

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2019, №2, Том 11 / 2019, No 2, Vol 11 <https://esj.today/issue-2-2019.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/68SAVN219.pdf>

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Гареева Н.Б., Резцова В.П., Туйгунова А.Р. Проектирование оснований фундаментов резервуаров с использованием данных статического зондирования // Вестник Евразийской науки, 2019 №2, <https://esj.today/PDF/68SAVN219.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**For citation:**

Gareeva N.B., Rezvova V.P., Tuigunova A.R. (2019). About use result cone penetration test for design foundation of tank. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 2(11). Available at: <https://esj.today/PDF/68SAVN219.pdf> (in Russian)

УДК 624.15

**Гареева Наталия Борисовна**

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа, Россия  
Профессор кафедры «Автомобильные дороги и технология строительного производства»  
Доктор технических наук, доцент  
E-mail: [natagon56@mail.ru](mailto:natagon56@mail.ru)

**Резцова Валентина Петровна**

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа, Россия  
Старший преподаватель кафедры «Строительные конструкции»  
E-mail: [Rezvova54@mail.ru](mailto:Rezvova54@mail.ru)

**Туйгунова Алина Ринатовна**

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа, Россия  
Студент  
E-mail: [tuigunova\\_alinka@mail.ru](mailto:tuigunova_alinka@mail.ru)

## **Проектирование оснований фундаментов резервуаров с использованием данных статического зондирования**

**Аннотация.** В представленной статье авторами рассматриваются вопросы проектирования и строительства резервуаров на плитном фундаменте, основанием которого служат «слабые» сильно-сжимаемые и неравномерно-сжимаемые неоднородные грунты. Ошибки при использовании этих грунтов в качестве оснований больших по площади фундаментов могут привести к значительным неравномерным деформациям грунтов, что приведет к дополнительным напряжениям в стенке резервуара и в сварном шве, соединяющем ее с днищем, и даже, к эксплуатационной непригодности резервуара. В данной статье приводятся инновационные предложения по применению метода использования результатов статического зондирования. Представлены результаты проведенных натурных испытаний штампов статическими нагрузками и зондирования в непосредственной близости от штампов, которые показывают, что существует зависимость между осадкой и размером фундамента. Авторы предлагают использовать их метод для оценки основных расчетных характеристик грунта: коэффициента постели и отпора грунта в пределах всей строительной площадки на глубине залегания плитного фундамента, что позволяет повысить надежность расчетов и проектирования основания данного фундамента и оптимизировать экономическую составляющую проекта.

Для проведения расчетов разработана программа, позволяющая получать цифровую трехмерную оценочную модель сопротивления грунта на базе данных статического

зондирования. В статье сравниваются технико-экономические параметры проектирования фундамента с использованием предложенного метода и традиционного метода исследования. Следует предположить, что на площадках с большим количеством инженерно-геологических элементов эффективность предлагаемого метода составит около сорока процентов.

Ценность метода еще и в том, что он позволяет учитывать неоднородность грунтового основания и вычислять характеристики даже таких «слабых» грунтов, для которых невозможно применить традиционные методы изысканий.

**Ключевые слова:** статическое зондирование; «слабые» сильно-сжимаемые; неравномерно-сжимаемые; неоднородные грунты; модуль деформации; коэффициент постели; резервуар; коэффициент постели; отпор грунта; плитный фундамент

Нефтебазы и нефтехранилища в составе резервуарных парков выполняют ценную функцию, так как они регулируют взаимодействия между отправителем и получателем, исключая перебои в поставках и потреблении продуктов нефтяной промышленности. Как правило, емкости для хранения нефтепродуктов – это вертикальные металлические наземные резервуары. Фундамент такого сооружения обычно выполняется в виде сплошной плиты. Из опыта строительства известно, что при использовании цилиндрических резервуаров их днища выполняют сплошными из листовой стали или монолитного железобетона. Площадь днища таких конструкций составляет около 3 500 квадратных метров. Поэтому неоднородность грунтового основания под фундаментом резервуара может привести к неравномерным осадкам фундамента, что крайне опасно [1; 2].

