

УДК 624.154.1:624.151.6

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-3\(34\)-66-78](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-3(34)-66-78)

EDN QIBKLE

РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ ФУНДАМЕНТОВ РЕЗЕРВУАРОВ В УСЛОВИЯХ МАССОВОГО НЕДОПОГРУЖЕНИЯ СВАЙ

И.М. ИОВЛЕВ¹

С.А. КРЮЧКОВ^{1,✉}

Е.А. МЕТЕЛИЦА¹

С.А. РЫТОВ¹, канд. техн. наук

Т.Г. РЫТОВА², канд. техн. наук

П.И. ЯСТРЕБОВ¹, канд. техн. наук

¹ Научно-исследовательский, проектно-изыскательский и конструкторско-технологический институт оснований и подземных сооружений (НИИОСП) им. Н.М. Герсевича АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, стр. 12, г. Москва, 109428, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ); Ярославское шоссе, д. 26, г. Москва, 129337, Российская Федерация

Аннотация

Введение. При проведении работ по вдавливанию железобетонных свай заводского изготовления под резервуары недоучет специфичности моренных суглинков, а именно возможное наличие валунных включений, расположенных в хаотичном порядке, повлиял на их массовое и неравномерное по глубине недопогружение. Опыт применения свай различной длины в основании резервуаров и рекомендации возможных мероприятий, исключающих негативные последствия, в технической литературе не выявлены. В статье изложены анализ сложившейся ситуации и применение нестандартного подхода к ее исправлению.

Цель работы: проведение расчетов в программном комплексе PLAXIS 3D и PLAXIS 2D с различными сценариями взаимодействия фундаментов резервуаров и грунтов основания.

Материалы и методы. Основной задачей работы являлся выбор технического решения, которое позволяло исправить негативную ситуацию с массовым недопогружением свай. Так как при анализе технической литературы не было найдено оптимального для фундаментов и грунтового основания резервуаров, авторы статьи вынуждены были с помощью моделирования в программном комплексе PLAXIS 3D и PLAXIS 2D искать возможные варианты.

Результаты. Предложено использовать погруженные сваи в качестве элементов, армирующих грунтовое основание. Кроме того, поверх голов свай, срубленных ниже проектных отметок, намечено выполнить песчаную подушку толщиной 60 см для более равномерного распределения давления от резервуаров на основание и выравнивания осадок. С помощью проведенных расчетов подобраны коэффициенты жесткости грунтового основания, обосновывающие возможность использования принятой в проекте конструкции фундаментной плиты.

Выводы. По результатам проведенной работы выявлены причины сложившейся негативной ситуации, предложено нестандартное техническое решение по ее исправлению, определены коэффициенты жесткости грунтового основания для дальнейших расчетов резервуаров.

Ключевые слова: резервуар, свая, осадка, прогиб

Для цитирования: Иовлев И.М., Крючков С.А., Метелица Е.А., Рытов С.А., Рытова Т.Г., Ястребов П.И. Разработка оптимального технического решения фундаментов резервуаров в условиях массового недогружения свай. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2022;34(3):66–78. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-3\(34\)-66-78](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-3(34)-66-78)

Вклад авторов

Крючков С.А. – руководство работой, оформление отчета.

Ястребов П.И. – анализ выполненных расчетов, разработка технических решений.

Рытов С.А. – научно-техническое сопровождение работ, разработка технических решений.

Иовлев И.М., Метелица Е.А. – выполнение расчетов, обработка их результатов, оформление отчета.

Рытова Т.Г. – научно-техническое сопровождение при оформлении статьи.

Финансирование

Исследование выполнено в рамках договорной работы АО «НИЦ «Строительство».

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 28.04.2022

Поступила после рецензирования 26.05.2022

Принята к публикации 12.07.2022

DEVELOPMENT OF THE OPTIMAL TECHNICAL SOLUTION FOR TANK FOUNDATIONS MASSIVELY EXHIBITING UNDERDRIVEN PILES

I.M. IOVLEV¹

S.A. KRYUCHKOV^{1,✉}

E.A. METELITSA¹

S.A. RYTOV¹, Cand. Sci. (Engineering)

T.G. RYTOVA², Cand. Sci. (Engineering)

P.I. YASTREBOV¹, Cand. Sci. (Engineering)

¹Research Institute of Bases and Underground Structures (NIIOSP) named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 12, Moscow, 109428, Russian Federation

²National Research Moscow State University of Civil Engineering, Yaroslavskoe Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation

Abstract

Introduction. Failure to consider the specificity of moraine loam, namely the possible presence of chaotic boulder inclusions, led to the under-driving of prefabricated reinforced concrete piles for tanks (massive in character and irregular in depth). Since technical literature offers no data on the application of piles varying in length in the bearing soil of tanks and no recommendations on possible measures that could prevent such adverse effects, the paper analyzes the current situation, as well as describing an unconventional approach as to how it can be remedied.

Aim: to perform calculations in the PLAXIS 3D and PLAXIS 2D software for various scenarios of interaction between tank foundations and underlying soils.

