

Интернет-журнал «Транспортные сооружения» <https://t-s.today>

Russian journal of transport engineering

2019, №4, Том 6 / 2019, No 4, Vol 6 <https://t-s.today/issue-4-2019.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/07SATS419.pdf>

DOI: 10.15862/07SATS419 (<http://dx.doi.org/10.15862/07SATS419>)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Галимнурова О.В., Галимнуров И.Р., Самофеев Н.С., Харисова Р.А. Техническая и экономическая эффективность применения фундаментов в вытрамбованных котлованах по данным зондирования при динамических испытаниях // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2019 №4, <https://t-s.today/PDF/07SATS419.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/07SATS419

For citation:

Galimnurova O.V., Galimnurov I.R., Samofeev N.S., Harisova R.A. (2019). Technical and economic efficiency of the use of foundations in rammed pits according to sounding data during dynamic tests. *Russian journal of transport engineering*, [online] 4(6). Available at: <https://t-s.today/PDF/07SATS419.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/07SATS419

УДК 624.15:624.134

Галимнурова Ольга Витальевна

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа, Россия
Архитектурно строительный институт
Кафедра «Автомобильные дороги и технология строительного производства»
Доцент
Кандидат технических наук
E-mail: galimnurova@mail.ru

Галимнуров Илья Робертович

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа, Россия
Архитектурно строительный институт
Кафедра «Автомобильные дороги и технология строительного производства»
Магистр
E-mail: volvita@inbox.ru

Самофеев Никита Святославович

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа, Россия
Институт нефтегазового бизнеса
Кафедра «Экономики и управления на предприятии нефтяной и газовой промышленности»
Доцент
Кандидат технических наук
E-mail: volvita@inbox.ru

Харисова Регина Альфредовна

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа, Россия
Архитектурно строительный институт
Кафедра «Автомобильные дороги и технология строительного производства»
Магистр
E-mail: volvita@inbox.ru

**Техническая и экономическая эффективность
применения фундаментов в вытрамбованных котлованах
по данным зондирования при динамических испытаниях**

Аннотация. В практике строительства одной из материалоемких и трудоёмких областей является устройство фундаментов. Попытка уменьшить материалоемкость и трудоемкость помогает улучшить вариативность выбора типа фундаментов в вытрамбованных котлованах. Такой тип фундаментов позволяет за счет уплотнения грунта и повышения его несущей способности уменьшить материалоемкость, а бетонирование без опалубочных работ – снизить трудоемкость работ. При устройстве фундаментов в вытрамбованных котлованах, котлованы под фундаменты не разрабатываются, а вытрамбовываются на необходимую глубину трамбовкой с последующим бетонированием образованного котлована или с установкой в него сборных железобетонных элементов.

В работе обосновывается метод динамического контроля несущей способности фундаментов в вытрамбованных котлованах по технологическим параметрам вытрамбовки в разных грунтовых условиях (от полутвердых до мягкопластичной консистенции), приведены эмпирические значения и формулы обоснования.

Авторами показаны основные условия формирования вытрамбовок котлована, формируемые зоны и изменения свойств грунтов и их текстуры, прочностных показателей, обеспечивающие достаточную надежность будущих конструкций здания.

Целесообразность применения фундаментов в вытрамбованных котлованах обеспечивается совокупным эффектом от их реализации, где его величина сильно зависит от конкретных условий строительства и может быть достигнута: снижением затрат на проведение проектно-изыскательских работ; при выборе наименее затратного конструктивного решения фундаментов; существенным сокращением трудозатрат при выполнении строительно-монтажных работ нулевого цикла зданий различного назначения. Апробация результатов исследований авторов реализованы при строительстве объектов ОАО «Нефтьмонтаж», где был достигнут совокупный эффект от применения вытрамбованных котлованов в размере более 700 тысяч рублей.

