



**ВЕСТНИК ПНИПУ.
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
Т. 10, № 3, 2019
PNRPU BULLETIN.
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE**
<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>



DOI: 10.15593/2224-9826/2019.3.02
УДК 69.035.4

ПРОБЛЕМЫ НЕРАВНОМЕРНОГО ВСПЛЫТИЯ ПОДЗЕМНОГО ПАРКИНГА В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

А.В. Гурский, Г.В. Левинтов

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия
ООО «ПКТИ Фундамент-тест», Санкт-Петербург, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 10 апреля 2019
Принята: 27 июня 2019
Опубликована: 7 октября 2019

Ключевые слова:

расчет на всплытие, гидростатическое давление, опыт строительства, дренаж, мониторинг.

АННОТАЦИЯ

Строительство и эксплуатация подземных сооружений сопряжены с необходимостью учета гидрогеологических условий площадки, одним из важных вопросов при этом является расчет подземных сооружений на всплытие. В настоящее время существуют опробованные на практике методики поддержания баланса между удерживающими силами и величиной гидростатического давления. Но даже при наличии апробированных методик расчета периодически возникают случаи «всплывших» паркингов.

В статье рассмотрены исследования, направленные на определение причин всплытия подземного паркинга в Санкт-Петербурге. Проанализированы факты негативного влияния неравномерного всплытия на состояние несущих конструкций паркинга, гидроизоляционных материалов и основание паркинга. Обозначены проблемы, с которыми придется столкнуться производителям работ и проектировщикам при неправильном учете гидростатического давления, а также при нарушении проектов производства работ.

© ПНИПУ

© **Гурский Александр Витальевич** – кандидат технических наук, доцент, avgurskiy@mail.ru.
Левинтов Григорий Вульффович – генеральный директор, pkti-test@yandex.ru.

Aleksandr V. Gurskii – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, avgurskiy@mail.ru.
Grigorii V. Levintov – Director, pkti-test@yandex.ru.

PROBLEMS OF IRREGULAR UNCONTROLLED EMERSION OF THE UNDERGROUND PARKING IN THE SAINT PETERSBURG

A.V. Gurskii, G.V. Levintov

Saint Petersburg State Architectural and Construction University, Saint Petersburg, Russian Federation
LLC "PKTI Fundament-test", Saint Petersburg, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 10 April 2019
Accepted: 27 June 2019
Published: 7 October 2019

Keywords:

ascent calculation; hydrostatic pressure; construction experience; drainage; monitoring.

ABSTRACT

The construction and exploitation of the underground parking is accompanied by need of consideration of hydrogeological conditions in the construction site.

Currently, there are tried-and-tested methods of maintaining a balance between the holding forces and the value of the hydrostatic pressure. But even in the presence of proven methods of calculation periodically there are cases of "pop-up" parking.

The article is devoted to the researches directed to definition of the reasons, which caused the emersion of an underground parking in the city of St. Petersburg. The facts of negative impact of irregular emersion affect on the state of the basic constructions of a parking, waterproofing materials and the parking basis. In the article are mentioned problems of wrong consideration of hydrostatic pressure and violation of project of work production.

© PNRPU

Введение

Развитие уплотнительной застройки мегаполисов приводит ко все большему освоению подземного пространства [1–3]. В ходе проектирования и строительства новых сооружений с развитой подземной частью в городах с высоким уровнем подземных вод приходится, помимо стандартных задач, дополнительно решать вопросы влияния гидрогеологического режима площадки строительства. Одним из таких вопросов является расчет подземных сооружений на всплытие. Особенно актуален данный вопрос при возведении пристроенных или отдельно стоящих подземных сооружений, вес которых может быть существенно меньше веса вытесненной воды.

