментов зданий	Суглинок текучепластичный (ИГЭ-1)	Супесь пластичная (ИГЭ-2)
Удельный вес γ , кН/м ³	18,5	17,9
Удельное сцепление c , кПа	12	10
Угол внутреннего трения φ , град	20	22
Коэффициент Пуассона ν	0,35	0,33
Модуль общей деформации E , МПа	7	22

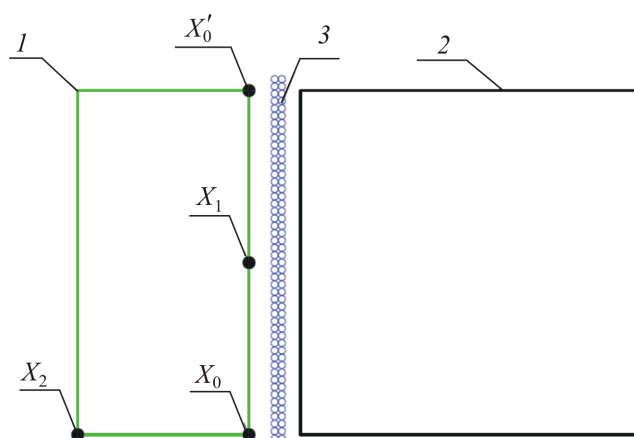


Рис. 2. План-схема к определению дополнительных осадок плитного фундамента существующего (реконструируемого) здания: 1, 2 – соответственно контуры фундаментной плиты существующего (реконструируемого) и вновь устраиваемого здания; 3 – разделительный ряд из буроинъекционных свай; X_0, X_1, X_2 – места (точки) снятия отсчетов дополнительных осадок фундаментов

Fig. 2. Scheme for the determination of additional settlements of the foundation of an existing (reconstructed) building: 1, 2 – contours of the base plate of the existing (reconstructed) and newly constructed building foundations; 3 – dividing line from bored injection piles; X_0, X_1, X_2 – places (points) of sampling additional settlements foundations

В работе были рассмотрены следующие варианты наклона разделительного ряда из свай к вертикали:

1. **Вариант 1.** Разделительный ряд из буроинъекционных свай между фундаментами зданий устроен вертикально (см. рис. 3, табл. 2).

2. **Вариант 2.** Разделительный ряд из буроинъекционных свай между фундаментами зданий устроен наклонно. Угол наклона составляет 15° в сторону вновь устраиваемого фундамента (см. рис. 4, табл. 3).

3. **Вариант 3.** Разделительный ряд из буроинъекционных свай между фундаментами зданий устроен наклонно. Угол наклона составляет 15° в сторону фундамента существующего (реконструируемого) здания (см. рис. 5, табл. 4).

4. **Вариант 4.** Разделительный ряд из буроинъекционных свай между фундаментами зданий выполнен наклонно с их чередованием в противоположных направлениях. Угол наклона разделительного ряда также составляет 15° , но половина свай (50 %) наклонена в сторону

фундамента существующего (реконструируемого) здания, а вторая половина свай (50 %) наклонена в сторону вновь устраиваемого фундамента (см. рис. 6, табл. 5).

Таблица 2

Дополнительные осадки плитного фундамента при устройстве разделительного ряда из свай вертикально (вариант 1)

Table 2

Additional settlements of the plate foundation with the installation of a dividing line from piles vertically (variant 1)

Давление по подошве фундамента p_2 нового соседнего здания, кПа	Дополнительные осадки плитного фундамента (мм) существующего здания в точках			Неравномерности осадок $\Delta S/l$
	X_0	X_1	X_2	
$p = 50$	6,3	7,5	1,8	0,0005
$p = 100$	8,5	9,7	2	0,0007
$p = 150$	10,6	12,5	2,36	0,0008

Примечание: X_0, X_1, X_2 – места (точки) снятия отсчетов дополнительных осадок фундаментов; ΔS – дополнительная осадка фундамента существующего (реконструируемого) здания.

