

УДК 624.152

© О. О. Денисова, главный конструктор
(ООО «Бюро экспертизы и совершенствования
проектных решений Санкт-Петербург»,
Санкт-Петербург, Россия)
E-mail: OlgaDenisova210886@yandex.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2023-20-5-52-63

© O. O. Denisova, Chief designer
(LLC «Bureau of Expertise and Improvement
of Design Solutions St. Petersburg»,
St. Petersburg, Russia)
E-mail: OlgaDenisova210886@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ РАБОТ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ СВАЙ ВДАВЛИВАНИЯ И УСТРОЙСТВУ ГЛУБИННОЙ РАСПОРНОЙ ДИАФРАГМЫ НА ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ЗДАНИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ ЗАСТРОЙКИ

THE INFLUENCE OF INDENTATION PILES AND DEEP SPACER DIAPHRAGM ON ADDITIONAL DEFORMATIONS OF THE SURROUNDING BUILDINGS

Приведены результаты геотехнического мониторинга, определяющие влияние работ по выполнению свай вдавливания и по устройству глубинной распорной диафрагмы, изготовливаемой способом струйной цементации, на дополнительные деформации зданий окружающей застройки. На примере выполнения jet-диафрагмы представлена методика моделирования конструкций нулевого цикла, устраиваемых в массиве грунта без его выемки. В рамках предлагаемой методики увеличение порового давления, возникающее при закреплении грунта, обеспечивается созданием в грунтовой массе боковой объемной деформации, величина и направление развития которой определяются особенностями задачи. Полученные результаты численного моделирования показывают сходимость с данными натурного геотехнического мониторинга, организованного на объекте.

Ключевые слова: геотехнический мониторинг, окружающая застройка, деформация здания, глубинная диафрагма, сваи вдавливания.

The article presents the results of geotechnical monitoring that determine the impact of work on the implementation of indentation piles and a deep spacer diaphragm manufactured by the jet cementation method on additional deformations of surrounding buildings. On the example of jet-diaphragm, there is presented a technique for modeling the «zero» cycle structures arranged in an array of soil without its excavation. Within the framework of the proposed methodology, the increase in pore pressure occurring at soil consolidation is ensured by the creation of lateral volumetric deformation in the soil mass, the magnitude and direction of development of which are determined by the specifics of the task. The obtained results of numerical modeling show convergence with the data of the in-situ geotechnical monitoring organized at the facility.

Keywords: geotechnical monitoring, surrounding buildings, building deformation, deep diaphragm, indentation piles.

Введение

Для рядовой застройки центральных районов Санкт-Петербурга, расположенной в границах зоны влияния нового строительства/реконструкции и характеризуемой 3-й категорией технического состояния, предельные величины дополнительных деформаций по итогам всего комплекса работ, установленные требованиями действующей нормативной

документации, не должны превышать 0,5 см для объектов культурного наследия и 1,0 см для зданий, не относимых к классу исторических. Учитывая обозначенные требования, на стадии проектирования объекта нового строительства или реконструкции с развитым подземным пространством особое внимание уделяется способу устройства системы ограждения предполагаемого котлована и кон-

струкции будущего фундамента [1–4]. Комбинированное решение данных конструкций должно обеспечивать допустимые осадки самого объекта строительства/реконструкции и нормативные дополнительные деформации зданий окружающей застройки. При проектировании в таком случае особое внимание уделяется минимизации деформаций ограждения и фундамента, связанных с осадками грунтового массива [5–7]. Дополнительными деформациями, например, подъемом основания, определяемыми работами нулевого цикла, в составе которых в грунте без его выемки устраиваются новые конструкции, при проектировании зачастую пренебрегают ввиду их малости. К данным видам работ можно отнести выполнение свай вытеснения, а также устройство всех видов закреплений грунтового массива как при выполнении новых конструктивных элементов (противофильтрационные завесы, ограждение котлована и глубинные диафрагмы, исполняемые способом струйной технологии), так и при усилении грунтов в основании уже существующих фундаментов. В большинстве случаев данные деформации подъема относятся к категории технологического воздействия. Не имея регламентированной методики расчета, деформации подъема сложно поддаются расчету и в большой степени зависят от особенностей применяемого оборудования.

Однако дополнительные деформации, вызванные воздействием данных технологий, могут быть сопоставимы, а порой и превышать значения, определяемые изменением напряженно-деформированного состояния массива грунта при работе ограждения котлована и фундамента в ходе его нагружения весом здания.

Технологическое воздействие от вдавливания шпунта на дополнительные деформации существующих зданий приведено в работах Р. А. Мангушева и А. В. Гурского [8, 9]. Характер технологического воздействия от устройства свай вытеснения типа «Фундекс»

на здания окружающей застройки рассматривается в работах Р. А. Мангушева [1, 10], В. М. Улицкого [5], И. П. Дьяконова [11, 12]. На основании результатов геотехнического мониторинга авторами установлено, что устройство свай «Фундекс», выполняемых в слабых водонасыщенных пылеватоглинистых грунтах, вызывает подъем, а спустя время — неравномерную осадку зданий окружающей застройки, возведенных на фундаментах мелкого заложения и расположенных в непосредственной близости от участка производства данных работ [1, 5, 10, 11, 12]. В работах Р. А. Мангушева, А. В. Бояринцева и др. [10] определено влияние устройства свай «Фундекс» на деформации ограждающей конструкции. Полученный изгиб ограждения «от котлована» оказал воздействие на окружающую застройку, вызвав подъем отдельных зданий — до 25 мм для фундаментов, наиболее приближенных к участку застройки. В работах О. А. Маковецкого [13, 14] установлен подъем фундаментов существующего здания при устройстве около него сплошного вертикального геотехнического массива, выполняемого методом струйной цементации.

В настоящей работе рассматривается влияние технологии производства работ по устройству свай вытеснения, изготавливаемых способом вдавливания, а также влияние глубинной горизонтальной диафрагмы в границах ограждения котлована типа «стена в грунте» на дополнительные деформации подъема существующих зданий, расположенных в зоне влияния производства работ, в условиях слабых грунтов и плотной застройки Санкт-Петербурга.