Для уменьшения разницы деформаций, происходящей из-за неравномерной осадки, строительство фундамента резервуара выполняют на песчаной подушке. Однако строительство в современных условиях осложняется тем, что приходится осваивать площадки с залеганием «слабых» сильно-сжимаемых и неравномерно-сжимаемых грунтов. При проектировании и строительстве на таких грунтах необходим осторожный и взвешенный подход. Ошибки при использовании этих грунтов в качестве оснований значительных по площади фундаментов могут вызвать значительные неравномерные деформации. Это приведет к тому, что увеличится напряжение в стенке резервуара и в сварном шве, соединяющем ее с днищем [2].

Очень часто из-за недостаточного объема изысканий и неполных данных о характеристиках грунтов при проектировании металлического днища резервуара или плитного железобетонного фундамента принимается недопустимый запас прочности. При расчетах днища или плиты величина коэффициента постели, как правило, выбирается из справочных таблиц. Причем выбор выполняется по типу грунта, и принимается наименьшее из значений. Поэтому при проектировании плитных фундаментов необходимо иметь деформационные характеристики основания по всей площади плиты. А для этого необходимо повысить надежность и качество инженерно-геологических изысканий путем увеличения их объема и точности.

Для получения деформационных характеристик грунтового основания используют эталонный на данный момент метод полевых испытаний штампа статическими нагрузками в шурфе на глубине проектируемого фундамента. При этом, согласно действующим нормативным документам можно выполнить три испытания штампа, а в отдельных случаях и два, если определенные из штамповых испытаний деформационные характеристики имеют отклонения от среднего значения не более, чем на двадцать пять процентов. Нормами предлагается использовать и другой метод оценки деформационных характеристик – лабораторные испытания на сжатие монолитов, отобранных при бурении скважин. Применение лабораторного метода ведет к значительным коэффициентам запаса, что непозволительно для

современных методов оценки точности определений деформационных характеристик. Кроме этого, существенного недостатка данного метода, в связных грунтах текучей и текуче-пластичной консистенции обычно не представляется возможным отобрать при бурении монолиты с ненарушенной структурой.

Для расчета оснований плитных фундаментов проектировщики пользуются исходными данными по грунтам, которые получают в результате выполненных объемов инженерно-геологических изысканий. Это физико-механические характеристики грунтового основания, единые в плане для всей строительной площадки.

При сложных напластованиях в основании могут встречаться линзы более «слабого» или «прочного» грунта, имеющие различные по величине деформационные характеристики. Проектируемый на таком основании резервуар может получить значительную по величине неравномерную осадку, а это, в свою очередь, может вызвать разрыв сварного шва листов мембранной конструкции [2].

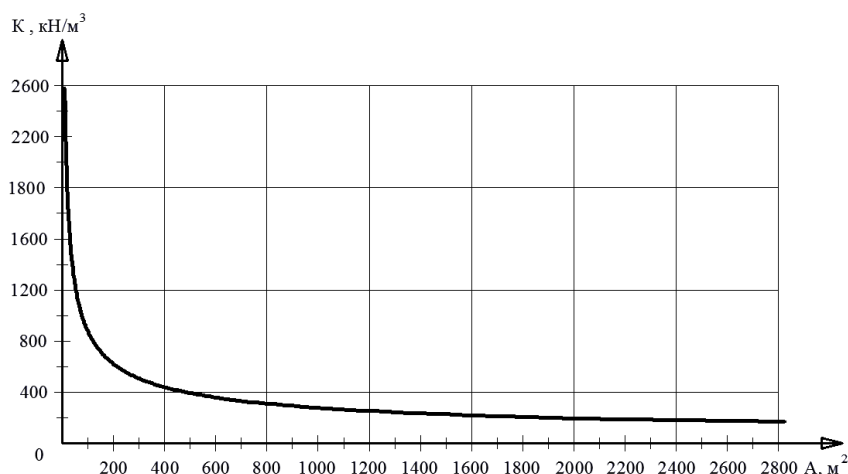
Кроме названных трудностей, при проектировании плитных фундаментов значительных размеров в плане затруднения возникают и при определении коэффициента постели основания – основной деформационной характеристики грунтового массива.

