

УДК 624.154

## Проблемы аварийности при всплытии паркинга и методы стабилизации путем применения анкерной (многовинтовой) сваи на примере одного из объектов в Санкт-Петербурге

Макаров А. Н., Кравченко П. А.

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

**Для цитирования:** Макаров А. Н., Кравченко П. А. Проблемы аварийности при всплытии паркинга и методы стабилизации путем применения анкерной (многовинтовой) сваи на примере одного из объектов в Санкт-Петербурге // Известия Петербургского университета путей сообщения. СПб.: ПГУПС, 2026. Т. 23, вып. 2. С. 443–455. DOI: 10.20295/1815-588X-2026-2-443-455

### Аннотация

Результаты многочисленных обследований, проведенных для зданий и сооружений, имеющих подземные этажи большого объема, указывают на возможность возникновения эффекта всплытия. Нередко оценкой всплытия подземных сооружений пренебрегают или подходят к этому вопросу формально. **Цель исследования:** анализ и реализация инженерных решений, направленных на предотвращение всплытия подземных паркингов в условиях повышенного уровня грунтовых вод. Исследование выполнено для одного из объектов, возведенного в южной части города Санкт-Петербурга, для которого в процессе эксплуатации потребовалась реализация мероприятий. В работе приведено краткое описание инженерно-геологических условий площадки строительства, обозначены основные проблемы рассматриваемого сооружения (дефекты, повреждения, деформации), возникшие в процессе эксплуатации. **Методы:** сформирована основная гипотеза наиболее вероятных причин возникновения дефектов, повреждений и деформаций объекта, выполнено моделирование, включающее в себя анализ гидростатического давления, а также методы стабилизации подобных сооружений. **Результаты:** проведена оценка надежности существующих инженерных решений и выявлены основные ошибки, допускаемые при строительстве. Анализируются результаты геотехнического моделирования и испытаний, выполненные с использованием комплекса PLAXIS 3D и статических испытаний свай, что позволяет сделать выводы о причинах и путях предотвращения всплытия паркингов. Реализованы решения по усилению с применением анкерных (многовинтовых) свай. **Практическая значимость:** разработан и реализован подход к устранению аварийности при всплытии паркинга, заключающийся в стабилизации путем применения анкерных (многовинтовых) свай, который может быть реализован и на других объектах строительства.

**Ключевые слова:** анкерная свая, испытания, несущая способность по грунту, проектирование анкерных конструкций, расчет несущей способности, винтовая свая

### Введение

Сложившиеся в последнее время тенденции к более эффективному использованию территорий городской застройки вместе с растущими требованиями потребителей к качеству этой застройки вынуждают строителей в числе прочих решений активнее использовать подземное

пространство, возводя при строительстве зданий подземные этажи. Такие решения несут в себе ряд сопутствующих сложностей и проблем, которые требуют ответственного подхода, но нерешаемыми не являются. К сложностям, связанным с устройством подземных этажей в условиях плотной городской застройки, можно

отнести возникновение дополнительных деформаций окружающей застройки при откопке котлованов [1, 6], различные климатические воздействия, в том числе промораживание вскрытых котлованов и грунтов за их ограждениями [4], и многое другое. Нередко ошибки при проектировании приводят к последствиям, исправление которых является технически сложным и дорогостоящим мероприятием [7, 10].

Одна из важных задач освоения подземного пространства — обеспечение устойчивости подземных сооружений [2, 9]. В последние годы проблема всплытия таких конструкций стала особенно актуальной вследствие повышения уровня грунтовых вод из-за изменений природных условий и деятельности человека. Это требует более эффективных решений для стабилизации подобного рода сооружений, в том числе с учетом изменений гидрологических условий площадки.

На сегодняшний день в практике строительства к наиболее распространенным подходам, позволяющим предотвратить всплытие сооружений при избыточном гидростатическом давлении вытесненной воды, можно отнести понижение уровня грунтовых вод (к примеру, путем устройства дренажных систем), создание дополнительной нагрузки на конструкции (формирование пригруза) или устройство анкерных свай [5, 8]. Но практика обследования аварийных зданий и сооружений показывает, что имеющиеся апробированные расчетные методики не всегда помогают предотвратить всплытие сооружений. Чаще всего это связано со сложностью прогнозирования нарушений и отклонений от проектных решений, возникающих на этапе возведения или эксплуатации зданий.

Актуальность настоящей темы подтверждается практикой подземного строительства в Санкт-Петербурге. Авторам данной статьи

известно о пяти случаях всплытия подземных паркингов, произошедших только в 2023–2024 годах на различных строительных площадках города [3].

Рассматриваемый в настоящей статье случай произошел после завершения строительных работ подземного паркинга и возведения всех окружающих корпусов 5-этажных зданий на юге Санкт-Петербурга.

Причиной всплытия являлось действующее на паркинг гидростатическое давление, величина которого превышала давление, возникающее под подошвой плитного фундамента паркинга. Поступление воды под подошву плиты происходило через грунты обратной засыпки в пазухах бывшего котлована.

### **Инженерно-геологические условия участка**

На рассмотренном объекте был выполнен комплекс инженерно-геологических изысканий, выделены инженерно-геологические элементы и определены основные характеристики грунтов (табл. 1). При прохождении геологических скважин на глубину до 28,0 м вскрыты безнапорные подземные воды, приуроченные к комплексу четвертичных отложений. Архивные данные показали, что на рассматриваемом участке фиксировалось сезонное (ежегодное) подтопление, вызванное колебанием уровня грунтовых вод (амплитуда колебаний составляла до 2,2 м). Присутствие подземных вод на рассматриваемой площадке связано с наличием гнезд и линз пылеватых песков, зафиксированных в ледниковых (g III) суглинках и супесях.

На момент проведения изысканий грунтовые воды были вскрыты на глубине от 0,1 до 1,4 м, что соответствует абсолютным отметкам БСВ 53,80–58,90 м. Такие уровни близки к максимальным для данного участка. В периоды дождей и снеготаяния при этом уровне

грунтовых вод происходит переувлажнение почвенно-растительного слоя, что, в свою очередь, приводит к дополнительной инфильтрации вод в грунтовый массив с формированием открытого зеркала на обширных участках.

Нормативная глубина сезонного промерзания для насыпных грунтов (ИГЭ-1) составляет 1,45 м; суглинков полутвердых, ожелезненных (ИГЭ-2),

суглинков полутвердых (ИГЭ-3) — 0,98 м, для супесей твердых (ИГЭ-3б) составляет 1,20 м.

Инженерно-геологические условия площадки проектируемого строительства по совокупности факторов относятся к II категории сложности инженерно-геологических условий.

