

МРНТИ 67.21.17

К.А. Абдрахманова<sup>1</sup> – основной автор, ©  
Н.Н. Сатан<sup>2</sup>, Н.Т. Алибекова<sup>3</sup>,  
А.К. Глеубаева<sup>4</sup>, Д.Ж. Артыкбаев<sup>5</sup>



<sup>1</sup>PhD, и.о. доцента, <sup>2</sup>Магистрант, <sup>3</sup>PhD, доцент,  
<sup>4</sup>Канд. техн. наук, ст. преподаватель, <sup>5</sup>PhD, ст. преподаватель

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-7218-4502> <sup>2</sup><https://orcid.org/0009-0002-7713-6726>  
<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-3927-0644> <sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0002-6741-780X>  
<sup>5</sup><https://orcid.org/0000-0003-4794-8707>



<sup>1,2</sup>Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова,  
г. Караганда, Казахстан  
<sup>3,4</sup>Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева,  
г. Астана, Казахстан  
<sup>5</sup>Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова,  
г. Шымкент, Казахстан

@

<sup>3</sup>[nt\\_alibekova@mail.ru](mailto:nt_alibekova@mail.ru)

<https://doi.org/10.55956/UEKT1776>

## ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ЗОНДИРОВАНИЙ ГРУНТОВ В ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ Г. АСТАНЫ

**Аннотация.** В статье рассмотрена практика применений методов статических и динамических зондирований грунтов при инженерно-геологических изысканиях на территории г. Астаны. В результате анализа и обработки статических и динамических зондирований грунтов с помощью современных программных средств выявлены корреляционные зависимости между основными показателями статического и динамического зондирования. Приведены рекомендации по определению несущей способности забивных свай и механических характеристик глинистых грунтов г. Астаны по результатам динамического зондирования грунтов.

**Ключевые слова:** статическое зондирование, динамическое зондирование грунта, инженерно-геологические условия, инженерно-геологические изыскания.



Абдрахманова, К.А. Опыт применения статических и динамических зондирований грунтов в инженерно-геологических условиях г. Астаны [Текст] / К.А. Абдрахманова, Н.Н. Сатан, Н.Т. Алибекова, А.К. Глеубаева, Д.Ж. Артыкбаев //Механика и технологии / Научный журнал. – 2024. – №4(86). – С.238-245. <https://doi.org/10.55956/UEKT1776>

**Введение.** Строительство в сложных инженерно-геологических условиях в кратчайшие сроки, повышение качества и надежности инженерно-геологических изысканий является важной проблемой. Одним из перспективных направлений по решению этих задач является метод статического зондирования грунтов, который широко используется в Астане. В мировой практике это самый распространенный вид полевых испытаний грунтов. Метод потенциально пригоден для высокоточной оценки физико-

механических свойств грунтов в массиве и надежного комплексного инженерно-геологического анализа.

Геотехнической особенностью города Астаны, расположенной в пойме р. Есиль, является наличие аллювиальных образований мощностью 2÷14 м, верхняя часть которых представлена суглинками и супесью различной консистенции, мощностью 1,5÷5 м от дневной поверхности, под подошвой которых залегают песчаные грунты по гранулометрическому составу различной крупности до гравийных грунтов, у подошвы которых, встречается галечниковый грунт фракцией до 8÷10 см с линзами и прослоями глинистого грунта. Данные образования развиты почти повсеместно.

Однако, при применении статического зондирования в аллювиальных образованиях Астаны возникают проблемы как с проведением испытаний (из-за наличия крупных включений), так и с интерпретацией, с точки зрения возможности назначения физико-механических свойств, так как при внедрении зонда в песчаные грунты, лобовое сопротивление конуса зонда достигает предельно допустимых значений, либо не хватает вдавливающих усилий зондирующей установки, вследствие чего опыт прекращается. Однако, под незначительной толщей «чистого и плотного» песчаного грунта скрыт грунт, содержащий линзы и прослой глинистого грунта со значительно худшими прочностными и деформационными характеристиками. Кроме того, необходимо отметить, что в процессе бурения инженерно-геологических скважин, описанный выше песчаный грунт выявляется достаточно сложно, для этого требуется непрерывный отбор образцов ненарушенной структуры, что в песчаных грунтах выполнить затруднительно [1].