Ключевые слова: вытрамбовка; вытрамбованные котлованы; динамический метод; зондирование грунтов; несущая способность; экономический эффект; эффективность

Надежность и нормальная эксплуатация проектируемого здания или сооружения во многом зависит от того, насколько правильно рассчитаны основания и запроектированы фундаменты. Решение этих проблем требует, в первую очередь, достаточной полноты данных об инженерно-геологических условиях строительной площадки, получаемых путем лабораторных испытаний «образцов-представителей» грунтового основания строительной площадки или полевыми методами.

В строительстве жилых, производственных, сельскохозяйственных и других зданий в условиях залегания просадочных грунтов нашли применение фундаменты в вытрамбованных котлованах (ФВК) [1]. Имеется положительный опыт применения ФВК на площадках с

непросадочными глинистыми грунтами, показывающий их эффективность в этих условиях [2–4].

При проведении вытрамбовки на котлованах по опыту свайных работ необходимо иметь контрольные результаты по площадке кроме результатов сложных статических испытаний. Динамический метод может быть использован для этих целей, кроме того, на предпроектной стадии позволяет без проведения статических испытаний получить приближенную величину несущей способности ФВК.

При проектировании зданий с ФВК значительные трудности возникают при оценки ожидаемой несущей способности. Методика расчета, изложенная в «Руководстве по проектированию ФВК» [9] не исключает проведения статических испытаний для получения контрольной величины несущей способности.

В Уфимском государственном нефтяном техническом университете (УГНТУ) и институте «БашНИИстрой» разработана методика расчета предельного сопротивления ФВК по данным вытрамбовки котлована и статического зондирования на площадке.

Предлагаемая расчетная формула принята из условия, что трамбовку можно считать абсолютно твердым телом по сравнению с грунтом и удар неупругим [5]. Тогда динамическая формула будет иметь вид:

$$F_u = \frac{\kappa GH}{e}, \quad (1)$$

где G – вес трамбовки, кН; H – высота сброса трамбовки, м; e – перемещение трамбовки в грунте при последнем ударе («отказ»), м; κ – коэффициент, величина которого определяется по данным статического зондирования в зависимости от сопротивления грунта под наконечником, g_s .

От способа повышения несущей способности по грунту основания фундаменты в вытрамбованных котлованах могут быть:

- без уширенного основания с плоской или заостренной подошвой без дополнительного втрамбовывания в дно котлована жесткого материала;
- с уширенным основанием, получаемым втрамбовыванием в грунт жесткого материала (щебня, песка, гравия, песчано-гравийной смеси, шлака и т. п.);

Сопротивление ФВК с уширением вертикальной нагрузке будет определяться суммой сопротивления котлована за вычетом «подошвы» и сопротивления втрамбованного щебня:

$$F_u = \kappa GH \left(\frac{\lambda}{e_\kappa} + \frac{1}{e_{щ}} \right), \quad (2)$$

где λ – коэффициент, учитывающий исключение из расчета величины сопротивления «подошвы» котлована; e_κ – «отказ» на последнем ударе при вытрамбовке котлована, м; $e_{щ}$ – «отказ» на последнем ударе при вытрамбовке уширения, м.

Величина коэффициента λ определена опытным путем и рекомендуется принимать $\lambda = 0,8$ [6].

Принимая во внимание, что при вытрамбовке котлованов остаточные отказы наблюдаются порядка 0,2...0,5 м, а упругие на порядок меньше, последние можно не учитывать. Только при вытрамбовке котлованов в грунтах с величиной сопротивления зонду

$g_s = 3...4$ МПа, когда величины отказов соизмеримы, величина упругого отказа принимается 0,008 м. по данным измерений, выполненных на площадках институтом БашНИИстрой.

Важным направлением применения предложенного метода является производственный контроль несущей способности ФВК. Аналогично требованиям строительного норматива СП 45.13330.2017¹ при устройстве ФВК должен вестись журнал вытрамбовки и ведомость выполненных ФВК с регистрацией величин отказов, общего числа ударов, характеристик оборудования, используемой высоты сброса трамбовки. При наличии журнала и данных статического зондирования определяется по предложенной формуле (1) несущая способность ФВК в любом месте площадки.

