Лашова С.С., Ядовина К.С., Петренева О.В. Технико-экономическое сравнение способов создания противофильтрационной завесы при устройстве котлована // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2016. – Т. 7, № 3. – С. 91–101. DOI: 10.15593/2224-9826/2016.3.09

Lashova S.S., Iadovina K.S., Petreneva O.V. Technical and economic comparison of methods of creating a ground water cutoff during the pit excavation. *PNRPU Bulletin. Construction and Architecture*. 2016. Vol. 7, no. 3. Pp. 91-101. DOI: 10.15593/2224-9826/2016.3.09

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

DOI: 10.15593/2224-9826/2016.3.09
УДК 69.003.12

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ СПОСОБОВ СОЗДАНИЯ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННОЙ ЗАВЕСЫ ПРИ УСТРОЙСТВЕ КОТЛОВАНА

С.С. Лашова, К.С. Ядовина, О.В. Петренева

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 03 июня 2016
Принята: 17 июня 2016
Опубликована: 30 сентября 2016

Ключевые слова:
противофильтрационная завеса, песчаный грунт, шпунт, струйная цементация, искусственное замораживание, стоимость

АННОТАЦИЯ

В сложных грунтовых условиях, примером которых являются песчаные водонасыщенные грунты, когда нельзя устраивать котлован с естественными откосами, создают противофильтрационные завесы. Противофильтрационная завеса предотвращает проникновение грунтовых вод в разработку и укрепляет грунт стен и дна котлована до его экскавации. Целью работы является технико-экономическое сравнение методов создания противофильтрационной завесы для выбора наиболее целесообразного варианта водонепроницаемого ограждения котлована в условиях песчаных водонасыщенных грунтов. В качестве объектов исследования рассматривались три специальных способа создания противофильтрационного экрана для полного предотвращения поступления грунтовых вод в котлован: металлическое шпунтовое ограждение, струйная цементация и искусственное замораживание. Для каждого указанного способа выполнены расчеты сметной стоимости строительно-монтажных работ в зависимости от глубины ограждаемого котлована. По полученным данным проанализированы основные причины общего повышения сметной стоимости строительно-монтажных работ по мере увеличения глубины котлована. Проведенное технико-экономическое сравнение указанных технологий позволило обозначить наиболее рациональный из предложенных вариантов метод закрепления водонасыщенных песчаных грунтов с целью создания водонепроницаемой завесы.

© ПНИПУ

© **Лашова Светлана Сергеевна** – студентка, e-mail: svetlanca93@gmail.com.
Ядовина Ксения Сергеева – студентка, e-mail: ksezamova@mail.ru.
Петренева Ольга Владимировна – кандидат технических наук, доцент, e-mail: spstf@pstu.ru.

Svetlana S. Lashova – Student, e-mail: svetlanca93@gmail.com.
Kseniia S. Iadovina – Student, e-mail: ksezamova@mail.ru.
Ol'ga V. Petreneva – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: spstf@pstu.ru.

TECHNICAL AND ECONOMIC COMPARISON OF METHODS OF CREATING A GROUND WATER CUTOFF DURING THE PIT EXCAVATION

S.S. Lashova, K.S. Iadovina, O.V. Petreneva

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 03 June 2016
Accepted: 17 June 2016
Published: 30 September 2016

Keywords:
ground water cutoff, sandy soil, sheet piling, jet grouting, artificial ground freezing, price

ABSTRACT

In difficult ground conditions, example of which is a water-saturated sandy soil, where it is impossible to arrange an excavation pit with natural slopes, create ground water cutoff. Ground water cutoff prevents the penetration of groundwater and strengthens the walls of the ground and the bottom of the excavation pit before its excavation. The aim of this article is technical and economic comparison of methods for creating waterproof curtain to select the most viable option create ground water cutoff of the excavation pit in a sand saturated soils. As objects of study are considered three special ways to creating ground water cutoff to prevent the inflow of groundwater into the excavation pit: metal sheet piling, jet grouting and artificial freezing of soil. For each of this method the estimated cost of construction and mounting was calculated according to the depth of the excavating excavation pit. The data obtained are analyzed the main reasons for a general increase in the estimated cost of construction and installation work on increasing the depth of the excavation pit. A feasibility comparison of these technologies has allowed to identify the most efficient method of stabilization of water-saturated sandy soil in order to create a waterproof curtain.