1. Описание объектов и определение задачи исследования

1.1. Объект № 1. Влияние устройства свай вдавливания на дополнительные деформации здания окружающей застройки

Объект № 1 представляет собой строящийся новый жилой комплекс, состоящий из двух

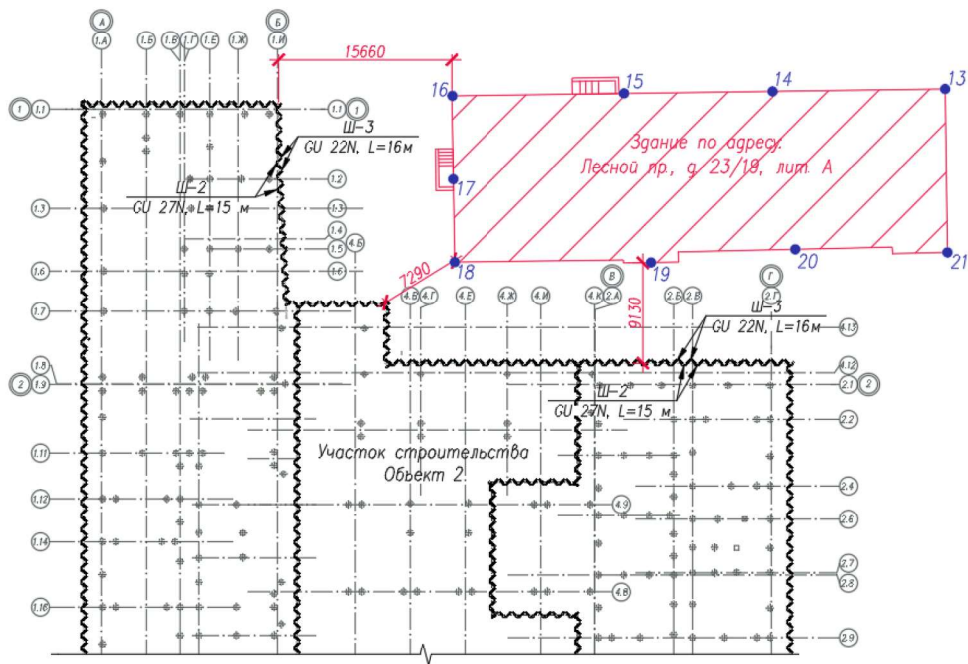


Рис. 1. Схема взаимного расположения объекта нового строительства и существующего здания окружающей застройки с указанием установленных осадочных марок

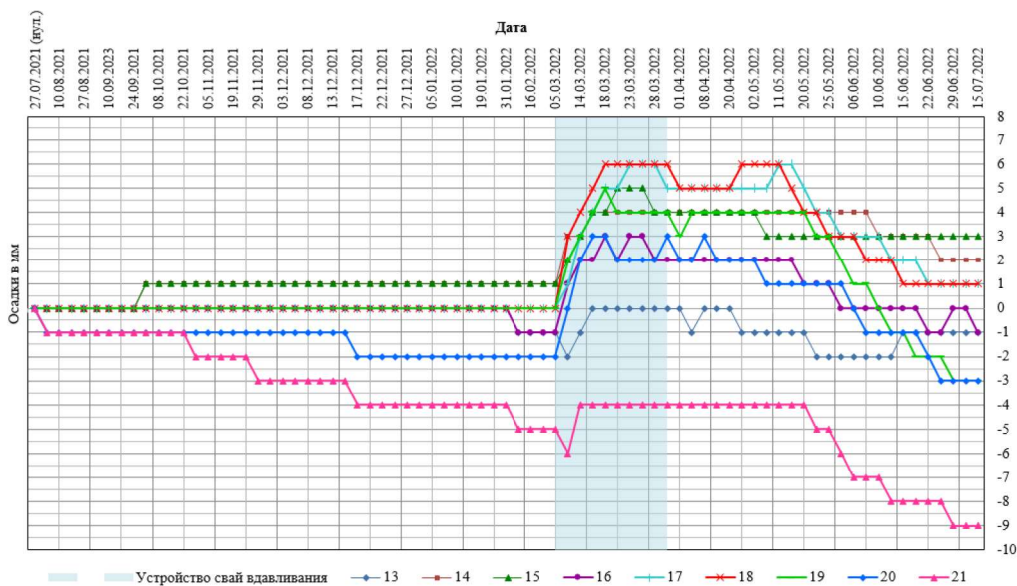


Рис. 2. Графики развития во времени дополнительных деформаций сохраняемого здания. Заливкой на графике выделен период устройства свай вдавливания

корпусов переменной высоты (5–10 этажей), объединенных одноэтажным подземным паркингом. Конструктивная схема проектируемого здания перекрестно-стеновая, обеспечивается совместной работой сборно-монолитного железобетонного каркаса с не-

сущими стенами, колоннами и монолитными плитами перекрытия. Фундаменты здания — свайные, устраиваются из сборных железобетонных свай составного сечения 400×400 мм и длиной 16,0 м, погружаемых способом вдавливания. По сваям предусматривается моно-

литный железобетонный плитный ростверк толщиной 500 мм. Ограждение проектируемого котлована выполняется из металлического шпунта марки GU22n и GU27n длиной 16 м и 15 м соответственно.

Инженерно-геологический разрез участка строительства является характерным для центральных районов Санкт-Петербурга. Под слоем насыпного грунта и пылеватых песков с растительными остатками распространена мощная толща (до глубины 15 м) слабых пылевато-глинистых отложений — текучих супесей и суглинков с низкими физико-механическими характеристиками ($E = 6-8$ МПа; $I_L = 0,81-1,36$; $\varphi = 8-15^\circ$; $c = 7-13$ кПа). Уровень грунтовых вод на участке расположен на глубине 1,3–1,5 м от поверхности.

В границах зоны влияния строительства жилого комплекса располагается существующее трехэтажное жилое здание постройки XIX в. с цокольным этажом и чердаком. Оно имеет бескаркасную конструктивную схему и решено в следующих конструкциях: несущие кирпичные стены по ленточным бутовым фундаментам устроены на естественном основании, перекрытия выполнены в виде кирпичных сводов либо организованы по металлическим балкам с бетонным межбалочным заполнением.