В настоящее время существуют опробованные на практике методики поддержания баланса между удерживающими силами (вес паркинга, силы трения и пр.) и величиной гидростатического давления [4–7]. К самым популярным методам относятся: устройство дренажной системы (для снятия или снижения до приемлемой величины действующего гидростатического давления), приложение дополнительной нагрузки на основание и увеличение веса строения, устройство анкерных свай [8, 9]. Вместе с тем даже при наличии апробированных методик расчета периодически возникают случаи «всплывших» паркингов. В большинстве случаев всплытие происходит из-за ошибок при производстве строительно-монтажных работ.

Актуальность настоящей темы подтверждается практикой подземного строительства в Санкт-Петербурге [7, 10]. Авторам данной статьи известно три случая всплытия подземных паркингов, произошедших только в 2017 г. на различных строительных площадках города. При этом необходимо отметить, что при каждом случае всплывали сразу несколько подземных паркингов на каждой из рассматриваемых площадок строительства.

Причиной всплытия являлось действующее на паркинги гидростатическое давление, величина которого превышала расчетные характеристики из-за нарушений последовательности производства работ. Было принято решение отказаться от устройства анкерных свай и ограничиться устройством контурного дренажа, который должен был снижать гидроста-

тическое давление до приемлемых значений. Однако в силу различных обстоятельств дренажная система не смогла выполнить возложенную на нее функцию, что и привело в конечном итоге к всплытиям подземных сооружений.

Большинство из них всплыли относительно равномерно и на небольшую величину (до 20 мм), но были и исключения. Рассматриваемый случай произошел при строительстве одноэтажного подземного паркинга в Красногвардейском районе Санкт-Петербурга. Проектом было предусмотрено строительство 25-этажного жилого дома на свайном фундаменте с пристроенным подземным паркингом на естественном основании (рис. 1).

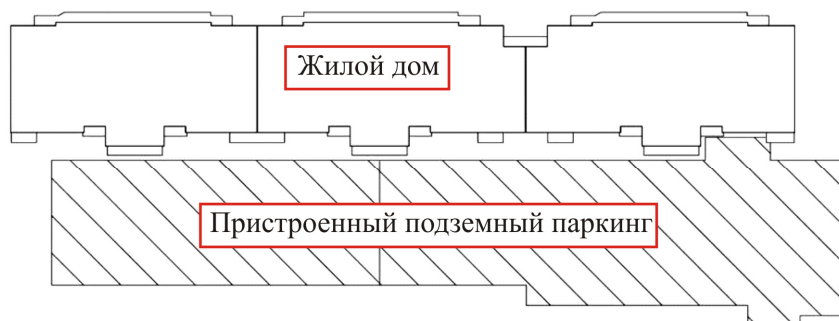


Рис. 1. Схема участка строительства
Fig. 1. The schedule of construction site

Плита ростверка жилого здания располагается на 2,5 м выше фундаментной плиты пристроенного паркинга. Чтобы избежать суффозионного выноса частиц грунта из-под плиты ростверка, дренаж расположили на 0,5 м выше подошвы плиты ростверка жилого дома и на 2,5 м выше фундаментной плиты паркинга. Запроектированной дренажной системы совместно с благоустройством, выполненным в соответствии с проектом, должно было хватить для снижения величины гидростатического давления и предотвращения всплытия паркинга.

Сам паркинг в плане прямоугольной формы размером 114×20 м, разделен деформационными швами на два фрагмента размерами: 50×17 м и 64×20 м (см. рис. 1, 2). Несущие конструкции паркинга выполнены из монолитного железобетона: по периметру возведены монолитные стены толщиной 200 мм, в центре пролетов располагаются колонны сечением 400×600 мм. Фундамент паркинга – монолитная железобетонная плита толщиной 500 мм. Проектный класс бетона несущих конструкций – В30.

