**ВЕСТНИК ПНИПУ.
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
Т. 8, № 4, 2017
PNRPU BULLETIN.
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE**
<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>

DOI: 10.15593/2224-9826/2017.4.07

УДК 624.154

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСИЛЕНИЯ ПЛИТНОГО ФУНДАМЕНТА ГРУНТОЦЕМЕНТНЫМИ СВАЯМИ

Н.З. Готман, М.Н. Сафиуллин

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 05 июля 2017
Принята: 28 августа 2017
Опубликована: 15 декабря 2017

Ключевые слова:

численные исследования, усиление фундаментов, плитные фундаменты, грунтоцементные сваи

АННОТАЦИЯ

В настоящее время существует необходимость в развитии методик расчета усиления плитных фундаментов сваями. Потребность в усилении возникает при надстройке дополнительных этажей строящегося здания или реконструкции существующего. Использование грунтоцементных свай имеет определенные преимущества. Кроме сжатых и стабильно прогнозируемых сроков выполнения работ, усиление сваями может выполняться в ограниченных подвальных помещениях за счет компактного оборудования. В нормативных документах отсутствуют рекомендации по таким расчетам. При расчете усиления плитного фундамента грунтоцементными сваями определяется нагрузка на стадии эксплуатации, которая сопоставляется с допустимой нагрузкой на сваю (по грунту и по материалу). Моделирование подобных стадийных процессов современными программными средствами возможно, однако довольно трудоемко. Применяемые на практике методы усиления фундаментов сваями не учитывают многие важные факторы: в каком напряженно-деформированном состоянии находятся основание и конструкции сооружения, в какой момент строительства выполняется усиление и пр. Важную роль играют особенности сооружения и основания: толщина фундаментной плиты, этажность, физико-механические свойства грунтов. Существенное влияние оказывают также параметры грунтоцементных свай: шаг, длина, диаметр. Усиление плитного фундамента грунтоцементными сваями может выполняться по двум схемам: с равномерной расстановкой свай по площади плиты и с локальной расстановкой вокруг несущих конструкций (стен и колонн).

В данной статье представлены результаты численных исследований взаимодействия плитного фундамента с грунтоцементными сваями усиления. Принята локальная расстановка свай усиления вблизи основных несущих конструкций – колонн и стен. Получены определенные закономерности изменения нагрузки на сваю в зависимости от толщины фундаментной плиты, диаметра свай, длины свай, а также момента выполнения усиления. На основе полученных результатов предложена методика проектирования усиления плитного фундамента сваями. При этом учитываются нагрузки, воспринятые основанием плиты до выполнения усиления. Предложенная методика использована при проектировании усиления плитного фундамента 13-этажного жилого дома, для которого планировалась надстройка трех дополнительных этажей.

© ПНИПУ

© Готман Наталья Залмановна – доктор технических наук, профессор, e-mail: gotmans@mail.ru.
Сафиуллин Марат Нуритдинович – аспирант, e-mail: safiullinmarat@list.ru.

Natal'ia Z. Gotman – Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: gotmans@mail.ru.
Marat N. Safiullin – Postgraduate Student, e-mail: safiullinmarat@list.ru.

CALCULATION AND DESIGN OF REINFORCING SLAB FOUNDATIONS WITH SOIL-CEMENT PILES

N.Z. Gotman, M.N. Safiullin

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia Federation

ARTICLE INFO

Received: 05 July 2017
Accepted: 28 August 2017
Published: 15 December 2017

Keywords:

numerical research, strengthening of the foundations, slab foundations, soil-cement piles

ABSTRACT

At present, there is a need to develop a methodology for calculating the reinforcement of slab foundation by piles. The need for reinforcement arises when adding of additional floors of a building under construction or reconstruction of an existing one. The use of soil-cement piles has certain advantages. In addition to the small and stable projected lead times, reinforcement with piles can be carried out in limited basements due to compact equipment. In the normative documents there are no recommendations on such calculations. When calculating the reinforcement of the slab foundation with ground-cement piles, the load is determined at the operational stage, which is compared with the permissible load on the pile (by the ground and by the material). Simulation of such staged processes by modern software is possible, however, rather laborious. Practical methods of reinforcing foundations with piles do not take into account many important factors: in what stress-strain state is the foundation and structure of the structure, at what moment of construction is the strengthening, etc. An important role is played by the features of the structure and the foundation: the thickness of the foundation slab, the number of storeys, and the physical and mechanical properties of the soils. Parameters of soil-cement piles also have a significant influence: space, length, diameter. The reinforcement of the slab foundation with soil-cement piles can be carried out in two schemes: with uniform placement of piles over the area of the slab and with local arrangement around the supporting structures (walls and columns).

