

*Зоценко Н.Л., д.т.н., профессор
Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка
Шокарев В.С., к.т.н., директор
Шаповал А.В., к.т.н., главный инженер проекта
Запорожское отделение НИИСК
Гриценко В.В., главный инженер проекта
Святун Р.Я., начальник строительного отдела
ПАО «ДИОС», г. Мариуполь*

УСИЛЕНИЕ ОСНОВАНИЯ СКЛАДА МАСЛА ЕМКОСТЬЮ 26000 ТОНН В МАРИУПОЛЕ

Проведен выбор эффективных фундаментов для пяти металлических емкостей масла, установленных на одной железобетонной плите и огражденных защитной стеной высотой 6,4 м, расположенных в прибрежной зоне Азовского моря в инженерно-геологических условиях, представленных неоднородными грунтами, в составе которых залегают водонасыщенные текучие илы, и с расчетной сейсмичностью 7 баллов. Рассмотрены четыре конкурентно способных варианта: буронабивные, призматические забивные, буроинъекционные сваи и плитный фундамент на основании, усиленном цементацией буросмесительным методом. В результате сравнения вариантов принят плитный фундамент на основании, усиленном цементацией по буросмесительному методу. Определено, что сметная стоимость таких фундаментов вдвое ниже, чем фундаментов на призматических сваях.

Ключевые слова: *ил, свая, цементация, буросмесительный метод, стоимость.*

*Зоценко М.Л., д.т.н., профессор
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка
Шокарев В.С., к.т.н., директор
Шаповал А.В., к.т.н., головний інженер проекту
Запорізьке відділення НДІБК
Гриценко В.В., головний інженер проекту
Святун Р.Я., начальник будівельного відділу
ПАТ «ДІОС», м. Маріуполь*

ПОСИЛЕННЯ ОСНОВИ СКЛАДУ ОЛІЇ ЄМНІСТЮ 26000 ТОНН У МАРИУПОЛІ

Проведено вибір ефективних фундаментів для п'яти металевих ємностей масла, встановлених на одній залізобетонній плиті і огорожених захисною стіною заввишки 6,4 м, розташованих в прибережній зоні Азовського моря в інженерно-геологічних умовах, представлених неоднорідними грунтами, у складі яких залягають водонасичені текучі мули, і з розрахунковою сейсмічністю 7 балів. Розглянуто чотири конкурентно здатних варіанти: буронабивні, призматичні забивні, буроін'єкційні палі і плитний фундамент на основі, підсиленій цементациєю за бурозмішувальним методом. У результаті порівняння варіантів прийнято плитний фундамент на основі, підсиленій цементациєю за бурозмішувальним методом. Визначено, що кошторисна вартість таких фундаментів вдвічі нижча, ніж фундаментів на призматичних палях.

Ключові слова: *мул, паля, цементация, бурозмішувальний метод, вартість.*

Zotsenko N., ScD, Professor
Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University
Shokarev V., PhD, director
Shapoval A., PhD, Chief Engineer Proect
Zaporizhia branch NIISK
Gritsenko V., Chief Engineer Proect
Svyatun R., Head of the construction department
PJSC «DIOS», Mariupol

STRENGTHENING THE BASE WAREHOUSE CAPACITY 26,000 TONS OF OIL IN MARIUPOL

Building area of the oil storage locates in the coastal zone of the Azov Sea. It is composed from heterogeneous soils, which includes liquid mud. Water saturation of the building area leads to the high level seismic magnitude – 7 points, which are additionally complicated building conditions. Oil storage complex consists of five tanks for oil storage with capacity of 6,500 tons. Tanks are thin-walled steel containers, which has cylinder form. All the tanks locate on the same reinforced-concrete slab, also protective concrete wall 6,4 m height have been constructed. Features of the structures, which are being designed and complicated soil conditions are caused necessity use of pile foundations or artificial bases.

Design load on the pile, which are cutting weak layers of soil base, is about 600-800 kN on each one. Such load value is proved by dependence that the use of piles with a higher design load will cause a significant increase of the transverse forces in plate grillage. It causes increasing of the grillage thickness, weight, concrete and reinforcement consumption. Follow foundation solutions have been considered: 1) monolithic concrete bored 14 m piles, which are manufactured under protection of the steel pipe with 600 mm diameter. Such manufacturing method provides pile high quality and reliability; also process occurs without dynamic action on the border buildings; 2) precast concrete prismatic piles with section 400x400 mm, length 14 m. Hydraulic hammers are possibly to use, it is significant reduce dynamic load of the surrounding buildings; 3) root monolithic concrete piles with 600 mm diameter and 14 m length.