Materials and Methods. The main objective of the work was to find a technical solution that could remedy the situation involving the underdriven piles. Since the analysis of technical literature revealed no optimal solutions for the foundations and underlying soils of tanks, the authors had to use the PLAXIS 3D and PLAXIS 2D simulation software to explore the possibilities.

Results. It is proposed to use driven piles as elements reinforcing the bearing soil. In addition, it is planned to make a 60 cm thick sand cushion over pile heads with a cut-off level below the design reference mark in order to more evenly distribute the tank load on the underlying soil and to equalize the settlements. The performed calculations were used to select bearing soil stiffness coefficients justifying the foundation slab design adopted in the project.

Conclusions. The study identified the reasons for this negative situation, proposing an unconventional technical solution and determining the coefficients of bearing soil stiffness for performing further tank calculations.

Keywords: tank, pile, settlement, deflection

For citation: Iovlev I.M., Kryuchkov S.A., Metelitsa E.A., Rytov S.A., Rytova T.G., Yastrebov P.I. Development of the optimal technical solution for tank foundations massively exhibiting underdriven piles. *Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2022;34(3):66–78. (In Russ.) [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-3\(34\)-66-78](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-3(34)-66-78)

Author contribution statements

Kryuchkov S.A. – work supervision and report preparation.

Yastrebov P.I. – analysis of performed calculations and development of technical solutions.

Rytov S.A. – scientific and technical support of work and development of technical solutions.

Iovlev I.M., Metelitsa E.A. – calculations, processing of results, and report preparation.

Rytova T.G. – scientific and technical support during the manuscript preparation.

Funding

The study was carried out under a contract with JSC Research Center of Construction.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 28.04.2022

Revised 26.05.2022

Accepted 12.07.2022

Состояние вопроса

Необходимость разработки нового технического решения фундаментов резервуаров продиктована фактом недопогружения вдавливанием свай заводского изготовления в свайных полях пяти резервуаров до проектных отметок.

Отсутствие квалифицированного сопровождения (научно-технического, авторского и др.) при строительных работах по устройству свайных полей не позволило оперативно принять решение по прекращению массового погружения свай при первых их недопогружениях до проектных отметок для анализа причин отклонения от проектного решения, что привело к невозможности применения лидерного бурения или замены заводских железобетонных свай на буроинъекционные или буронабивные. Таким образом, пять завершенных свайных полей имели в своем составе сваи, длина которых изменялась от 2 до 8 м. Причем сваи длиной 6–8 м располагались, как правило, на одной половине свайных полей.

Краткое описание инженерно-геологических условий площадки строительства и конструктивных решений проектируемого объекта

Площадка строительства в геоморфологическом отношении приурочена к Смоленско-Ярославской области ледникового и водно-ледникового рельефа в пределах московского оледенения, значительно переработанного эрозией.

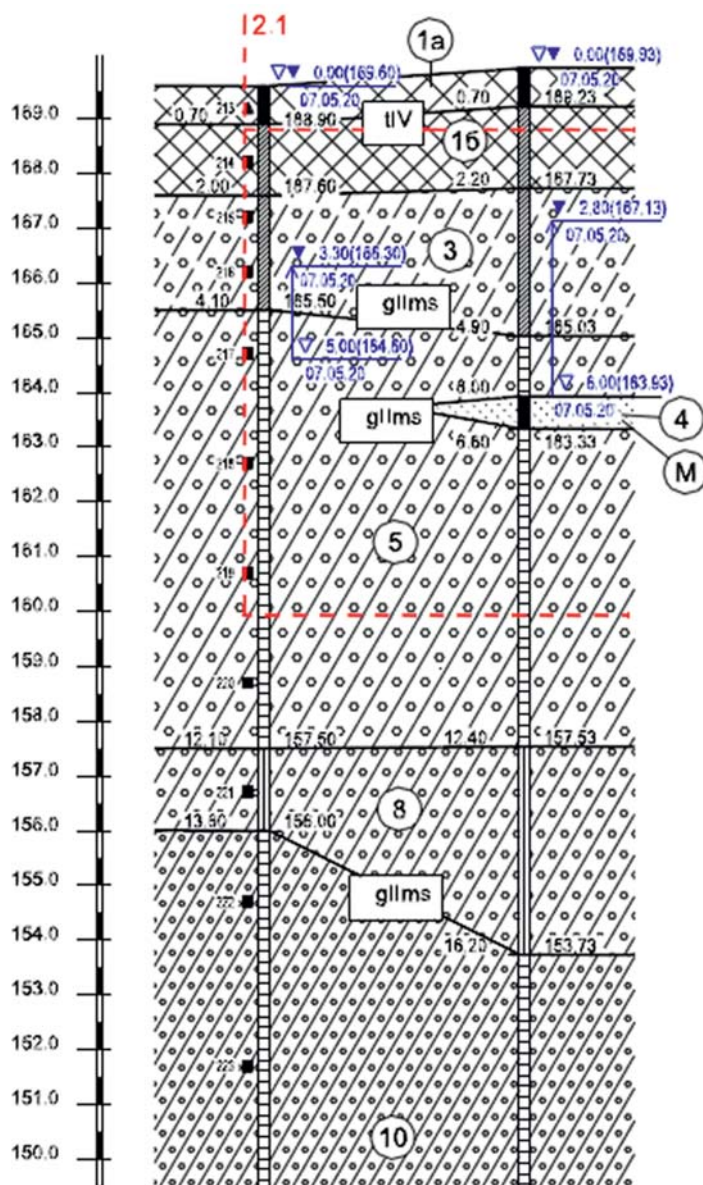


Рис. 1. Типовой инженерно-геологический разрез
Fig. 1. Typical geotechnical section

