

EDN: MSRKVO

УДК 699.82:624.07:69.07:692.843

**В. А. МАЗУР, В. О. КИСЕЛЁВА**ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
Российская Федерация, Донецкая Народная Республика, г. о. Макеевский, г. Макеевка

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ТОЛЩИНЫ БЕТОННОГО ОСНОВАНИЯ ПОЛА КАРЕ РЕЗЕРВУАРНЫХ ПАРКОВ ХРАНЕНИЯ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ГРУНТАХ**

**Аннотация.** Статья посвящена определению рациональной толщины несущего слоя пола каре резервуарных парков хранения нефти и нефтепродуктов на водонасыщенных грунтах с учётом прокладки подземных трубопроводов. Определены проблемы разработки в области проектирования полов каре. Установлено минимальное значение толщины бетонного основания пола каре на основании существующих нормативных требований. При помощи численного моделирования методов конечных элементов в программном комплексе Plaxis 3D спрогнозировано состояние грунтового массива при устройстве полов каре на бетонном основании с подземной прокладкой трубопроводов, определены перемещения (осадки) рассматриваемых слоёв. Рассмотрено полное перемещение полов каре на участке резервуарного парка с подземной прокладкой трубопроводов при заданной нагрузке. Получено уравнение для прогнозирования рациональной толщины несущего бетонного слоя.

**Ключевые слова:** резервуарный парк, пол каре, толщина бетонного основания, перемещения (осадки), Plaxis 3D, водонасыщенный грунт.

### **ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Строительство новых резервуарных парков, а также увеличение объёмно-планировочных решений существующих нефтебаз необходимо выполнять с обеспечением эксплуатационной надёжности полов каре и требований по охране окружающей среды согласно Энергетической стратегии России на период до 2035 года. Для защиты окружающей среды федеральными законами Российской Федерации и нормами технологического проектирования предприятий по обеспечению нефтебаз нефтепродуктами [1–2] предусматриваются меры по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов в части устройства противофильтрационных экранов по всей территории резервуарных парков.

Существующие научные разработки и технологические регламенты в области проектирования и устройства полов каре не в полной мере соответствуют требованиям концепции безопасности зданий и сооружений, приведенной в Федеральном законе [3], так как не обеспечивают целостность гидроизоляционного слоя с учётом деформируемости оснований полов [4–5]. Поэтому тема работы является актуальной.

### **АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ**

Проектирование конструкций полов каре резервуарных парков основывается на опыте и научных разработках по расчёту и проектированию плоскостных конструкций – плит на упругом основании (например, полов по грунту), которым посвящены труды учёных В. З. Власова, В. С. Глазырина, С. Н. Клепикова, А. Г. Юрьева, Б. Г. Коренева, М. S. Cheung, J. A. Costa, С. A. Brebbia, R. S. Atkash [6–15] и др. Однако, научно обоснованные конструктивные решения полов на бетонном основании каре резервуарных парков с учётом компоновки парков, наполнения резервуаров, характеристик несущих оснований грунтов и т. д. отсутствуют.

© В. А. Мазур, В. О. Киселёва, 2023

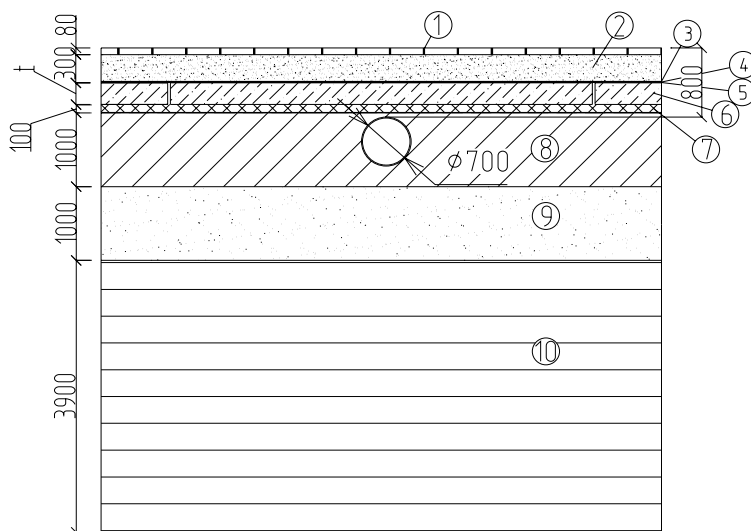


## ЦЕЛИ

Определить рациональную толщину бетонного основания пола каре резервуарного парка хранения нефти и нефтепродуктов на водонасыщенных грунтах при помощи расчётов и численного моделирования с учётом конкретных условий строительства.

## ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

В работе рассматривается многослойная конструкция пола каре на бетонном основании, выполненная по теплоизоляционному слою с учётом подземной прокладки трубопроводов по грунтовому массиву (рис. 1).

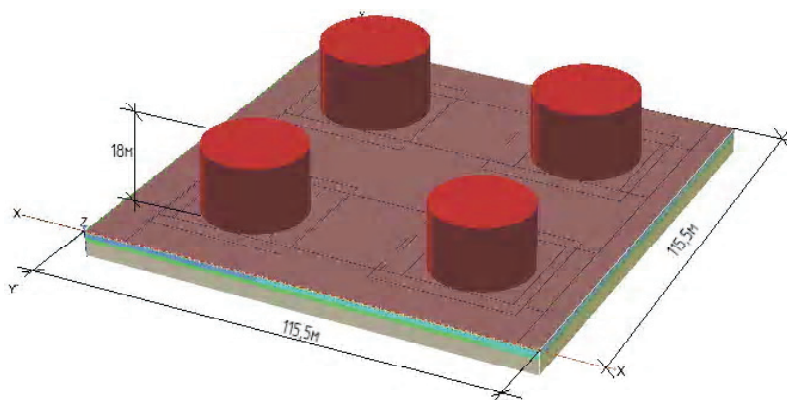


**Рисунок 1** – Рассматриваемая конструкция пола каре: 1 – тротуарная плитка; 2 – песчаная отсыпка; 3 и 5 – геотекстиль; 4 – бентонитовые маты; 6 – бетонное основание; 7 – теплоизоляционный слой; 8 – супесь; 9 – песок; 10 – водонасыщенная глина.

В качестве исследуемого принят резервуарный парк в группе, состоящий из четырёх ёмкостей объёмом 10 тыс. м<sup>3</sup> (рис. 2). Габаритные размеры парка и ёмкостей определены по нормативным требованиям и составляют:

- размеры резервуара: диаметр 28,5 м, высота 18 м;
- расстояние между резервуарами при групповом расположении – 30 м [16].

Ранее в процессе исследований установлено, что на толщину несущего основания полов каре влияет комплексное сочетание нагрузок (факторов) [17], состоящее из собственного веса конструкции



**Рисунок 2** – Модель резервуарного парка.

пола, транспортной, снеговой [18], экстренной (разлив нефти и нефтепродуктов) и прочих нагрузок. Кроме них необходимо учитывать характеристики грунтов в основании пола каре, компоновку резервуарного парка, уровень заполнения резервуаров нефтью и нефтепродуктами, способ прокладки трубопроводов.

Полученные значения сочетаний нагрузок представлены на рис. 3 с учётом неравномерно заполненных ёмкостей: частично загруженных (на 80 % заполнены нефтепродуктами, нагрузка от ёмкости и снега составляет 95 кПа) и пустых ёмкостей (учёт собственного веса резервуара и снегового покрова, нагрузка составляет 4,13 кПа).

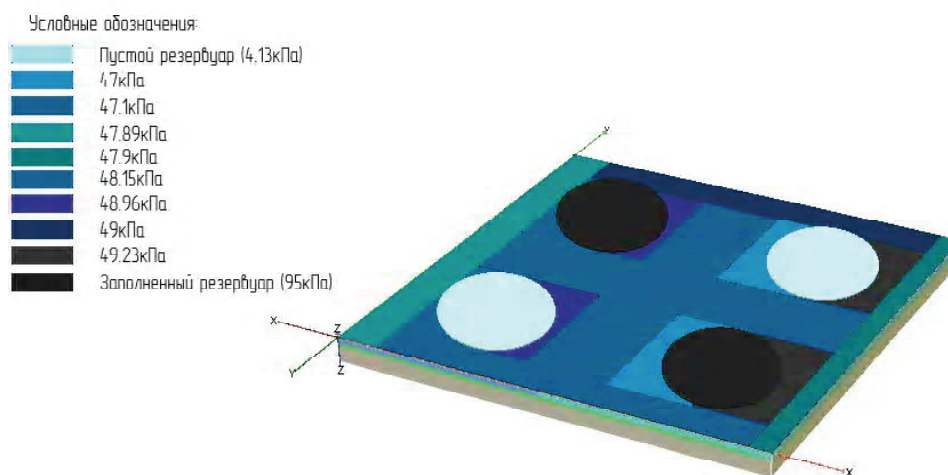


Рисунок 3 – Прикладываемая нагрузка на полы каре резервуарного парка.