При строительстве корпусов жилого комплекса на площадке была организована система геотехнического мониторинга, за сохраняемым зданием осуществлялся постоянный геодезический и визуальный контроль. На рис. 1 представлена схема расположения осадочных марок, установленных для фиксации дополнительных деформаций здания. Графики развития полученных деформаций во времени приведены на рис. 2.

С целью исключения влияния свай при устройстве свайного поля на существующее сохраняемое здание технологическая последовательность производства работ на площадке предусматривала последовательное устройство шпунтового ограждения, а далее,

в его границах, — свайного основания. Тем не менее, график развития дополнительных деформаций жилого дома, построенный на основании результатов геодезических измерений, определил влияние устройства свайного основания на здание даже при замкнутом контуре шпунта. В период погружения свай вблизи существующего здания его дополнительный подъем составил 4–6 мм для части здания, расположенной со стороны строительной площадки, на расстоянии 7,2–9,1 м от нее, и 0–2 мм для противоположного фасада здания, наиболее удаленного от участка строительства.

Величины дополнительных подъемов фундаментов здания до 6 мм при устройстве свай вдавливания внутри контура шпунтового ограждения, полученные по результатам геотехнического мониторинга на объекте исследования, оказались сравнимыми со значениями предельных деформаций для зданий исторической застройки по требованиям нормативной документации (10 мм).

1.2. Объект № 2. Влияние устройства глубинной распорной диафрагмы, выполняемой в границах ограждения котлована, на дополнительные деформации сохраняемого здания

Объект № 2 представляет собой реконструируемое трехэтажное историческое здание постройки XIX в. Оно решено в следующих конструкциях: фундаменты — ленточные, бутовые, устроены на естественном основании; стены — кирпичные, перекрытия выполнены по деревянным и металлическим балкам, а также по кирпичным сводам.

В основании фундаментов реконструируемого здания залегает толща песчаных грунтов, подстилаемых на значительную глубину слабыми текучими и текучепластичными суглинками ($E = 4-7$ МПа; $I_L = 1,14-1,32$; $\varphi = 5-11^\circ$; $c = 8-17$ кПа). Уровень грунтовых вод в границах участка находится на глубине 1,2 м от поверхности.

Проектом реконструкции предусматривалось углубление внутренних дворов-колодцев здания с устройством в их границах одно- и двухэтажного подземных объемов. Конструктивные решения системы ограждения в полной мере определялись обеспечением сохранности реконструируемого здания, расположенного вдоль бровки организуемого подземного пространства. В границах 1-го двора разработка котлована глубиной 4,2 м производилась под защитой «стены в грунте» толщиной 800 мм и глубиной от поверхности 26 м. Система раскрепления ограждения предусматривала один распорный уровень балочного типа и выполнение ниже дна котлована, на глубине 13 м относительно дневной поверхности,

распорной диафрагмы мощностью 1,5 м, изготавливаемой по технологии струйного закрепления грунта (jet grouting).

С целью обеспечения сохранности реконструируемого здания и безопасности производства работ на объекте была организована система постоянного геотехнического мониторинга. В ее рамках проводились наблюдения за ограждением котлована по системе инклинометрических скважин и тензометрических датчиков, установленных в теле конструкции. За реконструируемым зданием осуществлялся постоянный геодезический и визуальный контроль.

По результатам наблюдений за «стеной в грунте» установлено, что выполнение глубинной диафрагмы по технологии струй-

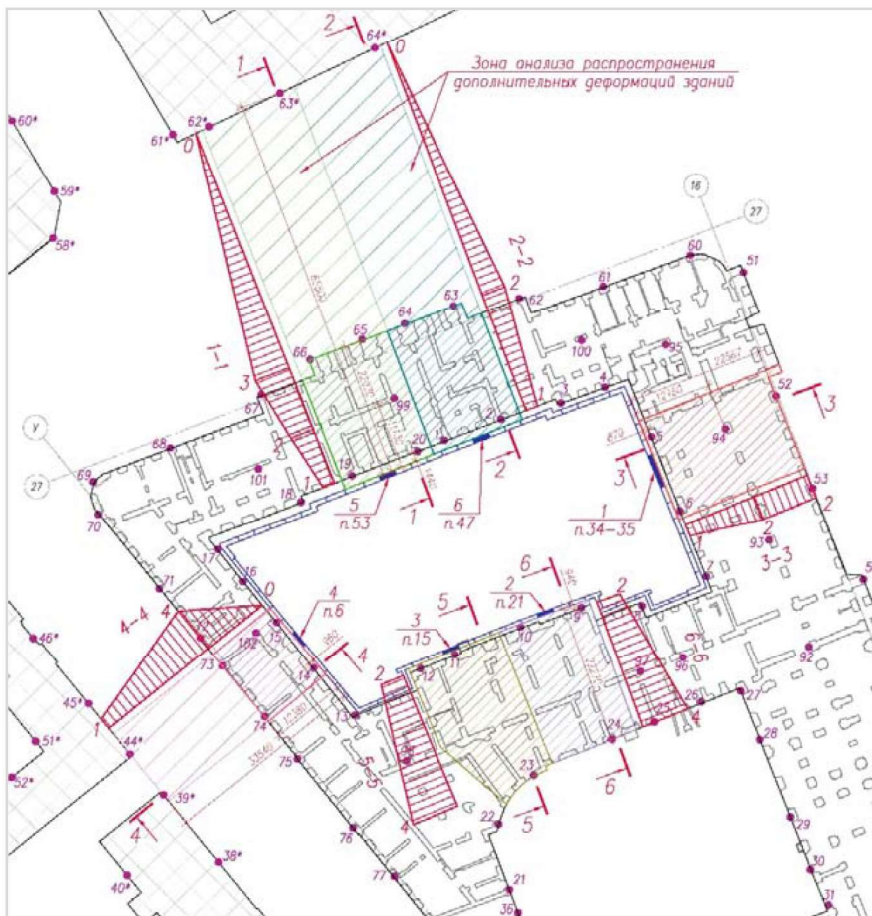


Рис. 3. Распределение дополнительных деформаций основания в границах контролируемых панелей «стены в грунте» при устройстве глубинной диафрагмы