Напластование грунтов по одной из скважин приведено на рис. 1.

ТАБЛИЦА 1. Физико-механические характеристики грунтов

	Наименование грунтов	Плотн. грунта, г/см <sup>3</sup> ρII / ρI	Коэф. порист. (e)	Естест. влажн., д.е. We	Число пластич. (Ip)	Показат. текуч. (IL Сб)	Прочностные характеристики		Модуль деф., МПа кгс/см <sup>2</sup> E
							Угол вн. трения, гр φII / φI	Сцепл., МПа СII / CI	
1	Насыпные грунты слежавшиеся (tIV)								
2	Суглинки полутвердые, ожелезненные (gIII)	2,09/2,07	0,524	0,192	0,124	0,13 -0,03	23/20	0,038/ 0,025	9 90
3	Суглинки полутвердые (gIII)	2,09/2,09	0,560	0,198	0,139	0,03 -0,16	22/19	0,044/ 0,029	12 120
3б	Супеси твердые (gIII)	2,20/2,19	0,378	0,125	0,07	-0,33 -0,26	27/23	0,055/ 0,037	19 190
4	Глины твердые, дислоцированные (Cl disl)	2,07/2,07	0,620	0,215	0,190	-0,17 < -0,27	14/12	0,069/ 0,046	15 150
5	Глины твердые (Cl)	2,10/2,10	0,577	0,198	0,181	-0,29 < -0,27	16/11,4	0,076/ 0,051	25 250

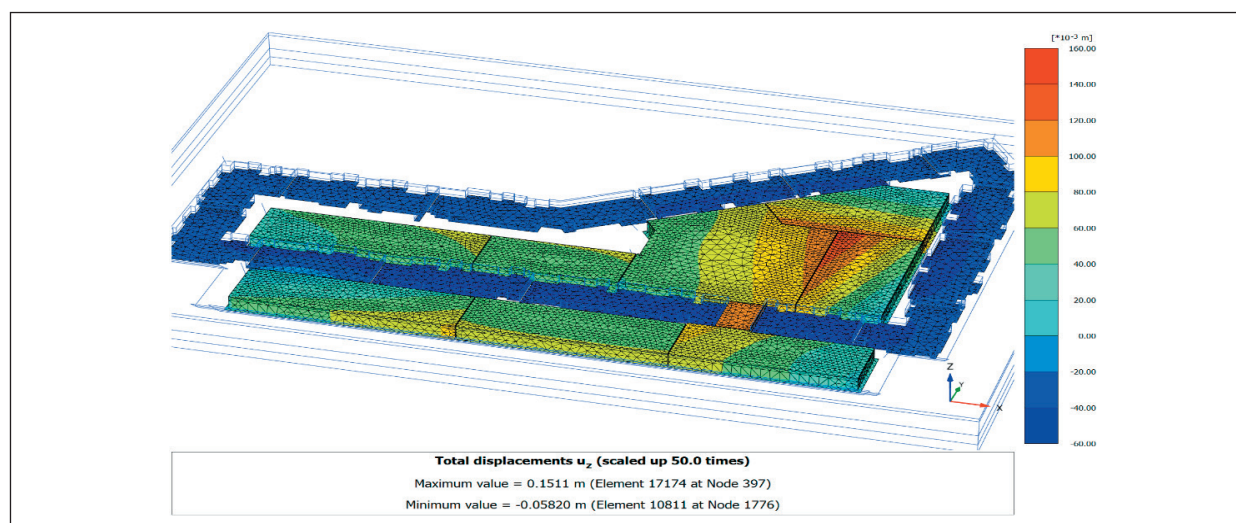


Рис. 1. Изополя вертикальных деформаций. Расчетный подъем (всплытие) паркинга — 15,1 см; осадка окружающих зданий — 5,8 см

### Результаты визуального и инструментального обследования

Для формирования общего представления о проблемах, возникающих на объекте, было проведено техническое обследование. Большинство из отмеченных в конструкциях сооружения повреждений представлено трещинами. Часть трещин в наружных стенах, фундаментной плите и покрытии сопровождается протечками (рис. 2).

По результатам геодезической трехмерной съемки установлено, что для каждого из рассматриваемых блоков имеет место характерный подъем уровней поверхностей полов и нижней плоскости плиты покрытия, направленный от периферии к месту их взаимного примыкания, от 175 до 240 мм.

### Результаты моделирования в PLAXIS 3D

В данном разделе выполнено расчетное моделирование геотехнической ситуации в программном комплексе PLAXIS 3D. По результатам расчетов получены перемещения паркинга с учетом текущих грунтовых условий и гидрогеологических условий.

Для моделирования грунтов основания была использована модель упрочняющегося грунта (Hardening Soil Model, HSM), которая дает наиболее достоверные результаты, поскольку учитывает ветвь разгрузки (разгрузочный модуль деформации), а также упруго-пластические деформации грунта. Грунты достигают предельного состояния согласно выполнению условия Мора — Кулона (рис. 3).

В результате математического моделирования были определены деформации здания (деформации окружающей застройки) и самого паркинга. По результатам математического моделирования выявлена зона максимального подъема фундаментной плиты паркинга, вертикальная деформация в которой достигает, по расчетам, 15,1 см.

Также при моделировании определено, что при всплытии паркинга здания окружающей застройки получают дополнительную осадку, ее величина, по расчету, составила до 5,8 см. Графическая интерпретация деформаций здания паркинга в результате всплытия и дополнительных осадок окружающей застройки представлены ниже в виде изополей перемещений (рис. 4).



Рис. 2. Фото деформационного шва (слева) и трещины в капители (справа). Фото: А.М. Макарова