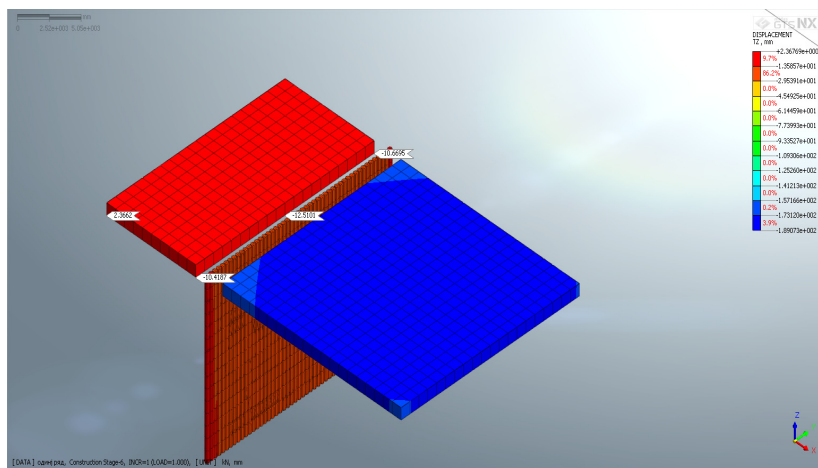


Рис. 3. Картина дополнительных вертикальных перемещений ΔS при устройстве разделительного ряда из свай вертикально (вариант 1)
Fig. 3. Picture of additional vertical movements at the device of a dividing row of piles vertically (variant 1)

Таблица 3

Дополнительные осадки фундамента при устройстве свай под наклоном к соседнему фундаменту (вариант 2)

Table 3

Additional settlements of the foundation when piles tilted to adjacent foundation (variant 2)

Давление по подошве фундамент p_2 нового соседнего здания, кПа	Дополнительные осадки плитного фундамента (мм) существующего здания в точках			Неравномерности осадок $\Delta S/l$
	X_0	X_1	X_2	
$p = 50$	7,4	8,7	1,85	0,0006
$p = 100$	9,5	10,25	2,1	0,0007
$p = 150$	11,6	13,5	2,7	0,0009

Примечание: X_0, X_1, X_2 – места (точки) снятия отсчетов дополнительных осадок фундаментов; ΔS – дополнительная осадка фундамента существующего (реконструируемого) здания.

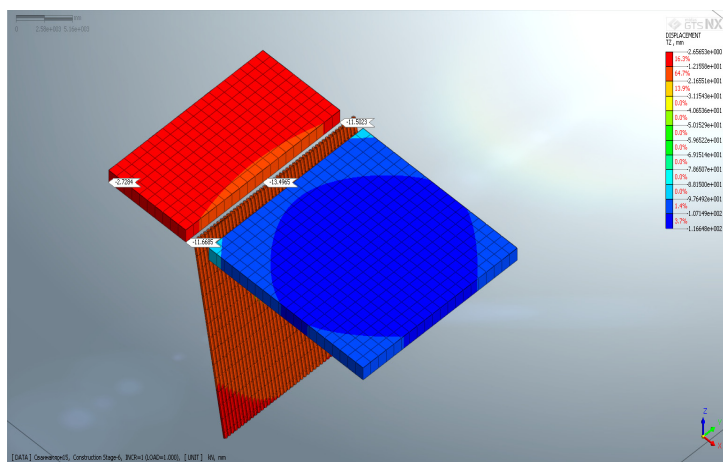


Рис. 4. Картина дополнительных вертикальных перемещений при устройстве разделительного ряда из свай под наклоном 15° к новому соседнему фундаменту (вариант 2)

Fig. 4. Picture of additional vertical movements at the device of a dividing row from piles under an inclination of 15 degrees to the new foundation (variant 2)

Таблица 4

Дополнительные осадки фундамента при устройстве свай под наклоном к существующему фундаменту (вариант 3)

Table 4

Additional settlements of the foundation when piles tilted to existing foundation (variant 3)

Давление по подошве фундамента p_2 нового соседнего здания, кПа	Дополнительные осадки плитного фундамента (мм) существующего здания в точках			Неравномерности осадок $\Delta S/l$
	X_0	X_1	X_2	
$p = 50$	5,85	6,2	2,1	0,0004
$p = 100$	6,95	7,85	2,75	0,0004
$p = 150$	8	9,3	3,2	0,0005

Примечание: X_0, X_1, X_2 – места (точки) снятия отсчетов дополнительных осадок фундаментов; ΔS – дополнительная осадка фундамента существующего (реконструируемого) здания.