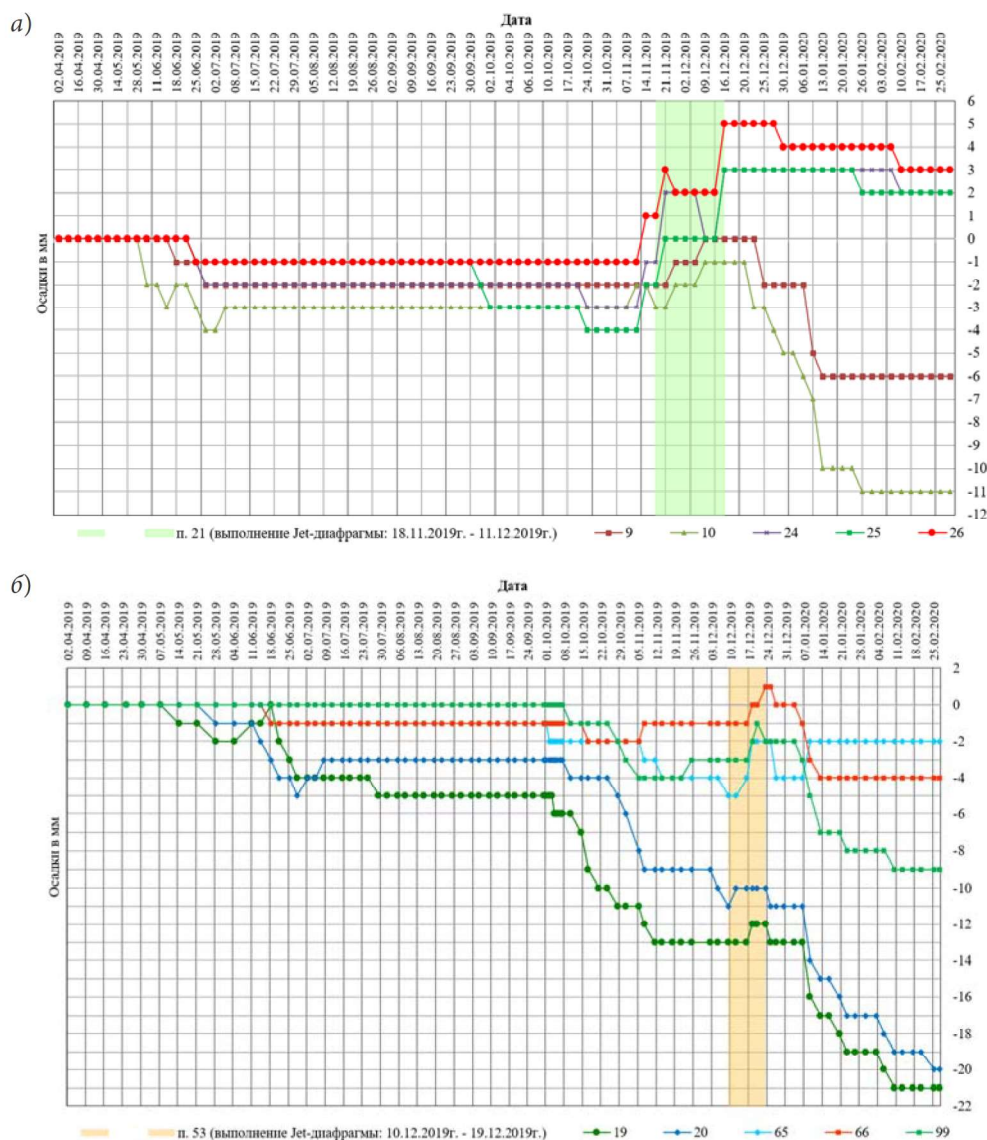


Рис. 4. Графики развития дополнительных деформаций реконструируемого здания в границах контролируемых панелей № 21 (а) и № 53 (б) при производстве работ нулевого цикла. Заливкой на графиках выделен период устройства jet-диафрагмы

ной цементации jet grouting воздействует на ограждение котлована, изменяет его напряженно-деформированное состояние и вызывает изгиб на глубине расположения закрепляемого массива в сторону реконструируемого здания. Результаты исследований влияния устройства jet-диафрагмы на ограждение котлована типа «стена в грунте» приведены в работах [15] и [16].

Перемещение конструкции ограждения оказывает влияние на массив грунта, нахо-

дящегося за «стеной в грунте», и, как следствие, на фундаменты реконструируемого здания. Равномерное расположение геодезических марок по площади здания позволило получить характер распределения дополнительных деформаций грунта в основании фундаментов на этапе устройства глубинной диафрагмы. Установлено, что наибольший подъем в 3–4 мм испытывают фундаменты, находящиеся в интервале расстояний 12–20 м от контура «стены в грунте». При

этом фундаменты, расположенные вдоль периметра ограждения и на расстоянии более 40 м от него показали единичные колебания отметок, их дополнительные деформации на этапе закрепления грунта изменялись в пределах от -1 до $+1$ мм. Полученные результаты измерений представлены на рис. 3 в виде эпюр развития дополнительных деформаций грунта в основании фундаментов реконструируемого здания и за его пределами. Графики развития во времени дополнительных деформаций здания на этапе устройства jet-диафрагмы по характерным маркам, устроенным в границах расположения контролируемых панелей «стены в грунте» (№ 21 и № 53), приведены на рис. 4.

Величины дополнительных подъемов фундаментов здания до 4 мм при устройстве jet-диафрагмы, полученные по результатам геотехнического мониторинга на объекте № 2, оказались сравнимыми со значениями предельных нормативных деформаций для зданий исторической застройки.

