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

DOI: 10.15593/2224-9826/2016.3.08

УДК 624.131

ОСНОВНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ И СДЕРЖИВАЮЩИЕ ФАКТОРЫ В ОСВОЕНИИ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА ГОРОДА ПЕРМИ

С.В. Калошина

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

О СТАТЬЕ

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

Ключевые слова:

подземное пространство,
инженерно-геологические
условия, подземные сооружения,
подземное строительство,
сложившаяся застройка

АННОТАЦИЯ

Развитие крупных городов, к каким относится и Пермь, невозможно без комплексного освоения подземного пространства. Проанализированы существующие проблемы развития г. Перми, связанные прежде всего с ростом числа автовладельцев и дефицитом свободных территорий для строительства в сложившейся городской застройке. Обозначены пути решения указанных проблем за счет освоения подземного пространства. Приведена классификация подземных сооружений по различным признакам. Выделены основные факторы, негативно сказывающиеся на общих объемах подземного строительства. Особое внимание уделено методам выполнения работ при строительстве и реконструкции в стесненных условиях на этапе производства работ нулевого цикла. Показано, что при условии правильного выбора технологии производства работ строительство подземных сооружений возможно выполнять в сложных инженерно-геологических условиях. Приведен пример геотехнического моделирования устройства котлована и строительства заглубленного 2–3-этажного сооружения, возводимого в исторической части г. Перми в непосредственной близости к существующей застройке. Расчет выполнен с использованием программного комплекса PLAXIS 2D v.9.0 в плоской постановке задачи с использованием модели упрочняющегося грунта (hardening soil model). Обозначены перспективные направления в освоении подземного пространства г. Перми, в частности строительство многоуровневых подземных парковок глубиной более 10 м. Выделены основные факторы удорожания подземного строительства, связанные как с производством работ, так и с дальнейшей эксплуатацией подземного сооружения. Приведены положительные аспекты и метод расчета экономической эффективности подземного строительства.

© ПНИПУ

© Калошина Светлана Валентиновна – кандидат технических наук, доцент, e-mail: kaloshina82@mail.ru.

Svetlana V. Kaloshina – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: kaloshina82@mail.ru.

MAIN PRECONDITIONS AND CONSTRAINTS WHEN DEVELOPING UNDERGROUND SPACE OF THE PERM CITY

S.V. Kaloshina

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 03 June 2016

Accepted: 17 June 2016

Published: 30 September 2016

Keywords:

underground space, engineering-geological conditions, underground structures, underground construction, existing buildings

ABSTRACT

The development of cities, which Perm refers, is impossible without an integrated development of underground space. The article analyses existing problems of development of the city of Perm related primarily to the increase in the number of car owners and a deficiency of free territories for building in the existing urban development. There are the ways of solving these problems through the development of underground space. Classification of underground structures is presented according to various criteria. There are the main factors, which negatively affects the overall amount of underground construction. Special attention is paid to the methods of execution of works during construction and reconstruction in cramped conditions when producing operations of a zero cycle. It is shown that construction of underground structures may be performed in difficult geotechnical conditions with proper choice of the production technology of works. There is the example of the geotechnical simulation of the excavation and construction of buried 2–3-storey building erected in the historic part of the city of Perm in immediate proximity to existing buildings. The calculations were performed using program complex PLAXIS 2D v.9.0 in the planar problem statement using the model of hardening soil (hardening soil model). The promising directions in the development of underground space are given for the city of Perm, in particular, the construction of multilevel underground parking spaces with a depth of 10 m. There are the main factors of the increased cost of underground construction associated with work production and further exploitation of underground structures. The positive aspects and the method of calculation of economic efficiency of underground construction are given.

© PNRPU

В настоящее время в мире наблюдается высокий уровень урбанизации, обусловленный постоянным ростом численности городского населения. Процесс урбанизации неуклонно ведет к целому ряду проблем. Так, вместе с увеличением числа городских жителей растет уровень их потребности в жилье, объектах транспортного и социально-культурного назначения, энергетических ресурсах. Рост числа автомобилей приводит к нехватке парковочных мест. С ростом городов увеличивается протяженность и плотность инженерных коммуникаций, возникает необходимость в расширении проезжей части дорог, ухудшается экологическая среда города. Одним из наиболее эффективных направлений решения данных проблем является комплексное освоение подземного пространства [1, 2].