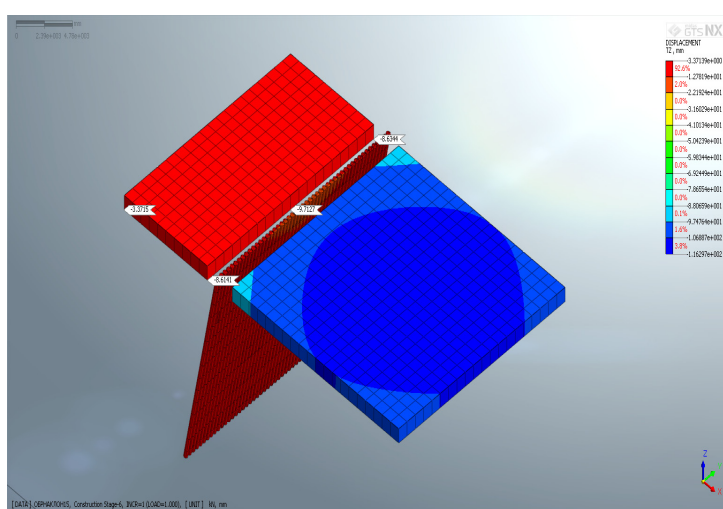


Рис. 5. Картина дополнительных вертикальных перемещений при устройстве разделительного ряда из свай под наклоном 15° к существующему (реконструируемому) фундаменту (вариант 3)

Fig. 5. Picture of additional vertical movements at the device of a dividing row from piles under an inclination of 15 degrees to the existing foundation (variant 3)

Таблица 5

Дополнительные осадки фундамента при устройстве свай с чередованием угла наклона (вариант 4)

Table 5

Additional settlements of the foundation at the device of piles with alternation of a tilt angle (variant 4)

Давление по подошве фундамента p_2 нового соседнего здания, кПа	Дополнительные осадки плитного фундамента (мм) существующего здания в точках			Неравномерности осадок $\Delta S/l$
	X_0	X_1	X_2	
$p = 50$	5,25	5,4	1,6	0,0004
$p = 100$	6,1	6,7	2,2	0,0004
$p = 150$	7,5	8,6	3	0,0005

Примечание: X_0, X_1, X_2 – места (точки) снятия отсчетов дополнительных осадок фундамента; ΔS – дополнительная осадка фундамента существующего (реконструируемого) здания.

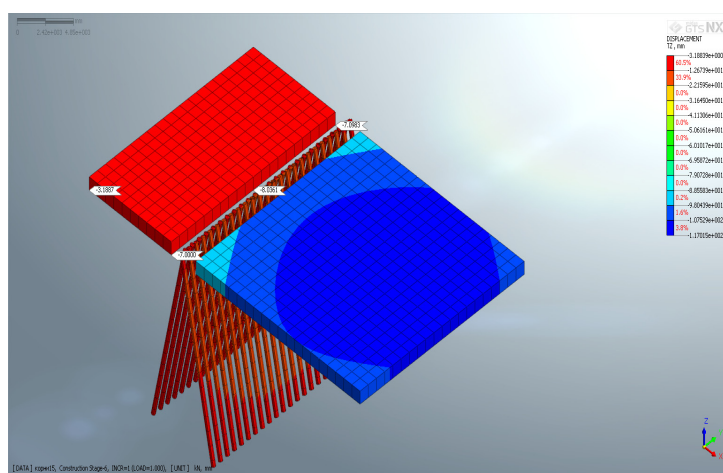


Рис. 6. Картина дополнительных вертикальных перемещений при устройстве разделительного ряда из свай с чередованием угла наклона (вариант 4)

Fig. 6. Picture of additional vertical movements at the device of piles with alternation of a tilt angle about 15 degrees (variant 4)

3. Основные результаты

По результатам проведенных численных расчетов были получены графические зависимости угла наклона α разделительного ряда из свай между фундаментами близко расположенных зданий; также были установлены дополнительные осадки фундамента ΔS и их неравномерности $\Delta S/l$. Оценивая влияние угла наклона α разделительного ряда, можно отметить следующее:

1. Установлено, что если угол наклона α разделительного ряда из свай находится в пределах до 15° , то его положение оказывает существенное влияние на работу фундамента существующего (реконструируемого) здания. Например, из анализа графической зависимости (рис. 7) следует, что при наклоне разделительного ряда из свай в сторону существующего (реконструируемого) здания дополнительные осадки фундамента ΔS составляют 9–9,5 мм. Если же ряд наклонен в сторону нового (вновь устраиваемого) здания, то дополнительные осадки фундамента ΔS составляют 11–13 мм.