По результатам выполненных исследовательских работ [4] для определения коэффициента постели была предложена расчетная формула:

$$K = \frac{E}{(1-\mu^2) \cdot k_0 \cdot \sqrt{A}}, \quad (1)$$

где:  $K$  – коэффициент постели;  $E$  – модуль деформации грунта;  $\mu$  – коэффициент Пуассона;  $k_0$  – коэффициент, зависящий от отношения сторон прямоугольной фундаментной плиты;  $A$  – площадь фундамента.

Для оценки возможности применения предлагаемой зависимости (1) для расчетов фундаментных плит по деформациям она была проанализирована при расчетах фундаментной плиты проектируемого резервуара, выполненного в металле. Инженерно-геологический элемент, служащий несущим слоем на уровне подошвы фундамента, был представлен мягко-пластичной глиной, модуль деформации которой  $E$  и коэффициент Пуассона  $\mu$  имели одинаковые числовые значения в каждой точке массива. Поэтому, используя для расчета формулу (1), меняем только величину площади фундаментной плиты  $A$ . Зависимость (1) можно представить в виде графика, изображенного на рисунке 1.



**Рисунок 1.** График зависимости коэффициента постели  $K$  от площади фундаментной плиты  $A$  (составлен автором)

Из рисунка 1 видно, что для плитного фундамента, имеющего площадь более пятисот квадратных метров, значение коэффициента постели составляет менее  $400 \text{ кН/м}^3$ . Необходимо отметить, что такая величина  $K$  является значительно заниженной, потому что имеющиеся рекомендации по оценке величины коэффициента постели [3; 5; 6; 7] говорят о том, что минимально возможное значение коэффициента постели грунтов составляет  $1000 \text{ кН/м}^3$ .

Детально вопросы расчета основания плитного фундамента больших размеров рассмотрены в [3]. Приводятся результаты проведенных натурных испытаний статическими нагрузками, которые показывают, что существует зависимость между осадкой и размером фундамента. Причем при значительной площади фундаментной плиты зависимость становится линейной. Поэтому можно сделать вывод о том, что в этом случае на осадку влияет лишь внешняя нагрузка. Даются рекомендации, что расчетный коэффициент постели фундаментной плиты площадью более  $100 \text{ м}^2$  можно определить по результатам статических испытаний штампа стандартного размера. Принимая во внимание рекомендации [3], коэффициент постели рассматриваемого инженерно-геологического элемента, как несущего слоя плитного фундамента большой площади, должен составлять  $1400 \text{ кН/м}^3$ . Согласно рисунку 1 данному коэффициенту постели соответствует площадь плиты  $36 \text{ м}^2$ , которая характеризует размер расчетного элемента, для которого необходимо вычислить коэффициент постели.

Выполняя расчет фундаментной плиты по деформациям, необходимо задать величину отпора грунта для каждого расчетного элемента основания, значение которого можно вычислить по величине сопротивления грунта под наконечником зонда. Процесс вдавливания зонда при статическом зондировании незначительно нарушает природную структуру грунта в отличие от других испытаний, что позволяет определять характеристики грунта с высокой степенью точности.

Многие авторы изучали вопросы возможности определения характеристик грунтов в массиве с использованием статического зондирования. Имеются рекомендации в виде корреляционных формул для определения модуля деформации грунтов по величине сопротивления грунта под наконечником зонда  $q_s$  [9; 10; 11; 12].