© PNRPU

Для защиты строительных котлованов от обрушения при их разработке и защиты от проникновения в них грунтовых вод во время производства работ производят устройство противофильтрационных завес (ПФЗ). Существует несколько характерных методов для их устройства: шпунтовое ограждение, струйная цементация грунта и искусственное замораживание. Вследствие высокой стоимости создания ПФЗ их выбор должен обосновываться технико-экономическим расчетом [1]. В связи с этим авторами был произведен расчет сметной стоимости на устройство 1 пог. м шпунтового ограждения, струйной цементации и искусственного замораживания в зависимости от глубины откопки котлована.

Целью работы является технико-экономическое обоснование указанных методов устройства водонепроницаемой завесы для выбора наиболее эффективного варианта ограждения котлована в условиях водонасыщенных песчаных грунтов. Поскольку обычно задача выбора технологии строительства решается путем избрания приоритетного показателя [2–4], в данном случае таким показателем будет являться стоимость работ.

Сметные расчеты выполнялись в программном комплексе «ГРАНД-Смета» базисно-индексным методом по сборникам ФЕР–2001 (в ред. 2014 г.) в базисных ценах по состоянию на 1 января 2000 г. Перевод цен осуществлялся с помощью индексов перехода с базисного в текущий уровень цен по статьям затрат сметной стоимости СМР по состоянию на I квартал 2016 г. Расчет стоимости устройства ограждения путем искусственного замораживания как специального способа производства работ выполнялся отдельно, по методике расчета, приведенной в работе [5], с переводом базисных цен в текущий уровень цен по состоянию на I квартал 2016 г.

1. Шпунтовое ограждение

Наиболее простым по исполнению является традиционное ограждение с помощью вертикальных стальных элементов – шпунтин, погружаемых в грунт по контуру выемки до ее экскавации [6]. Шпунтовое ограждение применяют в водонасыщенных грунтах с высоким уровнем грунтовых вод, когда использовать водопонижение нецелесообразно.

Заглубление завесы в водоупорный слой обеспечивает наибольшую эффективность защиты котлована от проникновения подземных вод [7].

Для сметного расчета шпунтового ограждения были приняты следующие условия:

– металлический шпунтовый ряд защемлен в водоупорный слой;

– тип используемого шпунта – Ларсен IV;

– оборачиваемость шпунтов принята равной 1;

– погружение шпунтин в грунт ведется способом вибропогружения.

С целью сравнения глубина ограждаемого котлована варьировалась от 2 до 6 м. Отношение глубины котлована к длине шпунта принято 1:2. Затраты на разработку грунта учитывались в расчетах.

Результаты определения сметной стоимости на устройство 1 пог. м шпунтового ограждения представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты сметного расчета по устройству ПФЗ методом шпунтового ограждения

Table 1

Results of estimated cost calculation on creation of the groundwater cutoff by sheet piling

Глубина котлована, м	Трудозатраты, чел.-ч	Сметная стоимость строительных работ, руб.	Стоимость, руб.	
			материалов	машин и механизмов
2,0	59,28	28 120	14 024	1580
2,5	74,15	35 151	16 977	1974
3,0	89,01	42 183	21 039	2370
3,5	103,79	49 211	24 548	2764
4,0	118,66	56 243	28 054	3160
4,5	133,43	63 274	31 560	3554
5,0	148,30	70 303	35 066	3948
5,5	163,07	77 298	38 572	4334
6,0	177,94	84 363	42 081	4739

Зависимость изменения сметной стоимости устройства шпунтового ограждения от глубины разрабатываемого котлована представлена на рис. 1. С увеличением глубины выемки цена на строительные работы линейно возрастает.

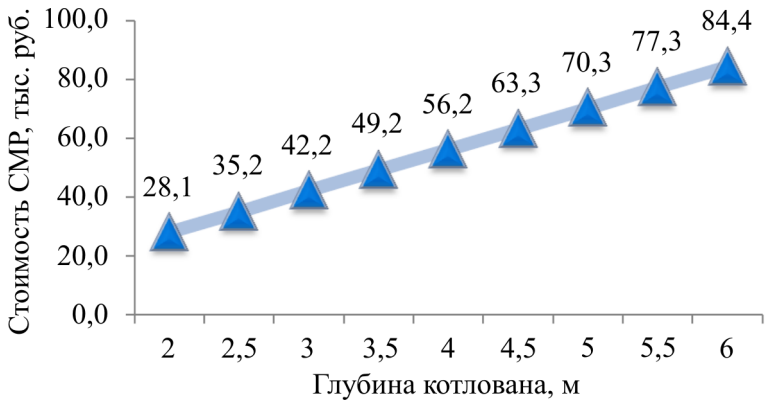

Рис. 1. Зависимость сметной стоимости устройства шпунтового ограждения от глубины котлована