Such piles are performed with replacement of a drill soil by concrete mixture; it is supplied to the hole through the auger under pressure. Performing of the root monolithic concrete piles in the water saturated soils is conducted without use of protecting pipe or clay mixture. It allows reducing the cost and accelerating process of piles arranging compared to the bored method with help of protection of the steel pipe. But presence of weak layers in the soil base can lead to increased concrete consumption, which increase building cost.

Also there is presence problem of the reinforcing cage immersing in piles fresh concrete. If we take root piles production cost by 1.0, so relative cost of bored will be 4,8. Precast concrete prismatic piles with section 400x400 mm, length 14 m has cost 1,25. 4) Concrete slab with soil base reinforcement by soil-cement elements by drilling-mixing technology is another foundation variant.

So, weak soil thickness is cut by soil-cement elements with 400 mm diameter and 7 m length, distance between its centers are 1,5 m. Relative cost of the last variant is 0,48 of the root variant.

Keywords: *mud, pile, cementation, drilling-mixing technology, building cost.*

Введение. Проект «Склад подсолнечного масла емкостью 26000 тонн и наливной причал в Мариупольском торговом порту» характерен прежде всего тем, что реализовать его необходимо в условиях прибрежной зоны Азовского моря, всего в 200 м от берега Азовского моря. Площадка строительства располагается на неоднородных грунтах, в толще которых залегают пески, насыщенные водой, под ними – суглинистые илы, текучие в водонасыщенном состоянии. Естественным основанием такие грунты служить не могут, поэтому возник вопрос выбора искусственного основания.

Анализ последних источников исследований и публикаций. Инженерно-геологические условия площадки строительства представлены на разрезе (рис. 1).

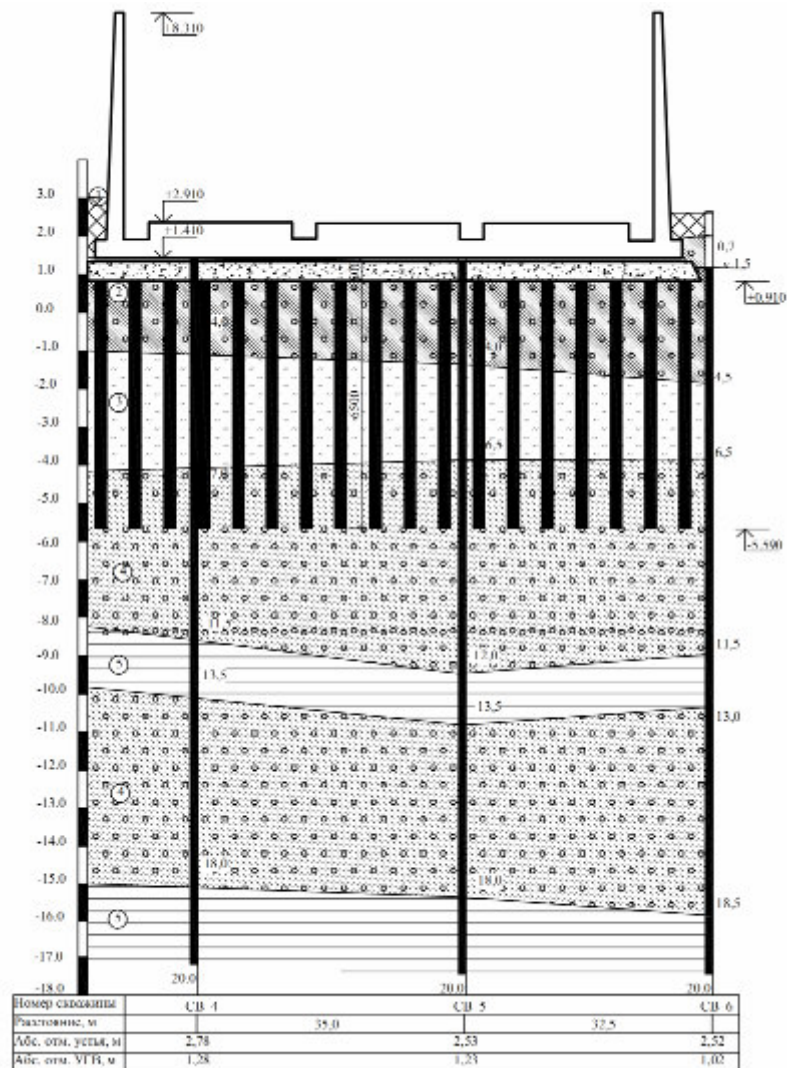


Рисунок 1 – Инженерно-геологический разрез

В геоморфологическом отношении территория приурочена к морской террасе Азовского моря. Рельеф площадки спокойный, носит ярко выраженный техногенный характер. Абсолютные отметки поверхности земли изменяются в пределах 2,5 – 3,0 м.