The article presents the results of numerical studies of the interaction of the slab foundation with ground-cement reinforcement piles. A local arrangement of reinforcement piles near the main supporting structures-columns and walls-has been adopted. Certain regularities in the load variation on the pile are obtained depending on the thickness of the foundation slab, the diameter of the piles, the length of the piles, and the time at which the reinforcement is performed. Based on the results obtained, a technique for designing the reinforcement of a plate foundation with piles is proposed. This takes into account the loads perceived by the base of the plate before the amplification is performed. The proposed methodology was used in designing the reinforcement of the slab foundation of a 13-storey residential building, for which the construction of three additional floors was planned.

© PNRPU

Введение

При надстройке дополнительных этажей на стадии строительства, когда часть здания уже возведена, или при реконструкции зданий на стадии эксплуатации при надстройке дополнительных этажей или изменении функционального назначения возникает необходимость усиления плитных фундаментов [1].

Эффективным методом усиления является подведение под плиту грунтоцементных свай. При проектировании усиления фундамента сваями производятся расчеты основания по 1 и 2-му предельным состояниям и проверочные расчеты фундаментной плиты. При этом важнейшим фактором является то, что при усилении плитного фундамента грунтоцементными сваями сваи подводятся под фундаментную плиту, когда фундамент и основание уже восприняли нагрузки от выполненной части здания. После выполнения грунтоцементных свай (ГЦС) и мероприятий по усилению фундаментной плиты здание достраивается, и нагрузка воспринимается совместно системой ГЦС – фундамент – основание.

В соответствии с основным принципом проектирования свайных фундаментов, изложенным в нормах РФ [2–5], при расчете усиления плитного фундамента грунтоцементными сваями определяется нагрузка на стадии эксплуатации, которая сопоставляется с допускаемой нагрузкой на сваю (по грунту и по материалу [6]). Как правило, при разработке проектов усиления фундаментов сваями доля общей проектной нагрузки на фундамент на

момент подведения под него свай усиления не учитывается. Расчеты выполняются при условии выполнения свай одновременно с фундаментной плитой, по аналогии со свайно-плитным фундаментом с использованием контактной модели основания и соответствующего программного обеспечения (SCAD, «ЛИРА», MicroFe и т.д.).

Геотехнические расчеты с учетом включения свай усиления в работу на любой стадии нагружения фундамента показывают, что нагрузки, передаваемые на сваи усиления на стадии эксплуатации, на 20–40 % меньше нагрузок на сваи, рассчитанных при их совместной работе с плитой без учета включения свай в работу на стадии уже существенно нагруженного фундамента [7, 8].

Для учета нагрузок, переданных на основание плиты до выполнения усиления, выполняются исследования и разрабатывается инженерный метод расчета плитных фундаментов, усиленных грунтоцементными сваями, в зависимости от напряженно-деформированного состояния (НДС) основания фундаментной плиты на этапе усиления сваями [9–15].

Усиление плитного фундамента ГЦС может выполняться по двум схемам: с равномерной расстановкой свай по площади плиты и с локальной расстановкой вокруг несущих конструкций (стен и колонн). В данной статье представлены результаты исследования для случая локальной расстановки свай вокруг несущих конструкций (стен и колонн).

Выполнен комплекс численных исследований с использованием программного обеспечения Plaxis 3D Foundation, и разработан инженерный метод расчета нагрузок, передаваемых на сваи усиления, в зависимости от напряженно-деформированного состояния основания (НДС) фундаментной плиты на этапе усиления сваями. Также реализован комплекс численных исследований с помощью SCAD и предложена методика расчета фундаментной плиты после подведения свай. На основании представленных результатов запроектировано усиление фундаментной плиты жилого 13-этажного дома, надстраиваемого тремя этажами.

1. Результаты численных исследований

НДС основания фундаментной плиты, усиливаемой сваями, зависит от многих параметров: инженерно-геологических условий, геометрических размеров ГЦС (диаметр, длина), конструктивной схемы здания (толщина фундаментной плиты, нагрузки, расположение свай и др.), этапа строительства, во время которого выполняется усиление.

Для оценки влияния этих факторов на нагрузку, оказываемую на сваи усиления, выполнен полный факторный эксперимент типа 2^k , где k – число изменяемых факторов, $k = 4$.

