

Техникалық ғылымдар



Технические науки



Technical Sciences

МРНТИ 67.11.29

И.И. Бекбасаров¹ (orcid-0000-0003-3250-7853)
Е.И. Атенов² (orcid-0000-0002-2907-6610)

¹Д-р техн. наук, профессор, ²Магистр, инженер
Таразский региональный университет имени М.Х. Дулати, г. Тараз, Казахстан
e-mail: ¹bekbasarov.isabai@mail.ru, ²yer_at@mail.ru

<https://doi.org/10.55956/WDNF6519>

УВЕЛИЧЕНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ЗАБИВКИ И СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ МОДЕЛИ СВАИ С УШИРЕНИЯМИ ПРИ ПОДСЫПКЕ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация. Представлены результаты экспериментальных исследований моделей свай с 4 уширениями, выполненных в лабораторных условиях с подсыпкой сыпучих материалов. Выявлено, что внесение подсыпок из сыпучих материалов увеличивает энергетические затраты на забивку моделей до 1,14-1,66 раза. При этом видподсыпочного материала оказывает влияние на энергоемкость забивки свай. Установлено также повышение сопротивляемости моделей свай действию статических вертикальных нагрузок до 1,15-1,68 раза при внесении сыпучих материалов при забивке. Показано, что вид подсыпочного материала оказывает влияние на сопротивляемость моделей свай действию вертикальной статической нагрузки.

Ключевые слова: модель свай, свая с уширениями, сыпучий материал, подсыпка, энергоемкость забивки, несущая способность.

Введение. Одним из путей повышения несущей способности свайных фундаментов является разработка и применение свай с нетрадиционной формой ствола, имеющие утолщения, уширения, профилированную поверхность, телескопическую форму и др. [1-3]. Из-за особенностей формы ствола такие сваи эффективно взаимодействуют с окружающим грунтом, и обладают более высокой сопротивляемостью нагрузкам, чем обычные призматические или цилиндрические сваи. Исследования [4-5] свидетельствуют о доминирующей роли уширений в формировании несущей способности таких свай, на долю которых приходится на 35-45% больше сопротивляемости статическим нагрузкам.

К увеличению сопротивляемости фундаментов в 2,0-2,4 раза приводит устройство свайных фундаментов с подсыпкой в грунты сыпучего жесткого материала (щебня, гравия, сухой цементно-песчаной смеси, бетонного раствора и др.) [6]. Результаты численного моделирования работы буронабивных свай с уплотненным уширением из щебня и без него показали, что создание уширения из щебеночного материала в нижней части свай вызывает дополнительное уплотнение грунтового основания и приводит к снижению осадок свай в 1,04-1,12 раза [7].

Устройство трубчатых свай с щебеночным уширением в их нижней части повышает их сопротивляемость действию статической вдавливающей нагрузки. Так, при диаметре уплотненного щебеночного уширения, равном

2,5 d сваи, несущая способность трубчатой сваи в 1,7-2,45 раза возросло по сравнению с аналогичной свайей без уширения.

При подсыпке сыпучего материала несущая способность плоскопрофилированных свай длиной 5, 7 и 9 м возросло соответственно в 1,27, 1,30 и 1,32 раза по сравнению со сваями, забитых без подсыпки сыпучего материала [8]. При этом расход сыпучего материала при забивке плоскопрофилированных свай приняты равным 200, 380 и 460 кг на одну сваю соответственно длиной 5, 7 и 9 м.

Учитывая высокую эффективность по несущей способности способа устройства свай с подсыпкой сыпучего материала, авторами проведены экспериментальные исследования с забивными сваями, имеющими по длине ствола 4 плоских уширения, с внесением различного вида и объема подсыпаемого материала.

Целью исследований является изучение влияния вида подсыпок из грунтовых и жестких материалов на энергоемкость забивки и сопротивляемость статическим нагрузкам свай с несколькими уширениями.

Условия и методы исследований. Экспериментальные исследования выполнены с использованием моделей свай, имеющие 4 уширения (рис. 1). Высота каждого уширения модели равна 100 мм, а размеры уширения поверху – 20×45 мм. Призматическая часть сваи имеет квадратную форму в поперечном сечении с размерами 20×20мм. Общая длина ствола модели сваи составляет 500 мм. Масштаб моделирования, равный 1:10, принят с учетом размеров и объема испытательного грунтового лотка.