Fig. 1. The dependence of estimated cost of create sheet piling on depth of the excavation pit

При расчетах рассматривался случай извлечения погруженных шпунтин без их последующего применения. Дальнейшее использование шпунта учитывается в расходе металла с помощью понижающих коэффициентов из расчета, что оборачиваемость шпунтов превысит пять раз. В таком случае стоимость работ по устройству шпунтового ограждения снизится на 64 %.

2. Струйная цементация

Технологический процесс струйной цементации грунтов осуществляется путем их размыва и одновременного перемешивания с цементным раствором посредством струи высокого давления, в результате чего образуется грунтобетон, обладающий надежными противофильтрационными свойствами. Струйная цементация позволяет укреплять как связные, так и несвязные грунты при любом значении коэффициента фильтрации [8].

Для обеспечения водонепроницаемости в зависимости от характеристик грунтов и напора подземных вод ограждение устраивают из взаимно секущихся грунтобетонных колонн при их однорядном, двухрядном или большем количестве рядов расположении.

Производство работ ведется в два хода: прямом и обратном. На первом этапе бурится лидерная скважина необходимой глубины диаметром до 150 мм. В процессе обратного хода производят подъем буровой колонны с одновременным ее вращением и подачей высоконапорной струи цементного раствора [9]. Диаметр формируемой колонны для однокомпонентного (когда используется только цементный раствор) способа принимается от 0,5 до 0,1 м.

Для повышения прочности и однородности грунтоцементного ограждения, его коррозионной стойкости и увеличения общей эффективности технологии струйной цементации используют комплексную добавку для струйной цементации (КДСЦ) в количестве 2,5 % от массы сухого цемента.

При расчете стоимости технологии струйной цементации аналогично примеру шпунтового ограждения изменялась глубина закрепления. Расположение принято однорядным из секущихся грунтоцементных колонн радиусом 0,3 м и с расстоянием между скважинами 0,4 м.

Результаты сметного расчета на 1 пог. м водонепроницаемой завесы представлены в табл. 2. Зависимость изменения сметной стоимости создания ПФЗ методом струйной цементации от глубины ограждаемого котлована представлена на рис. 2.

Таблица 2

Результаты сметного расчета по устройству ПФЗ методом струйной цементации

Table 2

Глубина котлована, м	Трудозатраты, чел.-ч	Сметная стоимость строительных работ, руб.	Стоимость, руб.	
			материалов	машин и механизмов
2,0	124,08	660 558	190 710	446 912
2,5	155,10	825 683	230 282	558 630
3,0	186,12	990 824	276 339	670 361
3,5	217,04	1 155 952	322 395	782 079
4,0	248,16	1 321 115	381 419	893 825
4,5	279,17	1 486 204	414 508	1 005 517
5,0	310,20	1 651 366	460 563	1 117 187
5,5	341,22	1 816 441	506 620	1 228 942
6,0	372,23	1 981 650	552 677	1 340 721

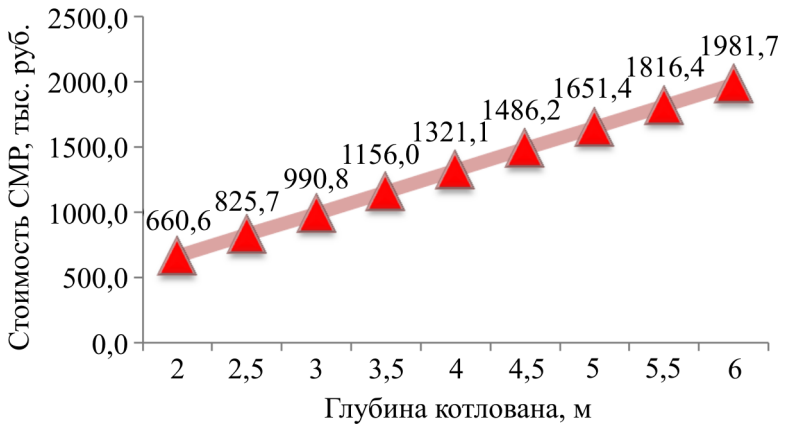

Рис. 2. Зависимость сметной стоимости создания ПФЗ методом струйной цементации от глубины котлована
Fig. 2. The dependence of estimated cost of create groundwater cutoff by jet grouting on depth of the excavation pit