2. Направление угла наклона α разделительного ряда из свай оказывает влияние на дополнительные осадки фундамента ΔS существующего (реконструируемого) здания (рис. 8). На графике знаком «+» обозначен наклон разделительного ряда (свай) к соседнему (вновь устраиваемому) зданию, знаком «-» – к существующему (реконструируемому) зданию. Из графика видно, что эффективнее устраивать сваи с наклоном в сторону существующего (реконструируемого) здания.

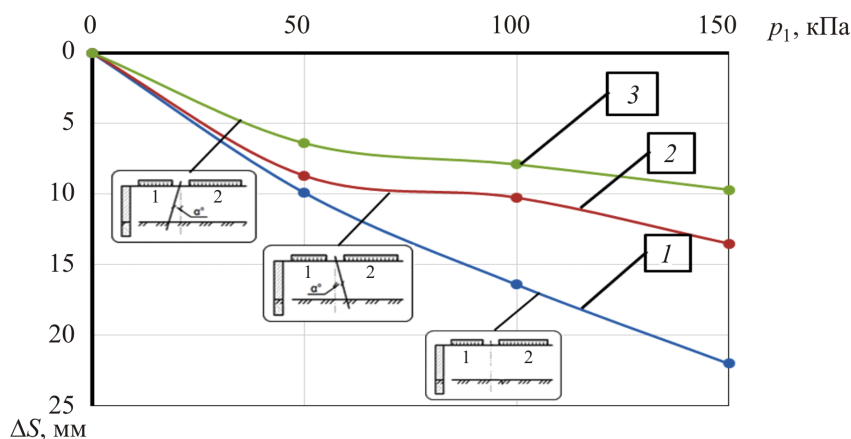


Рис. 7. Графическая зависимость дополнительных осадок фундамента ΔS существующего (реконструируемого) здания и давления по подошве p_2 соседнего (вновь устраиваемого) фундамента при различном направлении наклона α разделительного ряда из свай:
 1 – разделительный ряд из свай отсутствует; 2 – устройство разделительного ряда из свай с их наклоном до 15° в сторону нового здания; 3 – то же, в сторону реконструируемого здания
 Fig. 7. Graphical dependence of the additional settlements of the existing (reconstructed) building foundation ΔS and pressure p of the adjacent new foundation with different direction of inclination of the dividing line of piles: 1 – dividing line of piles is missing; 2 – the device of a dividing line with an inclination of piles of 15 degrees to a new building; 3 – the device of a dividing line with an inclination of piles of 15 degrees to the reconstructed building

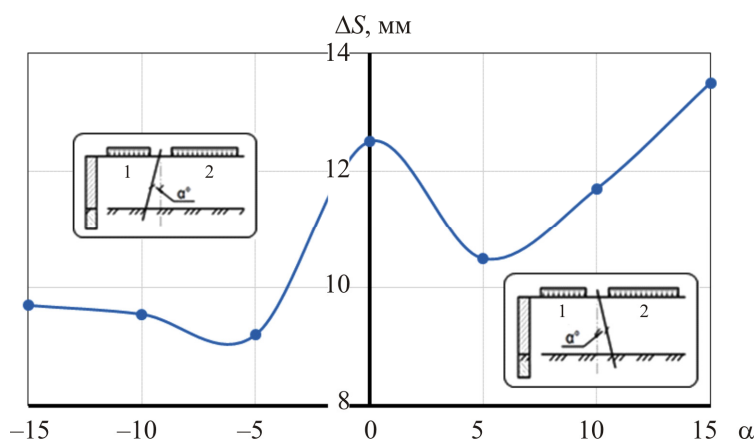


Рис. 8. Графическая зависимость приращения осадки фундамента ΔS реконструируемого здания и угла наклона α разделительного ряда из свай: 1 – фундамент существующего (реконструируемого) здания; 2 – то же, вновь устраиваемого здания
 Fig. 8. Graphical dependence of the increment of settlements of the foundation of the reconstructed building ΔS and angle of inclination α of the dividing line of piles:
 F_1 – the existing (reconstructed) foundation; F_2 – new building foundation

Заключение

По результатам численных расчетов выявлено, что при устройстве разделительного ряда из буроинъекционных свай, выполняемого вертикально, дополнительные осадки фундамента ΔS существующего здания уменьшаются на 30–40 % от полного приращения осадки, когда разделительный ряд отсутствует. При устройстве разделительного ряда из свай, выполняемого наклонно (угол наклона 5–15° к вертикали), наблюдается также снижение дополнительных осадок фундамента ΔS существующего здания. При этом дополнительные осадки фундамента ΔS уменьшаются на 50–65 % от полного приращения осадки в случае отсутствия разделительного ряда между зданиями.

