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

DOI: 10.15593/2224-9826/2017.4.03

УДК 624.152

**ПРОБЛЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАКРЕПЛЕННОГО МАССИВА ГРУНТА
ПО СТРУЙНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ РЕКОНСТРУКЦИИ
И НОВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

С.Г. Богов

ООО «ИСП «Геореконструкция»», Санкт-Петербург, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 05 июля 2017
Принята: 23 августа 2017
Опубликована: 15 декабря 2017

Ключевые слова:

струйная технология, слабые
грунты, укрепление грунтов, гео-
массив

АННОТАЦИЯ

В основаниях фундаментов зданий в исторической части Санкт-Петербурга, как и в большом числе городов северо-запада нашей страны, залегают слабые водонасыщенные пылевато-глинистые грунты, а также имеются включения торфов с разной степенью разложения. При развитии такого мегаполиса, как Санкт-Петербурга, имеется насущная потребность в управляемом преобразовании свойств слабых грунтов оснований и придании им необходимых свойств: увеличении прочности и модуля деформации, снижении водопроницаемости. Закрепление грунтов по струйной цементации – это технологический процесс, который для создания геомассива с необходимыми свойствами включает в себя целый комплекс специальных работ. В них входят следующие основные операции: лидерное бурение скважин с промывкой выбуренного грунта водой или раствором, перемешивание исходных грунтов площадки, как правило, цементными растворами с химическими добавками, затем армирование скважины. Струйная технология применяется в Санкт-Петербурге с середины 90-х гг. XX в. (сначала однокомпонентная, а затем двухкомпонентная). При однокомпонентной технологии стабилизации грунтов используется струя цементного раствора, а при двухкомпонентной струя раствора в грунте подается под защитой коаксиальной струи воздуха. Очевидно, что с использованием этой технологии закрепления грунтов расширился диапазон применения цементации грунтов различного гранулометрического состава до глин и биогенных грунтов. В связи с оптимизацией стоимости работ нулевого цикла, практикой импортозамещения материалов и технологий применение струйной технология в настоящее время становится еще более актуальным в подземном строительстве.

© ПНИПУ

FORMATION PROBLEMS OF GROUTING SOIL USING JET TECHNOLOGY FOR RECONSTRUCTION AND CONSTRUCTION

S.G. Bogov

LLC "ISP "Georekonstruktion", Saint Petersburg, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 05 July 2017
Accepted: 23 August 2017
Published: 15 December 2017

Keywords:

jet grouting, soft soils, grouting, geomassiv

ABSTRACT

In the foundations of the foundations of buildings in the historical part of St. Petersburg, as well as in a large number of cities in the north-west of our country, there are soft water-saturated siltyclay soils, and there are inclusions of peat with different degrees of decomposition. With the development of such a metropolis as the city of St. Petersburg, there is an urgent need for a controlled transformation of the properties of weak base soils and giving them the necessary properties: increasing the strength and modulus of deformation, reducing water permeability. Fixing soils by jet carburizing is a technological process that involves a whole complex of special works to create a geomass with the necessary properties. They include the following basic operations: Lead drilling of wells with washing of drill cuttings with water or mortar, mixing of the foundation soil of the site, usually with cement mortars with chemical additives, then reinforcement of the well. Injection technology has been used in St. Petersburg since the mid 90s of the 20th century, first one-component, and then two-component. When using one-component technology of soil stabilization, a jet of cement mortar is used, and with a two-component jet of a solution in the ground, it is fed under the protection of a coaxial jet of air. Obviously, with the use of this technology of soil consolidation, the range of application of cementation of soils of various granulometric composition to clays and biogenic soils has expanded. In connection with the optimization of the cost of works of the "zero" cycle, using the practice of import substitution of materials and technologies, the application of jet technology is now becoming even more urgent for its active use in underground construction.

© PNRPU

Введение

В условиях слабых грунтов Санкт-Петербурга струйная технология позволила осуществлять специальные работы в грунте: бездефектно проводить реконструкцию и усиление, решать сложные задачи нового строительства в плотной застройке. Последние несколько лет в связи с импортозамещением материалов и технологий ее применение становится еще более актуальным для целей подземного строительства. Струйная технология как конкурент импортному шпунту используется для устройства ограждений, анкеров при разработке глубоких траншей для ремонта инженерных коммуникаций, а также при устройстве глубоких котлованов для паркингов и понижении подвалов в существующих зданиях. Использование отечественных наработок (применение более низких давлений цементных растворов, специальных конструкций мониторов для формирования в грунте цементогрунтовых элементов необходимого диаметра и прочности) делает ее еще более конкурентоспособной [1, 2]. Струйная технология в условиях слабых грунтов позволяет осуществлять бездефектное создание в подземных выработках искусственного слоя для снижения фильтрации воды и минимизации глубины погружения ограждающей котлован конструкции, а также пересадку фундаментов примыкающих зданий на выполненные элементы усиления.