На первом этапе выполнения работы была сделана попытка найти зависимость величины коэффициента «к» от отношения объема выпора грунта при вытрамбовке котлована к рабочему объему трамбовки [6; 7].

В дальнейшем за характеристику уплотняемого грунта принята величина сопротивления грунта конусу зонда при статическом зондировании. Величина q_s достаточно надежно определяется, например, зондирующей установкой С-832 с малыми затратами времени. Кроме того, эта величина косвенно характеризует степень водонасыщения грунта и является важным фактором процесса уплотнения [9].

Проводилась обработка материалов вытрамбовки и устройств фундаментов вытрамбованных котлованов на производственных площадках. для оценки корреляционной связи между величиной коэффициента «к» и сопротивлением грунта конусу зонда при зондировании.

При обработке материалов рассматривались:

- данные инженерно-геологических изысканий на площадке, включая данные статического зондирования;
- основные характеристики оборудования, используемого при устройстве ФВК;
- результаты статических испытаний ФВК и величина предельной нагрузки, определяемая при осадке $S = 40$ мм [8; 10];
- ведомость остаточных «отказов» при вытрамбовке котлованов и уширения.

Приведены результаты испытаний, в качестве примера, на трех строительных площадках с залеганием грунтов полутвердой консистенции (площадка № 1), тугопластичной (площадка № 2) и мягкопластичной (площадка № 3). Характеристики грунтов приведены в таблице 1

Таблица 1

Характеристики грунтов площадок

| Площадка | Естественная влажность W | Индекс текучести I_L | Коэффициент пористости e | Степень водонасыщения S_r | Сопротивление зондированию q_s |
|----------|----------------------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| № 1 | 0,22 | 0,10 | 0,61 | 0,41 | 3,8 |
| № 2 | 0,25 | 0,23 | 0,75 | 0,55 | 2,1 |
| № 3 | 0,34 | 0,60 | 0,91 | 0,93 | 0,9 |

Составлено автором

¹ СП 45.13330.2017 Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87 (с Изменением №1) – М.: Минстрой России, 2017, с. 212.

Данные зондирования (а), график вытрамбовки котлована и уширения (б) на площадке №1 приведены на рисунке 1, а на площадке №2 рис. 2. Результаты статических испытаний ФВК, выполненных на площадках №1, №2, №3, показаны на рис. 3.

