

Список использованных источников

1. Кривобородов, Ю. Р. Специальные цементы: разновидности, свойства и применение / Ю. Р. Кривобородов // Техника и технология силикатов. – 2023. – Т. 30, № 1. – С. 84–91.
2. Кузнецова, Т. В. Производство и применение сульфоалюминатных цемента / Т. В. Кузнецова // Строительные материалы. – 2010. – № 3. – С. 29–32.
3. Кузнецова, Т. В. Алюминатные и сульфоалюминатные цементы / Т. В. Кузнецова. – М. : Стройиздат, 1986. – 208 с.
4. Гусев, Б. В. Технология портландцемента и его разновидностей: Учебное пособие / Б. В. Гусев, Ю. Р. Кривобородов, С. В. Самченко. – М. : Ай Пи Эр Медиа, 2016. – 113 с.
5. Самченко, С. В. Влияние дисперсности расширяющегося компонента на свойства цемента / С. В. Самченко, Д. А. Зорин // Техника и технология силикатов. – 2006. – Т. 13, № 2. – С. 2–7.
6. Samchenko, S. V. Influence of fineness of expansive components on cement properties / S. V. Samchenko, D. A. Zorin // Cement, Wapno, Beton. – 2008. – No. 5. – P. 254–257.
7. Samchenko, S. V. Minerals of expansive and non-shrinkage sulfomineral cement / S. V. Samchenko, D. A. Zorin, Y. R. Krivoborodov // MATEC Web of Conferences, Saint-Petersburg, November 15–17, 2016. Vol. 106. – Saint-Petersburg: EDP Sciences, 2017. – P. 03006. – DOI: 10.1051/matecconf/201710603006.
8. Самченко, С. В. Роль этtringита в формировании и генезисе структуры камня специальных цемента / С. В. Самченко ; Федер. агентство по образованию, РХТУ им. Д. И. Менделеева, Издат. центр. – М. : Рос. хим.-технол. ун-т им. Д. И. Менделеева, 2005. – 154 с.
9. Самченко, С. В. Влияние суперпластификатора на морфологию кристаллов этtringита / С. В. Самченко, Е. М. Макаров // Техника и технология силикатов. – 2015. – Т. 22, № 2. – С. 17–21.
10. Самченко, С. В. Образование и рост кристаллов этtringита в присутствии полимерных функциональных добавок / С. В. Самченко, Е. М. Макаров // Успехи современной науки и образования. – 2016. – Т. 5, № 12. – С. 118–122.

УДК 624.15:692.115

СООРУЖЕНИЕ ЦЕМЕНТНО-ГРУНТОВЫХ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ

Н. Г. Серегин

*К. т. н., доцент кафедры промышленного и гражданского строительства,
Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет (НИУ МГСУ), Москва, Россия, e-mail:
SereginNG@mgsu.ru*

Реферат

В статье рассмотрено сооружение цементно-грунтовых свайных фундаментов методом бурения и перемешивания с механоактивацией грунтов. Проанализированы различные конструкции и технологии возведения свайных фундаментов. Описаны основные и наиболее перспективные технологические процессы изготовления свайных фундаментов. Обоснованы преимущества возведения свайных фундаментов методом бурения и перемешивания с механоактивацией грунтов. Представлены результаты исследований, сравнивающих технические показатели при сооружении различных типов и конструкций свайных фундаментов. Приведены выводы и рекомендации по возведению цементно-грунтовых свайных фундаментов.

Ключевые слова: свайные фундаменты, сваи на цементной основе, цементно-грунтовые сваи, буросмешивающий метод, механоактивация грунтов.

Введение

Долговечность и безаварийность зданий и сооружений во многом определяются конструкцией и технологией производства оснований и фундаментов при возведении объектов промышленного и гражданского строительства. А многообразие вариантов возведения оснований и фундаментов расширяет возможности оптимизации строительства на «нулевом цикле» [1–4]. Существенное сокращение затрат при разработке и возведении оснований зданий и сооружений позволяет применение свайных фундаментов, объём внедрения которых возрастает с каждым годом.

Конструкции и технологии возведения свайных фундаментов зависят от вида грунта, формы и размеров строительных площадок. Очень важно обладать достоверной и полной информацией о свойствах грунтов на строительных площадках. Для возведения свайных фундаментов максимально целесообразно применение местных строительных материалов, укрепленных связующим, например цементом. Однако разнообразные климатические, грунтовые и гидрологические условия предъявляют повышенные требования к физико-механическим свойствам укрепленных цементом грунтов. Кроме того, низкая морозостойкость является ещё одним недостатком цементогрунтов, который значительно снижает эксплуатационную надёжность верхней части оснований и фундаментов зданий и сооружений. На прочностные характеристики цементогрунтов также влияет степень измельчения грунтового компонента перед добавлением его в цементно-грунтовую смесь и получением нового связующего для устройства цементно-грунтовых свай буросмесительным способом [5–8].