Инженерно-геологические условия площадки строительства характеризуются следующим напластованием грунтов сверху вниз:

- техногенный грунт, представляющий собой свалку строительного и бытового мусора с песчаным и глинистым заполнителем, с частыми прослоями щебня, обломков древесины, бетона и металла; эти грунты были определены как неоднородные по составу и свойствам, обладающими неравномерной сжимаемостью и возможностью самоуплотнения;
- моренные отложения московского горизонта ($g\Pi^{ms}$), которые сложены супесью (ИГЭ-3), песком мелким (ИГЭ-4), суглинком полутвердым (ИГЭ-5), суглинком тугопластичным (ИГЭ-8) и суглинком полутвердым (ИГЭ-10).

Физико-механические характеристики грунтов представлены в табл. 1. Подземные воды вскрыты при изысканиях на глубине 1–6 м и приурочены к моренным пескам. На рис. 1 представлен типовой инженерно-геологический разрез.

Объект строительства представлял собой единый железобетонный «поддон» с общими габаритами $30,4 \times 63,6$ м с плитой по грунту и стенами бортов высотой 1,3 м, внутри которого располагаются семь резервуаров на собственных свайных фундаментах (план расположения резервуаров представлен на рис. 2).

Конструкции каждого из резервуаров запроектированы вертикальными цилиндрическими $\varnothing 10$ м с номинальным объемом 1335 м^3 каждый. Фундаменты под резервуары были запроектированы из железобетонных свай заводского изготовления сечением 300×300 мм длиной 8 м марки С80.30-6. В проекте для свай была принята несущая способность по грунту 74 тс. Для всех резервуаров принят плитный ростверк толщиной 600 мм (проектный разрез по сопряжению свай и ростверку представлен на рис. 3).

Погружение свай выполнялось методом статического вдавливания. Согласно проекту нижние концы свай под резервуары были расположены на абсолютной отметке 162,05 м. В основании свай залегают суглинки полутвердые (ИГЭ-5).

Нагрузки на фундаменты резервуаров представлены на рис. 4 (поз. 1–3 – нагрузки от разных видов загрузки, поз. 4 – результирующее давление на фундамент резервуара при эксплуатации и гидроиспытаниях). Как видно из поз. 3, характерной особенностью

Таблица 1

Физико-механические характеристики грунтов (нормативные)

Table 1

Physicomechanical (standard) characteristics of soils

№ ИГЭ	Наименование грунта	Удельный вес, т/м ³	Удельное сцепление, кПа	Угол внутреннего трения, °	Модуль деформации, МПа
1а	Техногенный грунт: песок средней крупности	1,73	10	37	16
1б	Техногенный грунт: супесь пластичная	2,03	17	29	19
3	Супесь пластичная, песчанистая	2,19	15	32	22
4	Песок мелкий, средней плотности, водонасыщенный	1,95	0	31	15
5	Суглинок полутвердый	2,23	20	31	28
8	Суглинок тугопластичный	2,21	19	30	24
10	Суглинок полутвердый	2,22	27	29	30