Основными изменяемыми факторами являются длина ГЦС l (от 10 до 20 м), диаметр ГЦС d (от 0,6 до 1,0 м), доля нагрузки a (от 0,25 до 0,75), толщина фундаментной плиты t (от 0,8 до 1,2 м). В процессе факторного эксперимента оценивается влияние вышеперечисленных факторов на отношение P_0/P . P_0 является нагрузкой, передаваемой на грунтоцементную сваю при условии выполнения свай одновременно с фундаментной плитой. P – нагрузка, передаваемая на грунтоцементную сваю, с учетом доли проектной эксплуатационной нагрузки a , передаваемой на фундамент до момента выполнения усиления и устройства грунтоцементных свай. Значения P и P_0 определяются в зависимости от изменяемых параметров с помощью Plaxis 3D Foundation.

На основании анализа результатов факторного эксперимента установлено, что наиболее значимыми факторами, влияющими на соотношение P/P_0 , являются доля проектной эксплуатационной нагрузки, переданной на фундамент до момента выполнения уси-

ления a , диаметр сваи d и толщина плиты t . Расположение свай (угловая свая или центральная) не влияет на величину P_0/P . В связи с этим при разработке инженерного метода расчета нагрузок, передаваемых на сваи усиления P , выполнена серия расчетов при изменении следующих параметров: доли нагрузки, переданной на фундамент до момента выполнения усиления a , диаметра сваи d и толщины плиты t . По результатам расчета (табл. 1) построены графики, представленные на рис. 1, и получена зависимость (2) для определения отношения P/P_0 (см. табл. 1).

Рис. 1. Графики зависимости P/P_0 от доли нагрузки a , диаметра d и толщины плиты t
Fig. 1. Diagrams of P/P_0 of the portion of the load a the diameter d and plate thickness t

Таблица 1

Значения P/P_0 при различных параметрах

Table 1

Values P/P_0 for various parameters

Доля нагрузки	$a = 0,25$		$a = 0,50$		$a = 0,75$	
Параметры d/t	$d = 0,6\text{ м}$	$d = 1,0\text{ м}$	$d = 0,6\text{ м}$	$d = 1,0\text{ м}$	$d = 0,6\text{ м}$	$d = 1,0\text{ м}$
$t = 0,8\text{ м}$	0,774	0,801	0,549	0,602	0,324	0,409
$t = 1,2\text{ м}$	0,776	0,804	0,553	0,611	0,332	0,424

$$P/P_0 = 1 - ak, \quad (1)$$

где k – коэффициент, зависящий от диаметра сваи (табл. 2).

Таблица 2

Значения k при различных диаметрах сваи

Table 2

The values of k for different diameters of the pile

Диаметр сваи d , м	Коэффициент k
0,6	0,898
1,0	0,778

Нагрузку на грунтоцементную сваю P_0 при условии выполнения свай одновременно с фундаментной плитой можно определить традиционными расчетами свайно-плитного фундамента, используя наиболее простую для практики проектирования контактную модель ос-

нования и соответствующее программное обеспечение (SCAD, «ЛИРА», MicroFe и т.д.). Подставив значение P_0 в формулу (1), получим формулу

$$P = P_0(1 - ak) \quad (2)$$

для определения нагрузки на грунтоцементные сваи P в зависимости от доли нагрузки, переданной на фундамент до момента выполнения усиления a , коэффициента k , который зависит от диаметра сваи d , и нагрузки на сваю P_0 .

Анализ выполненных расчетов и полученных зависимостей (1) и (2) позволяет заключить следующее: отношение P/P_0 не зависит от выбора положения сваи (центральная, угловая и др.); нагрузки, передаваемые на грунтоцементные сваи P , зависят от нагрузки на сваю, рассчитанной при одновременном выполнении ГЦС вместе с фундаментной плитой P_0 , доли нагрузки, переданной на фундамент до момента выполнения усиления, и диаметра ГЦС; увеличение доли нагрузки, переданной на фундамент до момента выполнения усиления, приводит к уменьшению нагрузки на ГЦС.

2. Расчет фундаментной плиты, усиленной сваями

Усиление несущих конструкций 13-этажного жилого дома в г. Уфе производится в связи с надстройкой трех дополнительных этажей в 2014 г. Здание построено частично, выполнен несущий монолитный каркас. В районе площадки строительства выделено четыре инженерно-геологических элемента:

- ИГЭ-1 – насыпной грунт, слабозаторфованный;
- ИГЭ-2 – суглинок;
- ИГЭ-3 – песок пылеватый;
- ИГЭ-4 – глина твердая.