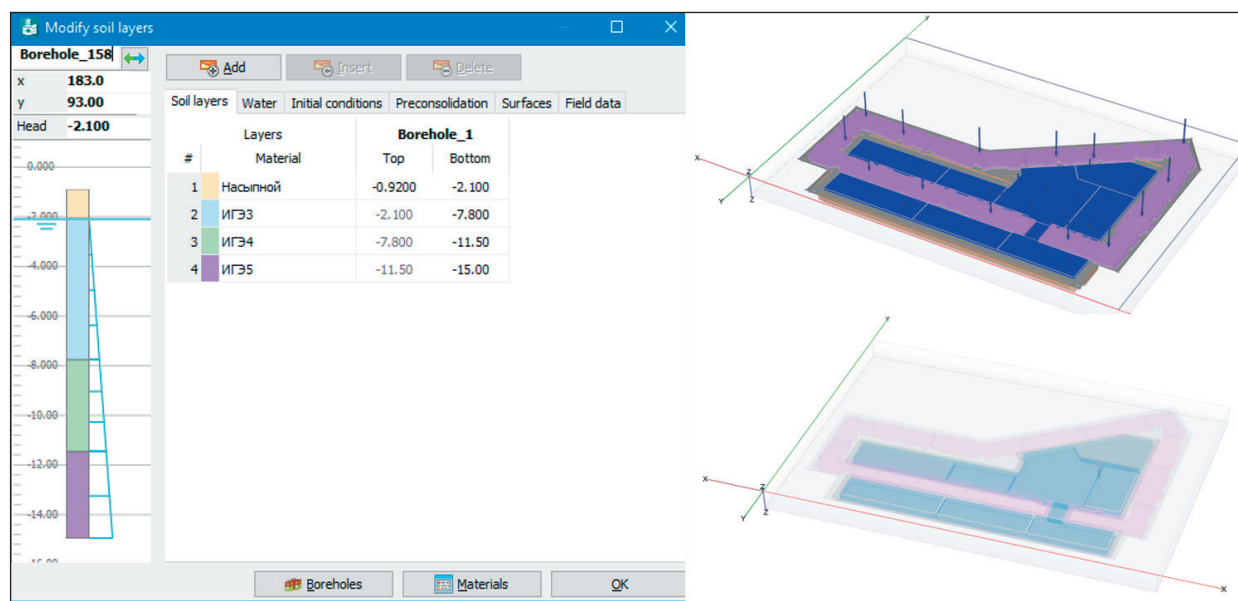


Рис. 3. Характеристики грунтов по одной из скважин (слева) и расчетная схема паркинга с окружающими зданиями (справа)

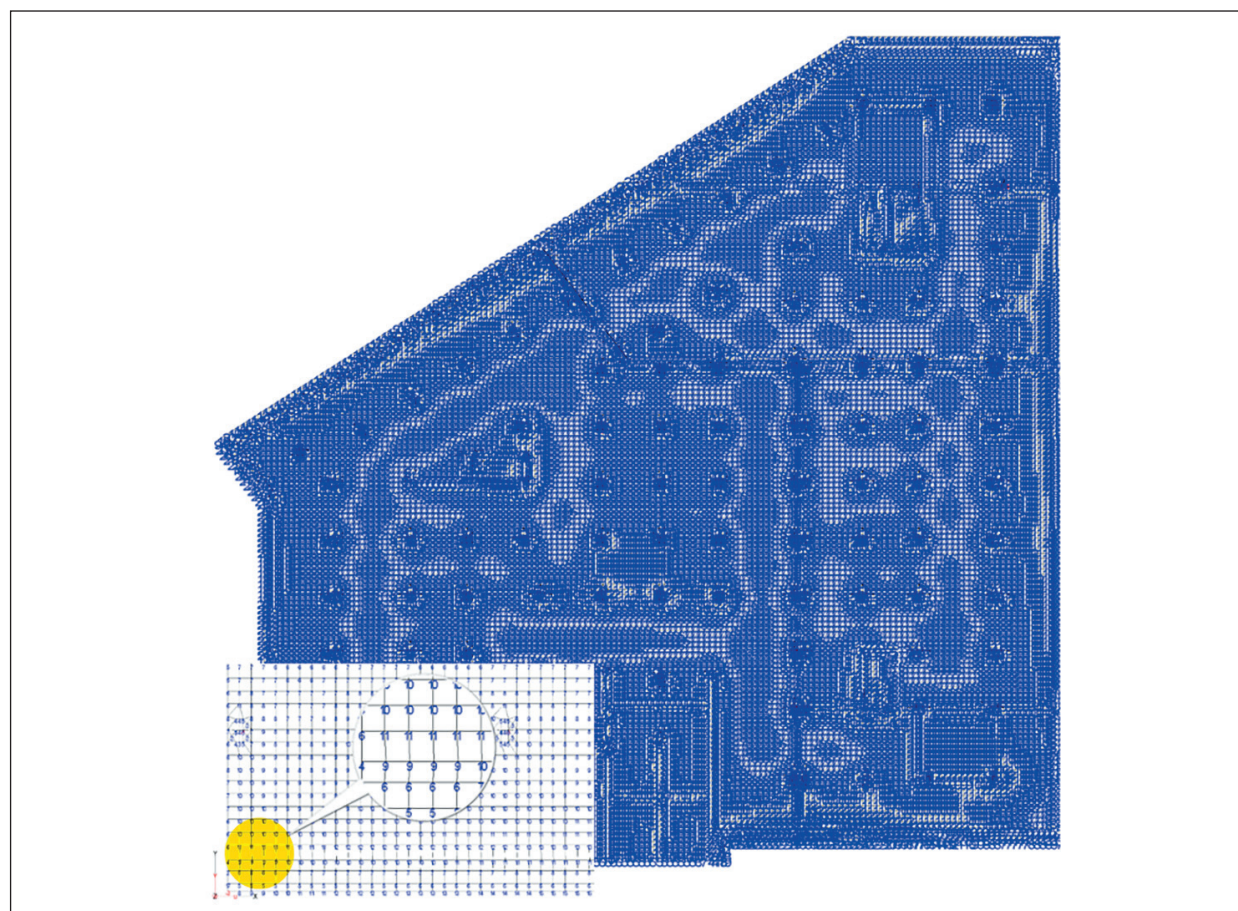


Рис. 4. Реакции в узлах от постоянных нагрузок.  $\text{Max } A_z = 42,3 \text{ кН}$

По результатам расчетов в программе Plaxis 3D получено:

1. Осадки основания жилых зданий составляют  $s = 5,8 < s_{max} = 15$  см. Относительная разность осадок не превышает предельной величины  $(\Delta S/L)_u = 0,003$ .

2. При высоте столба воды  $\sim 4,5$  м (зеркало на абс. отм. +56,100 м) паркинг испытывает гидростатическое давление и всплывает. Подъем паркинга составляет до 15,1 см, что согласуется с результатами лазерного сканирования.

3. Основной причиной аварийного состояния паркинга является влияние гидростатического давления воды на днище, приводящее к дополнительным перемещениям конструкций, усилиям и трещинам.

### Проверка паркинга на всплытие (аналитический расчет)

Дополнительно к уже представленным расчетным обоснованиям был выполнен аналитический расчет на всплытие. Нормативные нагрузки от сооружения приняты по расчету методом конечных элементов.

Суммарная постоянная нагрузка от рассмотренного фрагмента паркинга составила 157792,00 кН. При площади основания 4648,38 м<sup>2</sup> среднее давление по подошве составит 34 кН/м<sup>2</sup>.

