**ВЕСТНИК ПНИПУ.
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
Т. 7, № 3, 2016
PNRPU BULLETIN.
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE**
<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>

DOI: 10.15593/2224-9826/2016.4.13

УДК 624.137.7

ГЕОТЕХНИЧЕСКИЙ БАРЬЕР И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ОСАДКИ ФУНДАМЕНТОВ СОСЕДНИХ ЗДАНИЙ

А.И. Полищук, А.С. Межаков

Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 02 октября 2016
Принята: 21 октября 2016
Опубликована: 28 декабря 2016

Ключевые слова:

существующий ленточный фундамент, соседний вновь устраиваемый плитный фундамент, дополнительная осадка, геотехнический барьер, слабое глинистое основание, однородное и двухслойное основание

АННОТАЦИЯ

В условиях плотной городской застройки появляются дополнительные осадки фундаментов эксплуатируемых зданий при соседнем строительстве объектов. Для уменьшения развития дополнительных осадок фундаментов (ленточных) существующего здания от влияния давления, передаваемого на грунт основания новым близко расположенным плитным фундаментом, рассматриваются два варианта работы геотехнического барьера в различных грунтовых условиях. По первому варианту грунтовых условий (вариант 1) принято устройство геотехнического барьера (разделительного ограждения) в однородной толще слабого глинистого грунта. По второму варианту грунтовых условий (вариант 2) разделительное ограждение выполняется в толще основания. При этом верхний слой основания (несущий) представлен слабым водонасыщенным глинистым грунтом – суглинком мягко-текучепластичным, а второй (подстилающий) – малосжимаемым грунтом (супесью пластичной). По результатам моделирования и выполненных расчетов установлено, что наибольший положительный эффект при устройстве разделительного ограждения (геотехнического барьера) достигается в случае, когда основание является двухслойным. При этом нижняя часть геотехнического барьера должна быть заглублена в малосжимаемый грунт. Дополнительная осадка ленточного фундамента существующего здания в однородном основании (вариант 1) при отсутствии геотехнического барьера составит примерно 50 мм. В случае двухслойного основания (вариант 2) дополнительная осадка ленточного фундамента здания уменьшится на 75–80 % (на 38 мм) и составит примерно 12 мм. Выполненные расчеты позволили установить, что наибольший эффект по уменьшению дополнительной осадки ленточных фундаментов существующих зданий достигается при устройстве разделительного ограждения между зданиями (геотехнического барьера), которое нижним концом опирается на малосжимаемый грунт.

© ПНИПУ

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

Anatolii I. Polishchuk – Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: ofpai@mail.ru.
Aleksandr S. Mezhaikov – Master Student, Assistant, e-mail: as.mezhakov@gmail.com.

GEOTECHNICAL BARRIER AND ITS IMPACT ON FOUNDATION SETTLEMENT OF ADJACENT BUILDINGS

A.I. Polishchuk, A.S. Mezhakov

Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russian Federation

---

ARTICLE INFO

Received: 02 October 2016
Accepted: 21 October 2016
Published: 28 December 2016

Keywords:

existing strip foundation,
neighboring newly arranged slab
foundation, additional settlement,
geotechnical barrier, clay weak
base, homogenous
and two-layer base

ABSTRACT

In dense urban there are additional foundation settlement operated buildings at a nearby construction sites. The calculations revealed that the greatest effect on reduction of more strip foundation settlement of existing buildings is achieved by the construction separating barrier between the buildings (the geotechnical barrier), which is the lower end rests in the low-compressible soil. To reduce the development of additional settlement strip foundations of the existing building on the effect of pressure transmitted to a ground base located near the new slab foundation is considered the work of the geotechnical barrier in various ground conditions. In the first variant of soil, conditions (variant 1) made geotechnical barrier structure in a homogeneous thickness of the weak clay soil. In the second variant of soil conditions (variant 2), a separating barrier is performed in a two-layer base. The upper base layer (carrying) is shown a weak water-saturated clay soil, and the second (underlying) – low compressible soil (sandy loam plastic). According to the results of the calculations and modeling found that, the greatest positive effect on the separating barrier structure (geotechnical barrier) is achieved in the case when the base is a two-layer. The lower part of the geotechnical barrier must be recessed into the soil of low compressibility. Additional settlement strip foundation of the existing building in a uniform basis (variant 1) in the absence of geotechnical barrier is approximately 50 mm. In the case of a two-layer base (variant 2), the additional settlement strip foundation building is reduced by 75–80 % (38 mm) and will make about 12 mm. The calculations revealed that the greatest effect on reduction of more strip foundation settlement of existing buildings is achieved by the construction separating barrier between the buildings (the geotechnical barrier), which is the lower end rests in the low- compressible soil.