2. Метод моделирования работы конструкций нулевого цикла, устраиваемых в грунте без его выемки

Напряженно-деформированное состояние грунтового основания при устройстве в его границах конструкций, выполняемых без выемки грунта, характеризуется увеличением в массиве грунта порового давления. При численном моделировании в программно-вычислительных комплексах данный процесс можно обеспечить за счет создания в грунте боковой объемной деформации, величина и направление развития которой определяются особенностями рассматриваемой задачи. При этом наиболее сложным с точки зрения моделирования является процесс устройства глубинной распорной диафрагмы, выполняемой способом струйной технологии. Количество jet-скважин в объеме диафрагмы во много раз превосходит число свай в составе свайного поля, что создает вычислительные

трудности для соответствующей задачи на этапе формирования расчетной схемы. На примере задачи с диафрагмой рассмотрим методику моделирования и характер влияния устройства конструкций нулевого цикла, выполняемых в грунтовой массе без его выемки, на здания и сооружения окружающей застройки.

Моделирование процесса устройства глубинной диафрагмы определяется особенностью процесса струйного закрепления грунта — величина распространения давления нагнетания инъекционного раствора в горизонтальном направлении во много раз превышает его действие по вертикали [17–20]. Таким образом, изменение напряженно-деформированного состояния грунта при моделировании задавалось путем создания дополнительной боковой объемной деформации ε_v , при условии что дополнительная вертикальная деформация отсутствует ($\varepsilon_y = 0$), а горизонтальные деформации $\varepsilon_x = \varepsilon_z = \varepsilon_v/2$. Принципиальная расчетная схема влияния устройства jet-диафрагмы на дополнительные деформации фундаментов зданий, расположенных за пределами ограждения котлована, представлена на рис. 5.

Предлагаемая методика моделирования процесса устройства глубинной диафрагмы способом струйной технологии заключается в последовательном переходе моделирования от одной скважины к массиву скважин путем анализа взаимосвязи между конечным объемом, объемной деформацией и получаемыми перемещениями задаваемых элементов. В данном случае выполнялся последовательный переход от единичной jet-скважины к ленте и далее к массиву скважин.

3. Результаты и обсуждение

По итогам моделирования в инженерно-геологических условиях, характерных для центральных районов Санкт-Петербурга, возможность замены отдельных jet-скважин на массив обеспечивается при среднем значении боковой объемной деформации

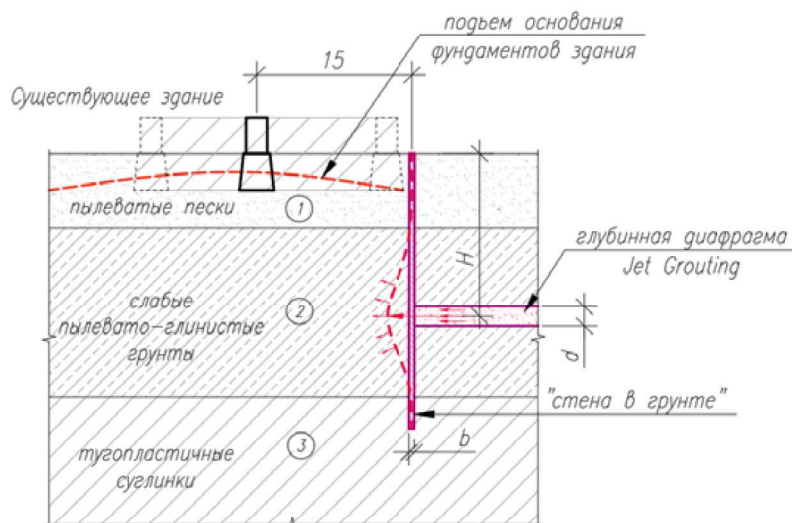


Рис. 5. Принципиальная расчетная схема влияния технологии устройства глубинной диафрагмы на дополнительные деформации фундаментов здания окружающей застройки

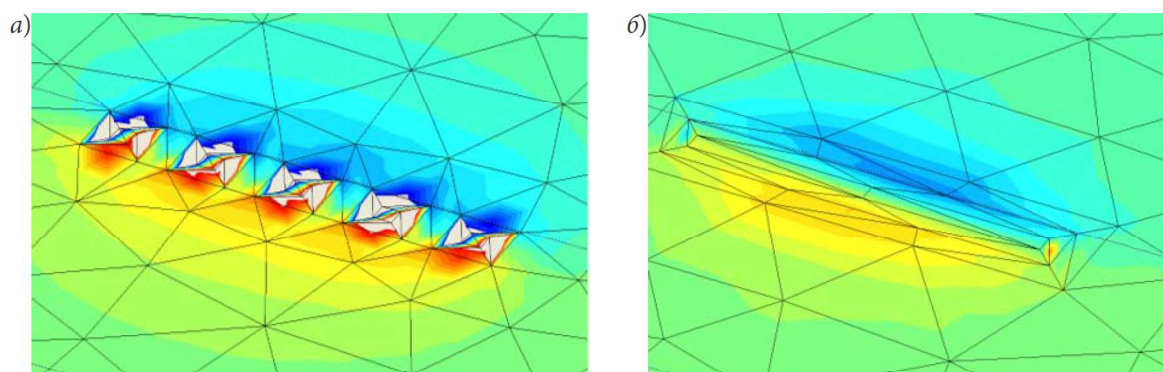


Рис. 6. Моделирование ряда инъекционных скважин: а — в виде отдельных восьмигранных призм; б — в виде жет-ленты при значении объемной боковой деформации 2 %

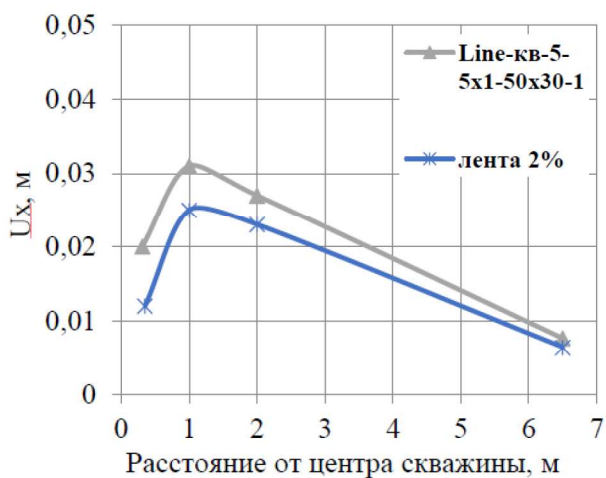


Рис. 7. График зависимости горизонтальных перемещений грунта от расстояния до центра инъекционной скважины

0,13 %. Расчеты по указанной методике показали соответствующие значения горизонтальных перемещений грунта и избыточных поровых давлений (рис. 6, 7).