Фундамент здания запроектирован на укрепленном основании в виде плиты из монолитного железобетона В25 (W6) с армированием стержнями класса А400. Толщина фундаментной плиты – 900 мм.

Усиление основания выполнено подведением под фундаментную плиту грунтоцементных свай (ГЦС) длиной 10 м, диаметром 0,6 м. Сваи располагаются локально под нагруженными конструкциями дома – колоннами и стенами (рис. 2).

Рис. 2. Фрагмент схемы расстановки грунтоцементных свай при усилении плитного фундамента; ● – ГЦС

Fig. 2. A fragment of the scheme of arrangement of jet piles in the strengthening of plate foundation; ● – ground-cement pile

Несущая способность сваи определялась с помощью расчетов по СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты». Максимально допустимая расчетная нагрузка, передаваемая на сваю, составляет 64,3 т.

Жесткость сваи определялась путем расчетов в программном комплексе Plaxis 2D. Одиночная свая рассчитывалась в осесимметричной постановке. На рис. 3 показаны параметры расчетной модели. В табл. 3 представлены осадки и жесткости сваи в зависимости от нагрузки.

Таблица 3

Значения осадки и жесткости одиночной сваи в зависимости от нагрузки

Table 3

Values of settlement and stiffness of single piles, depending on the load

Нагрузка, т	Осадка, мм	Жесткость, т/м
10	13,2	757,58
15	19,9	753,77
20	26,9	743,49
25	34	735,29
30	41,4	724,64
35	48,9	715,75
40	56,5	707,96
45	64,4	698,76
50	72,7	687,76
55	81	679,01
60	89,6	669,64
70	106,5	657,19
80	123,8	646,04

В исходную конечно-элементную модель здания (рис. 4) добавлялись три типовых этажа и сваи с определенной жесткостью.

Рис. 3. Расчетная модель одиночной сваи
Fig. 3. Calculation model of a single pile

Рис. 4. Расчетная модель здания
Fig. 4. The estimated building model

Выполнены сравнительные расчеты для следующих расчетных случаев:

1. Традиционный метод проектирования, когда считается, что сваи усиления выполняются одновременно с основным каркасом здания. Расчетная схема принята с жесткостью элементов, моделирующих сваи, принятой при нагрузке на сваю 80 т. Жесткость этих элементов составляет $80 \text{ т}/123,83 \text{ мм} = 646 \text{ т/м}$. По результатам расчетов нагрузка на сваи P_0 лежит в пределах 55,7–77,4 т.

2. Предлагаемый метод проектирования, когда НДС фундамента определяется с учетом доли нагрузки, переданной на каркас до усиления сваями. В этом случае на сваи передается только часть от полной нагрузки. Расчетная схема принята с жесткостью элементов при нагрузке на сваю P , определенной с учетом полученных результатов [см. формулу (2)] для самой нагруженной сваи (наибольшая нагрузка $P_0 = 74,4 \text{ т}$; доля $a = 0,6$; коэффициент $k = 0,898$ по табл. 2):

$$P = P_0(1 - ak) = 77,4(1 - 0,6 \cdot 0,898) = 35,7 \text{ т.} \quad (3)$$

Жесткость всех свай принята равной $35 \text{ т}/48,9 \text{ мм} = 715 \text{ т/м}$.

3. Вариация второго подхода: жесткость свай определена индивидуально, с учетом зависимости (2). Расчетная схема принята с жесткостью элементов при нагрузке на сваю P , определенной с учетом полученных результатов для каждой сваи.

Жесткость свай с нагрузкой P_0 до 70 т: $30 \text{ т}/41,4 \text{ мм} = 725 \text{ т/м}$.

Жесткость свай с нагрузкой P_0 свыше 70 т: $35 \text{ т}/48,9 \text{ мм} = 715 \text{ т/м}$.

По результатам расчетов оценивались усилия в фундаментной плите, а именно изгибающих моментов M_x и M_y .

Сравнение полученных результатов показано в табл. 4.