Комплексное освоение подземного пространства предполагает поэтапное рациональное объединение подземных сооружений различного назначения в единую инфраструктуру с целью обеспечения наиболее благоприятных условий для проживания.

В подземном пространстве городской среды размещают сооружения, классифицируемые по различным признакам: характеру использования и назначению, месту расположения, количеству подземных ярусов и глубине заложения [3–6] (рис. 1).

Если проанализировать сложившуюся градостроительную ситуацию многих крупных городов, к каким относится и г. Пермь, становится понятно, что их дальнейшее развитие без комплексного освоения подземного пространства становится невозможным. В настоящее время наблюдаются следующие неблагоприятные тенденции в развитии г. Перми [7]:

- увеличение загруженности дорог, нехватка парковочных мест, что вызвано ростом числа автовладельцев;
- повышение загрязнения окружающей среды, в том числе шумового, рост энергопотребления, что обусловлено увеличением количества автотранспортных средств;
- дефицит свободных территорий для строительства в сложившейся городской застройке.

Рис. 1. Классификация подземных сооружений

Fig. 1. Classification of underground structures

Частично данные проблемы можно решить путем строительства подземных сооружений городской инфраструктуры: подземных гаражей и стоянок, объектов торговли и сферы услуг, подземных пешеходных переходов. Решению транспортной проблемы может способствовать также строительство метрополитена. Обсуждение строительства двух веток метро в г. Перми началось в 1970-х гг. К 1991 г. было составлено технико-экономическое обоснование, были выполнены некоторые подготовительные работы, однако в связи с тяжелым экономическим положением строительство метрополитена было отложено. В 2001 г. Пермь была включена в федеральную программу строительства и развития метрополитена. Отсутствие финансирования вновь не позволило начать запланированные работы. Таким образом, строительство пермского метрополитена откладывается на неопределенный период времени.

Более реальным решением транспортной проблемы в сложившейся экономической ситуации может стать увеличение количества подземных гаражей и стоянок, а также строительство подземных пешеходных переходов. Устройство подземных парковок по-

звolyет существенно экономить территорию, так как подземные сооружения могут быть размещены под существующими парками, скверами, дорогами, зданиями. Для подземных (полуподземных) гаражей могут быть использованы невоcтребованные для других целей территории (овраги, участки с большим уклоном, небольшие карьеры и т.п.). В исторической части города подземное расположение гаражей и стоянок позволяет визуальнo изолировать припаркованные автомобили от городской застройки, уменьшить вредное воздействие на окружающую среду.

Решению транспортной проблемы может способствовать также строительство подземных пешеходных переходов. При этом будет решена проблема оптимизации движения автомобилей, будет уменьшено число пробок за счет отсутствия остановок транспорта на пропуск пешеходов. Под землю можно переместить торговые киоски, что позволит визуальнo расширить улицы. Основные сдерживающие факторы при строительстве подземных переходов – отсутствие финансирования и сложность реализации данных проектов в условиях плотной застройки.

Освоение подземного пространства играет важную роль при выполнении работ по реконструкции в стесненных условиях плотной городской застройки. Часто при отсутствии свободных территорий возникает необходимость устройства подземных этажей в связи с изменением функционального назначения объекта или необходимостью приведения его в соответствие с действующими нормативными документами. В качестве примера можно привести реконструкцию Мариинского государственного академического театра в г. Санкт-Петербурге [8, 9], а также здания Саратовской областной филармонии им. А. Шнитке [10].

Немаловажную роль в освоении подземного пространства играют инженерно-геологические условия строительства. При выполнении изысканий необходимо учитывать весь комплекс геологических и инженерно-геологических процессов и условий площадки строительства, а также уметь прогнозировать их изменение в процессе эксплуатации завершенного объекта строительства. Одним из сдерживающих факторов широкого освоения подземного пространства г. Перми часто называют сложные инженерно-геологические условия. На территории города зафиксировано 14 из 20 опасных природных процессов, указанных в СП 115.13330.2011. Среди них можно выделить склоновые процессы, наличие старых горных выработок, подтопление территории и др. Однако многие города России имеют непростые инженерно-геологические условия, что при правильном выборе технологий производства работ не мешает успешному освоению подземного пространства. Так, на территории центральной части Санкт-Петербурга практически повсеместно распространены слабые грунты, представленные озерно-ледниковыми и морскими отложениями. Для данных грунтов характерны высокая природная влажность и пористость, анизотропность механических свойств, высокая сжимаемость, пучинистость и тиксотропность [8]. Данные грунтовые условия считаются сложными с точки зрения ведения нового строительства и реконструкции. При этом в Санкт-Петербурге повсеместно ведутся работы, связанные со строительством систем метрополитена, сетей канализационных коллекторов, автотранспортных и пешеходных тоннелей. Таким образом, возможность строительства подземных сооружений связана прежде всего с правильным выбором технологий производства работ.

