Полищук А.И., Межаков А.С. Оценка работы разделительных ограждений в слабых глинистых грунтах, устраиваемых для защиты существующих зданий от влияния нового строительства // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2016. – Т. 7, № 2. – С. 124–131. DOI: 10.15593/2224-9826/2016.2.13

Polishchuk A.I., Mezhakov A.S. Assessment of separating barriers in weak clay soils, arranged to protect the existing buildings from impact of the new construction. *PNRPU Bulletin Construction and architecture.* 2016. Vol. 7, No. 2. Pp. 124-131. DOI: 10.15593/2224-9826/2016.2.13

ВЕСТНИК ПНИПУ.
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
Т. 7, № 2, 2016
PNRPU BULLETIN
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE
http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/

DOI: 10.15593/2224-9826/2016.2.13
УДК 624.137.7

ОЦЕНКА РАБОТЫ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ В СЛАБЫХ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТАХ, УСТРАИВАЕМЫХ ДЛЯ ЗАЩИТЫ СУЩЕСТВУЮЩИХ ЗДАНИЙ ОТ ВЛИЯНИЯ НОВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

А.И. Полищук, А.С. Межаков

Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 29 февраля 2016
Принята: 07 апреля 2016
Опубликована: 30 июня 2016

Ключевые слова:

ленточный фундамент существующего здания, соседний вновь устраиваемый плитный фундамент, приращение осадок ленточного фундамента, металлический шпунт, геотехнический барьер, слабое глинистое основание

АННОТАЦИЯ

В Кубанском государственном аграрном университете ведутся исследования по оценке работы разделительных ограждений в слабых глинистых грунтах, устраиваемых для защиты существующих зданий от влияния нового строительства. Для уменьшения развития дополнительных осадок ленточных фундаментов существующего здания от влияния давления, передаваемого на грунт новым, близко расположенным плитным фундаментом, рассмотрено два варианта разделительных ограждений. По первому варианту принято разделительное ограждение в виде металлического шпунта Ларсена. По условиям задачи считается, что металлический шпунт погружается в грунт вдавливанием (или вибропогружением) до вскрытия котлована под новое здание. Длина шпунта назначается по расчету либо конструктивно, чаще в предположении прорезки всей толщи слабых глинистых грунтов. При этом установлено, что лучшие результаты работы металлического шпунта достигаются в том случае, когда он нижним концом опирается в малосжимаемый грунт. По второму варианту принято разделительное ограждение в виде геотехнического (грунтоцементного) барьера. По условиям задачи считается, что до начала основных строительных работ производится цементация грунта через инъекторы (подготовка грунта), при которой заполняются все имеющиеся полости, трещины, зоны пониженной плотности в основании. При этом происходит уплотнение и армирование грунта линзами цементного раствора и создается более жесткая структура, способная реагировать на дальнейшее нагнетание инъекционного раствора. По результатам моделирования и выполненных расчетов установлено, что наибольший положительный эффект от устройства разделительного ограждения между фундаментами зданий достигается в том случае, когда ограждение устраивается в виде геотехнического барьера. Дополнительная осадка ленточного фундамента существующего здания уменьшается на 60–65 % (примерно до 4,2 см) по сравнению с дополнительной осадкой 8,5 см в случае отсутствия разделительного ограждения. Если в качестве разделительного ограждения между фундаментами зданий используется металлический шпунт Ларсена, то дополнительная осадка ленточного фундамента также уменьшится, но лишь на 20–25 %, и составит примерно 6,8 см.

© ПНИПУ

© Полищук Анатолий Иванович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, заслуженный строитель России, e-mail: ofpai@mail.ru.
Межаков Александр Сергеевич – магистрант, ассистент, e-mail: as.mezhakov@gmail.com.

Anatolii I. Polishchuk – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department, Honored Builder of Russia, e-mail: ofpai@mail.ru.
Aleksandr S. Mezhakov – Master Student, Assistant, e-mail: as.mezhakov@gmail.com.