© PNRPU

Введение

Для снижения влияния нового строительства на осадки фундаментов близкорасположенных существующих зданий применяются различные способы, к которым относится устройство разделительных ограждений в виде: свай или шпунта заводского изготовления; набивных свай, устраиваемых в грунте по различным технологиям; монолитных бетонных и железобетонных стенок (в том числе типа «стена в грунте») и др. Из числа перечисленных способов особо следует выделить разделительное ограждение в виде геотехнического барьера, устраиваемого методом компенсационного нагнетания, которое получило наибольшее распространение в последние годы [1–6].

Последовательность работ по устройству геотехнического барьера заключается в следующем. До начала основных строительных работ первоначально производится цементация грунта через инъекторы, которые погружаются в грунт и образуют грунтоцементные сваи. Через инъекторы заполняются все имеющиеся полости, трещины, зоны пониженной плотности в основании (заполнительная цементация). При этом происходит уплотнение и армирование грунта линзами цементного раствора и создается более жесткая структура, способная реагировать на дальнейшее нагнетание цементного (инъекцион-

ного) раствора. Рассматриваемый способ устройства геотехнического барьера предложен специалистами НИИОСП им. Н.М. Герсевича, защищен патентом РФ на изобретение (2006 г.), а его патентообладатель (НИИОСП им. Н.М. Герсевича) удостоен диплома Правительства города Москвы¹ [7].

Отличительной особенностью данного способа является то, что геотехнический барьер – активная конструкция, с помощью которой можно оперативно влиять на состояние грунта основания фундаментов защищаемых зданий. Заполнительная цементация грунта через инъекторы и компенсационное (последующее) нагнетание осуществляются по манжетной технологии (с использованием специальной конструкции инъекторов)² небольшими объемами по 25–30 л цементного или цементно-песчаного раствора с различными добавками. Главным условием при нагнетании является закачка требуемого количества раствора в нужную зону массива грунта. Заполнительная цементация производится при давлении от 0,1 до 0,3 МПа (давление увеличивается с увеличением глубины зоны закачки раствора) до начала работ по устройству фундамента здания (сооружения). Затем производятся циклы повторного (компенсационного) нагнетания при давлении нагнетания 0,5–2,0 МПа. Вертикальный геотехнический барьер рекомендуется применять для защиты фундаментов существующих зданий от влияния нового строительства, при устройстве близкорасположенных глубоких котлованов, прокладке тоннелей и др.

1. Грунтовые условия площадки строительства

Рассмотрим работу разделительного ограждения (геотехнического барьера), устраиваемого вблизи ленточного фундамента существующего здания, при строительстве нового соседнего здания на плитном фундаменте. В качестве грунтовых условий принята площадка, сложенная слабым глинистым грунтом, которая состоит из двух слоев грунтового основания. Верхний слой (несущий) представлен суглинком мягкопластичным, второй (подстилающий) – супесью пластичной (рис. 1).

Данные о мощности слоев основания по рассматриваемым вариантам представлены в табл. 1. Поскольку толщина слабого глинистого грунта по варианту 1 является значительной (20 м) и распространяется ниже сжимаемой толщи, будем рассматривать ее как однородное основание. По варианту 2 основание рассматриваем как двухслойное.

Основные физико-механические характеристики грунтов основания представлены в табл. 2.

---

¹ СТО 36554501-007-2006. Проектирование и устройство вертикального или наклонного геотехнического барьера методом компенсационного нагнетания. – М., 2006. – 21 с.

² Там же.