В отличие от шпунтового ограждения, стоимость применения способа струйной цементации значительно выше. В первую очередь это объясняется большими затратами на используемые при струйной цементации материалы. В частности, добавка КДСЦ, включенная в сметные нормы, имеет достаточно высокую цену, которая в настоящее время составляет порядка 700 тыс. руб. за тонну. В результате этого затраты на использование данной добавки превышают затраты на приобретение цемента, который является основным материалом для создания грунтоцементной сваи [10]. По сметным расчетам, затраты на добавку в концентрации 2,5 % от массы сухого цемента в 10 раз больше его расходов.

Ощутимо возросли также затраты на машины и механизмы. Если погружение шпунта требует недорогого оборудования, то при устройстве ограждения струйной технологией необходимо применение буровых установок для предварительного бурения скважин, смесительных установок, а также насосов высокого давления для перекачивания раствора. Затраты на перечисленные машины и механизмы совместно с материалами при расчете сметы принимают наиболее высокие значения, обусловливая более высокую стоимость метода струйной цементации по сравнению со шпунтовым ограждением.

3. Искусственное замораживание

Замораживание грунтов искусственным путем осуществляют с помощью группы специальных охлаждающих устройств – замораживающих труб, располагаемых по периметру разрабатываемой выемки [11]. По мере промерзания грунта нарастаемые вокруг труб (колонок) ледогрунтовые цилиндры смыкаются между собой, создавая сплошную противофильтрационную завесу в виде ледогрунтового ограждения.

В зависимости от вида хладоносителя замораживание может быть рассольным и безрассольным. Рассолы достаточно дешевы и легко могут быть приготовлены в условиях строительной площадки. На практике наибольшее распространение получило применение раствора хлористого кальция при средней температуре охлаждения –20 °С.

Производство работ начинается с бурения скважин по контуру котлована и погружения в них замораживающих колонок. Охлаждаемый на замораживающей станции рассол насосом нагнетается в трубу распределителя, откуда подается по питающим трубам. Хла-

доноситель под давлением циркулирует в колонке, омывая ее внутренние стенки. Непосредственный процесс замораживания грунта осуществляется путем теплообмена между колонкой и окружающим ее грунтом.

Минимальная толщина ледогрунтового ограждения, при которой она становится водонепроницаемой, составляет 0,15 м. Непосредственная защита котлована от притока грунтовых вод достигается путем заглубления мерзлогрунтового ограждения в водоупорные слои на 2–3 м.

Стоимость создания ледогрунтового ограждения складывалась из следующих затрат:

$$C = C_1 + C_2,$$

где C_1 – затраты на бурение скважин и монтаж замораживающих колонок; C_2 – затраты на образование мерзлогрунтового ограждения.

При этом C_2 включает в себя стоимость эксплуатации замораживающих колонок (с учетом стоимости производства холода) и стоимости содержания ледогрунтовой завесы за время ее образования.

Для расчетов были приняты следующие исходные данные:

– теплопроводность грунта λ = 2 ккал/(м·ч·°С);

– температура рассола – минус 20 °С.

Результаты определения стоимости работ на образование 1 пог. м ледогрунтовой противофильтрационной завесы представлены в табл. 3. В данном случае под общей стоимостью понимается стоимость с учетом аренды холодильного оборудования на время работ по замораживанию.

Таблица 3

Определение основных параметров метода искусственного замораживания при различной глубине устраиваемого ограждения

Table 3

Evaluation of the main parameters of the method of artificial freezing at different depth of waterproof curtain

Глубина котлована, м	Наивыгоднейшее расстояние между колонками, м	Общее время работ, сут	Общая стоимость работ, руб.
2,0	1,1	16	930 484
2,5	1,2	17	1 029 661
3,0	1,2	19	1 108 800
3,5	1,2	20	1 173 913
4,0	1,3	21	1 228 811
4,5	1,3	21	1 276 029
5,0	1,3	22	1 317 311
5,5	1,3	23	1 353 909
6,0	1,3	23	1 386 735

Общее время работ включает в себя время на бурение скважин и монтаж колонок и непосредственное замораживание грунта.