При реконструкции фундаментов зданий эта технология позволяет создавать под подошвами фундаментов столбы закрепленного грунта, выполненные по односторонней или козловой схеме, армированные трубами [2–4]. При новом строительстве с помощью струйной технологии возможно превентивное создание стабилизированного геомассива в качестве несущего слоя для снижения величин расчетных деформаций, также для создания нижней распорки ограждения и искусственного днища при вскрытии котлована. При этом

вскрытие котлованов в условиях высокого уровня подземных вод можно безопасно осуществлять вблизи зданий, применяя короткий шпунт, острие которого защемляется в закрепленный слой модифицированного грунта.

1. Проблемы создания конструкций по струйной цементации слабых грунтов

Струйная технология позволяет создавать в грунте на новый геомассив из вертикальных, наклонных и горизонтальных цилиндрических и плоских закрепленных объемов, отдельно стоящих или сопряженных вместе. Решая геотехнические задачи путем стабилизации природного грунта цементом, необходимо учитывать особенности технологии. Как и всякая технология, струйная технология требует соблюдения определенного набора правил, отработанной методики. Качество работ при струйной технологии формирования цементогрунтовых элементов определяется в первую очередь выбором буровых станков, насосов и бурового инструмента (сопел специальной конструкции, гидромонитора, оптимального соотношения диаметров гидромонитора и буровых труб). Прочность цементогрунта определяется содержанием в твердеющем материале цемента, частиц грунта и воды. Эти параметры, в свою очередь, зависят от создаваемого диаметра скважины, вязкости цемента раствора, его расхода, давления и транспортирующей способности для выноса частиц грунта. Необходимо оценить экономическую целесообразность закрепления слоя слабого грунта и получения материала с проектными свойствами. При модификации массива грунта, имеющего слоистость напластований песков и глин, органики, необходимо учитывать изменение свойств цементогрунта по глубине. Возможные проблемы данного явления можно минимизировать, подбирая технологические параметры для одно-, двух- или трехкомпонентной технологии. При закреплении грунтов цементными растворами следует учитывать их неньютоновское поведение, риск подъема дневной поверхности грунта из-за явления гидроразрыва в случае закупорки затрубного пространства, а также просадки фундаментов из-за его подмыва при продолжительном процессе размыва и последующей перегрузки грунтового основания. Диаметр зоны закрепления не только зависит от давления струи, ее затухания в инъецируемой среде, но и от расхода жидкости.

Струйный размыв грунта основан на высокой скорости движения струи малого диаметра. Разрушение грунта определяется следующими факторами: кавитационным воздействием струи на грунт; действием динамического и ударного воздействия струи; снижением прочности грунтов, вызываемых пульсирующей нагрузкой; размывающим воздействием высокоскоростной водяной струи. По Г.П. Никонову [5], увеличение давления струи у «забоя» сверх оптимального практически не дает повышения производительности, для размыва грунтов от легких супесей до тяжелых глин оптимальное среднее удельное давление варьируется от 0,63 до 5,8 кг/см². Содержание частиц различных фракций по крупности в грунтах площадки может характеризовать ее с точки зрения разрушаемости струей. По этому признаку встречаемые на площадках породы относятся к пылевато-глинистым. Известно, что разрушение пород начинается в момент, когда давление струи в контакте с разрушаемой поверхностью грунта превышает четвертую часть $\sigma_{сж}$ или когда в массиве возникают растягивающие напряжения. Известно, что размываемость несвязных грунтов вызывается только трением между частицами, в глинистых грунтах проявляется взаимное сцепление, а в осадочных породах – цементация. В случае если скорость восходящего потока смеси в затрубном пространстве будет ниже скорости осаждения частиц некоего размера, то при этом весь объем размываемых частиц грунта большего диаметра

останется в теле цементогрунта в качестве заполнителя. Для очистки ствола скважины от выбуренного глинистого грунта средняя скорость восходящего потока $v_{\text{ср}}$ промывочной жидкости в скважине, по А.С. Денисову, должна быть выше скорости осаждения частиц грунта $v_{\text{оч}}$ не менее чем на 13 % [6].