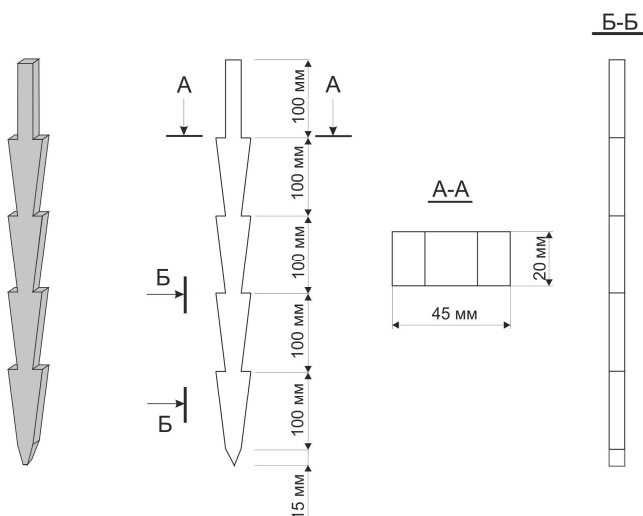


Рис. 1. Схема модели сваи с 4 уширениями

Для проведения испытаний грунтовой лоток заполнялся легким песчаным суглинком, который послойно засыпался и равномерно разравнивался. Модели свай забивались в грунт ударником с постоянной энергией каждого удара, равной 3,0 Н. Модели погружались на общую глубину 42,5-42,6 см. Испытания моделей свай статическими нагрузками проводились с помощью многоцелевого приспособления, состав и порядок работы которой описан в работе [9]. Статические испытания моделей свай выполнялись в соответствии с требованиями стандарта [10].

Подсыпка материала в процессе забивки моделей свай производилась под уширения ствола. Причем, самое нижнее уширение заглублялось без

подсыпки. После заглубления нижнего уширения поверх нее производилась подсыпка. Для этого использовалась воронка, которая удерживала подсыпку вокруг ствола сваи. В процессе забивки сыпучий материал заполнял свободную выемку вокруг ствола сваи, образованную нижним уширением, и проталкивалось дальше вглубь верхним уширением, расклинивая и уплотняя околосвайный грунт. Излишки подсыпки в конце забивки удалялись.

В качестве подсыпки использовались следующие материалы:

- суглинок легкий песчанистый нарушенной структуры влажностью $w=1,14-1,16\%$;
- песок средней крупности однородного состава с влажностью $w=1,12-1,15\%$;
- гравий с отношением массы гравия к массе песка – 35%/65% с влажностью $w=1,12-1,15\%$;
- щебень с максимальным размером частиц 5 мм.

Результаты исследований. Сведения о результатах забивки моделей свай с 4 уширениями представлены на рисунке 2 и в таблице 1.