Таблица 4

Сравнение результатов расчетов фундаментной плиты

Table 4

Comparison of results of calculation of the foundation plate

Расчетный случай	1	2	3
Минимальный момент M_x в плите, тм/м	–116,79	–116,1	–116,08
Максимальный момент M_x в плите, тм/м	220,34	212,13	212,53
Минимальный момент M_y в плите, тм/м	–115,1	–110,92	–110,71
Максимальный момент M_y в плите, тм/м	129,16	125,9	126,12
Максимальная осадка, мм	119,07	116,08	116,1

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующий вывод: при обоснованном снижении действующих нагрузок в ГЦС до 46 % жесткость этих свай повышается на 10,7–12,2 %. При этом изгибающие моменты в фундаментной плите, определяющие в дальнейшем необходимость усиления, снижаются на 0,5–3,7 %. При равномерной структуре здания в плане, типичной для высотных жилых зданий, нагрузка на сваи усиления получается равномерной, разница между предельными и средними значениями составляет до 14,2 %. В этом случае использование переменной жесткости свай (715 и 725 т/м в данном примере) по аналогии с переменным коэффициентом постели у плитных фундаментов приводит к незначительным различиям в результатах (до 0,2 % между случаями 2 и 3) и не рекомендуется к применению.

Таким образом, в случае традиционного подхода (сваи выполняются одновременно с фундаментом) нагрузка на сваю составляет 77,4 т при максимально допустимой нагрузке 64,3 т. При этом необходимо увеличить количество, длину или диаметр свай. Во втором случае, когда расчет выполнен с учетом доли нагрузки, воспринятой каркасом до выполнения свай, полученная зависимость (2) позволяет обосновать снижение нагрузки на сваи и увеличение ее жесткости. При этом принятое решение удовлетворяет требованиям надежности как для свай, так и для конструкций фундамента.

Полученные результаты использованы при проектировании усиления жилого здания. Работы успешно выполнены в августе – октябре 2016 г., здание достроено и готовится к сдаче.

Выводы

1. Разработан метод расчета нагрузки на грунтоцементные сваи при усилении плитного фундамента с учетом нагрузок, переданных на основание плиты до выполнения усиления.
2. Предложена методика проектирования усиления фундаментных плит сваями. Данная методика была использована для проектирования усиления плитного фундамента строящегося 13-этажного каркасно-монолитного дома в связи с надстройкой трех дополнительных этажей, что позволило более чем в 2 раза снизить нагрузки на сваи, полученные традиционными расчетами, и до 30 % снизить материалоемкость и стоимость работ по усилению фундамента.

Библиографический список

1. Корниенко В.Д., Чикота С.И. Проблемы современного российского градостроительства (на примере г. Магнитогорска) // Жилищное строительство. – 2014. – № 11. – С. 30–32.
2. Бройд И.И. Струйная геотехнология: учеб. пособие. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 440 с.
3. Джантимиров Х.А., Долев А.А. Опыт усиления основания сооружения с помощью струйной геотехнологии // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2006. – № 1. – С. 16–19.
4. Briaud J.L. Introduction to geotechnical engineering: unsaturated and saturated soils. – Wiley, 2013. – 1022 p.
5. Рекомендации по применению буроинъекционных свай / НИИОСП. – М., 1984.
6. Малинин А.Г., Салмин И.А. Расчет несущей способности армированной грунтоцементной сваи по материалу // Жилищное строительство. – 2013. – № 9. – С. 14–17.
7. Гроздов В.Т. Усиление строительных конструкций при реставрации зданий и сооружений. – СПб.: Электростандарт-принт, 2005. – 114 с.
8. Эль-Моссалами Й.М., Луц Б., Дюрванг Р. Особенности поведения свайно-плитных фундаментов // Геотехника. – 2013. – № 2. – С. 56–64.
9. Готман Н.З., Сафиуллин М.Н. Особенности расчета плитных фундаментов, усиленных сваями // Геотехника. – 2017. – № 1. – С. 22–27.
10. Готман Н.З., Сафиуллин М.Н. Расчет параметров свайного поля при усилении основания фундаментной плиты грунтоцементными сваями // Строительство и реконструкция. – 2017. – № 1. – С. 3–10.
11. Маковецкий О.А., Зуев С.С. Опыт армирования слабых грунтов в основании фундаментных плит с применением струйной геотехнологии / GeoMos 2010: тр. междунар. конф. по геотехнике, Москва, 7–10 июня 2010. – М., 2010. – С. 1801–1808.