ASSESSMENT OF SEPARATING BARRIERS IN WEAK CLAY SOILS, ARRANGED TO PROTECT THE EXISTING BUILDINGS FROM IMPACT OF THE NEW CONSTRUCTION

A.I. Polishchuk, A.S. Mezhakov

Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 29 February 2016
Accepted: 07 April 2016
Published: 30 June 2016

Keywords:
strip foundation of the existing building, adjacent slab foundation, strip foundation increment of settlement, metal sheet piling, geotechnical barrier, the weak clay base

ABSTRACT

In the Kuban State Agrarian University are conducted a study on assessment of works of separating barriers in weak clay soils, arranged to protect the existing buildings on the impact of the new building. To reduce the development of additional settlement strip foundations of the existing building on the influence of pressure, transmitted to the ground situated close to the new slab foundation, considered two options for separating barriers. In first variant separating barrier made of a metal sheet pile Larsen. Under the terms of the task are believed that the metal sheet piling dipped into the ground indentation (or vibro) to excavation opening a new building. Sheet piling length is assigned by calculation or constructively, often under the assumption that the entire thickness cutting through weak clay soils. It was found that the best results are achieved in the metal sheet pile when it based in the lower end of the ground low compressibility. In a second embodiment of separating barrier made of geotechnical (grouting) barriers. Under the terms of the task is believed that prior to the start of major construction works originally produced by cementation of soil injectors (soil preparation), in which filled all the cavities, cracks, zones of low density at the bottom. Thus, there is a compaction and reinforcement of soil lenses cement grout and create a more rigid structure that can respond to a further injection of an injectable solution. According to the results of the calculations and modeling determined that the greatest positive effect on the separating wall foundations is achieved when it is arranged as a geotechnical barrier. Additional settlement strip foundation of an existing building has decreased to 60–65 % (about 4,2 cm) as compared with 8,5 cm additional settlement, which will be in the absence of separating barrier. If the separating barriers between the foundation of the building is used a metal sheet piling Larsen, an additional strip foundation settlement will also be reduced, but only by 20–25 % and will amount to about 6,8 cm.

© PNRPU

Для уменьшения развития дополнительных осадок фундаментов существующих зданий от влияния давления, передаваемого на грунт новым, близко расположенным фундаментом, проводятся различные конструктивные мероприятия. К таким мероприятиям относятся устройство разделительных ограждений в виде: железобетонных, металлических, комбинированных свай или шпунта заводского изготовления; бетонных, железобетонных или грунтоцементных свай, устраиваемых в грунте; геотехнического (грунтоцементного) барьера; монолитных железобетонных стенок и др. Оценка работы разделительных ограждений в слабом глинистом грунте рассмотрена на примере двух вариантов их конструктивных решений.

По первому варианту принято разделительное ограждение в виде металлического шпунта Ларсена. При этом шпунт может также устраиваться из металлических прокатных профилей различной формы поперечного сечения (двутавра, труб и др.). Шпунт погружается обычно вдавливанием или вибропогружением (реже забивкой) до вскрытия котлована под новое здание (сооружение). Длина шпунта назначается по расчету либо конструктивно, чаще в предположении прорезки всей толщи слабых глинистых грунтов. При этом установлено, что лучшие результаты работы металлического шпунта достигаются в том случае, когда он нижним концом опирается в малосжимаемый грунт [1–3].

По второму варианту принято разделительное ограждение в виде геотехнического (грунтоцементного) барьера [4]. До начала основных строительных работ первоначально

производится цементация грунта через инъекторы, при которой заполняются все имеющиеся полости, трещины, зоны пониженной плотности в основании. При этом происходит уплотнение и армирование грунта линзами цементного раствора и создается более жесткая структура, способная реагировать на дальнейшее нагнетание цементного (инъекционного) раствора. Рассматриваемый способ устройства геотехнического барьера защищен патентом РФ, а его патентообладатель (НИИОСП им. Н.М. Герсеванова) удостоен диплома Правительства города Москвы[1] [5].