Библиографический список

1. Симагин В.Г. Проектирование и устройство фундаментов вблизи существующих сооружений и в условиях плотной застройки. – М.: Изд-во АСВ, 2012. – 128 с.
2. Fellenius В.Н. Basics of foundation design. – April, 2016. – 451 p. – URL: <https://www.unisoftgs.com/uploaded/file/RedBook.pdf> (дата обращения: 11.11.2018).
3. Справочник геотехника: основания, фундаменты и подземные сооружения / под общ. ред. В.А. Ильичева, Р.А. Мангушева. – М.: Изд-во АСВ, 2016. – 1040 с.
4. Винников Ю.Л., Веденисов А.В. Модельные исследования эффективности грунтоцементных разделительных экранов для защиты зданий от влияния нового строительства // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2015. – № 1. – С. 51–63. DOI: 10.15593/2224-9826/2015.1.04
5. Разводовский Д.Е., Шулятьев О.А., Никифорова Н.С. Оценка влияния нового строительства и мероприятия по защите существующих зданий и сооружений. // РАСЭ. Т. XII. Строительство подземных сооружений. – М., 2008. – С. 230–239.
6. Улицкий В.М., Шашкин А.Г., Шашкин К.Г. Геотехническое сопровождение реконструкции городов. – СПб.: Стройиздат: Геореконструкция, 2010. – 551 с.
7. Шашкин О.Г., Богов С.Г. Апробация технологии «стена в грунте» в инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга // Промышленное и гражданское строительство. – 2012. – № 11. – С. 20–22.
8. Численное моделирование строительства зданий с фундаментами глубокого заложения в условиях плотной городской застройки / А.Н. Власов, Д.Б. Волков-Богородский, В.В. Знаменский, М.Г. Мнушкин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2014. – № 2. – С. 170–179.
9. Sun K.G., Li S.C. Simulation and prediction research of enclosure structure deformation for an open-cut metro station // Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering. – 2008. – No. 27 (S1). – P. 3210–3215.
10. Петрухин В.П., Шулятьев О.А., Мозгачева О.А. Устройство подземного сооружения для возведения зданий плотной городской застройки: патент на полезную модель. – RU 79302. – 12.08.2008.
11. Парамонов В.Н. Метод конечных элементов при решении нелинейных задач геотехники. – СПб.: Геореконструкция, 2012. – 262 с.
12. Полищук А.И., Межаков А.С. Геотехнический барьер и его влияние на осадки фундаментов соседних зданий. Вестник Пермского национального исследовательского по-

литехнического университета. Строительство и архитектура. – 2016. – Т. 7, № 4. – С. 133–142. DOI: 10.15593/2224-9826/2016.4.13

13. Полищук А.И., Межаков А.С. Моделирование работы геотехнического барьера в слабых глинистых грунтах, устраиваемого для защиты существующих зданий от влияния нового строительства // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 131. – С. 1556–1570.

14. Межаков А.С. Влияние разделительного шпунтового ряда, устраиваемого между фундаментами эксплуатируемых зданий, на их осадки // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. – 2016. – Т. 2. – С. 124–129.

15. Sabzi Z., Fakher A. The effect of confining stress on the analysis of excavations adjacent to existing buildings // International Conference on Geotechnique, Construction Materials and Environment. – Malaysia, Kuala-Lumpur, 14–16 November, 2012. – P. 162–166.

References

1. Simagin V.G. Proektirovanie i ustroistvo fundamentov vblizi sushchestvuiushchikh sooruzhenii i v usloviakh plotnoi zastroiki [Design and installation of foundations near existing structures and in dense building conditions]. Moscow, ASV, 2012, 128 p.

2. Fellenius B.H. Basics of foundation design. April, 2016, 451 p, available at: <https://www.unisoftgs.com/uploaded/file/RedBook.pdf> (accessed 11 November 2018).

3. Spravochnik geotekhnika: osnovaniia, fundamenty i podzemnye sooruzheniia [Directory geotechnics. Bases, foundations and underground structures Chapter 16: Strengthening bases and foundations of buildings and structures]. Eds. V.A. Il'ichev, R.A. Mangushev. Moscow, ASV, 2016, 1040 p.