Высота столба воды до низа бетонной подготовки может достигать 4,6 м, то есть гидростатическое давление при этом составляет  $pW = 46$  кН/м<sup>2</sup>.

Даже если рассмотреть среднее значение уровня грунтовых вод (в среднем по скважинам высота столба воды составляет  $\sim 3,8 \dots 3,9$  м), возникает угроза всплытия:

$P_N = 34$  кПа  $< pW = 39$  кПа (перегрузка в 1,15 раза).

Для обеспечения надежной, безаварийной эксплуатации безопасным уровнем грунтовых вод является:

$$p_w = \frac{P_N}{\gamma_n} = \frac{34}{1,2} = 28,3 \text{ кПа,}$$

то есть высота столба воды относительно низа бетонной подготовки не должна превышать 2,8 м.

Стоит отметить, что данный расчет не учитывает неравномерную загрузку основания и является приближенным.

В результате расчета было установлено, что при неравномерном постоянном давлении по подошве фундамента гарантированный перепад УГВ относительно подошвы составляет 1,9 м (рис. 5).

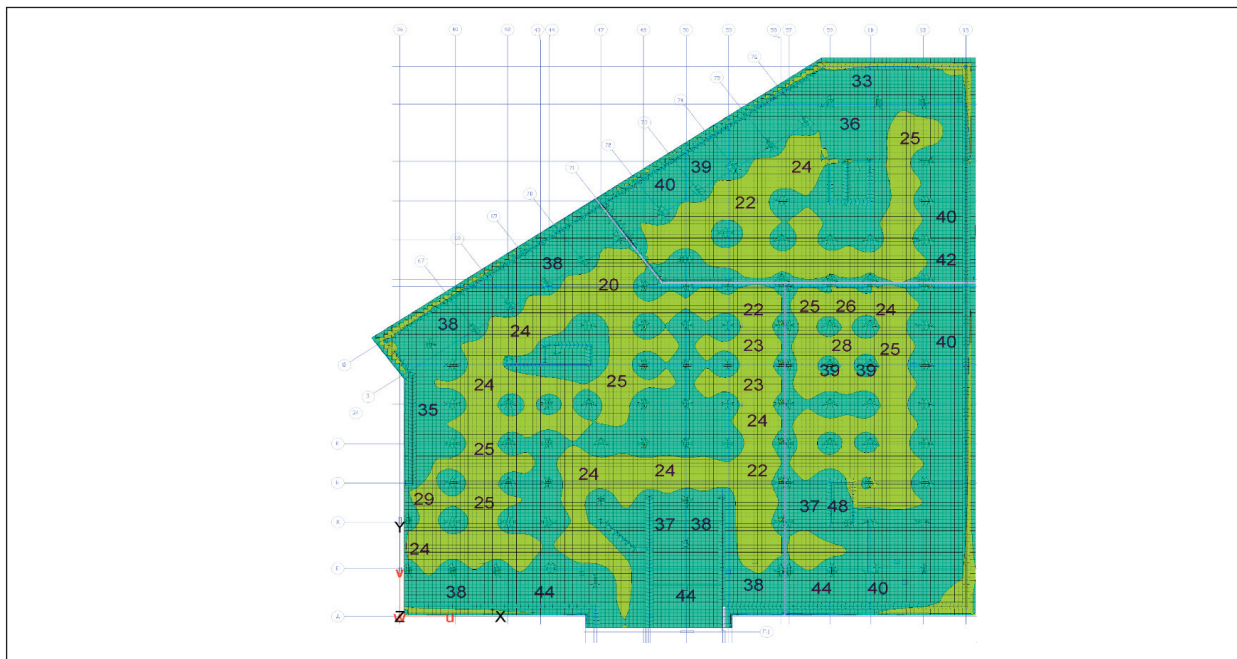
Для решения проблемы необходимо либо снизить УГВ, либо компенсировать недостаточное давление. В качестве решения было выбрано применение анкерных свай.

### Статическое испытание анкерной (многовинтовой) свай

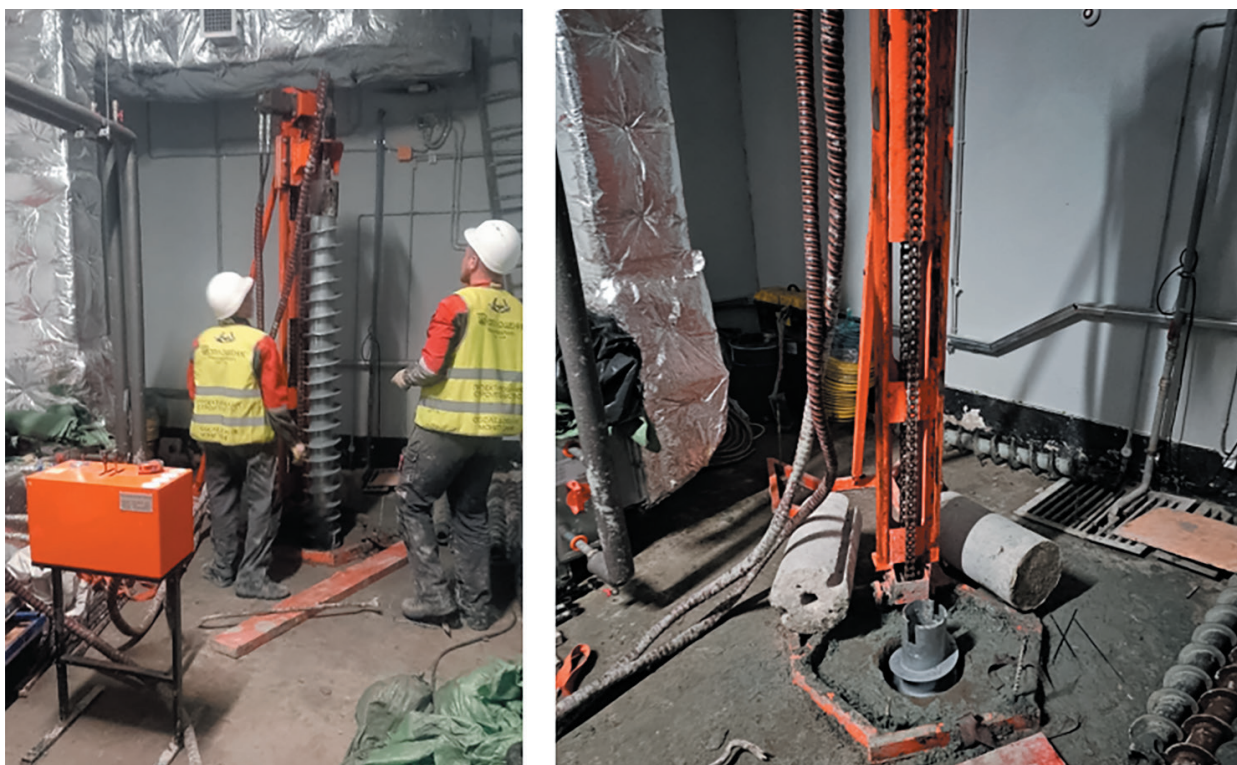
Целью проводимого исследования является определение фактической несущей способности по грунту погружаемых свай при приложении статической выдергивающей нагрузки для последующего учета полученных данных при проектировании компенсационных мероприятий, направленных на недопущение дальнейшего всплытия паркинга с учетом возможного максимального уровня грунтовых вод.