Сравнительная оценка работы разделительных ограждений проводилась в предположении их устройства между фундаментами зданий, построенных на слабых глинистых грунтах. Для этого было выполнено компьютерное моделирование работы разделительных ограждений и фундаментов зданий в программном комплексе Plaxis 2D [6–9]. Фундаменты существующего (длительно эксплуатируемого) здания приняты ленточными мелкого заложения. В непосредственной близости от существующего здания производится строительство соседнего (нового, близко расположенного) здания на фундаменте из монолитной железобетонной плиты. Такое решение предусматривает появление значительных дополнительных осадок фундаментов существующего (длительно эксплуатируемого) здания. Поэтому между фундаментами зданий должно устраиваться разделительное ограждение (рис. 1).

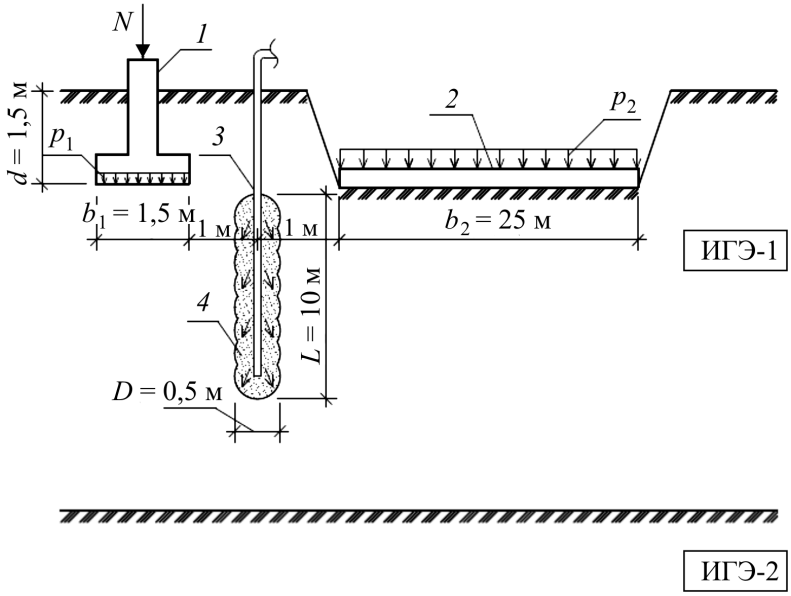


Рис. 1. Расчетная схема оценки влияния разделительного ограждения на осадки ленточных фундаментов существующего здания: *1* – существующий ленточный фундамент; *2* – вновь устраиваемый соседний плитный фундамент; *3* – инъектор; *4* – тело грунтоцементной сваи; b_1, b_2 – ширина подошвы фундаментов; d – глубина заложения фундаментов; L – длина разделительного ограждения; p_1, p_2 – давление по подошве фундаментов; N – погонная нагрузка на фундамент

Fig. 1. Design scheme to assess the impact of the separating barrier on strip foundations settlement of the existing building: *1* – the existing strip foundation; *2* – the adjacent slab foundation; *3* – injector; *4* – the body of jet-grouting pile; b_1, b_2 – width of the foundations, d – depth of the foundations; L – length separating barriers; p_1, p_2 – pressure on the base of foundations; N – linear load on the foundation

[1] СТО 36554501-007–2006. Проектирование и устройство вертикального или наклонного геотехнического барьера методом компенсационного нагнетания / ФГУП «НИЦ «Строительство». М., 2006. 21 с.

В качестве грунтовых условий было выбрано однородное глинистое основание мощностью 20 м, ниже которого залегает слой супеси мощностью 10 м. Верхний слой грунта представлен суглинком мягкопластичным, который классифицируется как слабый глинистый (табл. 1).