Рис. 1. Расчетная схема оценки влияния разделительного ограждения на осадки ленточного фундамента существующего здания для однородного (а) и двухслойного (б) оснований: 1 – существующий ленточный фундамент; 2 – вновь устраиваемый соседний плитный фундамент; 3 – разделительное ограждение; b_1 , b_2 – размеры подошвы фундаментов, м; d – глубина заложения фундаментов, м; P_1 , P_2 – давление по подошве фундаментов, кПа; N_1 , N_2 – нагрузка на фундаменты, кН; 4 – инженерно-геологический элемент 1 (суглинок мягкопластичный); 5 – инженерно-геологический элемент 2 (супесь пластичная)

Fig. 1. Design scheme to assess the impact of the separating barrier on strip foundation settlement of the existing building for homogeneous (a) and two-layer (b) bases: 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; P_1 , P_2 – pressure on the base of foundations; N_1 , N_2 – linear load on the foundation; 4 – geotechnical element 1 (loam); 5 – geotechnical element 2 (plastic sandy loam)

Таблица 1

Данные о мощности слоев основания строительной площадки

Table 1

Data on the power base layers of the construction site

Грунты основания площадки строительства рассматриваемых зданий	Мощность слоя грунта, залегающего в основании фундамента, м	
	Вариант 1	Вариант 2
Несущий слой (суглинок мягкопластичный)	20	10
Подстилающий слой (супесь пластичная)	10	20

Таблица 2

Физико-механические характеристики грунтов основания строительных площадок зданий

Table 2

Physical and mechanical characteristics of the soil base of the construction sites of buildings

Грунты основания фундаментов зданий	Суглинок мягкопластичный (ИГЭ-1)	Супесь пластичная (ИГЭ-2)
Удельный вес γ , кН/м ³	18,7	17,9
Удельное сцепление c , кПа	12	10
Угол внутреннего трения ϕ , град	21	28
Коэффициент Пуассона ν	0,35	0,33
Модуль общей деформации E , МПа	7	25

2. Моделирование работы геотехнического барьера

Для оценки работы геотехнического барьера использовался программный комплекс Plaxis 2D. При моделировании работы геотехнического барьера в слабом глинистом грунте (вариант 1) взаимодействие его боковой поверхности с грунтом задавалось с помощью понижающего коэффициента прочности $R_{\text{int}} = 0,65$, а взаимодействие нижней части барьера – с помощью $R_{\text{int}} = 1$ [8–10]. Поведение геотехнического барьера представлено линейно-упругой моделью (Linear-Elastic), основными характеристиками которой являются модуль деформации E и коэффициент Пуассона ν . Модуль деформации материала геотехнического барьера вычислялся по формуле

$$E_{\text{гб}} = \frac{E_{\text{св}} \cdot A_{\text{св}} + E_{\text{гр}} \cdot A_{\text{гр}}}{A},$$

где $E_{\text{гб}}$ – модуль деформации геотехнического барьера, МПа; $E_{\text{св}}$, $A_{\text{св}}$ – модуль деформации грунтоцементной сваи (принят 800 МПа) и ее площадь, МПа и м²; $E_{\text{гр}}$, $A_{\text{гр}}$ – модуль деформации грунта вокруг грунтоцементной сваи и его площадь, МПа и м²; A – общая площадь геотехнического барьера, м² [11, 12].

Принимая шаг грунтоцементных свай и ширину геотехнического барьера, равную 0,5 м (одна свая на погонный метр), получаем его усредненный модуль деформации $E_{\text{гб}}$, улучшенный за счет линз цементного камня, равный 300 МПа. Для глинистых грунтов при их цементации, как правило, принимают значение модуля деформации в пределах $E_{\text{гр}} = 200\text{--}600$ МПа, что не противоречит принимаемому решению.

Расчет осадок ленточных фундаментов существующего здания и его дополнительных осадок от давления плитного фундамента соседнего здания производился в несколько этапов, учитывающих стадийность возведения рассматриваемых объектов [13, 14]:

- 1) моделирование процесса возведения существующего здания на ленточных фундаментах, определение напряжений в основании и его конечных осадок;
- 2) моделирование процесса заполнительной цементации (первичного нагнетания цементного раствора) через инъекторы для устройства геотехнического барьера (разделительного ограждения) из грунтоцементных свай;
- 3) моделирование процесса устройства котлована и соседнего (вновь устраиваемого) плитного фундамента;
- 4) моделирование процесса компенсационного (повторного) нагнетания цементного или цементно-песчаного раствора через существующие инъекторы для объемного расширения грунтоцементного массива (в программном комплексе Plaxis 2D объемное расширение корректировалось специальной опцией в пределах 2–10 %);
- 5) моделирование процесса передачи давления на грунт от соседнего (вновь устраиваемого) здания при действующих нагрузках на фундаментную плиту.