**Условия и методы исследований.** Действующие нормативы предписывают проведение зондирования вне зависимости от грунтовых условий площадки изысканий по ГОСТ 19912-2012 для оценки возможной глубины погружения свай и их несущей способности, а также определения физико-механических, прочностных и деформационных характеристик исследуемых грунтов. Вместе с тем в грунтах, содержащих крупнообломочные включения более 25% по массе, при исследованиях значительных толщ песчаных грунтов статическое зондирование затруднительно, а динамическое зондирование следует считать весьма эффективным. Однако, для определения несущей способности забивных свай, в действующих нормативах приводятся рекомендации только для статического зондирования. Динамическое зондирование в глинистых грунтах применяется только для косвенного определения возможной глубины погружения забивных свай и уточнения литологического разреза (напластования грунтов), а в песчаных грунтах – также для оценки физико-механических, прочностных и деформационных характеристик [2].

При детальном изучении отраслевой литературы авторами была найдена информация о наличии взаимосвязи между показателями статического зондирования грунтов и числом ударов в залоге для динамического зондирования [3-5]. Для выявления зависимости между статическими и динамическими зондированиями были выполнены параллельно статическое и динамическое зондирования на расстоянии 1 м друг от друга на 15 экспериментальных площадках в г. Астане.

**Результаты исследований и их обсуждение.** В результате проведенных испытаний для каждого вида (песчаного и глинистого) грунта были выделены данные статического и динамического зондирования в программном комплексе MS Excel, на основании которых были построены

диаграммы соотношений сопротивлений грунта под конусом зонда  $q_c$  и по муфте трения  $f_s$  с динамическим сопротивлением грунта  $p_d$ . На диаграммах по полученным множественным точкам производилась аппроксимация экспериментальных данных (построение линии тренда), приведены соответствующие соотношения, а также величина достоверности аппроксимации  $R^2$  (Рис. 1-4).

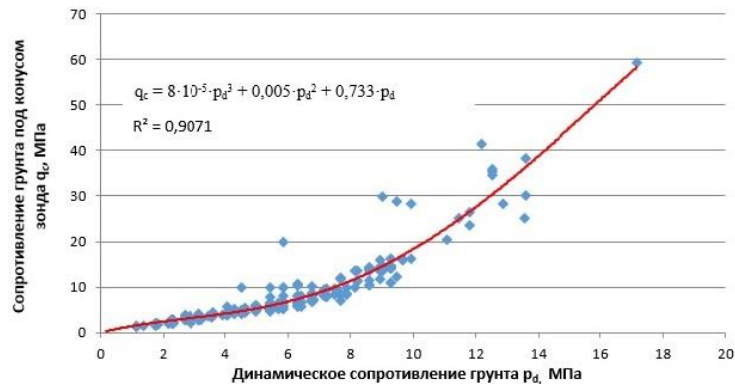


Рис. 1. Соотношение между сопротивлением грунта под конусом зонда  $q_c$  и динамическим сопротивлением грунта  $p_d$  – для песчаных грунтов

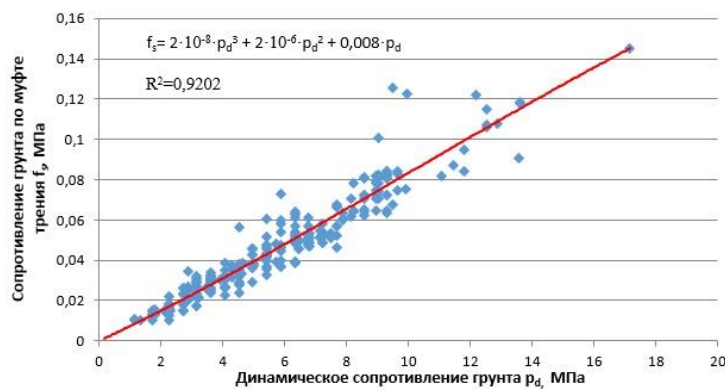


Рис. 2. Соотношение между сопротивлением грунта по муфте трения  $f_s$  и динамическим сопротивлением грунта  $p_d$  – для песчаных грунтов