Инженерно-геологические условия площадки строительства

Инженерно-геологические условия площадки строительства характерны для Санкт-Петербурга. В верхней зоне геологического разреза под трехметровой толщиной насыпных грунтов залегают озерно-морские отложения, представленные пылеватыми водонасыщенными песками – ИГЭ-2 и прослоями слабозаторфованных грунтов – ИГЭ-3. В толще грунтов ИГЭ-2 и ИГЭ-3 располагался подземный одноэтажный паркинг (см. рис. 2). В интервале глубин от 7 до 13 м залегают озерно-морские глинистые грунты текучей консистенции – ИГЭ-4, 5, подстилаемые озерно-ледниковыми суглинками текучей и текучепластичной консистенции – ИГЭ-6, 7. На глубине 19 м залегают плотные пылеватые водонасыщенные пески – ИГЭ-8. Нормативные характеристики грунтов сведены в таблицу.

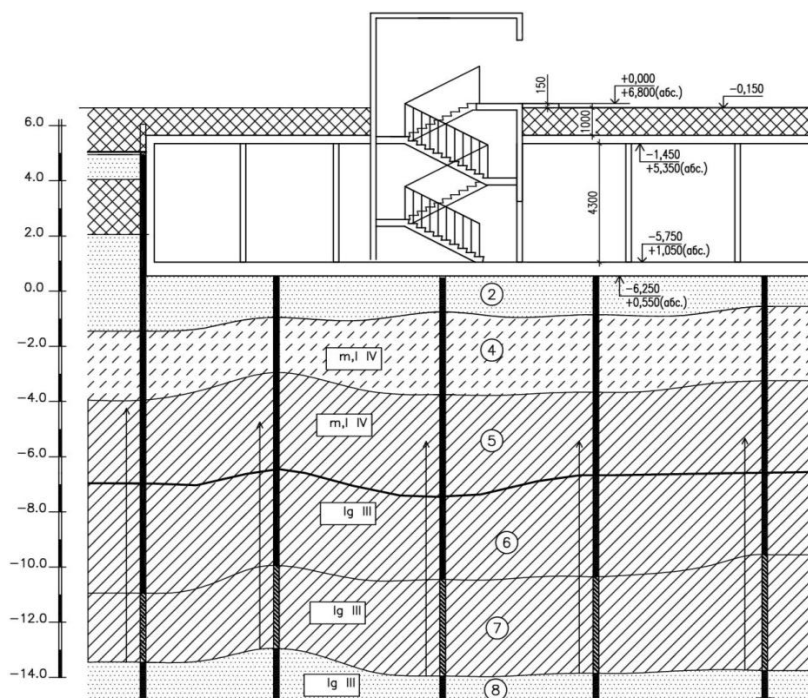


Рис. 2. Расположение паркинга относительно инженерно-геологического разреза
 Fig. 2. The location of the parking relative to the engineering-geological section

Нормативные характеристики грунтов
 Established normative characteristics of soils

Геологический индекс	Наименование грунта	Номер ИГЭ	w	ρ , кН/м ³	e	I_L	φ , град	c , кПа	E , МПа
1	2	3	5	6	7	8	9	10	11
t IV	Насыпные грунты	1							
M, l IV	Пески пылеватые плотные	2	насыщ. водой	20,4	0,55	–	33	5	23
m, l IV	Слабозаторфованные грунты	3	0,74	12,5	3,36	1,29	–	–	–
m, l IV	Супеси пылеватые текучие	4	0,27	20,0	0,71	1,08	20	8	6
m, l IV	Суглинки легкие пылеватые текучие	5	0,29	19,3	0,81	1,26	14	7	5
Ig III	Суглинки тяжелые пылеватые текучие ленточные	6	0,42	18,1	1,14	1,29	8	5	4
Ig III	Суглинки легкие пылеватые текучепластичные	7	0,27	19,8	0,75	0,96	14	15	7
Ig III	Пески пылеватые плотные	8	насыщ. водой	20,6	0,55	–	34	6	28

Уровень подземных вод на площадке строительства традиционно высокий для условий Санкт-Петербурга, в процессе изысканий он был зафиксирован на глубине 0,5–2,0 м от дневной поверхности. При этом дополнительно было отмечено, что максимальная многолетняя амплитуда колебаний уровня подземных вод может составлять 2,2 м, а в неблагоприятные периоды года (затяжные дожди, снеготаяние) возможно поднятие уровня грунтовых вод до дневной поверхности. Сами грунтовые воды безнапорные, питание осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков.