В геологическом строении территории принимают участие морские отложения, перекрытые техногенными (насыпными) грунтами.

В толще основания выделены пять инженерно-геологических элементов, характеристики которых приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Данные к инженерно-геологическому разрезу

Инженерно-геологические элементы	Толщина слоя, м	Физико-механические свойства грунтов			
		Плотность ρ , т/м ³	Модуль деформации E , МПа	Угол внутр. трения ϕ , град.	Удельное сцепление c , кПа
ИГЕ-1 – насыпные грунты (строймусор, песок)	0,5 – 1,5	1,72	–	–	–
ИГЕ-2 – пески желто-серые, разномзернистые, с ракушкой, средней плотности, однородные, насыщенные водой	2,0 – 3,8	1,92	19	31	1
ИГЕ-3 – илы суглинистые, с прослоями песка и ракушки, текучие в водонасыщенном состоянии	3,0 – 4,0	1,82	3	4	5
ИГЕ-4 – пески, разномзернистые, с ракушкой, глинистые, средней плотности, водонасыщенные, неоднородные	5,5 – 6,0	1,94	26	33	1
ИГЕ-5 – глины серые, опесчаненные тугопластичные	1,5	1,95	21	16	17

Площадка строительства располагается в г. Мариуполе с интенсивностью сейсмического воздействия 6 баллов (ДБН В. 1.1-12:2006, карта А). В связи с залеганием в основании склада водонасыщенных песков и суглинистых илов, в процессе микросейсмрайонирования интенсивность расчетного сейсмического воздействия составляет 7 баллов (ДБН В. 1.1-12:2006, табл.1.1).

Глубина заложения грунтовых вод составляет 1,3 – 1,5 м от поверхности Земли. Грунтовые воды обладают сильной сульфатной агрессией по отношению к бетону марки W4 на портландцементе. В процессе воздействия на железобетонные конструкции по содержанию в воде хлоридов при постоянном погружении вода – среда неагрессивная, при периодическом смачивании – средне агрессивная. При воздействии на металлические конструкции вода – средне агрессивная. По степени потенциальной подтопляемости площадка проектируемого строительства относится к подтопленным территориям.

Грунты ИГЭ-3, представленные суглинистыми илами, имеют очень низкие значения деформационно-прочностных характеристик, вследствие чего не могут быть рекомендованы в качестве основания фундаментов.

На основании ДБН В.2.1-10-2009 «Основания и фундаменты сооружений» (пункты 15.1, 15.4, 15.7) рекомендуется в сложных инженерно-геологических условиях, которые представлены слабыми грунтами, рассматривать вариант фундаментов неглубокого заложения на основании, усиленном грунтоцементными элементами.

В состав комплекса сооружений склада масла входят резервуары для его хранения емкостью по 6500 т в количестве пять штук, которые представляют собой металлические тонкостенные емкости в виде вертикальных цилиндров. Диаметр резервуаров по внутренней грани стенки составляет 17100 мм, высота – 32060 мм.

Резервуары ограждены защитной стеной высотой 6,4 м и полом из монолитного железобетона от аварийного разлива масла. Фундамент под резервуары выполнен из сплошной плиты – свайного ростверка толщиной 1500 мм под резервуарами и 500 мм на остальной площади. В нишах ограждающих стен расположены: насосная станция для слива-налива масла в железнодорожный и автомобильный транспорт, насосная станция для слива-налива масла в транспорт, насосная станция для слива-налива масла в танкер, бытовые помещения, операторская автомобильных весов. По верхней грани ограждающей стены проложены инженерные коммуникации и электрические сети. Общий вид монолитной железобетонной чаши представлен на рис. 2.