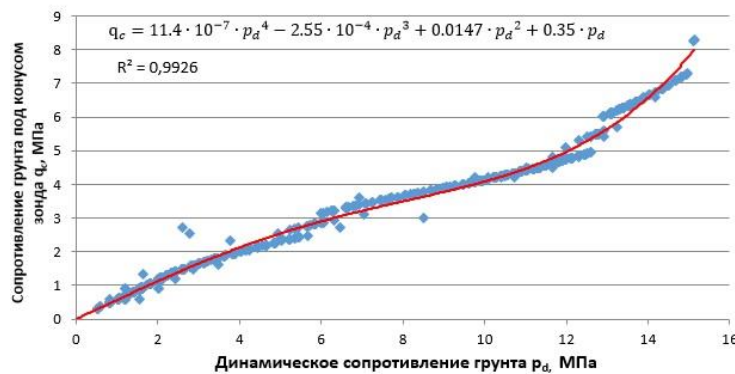


Рис. 3. Соотношение между сопротивлением грунта под конусом зонда  $q_c$  и динамическим сопротивлением грунта  $p_d$  – для глинистых грунтов

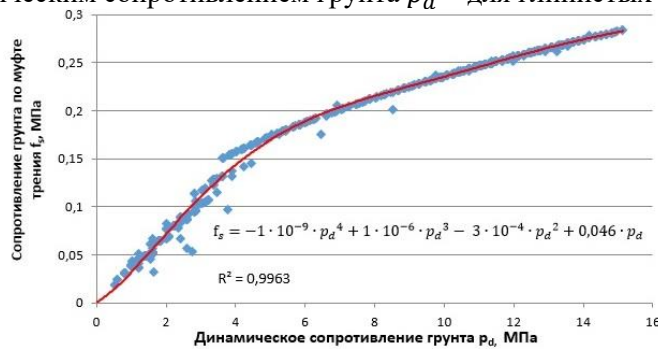


Рис. 4. Соотношение между сопротивлением грунта по муфте трения  $f_s$  и динамическим сопротивлением грунта  $p_d$  – для глинистых грунтов

А для определения несущей способности забивных свай по данным динамического зондирования было выполнено сопоставление предельного сопротивления грунта под острием сваи  $R$  и по ее боковой поверхности  $f$  с динамическим сопротивлением грунта  $p_d$  в примерно одинаковых грунтовых условиях. По результатам сопоставления на диаграммах были найдены множество точек, числовые значения которых были также аппроксимированы (полиномиальная аппроксимация в 3-й степени) в программном комплексе MS Excel, приведены соответствующие соотношения, а также величины достоверности аппроксимации  $R^2$  (Рис. 5-8).

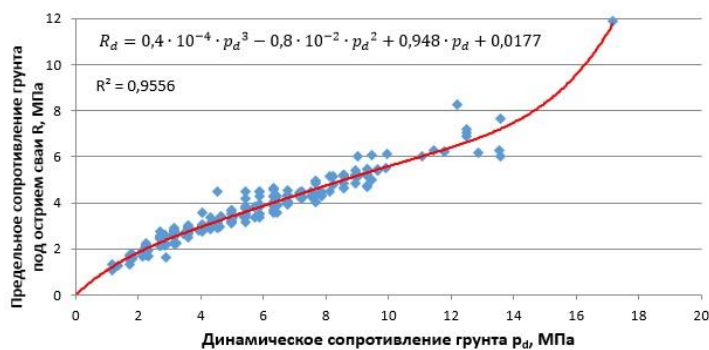


Рис. 5. Соотношение между предельным сопротивлением грунта под острием забивной сваи  $R$  и динамическим сопротивлением грунта  $p_d$  – для песчаных грунтов

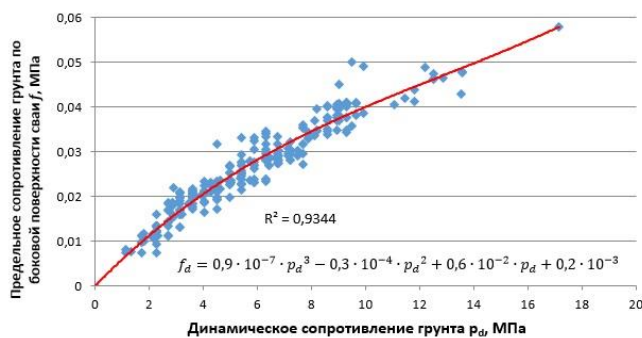


Рис. 6. Соотношение между предельным сопротивлением грунта по боковой поверхности забивной сваи  $f$  и динамическим сопротивлением грунта  $p_d$  – для песчаных грунтов