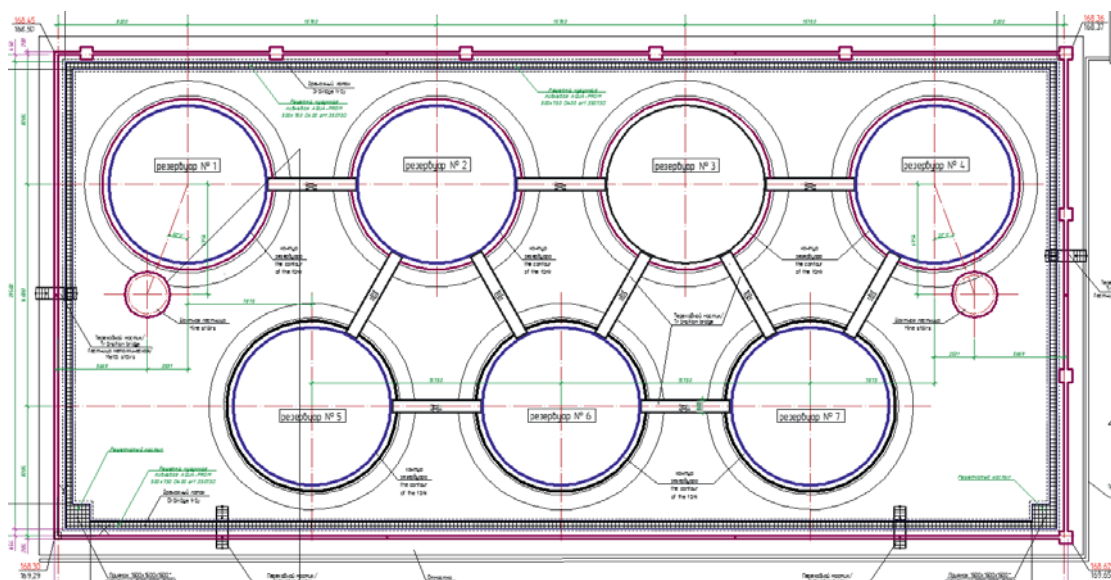


Рис. 2. Схема размещения резервуаров
Fig. 2. Layout of the tanks

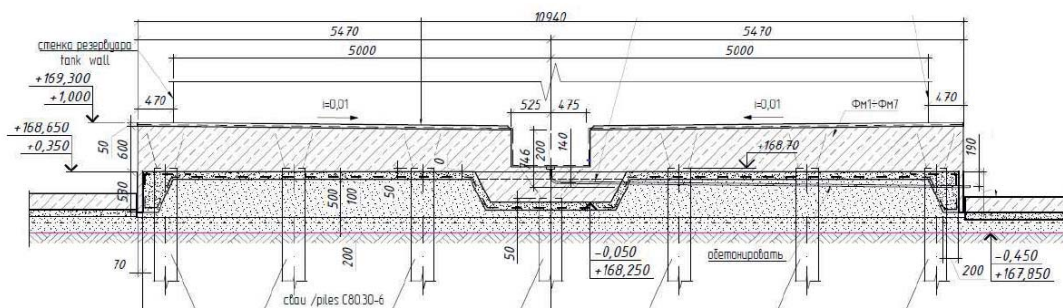


Рис. 3. Проектный разрез сопряжения свай с ростверком
Fig. 3. Design section of the interface between the piles and the pile cap

стальных резервуаров является то, что масса жидкости (G), хранящаяся в них, значительно превышает массу самих строительных конструкций ($Q_{\max}$). При этом основное нагружение грунтового основания резервуаров происходит практически мгновенно при их заполнении.

Анализ сложившейся ситуации со свайными полями

В предоставленной документации по свайному полю резервуаров было зафиксировано, что для резервуаров № 3–7 значительное количество свай не достигло проектных отметок заложения подошв при погружении установкой, произведенной в Китае, с максимальным усилием вдавливания 120 тс. Например, техническая исполнительная документация по погруженным сваям резервуара № 6 свидетельствует, что из общего количества свай (37 штук) до проектной отметки погружены 20 свай. Количество свай, погруженных на глубину

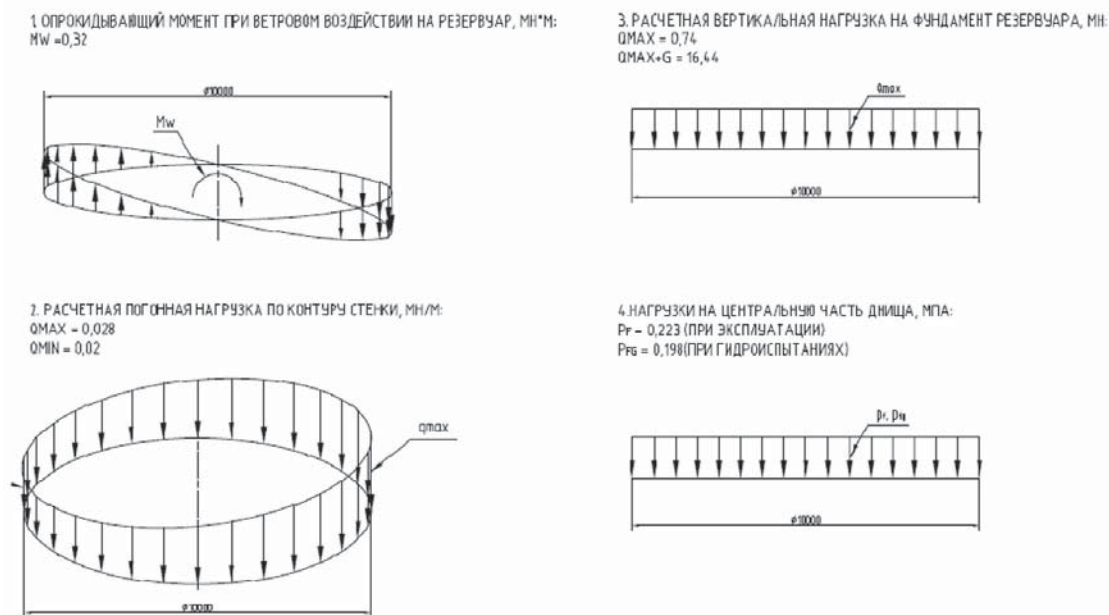


Рис. 4. Нагрузки на фундаменты резервуара
 Fig. 4. Loads on the tank foundation

3–4 м, составляет 5 штук, на глубину 4–5 м – 12 штук, а погружение одной сваи вообще не состоялось (вдавливание дублеров вместо нее оказалось также безрезультатным).

