

УДК 624.131.35:622.692.23

РАСЧЕТ ФУНДАМЕНТОВ РЕЗЕРВУАРОВ ПО ДАННЫМ СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Зайнеев Э. Д., Гареева Н. Б., Гончаров Б. В.

ФГБОУ ВПО Уфимский государственный нефтяной технический университет
e-mail: 2299112@gmail.com

Аннотация. Рассмотрен вопрос сооружения резервуаров, опирающихся на плитные фундаменты, основанием которых служат слабые и неоднородные грунты. Предлагается использовать разработанный авторами метод определения характеристик грунтового основания по данным статического зондирования. Для выполнения расчетов разработан программный комплекс, позволяющий получить цифровую трехмерную расчетную модель отпора грунта. Произведена оценка технико-экономических показателей при проектировании конструкции фундамента на основе предлагаемого метода и традиционных изысканий.

Ключевые слова. Резервуар, плитный фундамент, слабый и неоднородный грунт, коэффициент постели, отпор грунта, статическое зондирование.

В настоящее время резервуарные парки нефтебаз и нефтехранилищ играют очень важную роль, так как они выполняют функцию буфера между поставщиком и получателем, компенсирующего неравномерности поставок и потребления нефтепродуктов. Чаще всего в качестве хранилищ нефтепродуктов применяют вертикальные наземные резервуары, выполненные из листового металла, у которых в качестве фундаментной конструкции, передающей нагрузку от сооружения на основание, используются сплошные фундаменты. Так, например, при строительстве цилиндрических резервуаров применяют сплошные днища из листовой стали или монолитного железобетона. Площадь основания таких резервуаров достигает 3500 м^2 , в связи с чем пренебрегать неоднородностью грунтового массива в плане крайне опасно [1].

В настоящее время, из-за дефицита площадок с «надежными грунтами», все чаще используются площадки с преобладанием слабых и неоднородных грунтов. В данных условиях требуется осторожный и взвешенный подход к расчету грунтового массива, так как непродуманное его использование в качестве основания может привести к значительным неравномерным деформациям и тем самым недопустимо повысить напряжения в стенке резервуара вблизи сварного шва с днищем [2].

Нередко при расчете толщины металлического днища или объема армирования железобетонных плит, закладывается необоснованный запас

прочности, связанный обычно с недостаточностью инженерно-геологических данных. Характеристики основания, как правило, принимаются наименьшими из значений, приведенных в справочных таблицах, в зависимости от типа грунта. В данных условиях, для повышения экономической эффективности строительства, требуется улучшить качество инженерно-геотехнических изысканий, путем повышения их точности.

В соответствии с действующими нормативными документами наиболее достоверным является полевой метод испытания штампа статической нагрузкой в котловане проектируемого фундамента. При этом допускается ограничиваться тремя испытаниями, а в некоторых случаях и двумя, если полученные деформативные характеристики отклоняются от среднего не более чем на 25%. Также рекомендуется использовать лабораторные испытания монолитов, полученных при бурении скважин. Однако использование данного метода предполагает довольно высокий коэффициент запаса прочности, что не приемлемо для современных методов оценки точности исследований. К тому же в слабых текучих грунтах часто не представляется возможным отбор образцов ненарушенной структуры. В результате выполненных изысканий, исходными данными для проектировщиков являются грунтовые характеристики, единые в плане для всей строительной площадки. В случае наличия линз более слабого или прочного грунта, конструкция резервуара в период эксплуатации может получить значительные внутренние усилия от неравномерной осадки основания.

Дополнительную трудность при проектировании фундаментной плиты большой площади представляет расчет коэффициента постели основания-основного показателя грунтового массива. Исследования в области расчета конструкций на упругом основании и опыт проектирования плитных фундаментов [3, 4] для расчета коэффициента постели K предлагают следующую зависимость:

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

где E – модуль деформации грунта; μ - коэффициент Пуассона; k_0 - коэффициент, зависящий от отношения сторон прямоугольной фундаментной плиты; A – площадь основания.

На основе научных исследований при параллельных испытаниях штампов и статического зондирования вблизи них получены приближенные формулы для определения модуля деформации грунтов по величине сопротивления грунта под наконечником зонда q_s [5, 6, 7]. В частности, по результатам полевых исследований УГНТУ совместно с институтом БашНИИстрой предложена формула для 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 погружения.