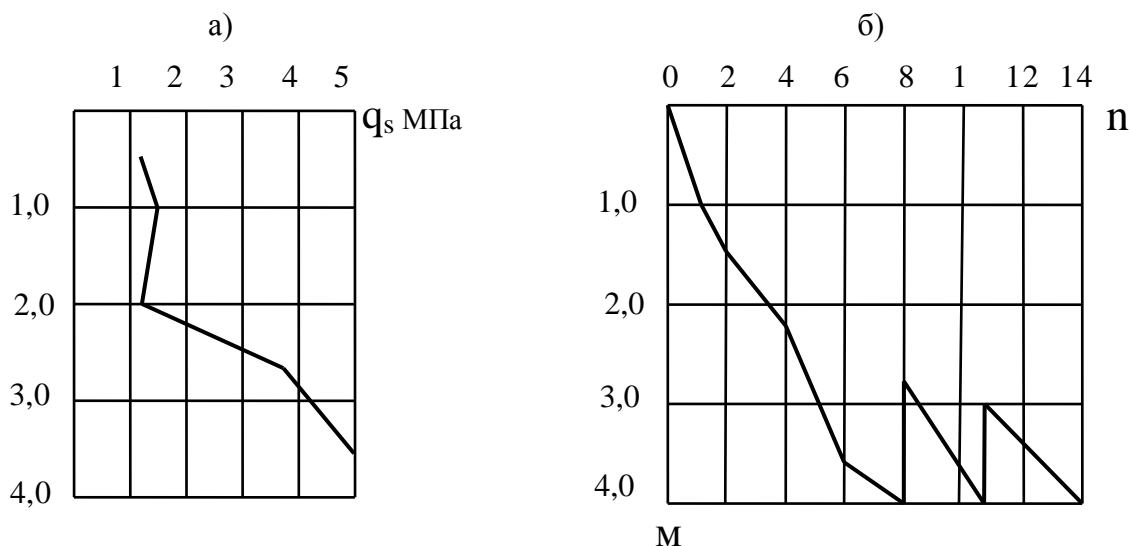


Рисунок 1. Графики зондирования грунта (а) и вытрамбовки ФВК с уширением (б) на площадке №1 (составлено автором)

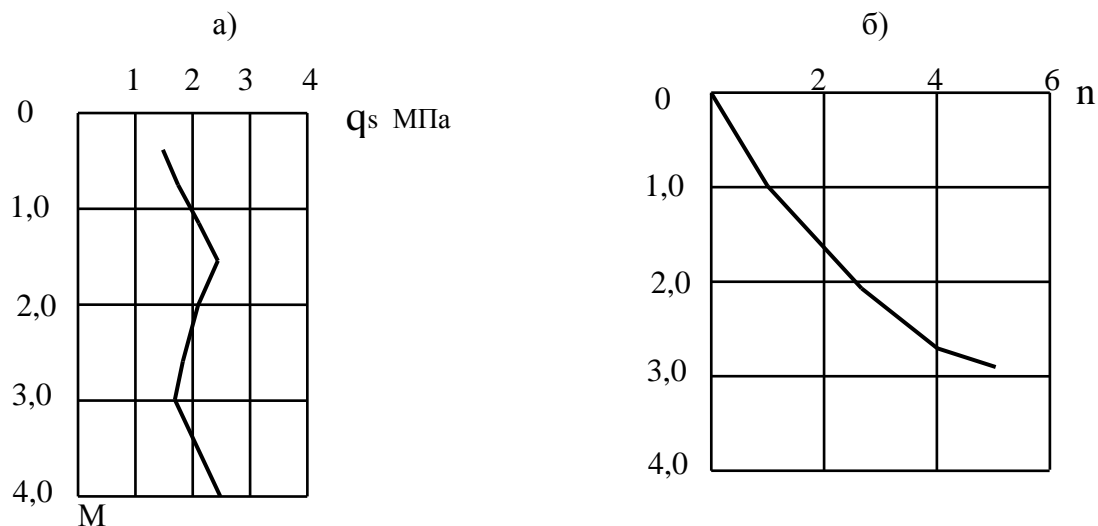


Рисунок 2. Графики зондирования грунта (а) и вытрамбовки котлована ФВК (б) на площадке №2 (составлено автором)

Сводные данные испытаний на трех рассмотренных площадках приведены в таблице 2.

Таблица 2

Сводные данные испытаний на площадках

| Площадка | Энергия удара трамбовки, кДж | Отказ, e_k , м | Отказ, $e_{ц}$, м | Статические испытания, $F_{ст}$, кН | Коэффициент, K |
|----------|------------------------------|------------------|--------------------|--------------------------------------|------------------|
| № 1 | 1000 | 0,2 | 0,4 | 980 | 0,17 |
| № 2 | 1000 | 0,2 | - | 620 | 0,12 |
| № 3 | 1000 | 0,9 | 0,4 | 330 | 0,09 |

Составлено автором

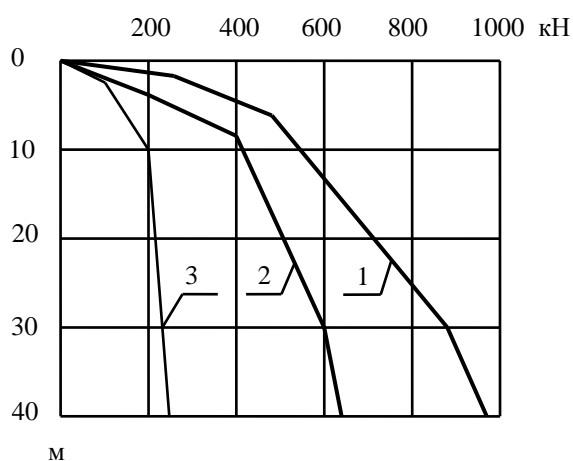


Рисунок 3. Результаты статических испытаний ФВК на опытных площадках №1, №2, №3 (составлено автором)