Важным фактором технологии является определение диаметра закрепления. Исследования процессов воздействия гидравлических высоконапорных струй на грунты сводятся к трем традиционным способам описания процессов: расчетному, экспериментальному и полуэмпирическому. Теоретические решения основываются на решениях задач гидродинамики и теории упругости. В основе второй группы лежат решения, основанные на статистическом описании и анализе полученных результатов экспериментальных работ. К полуэмпирическим методам можно отнести методы, в которых процесс гидравлического разрушения основывается на уравнениях взаимосвязи предела прочности на сжатие или растяжение и введенных опытных константах. Существует еще «энергетический» подход, основанный на исследовании кинетической энергии струи как определяющем факторе. Однако точность таких расчетов сильно страдает вследствие зависимости от большого числа меняющихся и неточно определяемых факторов.

Увеличение диаметра размыва бесконечно невозможно не только из-за затухания действия струи, но и из-за вероятности обрушения грунтового свода стенок скважины в нижнюю часть скважины в результате ее подмыва. Непрерывное движение жидкости в затрубном пространстве, как правило, исключает как явление клакожа, так и возникновение гидроразрыва пласта, так как струя раствора оказывает только локальное воздействие. Для постоянного выхода раствора и шлама на поверхность нужен подбор диаметров монитора, буровых труб и соответствующего расхода раствора. Необходимо обеспечивать устойчивость стенок, поскольку обрушение грунтового целика, по форме напоминающего усеченную пирамиду, не перемешанного с грунта цементом, моментально ухудшит свойства создаваемого геомассива. Схема образования свода обрушения в вертикальной скважине без крепи была предложена М.П. Бродским еще в первой половине XX в. Если отсутствует крепь на участке ствола 1 – 2 – 3 – 4, то может произойти обрушение слабых грунтов в объеме свода $ABCDEF$ (рис. 1). Нагрузка на крепь в интервале 1 – 2 – 3 – 4 определяется весом грунта этого свода и фактически не зависит от глубины скважины [7].

Рис. 1. Схема образования свода обрушения в вертикальной выработке (по М.П. Бродскому)
Fig. 1. The scheme of formation of the arch of a collapse in vertical development according (to M.P. Brodsky)

При подмыве стенок скважин образуется «купол», вес которого удерживается только взвешивающим действием раствора в скважине. Получаемый диаметр размыва стенок скважин необходимо считать и контролировать, например, с помощью специального оборудования – каверномеров (рис. 2).

Для гарантированного создания закрепления грунтов заданного диаметра нами была разработана конструкция гидромонитора, сопла которого расположены не перпендикулярно к стенкам скважины, а под углом вверх к горизонту, таким образом, что осевые линии сопел имеют заранее заданную точку пересечения в пространстве (рис. 3),

за которой следует зона рассеивания (диссипации) энергии струи. При этом верхние сопла установлены под небольшим углом $\alpha \geq 0$, нижние – под углом β , радиус закрепляемой области определяется по формуле

$$R = r_m + H \operatorname{tg} \beta,$$

где r_m – радиус монитора; H – расстояние между верхними и нижними соплами; β – угол наклона нижних сопел к оси верхних.

Рис. 2. Специальный каверномер для измерения диаметра уширения скважин
Fig. 2. A special caliper apparatus for measurement of diameter of broadening of wells

Рис. 3. Двухкомпонентный гидромонитор со специальным расположением сопел
Fig. 3. The two-component hydro monitor with a special arrangement snuffed

Применение цементных растворов для прокачки раствора через коноидальные сопла диаметром 3–5 мм во многом зависит от их вязкопластических свойств. С точки зрения гидродинамики и реологии цементных растворов важное значение имеют следующие вопросы: определение режимов движения и скоростей струй и восходящего потока цементного раствора в затрубном пространстве, обеспечивающих заданный режим течения через сопла и монолитность устраиваемой конструкции; определение потерь напора. До настоящего времени о подвижности цементных растворов судят по величине растекаемости, определяемой конусом АзНИИ в момент приготовления растворов, при этом очевидно, что она не может характеризовать подвижность цементных растворов, зависящую от условий движения, скоростей течения (рис. 4, 5).

В гидравлических расчетах для бингамовских жидкостей, к которым относятся цементные и глинистые растворы, используются пластическая вязкость и величина динамического предельного напряжения сдвига. Величина пластической вязкости η_p , мПа·с, определялась по формуле

$$\eta_p = \Phi_{600} - \Phi_{300},$$

где Φ_{300} и Φ_{600} – углы закручивания при частотах вращения 300 и 600 об/мин соответственно, град.