Основными способами строительства подземных сооружений являются [11, 12]:

– строительство в открытых котлованах с откосами или с укреплением стен котлованов различными видами ограждений;

– «островной» метод разработки котлованов с устройством на первом этапе ограждающей конструкции в виде шпунтовой стены или «стены в грунте» и последующей экскавации грунта в две стадии: сначала разрабатывается центральная часть котлована, затем грунтовые бермы, удерживающие подпорную конструкцию с заменой их подкосами или распорками, упирающимися в перекрытие каркаса центральной части;

– полужакрытый метод устройства котлованов top-down (сверху вниз), когда экскавация грунта в котловане выполняется из-под перекрытий через технологические проемы;

– метод ограждения котлована с контрфорсами, позволяющими удерживать давление грунта без помощи дополнительного крепления;

– способ опускного колодца и кессонный метод;

– способ бестраншейной прокладки инженерных коммуникаций.

На сегодняшний день широко используются следующие методы ограждения котлованов: ограждение котлованов способом «стена в грунте», шпунтовые ограждения котлованов, ограждение из металлических элементов с забиркой, ограждение котлована при помощи свайной стенки из сплошного и разреженного ряда свай, применение струйной цементации (технологии jet-grouting). Несмотря на многолетнее применение данных технологий до настоящего момента в России не разработана нормативная база, четко регламентирующая их применение, что негативно сказывается на общих объемах подземного строительства. Для обоснования возможности применения того или иного вида ограждений котлована необходимо выполнение геотехнических расчетов. Ниже в качестве примера приведены результаты геотехнического моделирования устройства котлована и строительства заглубленного 2–3-этажного сооружения, возводимого в исторической части города Перми в непосредственной близости к существующей застройке [13, 14].

Проектируемое 2–3-этажное сооружение заглубленное, прямоугольной формы, в плане с габаритными размерами 93,90×11,15 м. Глубина заложения плитного фундамента составляет 10,55 м. Конструктивная схема – бескаркасная с продольными и поперечными несущими стенами. Наружные стены – железобетонные монолитные. Внутренние стены и перегородки – монолитные железобетонные и кирпичные. Наружная отделка – облицовочный кирпич. Кровля – плоская, эксплуатируемая. Проектируемое сооружение расположено от существующего 4-этажного кирпичного здания на расстоянии от 31 до 34,5 м. В зону влияния нового строительства попадают также существующие дороги и коммуникации. Характеристики грунтов площадки строительства приведены в табл. 1.

Численное моделирование было выполнено с использованием программного комплекса PLAXIS 2D v.9.0. Расчет производился в плоской постановке задачи с использованием модели упрочняющегося грунта (hardening soil model).

В качестве ограждения котлована вновь возводимо сооружения была принята монолитная «стена в грунте» толщиной 0,8 м с одним уровнем распорок и горизонтальным диском жесткости в уровне дна котлована.

Устройство ограждения котлована запроектировано в следующей последовательности:

1. До разработки котлована с дневной поверхности выполняется закрепление грунта по технологии jet-grouting мощностью 6 м с целью создания горизонтального диска жесткости и противофильтрационной завесы дна котлована. Размеры усиленного основания в плане превышают габаритные размеры «стены в грунте» котлована заглубленного сооружения

в среднем на 2 м. Глубина завесы принята с таким расчетом, чтобы обеспечить фильтрацию грунтовых вод. Данное решение необходимо для предотвращения поднятия грунтовых вод до ограждения котлована и понижения уровня грунтовых вод после ограждения котлована, что могло бы привести к изменению физико-механических характеристик грунтов в сторону ухудшения и образованию воронки оседания вокруг устраиваемого котлована.