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 проверки точности предлагаемой формулы (3), на четырнадцати площадках с залеганием мягкопластичных грунтов проведены стандартные штамповые испытания в шурфах параллельно с выполнением зондирования в непосредственной близости от штампа. На рис. 1 представлен график рассеивания результатов параллельных испытаний, который показывает довольно хорошую сходимость полученных значений.

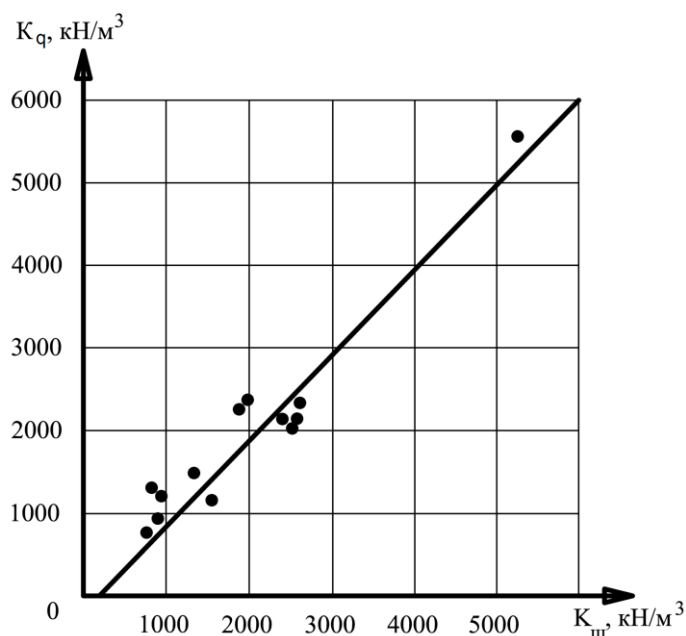


Рис. 1. График рассеивания величин коэффициента постели грунта, определенных по результатам штамповых испытаний ($K_{шт}$) и по данным зондирования ($K_{з}$)

Практическое применение разработанного метода выполнялось при расчете фундамента больших размеров на площадке комбината «ПОЛИЭФ» в Республике Башкортостан. Проектируемый объект представляет собой каркасное здание складского назначения с опорной площадью плитного фундамента 1728м^2 . По данным лабораторных испытаний отобранных образцов, грунтовый массив на уровне подошвы фундамента представляет собой один инженерно-геологический элемент – мягкопластичный суглинок с модулем деформации $E = 8 \text{ МПа}$. На этой же площадке в соответствии с предлагаемой методикой выполнялось и статическое зондирование грунта. Для этого была принята прямоугольная координатная сетка с размерами ячейки $18\text{м} \times 12\text{м}$, в узлах которой размещено 15 точек зондирования. При этом полученные максимальное и минимальное

значения лобового сопротивления на глубине залегания плиты отличались более чем в 3 раза, несмотря на то, что получены для одного инженерно-геологического элемента.

В процессе исследования зависимость (3) была использована авторами для оценки влияния величины площади фундаментной плиты на величину коэффициента постели при заданной средней величине значения лобового сопротивления грунта q_c . Так для всего интервала глинистых грунтов, в котором проводилось зондирование, среднюю величину коэффициента Пуассона можно принимать $\nu = 0,35$ [8]. В связи с тем, что элементарные расчетные площадки грунта в большинстве случаев выбирают в форме квадрата, коэффициент k_0 принимается $k_0 = 0,88$ [4]. В этом случае зависимость (3) для определения величины коэффициента постели в центре элементарного квадрата будет иметь вид:

$$K = \frac{9,22 \cdot q_c}{\sqrt{A}}, \quad (4)$$

Полученную зависимость можно выразить в виде графика, приведенного на рис. 2.