Для оценки несущей способности погруженных свай на площадке были проведены испытания грунтов сваями статическим нагружением до проектного значения несущей способности, анализ которых не выявил явную зависимость податливости свай от их длины. Например, у сваи длиной 4,4 м (резервуар № 3) при нагрузке 73,9 тс осадка составила 10,8 мм; у сваи длиной 8 м (резервуар № 5) при нагрузке 73,9 тс осадка составила 6,6 мм; у сваи длиной 7,9 м (резервуар № 7) при нагрузке 73,9 тс осадка составила 10,2 мм.

Для анализа причин недопогружения свай были выполнены локальные земляные работы на глубину 2–3 м в зоне, где глубина погружения свай была самой незначительной. При этих работах из основания одной из свай был извлечен валун диаметром около 30 см (см. рис. 5). Таким образом, стало понятно, что основной причиной недопогружения свай стали валунные включения в моренных суглинках (ИГЭ-5), наличие которых не акцентировано в отчете по инженерно-геологическим изысканиям.

Для оценки расчетных деформаций основания резервуаров были проведены расчеты в программном комплексе PLAXIS 3D, которые показали значительный крен резервуаров на сваях различной длины (рис. 6). Из анализа результатов расчетов следовало, что возведение резервуаров без дополнительных мероприятий по выравниванию их осадок невозможно в соответствии с ВСП 34-01-03 «Руководство по расчету и конструированию металлических резервуаров и трубопроводов на складах горючего МО РФ» 2003 г. по следующим критериям:

- общий прогиб центра днища составил 17,6 мм при нормативном значении $0,003 \cdot r$ (16,4 мм);
- относительный локальный прогиб днища составил 0,007 при нормативном значении 0,005.



Рис. 5. Фото валуна диаметром ~0,3 м, извлеченного из-под подошвы сваи
Fig. 5. Photo of a boulder measuring ~0.3 m in diameter extracted from under a pile

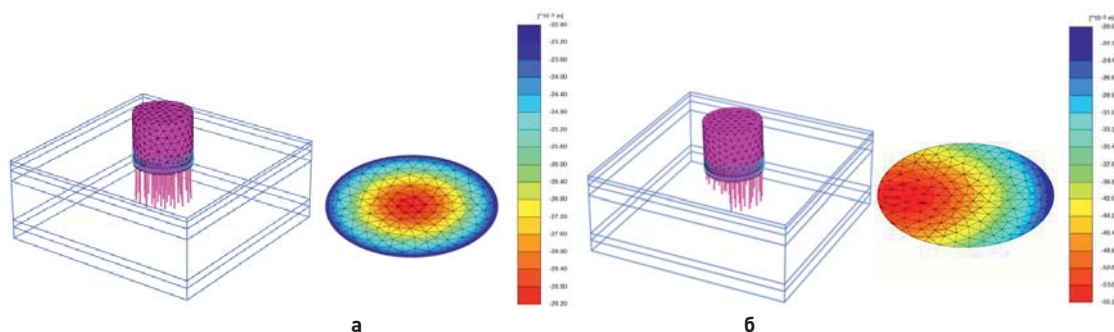


Рис. 6. Расчет резервуара № 6 в программном комплексе PLAXIS 3D:

- а* – общий вид расчетной схемы резервуара и эпюры осадок при проектном решении;
б – общий вид расчетной схемы резервуара и эпюры осадок при фактической длине свай

Fig. 6. Analysis of tank No. 6 in the PLAXIS 3D software:

- a* – general view of the tank calculation model and settlement diagrams for the design solution;
b – general view of the tank calculation model and settlement diagrams for the actual pile length

Выбор оптимального решения

Авторами статьи предложено выправить ситуацию со сваями разной длины путем учета их в работе основания как армирующих элементов. Непосредственно под плитным фундаментом было предусмотрено устройство песчаной подушки. Как отмечается в работах П.А. Коновалова, Р.А. Мангушева, С.Н. Сотникова и др. [1–2], песчаная подушка призвана обеспечить более равномерное распределение давления от резервуара на основание и, как следствие, выравнивание осадок.

Для оценки эффективности предложенного варианта были выполнены расчеты в программном комплексе PLAXIS 3D. При расчетах модуль деформации песчаной подушки из песка средней крупности был назначен равным 30 МПа, толщина подушки – 60 см.