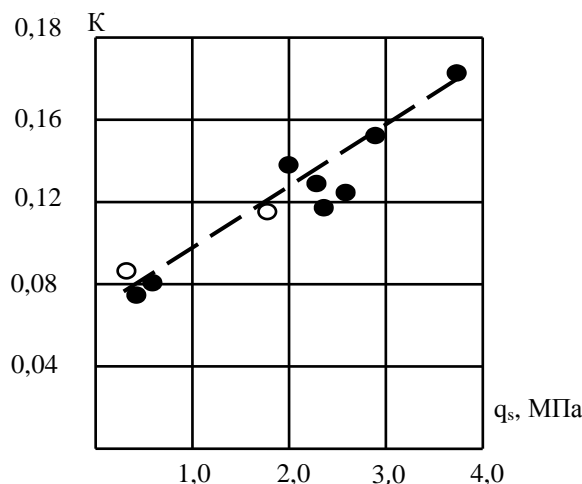


Рисунок 4. Экспериментальная зависимость между величиной коэффициента «к» от q_s (составлено автором)

На рисунке 4 показаны результаты обработки материалов на всех исследуемых площадках. Определена теснота корреляционной связи между величинами сопротивления грунта при зондировании q_s и расчетного коэффициента «к» в формулах (1, 2). Величина коэффициента корреляции оказалась $\rho = 0,85$, что указывает на достаточно тесную связь.

Получена эмпирическая формула для расчета величины коэффициента «к» по данным статического зондирования с последующим расчетом предельной нагрузки на ФВК по формулам (1, 2).

$$K = 0,03q_s + 0,06, \quad (3)$$

где $0,03$ – коэффициент, имеющий размерность $\left[\frac{1}{\text{МПа}} \right]$; q_s – сопротивление конусу зонда, МПа.

Контрольная проверка предложенных расчетных формул, проведенная по результатам испытаний ФВК на других площадках, показала, что величина погрешности находится в пределах -14% и $+17\%$. Сравнение эмпирических данных, показанных выше, и натурных испытаний на площадках показывает высокую экономическую эффективность предлагаемого метода и целесообразность массового применения в силу универсальности метода для соответствующей группы и свойств грунтов.

Общая эффективность обеспечивается нативным сохранением грунтовых оснований при незначительном влиянии на их текстуру и консолидацией в приуплотненных зонах установки или устройства конструкций в котловане. При этом значительно сокращаются затраты на устройство и обустройство мест монтажа основных строительных конструкций, где эффект в каждом случае сильно зависит от объемов работ, затрат на разработку и обоснование проектных решений без применения сложных испытаний статическим методом. Оценка экономической целесообразности применения метода вытрамбованных котлованов в каждом конкретном случае увязывается с основными проектными решениями, назначением объекта строительства и его натурной возможности реализации в конкретных условиях строительства. Синергетический экономический эффект от применения ФВК включает эффекты от использования на подготовительных (проектно-изыскательских) этапах, снижения затрат на несущую основу зданий при проектировании и строительстве, существенным ускорением строительно-монтажных работ при возведении соответствующих частей зданий.

Таким образом, предложенные расчетные формулы позволяют приближенно оценивать предельную нагрузку на ФВК и проводить динамический контроль при вытрамбовке котлованов на производственных площадках, кроме того, они могут использоваться на предпроектной стадии при выполнении вытрамбовки на опытных площадках.