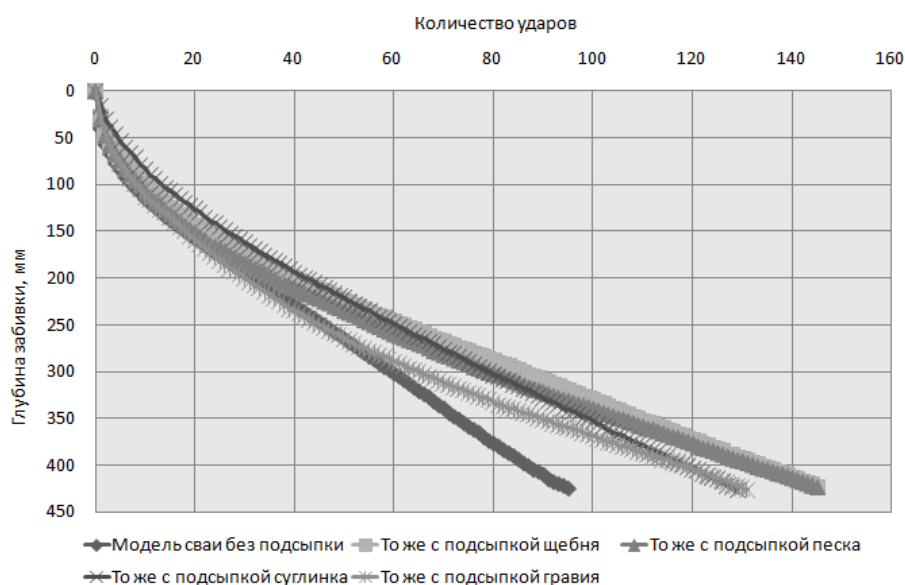


Рис. 2. Ходограммы забивки моделей свай с 4 уширениями

Таблица 1. Результаты забивки моделей свай с 4 уширениями

Вид модели сваи	Объем материала, внесенного в грунт, v_p , $см^3$	Общая энергия забивки, E , Дж (количество ударов)	Объем погруженной части, V , $см^3$	Энергетические затраты на забивку, приходящиеся на единицу объема, E_v , Дж/ $см^3$
1	2	3	4	5
Модель сваи с 4 уширениями (без подсыпки)	-	279,59(95)	215,0	1,300

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5
То же с подсыпкой суглинка	62	379,65(129)	215,4	1,763
То же с подсыпкой щебня	96	429,68(146)	215,4	1,995
То же с подсыпкой гравия	132	385,53(131)	215,4	1,790
То же с подсыпкой песка	136	429,68(146)	215,4	1,995

Сопrotивляемость моделей свай с 4 уширениями оценивалась по результатам их статических испытаний вертикальными осевыми нагрузками (табл. 2). График зависимости осадок моделей свай при действии вертикальной осевой нагрузки приведен на рисунке 3.

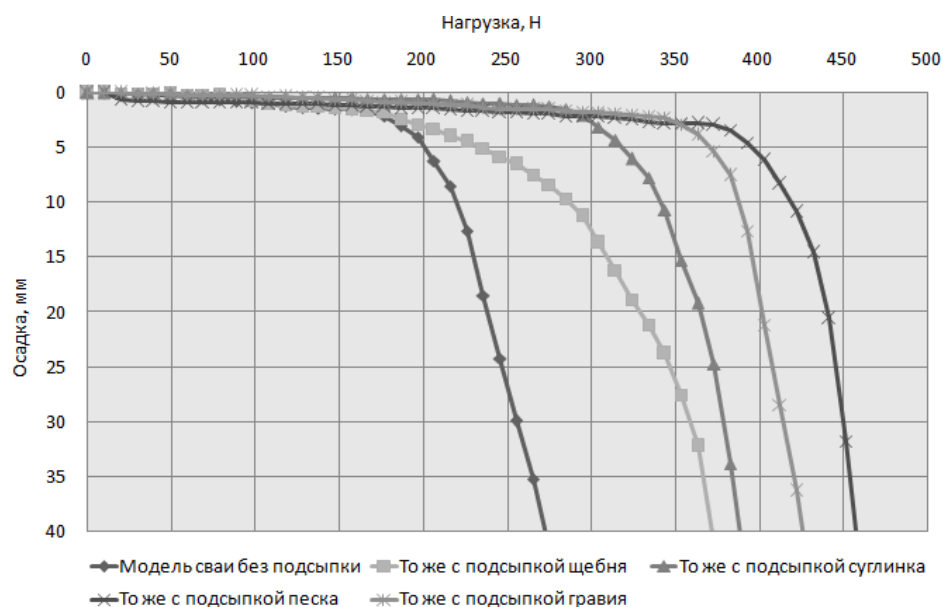


Рис. 3. Зависимость осадки моделей свай с 4 уширениями от нагрузки

Таблица 2. Результаты испытания моделей свай с 4 уширениями статическими нагрузками

Вид модели свай	Несущая способность F_d , Н	Характеристическое сопротивление грунта сжатию в предельном состоянии по несущей способности $R_{c,k}$, Н	Несущая способность, приходящаяся на единицу объема F^v , Н/см ³
1	2	3	4
Модель свай с 4 уширениями (без подсыпки)	272,8	259,81	1,269

Продолжение табл. 2

1	2	3	4
То же с подсыпкой суглинка	388,0	369,52	1,801
То же с подсыпкой щебня	371,9	354,19	1,727
То же с подсыпкой гравия	425,8	405,52	1,977
То же с подсыпкой песка	457,6	435,81	2,124

Обсуждение результатов исследований. Результаты экспериментов позволяют выделить следующие особенности процесса забивки моделей свай с 4 уширениями:

- в зависимости от вида подсыпаемого жесткого материала при одинаковой глубине погружения опытные модели свай (с подсыпкой) по сравнению с контрольной моделью свай (без подсыпки) обладают в 1,36-1,54 раза большими затратами энергии на забивку;

- энергетические затраты забивки, приходящиеся на единицу объема погруженной части моделей свай с подсыпкой в 1,356-1,535 раза больше, чем для модели свай без подсыпки;

- при забивке моделей свай на одинаковую глубину наименьший объем подсыпки, внесенной в грунт, характерен для суглинка (62 см^3), наибольший – для песка (136 см^3), а для щебня (96 см^3) и гравия (132 см^3) свойственны промежуточные позиции.