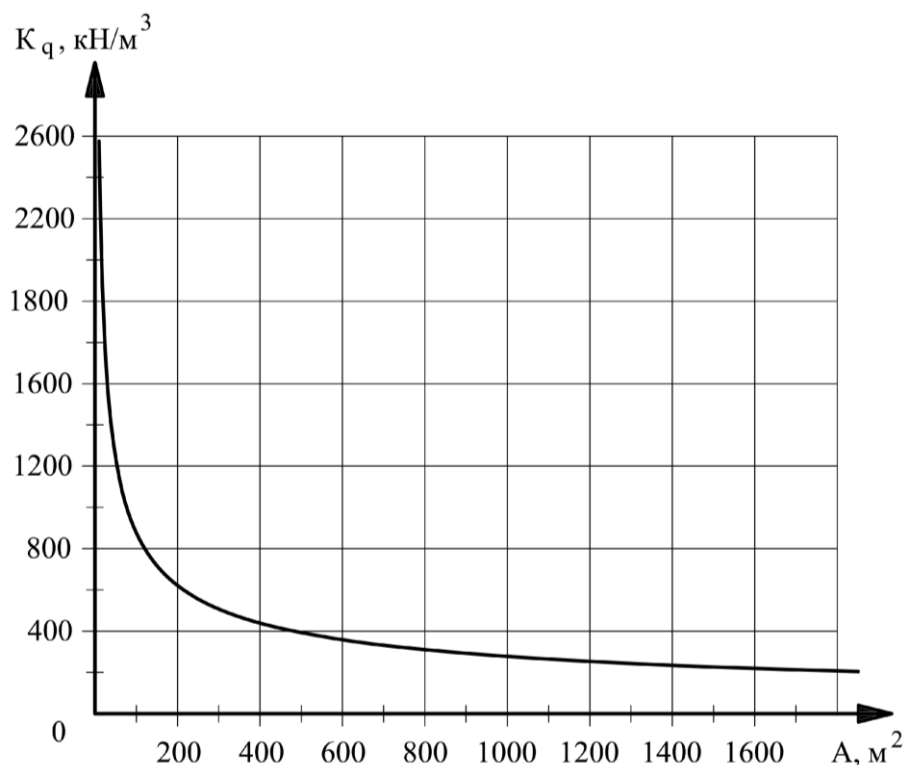


Рис. 2. График зависимости коэффициента постели K от размеров проектируемого фундамента A

График показывает, что для фундамента с площадью более 500 м^2 , величина коэффициента постели K_q составляет менее 400 кН/м^3 . Однако данное

значение явно занижено, так как различные справочные материалы приводят минимально возможное значение коэффициента постели грунтов 1000 кН/м^3 . Для расчета выбран элементарный расчетный квадрат площадью $A = 6 \times 6 = 36 \text{ м}^2$. При таких размерах элемента, по результатам опытных расчетов, величина коэффициента постели будет наиболее близка к реальным величинам, которые хорошо совпадают с данными, приведенными, например, в работе [9].

Однако для того, чтобы не производить дополнительные изыскания по сетке с меньшими размерами, использован математический метод обработки имеющихся результатов полевых испытаний. Это позволяет наиболее достоверно определить величину лобового сопротивления по всей площадке. Обработка результатов статического зондирования производилась с помощью разработанного авторами программного обеспечения «STEP». Алгоритм программы предусматривает, что значение сопротивления грунта под наконечником зонда на глубине подошвы плитного фундамента в каждом узле откладывалось по вертикальной оси пространственной системы координат. Принималось, что эти точки принадлежат некоторой ломанной поверхности. Затем методом бикубических сплайнов происходило её сглаживание, что позволило получить значение лобового сопротивления под наконечником зонда на предполагаемой глубине заложения плиты в виде трехмерной цифровой поверхности, изображенной на рис. 3. Также выполнялось построение плана с изолиниями изменения величины q_s по всей площади плиты, изображение которого приведено на рис. 4 [10].