Таблица 1

Физико-механические характеристик грунтов основания площадки строительства

Table 1

Physical and mechanical characteristics of the foundation soils of the construction site

Грунт	Удельный вес, кН/м ³			Угол внутреннего трения, град			Удельное сцепление, кПа			Модуль деформации E, МПа	Коэффициент (п. 2.41 СНиП 2.02.01–83)
	γ	γ_{II}	γ_I	φ_n	φ_{II}	φ_I	c_n	c_{II}	c_I		
ИГЭ-1 (суглинок легкий, пылеватый, мягко- и текуче- пластичный)	19,42	19,32	19,27	16	13	12	21	15	11	3,6	1
ИГЭ-2 (суглинок легкий, пылеватый, текучий)	19,01	18,92	18,87	15	13	12	18	15	14	2	1
ИГЭ-3 (суглинок тяжелый, песчанис- тый, тугопластич- ный и полутвердый)	19,46	19,31	19,21	18	13	11	29	20	13	4	1
ИГЭ-4 (супесь пес- чанистая, текучая и пластичная)	20,71	20,56	20,46	33	27	23	21	9	0	5	1
ИГЭ-5 (глина лег- кая, пылеватая, мягкопластичная, с примесью орга- нических веществ)	17,38	16,59	15,96	15	–	–	23	–	–	2	1,1
ИГЭ-6 (гравийный грунт с супесчаным заполнителем)	20,95	20,65	20,41	38	–	–	0	–	–	30	1,1
ИГЭ-7 (песчаник сильновыветрелый)	20,32	20,26	–	23	21	–	17	12	–	24	1

2. Устраивается монолитная «стена в грунте» с заглублением в усиленное по технологии jet-grouting основание на глубину 3 м.

3. Эскавация грунта из котлована осуществляется в два этапа с устройством временных горизонтальных распорок в одном уровне. В качестве распорок приняты стальные трубы по ГОСТ 10704–91 диаметром 530 мм, с толщиной стенки 9 мм.

4. Возводятся строительные конструкции заглубленного сооружения.

На рис. 2–4 приведены расчетные конечно-элементные модели рассматриваемого грунтового массива, подземной части заглубленного сооружения и фундаментов окружающей застройки на этапе передачи полезной нагрузки на строительные конструкции заглубленного сооружения.

Нагрузки на фундаменты принимались в соответствии с результатами обследования зданий окружающей застройки согласно СП 20.13330.2011, СП 22.13330.2011, проектной документации. Нагрузка от автотранспорта, проходящего по дороге, расположенной вдоль котлована, (ось I, ось И*) принималась согласно ГОСТ Р 52748–2007. К бровке котлована (ось б) приложена распределенная технологическая нагрузка, равная 10 кН/м^2 .

Результаты расчетов представлены на рис. 5–7 и сведены в табл. 2, 3. Дополнительные деформации зданий существующей застройки приведены в табл. 3, инженерных коммуникаций – в табл. 4.

Рис. 2. Сечение № 1 по оси А*1. Расчетная схема влияния возведения заглубленного сооружения на существующую застройку и коммуникации. Этап передачи полезной нагрузки на строительные конструкции заглубленного сооружения

Fig. 2. Section № 1 on the axis А*1. Calculation scheme of the impact of construction of subsurface facilities on the existing development and communication. The step of transmitting the payload on the building structures of buried building

Рис. 3. Сечение № 2 по оси 3*. Расчетная схема влияния возведения заглубленного сооружения на существующую застройку и коммуникации. Этап передачи полезной нагрузки на строительные конструкции заглубленного сооружения

Fig. 3. Section № 2 on the axis 3*. Calculation scheme of the impact of construction of subsurface facilities on the existing development and communication. The step of transmitting the payload on the building structures of buried building

Рис. 4. Сечение № 3 по оси Г*. Расчетная схема влияния возведения заглубленного сооружения на существующую застройку и коммуникации. Этап передачи полезной нагрузки на строительные конструкции заглубленного сооружения

Fig. 4. Section № 3 on the axis G*. Calculation scheme of the impact of construction of subsurface facilities on the existing development and communication. The step of transmitting the payload on the building structures of buried building

Рис. 5. Сечение № 1 по оси А*1. Изолинии вертикальных перемещений после завершения строительства и передачи полезной нагрузки на строительные конструкции заглубленного сооружения

Fig. 5. Section № 1 on the axis A*1. Contours of vertical displacements after completion of construction and transfer of the payload to the building structures of buried building