По результатам моделирования работы геотехнического барьера получены картины равных вертикальных перемещений (линии тока) в основании фундаментов рассматриваемых зданий (рис. 2). Представленные картины следует читать совместно со схемами, приведенными на рис. 1.

Рис. 2. Линии равных вертикальных перемещений (линии тока) в основании ленточного фундамента существующего здания (соответствует этапу 5: геотехнический барьер включен в работу, на основание действует полная нагрузка на плиту от соседнего здания): *а* – для однородного основания; *б* – для двухслойного основания

Fig. 2. Lines of equal vertical displacements (current lines) at the base of the foundations of buildings: (Corresponds to step 5: geotechnical barrier is included in the work, plate works at full load from the adjacent building): *a* – homogenous base; *b* – two-layer base

3. Анализ результатов

Для анализа результатов расчета осадок ленточных фундаментов существующего здания в случае устройства геотехнического барьера (разделительного ограждения) были построены графические зависимости. При этом анализировались приращения осадок ленточного фундамента существующего здания от давления по подошве соседнего (вновь устраиваемого) плитного фундамента (рис. 3).

Рис. 3. График зависимости дополнительных осадок ленточного фундамента (при $P = 150$ кПа) существующего здания от давления по подошве соседнего (вновь устраиваемого) плитного фундамента: 1 – дополнительная осадка ленточного фундамента при разделительном ограждении в виде геотехнического барьера в двухслойном основании; 2 – то же в однородном основании; 3 – то же при отсутствии разделительного ограждения

Fig. 3. Graph of additional settlement strip foundation (at $P = 150$ kPa) existing building from the pressure of the nearby (again constructed) slab foundation: 1 – increment of strip foundation settlement with separating (geotechnical) barrier at two-layer base; 2 – the same at the homogenous base; 3 – the same without the geotechnical barrier

На основе полученных данных составлена табл. 3 о результатах расчета приращений осадок ленточных фундамента существующего здания при давлении по их подошве $P = 150$ кПа (табл. 3).

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	Осадка ленточного фундамента существующего здания ($P = 150$ кПа), мм	Приращение осадки ленточного фундамента от давления, передаваемого соседним зданием (с учетом технологической осадки от устройства барьера)		Уменьшение приращения осадки существующего фундамента за счет устройства разделительного ограждения, %	
		мм	%	мм	%
Без устройства разделительного ограждения между фундаментами	65	50	80	–	–
Устройство разделительного ограждения в однородном основании		25	40	На 25	На 45–50
Устройство разделительного ограждения в двухслойном основании		12	20	На 38	На 75–80

Из анализа полученных данных (см. табл. 3) следует, что осадка ленточного фундамента существующего здания без учета влияния давления от соседнего плитного фундамента составит примерно 65 мм. Если же рядом устраивается соседний плитный фундамент с давлением по подошве $P = 150$ кПа (в период его эксплуатации), то приращение осадки (дополнительная осадка) существующего ленточного фундамента составит 50 мм (80 % к существующей его осадке) при условии, что никакие защитные мероприятия между фундаментами не предусмотрены (см. рис. 3). В случае двухслойного основания (вариант 2) дополнительная осадка ленточного фундамента здания уменьшится на 75–80 % (примерно на 38 мм) и составит 12 мм (см. рис. 3). В однородном основании (вариант 1) дополнительная осадка ленточного фундамента уменьшится на 45–50 % (примерно на 25 мм), следовательно, составит примерно 25 мм (см. рис. 3).

Заключение

Выполненные расчеты позволили установить, что наибольший эффект по уменьшению дополнительной осадки ленточных фундаментов существующих зданий достигается при устройстве разделительного ограждения между зданиями (геотехнического барьера), которое нижним концом опирается на малосжимаемый грунт. В этом случае уменьшение дополнительной осадки существующего ленточного фундамента достигает 75–80 % от случая, когда разделительный барьер отсутствует.