4. Iu.L. Vinnikov, A.V. Vedenisov. Model'nye issledovaniia effektivnosti gruntotsementnykh razdelitel'nykh ekranov dlia zashchity zdaniy ot vliianiia novogo stroitel'stva [Model studies of the effectiveness of grouting dividing screens to protect the building from the effects of the new building]. *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2015, no. 4, pp. 51–63. DOI: 10.15593/2224-9826/2015.1.04

5. Razvodovskii D.E., Shuliat'ev O.A., Nikiforova N.S. Otsenka vliianiia novogo stroitel'stva i meropriiatiia po zashchite sushchestvuiushchikh zdaniy i sooruzhenii [Assessing the impact of new construction and protection measures for existing buildings and structures]. *Rossiiskaia arkhitekturno-stroitel'naiia entsiklopediia. Vol. XII. Stroitel'stvo podzemnykh sooruzhenii*. Moscow, 2008, pp. 230–239.

6. Ulickij V.M., Shashkin A.G., Shashkin K.G. Geotekhnicheskoe soprovozhdenie rekonstrukcii gorodov [Geotechnical support of city reconstruction]. Saint Petersburg, Strojizdat, Georekonstrukciya, 2010, 551 p.

7. Shashkin O.G., Bogov S.G. Aprobaciya tekhnologii «stena v grunte» v inzhenerno-geologicheskikh usloviyakh Sankt-Peterburga [Approbatation of the “wall in the ground” technology in engineering and geological conditions of St. Petersburg]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2012, no. 11, pp. 20–22.

8. Vlasov A.N., Volkov-Bogorodskij D.B, Znamenskij V.V., Mnushkin M.G. Chislennoe modelirovanie stroitel'stva zdaniy s fundamentami glubokogo zalozheniya v usloviyakh plotnoj gorodskoj zastrojki [Numerical modeling of buildings with deep foundations in dense urban ar-

eas]. *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura*, 2014, no. 2, pp. 170–179.

9. Sun K.G., Li S.C. Simulation and prediction research of enclosure structure deformation for an open-cut metro station. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2008, no. 27 (S1), pp. 3210–3215.

10. Petruhin V.P., SHulyat'ev O.A., Mozgacheva O.A. Ustrojstvo podzemnogo sooruzheniya dlya vozvedeniya zdaniy plotnoj gorodskoj zastrojki [The device is an underground structure for the construction of buildings of dense urban development]. Patent na poleznuyu model', RUS 79302 (2008).

11. Paramonov V.N. Metod konechnyh ehlementov pri reshenii nelinejnyh zadach geotekhniki [The finite element method for solving non-linear geotechnical problems]. – SPb: Georekonstrukciya, 2012. – 262 s.

12. Polishchuk A.I., Mezhaikov A.S. Geotekhnicheskij bar'er i ego vliyanie na osadki fundamentov sosednih zdaniy [Geotechnical barrier and its impact on foundation settlement of adjacent buildings]. *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura*, 2016, vol. 7, no. 4, pp. 133–142. DOI: 10.15593/2224-9826/2016.4.13

13. Polishchuk A.I., Mezhaikov A.S. Modelirovanie raboty geotekhnicheskogo bar'era v slabyyh glinistykh gruntah, ustraivaemogo dlya zashchity sushchestvuyushchih zdaniy ot vliyaniya novogo stroitel'stva [Modeling of geotechnical barrier in weak clay soils arranged to protect existing buildings from impact of new construction]. *Politematicheskij setevoy ehlektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2017, no. 131, pp. 1556–1570.

14. Mezhaikov A.S. Vliyanie razdelitel'nogo shpuntovogo ryada, ustraivaemogo mezhdru fundamentami ehkspluatiruemykh zdaniy, na ih osadki [The impact of the separating sheet-piling wall, arranged between foundations of the operating buildings, on their settlement]. *Sovremennyye tekhnologii v stroitel'stve. Teoriya i praktika*, 2016, vol. 2, pp. 124–129.

15. Sabzi Z., Fakher A. The effect of confining stress on the analysis of excavations adjacent to existing buildings. *International Conference on Getechnique, Construction Materials and Environment*. Malaysia, Kuala-Lumpur, 14–16 November, 2012, pp. 162–166.