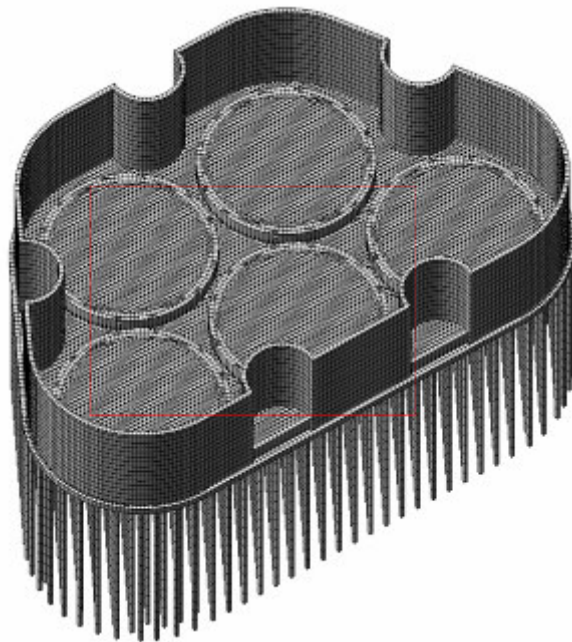


Рисунок 2 – Общий вид монолитной железобетонной чаши и фундамента

По верху резервуары имеют переходные и подъемные стационарные лестницы. На площадке расположены другие здания и сооружения, выполненные в металлическом варианте по каркасной схеме. Однако железобетонная чаша с резервуарами масла в них является основным комплексом со значительными нагрузками.

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы. Конструктивные особенности проектируемого склада и сложные инженерно-геологические условия площадки строительства определяют детальные исследования вариантов оснований и фундаментов сооружения.

Формулировка цели работы. Целью настоящей работы является выбор варианта основания и фундамента склада масла для конкретных конструктивных и инженерно-геологических условий строительства на основе детальной оценки конкурентно способных решений возведения нулевого цикла.

Основной материал и результаты. С учетом исходных данных для проектирования оснований и фундаментов рассматривались свайные фундаменты для прорезки слабых слоев основания с заделкой их в ИГЕ-4 – пески разнородные, с ракушкой, глинистые, средней плотности, водонасыщенные, неоднородные, из условия восприятия ими нагрузки не более 600 – 800 кН на одну сваю. Это условие обосновано тем, что применение свай с более высокой несущей способностью будет вызывать значительное увеличение поперечных сил в плитном ростверке и, следовательно, увеличение его толщины и соответственно веса.

Плитный фундамент опирается на основание, усиленное свайным полем, через шов скольжения для снижения влияния горизонтальных сил сейсмического воздействия на надземные конструкции.

Сравнение вариантов оснований выполнялось для устройства свайного основания под железобетонный ростверк фундаментов резервуаров масла и основания чаши для сбора аварийного разлива масла.

Длина сваи принята из условий залегания грунтовых слоев инженерно-геологического разреза под днищем железобетонного ростверка склада масла и несущей способности сваи. Количество свай принималось по результатам расчета основания и несущей способности сваи.

Учитывая все перечисленные неблагоприятные факторы, принято устройство свайного основания из свай на сульфатостойком цементе, посадка ростверка по глубине – выше уровня грунтовых вод.

Размер подошвы ростверка во всех вариантах принят из конструктивных соображений одинаковым (65,2×42,5 м), высота ограждающих стен – из условия аварийного разлива масла одного резервуара.

Расчет железобетонной чаши на свайном основании выполнялся в программном комплексе «Лира» (из условия соблюдения несущей способности одиночной сваи по грунту и материалу сваи) с учетом сил сейсмического воздействия.

Всего рассматривались четыре варианта оснований и фундаментов для железобетонной чаши.

Вариант 1. Буронабивные железобетонные монолитные сваи, сооружаемые под защитой стальной обсадки диаметром 600 мм, длиной 14 м. Такой метод устройства свай надежно обеспечивает их качество, процесс проходит без динамических воздействий на окружающие объекты. Недостатком следует считать высокую трудоемкость устройства и извлечения обсадки, что существенно сказывается на их стоимости [1, 2, 3].

Вариант 2. Забивные призматические железобетонные сваи сечением 400×400 мм, длиной 14,0 м. Обычно погружаются молотами, при этом возникают значительные динамические нагрузки на существующие объекты. В данном случае строящееся здание расположено на расстоянии 20 м от существующего, допустимое расстояние для конкретных условий составляет 25 м по таблице 1 ВСН 490-87 «Проектирование и устройство свайных фундаментов и шпунтовых ограждений при реконструкции промышленных предприятий и городской застройке». При необходимости можно использовать гидравлические молоты, что значительно снизит динамическую нагрузку [1, 2, 3].