По результатам многочисленных параллельных испытаний штампов и зондирования в непосредственной близости от них УГНТУ совместно с институтом БашНИИстрой предложена формула для определения модуля деформации глинистых грунтов

$$E = 7,12 \cdot q_s, \quad (2)$$

где:  $7,12$  – безразмерный коэффициент;  $q_s$  – сопротивление грунта под наконечником зонда при стандартной скорости вдавливания зонда.

Зависимости (1) и (2) позволяют получить расчетную формулу для определения коэффициента постели по данным зондирования:

$$K = \frac{7,12 \cdot q_s}{(1-\mu^2) \cdot k_0 \cdot \sqrt{A}}, \quad (3)$$

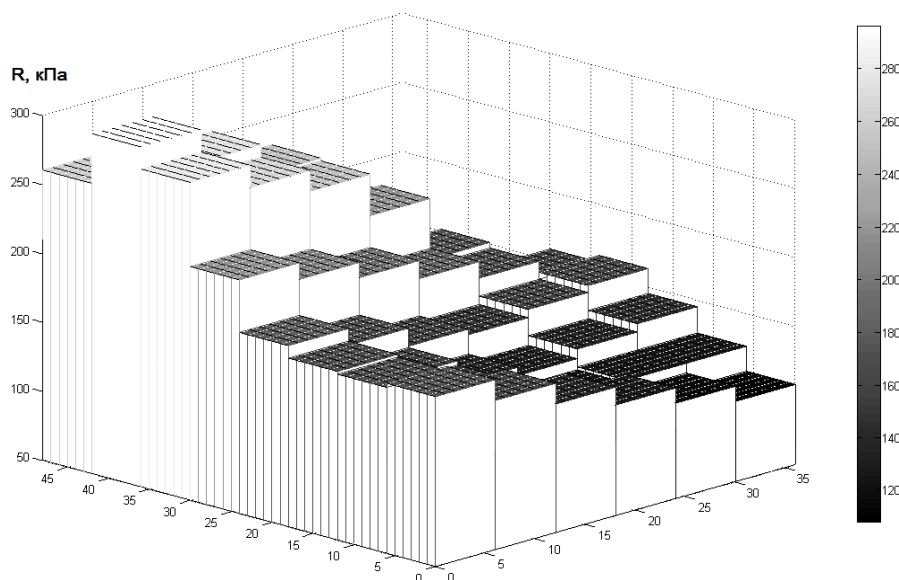
Для оценки точности зависимости (3) на площадках, сложенных мягко-пластичными глинами, статическими нагрузками в шурфах были испытаны штампы, в непосредственной близости с которыми производилось зондирование. Обработка результатов параллельных испытаний штампов и зондирования показала удовлетворительную сходимость полученных результатов.

Для апробации предлагаемого метода были выбраны фундаменты резервуаров на комбинате Полиэф в Республике Башкортостан. Несущий слой основания представляет собой

один инженерно-геологический элемент – мягко-пластичный суглинок с модулем деформации  $E = 8$  МПа. При статическом зондировании была принята прямоугольная координатная сетка с размерами ячейки  $18 \times 12$  м, в узлах которой размещено 15 точек зондирования. При этом полученные максимальное и минимальное значения сопротивления грунта под наконечником зонда на глубине 2 м от поверхности отличались в 3 раза.

Результаты статического зондирования обрабатывались с помощью программного обеспечения «STEP», при этом величины сопротивления грунта под наконечником зонда на глубине подошвы плитного фундамента резервуара в каждом узле откладывались по вертикальной оси пространственной системы координат. Принималось, что эти точки принадлежат некоторой ломанной поверхности. Затем её сглаживали, что позволило получить значение лобового сопротивления под наконечником зонда на предполагаемой глубине заложения фундаментной плиты в виде трехмерной цифровой поверхности. Также выполнялось построение плана, отображающего изолинии величин  $q_s$  по всей площади плитного фундамента резервуара [12].