Как видно из результатов опытов (табл. 1), расход щебня на подсыпку при забивке модели свай меньше расхода гравия в 1,38 раза. Но при этом, общие затраты энергии на забивку модели свай с подсыпкой щебня на 11,45% больше, чем на забивку модели свай с подсыпкой гравия. Данное обстоятельство можно объяснить тем, что щебень, в отличие от гравия, более однородный по размерам (с меньшим количеством мелких частиц), и поверхность его частиц обладает значительной шероховатостью и неровностями, что затрудняет их взаимное перемещение при ударах по модели свай, вызывая повышенное сопротивление грунта. Поэтому, из этих двух видов крупных жестких материалов, по энергетическим затратам на забивку свай, предпочтение нужно отдавать гравийным смесям, чем щебеночным. В пользу такого подхода свидетельствует также более низкая стоимость гравия по сравнению со стоимостью щебня.

Сравнение результатов опытов, относящихся к забивке модели свай с применением мелких по крупности подсыпочных материалов (суглинка и песка), показывает, что расход суглинка в 2,19 раза меньше расхода песка (табл. 1). При меньшем расходе суглинка, процесс забивки модели свай сопровождается и меньшим расходом общей энергии ударника (в 1,13 раза), чем процесс забивки модели свай с подсыпкой песка. Это, на наш взгляд, происходит вследствие того, что суглинок в отличие от песка обладает связанностью частиц между собой, и благодаря этому меньше подвижен в грунте при ударах по модели свай. В результате в грунт вносится меньший объем суглинка при меньших энергетических затратах ударника на забивку модели свай.

Из результатов испытаний сопротивляемости моделей свай с 4 уширениями при статических испытаниях вертикальными осевыми

нагрузками следует, что модели сваи с подсыпкой (в зависимости от вида материала подсыпки) по сравнению с контрольными моделями сваи (без подсыпки) при одинаковых значениях их осадок обладают большей несущей способностью (в 1,36-1,68 раза). Наибольшие значения несущей способности приходятся на модели сваи, которые забиты с подсыпкой песка и гравия, а наименьшие – с подсыпкой щебня и суглинка (табл. 2). Более высокая сопротивляемость моделей сваи с подсыпкой песка и гравия, по нашему мнению, обусловлена большими объемами внесения подсыпочного материала в грунт при забивке. Так, объем внесенного в грунт гравия соответственно в 1,38 и 2,13 раза больше, чем объемы щебня и суглинка, а объем песка – больше соответственно в 1,42 и 2,19 раза. Внесение большего объема подсыпочного материала при забивке способствует повышению уплотняемости грунта вокруг уширений моделей, что обеспечивает рост их несущей способности.

Несущая способность модели сваи с подсыпкой песка в 1,23 и 1,18 раза больше, чем у моделей сваи соответственно с подсыпкой щебня и суглинка, а несущая способность модели сваи с подсыпкой гравия – соответственно больше в 1,14 и 1,10 раза.

Выводы. На основе полученных результатов экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

- забивка свай с уширениями ствола с подсыпкой грунтовых и жестких материалов сопровождается большими энергетическими затратами, чем их забивка без подсыпки (в 1,14-1,66 раза). Вид подсыпочного материала оказывает влияние на энергоемкость забивки свай. Наименьшие затраты энергии характерны для процесса забивки свай с подсыпкой суглинка, а наибольшие – с подсыпкой песка и щебня. Забивка свай с использованием подсыпочного материала, тем энергоемкое, чем больше количество уширений в них. С увеличением количества уширений в сваях, при их забивке в грунт вносится больший объем подсыпочного материала.

- несущая способность свай с уширениями ствола, погружаемых с подсыпкой грунтовых и жестких материалов, выше несущей способности свай, забиваемых без использования подсыпочного материала (в 1,15-1,68 раза). Несущая способность свай, погружаемых с применением подсыпочного материала тем выше, чем больше количество уширений в них.