Поскольку расстояние между скважинами при искусственном замораживании грунта является определяющим фактором, то определить его нужно таким образом, чтобы соотношение затрат времени и стоимости работ было наилучшим. Для этого на первом этапе опре-

деляют расстояние, наиболее выгодное для стоимости, и расстояние, наиболее выгодное для времени. Усредняя полученные значения, вычисляют расстояние, которое при данной глубине будет наивыгоднейшим как для стоимости работ, так и для времени, после чего с учетом данного расстояния определяют время и стоимость производства работ по замораживанию.

Как и предполагалось, с увеличением глубины котлована стоимость работ будет возрастать. В отличие от сметной стоимости устройства шпунтового ограждения, метод замораживания грунта, как и технология струйной цементации, имеет наиболее высокие затраты. Иная ситуация при сравнении технологии искусственного замораживания грунта со струйной технологией, так как по расчетам стоимость работ последней получилась дороже, причем отклонение от стоимости повышалось с увеличением глубины котлована. Так, для глубины 2 м замораживание грунтов вышло дороже на 30 %, тогда как для 6 м отклонение составило также 30 %, но уже в сторону струйной цементации. При глубине котлована 3,5 м стоимости работ по замораживанию и струйной цементации примерно сравнялись.

Зависимость изменения стоимости работ по замораживанию грунтов представлена на рис. 3.

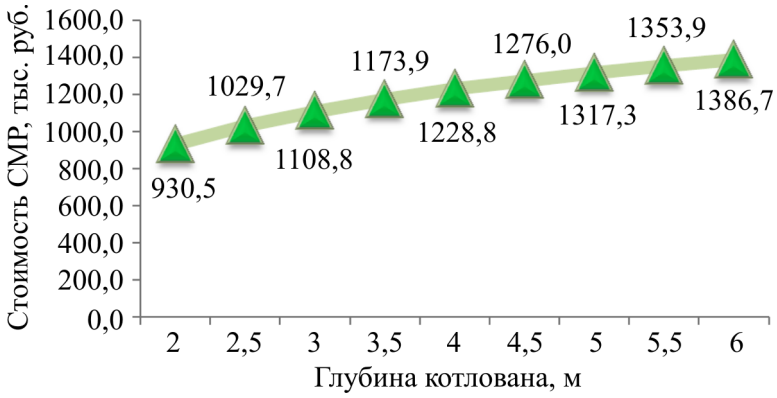

Рис. 3. Зависимость стоимости создания ПФЗ методом искусственного замораживания от глубины котлована
Fig. 3. The dependence of estimated cost of create groundwater cutoff of the method of artificial freezing on depth of the excavation pit

Сравнительно редкое использование метода замораживания грунтов объясняется высокой стоимостью применяемого оборудования – замораживающих станций. Для замораживания грунта не в масштабных целях покупка холодильных станций крайне невыгодна, так как в разы превысит все затраты, связанные с замораживанием. Возможна аренда замораживающего оборудования, но и в таком случае расходы на аренду будут больше, чем на сам процесс создания ПФЗ. К тому же парка аренды замораживающих станций в наши дни не сформировалось, и достать такое оборудование крайне сложно. На рис. 4 показано, что стоимость производства работ по замораживанию без учета аренды на 97 % ниже.

Таким образом, при малых объемах ограждаемого котлована сама технология замораживания имеет сравнительно невысокую стоимость. Наибольший процент затрат идет на аренду или приобретение замораживающего оборудования.

Эффективность использования данного метода проявляется при строительстве протяженных объектов с глубиной разработки более 100 м при выполнении срочных работ в обводненных грунтах или ликвидации внезапных прорывов плывунных грунтов. Таким

образом, в настоящее время технология искусственного замораживания получила основное применение в промышленном строительстве, на территориях Крайнего Севера, где требуется термостабилизация грунта [12–15].