Фундаментная плита подземного паркинга располагается в толще плотных пылеватых песков (на рис. 2 – ИГЭ-2). С целью снижения возможного влияния гидростатического давления на конструкции подземного паркинга по его периметру на глубине 3 м от дневной поверхности был запроектирован контурный дренаж.

Дополнительно против всплытия паркинга должен был работать вес благоустройства, располагаемого по плите покрытия и обеспечивающего дополнительную нагрузку на основание в размере 2 т/м². По расчету, выполненному в соответствии с СП 22.13330.2016, запроектированные мероприятия должны были препятствовать всплытию, но ошибки при производстве работ привели к незапланированному развитию событий в процессе строительства.

Последовательность производства работ, результаты геодезических измерений после всплытия

Летом 2016 г. в период вскрытия котлована и выполнения монолитных работ грунт дна котлована (пески пылеватые – ИГЭ-2) находился в сухом состоянии, что позволило без трудностей с водоотведением выполнить требуемые монолитные работы, а также обратную засыпку в пазухи котлована. Временное понижение уровня грунтовых вод, вероятно, было вызвано отсутствием дождей в указанный период и близким расположением реки, в которую осуществлялась разгрузка.

По завершении монолитных работ и выполнения обратной засыпки в пазухи котлована паркинг находился в проектном положении. Контурный дренаж также был выполнен, но отсутствовало его подключение к общей дренажной системе на площадке строительства. Таким образом, выполненная дренажная система, которая должна была снизить уровень грунтовых вод и гидростатическое давление до приемлемого значения в зоне расположения паркинга, фактически не работала. Благоустройство, которое должно было обеспечить дополнительный пригруз, производители работ выполнить не успели.

С наступлением весны и сезонным повышением уровня грунтовых вод паркинг начал всплывать. Всплытие происходило неравномерно, и по окончании весеннего периода максимальная величина всплытия составила 50,6 см. Результаты геометрического нивелирования фундаментной плиты, выполненного в конце весеннего периода, представлены на рис. 3.

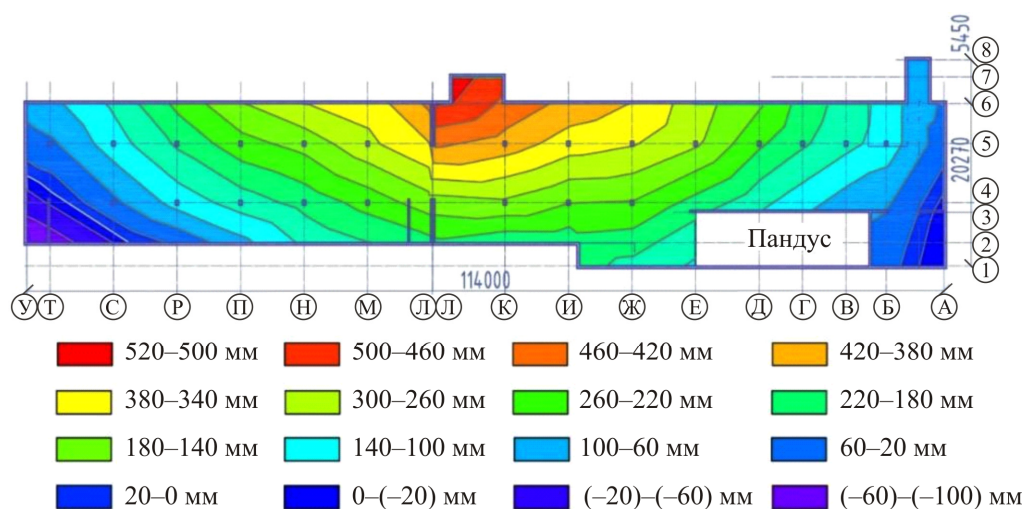


Рис. 3. План паркинга с результатами геометрического нивелирования фундаментной плиты
Fig. 3. Parking plan with the results of geometric leveling of the foundation plate