Библиографический список

1. Полищук А.И., Тарасов А.А. Справочник геотехника: основания, фундаменты и подземные сооружения. Гл. 16. Усиление оснований и фундаментов зданий и сооружений. – М.: АСВ, 2016.
2. 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.: АСВ: Изд-во СПбГАСУ, 2002. – 392 с.
3. Полищук А.И. Основы проектирования и устройства фундаментов реконструируемых зданий. – 3-е изд., доп. – Нортхэмптон; Томск: STT, 2007. – 476 с.
4. Симагин В.Г. Проектирование и устройство фундаментов вблизи существующих сооружений и в условиях плотной застройки. – М.: АСВ, 2012. – 128 с.
5. Основания и фундаменты: учеб. для бакалавров строительства / Р.А. Мангушев, В.Д. Карлов, И.И. Сахаров, А.И. Осокин. – М.: АСВ; Изд-во СПбГАСУ, 2011. – 392 с.
6. Fellenius B.H. Basics of foundation design. – URL: <https://www.unisoftgs.com/uploaded/file/RedBook.pdf> (дата обращения: 20.09.2016).
7. 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.
8. Программный комплекс Plaxis 2D. Сборник лекционных и практических занятий. – СПб, 2010. – 105 с.
9. Plaxis 2D. Reference Manual (essential for geotechnical professionals). Build 8122, 2016. – 454 p.

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

11. 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.

12. Ponomarev A.B., Kaloshina S.V. Influence of club foundations constructed in dense urban settings on settlement of existing buildings // Soil Mechanics and Foundation Engineering. – 2013. – Vol. 50, no. 5. – P. 194–199.

13. Полищук А.И., Межаков А.С. Оценка влияния разделительной шпунтовой стенки в глинистых грунтах на осадки фундаментов существующих зданий // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2016. – Т. 4, вып. 1 (10). – С. 33–36.

References

1. Polishchuk A.I., Tarasov A.A. Osnovaniia, fundamenty i podzemnye sooruzheniia. Glava 16. Usilenie osnovanii i fundamentov zdaniy i sooruzhenii [Bases, foundations and underground structures Chapter 16. Strengthening bases and foundations of buildings and structures]. Moscow: ASV, 2016.

2. 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]. Moscow, 2002. 392 p.

3. Polishchuk A.I. Osnovy proektirovaniia i ustroistva fundamentov rekonstruiemykh zdaniy [Fundamentals of design and construction of foundations reconstructed buildings]. Northampton; Tomsk: STT, 2007. 476 p.

4. Simagin V.G. Proektirovanie i ustroistvo fundamentov vblizi sushchestvuiushchikh sooruzhenii i v usloviakh plotnoi zastroyki [Design and installation of foundations near existing buildings and in dense areas]. Moscow: ASV, 2012. 128 p.

5. Mangushev R.A., Karlov V.D., Sakharov I.I., Osokin A.I. Osnovaniia i fundamenty [Bases and foundations]. Moscow, 2011. 392 p.

6. Fellenius B.H. Basics of foundation design available at: <https://www.unisoftgs.com/uploaded/file/RedBook.pdf> (accessed 20 September 2016).

7. 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'naia entsiklopedia. Vol. XII. Stroitel'stvo podzemnykh sooruzhenii. Moscow, 2008, pp. 230-239.

8. Programmnyi kompleks Plaxis 2D [The software package Plaxis 2D]. Saint Peterburg, 2010. 105 p.

9. Plaxis 2D. Reference Manual (essential for geotechnical professionals). Build 8122, 2016. 454 p.

10. Paramonov V.N. Metod konechnykh elementov pri reshenii nelineinykh zadach geotekhniki. Saint Petersburg: Georekonstruktsiia, 2012. 262 p.

11. Vinnikov Iu.L., Vedenisov A.V. Model'nye issledovaniia effektivnosti gruntotsementnykh razdelitel'nykh ekranov dlia zashchity zdaniy ot vliianiia novogo stroitel'stva [Model stud-

ies 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.

12. Ponomarev A.B., Kaloshina S.V. Influence of club foundations constructed in dense urban settings on settlement of existing buildings. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 2013, vol. 50, no. 5, pp. 194-199.

13. Polishchuk A.I., Mezhaikov A.S. Otsenka vliianiia razdelitel'noi shpuntovoi stenki v glinistykh gruntakh na osadki fundamentov sushchestvuiushchikh zdaniy [Assessment of separating sheet pile wall in the clay soil on the precipitate foundations of existing buildings]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2016, vol. 4, iss. 1 (10), pp. 33-36.