Для устройства и погружения свай на объекте была применена буровая установка «Электро М4» (рис. 6). Анкерная свая погружалась при помощи буровой установки.

Статические испытания применяемых анкерных свай на выдергивающую нагрузку на объекте выполнялись через тело фундаментной плиты подземного паркинга по методике, регламентированной ГОСТ 5686-2020, СП 24.13330.2021 и СТО 44416204-010-2010. Для испытаний была собрана установка (рис. 7).



**Рис. 5.** Изополя давлений по подошве фундамента от постоянных нагрузок.  
 $\text{Max } A_z = 562,76 \text{ кН/м}^2$ ,  $\text{min } A_z = -498,428 \text{ кН/м}^2$



**Рис. 6.** Процесс устройства сваи (слева) и буровая установка «Электро М4» (справа).  
Фото: А.М. Макарова

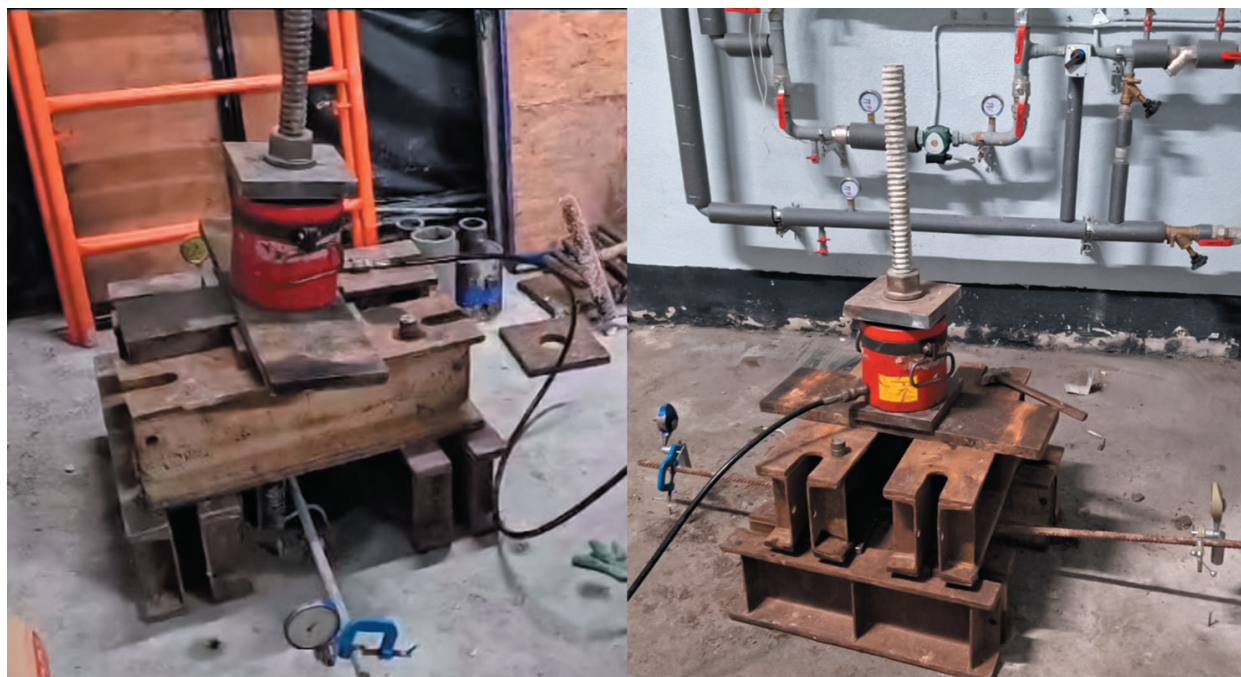


Рис. 7. Испытательная установка. Фото: А. М. Макарова

Для создания выдергивающей нагрузки при испытании анкерных свай применялись гидравлические домкраты. Грузоподъемность домкратов составляла 100 т. В соответствии с выбранной методикой испытания (в составе существующей фундаментной плиты) нагрузка от домкрата передавалась на силовую металлическую балку. Под силовую балку, в свою очередь, были подведены две металлические опоры, а для фиксации самой испытываемой сваи применялись специальные захваты.

Результаты статических испытаний свай выдергивающей нагрузкой представлены в виде графиков зависимости  $s = F(P)$  (рис. 8).

Показатели осадки (вертикального перемещения) испытываемой сваи и соответствующие значения перемещений на каждой ступени нагружения (и разгрузки) приведены в табл. 2.

В соответствии с требованиями применяемой методики выдергивающая нагрузка к свае прикладывалась постепенно, ступенями. Для каждой ступени перед приложением следующей

нагрузки свая выдерживалась до стабилизации перемещения. В процессе нагружения давление фиксировалось по манометру.

Наблюдение за вертикальным перемещением испытываемой сваи относительно фундаментной плиты велось при помощи двух индикаторов перемещений (типа ПАО-6). Это позволяло фиксировать перемещения сваи с точностью до 0,01 мм.

Показания по перемещениям снимались для каждой ступени перед приложением нагрузки, сразу после нее и далее до стабилизации перемещений. Интервал снятия отсчетов составлял 15 минут, а в качестве критерия стабилизации принималось вертикальное перемещение сваи менее 0,1 мм на 30-минутный интервал (суммарно за два смежных отсчета), что соответствовало требованиям п. 8.5.4 ГОСТ 5686-2020. Нагружение велось до потери сваей несущей способности.