Итоговый расчет, который выполняет программа, – это вычисление максимального отпора грунта  $R$  по максимально допустимой осадке фундаментной плиты резервуара. Графическое изображение полученных значений отпора изображается в виде эпюры, которая приведена на рисунке 2. Зная величины отпора грунта, проектировщик определяет характер армирования фундаментной плиты резервуара и подбирает необходимую площадь рабочей арматуры [8].



*Рисунок 2. Эпюра распределения отпора грунта на уровне заложения фундамента, кПа (составлен автором)*

Чтобы оценить эффективность предлагаемого метода, рассчитывались технико-экономические показатели расхода арматуры и бетона при проектировании фундаментной плиты резервуара. Сравнение проводилось на основе двух различных вариантов инженерно-геологических изысканий на площадке строительства резервуара: по результатам стандартных испытаний штампов в трех точках площадки и по предлагаемому методу с использованием статического зондирования по сетке с пятнадцатью точками. Исходя из сметы, составленной на изыскания по каждому из рассматриваемых вариантов, штамповые испытания на двадцать процентов более затратные, чем статическое зондирование. К тому же статическое зондирование является более скоростным методом.

Для каждого варианта изысканий был выполнен расчет фундаментной плиты резервуара. Подбор арматуры и проверка по предельным состояниям велась в программном комплексе SCAD Office. Результаты расчетов показали, что процент армирования плиты, вычисленный на основе традиционного метода, выше в сравнении с предложенным методом. Однако, согласно изополям верхнего армирования, в углу площадки, над зоной «слабого» грунта, площади рабочей арматуры недостаточно, так как характеристики основания были заданы под всей фундаментной плитой одинаковыми.

Максимальная осадка плиты в случае штамповых испытаний выше на тринадцать процентов, что, в свою очередь, вызывает необоснованный запас прочности.

Основываясь на результатах выполненных исследований, можно сделать вывод, что разработанный метод наиболее достоверно отразил работу фундаментной плиты резервуара, выявил характер армирования и площадь арматуры с большей надежностью, а это, в свою очередь, позволило сократить расход рабочей арматуры. Следует особо отметить, что данная точность не требует дополнительных затрат на исследования грунтов площадки, а наоборот, экономит средства и время на изыскания.

Основные технико-экономические показатели эффективности использования предлагаемого метода приведены в таблице 1. Следует предположить, что на площадках с большим количеством инженерно-геологических элементов эти показатели могут возрасти до тридцати-сорока процентов.

Таблица 1

**Основные технико-экономические показатели эффективности метода расчета фундаментных плит с использованием статического зондирования**

№	Показатель эффективности	Значение эффективности, %
1	Снижение затрат на инженерно-геологические изыскания	20
2	Уменьшение расхода рабочей арматуры фундаментной плиты	15
3	Общее снижение расхода материалов, за счет уменьшения значения максимальной осадки основания	13