Повреждения несущих конструкций паркинга, нарушение гидроизоляции стен

Неравномерность всплытия подземного паркинга негативно сказалась на его несущих конструкциях. Было отмечено большое количество сквозных трещин в стенах, плите покрытия, фундаментной плите и некоторых колоннах. Через сквозные трещины в стенах сочилась вода, что свидетельствовало о нарушении гидроизоляции наружных стен (рис. 4).

Нарушение наружной гидроизоляции паркинга было вызвано использованием защитной профилированной мембраны PLANTER. Профилированная мембрана передает боковое давление грунта на гидроизоляцию и стены паркинга через отформованные выступы (СТО 72746455-4.2.2–2014). Профилированная мембрана устраивалась для защиты гидроизоляции в процессе обратной засыпки грунта в пазухи котлована. Исследования всплывшего паркинга показали, что передача нагрузки от мембраны через отформованные выступы привела к увеличению давления на гидроизоляцию в зоне выступов. В процессе всплытия (осадки) паркинга отформованные выступы защитной мембраны нарушили целостность обмазочной гидроизоляции (рис. 5), что и привело к появлению множества протечек в наружных стенах паркинга.



Рис. 4. Сквозные трещины в наружной стене
Fig. 4. Transparent cracks in the external wall



Рис. 5. Фото вырезанного фрагмента гидроизоляции всплывшего паркинга
Fig. 5. Picture of the fragment of waterproofing hydro isolation of parking

Последствия нагружения всплывшего паркинга

Исполнителями работ было принято решение дополнительно нагрузить паркинг, чтобы спровоцировать его осадку и возвращение в проектное положение. Нагружение было решено производить отсыпкой 2 м грунта на поверхность плиты покрытия паркинга.

Предложенная методика дополнительного нагружения всплывшего паркинга на рассматриваемой площадке показала отрицательный результат. В процессе работ на плите покрытия создавались отвалы грунта, которые затем предполагалось разравнивать по всей площади плиты покрытия. Следствием пробного нагружения явилось полное разрушение четырех колонн в зоне отвала, а также сверхнормативный прогиб плиты покрытия в указанной зоне (рис. 6).



Рис. 6. Прогиб плиты покрытия по оси «К» после разрушения колонн $f = 106,1$ мм
 Fig. 6. The deflection of the coating plate along the “K” axis after the destruction of the columns is $f = 106.1$ mm

Причиной разрушения колонн, кроме приложения нагрузки, существенно превышающей проектную, послужило отсутствие надежного основания под фундаментной плитой. После всплытия контакт между фундаментной плитой и грунтом основания был нарушен, а сам паркинг держался за счет действующего гидростатического давления. Таким образом, основание паркинга представляло собой «водяной матрас», который никак не препятствовал изгибу паркинга от приложенной нагрузки.

В фундаментной плите после разрушения колонн, наоборот, был зафиксирован выгиб (рис. 7).



Рис. 7. Деформации фундаментной плиты по оси «К» после разрушения колонн
 Fig. 7. Deformations of the base plate along the “K” axis after the destruction of the columns

В процессе ремонтных работ пришлось демонтировать и заново возводить колонны и плиту покрытия в зоне отвала грунта. Колонны соседних участков получили меньшие повреждения, что позволило ограничиться их усилением.

Результат снижения гидростатического давления

Поскольку дополнительное нагружение паркинга дало отрицательный результат, в качестве альтернативы было предложено снижение величины гидростатического давления под фундаментной плитой. Сквозь все тело фундаментной плиты были пробурены вертикальные отверстия, откачка поступающей воды из паркинга не производилась. Наблюдения за динамикой осадки осуществлялись по деформационным маркам, установленным на колоннах и стенах паркинга.