Так как рекомендации по определению толщины бетонного основания полов каре резервуарных парков отсутствуют, используя опыт проектирования оснований плоскостных конструкций [19–21] в работе принимается допущение, что толщина основания составляет 0,1...0,3 м.

Основным требованием при проектировании бетонных конструкций по 2 группе предельных состояний является недопущение раскрытия трещин вследствие осадок грунтов свыше нормативных. Как правило, при проектировании полов открытых площадок величина раскрытия трещин не должна превышать 0,3 мм [22]. Но ввиду специфики требований по целостности гидроизоляционного слоя полов каре резервуарных парков (как следствие малой эластичности и растяжимости гидроизоляционных материалов) эта величина должна быть не более 0,15 мм [23].

Для определения осадок в работе модели грунтов рассматриваются следующим образом:

- грунты супесчаного и песчаного слоёв выполняются с учётом применения модели Мора-Кулона,
- глинистый водонасыщенный грунт рассматривается в качестве модели слабого грунта с учётом ползучести – Soft soil creep [24].

Водонасыщенный грунт представляет собой наиболее неблагоприятное условие при строительстве и характеризуется большой сжимаемостью, изменениями прочностных и деформационных характеристик грунта, возможностью возникновения неустойчивого состояния [25]. Используя данную модель грунта, в работе определяется её влияние на конструкцию пола каре резервуарного парка с учётом нагрузок.

Расчётная схема экспериментальной модели выполняется в программном комплексе Plaxis 3D [26]. Для оценки напряжений и деформаций, возникающих внутри геометрической модели, рассматривается полное перемещение (рис. 4) и вертикальное поперечное сечение по всему резервуарному парку.

Установлено, что наиболее значимые значения перемещений оснований по вертикали наблюдаются в местах прокладки подземных трубопроводов и под заполненными резервуарами, пространствами между двумя разнонаполненными резервуарами, представлены на рис. 5–6.

Подземная прокладка трубопроводов осуществляется с целью сохранения целостности трубопроводов с передающейся нагрузкой через всю конструкцию пола каре на грунты, в особенности в условиях водонасыщенных грунтов. Согласно рис. 5 наименьшие значения перемещений наблюдаются в начале прокладки трубопроводов (соответственно подачи нефтепродуктов), наибольшие – в конце, при пересечении двух ёмкостей с разной нагрузкой.