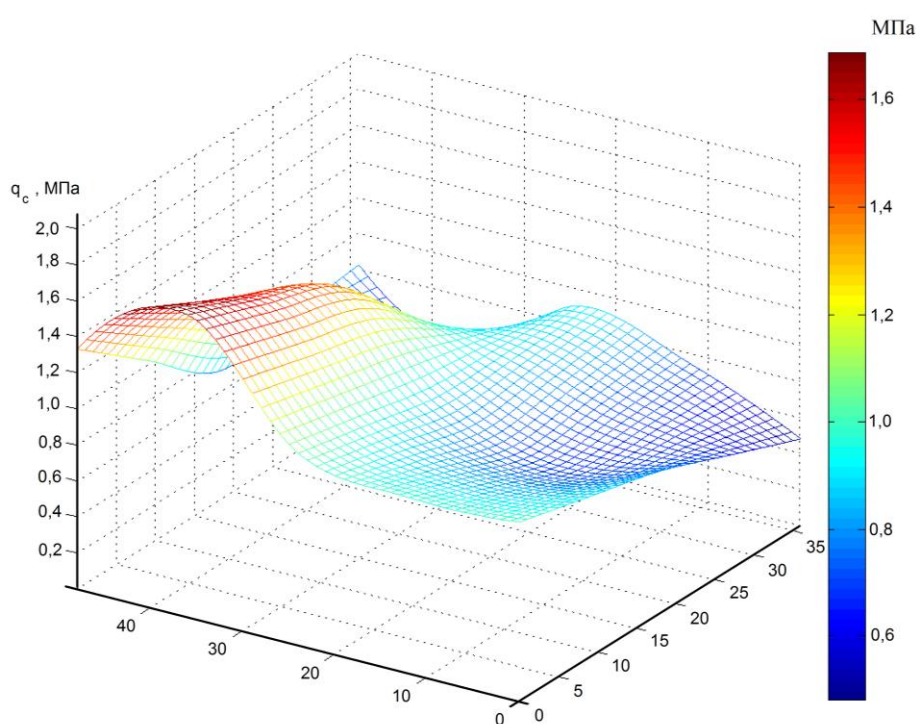


Рис. 3. Поверхность распределения сопротивления грунта под наконечником зонда q_s на уровне подошвы плитного фундамента

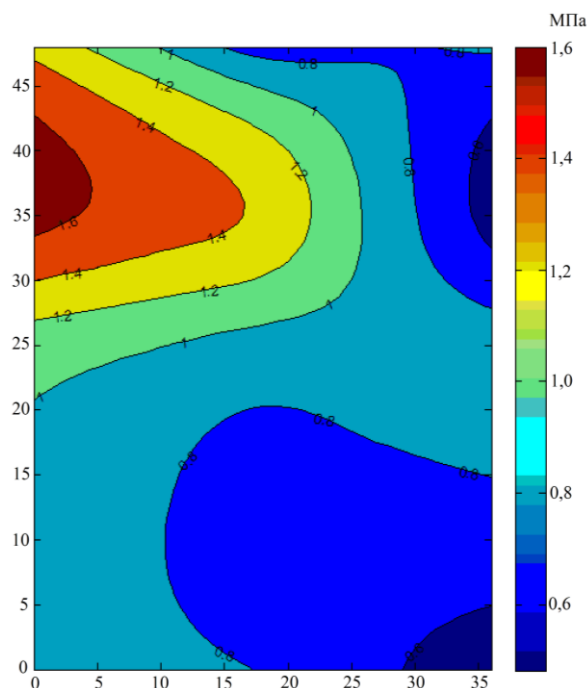


Рис. 4. План изолиний сопротивления под наконечником зонда q_s на уровне подошвы плитного фундамента

В заключении программа выполняет расчет величины максимального отпора грунта R , основываясь на максимально допустимой осадке фундамента. Графическое изображение полученных значений отпора, выполняется в виде эпюры, изображение которой приведено на рис. 5. На основе полученных значений отпора грунта проектировщик легко сможет оценить характер распределения внутренних усилий в фундаментной конструкции сооружения.

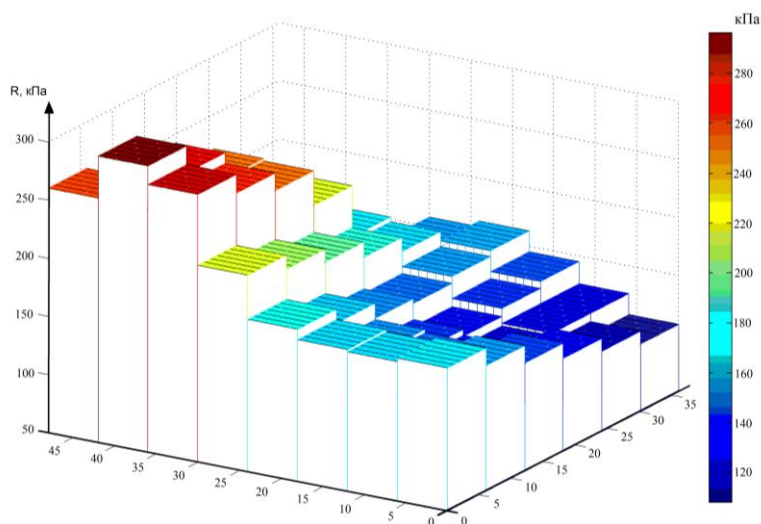


Рис. 5. Эпюра распределения отпора грунта на уровне заложения фундамента

Для сравнительной оценки технико-экономической эффективности предлагаемого метода использованы три укрупненных показателя:

- полнота информации об изменении характеристик грунта по всей площади плиты a , следовательно, и надежность результатов расчета;
- стоимость проведения инженерно-геологических изысканий;
- расход материалов при конструировании плиты.