Предлагаемая методика численного моделирования процесса устройства жет-диафрагмы, определяющая процесс образования в грунте избыточного порового давления и его последующего воздействия на ограждение путем задания грунту боковой объемной деформации, была апробирована для задачи с объектом № 2. Полученные результаты (рис. 8, 9) полностью отражают принципиальную схему воздействия диаф-

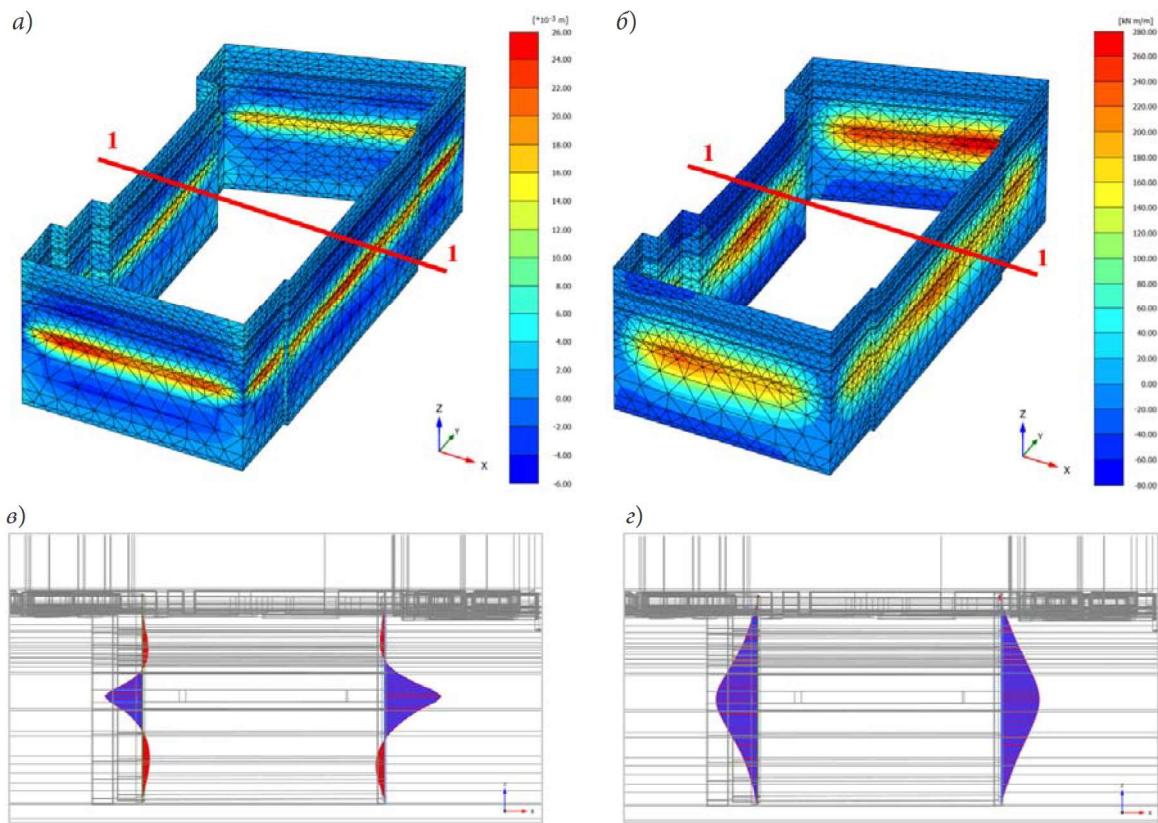


Рис. 8. Изополю и эпюры по разрезу 1–1 изгибающих моментов (а, в) и горизонтальных отклонений «стены в грунте» (б, г) устройства jet-диафрагмы (расчет для объекта № 2)



Рис. 9. Изополю распределения дополнительных вертикальных перемещений реконструируемого здания, обусловленных устройством jet-диафрагмы

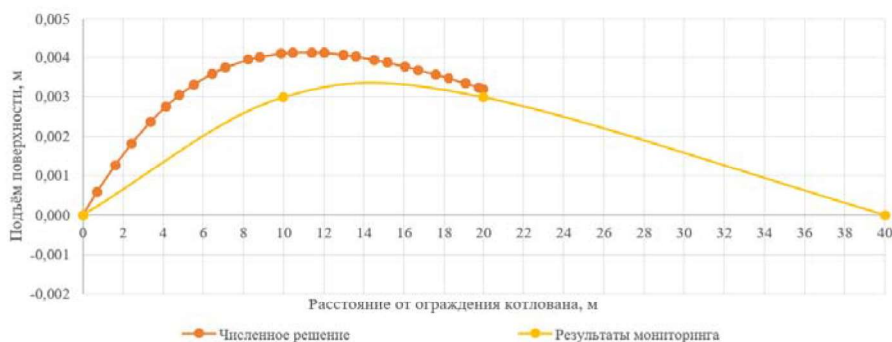


Рис. 10. Сопоставление графиков подъемов массива грунта на глубине 2,0 м от поверхности (на глубине расположения фундаментов условного здания) по результатам численного моделирования и на основании данных мониторинга

рагмы на ограждение (см. рис. 5), определяя его изгиб «от котлована» и далее на массив окружающего грунта, что вызывает подъем фундаментов существующего здания.

Сходимость результатов расчетов по предлагаемой методике численного моделирования с данными натурного геотехнического мониторинга, организованного на объекте реконструкции, подтверждена графиками, представленными на рис. 10.