После этого приступали к поэтапной разгрузке свай. Работы выполнялись в обратном

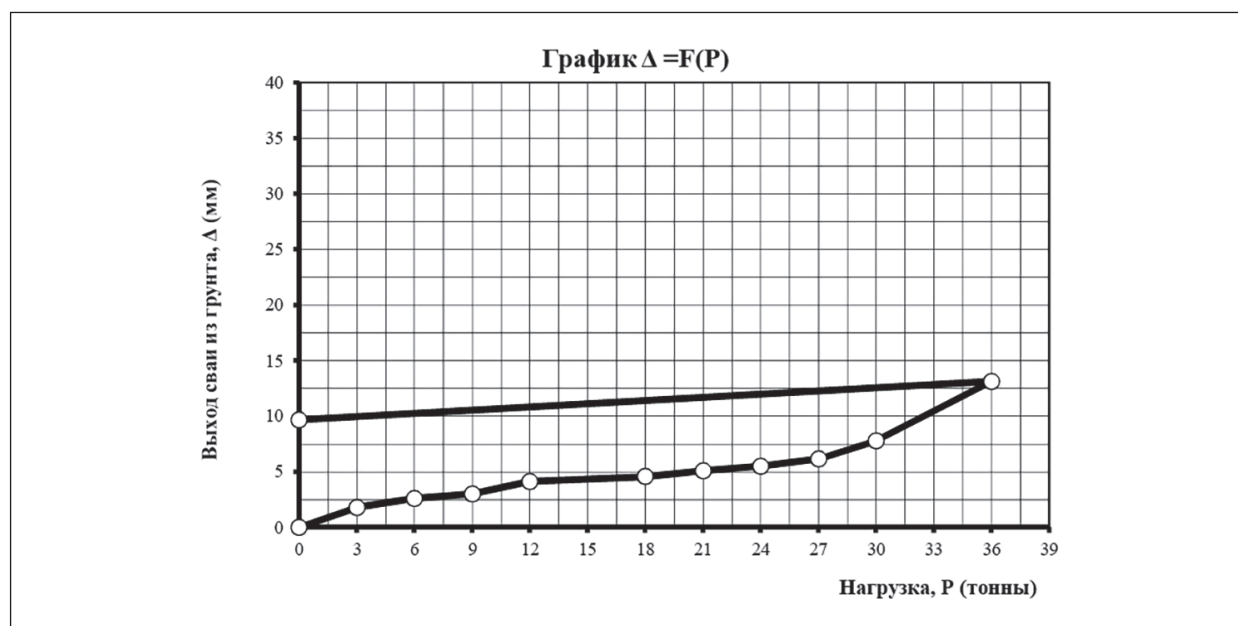


Рис. 8. График испытания сваи

ТАБЛИЦА 2. Результаты испытания сваи

Ступень нагрузки (т)	Время выдержки за ступень нагрузки (ч)	Осадка (мм)	
		С начала испытания	За ступень нагрузки
0,00	0,00	0,00	0
3,0	0,50	1,76	1,76
6,0	0,50	2,60	0,84
9,0	0,50	3,00	0,40
12,0	0,50	4,13	1,13
18,0	0,50	4,55	0,42
21,0	0,50	5,08	0,53
24,0	0,50	5,47	0,39
27,0	0,50	6,15	0,68
30,0	0,50	7,78	1,63
36,0	0,50	13,12	5,34
<b>РАЗГРУЗКА</b>			
0,0	0,50	9,67	-3,45

порядке с сохранением критериев по стабилизации, но если на каждой следующей ступени нагрузка увеличивалась на 3 т, то при разгрузке величина снимаемой нагрузки для каждой ступени составляла 6 т. После полного снятия нагрузки наблюдения продолжались еще в течение 4 циклов (60 минут).

Испытание проводилось для сваи следующей конструкции:

- винтовая многорядовая свая;
- свая с диаметром 127/250 мм.

Инженерно-геологические условия в сопоставлении с примененной конструкцией винтовых свай показаны на рис. 9.