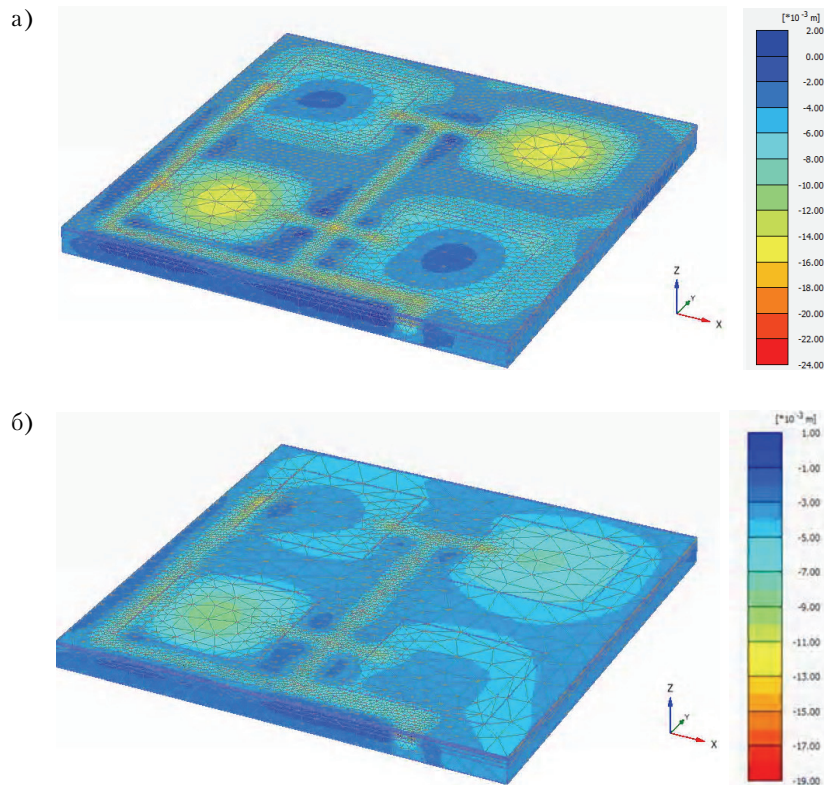


Рисунок 4 – Схема распределения полных перемещений по всему резервуарному парку при толщине бетонного основания: а) 0,1 м; б) 0,3 м.

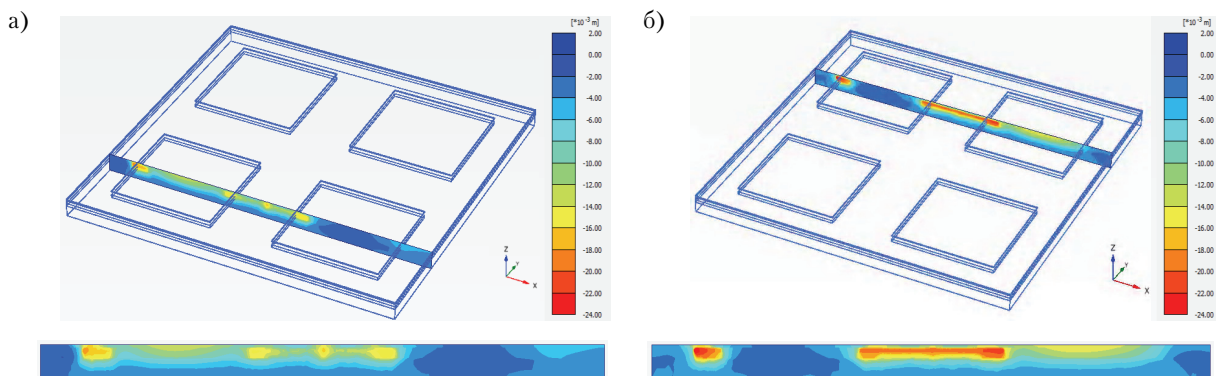


Рисунок 5 – Поперечные сечения, показывающие наибольшие значения полных вертикальных перемещений при толщине бетонного основания 0,1 м: а) в начале прокладки трубопроводов, б) в конце прокладки трубопроводов.

На рис. 6 представлены результаты численного моделирования влияния нагрузки на бетонное основание пола каре резервуарного парка. При толщине бетонного основания равным 0,1 м наблюдается более выраженная разница прикладываемой минимальной и максимальной нагрузки.

По результатам численного моделирования средняя осадка для полов резервуарного парка с учётом комплексного сочетания нагрузок при толщине бетонного основания 0,1 м составляет 2,4 см, при 0,3 м – 1,9 см, что находится в пределах допустимой осадки (не более 5 см) для оснований на рассматриваемых грунтах [27].

Для уточнения перемещения оснований в работе выполняется членение площадки резервуарного парка на участки размерами 6×6 м с учётом подземной прокладки трубопроводов.

Установлено, что наиболее деформативными являются участки в местах подземной прокладки трубопроводов на расстоянии 0,5 и 1,5 м без поворота (рис. 7, а, б) и с поворотом трубы (рис. 7, в, г) на 90°.