Таблица 1

Физико-механические свойства грунтов строительных площадок зданий

Table 1

Physical and mechanical properties of soil construction sites of buildings

Грунты основания фундаментов зданий	ИГЭ-1 Суглинок мягкопластичный (модель Мора – Кулона)	ИГЭ-2 Супесь пластичная (модель Мора – Кулона)
Мощность слоя *h*, м	20	10
Удельный вес γ, кН/м^3	19	17,8
Удельное сцепление *c*, кПа	12	10
Угол внутреннего трения φ, град	20	28
Коэффициент Пуассона *v*	0,35	0,33
Модуль общей деформации *E*, МПа	7	22

При моделировании работы металлического шпунта (вариант 1) в слабом глинистом грунте, согласно заводской классификации, были приняты характеристики для шпунта марки Ларсен Л5 (табл. 2). Взаимодействие боковой поверхности шпунта с грунтом задавалось с помощью интерфейсов и параметров, R_{int} = 0,5. По нижнему концу шпунта R_{int} = 1.

Таблица 2

Характеристики разделительного ограждения из металлического шпунта марки Ларсен Л5

Table 2

Characteristics of the separating barriers from a metal sheet piling wall Larsen L5

Наименование разделительного ограждения	Нормальная жесткость EA, кН/м	Изгибная жесткость EI, кН/м^2/м	Приведенный вес погонного метра ограждения *w*, кН/м/м	Коэффициент Пуассона *v*
Шпунт марки Ларсен Л5	$6{,}7\cdot10^6$	$1{,}8\cdot10^5$	1,43	0,28

При моделировании работы геотехнического (грунтоцементного) барьера (вариант 2) использовалась линейно-упругая модель (Linear-Elastic), основными характеристиками которой являются модуль деформации и коэффициент Пуассона [4]. Модуль деформации геотехнического барьера был вычислен по формуле

$$E_{гб} = \frac{E_{св} \cdot A_{св} + E_{гр} \cdot A_{гр}}{A}, \quad (1)$$

где $E_{гб}$ – модуль деформации геотехнического барьера, МПа; $E_{св}$, $A_{св}$ – модуль деформации грунтоцементной сваи (принят 800 МПа) и ее площадь, МПа и м^2; $E_{гр}$, $A_{гр}$ – модуль деформации грунта вокруг грунтоцементной сваи и его площадь, МПа и м^2; *A* – общая площадь геотехнического барьера, м^2.

Принимая шаг инъекторов и ширину геотехнического барьера, равную 0,5 м (одна свая на метр погонной длины), получаем усредненный его модуль деформации $E_{гб}$, улучшенный за счет линз цементного камня, равный 300 МПа. Для глинистых грунтов при цементации,

как правило, принимают значение модуля деформации в пределах $E_{гр}$ = 200…600 МПа, что не противоречит принимаемому решению.

Расчет осадок фундаментов существующего здания и его дополнительных осадок проводился в несколько этапов, учитывающих стадийность возведения рассматриваемых объектов:

1) начальная фаза (Initial phase);

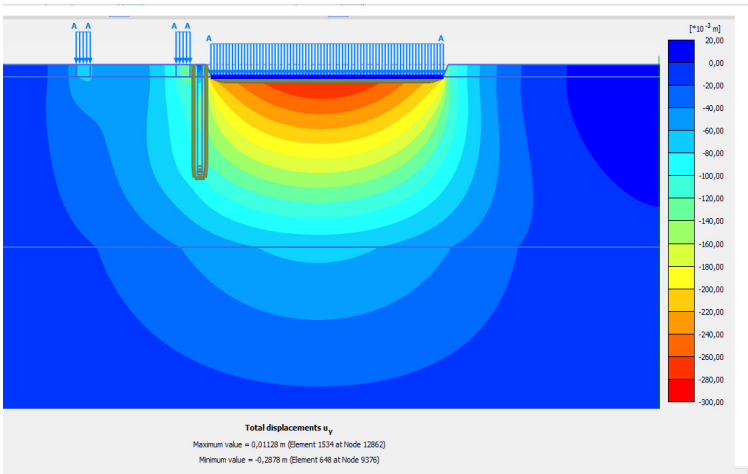
2) возведение существующего здания на ленточных фундаментах при действующих на них нагрузок;