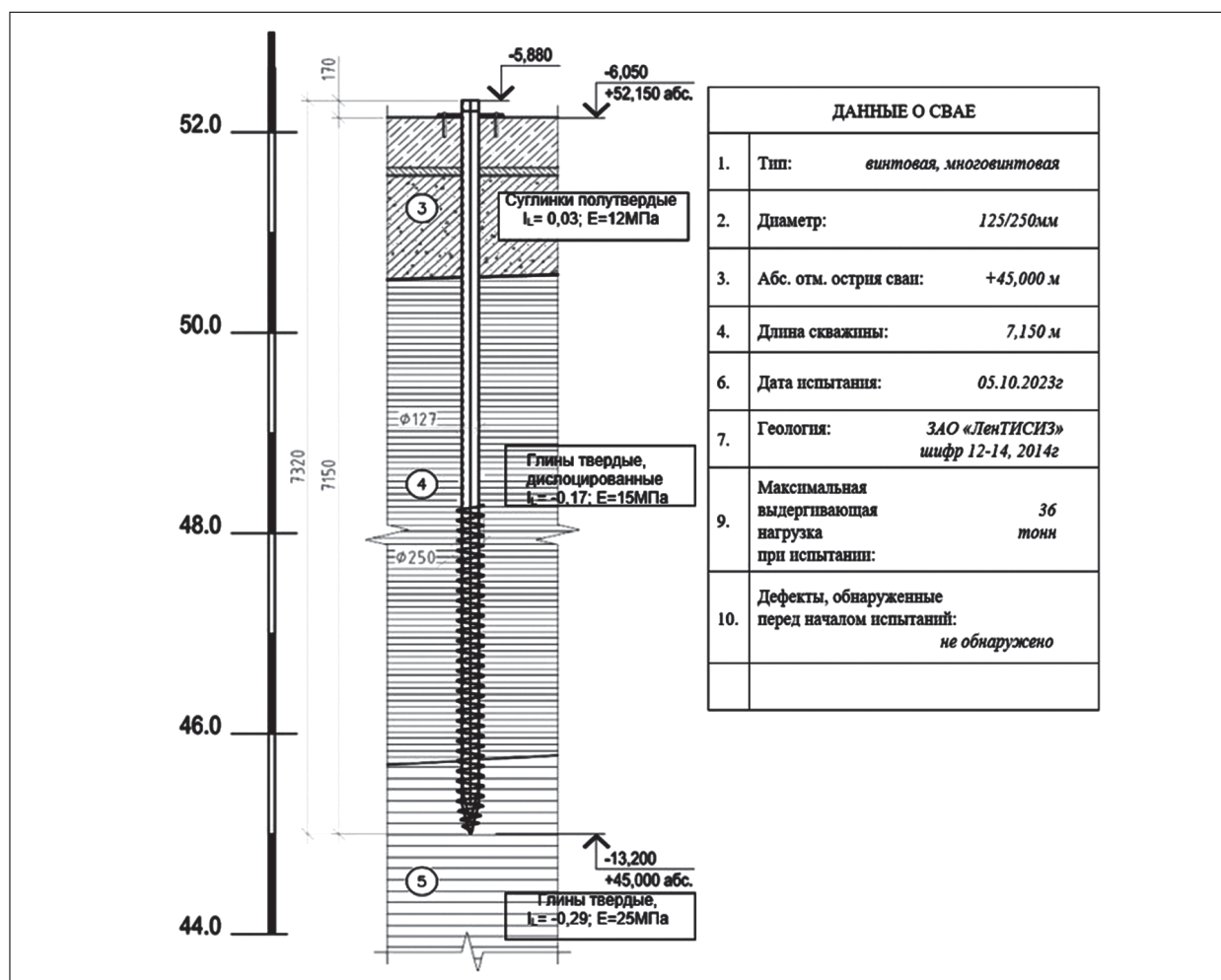


Рис. 9. Инженерно-геологические условия по одной из скважин и конструкция применяемой сваи

Расчет несущей способности лопасти для применяемой винтовой сваи выполнялся по общеизвестной формуле (формула 7.18 СП 24.13330.2021):

$$F_{a0} = (\alpha_1 c_1 + \alpha_2 \gamma_1 h_1)$$

$$A = (8,4 \cdot 3,56 + 3,3 \cdot 1,9 \cdot 5,5) \cdot 0,0364 = 2,34 \text{ т.}$$

Максимальная выдерживающая нагрузка:

$$N = 2,34 \cdot \frac{10}{1,4} = 16,7 \text{ т.}$$

**Примечание.** Коэффициент пористости, угол внутреннего трения, удельное сцепление, использованные для вычислений, приняты по СП 22.13330.2016 «Основания и фундаменты».

## Заключение

Проблема всплытия подземных сооружений, таких как паркинги, вследствие повышенного уровня грунтовых вод требует особого внимания при проектировании и строительстве в урбанизированных зонах. В ходе данного исследования, проведенного на конкретном примере в Санкт-Петербурге, установлено, что основными факторами, вызывающими всплытие, являются ошибки при анализе инженерно-геологических условий и недостаточная оценка гидростатического давления.

Произведенные расчеты с использованием программы PLAXIS 3D подтвердили, что

существующий вес конструкции недостаточен для предотвращения подъема. Результаты испытаний свай подтвердили необходимость натуральных экспериментов, которые позволяют определить ряд закономерностей, недоступных при формировании теоретической модели.

Как показали натурные испытания свай на объекте, только полученные в их ходе данные можно закладывать в расчеты дальнейшего проектирования по пластичным (глинистым) грунтам, так как теоретические расчеты дают большую погрешность (до 46%). Это связано с тем, что в теоретических расчетах не учитываются особенности работы свай в составе конструкций.

Для минимизации рисков всплытия предлагается усиление дренажных систем, увеличение веса зданий и применение анкерных свай с более высокой несущей способностью. Таким образом, работа подчеркивает важность комплексного подхода к проектированию подземных сооружений, что включает тщательное исследование геологических условий и применение современных методов анализа и моделирования.

### Список источников

1. Беляева Е. А., Дьяконов И. П. Проблемы проектирования и строительства новых зданий вблизи окружающей исторической застройки // Вестник гражданских инженеров. 2021. № 1 (84). С. 76–82. DOI: 10.23968/1999-5571-2021-18-1-76-82

2. Богов С. Г., Шашкин А. Г., Шашкин В. А. Обеспечение сохранности окружающей застройки при освоении подземного пространства в условиях слабых грунтов // Геотехника. 2022. Т. 14, № 1. С. 50–63. DOI: 10.25296/2221-5514-2022-14-1-50-62. EDN OSVNJX

3. Гурский А. В., Левинтов Г. В. Проблемы неравномерного всплытия подземного паркинга в Санкт-Петербурге // Вестник Пермского национального

исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2019. Т. 10, № 3. С. 16–25. DOI: 10.15593/2224-9826/2019.3.02. EDN QKDKJY

4. Метелкин С. В., Парамонов В. Н. Морозное пучение и его влияние на распорную систему ограждающих конструкций глубоких котлованов // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2022. Т. 19, вып. 1. С. 133–142. DOI: 10.20295/1815-588X2022-1-133-142

5. Носков И. В., Блок К. И. Теоретические и практические составляющие натуральных экспериментов многолопастных винтовых свай // Вестник евразийской науки. 2023. Т. 15, № 1. EDN CAPYNV

6. Парамонов В. Н. Горизонтальные смещения свай при разработке котлована // Геотехника. 2018. Т. 10, № 4. С. 46–57.

7. Парамонов М. В., Сливец К. В., Кравченко П. А. Анализ ошибок при проектировании капитальных ремонтов зданий на примере памятника архитектуры в Санкт-Петербурге // Вопросы проектирования и устройства надземных и подземных конструкций зданий и сооружений: межвузовский тематический сборник трудов. СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2018. С. 33–43.

8. Исследование несущей способности анкерных конструкций, устраиваемых по технологии бурения трубчатými винтовыми штангами / Д. Ю. Соловьев [и др.] // Геотехника. 2023. Т. 15, № 1. С. 24–39. DOI: 10.25296/2221-5514-2023-15-1-24-39. EDN DEFVVG

9. Шашкин А. Г., Васенин В. А., Парамонов В. Н. Развитие сверхнормативных деформаций городской застройки при строительстве подземных сооружений метрополитена // Жилищное строительство. 2020. № 9. С. 34–43. DOI 10.31659/0044-4472-2020-9-34-43. EDN FNZSGR

10. Шашкин А. Г., Шашкин В. А. Можно ли обеспечить сохранность памятников, опираясь на нормы для нового строительства? // Геотехника. 2021.