Рис. 4. Расстекаемость цементного раствора по конусу АзНИИ от содержания добавки жидкого стекла
Fig. 4. Spreadability of cement mortar on AzNII cone from the content of additive of liquid glass

Рис. 5. Вискозиметр Fann 35SA, конус АзНИИ, ареометр
Fig. 5. Fann 35SA viscometer, cone of AzNII, areometer

Величина динамического предельного напряжения сдвига τ_0 , Па, определялась по формуле

$$\tau_0 = 0,4789(2\varphi_{600} - \varphi_{300}).$$

Для описания течения жидкостей, когда предельное напряжение сдвига $\tau_0 = 0$, используется степенная модель Освальда-де-Вале с двумя реологическим параметрами:

$$\tau = k(\dot{\gamma})^n,$$

где k – индекс консистенции, Па·с ^{n} ; n – показатель степени неньютоновского поведения жидкости; $\dot{\gamma}$ – скорость сдвига, с⁻¹.

Для определения реологической модели цементного раствора, а также параметров k и n используются формулы

$$n = 3,32 \cdot \lg \frac{\varphi_{600}}{\varphi_{300}},$$

$$k = 511^{(1-n)} \cdot 10^{-3} \cdot \varphi_{300}.$$

Значение кажущейся вязкости для степенной жидкости вычислялось по формуле

$$\eta = k \cdot (\dot{\gamma})^{n-1}.$$

Оценка тиксотропии цементных растворов производится по скорости и степени гелеобразования в состоянии покоя. Эти свойства характеризуются значениями напряжения сдвига, необходимого для разрушения структуры цементного раствора. Исследовались цементные растворы на основе портландцемента ЦЕМ II/A-Ш32,5 Б с В/Ц = 1; 0,75; 0,5 с различным содержанием добавок суперпластификатора С-3, жидкого стекла, хлористого кальция и без добавок. Показания снимались для шести значений вращения цилиндра 600, 300, 200, 100, 6 и 3 об/мин при температуре воздуха 20 °С (табл. 1, 2).

Таблица 1

Составы цементных растворов

Table 1

Compositions of cement mortars

№ п/п	В/Ц раствора, хим. добавка, % от веса цемента		
	В/Ц = 0,5	В/Ц = 0,75	В/Ц = 1
1	Без добавок	Без добавок	Без добавок
2	$\text{Na}_2\text{OSiO}_3 - 1 \%$	$\text{Na}_2\text{OSiO}_3 - 1 \%$	$\text{Na}_2\text{OSiO}_3 - 1 \%$
3	C-3 – 0,17 % + + $\text{Na}_2\text{OSiO}_3 - 1 \%$	C-3 – 0,17 % + + $\text{Na}_2\text{OSiO}_3 - 1 \%$	C-3 – 0,17 % + + $\text{Na}_2\text{OSiO}_3 - 1 \%$
4	$\text{CaCl}_2 - 2 \%$	$\text{CaCl}_2 - 2 \%$	$\text{CaCl}_2 - 2 \%$

Таблица 2

Реологические характеристики цементных растворов

Table 2

Rheological characteristics of cement mortars

№ п/п	В/Ц цементного раствора	n	k , Па·с	Статическое напряжение сдвига Θ , Па, через с		Пластическая вязкость η_p , мПа·с	Динамическое предельное сопротивление сдвига τ_0 , Па
				10	600		
1	В/Ц = 0,5	0,64	0,468	5,267	7,66	28	10,534
	В/Ц = 0,75	0,73	0,08	1,915	4,31	9,5	2,394
	В/Ц = 1	0,83	0,026	0,718	2,87	7	0,958
2	В/Ц = 0,5	0,66	0,541	6,703	13,41	38,5	13,167
	В/Ц = 0,75	0,65	0,246	3,83	7,661	16	5,746
	В/Ц = 1	0,88	0,027	2,394	6,703	11	0,958
3	В/Ц = 0,5	0,65	0,541	6,703	13,41	34	12,445
	В/Ц = 0,75	0,86	0,039	1,676	5,746	13	1,436
	В/Ц = 1	1,1	0,005	0,958	6,703	10,3	0
4	В/Ц = 0,5	0,7	0,256	4,549	8,14	25,5	7,182
	В/Ц = 0,75	0,85	0,032	1,197	3,83	10	1,197
	В/Ц = 1	0,95	0,011	0,958	2,872	7,5	0