3) устройство разделительного ограждения (по варианту 1 или варианту 2);

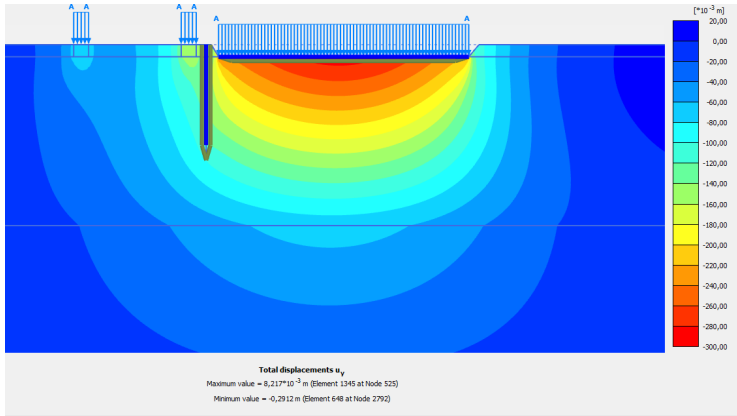
4) устройство соседнего (вновь устраиваемого) фундамента в виде монолитной железобетонной плиты;

5) принятие решений по действующим нагрузкам на фундаментную плиту соседнего (нового) здания.

При моделировании работы геотехнического барьера, устраиваемого между фундаментами зданий, учитывалось нагнетание цементного раствора в грунт (стадия 4’) для его объемного расширения, которое в ПК Plaxis 2D корректировалось специальной опцией в пределах 2–10 %. По результатам моделирования получены картины равных вертикальных перемещений (линии тока) в основании фундаментов рассматриваемых зданий (рис. 2).



а



б

Рис. 2. Линии равных вертикальных перемещений (линии тока) в основании фундаментов зданий: *а*, *б* – соответственно с устройством геотехнического барьера и шпунта Ларсена
Fig. 2. Lines of equal vertical displacements (current lines) at the base of the foundations of buildings: *a*, *b* – respectively, device geotechnical barrier and sheet piling Larsen

Для сравнения эффективности работы двух вариантов разделительных ограждений были построены графические зависимости приращения осадок ленточных фундаментов существующего здания от давления по подошве соседнего (вновь устраиваемого), плитного фундамента (рис. 3). Составлена также таблица результатов расчета приращений осадок ленточных фундаментов существующего здания при одинаковом давлении по подошве фундаментов, p = 150 кПа (табл. 3).