Вариант 3. Буроинъекционные сваи, железобетонные, монолитные, диаметром 600 мм, длиной 14,0 м. Такие сваи выполняются путем замещения выбуренного грунта бетонной смесью, подаваемой на забой скважины через полый шнек под давлением. В водонасыщенных грунтах устройство буроинъекционных свай проводится без использования обсадных труб или глинистого раствора, что позволяет ускорить и удешевить процесс устройства свай по сравнению с буронабивным методом с использованием обсадных труб. Однако наличие слабых прослоек в грунте может привести к повышенному расходу бетона, что отразится на себестоимости строительства. Известны определенные трудности при погружении арматурного каркаса в свежий бетон сваи [4].

Вариант 4. Одним из эффективных направлений снижения стоимости свайного фундаментостроения является использование в качестве материала грунтов, залегающих в основании зданий. Это достигается при использовании для цементации грунтов бурсмесительной технологии. С помощью специального оборудования

выполняют рыхление грунта непосредственно в массиве без его извлечения. Одновременно в разрыхленный грунт нагнетается цементная суспензия и выполняется перемешивание и уплотнение грунтоцементной смеси. После ее схватывания по всей толщине слабого слоя образуется прочный грунтоцементный материал, который не размокает в водной среде. Такие грунтоцементные элементы (ГЦЭ) возможно устраивать и в водонасыщенном грунте, то есть ниже уровня грунтовых вод. Опыты, которые были проведены во времени по определению прочности грунтоцемента, показали его рост даже спустя годы после изготовления [5, 6].

Насыщение слабого грунта ГЦЭ существенно снижает его сжимаемость. Чем меньше расстояние между ГЦЭ, тем меньше сжимаемость основания. Происходит это явление по причине зависания слабого грунта за счет сил трения по поверхности ГЦЭ. Устройство таких оснований называется «армированием грунтов». Элементами армирования могут служить любые виды свай. При этом эффект закрепления примерно одинаков для железобетонных и грунтоцементных элементов.

Устройство цилиндрических грунтоцементных элементов в грунте проводится с помощью комплекта оборудования, в состав которого входят:

- буровой станок БМ-811м на шасси автомобиля «Урал» (рис. 3), модернизированный тем, что шнеки заменены на буровые штанги диаметром 100 мм, имеющие внутренний канал для подачи цементного раствора. Рабочий орган для разрушения грунта имеет отверстия для распределения цементной суспензии по всему сечению скважины. Для соединения штанг с растворомасосом предусмотрен вертлюг;
- растворомешалка для изготовления водоцементной суспензии;
- растворонасос для нагнетания суспензии в скважину.



Рисунок 3 – Общий вид буровой машины БМ-811м

Цементную суспензию размешивают в растворомешалке и нагнетают с помощью растворонасоса через вертлюг в полые штанги и далее в разрыхленный грунт. Для приготовления цементной суспензии можно использовать любую растворомешалку, выпускаемую отечественной промышленностью, при условии обеспечения ее однородности. Суспензию в скважину можно подавать с помощью строительного диафрагмового растворонасоса или бурового плунжерного насоса, которые обеспечивают давление в 0,5 – 0,7 МПа [6].

Разрушение грунта, впрыскивание в него цементной суспензии и перемешивание смеси осуществляются с помощью смесительно-бурового долота (бурсмесителя), которое состоит из полого корпуса, имеющего не менее одного отверстия для подачи закрепляющего раствора, забурника и как минимум двух лопастей с режущими кромками. Каждая лопасть закреплена на полой оси, при этом геометрическая ось поворота каждой лопасти смещена относительно центра веса площади в сторону передней режущей кромки. Во время работы за лопастями создается свободное от грунта пространство, в которое под давлением подается закрепляющий раствор. Это позволяет увеличить диаметр грунтоцементного элемента, обеспечить равномерное перемешивание материала, уменьшить трение при резании, что уменьшает затраты энергии на выполнение работ [7].

Литературные данные свидетельствуют о том, что механические характеристики грунтоцемента, который изготавливается непосредственно в массиве грунта, зависят от литологии грунтов, содержания цемента, водоцементного отношения грунтоцементной смеси, показателя воды рН, содержания водорастворимых солей, гидрофобных добавок и пр. [5]. Накопленный опыт показывает, что физико-химические характеристики лессовых грунтов, а именно: незначительное содержание глинистых частиц, щелочная реакция среды, малое количество легкорастворимых солей, легкая диспергация при водонасыщении за счет водорастворимых связей между частицами способствуют использованию их при изготовлении грунтоцемента.