12. Хусаинов И.И., Кашеварова Г.Г., Маковецкий О.А. Сравнительный анализ опытных и расчетных деформаций грунтового массива, закрепленного струйной цементацией // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2012. – Т. 8, № 2. – С. 126–132.
13. Маковецкий О.А., Зуев С.С., Хусаинов И.И. Применение струйной цементации для устройства подземных частей комплексов // Жилищное строительство. – 2013. – № 9. – С. 10–14.
14. Мангушев Р.А., Конюшков В.В. Определение прочностных характеристик грунто-цементного массива, выполненного по технологии jet-grouting в инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга // Вестник гражданских инженеров. – 2010. – № 2. – С. 69–77.
15. Готман Н.З., Сафиуллин М.Н. Исследование работы плитного фундамента, усиленного сваями // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – № 1. – С. 115–119.

References

1. Kornienko V.D. Chikota S.I. Problemy sovremennogo rossijskogo gradostroitel'stva (na primere g. Magnitogorska) [Problems of modern Russian urban planning (on the example of Magnitogorsk)]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*, 2014, no. 11, pp. 30-32.
2. Brojd, I.I. Strujnaya geotekhnologiya [Jet geotechnology]. Moscow, 2004, 440 p.
3. Dzhantimirov H.A., Dolev A.A. Opyt usileniya osnovaniya sooruzheniya s pomoshch'yu strujnoj geotekhnologii [The experience of strengthening of bases of structures using jet geotechnology]. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov*, 2006, no. 1, pp. 16-19.
4. Briaud J.L. Introduction to geotechnical engineering: unsaturated and saturated soils. Wiley, 2013, 1022 p.
5. Rekomendacii po primeneniyu buroin"ekcionnyh svaj [Recommendations for the use of CFA piles]. Moscow, NIOSP, 1984.
6. Malinin A.G., Salmin I.A. Raschet nesushchej sposobnosti armirovannoj gruntocementnoj svai po materialu [Calculation of bearing capacity of reinforced jet piles in the material]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*, 2013, no. 9, pp. 14-17.
7. Grozdov, V.T. Usilenie stroitel'nyh konstrukcij pri restavracii zdaniy i sooruzhenij. Saint Petersburg: EHlektroistandart-print, 2005, 114 p.
8. Ehl'-Mossalami J.M., Luc B., Dyurvang R. Osobennosti povedeniya svajno-plitnyh [Features of the behavior of slab-pile foundations]. *Geotekhnika*, 2013, no. 2, pp. 56-64.
9. Gotman N.Z., Safiullin M.N. Osobennosti rascheta плитных фундаментов, усиленных сваями [Features of the calculation of slab foundations, reinforced piles]. *Geotekhnika*, 2017, no. 1, pp. 22-27.
10. Gotman N.Z., Safiullin M.N. Raschet parametrov svajnogo polya pri usilenii osnovaniya fundamentnoj plity gruntocementnymi svayami [Calculation of parameters of the pile field in the amplification of the base of the foundation plate jet piles]. *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*, 2017, no. 1, pp. 3-10.
11. Makoveckij O.A., Zuev S.S. Opyt armirovaniya slabych gruntov v osnovanii fundamentnyh плит s primeneniem strujnoj geotekhnologii [Experience the reinforcement of weak soil at the base of the slabs with the use of jet geotechnology]. *Trudy mezhdunarodnoj konferencii po geotekhnike «GeoMos 2010»*, 7-10 Yuni 2010, Moscow, pp. 1801-1808.

12. Husainov I.I., Kashevarova G.G., Makoveckij O.A. Sravnitel'nyj analiz opytnyh i raschetnyh deformatsij gruntovogo massiva, zakreplennogo strujnoj cementaciej [Comparative analysis of skilled and calculated deformations of the soil mass, fixed jet grouting]. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 2012, vol. 8, no. 2, pp. 126-132.

13. Makoveckij O.A., Zuev S.S., Husainov I.I. Primenenie strujnoj cementacii dlya ustrojstva podzemnyh chastej kompleksov [Use of jet grouting for the underground parts of the complexes]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*, 2013, no. 9, pp. 10-14.

14. Mangushev R.A., Konyushkov V.V. Opredelenie prochnostnyh harakteristik gruntocementnogo massiva, vypolnennogo po tekhnologii jet-grouting v inzhenerno-geologicheskikh usloviyah Sankt-Peterburga [Determination of strength characteristics of the jet of the array of jet-grouting in engineering-geological conditions of Saint-Petersburg]. *Vestnik grazhdanskih inzhenerov*, 2010, no. 2, pp. 69-77.

15. Gotman N.Z., Safiullin M.N. Issledovanie raboty plitnogo fundamenta, usilennogo svaiami [tudy of the slab foundation, reinforced piles]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*, 2017, no. 1, pp. 115-119.