- вид подсыпочного материала оказывает влияние на сопротивляемость свай действию вертикальной статической нагрузки. Наибольшая сопротивляемость характерна для свай, погружаемых с подсыпкой песка, а наименьшая – с подсыпкой щебня. Несущая способность свай с подсыпкой песка в 1,23 и 1,18 раза выше, чем у свай с подсыпкой соответственно щебня и суглинка, а несущая способность свай с подсыпкой гравия – больше соответственно в 1,15 и 1,10 раза. По несущей способности свай в качестве подсыпочного материала предпочтительно использовать песок и гравий.

Список литературы

1. Ковалев, В.А., Ковалев А.С. Устройство круглой полый сваи с уширенным основанием. Жилищное строительство. 2018, №1–2, 66–68.
2. Bekbasarov, I., Atenov, Y. Equations Used to Calculate Vertical Bearing Capacity of Driven Piles with Shaft Broadenings. Period. Civ. Eng. 2020, 64, 1235-1243. <https://doi.org/10.3311/PPci.16482>
3. Zhang, S.; Liu, X.; Zhang, H.; Piao, C.; Niu, Y. Study on the Force Model of Squeezed Branch Piles Based on Surface Potential Characteristics. Buildings 2023, 13, 2231. <https://doi.org/10.3390/buildings13092231>

4. Minxia Zhang, Ping Xu, Wenjie Cui, Youbin Gao. Bearing behavior and failure mechanism of squeezed branch piles. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering 2018, 10, 935-946. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2017.12.010>
5. ZHU Wen-tong, LI Hai-qin, ZENG Jun-yan, GUAN Wei-dong. Applicability analysis of squeezed branch pile with different embedded depth of Boulder. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2021, 787, 012018. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/787/1/012018>
6. Свинцов А.П., Амири Рахимулла, Рукосуева А.А. Устройство фундаментов в грунтах с водоносным слоем // Жилищное строительство. 2019. № 9. С. 31–36. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-9-31-36>
7. Купчикова Н.В. Формообразование концевых уширений буронабивных свай с учётом экспериментально-аналитического и численного исследования // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань: ГАОУАОВО «АГАСУ», 2019. № 4 (30). С. 93–98.
8. РД 110-31-14-84 Рекомендации по проектированию и устройству фундаментов из плоскопрофилированных свай. – Владивосток: ДальНИИС, 1985. – 35 с.
9. Бекбасаров И.И., Атенев Е.И., Шаншабаев Н.А. О лабораторном оборудовании для забивки и испытаний моделей свай // Механика и технологии. - 2019. - №4. - С.125-133.
10. ГОСТ 5686-2020 Грунты. Методы полевых испытаний сваями. Межгосударственный стандарт: Москва, Россия, 2020; с. 65.

Материал поступил в редакцию 19.09.23.

Исследования проведены в рамках гранта Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (ИРН AP15473198).

И.И. Бекбасаров, Е.И. Атенев

М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті, Таразқ., Қазақстан

СУСЫМАЛЫ МАТЕРИАЛДАРДЫ ЕНГІЗІП ҚАҒУ КЕЗІНДЕ КЕҢЕЙТІМДЕРІ БАР ҚАДА МОДЕЛІНІҢ ЭНЕРГИЯ СЫЙЫМДЫЛЫҒЫ МЕН ҚАРСЫЛЫҚ КЕДЕРГІ КҮШІНІҢ АРТУЫ

Аңдатпа. Мақалада 4 кеңейтімі бар қадалар модельдерін сусымалы материалдар енгізе отырып қағу бойынша зертханалық жағдайда орындалған эксперименттік зерттеу нәтижелері ұсынылған. Сусымалы материалдардан жасалған қоспаларды енгізу модельдерді қағуға жұмсалатын энергия шығындарын 1,14-1,66 есеге дейін арттыратыны анықталды. Бұл ретте толтырғыш материалдың түрі қадаларды қағудың энергия сыйымдылығына әсер ететіні көрсетілді. Сондай-ақ, қадалар модельдерінің статикалық тік жүктемелердің әсеріне төзімділігін сынау кезінде сусымалы материалдарды енгізу 1,15-1,68 есеге дейін арттыратыны анықталды. Толтырғыш материалдың түрі қадалар модельдерінің тік статикалық жүктеме әсеріне төзімділігіне әсер ететіндігі көрсетілді.