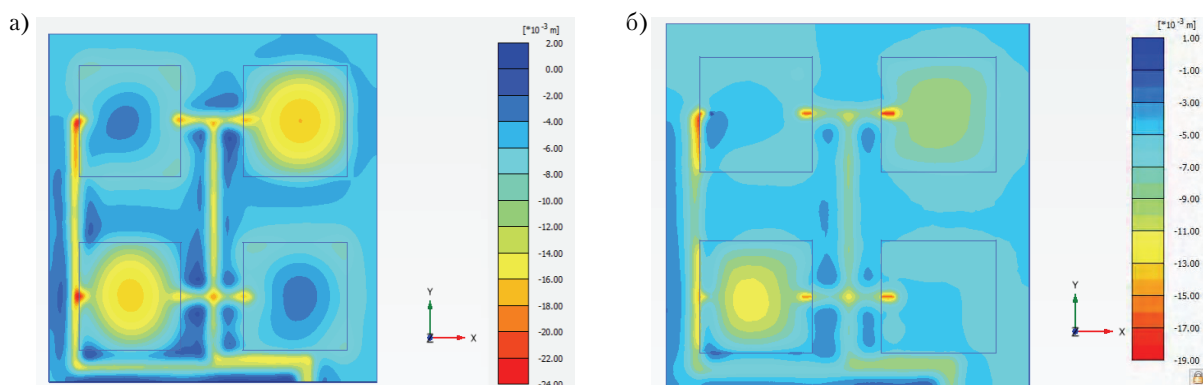


Рисунок 6 – Модели нагрузок при толщине бетонного основания: а) 0,1 м; б) 0,3 м.

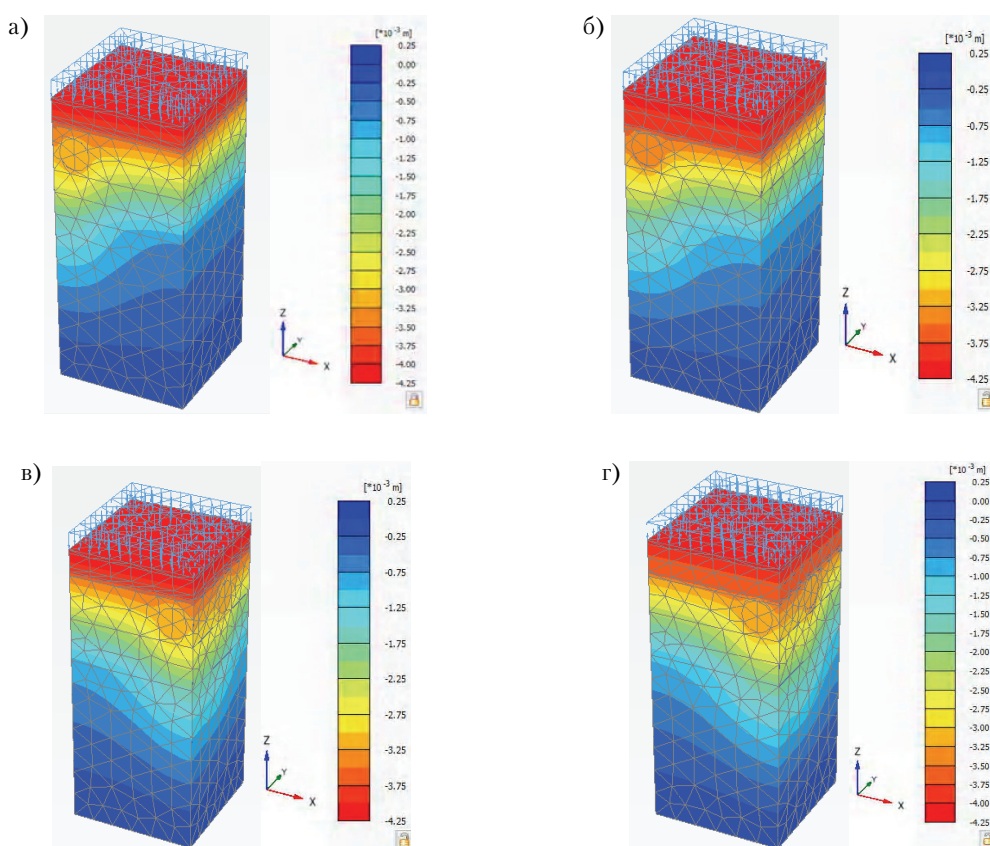


Рисунок 7 – Результаты сгенерированной сетки модели 6×6 м и полное перемещение на расстоянии трубы: а) 0,5 м при  $t_{\text{бет.осн.}} = 0,1$  м; б) 0,5 м при  $t_{\text{бет.осн.}} = 0,1$  м; в) 0,5 м при  $t_{\text{бет.осн.}} = 0,3$  м; г) 2,5 м при  $t_{\text{бет.осн.}} = 0,3$  м.

Наибольшая осадка наблюдается при устройстве подземного трубопровода при повороте трубы на  $90^\circ$  в конструкции пола каре на грунтовом основании и составляет 4,23 см при толщине бетонного основания 0,1 м, при 0,3 м – 4,1 см.