Итак, действующие нормы проектирования и строительства сооружений резервуаров требуют более качественно подходить к определению параметров грунтового основания, что в полной мере гарантирует разработанный метод. Анализ технико-экономических показателей выявил высокую эффективность метода. Его ценность еще и в том, что он позволяет учитывать неоднородность грунтового основания и вычислять характеристики даже таких «слабых» грунтов, для которых невозможно применить традиционные методы изысканий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Коршак А.А., Коробков Г.Е., Муфтахов Е.М. Нефтебазы и АЗС: Учебное пособие / А.А. Коршак, Г.Е. Коробков, Е.М. Муфтахов. – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2006. – С. 39–52.
2. Мустафин Ф.М., Быков Л.И., Мохов В.Н. Строительные конструкции нефтегазовых объектов: учебник / Ф.М. Мустафин, Л.И. Быков, В.Н. Мохов. – СПб.: ООО «Недра», 2008. – С. 277–308.
3. Горбунов-Посадов М.И., Маликова Т.А. Расчет конструкций на упругом основании / М.И. Горбунов-Посадов, Т.А. Маликова. – М.: Стройиздат, 1984. – 628 с.
4. Гончаров Б.В., Незамутдинов Ш.Р., Зайнеев Э.Д. Компьютерный метод обработки данных испытания грунта статическим зондированием для расчета плитного фундамента / Б.В. Гончаров, Ш.Р. Незамутдинов, Э.Д. Зайнеев // Проблемы современного строительства: Сборник статей. – Пенза, 2011. – С. 43–47.
5. Сорочан Е.А., Трофименков Ю.Г. Справочник проектировщика: Основания, фундаменты и подземные сооружения / Е.А. Сорочан, Ю.Г. Трофименков. – М.: Стройиздат, 1985. – 480 с.
6. Фесик С.П. Справочник по сопротивлению материалов / С.П. Фесик. – Киев: Будівельник, 1982. – 308 с.
7. Уманский А.А. Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений / А.А. Уманский. – Том 1. – М., Стройиздат, 1972. – 600 с.
8. Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции. Общий курс / В.Н. Байков, Э.Е. Сигалов. – М.: Стройиздат, 1991. – С. 361.
9. Трофименков Ю.Г., Воробков Л.Н. Полевые методы исследования строительных свойств грунтов / Ю.Г. Трофименков, Л.Н. Воробков. – М.: Стройиздат, 1981. – 215 с.
10. Гареева Н.Б., Рыжков И.Б. Об определении модуля деформации грунтов статическим зондированием / Н.Б. Гареева, И.Б. Рыжков // Труды НИИПромстроя. Свайные фундаменты. – Уфа, 1984. – С. 94–99.
11. Рыжков И.Б., Исаев О.Н. Статическое зондирование грунтов / И.Б. Рыжков, О.Н. Исаев. – М.: Издательство АСВ. 2010. – С. 405.
12. Гончаров Б.В., Галимнурова О.В., Гареева Н.Б. Об эффективности фундаментов в вытрамбованных котлованах в непросадочных глинистых грунтах / Гончаров Б.В., Галимнурова О.В., Гареева Н.Б. // Основания, фундаменты и механика грунтов, №1, 2007. 13–15 с.

**Gareeva Nataliia Borisovna**

Ufa state petroleum technological university, Ufa, Russia  
E-mail: natagon56@mail.ru

**Rezvova Valentina Petrovna**

Ufa state petroleum technological university, Ufa, Russia  
E-mail: Rezvova54@mail.ru

**Tuigunova Alina Rinatovna**

Ufa state petroleum technological university, Ufa, Russia  
E-mail: tuigunova\_alinka@mail.ru

## **About use result cone penetration test for design foundation of tank**

**Abstract.** This paper reviews a question of tank construction based on a plate foundation with weak and heterogeneous soils as a subbase. Errors from using these soils can lead to significant uneven soil deformations, which, in turn will lead to additional stresses in the tank wall and in the weld connecting it to the bottom, and even to the operational unsuitability of the tank. This article provides innovative suggestions for applying the method of using the results of static sensing to assess the main design characteristics of the soil: bed ratio and soil repulse within the entire construction site at the depth of the slab foundation, which allows to increase the reliability of calculations and design of this foundation and optimize the economic component of the project. The program has been developed to obtain a digital three-dimensional evaluation model of soil resistance based on static sensing data. The article compares the technical and economic parameters of the design of the foundation using the proposed method and the traditional method of research. It should be assumed that on sites with a large number of engineering-geological elements, the efficiency of the proposed method will be about forty percent. The method also allows to take into account the heterogeneity of the soil foundation and to calculate the characteristics of even such "weak" soils when traditional survey methods are impossible. The authors propose to use their method for determining the subbase characteristics by a cone penetration test. A program that allows to get a digital three-dimensional estimated model of soil resistance is developed to make the calculations. Technical and economic parameters of designing the foundation by using the proposed method and by using the traditional research method are compared.

**Keywords:** cone penetration test; reservoir; "weak" highly-compressible; not compressible; inhomogeneous soil; deformation modulus; coefficient of bed; coefficient of subgrade; resistance of the soil; plate foundation; weak and heterogeneous soils