Исследованные цементные растворы можно отнести к жидкостям Освальда-де-Ваале. Условием гидротранспорта частиц грунта определенного размера [8] раствором является его средняя скорость $v_{\text{ср}}$:

$$v_{\text{ср}} + \frac{\tau_0 h}{6} \geq 3,5 v_{\text{оч}}(l).$$

2. Закрепление слабых грунтов по струйной технологии

Для снижения деформативности при наличии в пределах пятна застройки слабых слоев грунта и использования в качестве несущего слоя с помощью этой технологии можно превентивно модифицировать грунт на необходимой глубине. Если же имеется прослой

торфов, следует оценить возможность его тотального замещения или повышения расчетных свойств получаемого материала. В качестве примера закрепления слабых биогенных грунтов приведем здание на Малоохтинском проспекте. Оно было возведено на буронабивных сваях в условиях наличия в пятне застройки канализационного коллектора, расположенного на глубине 15 м и наличия в основании биогенных грунтов. Конструкция рамп была предусмотрена на естественном основании, которое должно быть закреплено до прочности 15 кг/см^2 . Закрепление массива грунта мощностью 4 м выполнено столбами по «сетке» по двухкомпонентной технологии. При этом проектировщиками под закрепленным слоем был сохранен прослой биогенного грунта, что небезопасно относительно развития деформаций во времени. Представляется, что толща биогенных грунтов под возводимой конструкцией должна быть полностью стабилизирована, так как наличие хорошо сжимаемых грунтов в основании может привести к развитию неравномерных по величине и продолжительных во времени деформаций. Из закрепленного массива отбирались образцы – керны для испытаний. Разброс плотности образцов составил $1,49\text{--}1,72 \text{ г/см}^3$, средняя прочность в возрасте до 24 сут составила 1,53 МПа, что для решения задачи в данных условиях оказалось достаточным. В этих условиях и в случае большой обводненности массива из-за высоких значений водотвердого отношения необходимо учитывать замедленный набор прочности цементогрунтовым материалом. На кинетику набора прочности закрепленным грунтом оказывают влияние состав и свойства грунтов, их генезис, гранулометрический состав, химико-минералогический состав, структурно-текстурные особенности и др. [9–15]. Важными факторами качества являются содержание, состав и свойства цемента, их химико-минералогический состав (портландцемент, пуццолановый), активность и тонкость помола, наличие химических добавок.

Выводы

1. Струйная технология закрепления слабых водонасыщенных грунтов позволяет минимизировать технологические осадки за счет создания искусственных оснований и новых конструкций. Однако для создания цементогрунтовой конструкции в грунте необходимо строгое соблюдение технологии: режимов размыва, водотвердого отношения в твердеющей смеси, времени набора прочности. Использование специальных химических добавок позволяет влиять на изменение свойств цементных растворов и повышать качество работ.

2. Проведенная адаптация струйной технологии и решение возникающих проблем с учетом грунтовых условий Санкт-Петербурга позволяют рекомендовать ее для целей реконструкции в условиях плотной городской застройки – при усилении фундаментов и устройстве глубоких выработок.

Библиографический список

1. Бройд И.И. Струйная геотехнология: учеб. пособие. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 448 с.
2. Богов С.Г. Опыт усиления фундаментов старых зданий с использованием струйной технологии // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2007. – № 3. – С. 28–32.
3. Рекомендации по струйной технологии сооружения противофильтрационных завес, фундаментов, подготовки оснований и разработки мерзлых грунтов. – М.: НИИОСП, 1989. – 89 с.
4. Улицкий В.М. Геотехническое обоснование реконструкции зданий на слабых грунтах. – СПб.: Изд-во С.-Петерб. гос. архит.-строит. ун-та, 1995. – 146 с.