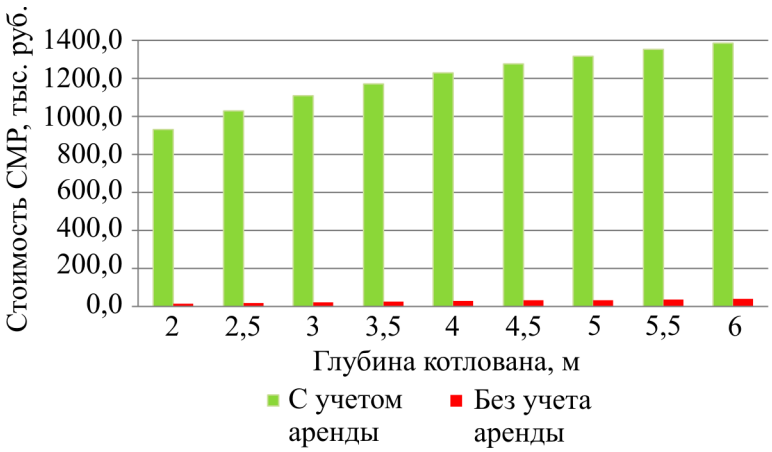

Рис. 4. Превышение стоимости работ по замораживанию с учетом и без учета аренды замораживающей станции
Fig. 4. The excess of estimated cost of freezing work with and without rent freeze stations

Наиболее перспективной является комбинированная технология, которая сочетает традиционное искусственное замораживание с современной технологией струйной цементации грунта. В таком случае строительство проходит в две стадии. На первом этапе с помощью струйной цементации из грунтоцементных свай создают контурное ограждение выемки [14]. После полного отвердевания и выравнивания температуры грунтоцементного массива на второй стадии осуществляют замораживание грунта, которое служит перекрытием возможных «окон» в цементном камне. Исследования ученых показали, что, в отличие от традиционного одиночного метода замораживания грунтов, комбинированная технология с применением струйной цементации позволяет снизить осадки поверхности в пять раз [15].

Сравнительный график стоимости образования ПФЗ котлована при его различной глубине приведен ниже (рис. 5).

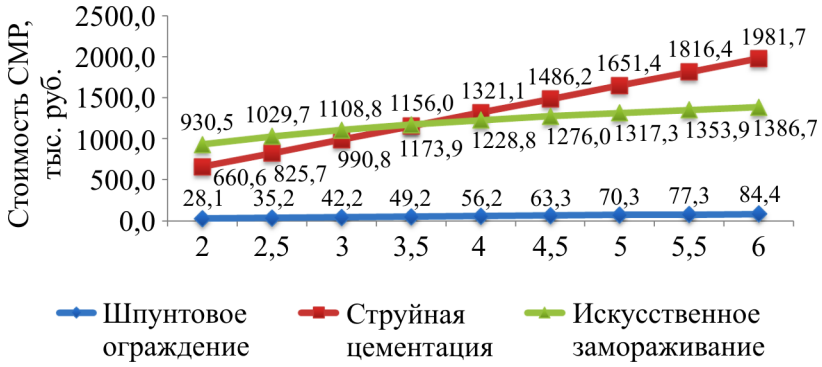

Рис. 5. Сравнительный график стоимости СМР в зависимости от выбранного способа устройства ПФЗ
Fig. 5. Comparative graph of estimated cost of construction and installation work, depending on chosen method of create groundwater cutoff

Выводы

Проведенное технико-экономическое сравнение трех специальных методов создания ПФЗ при устройстве котлована показало, что с точки зрения стоимости работ наименее экономически выгодной оказалась технология струйной цементации. Однако, несмотря на это, в настоящее время она является одной из самых распространенных. Это обусловлено тем, что применение грунтоцементных свай позволяет не только защитить разработку от поступления грунтовых вод, но и укрепить грунт, повысить несущую способность оснований. Кроме того, технология струйной цементации может применяться вблизи существующих зданий и сооружений, при любых грунтовых условиях.

Самым наименее затратным способом оказался метод шпунтового ограждения, даже при условии применения шпунта единожды. Если предполагается использовать шпунтовое ограждение с оборачиваемостью до пяти раз, то сметная стоимость на его устройство уменьшится на 64 %. Погружение шпунтового ограждения в стесненных условиях может привести к развитию деформаций соседних зданий и близлежащих сооружений. Применение шпунтового ограждения эффективно при строительстве на воде или в обводненных грунтах с условием защемления шпунтин в водоупорные слои.