В работе определяется ширина раскрытия трещин исходя из требований объёмно-планировочного решения резервуарного парка, конструктивного решения пола каре, нагрузки и представленных в работе значений осадки. На рис. 8 представлены результаты зависимости раскрытия трещин от толщины бетонного основания и нагрузки.

С увеличением нагрузки при толщине бетонного основания 0,1 м наблюдается превышение предельно допустимых значений ширины раскрытия трещин, поэтому при проектировании полов каре

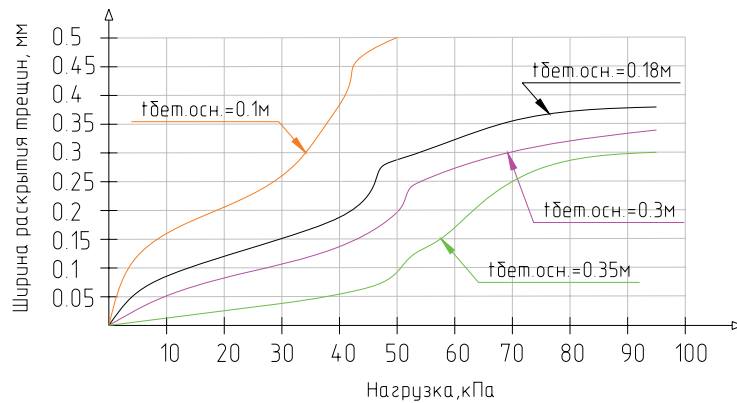


Рисунок 8 – Зависимость ширины раскрытия трещин.

недопустимо применение данной толщины. Согласно расчёту и представленному графику принимаем минимальную толщину основания равной 0,18 м.

В результате исследований в работе разрабатывается регрессионная модель, позволяющая прогнозировать толщину бетонного основания пола каре с учётом количества и объёма отдельных ёмкостей, допустимой ширины раскрытия трещин, комбинированной нагрузки учитывающей объём загрузки ёмкостей, снеговой нагрузки и пр.

Уравнение рациональной толщины несущего бетонного слоя имеет следующий вид

$$t_{\text{бет.осн.}} = 0,05 + 0,03 \cdot k_{\text{ёмк}} + 0,0027 \cdot V_{\text{РВС}} + 0,002 \cdot p + 0,06 \cdot a_{\text{тр.}}$$

- где  $k_{\text{ёмк}}$  – количество ёмкостей в группе, шт. (min 1, max 4);  
 $V_{\text{РВС}}$  – объём ёмкости резервуарного парка, тыс. м<sup>3</sup> (min 10, max 50);  
 $p$  – нагрузка, кПа (min 4.15, max 95);  
 $a_{\text{тр.}}$  – ширина раскрытия трещин по нормативам, мм.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

- Установлено, что минимальная толщина бетонного основания пола каре резервуарного парка хранения нефти и нефтепродуктов должна быть не менее 0,18 м из условий определения деформаций по 2 группе предельных состояний.
- Получено регрессионное уравнение позволяющее определять рациональную толщину бетонного основания пола каре резервуарного парка с учётом объёмно-планировочного решения резервуарного парка, суммарной нагрузки, неравномерной заполненности ёмкостей и критерия трещиностойкости.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Российская Федерация. Законы. Об охране окружающей среды : Федеральный закон № 7-ФЗ : [принят Государственной думой 20 декабря 2001 года ; одобрен Советом Федерации 26 декабря 2001 года]. – Москва : Кодекс, 2001. – 91 с. – Текст : непосредственный.
2. ВНТП 5-95. Нормы технологического проектирования предприятий по обеспечению нефтепродуктами (нефтебаз) : издание официальное : утвержден приказом Минтопэнерго России от 3 апреля 1995 г. № 64 : дата введения 1995-05-01 / разработан АО «Нефтепродуктпроект» Минтопэнерго России под руководством В. А. Гончарова. – Москва : Стандартиформ, 1995. – 36 с. – Текст : непосредственный.
3. Российская Федерация. Законы. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федеральный закон № 384-ФЗ : [принят Государственной думой 23 декабря 2009 года ; одобрен Советом Федерации 25 декабря 2009 года]. – Москва : Кодекс, 2009. – 24 с. – Текст : непосредственный.
4. Duncan, J. M. Nonlinear analysis of stress and strain in soil / J. M. Duncan, C. Y. Chang. – Текст : непосредственный // Journal of Soil Mechanics & Foundations Div. – 1970. – Volume 96. – P. 1629–1653.
5. Rowe, P. W. Theoretical meaning and observed values of deformation parameters for soil / P. W. Rowe. – Текст : непосредственный // Proceedings of Roscoe Memorial Symposium. – 1971. – Foulis : Henley-on-Thames. – P. 143–194.
6. Власов, В. З. Балки, плиты и оболочки на упругом основании / В. З. Власов, Н. Н. Леонтьев. – Москва : Физматгиз, 1960. – 492 с. – Текст : непосредственный.
7. Глазырин, В. С. К вопросу о расчете плит, лежащих на упругом основании / В. С. Глазырин. – Текст : непосредственный // Строительная механика и расчет сооружений. – 1964. – № 4. – С. 15–17.