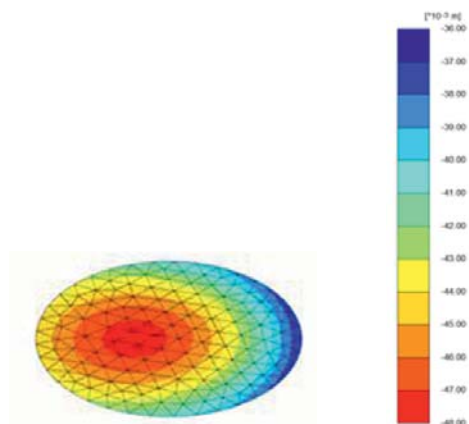


Рис. 7. Эпюра осадок резервуара № 6 при варианте с разделением свай и ростверка грунтовой песчаной подушкой

Fig. 7. Diagram showing settlements for tank No. 6 with a sand cushion separating the piles and the pile cap

Расчеты показали, что песчаная подушка позволяет снизить относительную разность осадок с 0,0016 до 0,0012 и сдвинуть максимальную осадку с края фундамента ближе к центру (см. рис. 6 и 7), что является более приемлемым условием для эксплуатации резервуара в соответствии с ВСП 34-01-03.

Дальнейшие расчеты грунтового основания резервуаров № 3–7 со сваями, являющимися армирующими грунт элементами, выполнялись в программе PLAXIS 2D, позволяющей в более оперативной форме рассмотреть различные сценарии работы фундаментной части резервуаров с основанием. При моделировании работы грунтового массива была использована упругопластическая модель Кулона – Мора.

Для каждого из резервуаров назначались два сечения, по которым выполнялись расчеты по двум сценариям. В расчетах по сценарию 1 сваи задавались фактической длины, между сваями и ростверком (который преобразовывался в фундаментную плиту) моделировалась песчаная подушка толщиной 600 мм с модулем деформации $E = 30$ МПа, в подошве свай принимались суглинки по инженерно-геологическому отчету (ИГЭ-5) с модулем деформации $E = 28$ МПа.

В расчетах по сценарию 2 в дополнение к расчетам по сценарию 1 в основании коротких свай, где в основании предположительно залегают суглинки с валунными включениями, моделировался грунт толщиной 2–3 м с модулем $E = 50$ МПа, что соответствует нормативному значению моренных суглинков с коэффициентом пористости $e = 0,45$ по табл. А.3 СП 22.13330.2016. Расчет по сценарию 2 выполнялся для получения коэффициентов жесткости основания, при которых верхнее армирование фундаментной плиты более высокое, чем при коэффициентах жесткости по расчетам сценария 1.

На рис. 8 представлены эпюры общих деформаций грунтового массива в основании резервуара № 6 при расчетах по двум сечениям. Взаимное влияние резервуаров друг на друга при расчетах не учитывалось, так как зона активных деформаций грунтового массива не превышает 2–3 м при расстоянии между резервуарами 5,5 м.

Проведенные расчеты позволили определить коэффициенты жесткости основания (см. рис. 9), расчеты фундаментов с которыми показал приемлемые величины деформаций, удовлетворяющие требованиям нормативных и ведомственных документов. Сопоставление полученных значений деформаций с предельными значениями представлено в табл. 2.