5. Никонов Г.П., Хныкин В.Ф. Гидравлическое разрушение угля и пород. – М.: Госгортехиздат, 1968. – 96 с.
6. Рабинович Н.Р. Инженерные задачи механики сплошной среды в бурении. – М.: Недра, 1989. – 269 с.
7. Бродский М.П. Новая теория давления пород на подземную крепь. – М.; Л.: ОНТИ, 1933. – 72 с.
8. Смородинов М.И. Строительство заглубленных сооружений: справ. пособие. – М.: Стройиздат, 1993. – 208 с.
9. Безрук В.М. Теоретические основы укрепления грунтов цементом. – М.: Автостройиздат, 1956. – 248 с.
10. Токин А.Н. Фундаменты из цементогрунта. – М.: Стройиздат, 1984. – 184 с.
11. Гончарова Л.В. Основы искусственного улучшения грунтов / под ред. В.М. Безрука. – М.: Изд-во МГУ, 1973. – 376 с.
12. Ржаницын Б.А. Химическое закрепление грунтов в строительстве. – М.: Стройиздат, 1986. – 264 с.
13. Соколович В.Е. Химическое закрепление грунтов. – М.: Стройиздат, 1980. – 119 с.
14. Богов С.Г. Применение цементных растворов для струйной технологии закрепления грунтов с учетом их реологических свойств // Гидротехника. – 2013. – № 4. – С. 84–86.
15. Богов С.Г. Формирование заглубленных объемов в бесподвальных исторических зданиях в условиях слабых грунтов Санкт-Петербурга // Жилищное строительство. – 2016. – № 9. – С. 45–49.

References

1. Broid I.I. Struinaya geotekhnologiya [Jet geotechnology]. Moscow, ASV, 2004, 448 p.
2. Bogov S.G. Opyt usileniya fundamentov starykh zdaniy s ispol'zovaniem struinoi tekhnologii [The experience of strengthening the foundations of the old buildings using jet technology]. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov*, 2007, no. 3, pp.28-32.
3. Rekomendatsii po struinoi tekhnologii sooruzheniya protivofil'tratsionnykh zaves, fundamentov, podgotovki osnovanii i razrabotki merzlykh gruntov [Recommendations on inkjet technology facilities cutoff curtain, foundations, training grounds and development of frozen soils]. Moscow, VNIISP, 1989. 89 p.
4. Ulitskii V.M. Geotekhnicheskoe obosnovanie rekonstruktsii zdaniy na slabykh gruntakh [Geotechnical substantiation of renovation of buildings on soft soils]. Saint Petersburg, Sankt-Peterburgskii gosudarstvennyi arkhitekturno-stroitel'nyi universitet, 1995, 146 p.
5. Nikonov G.P. Khnykin V.F. Gidravlicheskie razrusheniya uglya i porod [Hydraulic fracture of coal and rock]. Moscow, Gosgortekhnizdat, 1968, 96 p.
6. Rabinovich N.R. Inzhenernye zadachi mekhaniki sploshnoi sredy v bureнии [Engineering problems of continuum mechanics in drilling]. Moscow, Nedra, 1989, 269 p.
7. Brodskii M. P. Novaya teoriya davleniya porod na podzemnyuyu krep' [A new theory of the pressure of the underground rocks on the shore]. Moscow, Leningrad, ONTI, 1933, 72 p.
8. Smorodinov M.I. Stroitel'stvo zaglublennykh sooruzhenii [The construction of underground structures]. Moscow, Stroiizdat, 1993, 208 p.
9. Bezruk V.M. Teoreticheskie osnovy ukrepleniya gruntov tsementami [Theory of soil consolidation cements]. Moscow, Avtostroiizdat, 1956, 248 p.

10. Tokin A.N. *Fundamenty iz tsementogrunta* [The foundation of cement soil]. Moscow, Stroiizdat, 1984, 184 p.
11. Goncharova L.V. *Osnovy iskusstvennogo uluchsheniya gruntov* [Fundamentals of artificial improvement of soils]. Ed. V.M. Bezruk. Moscow, MGU, 1973, 376 p.
12. Rzhantsyn B.A. *Khimicheskoe zakreplenie gruntov v stroitel'stve* [Chemical grouting in construction]. Moscow, Stroiizdat, 1986, 264 p.
13. Sokolovich V.E. *Khimicheskoe zakreplenie gruntov* [Chemical grouting]. Moscow, Stroiizdat, 1980. 119 p.
14. Bogov S.G. *Primenenie tsementnykh rastvorov dlya struinoi tekhnologii zakrepleniya gruntov s uchetom ikh reologicheskikh svoystv* [The use of cement mortars for the inkjet technology of grouting, taking into account their rheological properties]. *Gidrotekhnika*, 2013, no. 4, pp.84-86.
15. Bogov S.G. *Formirovanie zaglublennykh ob'emov v bespodval'nykh istoricheskikh zdaniyakh v usloviyakh slabykh gruntov Sankt-Peterburga* [The formation of the buried volume in the demon of the historical buildings under conditions of soft soils of Saint-Petersburg]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*, 2016, no. 9, pp.45-49.