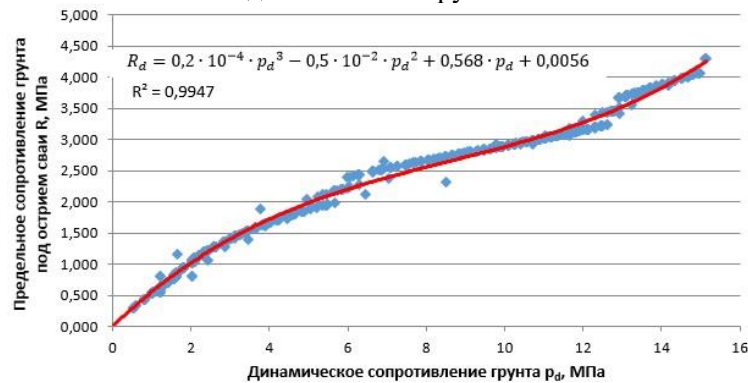


Рис. 7. Соотношение между предельным сопротивлением грунта под острием забивной сваи  $R$  и динамическим сопротивлением грунта  $p_d$  – для глинистых грунтов

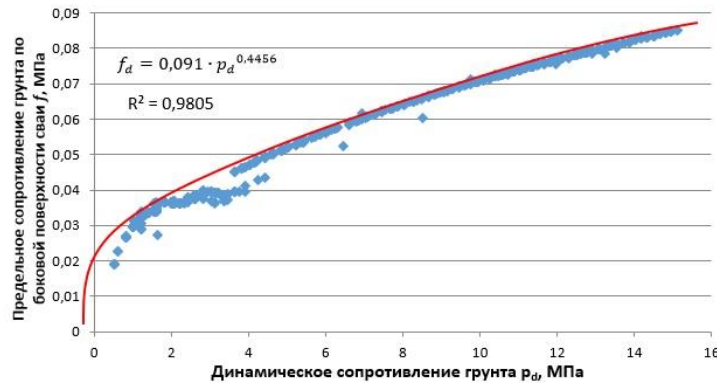


Рис. 8. Соотношение между предельным сопротивлением грунта по боковой поверхности забивной сваи  $f$  и динамическим сопротивлением грунта  $p_d$  – для глинистых грунтов

Используя найденные соотношения для определения сопротивления грунта под острием сваи  $R$  и по ее боковой поверхности  $f$ , частное значение предельного сопротивления забивной сваи в точке динамического зондирования  $F_u$ , следует определять по формуле:

$$F_u = R_d A + F_d, \text{ кН} \quad (1)$$

где:  $R_d$  – предельное сопротивление грунта под острием сваи по данным динамического зондирования в рассматриваемой точке, кПа;  $F_d$  – значение предельного сопротивления грунта на боковой поверхности сваи по данным динамического зондирования в рассматриваемой точке, кПа;  $A$  – площадь поперечного сечения сваи, м<sup>2</sup>.

Для определения предельного сопротивления грунта под острием сваи  $R_d$ , необходимо использовать среднее значение динамического сопротивления грунта  $p_d$ , МПа, под наконечником зонда, полученное из

опыта, на участке, расположенном в пределах одного диаметра  $d$  выше и четырех диаметров ниже отметки острия проектируемой сваи (где  $d$  – диаметр круглого или сторона квадратного, или большая сторона прямоугольного сечения сваи, м) [6,7].

Значение предельного сопротивления грунта по боковой поверхности забивной сваи  $F_d$  по данным динамического зондирования грунта в рассматриваемой точке, следует определять по формуле:

$$F_d = \sum f_{di} \cdot h_i \cdot u, \text{ кПа}, \quad (2)$$

где:  $f_{di}$  – среднее значение сопротивление  $i$ -го слоя грунта по боковой поверхности забивной сваи  $f$ , в зависимости от вида грунта, кПа;  $h_i$  – толщина  $i$ -го слоя грунта, м;  $u$  – периметр поперечного сечения ствола сваи, м.