Сравнение по каждому показателю проводилось по двум вариантам инженерно-геологических изысканий:

I. Характеристики основания определялись по результатам инженерно-геологических изысканий, выполненных в соответствии с требованиями нормативных документов.

II. Характеристики основания определялись предлагаемым методом с использованием данных статического зондирования.

При оценке полноты информации об изменении характеристик грунта, предлагается величина коэффициента полноты информации $K_{и}$.

$$K_{и} = \frac{3,14 \cdot r_u^2 \cdot n}{A}, \quad (5)$$

где r_u – радиус информации скважины или шурфа; n – количество скважин или шурфов; A – общая площадь фундаментной плиты.

По результатам исследований, приведенным в работе [11], величина радиуса информации скважины или шурфа принимается $r_u = 6,0$ м.

Сравнение расхода арматуры производилось при расчетах фундаментной плиты, выполненных на основе характеристик основания, определенных в соответствии с требованиями нормативных документов и объемной модели эпюры отпора грунта, рассчитанной предлагаемым методом. Расчет фундаментной плиты выполнен с использованием программного комплекса SCAD Office. В табл.1 приведены результаты сравнения показателей.

Таблица 1. Результаты оценки эффективности метода расчета оснований плитных фундаментов по данным статического зондирования

Вариант инженерно-геологических изысканий	Величина, $K_{и}$	Стоимость изысканий, %	Расход материалов, %
I вариант	0,4	100	100
II вариант	1,0	30	78

Данные, приведенные в табл. 1, показывают, что предлагаемый метод имеет преимущество по всем приведенным показателям. Следует отметить, что результаты сравнения получены для площадки, где грунтовый массив

оценивается одним ИГЭ. При более сложном напластовании грунтов показатели эффективности второго варианта будут повышаться.

Таким образом, в существующих условиях проектирования и строительства сооружений резервуаров имеется возможность более качественно подходить к определению параметров грунтового основания, что в полной мере выполняет предлагаемый метод. Проведенный анализ технико-экономических показателей, показал высокую эффективность метода. Методика позволяет учитывать неоднородность грунтового основания и выполнять вычисление грунтовых характеристики в слабых грунтах, в которых невозможно применять традиционные методы изысканий. Также авторами была проведена разработка программного комплекса «СТЕР», позволяющая по предложенной методике получить расчетную модель отпора грунта. В случае проектирования плитного фундамента для сооружений высокого уровня надежности, можно рекомендовать применение разработанного метода с использованием данных статического зондирования равновесным зондом [12].

Литература

1. Коршак А.А., Коробков Г.Е., Муфтахов Е.М. Нефтебазы и АЗС: учеб. пособие. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2006. С. 39-52.
2. Строительные конструкции нефтегазовых объектов: учебник/ Мустафин Ф. М. и др. СПб.: ООО «Недра», 2008. С. 277-308.
3. Горбунов-Посадов М.И., Маликова Т.А. Расчет конструкций на упругом основании. М.: Стройиздат, 1984. 628 с.
4. Сорочан Е.А., Трофименков Ю.Г. Справочник проектировщика. Основания, фундаменты и подземные сооружения. М.: Стройиздат, 1985. 480 с.
5. Трофименков Ю.Г., Воробков Л.Н. Полевые методы исследования строительных свойств грунтов. М.: Стройиздат, 1981. 215 с.
6. Гареева Н.Б., Рыжков И.Б. Об определении модуля деформации грунтов статическим зондированием // Свайные фундаменты: тр. /НИИпромстрой. Уфа: 1984. С. 94-99.
7. Рыжков И.Б., Исаев О.Н. Статическое зондирование грунтов. М.: изд-во АСВ, 2010. С.405.
8. Цытович Н.А. Механика грунтов. М.: Госстройиздат, 1963. 635 с.
9. Алгоритм и программа инженерного расчета осадок фундаментных плит с учетом неравномерности нагрузки на основание и неоднородности массива /Шейнин В.И. и др. //ОФМГ. 2006. №5. С. 2-7.