8. Клепиков, С. Н. Расчет конструкций на упругом основании / С. Н. Клепиков. – Киев : Будівельник, 1967. – 185 с. – Текст : непосредственный.
9. Юрьев, А. Г. Расчет многослойных плит на упругом основании / А. Г. Юрьев, В. Г. Рубанов, А. С. Горшков. – Текст : непосредственный // Вестник Белгородского государственного технического университета им. В. Г. Шухова. – 2007. – № 1. – С. 51–59.
10. Коренев, Б. Г. К расчету неограниченных плит, лежащих на упругом основании / Б. Г. Коренев. – Текст : непосредственный // Строительная механика и расчет сооружений. – 1996. – № 2. – С. 29–31.
11. Cheung, M. S. A simplified finite element solution for the plates on elastic foundation / M. S. Cheung – Текст : непосредственный // Computers Structures: Pergamon Press. – 1978. – Volume 8. – P. 139–145.
12. Costa, J. A. Bending of plates on elastic foundations using the boundary element method / J. A. Costa. – Текст : непосредственный // Var. Meth. Eng. Proceedings. 2nd International Conference. – Berlin. – 1985. – P. 5/23–5/33.
13. Atkats, R. S. A finite difference variational method for bending of plates / R. S. Atkats, M. L. Baron. – Текст : непосредственный // Computer and Structures. – 1980. – Volume 11, issue 6. – P. 573–577.
14. Barrett, K. E. An exact theory of elastic plates / K. E. Barrett, S. Ellis – Текст : непосредственный // International Journal of Solids and Structures. – 1988. – Volume 24, issue 9. – P. 859–880.
15. Saygun, A. Analysis of plates on elastic foundation / A. Saygun, A. L. Trupia, I. Eren. – Текст : непосредственный // Studieric. – 1988. – № 10. – P. 375–404.
16. СП 155.13130.2014. Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности = Warehouses of oil and oil products. Fire safety requirements : издание официальное : утвержден приказом МЧС России от 26 декабря 2013 г. № 837 : дата введения 2014-01-01 / разработан ВНИИПО, «ПОЖОБОРОНПРОМ», ЗАО «АРТСОК», ООО «Каланча». – Москва : МЧС России, 2014. – 42 с. – Текст : непосредственный.
17. Мазур, В. А. Анализ факторов, влияющих на конструктивное решение полов и ограждения каре резервуарных парков / В. А. Мазур, В. О. Киселёва. – Текст : электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2022. – Выпуск 2022-3(155) Здания и сооружения с применением новых материалов и технологий. – С. 36–40. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49744134> (дата обращения: 30.09.23). – EDN: ELHLYY.
18. Киселёва, В. О. Определение снеговой нагрузки на открытые площадки нефтебаз и резервуарных парков / В. О. Киселёва – Текст : непосредственный // Строительство. Архитектура. Дизайн : материалы Четвертой Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, Курск, 21 апреля 2023 года / под редакцией проф. С. И. Меркулова. – Курск : Курский государственный университет, 2023. – С. 41–46.
19. СП 127.13330.2017. Полигоны по обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных отходов. Основные положения по проектированию = Landfills for the disposal and burial of toxic industrial wastes. Basic provisions on design : актуализированная редакция СНиП 2.01.28-85 : издание официальное : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 14 ноября 2017 г. № 1533/пр и введен в действие с 15 мая 2018 г. : дата введения 2018-05-15 / исполнители АО «ЦНС». – Москва : Стандартинформ, 2017. – 30 с. – Текст : непосредственный.
20. СП 29.13330.2011. Полы : издание официальное : утвержден приказом Минрегиона России от 27 декабря № 785 : актуализированная редакция СНиП 2.03.13-88 : дата введения 2011-05-20 / исполнители ОАО «ЦНИИПромзданий», ООО «ПСК Конкрит Инжиниринг». – Москва : Минрегион России, 2011. – 58 с. – Текст : непосредственный.
21. РД № 2020-126. Типовые проектные решения по усилению и восстановлению существующих конструкций каре резервуаров № 21-24; № 17-20 / АО «КОНЦЕРН ТИТАН-2». – Кайеркан : [б. и.], 2020. – 55 с. – Текст : непосредственный.
22. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции : издание официальное : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 19 декабря 2018 г. № 832/ пр : актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 : дата введения 2019-06-20 / исполнители АО «НИЦ "Строительство"», НИИЖБ им. А. А. Гвоздева. – Москва : Госстрой России, 2019. – 138 с. – Текст : непосредственный.
23. Зарубина, Л. П. Гидроизоляция конструкций, зданий и сооружений / Л. П. Зарубина. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2011. – 155с. – Текст : непосредственный.
24. Vermeer, P. A. A soft soil model that accounts for creep / P. A. Vermeer, H. Neher. – Текст : непосредственный // Proceedings of the PLAXIS-symposium Beyond 2000 in computational geotechnics, Amsterdam, 1999. – Rotterdam, Netherlands : Balkema, 1999. – P. 249–261.
25. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений : издание официальное : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 16 декабря 2016 г. N 970/пр : актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\* : дата введения 2017-06-17 / исполнители НИИОСП им. Н. М. Герсеванова АО НИЦ «Строительство». – Москва : Стандартинформ, 2017. – 204 с. – Текст : непосредственный.
26. Руководство пользователя Plaxis 3D AE 2015 : перевод с английского. – Санкт-Петербург : НИП-Информатика, 2015. – 430 с. – ISBN-13: 978-90-76016-19-1. – Текст : непосредственный.
27. ГОСТ 23161-2012. Грунты. Метод лабораторного определения характеристик просадочности : издание официальное : утвержден приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29