Относительно дешевым оказался способ искусственного замораживания грунтов, который имеет немало достоинств. Как и струйная цементация, он пригоден для любых грунтов, особенно водонасыщенных. Метод искусственного замораживания наиболее эффективен в промышленном строительстве, на территориях вечной мерзлоты для термостабилизации мерзлого грунта. В городских условиях он может быть использован для быстрого локального устранения прорыва грунтовых вод или плывунов.

Основными недостатками искусственного замораживания, ограничивающими его применение, являются возникновение пучения глинистых грунтов при промерзании, проявление осадок при оттаивании мерзлого грунта, а также очень высокая стоимость замораживающего оборудования. Как показали расчеты, стоимость замораживания с учетом аренды холодильной станции на 97 % превышает стоимость работ без учета аренды.

Библиографический список

1. Винников Ю.Л., Пономарев А.Б. Подземное строительство. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. – 262 с.

2. Кашапова К.Р., Моисеева О.В., Клевеко В.И. Экономическое обоснование технологии устройства котлована для сооружения подземного пешеходного перехода // Вестник Пермского национального политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2014. – № 4. – С. 59–70.

3. Логинова Ю.С., Петренева О.В. Два метода решения многокритериальной задачи в строительстве // Вестник Пермского национального политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2014. – № 1. – С. 106–123.

4. Петренева О.В., Колечкина А.Ю. Технико-экономическое сравнение различных типов несъемной опалубки из пенополистирола с крупнощитовой опалубкой // Строительство и архитектура. Опыт и современные технологии. – 2015. – № 1.

5. Трупак Н.Г. Замораживание грунтов в подземном строительстве. – М.: Недра, 1974. – 280 с.

6. Экономическое обоснование способов устройства котлована и глубины заложения подземного пешеходного перехода / К.Р. Кашапова, В.И. Клевеко, О.В. Моисеева, О.В. Петренева // Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 55-летию кафедры строительного производства и геотехники Перм. нац. исслед. политехн. ун-та и 60-летию кафедры гидротехнических и земляных сооружений Волгоград. гос. арх.-строит. ун-та. – Волгоград, 2015. – С. 237–247.

7. Бочкарева Т.М. Технология строительных процессов. Ч. 1. Общие положения. Земляные работы. Работы нулевого цикла возведения зданий и сооружений [Электронное учебное пособие]. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2011.

8. Маковецкий О.А., Миллер К.А. Устройство ограждений котлованов из грунтоцементных элементов // Инновационные конструкции и технологии в фундаментостроении и геотехнике: материалы науч.-техн. конф. с междунар. участием. – Пермь, 2013. – С. 120–123.

9. Маковецкий О.А., Серебренникова Д.К. Оценка перспектив развития подземного пространства мегаполисов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2013. – № 3. – С. 78–90.

10. Леонов В.В. Мосгосэкспертиза: к справедливым ценам в строительстве // Вестник Российского Союза строителей. – 2014. – № 3. – С. 34–36.

11. Шагиев А.А., Пономарев А.Б. Стабилизация грунта методом искусственного замораживания // Строительство и архитектура. Опыт и современные технологии. – 2012. – № 1.

12. Долгих Г.М., Окунев С.Н., Стрижков С.Н. Ледяной экран для полигона на Крайнем Севере // Твердые бытовые отходы. – 2011. – № 11. – С. 17–19.

13. Чжан Р.В. Геокриологические принципы работы грунтовых плотин в криолитозоне в условиях меняющегося климата // Фундаментальные исследования (технические науки). – 2014. – № 9. – С. 288–296.

14. Практика внедрения безосадочных технологий при строительстве Санкт-Петербургского метрополитена / К.П. Безродный, А.И. Салан, В.А. Маслак, В.А. Марков, М.О. Лебедев // Записки Горного института. – 2012. – № 199. – С. 190–195.

15. Безродный К.П., Лебедев М.О., Егоров Г.Д. Строительство эскалаторных тоннелей Санкт-Петербургского метрополитена // Метро и тоннели. – 2015. – № 1. – С. 14–17.

References

1. Vinnikov Iu.L., Ponomarev A.B. Podzemnoe stroitel'stvo [Underground construction]. Perm', 2014. 262 p.

2. Kashapova K.R., Moiseeva O.V., Kleveko V.I. Ekonomicheskoe obosnovanie tekhnologii ustroistva kotlovana dlia sooruzheniia podzemnogo peshekhodnogo perekhoda [Economic justification of technology excavation for the construction of pedestrian underpasses]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaia ekologiia. Urbanistika*, 2014, no. 4, pp. 59-70.