Так же позволяет осуществлять контроль несущей способности без дополнительных затрат и дает возможность значительно снизить количество дорогостоящих статических испытаний и снизить до 30–40 % трудозатрат при выполнении строительно-монтажных работ и до 10–15 % сократить затраты на выполнение проектных и изыскательских работ [11]. Кроме того, предлагаемый метод позволяет получить общую картину разброса несущей способности ФВК по всей площадке без использования дорогостоящего оборудования для статического зондирования.

Предложенная авторами методика оценки несущей способности ФВК, использована предприятием ОАО «Нефтьмонтаж» на площадке приемно-сдаточного пункта трубопровода при устройстве опор под молниеотводы. Это дало возможность не проводить статические испытания и получить совокупный эффект от сокращения сроков выполнения СМР и затрат на проектирование в размере 710 т. рублей на момент проведения оценки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крутов В.И., Багдасаров Ю.В., Рабинович И.Г. // Фундаменты в вытрамбованных котлованах. – М. Стройиздат. – 1985. – с. 163.
2. Багдасаров Ю.А., Кудрявцев А.Н., Шерстнев А.Д. // Об устройстве фундаментов в вытрамбованных котлованах в глинистых водонасыщенных грунтах Владимирской области. Перспективы применения ФВК. – Тезисы докладов зональной научно-технической конференции. – 1986 – Пенза. – с. 22–23.
3. Галимнурова О.В., Гончаров Б.В., Гареева Р.Б. // Об эффективности фундаментов в вытрамбованных котлованах в непросадочных глинистых грунтах // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2007. – №1 – с. 13–15.
4. Галимнурова О.В., Гончаров Б.В., Гареева Н.Б. // Эффективность фундаментов в вытрамбованных котлованах в непросадочных глинистых грунтах – Труды межд. конф. «Геотехнические проблемы XXI века в строительстве зданий и сооружений». – 2007 – Пермь. – с. 91–94.
5. Терцаги К. // Теория механики грунтов. – М. Госстройиздат. – 1961. – с. 507.
6. Гончаров Б.В., Шеменков Ю.М. // Определение несущей способности фундаментов в вытрамбованных основаниях динамическим методом // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1999. – №2 – с. 22–24.
7. Галимнурова О.В., Гончаров Б.В., Гареева Р.Б. // О динамическом методе оценки несущей способности фундаментов в вытрамбованных котлованах // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2009. – №1 – с. 12–14.
8. Трофименков Ю.Г., Воробков П.Н. // Полевые методы исследования строительных свойств грунтов. – М. Стройиздат. – 1981. – с. 213.
9. НИИОСП. Руководство по проектированию фундаментов в вытрамбованных котлованах. – М. Стройиздат. – 1981. – с. 56.
10. Гончаров Б.В., Мухамедзянов Ф.З. Использование динамического зондирования при обследовании оснований аварийных и реконструируемых зданий // Основания, фундаменты и механика грунтов № 6, 2005. С. 19–23.
11. Самофеев Н.С., Ковалева Д.В. Оценка эффективности применения средств малой механизации при динамическом зондировании грунта в стесненных условиях // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №6 (2017) <https://naukovedenie.ru/PDF/05EVN617.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

Galimurova Olga Vitalievna

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

Galimurov Ilya Robertovich

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

Samofeev Nikita Svyatoslavovich

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

Harisova Regina Alfredovna

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

Technical and economic efficiency of the use of foundations in rammed pits according to sounding data during dynamic tests

Abstract. The construction of foundations is one of the material-intensive and time-consuming areas in the practice of construction. The attempt to reduce material consumption and laboriousness helps to improve the variability of choice among foundations in rammed pits. Due to soil compaction and increase of its bearing capacity, this type of foundations allows to reduce material consumption, just as concreting without formwork – to reduce the laboriousness of the work. Foundation pits are not excavated, but rammed to the required depth by tamping, followed by concreting of the formed foundation pit or with the installation of prefabricated reinforced concrete elements.

The article describes the method of dynamic control of the bearing capacity of foundations in rammed pits according to the technological parameters of ramming in different soil conditions (from semi-solid to soft plastic consistency) and contains empirical values and formulas.