При определении значения предельного сопротивления грунта по боковой поверхности забивной сваи  $F_d$ , по формуле (2) обязательно должно соблюдаться условие  $\sum h_i = h$ , где  $h$  – глубина погружения рассматриваемой сваи от поверхности грунта сваи, м.

В результате найденных зависимостей и пересчета сопротивления под конусом зонда  $q_c$  в динамическое сопротивление грунта  $p_d$  определены механические характеристики глинистых грунтов г. Астаны (табл. 1).

Таблица 1

Нормативные значения механических характеристик  
глинистых грунтов г. Астаны

$p_d$ , МПа	$q_c$ , МПа	Нормативные значения модуля деформации $E$ , угла внутреннего трения $\varphi$ и удельного сцепления $C$ глинистых грунтов г. Астаны				
		$E$ , МПа	Суглинки		Глины	
			$\varphi$ , град.	$C$ , кПа	$\varphi$ , град.	$C$ , кПа
1,05	0,5	3,5	16	14	14	25
1,85	1	7	19	17	17	30
3,34	2	14	21	23	18	35
5,11	3	21	23	29	20	40
9,40	4	28	25	35	22	45
12,08	5	35	26	41	24	50
13,06	6	42	27	47	25	55

**Заключение.** Выполненные полевые испытания в виде статических и динамических зондирований позволили получить соотношения сопротивлений грунта под конусом зонда  $q_c$  и по муфте трения  $f_s$  с динамическим сопротивлением грунта  $p_d$  как для песчаных грунтов, так и для глинистых грунтов, а также определить несущую способность забивных свай и механические характеристики глинистых грунтов г. Астаны по результатам динамического зондирования грунтов.

**Список литературы**

1. Мариупольский, Л.Г. Исследование грунтов для проектирования и строительства свайных фундаментов [Текст] / Л.Г. Мариупольский. – М.: Стройиздат, 1989. – 199 с.

- ГОСТ 19912-2012 Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием [Текст]. – Введ. 2013-11-01. – М.: Стандартинформ, 2013. – 24 с.
- Трофименков, Ю.Г. Полевые методы исследования строительных свойств грунтов [Текст]: учебное пособие, 3-е изд, перераб. и доп. / Ю.Г. Трофименков, Л.Н. Воробков. – М.: Стройиздат, 1981. – 215 с.
- Алексеев, В.М. Полевые методы исследования механических свойств грунтов [Текст]: учеб. пособие / В.М. Алексеев, П.И. Калугин. – Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т. Воронеж, 2011 – 112 с.
- Болдырев, Г.Г. Сравнение методов лабораторных и полевых испытаний грунтов [Текст] / Г.Г. Болдырев, А.В. Мельников, Е.В. Меркульев, Г.А. Новичков //Инженерные изыскания. – 2013. – №14. – С. 28-48.
- СП РК 5.01-103-2013 Свайные фундаменты (с дополнениями от 18.03.2021 г.) [Текст]. – Введ. 2015-07-01. – Астана: Комитет по делам строительства и ЖКХ Министерства промышленности и строительства РК, 2014. – 46 с.
- ГОСТ 5686-2020. Грунты. Методы полевых испытаний сваями [Текст]. – Введ. 2021-01-01. – М.: Стандартинформ, 2021. – 51 с.

Материал поступил в редакцию 13.11.24.

Қ.А. Абдрахманова<sup>1</sup>, Н.Н. Сатан<sup>1</sup>, Н.Т. Алибекова<sup>2</sup>, А.К. Тлеубаева<sup>2</sup>, Д.Ж. Артыкбаев<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті,  
Қарағанды қ., Қазақстан

<sup>2</sup>Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан

<sup>3</sup>М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті Шымкент қ., Қазақстан

#### АСТАНА ҚАЛАСЫНЫҢ ИНЖЕНЕРЛІК-ГЕОЛОГИЯЛЫҚ ЖАҒДАЙЫНДА ТОПЫРАҚТАРДЫҢ СТАТИКАЛЫҚ ЖӘНЕ ДИНАМИКАЛЫҚ ЗОНДТАУДЫ ҚОЛДАНУ ТӘЖІРИБЕСІ