Выводы

1. На основании результатов геотехнического мониторинга установлено, что устройство в границах замкнутого контура ограждения свай вдавливания и глубинной распорной диафрагмы, выполняемой по технологии струйной цементации, оказывает воздействие на здания окружающей застройки, вызывая их подъем. При этом величина подъема определяется конкретными условиями геотехнической ситуации и может быть сравнима с предельными значениями дополнительных деформаций для зданий данного типа, установленными требованиями нормативной документации.

2. Сваи вдавливания и глубинная распорная диафрагма представляют собой конструктивные элементы объекта, выполняемые в грунте без его выемки. Предложен метод моделирования влияния данных видов работ на ограждение котлована и, как след-

ствие, на дополнительные деформации сохраняемых зданий, определяемый созданием в грунте объемной деформации, величина и направление которой определяются особенностями технологии.

3. На примере моделирования устройства глубинной распорной jet-диафрагмы установлено, что результаты расчетов по предлагаемой методике численного моделирования показывают сходимость с данными натурного геотехнического мониторинга, организованного на объекте.

Библиографический список

1. Мангушев Р. А., Никифорова Н. С. Технологические осадки зданий и сооружений в зоне влияния подземного строительства / под ред. Р. А. Мангушева. М.: АСВ, 2017. 168 с.
2. Мангушев Р. А., Осокин А. И., Сотников С. Н. Геотехника Санкт-Петербурга. Опыт строительства на слабых грунтах. М.: АСВ, 2018. 386 с.
3. Мангушев Р. А. Применение современных конструктивных и технологических методов для устройства подземного пространства в г. Санкт-Петербурге // Геотехника. 2010. № 2. С. 58–67.
4. Никифорова Н. С. Обеспечение сохранности зданий в зоне влияния подземного строительства. 2-е изд. М.: НИУ МГСУ, 2016. 154 с.
5. Улицкий В. М., Шашкин А. Г., Шашкин К. Г. Гид по геотехнике. Изд. 2-е. СПб.: ПИ «Геореконструкция», 2012. 284 с.
6. Мангушев Р. А., Лашкова Е. Б., Смоленков В. Ю., Зайцев М. А. Опыт сооружения подземных паркингов

в условиях слабых грунтов Санкт-Петербурга // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 5 (52). С. 91–100.

7. Мангушев Р. А., Осокин А. И., Гарнык Л. В. Опыт сохранения соседних зданий при устройстве котлованов больших объемов в условиях плотной застройки // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2016. № 5. 2016. С. 2–7.

8. Гурский А. В. Расчет дополнительной технологической осадки от вдавливания стального шпунта // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 2 (55). С. 73–80.

9. Мангушев Р. А., Гурский А. В. Оценка влияния вдавливания шпунта на дополнительные осадки соседних зданий // Геотехника. 2016. № 2. С. 34–41.

10. Мангушев Р. А., Бояринцев А. В., Зуев И. И., Камаев И. С. Эффект воздействия изготовления свай «Фундекс» на ранее выполненные конструкции // Жилищное строительство. 2021. № 9. С. 28–35.

11. Дьяконов И. П. Оценка несущей способности буронабивных свай с негабаритным наконечником // Инженерно-геологические изыскания, проектирование и строительство оснований, фундаментов и подземных сооружений: сб. тр. Всерос. науч.-техн. конф. 1–3 февраля 2017 г. СПб., 2017. С. 316–322.

12. Дьяконов И. П. Анализ работы свай «Фундекс» в слабых глинистых грунтах // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 3 (62). С. 55–58.

13. Маковецкий О. А. Расчет и конструирование искусственного основания «структурный геотехнический массив»: дис. ... д-ра техн. наук. М., 2021. 363 с.

14. Зуев С. С., Маковецкий О. А. Оценка величины технологических деформаций при устройстве грунтобетонных элементов // Жилищное строительство. 2017. № 9. С. 9–12.

15. Мангушев Р. А., Денисова О. О. Влияние технологического воздействия изготовления горизонтальной диафрагмы методом jet-grouting на ограждение котлована типа «стена в грунте» // Жилищное строительство. 2022. № 9. С. 25–31.

16. Voznesenskaya E., Denisova O., Tatarinov S. Investigation of the technological effects of jet grouting diaphragm on the pit enclosure [Исследование технологических воздействий диафрагмы Jet Grouting на ограждение котлована] // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 371. 02010. International Scientific Conference «Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East» (AFE-2022).

17. Богов С. Г. Адаптация струйной технологии для целей освоения подземного пространства в исторической части Санкт-Петербурга в условиях слабых грунтов // Жилищное строительство. 2014. № 3. С. 25–29.

18. Ермолаев В. А., Мацегора А. Г., Осокин А. И., Иванищев В. Б., Безродный К. П., Маслак В. А. Технологические особенности закрепления грунтов в геоло-

гических условиях плотно застроенной части Санкт-Петербурга // Труды междунар. конф. по геотехнике. Т. 5. М.: ПИ «Геореконструкция», 2010. С. 1825–1829.

19. Малинин А. Г. Струйная цементация грунтов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 2010. 226 с.

20. Шашкин А. Г., Богов С. Г. Использование технологии jet grouting при устройстве подземного объема в условиях слабых глинистых грунтов // Жилищное строительство. 2014. № 9. С. 27–33.

References

1. Mangushev R. A., Nikiforova N. S. *Tekhnologicheskie osadki zdaniy i sooruzheniy v zone vliyaniya podzemnogo stroitel'stva* [Technological settlement of buildings and structures in the impact zone of underground construction work]. Ed. by Mangushev R. A. Moscow, ASV Publ., 2017, 168 p.

2. Mangushev R. A., Osokin A. I., Sotnikov S. N. *Geotekhnika Sankt-Peterburga. Opyt stroitel'stva na slabyykh gruntakh* [Geo-engineering in St. Petersburg. Experience of construction on weak soils]. Moscow, ASV Publ., 2018, 386 p.

3. Mangushev R. A. *Primeneniye sovremennykh konstruktivnykh i tekhnologicheskikh metodov dlya ustroystva podzemnogo prostranstva v g. Sankt-Peterburge* [Application of modern constructive and technological methods for the development of underground space in St. Petersburg]. *Geotekhnika – Geo-engineering*, 2010, no. 2, pp. 58–67.