10. Гончаров Б. В., Незамутдинов Ш.Р., Зайнеев Э.Д.. Компьютерный метод обработки данных испытания грунта статическим зондированием для расчета плитного фундамента//Проблемы современного строительства: сб. ст. Пенза, 2011. С.43-47.

11. Мавроди В. Х., Чунихин В. Г. Основные принципы организации системы автоматизированной обработки материалов для формирования цифровых моделей инженерно-геологических условий местности. // Инженерная геология. 1983. №2. С. 75-94.

12. Гончаров Б.В., Гареева Н.Б. Статическое зондирование с использованием «равновесного зонда»// «ОФМГ». 2004. №6 С.12-15.

DESIGN FOUNDATION OF TANK BASING ON RESULT CONE PENETRATION TEST

E.D. Zaineev, N.B. Gareeva, B.V. Goncharov

Ufa State Petroleum Technological University

e-mail: 2299112@gmail.com

Abstract. *This paper reviews a question of tank construction based on a plate foundation with weak and heterogeneous soils as a subbase. 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. *Reservoir, plate foundation, weak and heterogeneous soils, coefficient of subgrade, resistance of the soil, cone penetration test*

References

1. Korshak A.A., Korobkov G.E., Muftakhov E.M. Depots and petrol stations (Neftebazy i AZS): Tutorial Ufa, DizaynPoligrafServis, 2006. pp. 39-52.
2. Mustafin F.M., Bykov L.I., Mokhov V.N. and other. Building structures and gas facilities (Stroitel'nye konstrukcii neftegazovyh ob'ektov): Textbook St. Petersburg: OOO "Nedra", 2008. pp. 277-308.
3. Gorbunov-Possadov M.I., Malikova T.A. Calculation of structures on elastic foundation (Raschet konstrukcij na uprugom osnovanii). Moscow, Publishers of literature on civil engineering, 1984. 628 p.
4. Sorochan E.A., Trofimenkov J.G. Directory designer. Foundations, basements and underground facilities (Spravochnik proektirovovwika. Osnovaniya, fundamenty i podzemnye sooruzheniya). Moscow, Publishers of literature on civil engineering, 1985. 480 p.
5. Trofimenkov Y.G., Vorobkov L.N. Field methods of building properties of soils (Polevye metody issledovaniya stroitel'nyh svojstv gruntov). Moscow, Publishers of literature on civil engineering, 1981. 215 p.

6. Gareeva N.B., Ryzhkov I.B. On the determination of the deformation modulus of soil static cone penetration test (Ob opredelenii modulja deformacii gruntov staticheskim zondirovaniem). // Proceedings NIIpromstroy "Pile foundations." Ufa, 1984. pp. 94-99.
7. Ryzhkov I.B., Isayev O.N. Static cone penetration test of soils (Staticheskoe zondirovanie gruntov). Moscow, Publishing ASV. 2010. pp. 405.
8. Tsytovich N.A. Soil mechanics (Mehanika gruntov). Moscow, Publishers of literature on state civil engineering, 1963. 635 p.
9. Sheinin V.I., Sarana E.P., Artemov S.A., i dr. Algorithm and software engineering design sediment base plates with the uneven load on the ground and the heterogeneity of the array (Algoritm i programma inzhenerного rascheta osadok fundamentnyh plit s uchetom neravnomernosti nagruzki na osnovanie i neodnorodnosti massiva). // «OFMG» 2006, № 5. pp. 2-7.
10. Goncharov B.V., Nezamutdinov Sh.R., Zayneev E.D. Computer data processing method static penetration testing ground for the calculation of the foundation slab (Komp'yuternyj metod obrabotki dannyh ispytaniya grunta staticheskim zondirovaniem dlja rascheta plitnogo fundamenta). Problems of modern construction. Collection of articles. Penza, 2011. pp. 43-47.
11. Mavrodi B. H., Chunikhin V.G. Basic principles of the automated processing of materials to form digital models of engineering and geological conditions of the area (Osnovnye principy organizacii sistemy avtomatizirovannoj obrabotki materialov dlja formirovanija cifrovyh modelej inzhenerno-geologicheskikh uslovij mestnosti). // Engineering geology. 1983. Number 2. pp. 75-94.
12. Goncharov B.V., Gareeva N.B. Static penetration with the use of «equilibrium of the probe» (Staticheskoe zondirovanie s ispol'zovanie «ravnovesnogo zonda»). // «OFMG». 2004. № 6, pp. 12-15.