**Аңдатпа.** Мақалада Астана қаласының аумағында инженерлік-геологиялық ізденістіру жұмыстарын жүргізу кезінде топырақты статикалық және динамикалық зондтау әдістерін қолдану тәжірибесі қарастырылған. Заманауи бағдарламаларды пайдалана отырып, статикалық және динамикалық топырақ зондтауларын талдау және өңдеу нәтижесінде статикалық және динамикалық зондтаулардың негізгі көрсеткіштері арасындағы корреляция анықталды. Топырақтардың динамикалық зондтау нәтижелері бойынша Астана қаласындағы сазды топырақтардың механикалық сипаттамаларын және қағылатын қадалардың көтергіштігін анықтау бойынша ұсыныстар берілген.

**Тірек сөздер:** статикалық зондтау, динамикалық топырақ зондтау, инженерлік-геологиялық жағдайлар, инженерлік-геологиялық ізденістер.

K.A. Abdrakhmanova<sup>1</sup>, N.N. Satan<sup>1</sup>, N.T. Alibekova<sup>2</sup>, A.K. Tleubaeva<sup>2</sup>, D.Zh. Artykbaev<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Abylqas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

<sup>2</sup>L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

<sup>3</sup>M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

#### EXPERIENCE OF USING CONE PENETRATION TEST AND DYNAMIC SOIL PROBING IN ENGINEERING-GEOLOGICAL CONDITIONS OF ASTANA

**Abstract.** The article considers the practice of applying cone penetration test and dynamic soil probing methods in engineering and geological surveys in Astana. As a result of the analysis and processing of cone penetration test and dynamic soil probing using

modern software, correlation dependencies between the main indicators of cone penetration test and dynamic probing were identified. Recommendations are given for determining the bearing capacity of driven piles and mechanical characteristics of clay soils in Astana based on the results of dynamic soil probing.

**Keywords:** cone penetration test, dynamic probing, soil, engineering-geological conditions, engineering-geological surveys.

#### References

1. Mariupol'skiy L.G. Issledovaniye gruntov dlya proyektirovaniya i stroitel'stva svaynykh fundamentov [Soil study for design and construction of pile foundations]. – Moscow: Stroyizdat, 1989. – 199 p. [in Russian].
2. GOST 19912-2012 Grunty. Metody polevykh ispytaniy staticheskim i dinamicheskim zondirovaniyem [GOST 19912-2012 Soils. Field test methods: cone penetration test and dynamic probing]. – Introduced. 2013-11-01. – Moscow: Standartinform, 2013. – 24 p. [in Russian].
3. Trofimenkov YU.G., Vorobkov L.N. Polevyye metody issledovaniya stroitel'nykh svoystv gruntov [Field methods for studying the construction properties of soils]: textbook, 3rd ed., revised. and add. — Moscow: Stroyizdat, 1981. — 215 p. [in Russian].
4. Alekseyev B.M., Kalugin P.I. Polevyye metody issledovaniya mekhanicheskikh svoystv gruntov [Field methods for studying the mechanical properties of soils]: textbook. – Voronezh: Voronezh. state. arch.-civil. univ., 2011 - 112 p. [in Russian].
5. Boldyrev G.G., Mel'nikov A.V., Merkul'yev Ye.V., Novichkov G.A. Sravneniye metodov laboratornykh i polevykh ispytaniy gruntov [Comparison of methods of laboratory and field tests of soils] //Inzhenernyye izyskaniya [Engineering surveys]. – 2013. – No. 14. – P. 28-48. [in Russian].
6. SP RK 5.01-103-2013 Svaynyye fundamenty (s dopolneniyami ot 18.03.2021 g.) [Pile foundations (with additions from 03/18/2021)]. – Introduced. 2015-07-01. – Astana: Committee for Construction and Housing and Public Utilities of the Ministry of Industry and Construction of the Republic of Kazakhstan, 2014. – 46 p. [in Russian].
7. GOST 5686-2020 Grunty. Metody polevykh ispytaniy svayami [GOST 5686-2020 Soils. Field test methods by piles]. – Introduced. 2021-01-01. – Moscow: Standartinform, 2021. – 51 p. [in Russian].