T. 13, № 2. С. 20–31. DOI: 10.25296/2221-5514-2021-13-2-20-30

Дата поступления: 13.02.2026

Решение о публикации: 21.04.2026

**Контактная информация:**

МАКАРОВ Алексей Николаевич — аспирант;  
StroiGidroSpas@yandex.ru

КРАВЧЕНКО Павел Александрович — кандидат  
техн. наук; pasha.sky@gmail.com

## **Problems of Emergency Situations When Parking Is Surfaced and Methods of Stabilization by Using an Anchor (Multi-Screw) Pile on the Example of One of the Facilities in St. Petersburg**

**A. N. Makarov, P. A. Kravchenko**

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9 Moskovsky ave., Saint Petersburg, 190031, Russia

**For citation:** *Makarov A.N., Kravchenko P.A.* Problems of Emergency Situations When Parking Is Surfaced and Methods of Stabilization by Using an Anchor (Multi-Screw) Pile on the Example of One of the Facilities in St. Petersburg // Proceedings of Petersburg State Transport University, 2026. Vol. 23, iss. 2. Pp. 443–455. DOI: 10.20295/1815-588X-2026-2-443-455 (In Russian)

### **Abstract**

The results of numerous surveys conducted for buildings and structures with large underground floors indicate the possibility of an ascent effect. It is not uncommon for the assessment of the surfacing of underground structures to be neglected or to approach this issue formally. **Objective:** analysis and implementation of engineering solutions aimed at preventing the surfacing of underground parking lots in conditions of elevated groundwater levels. The study was carried out for one of the facilities erected in the southern part of the city of St. Petersburg, which required the implementation of measures during operation. The paper provides a brief description of the engineering and geological conditions of the construction site, identifies the main problems of the structure under consideration (defects, damages, deformations) that arose during operation. **Methods:** the basic hypothesis of the most probable causes of defects, damages and deformations of the object is formed, modeling is performed, and it includes an analysis of hydrostatic pressure, as well as methods for stabilizing such structures. **Results:** the reliability of existing engineering solutions was assessed and the main errors made during construction were identified. The results of geotechnical modeling and tests performed using the PLAXIS 3D complex and static pile tests are analyzed, which allows us to draw conclusions about the causes and ways to prevent parking from surfacing. Reinforcement solutions using anchor (multi-screw) piles have been implemented. **Practical significance:** an approach to eliminating accidents during parking surfacing has been developed and implemented, consisting in stabilization through the use of anchor (multi-screw) piles, which can be implemented at other construction sites.

**Keywords:** anchor pile, testing, soil bearing capacity, anchor structure design, bearing capacity calculation, screw pile

### **References**

1. Belyaeva E. A., Diakonov I. P. Problemy proektirovaniya i stroitel'stva novykh zdaniy vblizi okruzhayushchej istoricheskoy zastrojki [Problems

of Design and Construction of New Buildings Near an Adjacent Historical Development Area], *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov [Bulletin of Civil Engineers]*, 2021, no. 1 (84), pp. 76–82. URL:

<https://doi.org/10.23968/1999-5571-2021-18-1-76-82> (In Russian)

2. Bogov S.G., Shashkin A.G., Shashkin V.A. Obespechenie sokhrannosti okruzhayushchej zastrojki pri osvoenii podzemnogo prostranstva v usloviyakh slabykh gruntov [Ensuring the Safety of Surrounding Structures during the Development of Underground Space in Weak Soil Conditions], *Geotechnics*, 2022, vol. 14, no. 1, pp. 50–63. DOI: 10.25296/2221-5514-2022-14-1-50-62. EDN OSVNJX (In Russian)

3. Gurskij A.V., Levintov G.V. Problemy neravnomernogo vsplytiya podzemnogo parkinga v Sankt-Peterburge [Issues of Uneven Uplifting of the Underground Parking in St. Petersburg], *Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Construction and Architecture*, 2019, vol. 10, no. 3, pp. 16–25. DOI: 10.15593/2224-9826/2019.3.02. EDN QKDKJY (In Russian)

4. Metelkin S.V., Paramonov V.N. Moroznoe puchenie i ego vliyanie na raspornuyu sistemu ograzhdayushchikh konstruksij glubokikh kotlovanov [Frost Heave and Its Influence on Spacer System of Enclosing Constructions of Deep Ditches], *Proceedings of Petersburg State Transport University*, Saint-Petersburg, 2022, vol. 19, iss. 1, pp. 133–142. DOI: 10.20295/1815-588X2022-1-133-142 (In Russian)

5. Noskov I.V., Blok K.I. Teoreticheskie i prakticheskiesostavlyayushchienaturnykh eksperimentov mnogolopastnykh vintovykh svaj [Theoretical and Practical Components of Field Experiments with Multi-Blade Screw Piles], *Bulletin of Eurasian Science*, 2023, vol. 15, no. 1. EDN CAPYNV (In Russian)

6. Paramonov V.N. Gorizontaľnyye smeshcheniya svaj pri razrabotke kotlovana [Horizontal Displacements of Piles During Pit Excavation], *Geotechnics*, 2018, vol. 10, no. 4, pp. 46–57. (In Russian)

7. Paramonov M.V., Slivets K.V., Kravchenko P.A. Analiz oshibok pri proektirovanii kapital'nykh remontov zdaniy na primere pamyatnika arkhitektury v Sankt-Peterburge [Error Analysis in the Design of the Building

Overhaul Using the Example of the Architectural Monument in Saint-Petersburg], *Design and Construction Issues of Above-Ground and Underground Structures of Buildings and Structures: Interuniversity Thematic Collection of Papers*, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 2018, pp. 33–43. (In Russian)

8. Solovyev D. Yu., et al. Issledovanie nesushchej sposobnosti ankernykh konstruksij, ustraivaemykh po tekhnologii bureniya trubchatymi vintovymi shtangami [Investigation of the Load-Bearing Capacity of Anchor Structures Installed by Drilling with Tubular Screw Rods], *Geotechnics*, 2023, vol. 15, no. 1, pp. 24–39. DOI: 10.25296/2221-5514-2023-15-1-24-39. EDN DEFVVG (In Russian)

9. Shashkin A.G., Vasenin V.A., Paramonov V.N. Razvitie sverkhnormativnykh deformatsij gorodskoj zastrojki pri stroitel'stve podzemnykh sooruzhenij metropolitena [Development of Excessive Deformations in Urban Construction during the Construction of Underground Structures of the Metro], *Zhilishchnoe stroitel'stvo [Housing Construction]*, 2020, no. 9, pp. 34–43. DOI: 10.31659/0044-4472-2020-9-34-43. EDN FNZSGR (In Russian)

10. Shashkin A.G., Shashkin V.A. Mozhno li obespechit' sokhrannost' pamyatnikov, opirayas' na normy dlya novogo stroitel'stva? [Is It Possible to Preserve Historical Monuments on the Basis of Standards for New Construction?], *Geotechnics*, 2021, vol. 13, no. 2, pp. 20–31. DOI: 10.25296/2221-5514-2021-13-2-20-30 (In Russian)

Received: February 13, 2026

Accepted: April 21, 2026

#### Author's information:

Alexey N. MAKAROV — Postgraduate Student;  
StroiGidroSpas@yandex.ru

Pavel A. KRAVCHENKO — PhD in Engineering,  
Associate Professor; pasha.sky@gmail.com