Механические характеристики грунтоцемента (призменная прочность и модуль деформации) обеспечиваются наличием кристаллизационных связей, которые образовались в процессе твердения материала. На скорость твердения грунтоцемента наибольшее влияние оказывает температура среды. Модуль деформации зависит от плотности грунтоцемента. Экспериментально доказано, что при одинаковой призменной прочности модуль деформации больший для образцов с большей плотностью. Многими исследователями экспериментально установлен факт длительного твердения грунтоцемента во влажных условиях [8, 9]. На рис. 4 приведены графики увеличения призменной прочности грунтоцемента во времени.

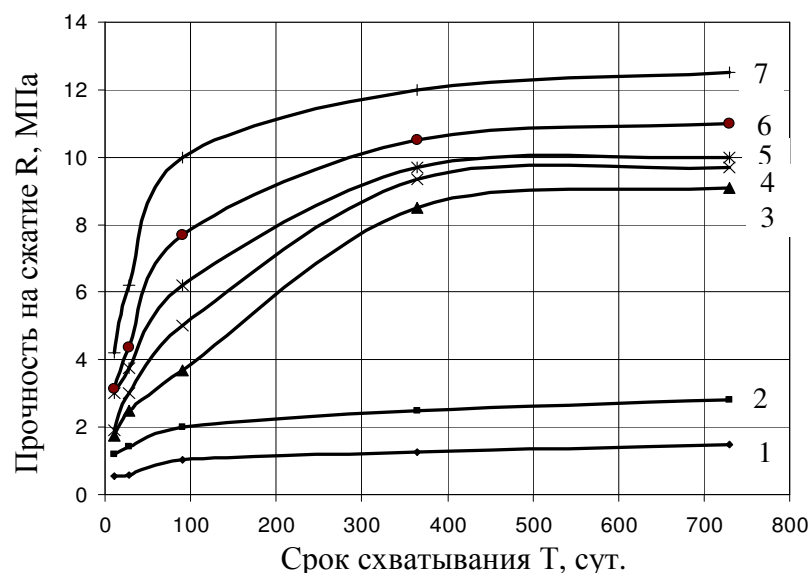


Рисунок 4 – Зависимость прочности на сжатие R , МПа, грунтоцемента от времени твердения при разном содержании цемента: 1 – 5%; 2 – 10%; 3 – 15%; 4 – 20%; 5 – 25%; 6 – 30%; 7 – 35%

Через два года прочность грунтоцемента увеличивается не менее, чем в два раза по сравнению с 28-суточным сроком. При твердении грунтоцемента в воздушно-сухих условиях прочность его за два года уменьшается вдвое. Этот эффект объясняется процессом карбонизации $\text{Ca}(\text{OH})_2$ при контакте с CO_2 воздуха и прекращением твердения смеси из-за отсутствия воды, которая необходима при гидратации цемента. На основании приведенных данных можно сделать вывод о целесообразности использования грунтоцемента только в подземных конструкциях при достаточно высоком уровне грунтовых вод.

Корреляционные уравнения механических характеристик грунтоцемента при содержании цемента 25 %

$$R = 1,81T + 2,5 \text{ МПа.} \quad (1)$$

Коэффициент корреляции $r = 0,971$.

$$E = 63,03T + 400,5 \text{ МПа.} \quad (2)$$

Коэффициент корреляции $r = 0,975$.

Специалисты-материаловеды неоднократно отмечали, что грунтоцемент, несмотря на его высокую пористость, обладает аномально высокой водонепроницаемостью. Для изучения водонепроницаемости грунтоцемента в лабораторных условиях были изготовлены образцы из суглинка числом пластичности $I_p = 10$ и песка кварцевого мелкого при содержании портландцемента М400 – 20% от массы сухого грунта. После 28-ми суток твердения грунтоцемента во влажных условиях образцы-цилиндры диаметром 150 мм исследовались по методу мокрого пятна на водонепроницаемость на приборе, изображенном на рис. 5, а. После установки образцов в гнезда прибора к ним прикладывалось давление водой. Водонепроницаемость серии образцов оценивалась максимальным давлением воды, при котором на четырех из шести образцах не наблюдалось ее просачивание. Это давление составило 1,4 МПа, что соответствует марке по водонепроницаемости W14.