октября 2012 г. № 598-ст : актуализированная редакция ГОСТ 23161-78 : дата введения 2012-10-29 / НИИОСП им. Н. М. Герсеванова, ОАО «НИЦ "Строительство"». – Москва : Стандартинформ, 2013 – 15 с. – Текст : непосредственный.

Получена 10.11.2023

Принята 24.11.2023

VICTORIA MAZUR, VICTORIA KISELIOVA  
DETERMINATION OF THE RATIONAL THICKNESS OF THE CONCRETE BASE  
OF THE FLOOR OF THE TANK FARMS FOR THE STORAGE OF OIL AND  
PETROLEUM PRODUCTS ON WATER-SATURATED SOILS  
FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture», Russian  
Federation, Makeevka

**Abstract.** The article is devoted to determining the rational thickness of the load-bearing layer of the floor of the tank farms for storing oil and petroleum products on water-saturated soils, taking into account the laying of underground pipelines. The problems of development in the field of designing square floors are determined. The minimum value of the thickness of the concrete base of the square floor has been established on the basis of existing regulatory requirements. With the help of numerical modeling of finite element methods in the Plaxis 3D software package, the state of the soil massif was predicted when the floors of the square were laid on a concrete base with underground laying of pipelines, the displacements (precipitation) of the layers under consideration were determined. The complete displacement of the floors of the square on the site of the tank farm with underground laying of pipelines at a given load is considered. An equation for predicting the rational thickness of the bearing concrete layer is obtained.

**Keywords:** tank farm, square floor, concrete base thickness, displacement (precipitation), Plaxis 3D, water-saturated soil.

**Мазур Виктория Александровна** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и организации строительства ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: совершенствование конструктивно-технологических решений по устройству и капитальному ремонту ограждающих конструкций зданий и сооружений.

**Киселёва Виктория Олеговна** – ассистент кафедры технологии и организации строительства ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: конструктивно-технологические решения по устройству изоляции и защитных барьеров зданий и сооружений.

**Mazur Victoriia** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Technology and Management in Construction Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: improvement of structural and technological solutions for the installation and overhaul of enclosing structures of buildings and structures.

**Kiseliova Victoria** – Assistant, Technology and Management in Construction Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: structural and technological solutions for insulation and protective barriers of buildings and structures.