С самого начала работ по понижению гидростатического давления отмечалось нарастание прогиба в центральной части фундаментной плиты, величина которого в завершающей стадии работ составила 20 см. При этом зафиксированная осадка плиты паркинга под наружными стенами не превысила 3 см. Для установления причин, удерживающих паркинг и не допускающих его возвращение в проектное положение, в зоне максимального всплытия паркинга был выполнен шурф с одновременным понижением уровня грунтовых вод на 0,5 м ниже подошвы фундаментной плиты. Фото пространства под фундаментной плитой всплывшего паркинга представлено на рис. 8.



Рис. 8. Продольное фото пространства под подошвой фундаментной плиты всплывшего паркинга

Fig. 8. Photo of the space under the foundation plate of the parking

По результатам осмотра основания паркинга было установлено следующее:

1. Образование грунтовых берм по периметру всплывшего паркинга, которые препятствовали возвращению паркинга в проектное положение. Грунтовые бермы образовались из грунтов обратной засыпки в пазухах котлована в процессе всплытия паркинга. Состав грунтовых берм не изучался, попытки размыва берм струей воды были безуспешны.
2. Зафиксирован отрыв бетонной подготовки от фундаментной плиты паркинга.
3. Под подошвой фундаментной плиты отсутствовал грунт основания. Расстояния между подошвой фундаментной плиты и бетонной подготовкой соответствовали величине всплытия.

Стабилизации деформаций удалось добиться только после понижения уровня грунтовых вод и нагнетания цементно-песчаного раствора под фундаментную плиту паркинга. Изменение пространственного положения паркинга, а также образовавшиеся из-за неравномерного всплытия дефекты привели к необходимости выполнения большого объема ремонтных работ.

Заключение

Представленные результаты исследований наглядно показывают возможные проблемы, которые могут возникнуть в результате всплытия подземных сооружений, а также необходимость внимательного отношения к гидростатическому давлению на всех этапах строительства (обеспечение работы дренажной системы, устройство анкерных систем и др.).

Отсутствие грунта под подошвой всплывшего паркинга, а также соответствие расстояния между подошвой фундаментной плиты и бетонной подготовкой величине всплытия позволяют констатировать, что всплытие вызвано гидростатическим давлением.

Необходимо с осторожностью применять метод понижения гидростатического давления для возвращения всплывших паркингов в проектное положение. В отдельных случаях возможно образование грунтовых берм под подошвой фундаментов по периметру паркингов, что при снижении гидростатического давления может привести к появлению дополнительных деформаций и дефектов в несущих конструкциях.

Библиографический список

1. Возведение сооружений методом «стена в грунте» / А.Г. Абызов, А.А. Зазулинский, Н.В. Писанко, Р.Н. Ткаченко, А.Л. Филахтов, Г.К. Янкулин. – Киев: Будівельник, 1976. – 204 с.
2. Гайдо А.Н., Верстов В.В. К вопросу определения технологических параметров производства свайных работ в стесненных условиях // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – № 3/ (62). – С. 84–94.
3. Проектирование и строительство подземной части нового здания (второй сцены) государственного академического Мариинского театра: сб. науч.-техн. статей / под общ. ред. В.А. Ильичева, А.П. Ледяева, Р.А. Мангушева; СПбГАСУ. – СПб., 2011. – 192 с.
4. Свайные фундаменты и заглубленные сооружения при реконструкции действующих предприятий / Е.М. Перлей, В.Ф. Раюк, В.В. Беленькая, А.Н. Алмазов. – Л.: Стройиздат, 1989. – 176 с.
5. Устройство и проектирование котлованов. Справочник геотехника / Р.А. Мангушев, В.А. Ильичев, Н.С. Никифорова, Д.А. Сапин; под общ. ред. В.А. Ильичева и Р.А. Мангушева. – М.: Изд-во АСВ, 2014. – С. 509–587.
6. Мангушев Р.А., Осокин А.И. Геотехника Санкт-Петербурга. – М.: Изд-во АСВ, 2010. – 264 с.
7. Основания и фундаменты резервуаров / Ю.К. Иванов, П.А. Коновалов, Р.А. Мангушев, С.Н. Сотников. – М.: Стройиздат, 1989.
8. Симагин В.Г. Основания и фундаменты. Проектирование и устройство. – М.: Изд-во АСВ, 2007. – 496 с.
9. Горбунов-Посадов М.И., Шехтер О.Я., Кофман В.А. Давление грунта на жесткий заглубленный фундамент и свободные деформации котлована // Тр. НИИ оснований и фундаментов. – 1954. – № 24.
10. Методы подготовки и устройства искусственных оснований: учеб. пособие / Р.А. Мангушев, Р.А. Усманов, В.В. Конюшков, С.В. Ланько. – М.: СПб.: Изд-во АСВ, 2012. – 272 с.