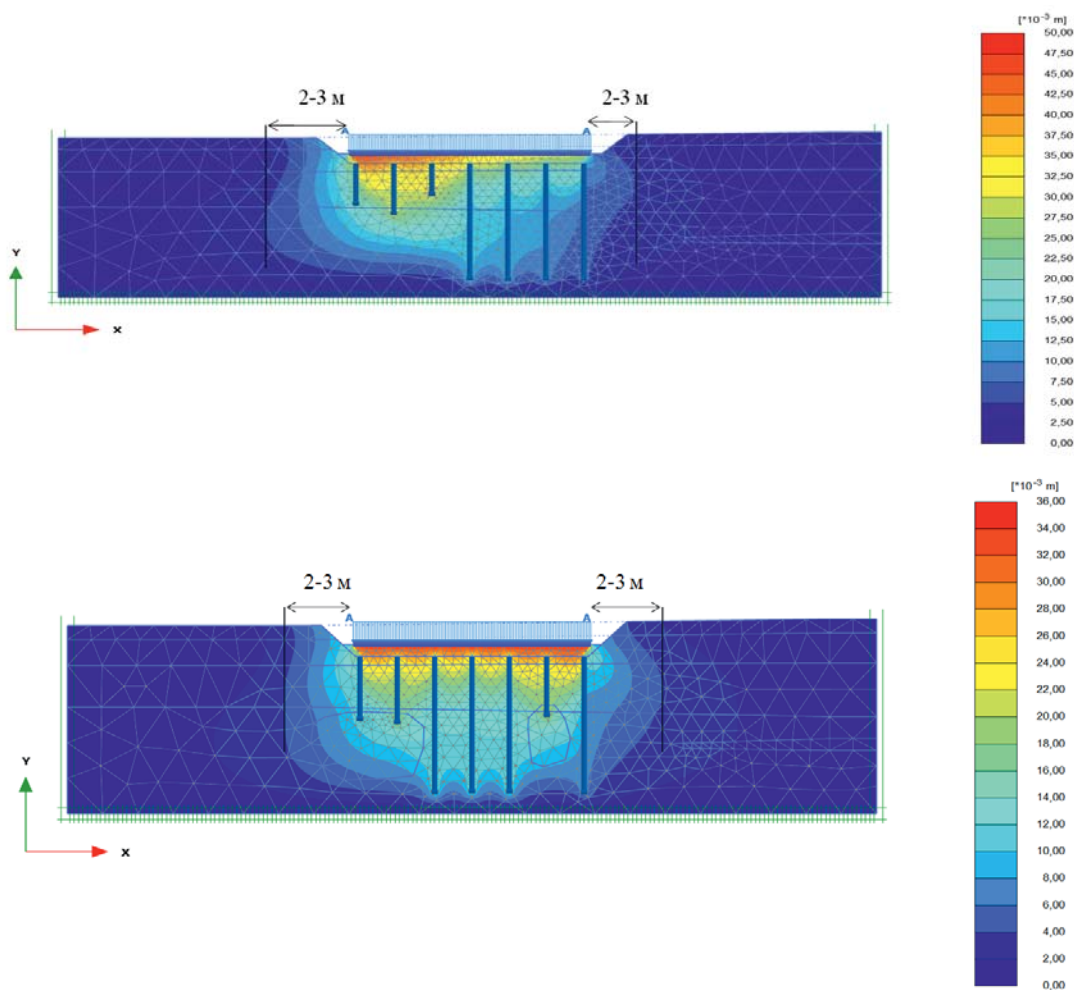


Рис. 8. Эпюры общих перемещений грунта резервуара № 6 по двум расчетным сечениям
Fig. 8. Diagrams showing general soil displacements under tank No. 6 in two design sections

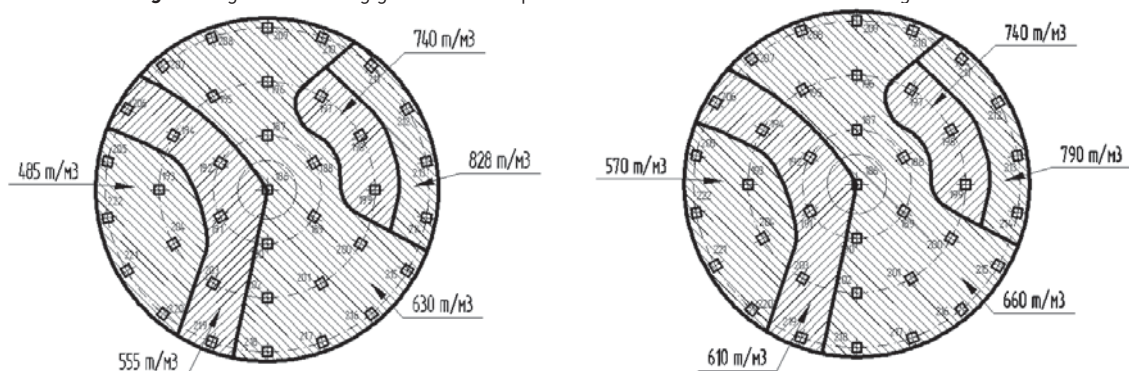


Рис. 9. Коэффициенты жесткости основания резервуара № 6 при расчетах по сценарию 1 (слева) и по сценарию 2 (справа)
Fig. 9. Stiffness coefficients of soil underlying tank No. 6 according to calculation scenarios 1 (left) and 2 (right)

Таблица 2

Значения расчетных и нормативных параметров деформаций резервуаров

Table 2

Design and standard strain parameters of tanks

Сводная таблица расчетных и нормативных параметров										
№ резервуара	Расчетный сценарий	Осадка, мм/относительная разность осадок	Максимальная абсолютная осадка контура днища резервуара, мм		Средняя осадка по контуру резервуара, мм		Относительный крен резервуара, мм		Общий прогиб центра днища, мм	
		расчетная	расч.	нормат.	расч.	нормат.	расч.	нормат.	расч.	нормат.
3	1. С учетом подушки	31,1-48,1/0,0016	48,1	200,0	41,3	100,0	0,0006	0,004	4,7	16,2
	2. С учетом подушки и балунб	29,7-39,4/0,0009	39,4		35,9		0,0003		3,3	
4	1. С учетом подушки	35,5-56,4/0,0017	56,4	200,0	46,4	100,0	0,0009	0,004	6,2	16,2
	2. С учетом подушки и балунб	36,1-49,9/0,001	49,9		43,3		0,0006		5,2	
	3. С учетом свай забитых в ростбёрк	35,0-54,1/0,003	54,1		44,5		0,0010		19,1	
5	1. С учетом подушки	30,0-59,6/0,003	59,6	200,0	44,8	100,0	0,0013	0,004	1,0	16,2
	2. С учетом подушки и балунб	32,0-51,8/0,0018	51,8		42,1		0,0009		0,9	
6	1. С учетом подушки	27,8-49,0/0,002	49,0	200,0	37,6	100,0	0,001	0,004	1,4	16,2
	2. С учетом подушки и балунб	29,1-41,1/0,0011	41,1		35,1		0,0005		0,6	
7	1. С учетом подушки	32,5-39,0/0,0008	39,0	200,0	36,5	100,0	0,0002	0,004	1,45	16,2
	2. С учетом подушки и балунб	33,0-37,0/0,0005	37,0		35,5		0,00013		1,8	