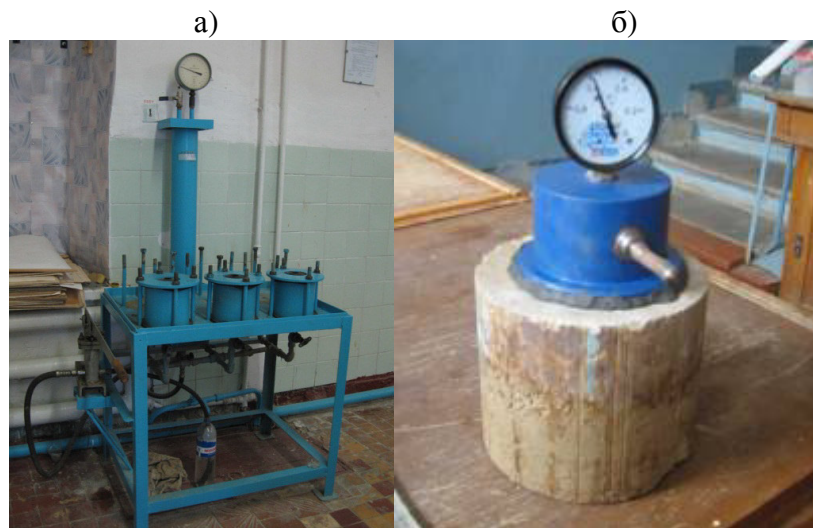


Рисунок 5 – Приборы для исследования грунтоцемента на водонепроницаемость: а) методом «мокрого пятна»; б) ВВ-2 типа «Агама» ускоренным методом

Параллельно водонепроницаемость образцов грунтоцемента определялась экспресс-методом с помощью прибора ВВ-2 типа «Агама» (рис. 5, б). Прибор используется для ускоренного определения водонепроницаемости бетона. Метод базируется на существовании экспериментальной зависимости между воздухопроницаемостью верхних слоев бетона и его водонепроницаемостью.

По результатам эксперимента марка грунтоцемента из суглинка по водонепроницаемости составила W 10–12 при коэффициенте вариации $v = 0,16$, а для песка – W 6–8 при коэффициенте $v = 0,12$, что соответствует общим представлениям о неоднородности свойств грунтов. Отметим, что такая высокая водонепроницаемость грунтоцемента была достигнута при обычном технологическом цикле его изготовления, без внесения добавок и дополнительного уплотнения.

Следует отметить, что значение водонепроницаемости грунтоцемента W, определенное методами «мокрого пятна» и ускоренным методом ВВ-2, совпало, что свидетельствует о достоверности полученных экспериментальных данных [8].

Высокая водонепроницаемость грунтоцемента открывает широкие возможности для его использования при возведении специальных сооружений, которые предназначены для длительного хранения токсичных жидкостей в емкостях, заглубленных ниже поверхности Земли.

На инженерно-геологическом разрезе (рис. 1) показан вариант армирования слабых грунтов основания склада ГЦЭ диаметром 400 мм и длиной 7 м, расстояние между ними в плане принято 1500 мм. При этом модуль деформации илов суглинистых с прослоями песка и ракушки, текучих в водонасыщенном состоянии, повысится от 3 до 14 МПа.

Таблица 2 – Сравнение вариантов фундаментов

Сравнительные параметры	Варианты устройства оснований			
	Бурунабивные сваи в обсадных трубах	Забивные сваи	Буруинъекционные сваи	Основание, армированное ГЦЭ
К-во свай (элементов)	685	685	685	1027
Подушка из щебня, м ³	-	-	-	1385
Монолитный бетон, м ³	1579	-	1579	-
Расход арматуры, т	185	-	185	-
Обсадные трубы, т	824	-	-	-
Сборный ж/бетон, м ³	-	1534	-	-
Грунтоцемент, м ³	-	-	-	1335
Сметная стоимость в ценах 2012 г., грн	22 381 311	5 845 690	4 689 456	2 269 670

Проведенные исследования позволяют сделать такие **выводы**:

1. При проектировании склада масла в порту Мариуполя были рассмотрены три варианта свайных фундаментов:

– бурунабивные железобетонные монолитные сваи, сооружаемые под защитой стальных обсадных труб, диаметром 600 мм и длиной 14 м. Такой метод устройства свай надежно обеспечивает их качество, процесс проходит без динамических воздействий на существующие сооружения;

– забивные призматические сваи сечением 400×400 мм и длиной 14 м. Для их погружения, при необходимости, можно использовать гидравлические молоты, что значительно уменьшит динамическую нагрузку на существующие сооружения;

– буруинъекционные железобетонные монолитные сваи диаметром 600 мм и длиной 14 м. Такие сваи устраиваются путем замещения выбуренного грунта бетонной смесью, которая подается на забой скважины через полый шнек под давлением. При этом нет необходимости применения обсадных труб или глинистого

раствора при проходке неустойчивых грунтов. Известны определенные трудности при погружении арматурного каркаса в свежий бетон.