References

1. Abyzov A.G., Zazulinsky A.A., Pisanko N.V., Tkachenko R.N., Filakhtov A.L., Yankulin G.K. Vozvedenie sooruzhenii metodom «stena v grunte» [Construction of structures by the wall in the ground]. Kiev, Budivelnik, 1976, 204 p.
2. Gaydo A.N., Verstov V.V. K voprosu opredeleniia tekhnologicheskikh parametrov proizvodstva svainykh rabot v stesnennykh usloviiah [Determination of parameters of technology of pile foundations in the urban environment]. *Vestnik grazhdanskih inzhenerov*, 2017, pp. 84-94.

3. *Proyektirovaniye i stroitel'stvo podzemnoy chasti novogo zdaniya (vtoroy stseny) gosudarstvennogo akademicheskogo Mariinskogo teatra* [Design and construction of the underground part of the new building (the second stage) of the Mariinsky State Academic Theater]. *Sat. scientific and technical articles*. Eds. V.A. Ilyichev, A.P. Ledyayev, R.A. Mangushev. Saint Petersburg, SPSUKU, 2011, 192 p.

4. Perley E.M., Rayuk V.F., Belenkaya V.V., Almazov A.N. *Svaynyye fundamenty i zaglublennyye sooruzheniya pri rekonstruktsii deystvuyushchikh predpriyatiy* [Pile foundations and buried constructions during the reconstruction of existing enterprises]. Leningrad, Sroyizdat, 1989, 176 p.

5. Mangushev R.A., Illichev V.A., Nikiforova N.S., Sapin D.A. *Ustroystvo i proyektirovaniye kotlovanov. Spravochnik geotekhnika* [Device and design of the pits. Handbook of geotechnics]. Eds. V.A. Illichev, R.A. Mangushev. Moscow, DIA, 2014, pp. 509-587.

6. Mangushev R.A., Osokin A.I. *Geotekhnika Sankt-Peterburga* [Geotechnical St. Petersburg]. Moscow, DIA, 2010, 264 p.

7. Ivanov Yu.K., Konovalov P.A., Mangushev R.A., Sotnikov S.N. *Osnovaniya i fundamenty rezervuarov* [Grounds and foundations of tanks]. Moscow, Stroizdat, 1989.

8. Simagin V.G. *Osnovaniya i fundamenty. Proyektirovaniye i ustroystvo* [Bases and foundations. Design and device]. Moscow, DIA, 2007, 496 p.

9. Gorbunov-Posadov M.I., Shekhter O.Ia., Kofman V.A. *Davlenie grunta na zhestkii zaglublenniy fundament i svobodnye deformatsii kotlovana* [Ground pressure on the hard buried foundation and free deformations of the excavation]. *Trudy NII osnovanii i fundamentov*, 1954, no. 24.

10. Mangushev R.A., Usmanov R.A., Konyushkov V.V., Lanko S.V. *Metody podgotovki i ustroystva iskusstvennykh osnovaniy* [Methods for the preparation and design of artificial bases]. Moscow, Saint Petersburg, ASV, 2012, 272 p.