Рис. 6. Сечение № 2 по оси 3*. Изолинии вертикальных перемещений после завершения строительства и передачи полезной нагрузки на строительные конструкции заглубленного сооружения

Fig. 6. Section № 2 on the axis 3*. Contours of vertical displacements after completion of construction and transfer of the payload to the building structures of buried building

Рис. 7. Сечение № 3 по оси Г*. Изолинии вертикальных перемещений после завершения строительства и передачи полезной нагрузки на строительные конструкции заглубленного сооружения
Fig. 7. Сечение № 3 по оси G*. Contours of vertical displacements after completion of construction and transfer of the payload to the building structures of buried building

Таблица 2

Дополнительная осадка основания фундаментов окружающей застройки

Table 2

Additional settlement of foundations of surrounding buildings

Здание существующей застройки	Расчетное сечение	Максимальная расчетная осадка основания фундаментов здания, мм		Допустимая максимальная осадка основания фундаментов согласно приложению Л СП 22.13330.2011, мм
		После разработки котлована	После возведения заглубленного сооружения	
Существующее здание 1	1	3	3,5	10
	3	1,8	2	
Существующее здание 2 (в осях А-Д/5-8)	1	6	8,8	10
Существующее здание 2 (в осях А-Д/15-16)	3	5	6	
Существующее здание 3	2	2	3	10

Таблица 3

Дополнительная осадка основания инженерных коммуникаций

Table 3

Additional settlement of bases of engineering services

Расчетное сечение	Максимальная расчетная осадка основания инженерных коммуникаций*, мм	
	после разработки котлована	после возведения заглубленного сооружения
1	5	11
2	8	13
3	8	9,8

Примечание: * глубина расположения инженерных коммуникаций принята равной 2 м от уровня покрытия автомобильной дороги.

В приведенном примере предложенные проектные решения устройства ограждения котлована вновь возводимого заглубленного сооружения обеспечивают конструкционную безопасность зданий и сооружений существующей застройки. Полученные в результате расчетов по геотехническому моделированию деформации фундаментов существующих зданий не превышают допустимые значения согласно приложению Л СП 22.13330.2011. Подобные геотехнические расчеты являются частью геотехнического обоснования строительства и обязательны согласно п. 4.16 СП 22.13330 для следующих сооружений:

- уникальных, глубиной заложения подземной части более 5 м;
- в зоне влияния которых расположены сооружения окружающей застройки;
- размещаемых на территориях с возможным развитием опасных инженерно-геологических процессов.

Как было отмечено выше, на территории г. Перми из подземных сооружений в последние годы в основном возводятся подземные парковки. Такие сооружения, как правило, имеют один или два уровня, и их глубина составляет порядка 5–10 м. Чаще всего они устраиваются открытым методом в котлованах с вертикальными стенками. В качестве ограждений котлованов в настоящее время применяется шпунтовое ограждение, ограждение, выполненное методом «стена в грунте», методом струйной цементации или используется сочетание данных технологий. Одним из перспективных направлений в освоении подземного пространства г. Перми может стать строительство многоуровневых подземных парковок глубиной более 10 м.

Основными недостатками подземных сооружений, сдерживающими их широкое строительство, являются сложность и большая стоимость их устройства. Можно выделить следующие основные факторы удорожания подземного строительства [3]:

- выполнение дополнительных объемов земляных работ;
- усложнение несущих и ограждающих конструкций;
- усиление гидроизоляции;
- использование специального вертикального транспорта и лифтового хозяйства;
- устройство специальных вентиляционных систем;
- необходимость в переносе коммуникаций;
- установка насосных станций для перекачки сточных вод и др.

В связи с этим строительство подземных гаражей в 1,5–2 раза дороже наземных. Положительным аспектом является то, что подземные сооружения не подвержены существенному перепаду температуры. Температура воздуха на глубине 7–10 м ниже, чем на поверхности земли, остается практически постоянной и может составлять 8–13 °С [15]. Это позволяет уменьшить потребление энергии максимум на 80–90 % по сравнению с наземными сооружениями.

В целом экономическая эффективность подземного строительства характеризует срок окупаемости дополнительных капитальных вложений по сравнению с наземным строительством (T_{ok}):

$$T_{ok} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta K_i}{\sum_{i=1}^n \Delta E_i},$$

где ΔK_i – суммарные дополнительные капитальные вложения в подземное строительство по сравнению с наземным строительством, тыс. руб.; ΔE_i – суммарный годовой экономи-

ческий эффект от эксплуатации подземного пространства при размещении объектов от i до n , тыс. руб.