3. Loginova Iu.S., Petreneva O.V. Dva metoda resheniia mnogokriterial'noi zadachi v stroitel'stve [Two methods of solution of multicriteria problem in construction]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2014, no. 1, pp. 106-123.

4. Petreneva O.V., Kolechkina A.Iu. Tekhniko-ekonomicheskoe sravnenie razlichnykh tipov nes"emnoi opalubki iz penopolistirola s krupnoshchitovoi opalubkoi [Techno-economic

comparison of the different types of retained formwork of polystyrene with large-panel forms]. *Stroitel'stvo i arkhitektura. Opyt i sovremennye tekhnologii*, 2015, no. 1.

5. Trupak N.G. Zamorazhivanie gruntov v podzemnom stroitel'stve [Freezing soils in underground construction]. Moscow, 1974. 280 p.

6. Kashapova K.R., Kleveko V.I., Moiseeva O.V., Petreneva O.V. Ekonomicheskoe obosnovanie sposobov ustroistva kotlovana i glubiny zalozheniia podzemnogo peshekhodnogo perekhoda [Economic justification methods of excavation equipment and the depth of the underground pedestrian crossing]. *Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posviashchennoi 55-letiiu kafedry stroitel'nogo proizvodstva i geotekhniki Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta i 60-letiiu kafedry gidrotekhnicheskikh i zemlianykh sooruzhenii Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. Volgograd, 2015, pp. 237-247.

7. Bochkareva T.M. Tekhnologiia stroitel'nykh protsessov. Chast' 1. Obshchie polozheniia. Zemlianye raboty. Raboty nulevogo tsikla vozvedeniia zdanii i sooruzhenii [Technology of building processes. Part 1. General. Excavation. The works of a zero cycle of construction of buildings and structures]. Perm', 2011.

8. Makovetskii O.A., Miller K.A. Ustroistvo ograzhdenii kotlovanov iz gruntotsementnykh elementov [Arrangement of fences pits of grouting elements]. *Materialy nauchno-tekhnicheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem "Innovatsionnye konstruktsii i tekhnologii v fundamentostroenii i geotekhnike"*. Perm', 2013, pp. 120-123.

9. Makovetskii O.A., Serebrennikova D.K. Otsenka perspektiv razvitiia podzemnogo prostranstva megapolisov [Assessment of prospects of development underground space of megalopolises]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaia ekologiia. Urbanistika*, 2013, no. 3, pp. 78-90.

10. Leonov V.V. Mosgosekspertiza: k spravedlivym tsenam v stroitel'stve [Moscow state expertise: to fair prices in construction]. *Vestnik Rossiiskogo Soiuza stroitelei*, 2014, no. 3, pp. 34-36.

11. Shagiev A.A., Ponomarev A.B. Stabilizatsiia grunta metodom iskusstvennogo zamorazhivaniia [Stabilization by artificial ground freezing]. *Stroitel'stvo i arkhitektura. Opyt i sovremennye tekhnologii*, 2012, no. 1.

12. Dolgikh G.M., Okunev S.N., Strizhkov S.N. Ledianoi ekran dlia poligona na Krainem Severe [Ice screen for the landfill in the Far North]. *Tverdye bytovye otkhody*, 2011, no. 11, pp. 17-19.

13. Chzhan R.V. Geokriologicheskie printsipy raboty gruntovykh plotin v kriolitozone v usloviiakh meniaiushchegosia klimata [Geocryolody principles of earth dams for low and medium pressures in permafrost in a changing climate]. *Fundamental'nye issledovaniia (tekhnicheskie nauki)*, 2014, no. 9, pp. 288-296.

14. Bezrodnyi K.P., Salan A.I., Maslak V.A., Markov V.A., Lebedev M.O. Praktika vnedreniia bezosadochnykh tekhnologii pri stroitel'stve Sankt-Peterburgskogo metropolitena [The practice of implementation unsubsidential technologies in the construction of the St. Petersburg metro]. *Zapiski Gornogo instituta*, 2012, no. 199, pp. 190-195.

15. Bezrodnyi K.P., Lebedev M.O., Egorov G.D. Stroitel'stvo eskalatornykh tonnelei Sankt-Peterburgskogo metropolitena [Construction of escalator tunnels of the St. Petersburg metro]. *Metro i tonneli*, 2015, no. 1, pp. 14-17.