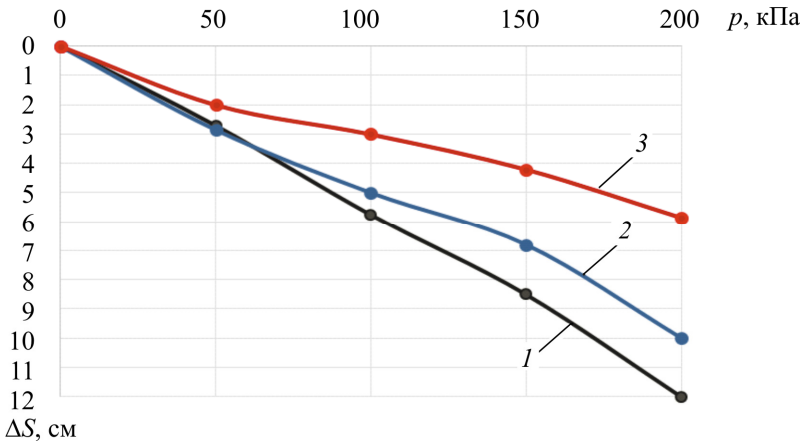


Рис. 3. График зависимости дополнительных осадок ленточного фундамента существующего здания от давления по подошве соседнего (вновь устраиваемого) плитного фундамента: *1* – приращение осадки ленточного фундамента без разделительного ограждения; *2* – то же, при разделительном ограждении из шпунта Ларсена; *3* – то же, при разделительном ограждении из геотехнического барьера
Fig. 3. Graph of additional settlement strip foundation of the existing building on the pressure at the base of the adjacent (again constructed) slab foundation: *1* – increment of strip foundation settlement without separating barrier; *2* – the same with the Larsen sheet piling; *3* – the same with the geotechnical barrier

Таблица 3

Данные об оценке приращений осадок ленточного фундамента существующего здания

Table 3

Data on the assessment of the increments settlement strip foundation the existing building

Рассматриваемый случай	Конечная осадка ленточного фундамента существующего здания, см	Приращение осадки ленточного фундамента от давления, передаваемого при возведении нового здания		Уменьшение приращения осадки ленточного фундамента за счет устройства разделительного ограждения, %
		см	%	
Без устройства разделительного ограждения между фундаментами	6,5	8,5	130,0	–
Устройство разделительного ограждения из шпунта марки Ларсен Л5		6,8	105,0	20–25
Устройство разделительного ограждения из геотехнического барьера		4,2	60,0	65–70

Из анализа полученных данных (см. рис. 3, табл. 3) следует, что осадка ленточного фундамента существующего здания без учета влияния давления от соседнего плитного фундамента составит примерно 6,5 см. Если же рядом устраивается соседний плитный фундамент с давлением по подошве p = 150 кПа, то приращение осадки (дополнительная осадка) существующего ленточного фундамента составит 8,5 см (130 % к существующей его осадке) при условии, что никакие защитные мероприятия между фундаментами не предусмотрены. В случае устройства разделительного ограждения между фундаментами из шпунта марки Ларсен Л5 приращение осадки составит примерно 6,8 см (105 % к существующей осадке), а в виде геотехнического барьера – 4,2 см (60 % к существующей осадке).

Таким образом, по результатам моделирования и выполненных расчетов установлено, что наибольший положительный эффект от устройства разделительного ограждения между фундаментами зданий достигается в том случае, когда ограждение устраивается в виде геотехнического барьера. Дополнительная осадка ленточного фундамента существующего здания уменьшается на 60–65 % (примерно до 4,2 см) по сравнению с дополнительной осадкой, которая в случае отсутствия разделительного ограждения составит 8,5 см. Если в качестве разделительного ограждения между фундаментами зданий используется металлический шпунт (марка Ларсен Л5), то дополнительная осадка ленточного фундамента также уменьшится, но лишь на 20–25 %, и составит примерно 6,8 см.

Библиографический список

1. Полищук А.И. Усиление оснований и фундаментов зданий и сооружений // Справочник геотехника: основания, фундаменты и подземные сооружения / под общ. ред. В.А. Ильичева, Р.А. Мангушева. – М.: Изд-во АСВ, 2014. – С. 627–666.

2. Полищук А.И. Основы проектирования и устройства фундаментов реконструируемых зданий. – 3-е изд., доп. – Нортхэмптон; Томск: STT, 2007. – 476 с.

3. Основания и фундаменты. Ч. 2. Основы геотехники: учеб. / Б.И. Далматов, В.Н. Бронин, В.Д. Карлов, Р.А. Мангушев, И.И. Сахаров, С.Н. Сотников, В.М. Улицкий, А.Б. Фадеев. – М.: Изд-во АСВ; СПБГАСУ, 2002. – 392 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.