Тірек сөздер: қадалар моделі, кеңейтімдері бар қадалар, сусымалы материал, себу, қағудың энергия сыйымдылығы, жүк көтергіштігі.

I.I. Bekbasarov, Y.I. Atenov

M.Kh.Dulaty Taraz Regional University, Taraz, Kazakhstan

INCREASING THE ENERGY INTENSITY OF DRIVING AND THE RESISTANCE OF MODEL OF PILE WITH BROADENINGS WHEN FILLING BULK MATERIALS

Abstract. The results of experimental studies of models of piles with 4 widenings performed under laboratory conditions with the addition of bulk materials are presented. It was revealed that the introduction of bulk materials increases the energy costs of clogging models up to 1.14-1.66 times. At the same time, the type of filling material affects the energy intensity of pile driving. It was also found that the resistance of pile models to static vertical loads increased up to 1.15-1.68 times when introducing bulk materials during clogging. It is shown that the type of filling material influences the resistance of pile models to the action of vertical static load.

Keywords: pile model, piles with widenings, bulk material, filling, energy intensity of clogging, load-bearing capacity.

References

1. Kovalev V.A., Kovalev A.S. Ustroystvo krugloy poloy svai sushirennym osnovaniyem [The installation of a round hollow pile with a widened base] // Zhilishchnoye stroitel'stvo [Housing construction]. 2018, No.2, pp.66-68. [in Russian].
2. Bekbasarov, I.; Atenov, Y. Equations Used to Calculate Vertical Bearing Capacity of Driven Piles with Shaft Broadenings. Period. Civ. Eng. 2020, 64, 1235-1243. <https://doi.org/10.3311/PPci.16482>.
3. Zhang, S.; Liu, X.; Zhang, H.; Piao, C.; Niu, Y. Study on the Force Model of Squeezed Branch Piles Based on Surface Potential Characteristics. Buildings2023, 13, 2231. <https://doi.org/10.3390/buildings13092231>
4. Minxia Zhang, Ping Xu, Wenjie Cui, Youbin Gao. Bearing behavior and failure mechanism of squeezed branch piles. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering 2018, 10, 935-946. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2017.12.010>
5. ZHU Wen-tong, LI Hai-qin, ZENG Jun-yan, GUAN Wei-dong. Applicability analysis of squeezed branch pile with different embedded depth of Boulder. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2021, 787, 012018. <https://doi:10.1088/1755-1315/787/1/012018>
6. Svintsov A.P., Amiri Rahimulla, Rukosueva A.A. Ustroystvo fundamentov vgruntakh s vodonosnym sloyem [The installation of foundations in soils with an aquifer] // Zhilishchnoye stroitel'stvo [Housing construction]. 2019. No. 9. pp. 31-36. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-9-31-36> [in Russian].
7. Kupchikova N.V. Formoobrazovaniye kontsevykh ushireniy buronabivnykh svay s uchotom eksperimental'no-analiticheskogo i chislennogo issledovaniya [Shaping of end widenings of bored piles taking into account experimental-analytical and numerical research] // Inzhenerno-stroitel'nyy vestnik Prikaspiya: nauchno-tekhnicheskyy zhurnal / Astrakhanskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitel'nyy universitet [Engineering and Construction, Bulletin of the Caspian Region: Scientific and Technical Journal / Astrakhan State Architectural and Construction University. Astrakhan: GAOUAOVO "AGASU", 2019. No. 4 (30). pp. 93-98. [in Russian].
8. RD 110-31-14-84 Rekomendatsii po proyektirovaniyu i ustroystvu fundamentov iz ploskoprofilirovannykh svay [Recommendations for the design and installation of foundations from flat-profiled piles]. – Vladivostok: DALNIIS, 1985. – 35 p. [in Russian].
9. Bekbasarov I.I., Atenov E.I., Shanshabaev N.A. O laboratornom oborudovanii dlya zabivki i ispytaniy modeley svay [About laboratory equipment for driving and testing models of piles] // Mechanics and technology. - 2019. - No. 4. - pp.125-133. [in Russian].
10. GOST 5686-2020 Grunty. Metody polevykh ispytaniy svayami [Soils. Methods of field testing with piles]. Interstate Standard: Moscow, Russia, 2020; p. 65. [in Russian].