Таким образом, одной из приоритетных задач в развитии городской инфраструктуры и решении транспортного вопроса является освоение подземного пространства за счет увеличения количества подземных гаражей и стоянок.

В настоящее время в г. Перми в основном ведется строительство подземных сооружений глубиной до 5–10 м, преимущественно представляющих собой заглубленную часть здания. Одним из перспективных направлений в освоении подземного пространства города может стать строительство многоуровневых подземных парковок глубиной более 10 м, возводимых в том числе на не востребованных для других целей территориях (овраги, участки с большим уклоном, небольшие карьеры и т.п.).

Среди сдерживающих факторов, мешающих широкому освоению подземного пространства, можно назвать отсутствие нормативной базы, недостаточное финансирование, сложность производства работ в стесненных условиях существующей застройки.

Эффективность использования подземного пространства для строительства подземных сооружений должна быть выделена в каждом конкретном случае с учетом градостроительного, транспортного, социальных, технологических и других факторов.

Библиографический список

1. Поддубный В.В., Корнилков М.В. Формирование комплексных программ освоения подземного пространства крупнейших и крупных городов // Строительство и эксплуатация угольных шахт и городских подземных сооружений: материалы IV Российско-китайского симпозиума, г. Кемерово, 21–22 сентября 2006 г. – Кемерово: Изд-во Кузбас. гос. техн. ун-та, 2006. – С. 208–213.
2. Конюхов Д.С. Использование подземного пространства: учеб. пособие для вузов. – М.: Архитектура-С, 2004. – 296 с.
3. Дрогицкая О.Р. Экономика и планирование городского хозяйства: учеб. пособие. – 2-е изд., доп. – М.: Изд-во Гос. ун-та по землеустройству, 2000. – 59 с.
4. Пономарев А.Б. Реконструкция подземного пространства: учеб. пособие / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2005. – 236 с.
5. Carmody Y., Sterling R.L. Underground space design. A guide to subsurface utilization and design for people in underground spaces. – New York: VNR, 1993. – 328 p.
6. Bergman M.S. The development and utilization of subsurface space // Tunneling and Underground Space Technology. – 1986. – Vol. 1, № 2. – P. 115–144.
7. Материалы по обоснованию проекта генерального плана г. Перми. Т. 2 [Электронный ресурс]. – URL: http://permgenplan.ru/ftp/books/tom2_final.pdf (дата обращения: 5.03.2016).
8. Мангушев Р.А., Осокин А.И. Геотехника Санкт-Петербурга: монография. – М.: АСВ, 2010. – 264 с.
9. Ильичев В.А., Мангушев Р.А. Строительство подземной части здания Государственного академического Мариинского театра в Санкт-Петербурге // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2010. – № 4. – С. 2–7.
10. Савинов А.В. Освоение подземного пространства при реконструкции Саратовской областной филармонии им. А. Шнитке // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2014. – № 3. – С. 217–230.

11. Chang-Yu Ou. Deep excavation theory and practice. – London: Taylor&Francis, 2006. – 532 p.
12. Кашапова К.Р., Моисеева О.В., Калошина С.В. Технологии ограждения котлованов в условиях плотной городской застройки [Электронный ресурс] // Строительство и архитектура. Опыт и современные технологии. – 2014. – Вып. 3. – URL: <http://sbornikstf.pstu.ru/de/?n=&s=186> (дата обращения: 24.01.2016).
13. Геотехническое моделирование влияния глубокого котлована при реконструкции здания / А.Б. Пономарев, С.В. Калошина, А.В. Захаров, Д.Г. Золотозубов, М.А. Безгодов, Р.И. Шенкман // Жилищное строительство. – 2014. – № 9. – С. 38–42.
14. Results of geotechnical modelling of the influence of construction of the deep foundation ditch on the existing historical building / A.B. Ponomaryov, S.V. Kaloshina, A.V. Zakharov, M.A. Bezgodov, R.I. Shenkman, D.G. Zolotozubov // Japanese Geotechnical Society Special Publication: the 15th Asian Regional Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering: Geotechnical heritage. Part 2 (TC301/ATC19 Session). – 2015. – Vol. 2, № 78. – P. 2676–2679.
15. Захаров А.В., Пономарев А.Б. Анализ взаимодействия энергетических фундаментов в геологических и климатических условиях г. Перми // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2011. – № 4. – С. 24–33.