The authors show the basic conditions for the formation of pit rams, the formed zones and changes in the properties of soils and their texture, strength indicators, providing sufficient safety for building structures.

The advantage of using foundations in rammed pits is ensured by the combined effect of their implementation, where its value heavily depends on specific construction conditions and can be achieved by: reducing the cost of design and survey work; when choosing the least costly structural solution to the foundations; a significant reduction in labor costs during the construction and installation work of the zero cycle of buildings for various purposes. The authors tested the results of this research during the construction of the facilities of OJSC “Nefmontazh” and the cumulative effect of the use of rammed pits in the amount of more than 700 thousand rubles was achieved.

Keywords: ramming; rammed pits; dynamic method; sounding of soils; bearing capacity; economic effect; efficiency

REFERENCES

1. Krutov V.I., Bagdasarov Yu.V., Rabinovich I.G. (1985). *Fundamenty v vytrambovannykh kotlovanakh. [Foundations in rammed pits.]* Moscow: Stroyizdat, p. 163.
2. Bagdasarov Yu.A., Kudryavtsev A.N., Sherstnev A.D. (1986). *Ob ustroystve fundamentov v vytrambovannykh kotlovanakh v glinistykh vodonasyshchennykh gruntakh Vladimirskoy oblasti. Perspektivy primeneniya FVK. – Tezisy докладov zonal'noy nauchno-tehnicheskoy konferentsii. [On the construction of foundations in rammed pits in clay water-saturated soils of the Vladimir region. Prospects for the use of FVK. – Abstracts of the zonal scientific and technical conference.]* Penza, pp. 22–23.
3. Galimnurova O.V., Goncharov B.V., Gareeva R.B. (2007). On the effectiveness of foundations in rammed pits in non-subsidence clay soils. *Foundations, foundations and soil mechanics*, 1, pp. 13–15 (in Russian).
4. Galimnurova O.V., Goncharov B.V., Gareeva N.B. (2007). *Ehffektivnost' fundamentov v vytrambovannykh kotlovanakh v neprosadochnykh glinistykh gruntakh. [The effectiveness of foundations in rammed pits in non-subsidence clay soils.]* Permian, pp. 91–94.
5. Tertsagi K. (1961). *Teoriya mekhaniki gruntov. [Theory of soil mechanics.]* Moscow: Gosstroyizdat, p. 507.
6. Goncharov B.V., Shemenkov Yu.M. (1999). Determination of the bearing capacity of foundations in stamped foundations by the dynamic method. *Foundations, foundations and soil mechanics*, 2, pp. 22–24 (in Russian).
7. Galimnurova O.V., Goncharov B.V., Gareeva R.B. (2009). On the dynamic method for assessing the bearing capacity of foundations in rammed foundation pits. *Foundations, foundations and soil mechanics*, 1, pp. 12–14 (in Russian).
8. Trofimenkov Yu.G., Vorobkov P.N. (1981). *Polevye metody issledovaniya stroitel'nykh svoystv gruntov. [Field methods for studying the construction properties of soils.]* Moscow: Stroyizdat, p. 213.
9. (1981). *Nauchno-issledovatel'skiy institut stroitel'nogo profilya. Rukovodstvo po proektirovaniyu fundamentov v vytrambovannykh kotlovanakh. [Research Institute of Building Profile. Guidance on the design of foundations in rammed pits.]* Moscow: Stroyizdat, p. 56.
10. Goncharov B.V., Mukhamedzyanov F.Z. (2005). The use of dynamic sounding when examining the foundations of emergency and reconstructed buildings. *Foundations, foundations and soil mechanics*, 6, pp. 19–23 (in Russian).
11. Samofeev N.S., Kovaleva D.V. (2017). Assessment of the effectiveness of the use of small-scale mechanization in dynamic sounding of soil in cramped conditions. *Naukovedenie*, [online] 4(9). Available at: <https://naukovedenie.ru/PDF/05EVN617.pdf> (in Russian).