4. Nikiforova N. S. *Obespecheniye sokhrannosti zdaniy v zone vliyaniya podzemnogo stroitel'stva* [Ensuring the safety of buildings in the impact zone of underground construction work]. 2-nd ed. Moscow, NIU MGSU Publ., 2016, 154 p.

5. Ulitskiy V. M., Shashkin A. G., Shashkin K. G. *Gid po geotekhnike* [Guidebook on geo-engineering]. 2-nd ed. St. Petersburg, Georekonstruktsiya Publ., 2012, 284 p.

6. Mangushev R. A., Lashkova E. B., Smolenkov V. Yu., Zaytsev M. A. *Opyt sooruzheniya podzemnykh parkingov v usloviyakh slabyykh gruntov Sankt-Peterburga* [The experience of underground parking lots' construction in the conditions of weak soils of St. Petersburg]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2015, no. (52), pp. 91–100.

7. Mangushev R. A., Osokin A. I., Garnyk L. V. *Opyt sokhraneniya sosednikh zdaniy pri ustroytve kotlovanov bol'shikh ob'emov v usloviyakh plotnoy zastroyki* [Experience in preserving neighboring buildings during excavation of large volume pits in conditions of dense building development]. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov – Bases, Foundations and Soil Mechanics*, 2016, no. 5, 2016, pp. 2–7.

8. Gurskiy A. V. *Raschet dopolnitel'noy tekhnologicheskoy osadki ot vdavlivaniya stal'nogo shpunta* [Calculation of additional technological settlement from steel sheet pile indentation]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2016, no. 2 (55), pp. 73–80.
9. Mangushev R. A., Gurskiy A. V. *Otsenka vliyaniya vdavlivaniya shpunta na dopolnitel'nye osadki soseidnikh zdaniy* [Estimation of the influence of sheet pile indentation on additional settlement of neighboring buildings]. *Geotekhnika – Geo-engineering*, 2016, no. 2, pp. 34–41.
10. Mangushev R. A., Boyarintsev A. V., Zuev I. I., Kamaev I. S. *Effekt vozdeystviya izgotovleniya svay «Fundeks» na raneе vypolnennye konstruktzii* [The effect of the Fundex pile manufacturing on the previously built structures]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo – Housing Construction* 2021, no. 9, pp. 28–35.
11. D'yakonov I. P. *Otsenka nesushchey sposobnosti buronabivnykh svay s negabaritnym nakonechnikom* [Estimation of bearing capacity of bored piles with an oversized tip]. *Trudy Vseros. nauch.-tekhn. konf. 1–3 fevralya 2017 g. «Inzhenerno-geologicheskie izyskaniya, proektirovaniye i stroitel'stvo osnovaniy, fundamentov i podzemnykh sooruzheniy»* [Proceedings of the All-Russian scientific-technical conf. February 1-3, 2017. “Engineering-geological surveys, design and construction of bases, foundations and underground structures”]. St. Petersburg, 2017, pp. 316–322.
12. D'yakonov I. P. *Analiz raboty svai «Fundeks» v slabykh glinistykh gruntakh* [Analysis of the “Fundex” pile operation in weak clay soil]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2017, no. 3 (62), pp. 55–58.
13. Makovetskiy O. A. *Raschet i konstruirovaniye iskusstvennogo osnovaniya «strukturniy geotekhnicheskiy massiv»*. *Diss. dokt. tekhn. nauk* [Calculation and design of artificial base “structural geotechnical array”. Dr. Sci. Tech. diss.]. Moscow, 2021, 363 p.
14. Zuev S. S., Makovetskiy O. A. *Otsenka velichiny tekhnologicheskikh deformatsiy pri ustroystve gruntobetonykh elementov* [Estimation of the magnitude of technological deformations during the arrangement of soil-concrete elements]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo – Housing Construction* 2017, no. 9, pp. 9–12.
15. Mangushev R. A., Denisova O. O. *Vliyanie tekhnologicheskogo vozdeystviya izgotovleniya gorizontальной diafragmy metodom jet-grouting na ograzhdenie kotlovana tipa «stena v grunte»* [Influence of technological impact of horizontal diaphragm manufacturing by jet-grouting method on the of the excavation enclosure of the “wall in the ground” type]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo – Housing Construction*, 2022, no. 9, pp. 25–31.
16. Voznesenskaya E., Denisova O., Tatarinov S. Investigation of the technological effects of jet grouting diaphragm on the pit enclosure *E3S Web of Conferences*, 2023, vol. 371, 02010. *International Scientific Conference «Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East» (AFE-2022)*.
17. Bogov S. G. *Adaptatsiya struynoy tekhnologii dlya tseley osvoeniya podzemnogo prostranstva v istoricheskoy chasti Sankt-Peterburga v usloviyakh slabykh gruntov* [Adaptation of jet technology for the purposes of underground space development in the historical part of St. Petersburg in conditions of weak soils]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo – Housing Construction*, 2014, no. 3, pp. 25–29.
18. Ermolaev V. A., et al. *Tekhnologicheskie osobennosti zakrepleniya gruntov v geologicheskikh usloviyakh plotno zastroennoy chasti Sankt-Peterburga* [Technological features of soil consolidation in geological conditions of densely built-up part of St. Petersburg]. *Trudy mezhdunar. konf. po geotekhnike* [Proceedings of the International conf. on geotechnics]. Vol. 5. Moscow, Georekonstruktsiya Publ., 2010, pp. 1825–1829.
19. Malinin A. G. *Struynaya tsementatsiya gruntov* [Jet grouting of soils]. 3-rd ed., revised. Moscow, Stroyizdat Publ., 2010, 226 p.
20. Shashkin A. G., Bogov S. G. *Ispol'zovaniye tekhnologii jet grouting pri ustroystve podzemnogo ob'ema v usloviyakh slabykh glinistykh gruntov* [Application of jet grouting technology for underground volume construction in weak clay soils]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo – Housing Construction*, 2014, no. 9, pp. 27–33.