2. Если принять стоимость буронабивных свай за 1,0, то относительная стоимость буронабивных свай составит 4,8. Для призматических забивных свай этот показатель будет равен 1,25.

3. Четвертым вариантом фундамента склада рассмотрено железобетонную плиту на основании, которое усилено цементацией по буросмесительной технологии. В соответствии с проектом, толща слабых грунтов основания пронизывается вертикальными ГЦЭ диаметром 400 мм и длиной 7, расстояние между ними в плане составило 1,5 м. Относительная стоимость этого варианта фундаментов склада составляет 0,48 от сметной стоимости буронабивных свай.

4. Применение буросмесительной технологии в неблагоприятных инженерно-геологических условиях позволило избежать дорогостоящих вариантов устройства свайных фундаментов и выполнить фундаменты неглубокого заложения.

Литература

1. Мангушев Р. А. *Современные свайные технологии* / Р. А. Мангушев, А. В. Ершов, И. И. Осокин. – СПб-М. : СПбГАСУ, 2007. – 160 с.
2. Еремин В. Я. *Некоторые проблемы качества буронабивных свай* / В. Я. Еремин, А. В. Еремин, Н. В. Сарафанов // *Труды Междунар. научно-техн. конф. «Проблемы механики грунтов и фундаментостроения в сложных грунтовых условиях», Т. 1.* – Уфа : БашНиистрой, 2006. – С. 85 – 96.
3. Куңц Ш. *Новый путь оптимизации и испытания оснований из буронабивных свай: технология Lift Cell* / Ш. Куңц, Л. Хюмеллер, А. Лемман // *Труды Междунар. конф. «Геотехнические проблемы мегаполисов».* – М. : ПИ «Геореконструкция», 2010. – Т. 4. – С. 1275 – 1280.
4. Слюсаренко Ю. С. *Проблеми будівництва в ущільненій міській забудові* / Ю. С. Слюсаренко, О. М. Галинський, В. І. Садовський // *Будівельні конструкції: міжвідомчий науково-технічний збірник.* – Вип. 71, Т. 1. – К. : НДІБК, 2008. – С. 15 – 22.
5. Токин А. Н. *Фундаменты из цементогрунта* / А. Н. Токин. – М. : Стройиздат, 1984. – 184 с.
6. *Characteristics of manmade stiff grounds improved by drill-mixing method* / M. Zotsenko, Yu. Vynnykov, I. Lartseva, V. Shokarev, V. Krysan // *Proc. of the 15th European Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering «Geotechnics of Hard Soils – Weak Rocks».* – Athens, 2011. – P. 1097 – 1102.
7. *Innovative solutions in the field of geotechnical construction and coastal geotechnical engineering under difficult engineering-geological conditions of Ukraine* / M. Zotsenko, Y. Vynnykov, M. Doubrovsky and others // *Proc. of the 18th Intern. Conf on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering.* – Paris, 2013. – Vol. 3. – P. 2645 – 2648.
8. Zotsenko N. *Soil-cement piles by boring-mixing technology* / N. Zotsenko, Y. Vynnykov, V. Zotsenko // *Energy, energy saving and rational nature use.* – Oradea University Press, 2015. – P. 192 – 253.
9. *Індустріальна безкапітально-безбалкова конструктивна система і нові конструктивно-технологічні рішення основ і фундаментів на основі сучасних будівельних матеріалів для зведення житла та об'єктів інфраструктури* / А. М. Павліков, М. Л. Зоценко, А. М. Бамбура, С. А. Тимошенко / *Зб. наук. праць Українського державного університету залізничного транспорту.* – Х., 2015. – Вип. 155. – С. 53 – 61.

© Зоценко М.Л., Шокарев В.С., Шаповал А.В., Гриценко В.В., Святун Р.Я.
Надійшла до редакції 14.12.2015