5. Разводовский Д.Е., Шулятьев О.А., Никифорова Н.С. Оценка влияния нового строительства и мероприятия по защите существующих зданий и сооружений // Строительство подземных сооружений / ОАО «ВНИИНТПИ». – М., 2008. – С. 230–239.

6. Полищук А.И., Межаков А.С. Оценка влияния разделительной шпунтовой стенки в глинистых грунтах на осадки фундаментов существующих зданий // Механика грунтов в геотехнике и фундаментостроении / Южно-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) им. М.И. Платова. – Новочеркасск, 2015. – С. 366–371.

7. Полищук А.И., Межаков А.С. Совершенствование способов устройства фундаментов вблизи существующих зданий // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2014. – № 3. – С. 143–148.

8. Парамонов В.Н. Метод конечных элементов при решении нелинейных задач геотехники. – СПб: Геореконструкция, 2012. – 262 с.

9. Программный комплекс Plaxis 2D. Сборник лекционных и практических занятий. – СПб., 2010. – 105 с.

References

1. Il'icheva V.A., Mangusheva R.A. Usilenie osnovanii i fundamentov zdanii i sooruzhenii [Strengthening of the foundations of buildings and structures]. *Spravochnik geotekhnika. Osnovaniia, fundamenty i podzemnye sooruzheniia.* Eds. V.A. Il'ichev, R.A. Mangushev. Moscow: 2014, pp. 627-666.

2. Polishchuk A.I. Osnovy proektirovaniia i ustroistva fundamentov rekonstruiruemykh zdanii. [Fundamentals of design and construction of foundations reconstructed buildings]. Nortkhempton; Tomsk: STT, 2007. 476 p.

3. Dalmatov B.I., Bronin V.N., Karlov V.D., Mangushev R.A., Sakharov I.I., Sotnikov S.N., Ulitskii V.M., Fadeev A.B. Osnovaniia i fundamenty. Chast' 2. Osnovy geotekhniki [Foundations. Part 2. Basics of Geotechnics: Textbook]. Moscow: 2002. 392 p.

4. Vinnikov Iu. L., Vedenisov A.V. Model'nye issledovaniia effektivnosti gruntotsementnykh razdelitel'nykh ekranov dlia zashchity zdanii 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 natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2015, no. 1, pp. 51-63.

5. Razvodovskii D.E., Shuliat'ev O.A., Nikiforova N.S. Otsenka vliianiia novogo stroitel'stva i meropriiatiia po zashchite sushchestvuiushchikh zdanii i sooruzhenii [Assessing the impact of new construction and protection measures for existing buildings and structures]. *Stroitel'stvo podzemnykh sooruzhenii*. Moscow: OAO "VNIINTPI", 2008, pp. 230-239.

6. Polischuk A.I., Mezhakov A.S. Otsenka vliianiia razdelitel'noi shpuntovoi stenki v glinistykh gruntakh na osadki fundamentov sushchestvuiushchikh zdanii [Assessment of separating sheet pile wall in the clay soil on the precipitate foundations of existing buildings]. *Mekhanika gruntov v geotekhnike i fundamentostroenii*. Novocherkassk: Iuzhno-Rossiiskii gosudarstvennyi politekhnicheskii universitet (NPI) imeni M.I. Platova, 2015, pp. 366-371.

7. Polishchuk A.I., Mezhakov A.S. Sovershenstvovanie sposobov ustroistva fundamentov vblizi sushchestvuiushchikh zdanii [Improving methods the installation of foundations near existing buildings]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2014, no. 3, pp. 143-148.

8. Paramonov V.N. Metod konechnykh elementov pri reshenii nelineinykh zadach geotekhniki [Geotechnical support for reconstruction of cities]. Saint-Petersburg: Georekonstruktsiia, 2012. 262 p.

9. Programmnyi kompleks Plaxis 2D. Sbornik lektsionnykh i prakticheskikh zaniatii [The software package Plaxis 2D. Collection of lectures and practical classes]. Saint-Petersburg, 2010. 105 p.