References

1. Poddubnyi V.V., Kornilkov M.V. Formirovanie kompleksnykh programm osvoeniia podzemnogo prostranstva krupneishikh i krupnykh gorodov [The formation of complex programs of development of underground space, the largest and major cities]. *Materialy IV Rossiiskokitaiskogo simpoziuma "Stroitel'stvo i ekspluatatsiia ugol'nykh shakht i gorodskikh podzemnykh sooruzhenii"*, Kemerovo, 21-22 sentiabria 2006 goda. Kemerovo, 2006, pp. 208-213.
2. Koniukhov D.S. Ispol'zovanie podzemnogo prostranstva [The use of underground space]. Moscow, 2004. 296 p.
3. Drogitskaia O.R. Ekonomika i planirovanie gorodskogo khoziaistva [Economics and urban planning]. Moscow, 2000. 59 p.
4. Ponomarev A.B. Rekonstruktsiia podzemnogo prostranstva [Reconstruction of the underground space]. Perm', 2005. 236 p.
5. Carmody Y., Sterling R.L. Underground space design. A guide to subsurface utilization and design for people in underground spaces. New York, 1993. 328 p.
6. Bergman M.S. The development and utilization of subsurface space. *Tunneling and Underground Space Technology*, 1986, vol. 1, no. 2, pp. 115-144.
7. Materialy po obosnovaniyu proekta general'nogo plana goroda Permi [To the substantiation of the draft master plan of Perm], vol. 2, available at: http://permgenplan.ru/ftp/books/tom2_final.pdf (accessed 5 March 2016).
8. Mangushev R.A., Osokin A.I. Geotekhnika Sankt-Peterburga [Geotechnical engineering of Saint Petersburg]. Moscow, 2010. 264 p.
9. Il'ichev V.A., Mangushev R.A. Stroitel'stvo podzemnoi chasti zdaniia Gosudarstvennogo akademicheskogo Mariinskogo teatra v Sankt-Peterburge [The construction of the underground part of the building of the State academic Mariinsky theatre in Saint Petersburg]. *Osnovaniia, fundamenty i mekhanika gruntov*, 2010, no. 4, pp. 2-7.

10. Savinov A.V. Osvoenie podzemnogo prostranstva pri rekonstruktsii Saratovskoi oblastnoi filarmonii imeni A. Shnitke [The development of underground space in the reconstruction of the Saratov regional philharmonic named after Schnittke]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2014, no. 3, pp. 217-230.
11. Chang-Yu Ou. Deep excavation theory and practice. London, 2006. 532 p.
12. Kashapova K.R., Moiseeva O.V., Kaloshina S.V. Tekhnologii ograzhdeniia kotlovanov v usloviakh plotnoi gorodskoi zastroiki [Technology fence pits in dense urban areas]. *Stroitel'stvo i arkhitektura. Opyt i sovremennye tekhnologii*, 2014, iss. 3, available at: <http://sbornikstf.pstu.ru/de/?n=&s=186> (accessed 24 January 2016).
13. Ponomarev A.B., Kaloshina S.V., Zakharov A.V., Zolotozubov D.G., Bezgodov M.A., Shenkman R.I. Geotekhnicheskoe modelirovanie vliianiia glubokogo kotlovana pri rekonstruktsii zdaniia [Geotechnical modeling of the influence of deep excavation during reconstruction of the building]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*, 2014, no. 9, pp. 38-42.
14. Ponomaryov A.B., Kaloshina S.V., Zakharov A.V., Bezgodov M.A., Shenkman R.I., Zolotozubov D.G. Results of geotechnical modelling of the influence of construction of the deep foundation ditch on the existing historical building. *Japanese Geotechnical Society Special Publication: the 15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering: Geotechnical heritage. Part 2 (TC301/ATC19 Session)*, 2015, vol. 2, no. 78, pp. 2676-2679.
15. Zaharov A.V., Ponomarev A.B. Analiz vzaimodeistviia energeticheskikh fundamentov v geologicheskikh i klimaticheskikh usloviyakh goroda Permi [The analysis of the interaction of energy foundations in geological and climatic conditions Perm]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaia ehkologiya. Urbanistika*, 2011, no. 4, pp. 24-33.