Выводы

1. Основной причиной негативной ситуации на строящемся объекте явился недоучет специфичности моренных суглинков, а именно наличие валунных включений, которые не были детально отражены в отчете по инженерно-геологическим изысканиям.
2. Отсутствие квалифицированного сопровождения при строительных работах не позволило оперативно принять решение об остановке работ при установлении факта недопогружения свай до проектных отметок. Своевременная пауза позволила бы принять решение о предварительном лидерном бурении скважин, предшествующем вдавливанию, или по замене свай заводского изготовления на буроинъекционные или буронабивные.
3. Предложенное техническое решение устройства фундаментов с песчаной подушкой между сваями и плитным фундаментом обеспечило снижение осадок и разности осадок основания фундаментов, что было подтверждено выполненными расчетами по различным сценариям работы грунтового основания. В данном решении сваи заводского изготовления являлись армирующими грунт элементами.

Список литературы

1. Иванов Ю.К., Коновалов П.А., Мангушев Р.А., Сотников С.Н. Основания и фундаменты резервуаров. Москва: Стройиздат; 1989.
2. Коновалов П.А., Мангушев Р.А., Сотников С.Н., Землянский А.А., Тарасенко А.А. Фундаменты стальных резервуаров и деформации их оснований. Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов; 2009.
3. ВСП 34-01-03 Руководство по расчету и конструированию металлических резервуаров и трубопроводов на складах горючего МО РФ. Москва; 2003.
4. Пособие по расчету и конструированию вертикальных и горизонтальных резервуаров и трубопроводов для строительства в обычных и сложных инженерно-геологических условиях. Основные положения по обследованию и ремонту резервуаров. Москва: 26 ЦНИИ МО РФ; 1998.

References

1. Ivanov Yu.K., Konovalov P.A., Mangushev R.A., Sotnikov S.N. Bases and foundations of reservoirs. Moscow: Stroyizdat Publ.; 1989 [in Russian].
2. Konovalov P.A., Mangushev R.A., Sotnikov S.N., Zemlyansky A.A., Tarasenko A.A. Foundations of steel tanks and deformations of their bases. Moscow: Publishing House of the Association of Construction Universities; 2009 [in Russian].
3. VSP 34-01-03 Manual for the calculation and design of metal tanks and pipelines in fuel depots of the Ministry of Defense of the Russian Federation. Moscow; 2003 [in Russian].
4. Manual on the calculation and design of vertical and horizontal tanks and pipelines for construction in ordinary and complex engineering and geological conditions. The main provisions for the inspection and repair of tanks. Moscow: 26 Central Research Institute of the Ministry of Defense of the Russian Federation; 1998 [in Russian].

Информация об авторах / Information about the authors

Илья Михайлович Иовлев, старший научный сотрудник лаборатории новых видов свайных фундаментов ЦИСФ НИИОСП им. Н.М. Герсеевича АО «НИЦ «Строительство», Москва

Ilya M. Iovlev, Senior Researcher of the Laboratory for New Types of Pile Foundations of the Pile Foundation Research Center of NIIOSP named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction, Moscow

Сергей Александрович Крючков[✉], и.о. заведующего лабораторией новых видов свайных фундаментов ЦИСФ НИИОСП им. Н.М. Герсеевича АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: lab38@mail.ru

тел.: +7 (499) 170-69-16

Sergey A. Kryuchkov[✉], Acting Head of the Laboratory for New Types of Pile Foundations of the Pile Foundation Research Center of NIIOSP named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: lab38@mail.ru

tel.: +7 (499) 170-69-16

Елена Александровна Метелица, научный сотрудник лаборатории новых видов свайных фундаментов ЦИСФ НИИОСП им. Н.М. Герсеевича АО «НИЦ «Строительство», Москва

Elena A. Metelitsa, researcher of the laboratory of new types of pile foundations of the Pile Foundation Research Center of NIIOSP named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction, Moscow

Сергей Александрович Рытов, канд. техн. наук, руководитель ЦИСФ НИИОСП им. Н.М. Герсеевича АО «НИЦ «Строительство», Москва

Sergey A. Rytov, Cand. Sci. (Engineering), Head of the Pile Foundation Research Center of NIIOSP named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction, Moscow

Татьяна Георгиевна Рытова, канд. техн. наук, доцент кафедры металлических и деревянных конструкций ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», Москва

Tatyana G. Rytova, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor of the Department of metal and wood structures of the National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow

Петр Иванович Ястребов, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории новых видов свайных фундаментов ЦИСФ НИИОСП им. Н.М. Герсевича АО «НИЦ «Строительство», Москва

Petr I. Yastrebov, Cand. Sci. (Engineering), Leading Researcher, Laboratory for New Types of Pile Foundations of the Pile Foundation Research Center of NIIOSP named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction, Moscow

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author