Только комплексное изучение процессов, происходящих в цементогрунтах, позволит повысить технологичность возведения свайных фундаментов, выполненных на основе цементогрунтов. Выбор оптимального состава цементно-грунтовой смеси в интересах повышения технологичности производства свайных работ с учётом повышения их морозостойкости требует проведения комплексных исследований. Совершенствование технологии возведения цементно-грунтовых свай с применением механоактивации позволяет обеспечить потребности строительной отрасли в дешёвых строительных материалах на основе местных грунтов.

Материалы и методы

При освоении под строительные площадки территорий, которые ранее не застраивались по причине сложности инженерно-геологических условий из-за неоднородности грунтов. Проектные организации всё чаще применяют сваи при конструировании фундаментов зданий и сооружений.

В последнее время применяют различные конструкции и технологии изготовления свай. Широкое распространение получили сваи заводского изготовления: винтовые, забивные и другие конструкции.

Существуют различные технологии изготовления свайного фундамента непосредственно на строительной площадке. Например, технологический процесс, состоящий из пяти этапов. На первом этапе бурильной установкой формируют в грунте скважину под будущую сваю. На втором этапе в скважину, полученную на первом этапе технологического процесса, погружают трубу соответствующего диаметра, которая выполняет роль опалубки. На третьем этапе в трубе размещают стальной арматурный каркас. На четвертом этапе стальной арматурный каркас заливают бетонной смесью. Бетонную смесь уплотняют вибратором. Не дожидаясь отверждения бетонной смеси, на пятом этапе из сырого бетонного раствора извлекают трубу. После отверждения бетонной смеси полученная свая готова для дальнейшего сооружения фундамента.

К достоинствам рассмотренной технологии изготовления свайного фундамента следует отнести:

- возможность сооружать фундамент строящегося здания или сооружения вблизи существующих построек, так как данная технология относится к категории безударных;
- полученный по данной технологии фундамент обладает большой несущей способностью;
- существует возможность устройства фундамента по данной технологии в любых грунтовых условиях.

Недостатками рассмотренной технологии изготовления свайного фундамента являются необходимость прогрева бетонной смеси в зимнее время, так как бетонирование происходит в полевых условиях, и сложность контроля качества формирования скважины.

Однако при строительстве зданий и сооружений, особенно на неоднородных грунтах в сложных инженерно-геологических условиях, свайные фундаменты составляют примерно 25 % от общего объема сооружаемых фундаментов. Поэтому исследования по совершенствованию технологии их возведения на сегодняшний день весьма актуальны. Особенно технологии, позволяющие при обеспечении прочности и надёжности свайных фундаментов снизить трудоёмкость и стоимость изготовления.

Одним из наиболее перспективных способов сооружения свайных фундаментов является буросмесительный способ [9–12].

Буросмесительный способ сооружения свайных фундаментов позволяет закреплять все виды структурно-неустойчивых и слабых грунтов независимо от их влажности и расположения горизонта подземных вод. Буросмесительный способ является достаточно экономичным:

- благодаря использованию в составе материала свай местных грунтов;

- благодаря низкой стоимости технологического процесса;
- благодаря высокому уровню механизации работ;
- благодаря перспективе закрепления грунтов под строящимся объектом, таких как присадочные грунты любой влажности и активности, глинистые текучие и текуче-пластичные грунты, а также рыхлые водонасыщенные пески.

Этому способу характерны экологическая чистота и возможность применения как для сооружения фундаментов новых зданий и сооружений, так и для реконструкции уже существующих.

Многолетний опыт укрепления грунтов подтверждает необходимость совершенствования методов улучшения свойств цементно-грунтовых свайных фундаментов [13–15]. Одним из них является метод механоактивации грунтов, позволяющий снизить расход цемента и повысить прочность цементно-грунтовых свайных фундаментов.

Буросмесительный способ сооружения свайных фундаментов с механоактивацией грунтов может быть реализован путём применения буросмесительных машин, буровых установок, а также полых буровых штанг, обеспечивающих принудительную подачу бурового состава.

Технологическая схема изготовления цементно-грунтовых свай буросмесительным способом с применением механоактивации грунта состоит из следующих операций: устройство приямка, погружение буросмесителя и перевод грунта в тягучее состояние, заполнение скважины грунтом тягучей консистенции, выглубление буросмесителя и подача водогрунтоцементного раствора.

Устройство приямка осуществляют бурением приёмной скважины диаметром на 0,1 метра больше диаметра сооружаемой сваи и глубиной 0,5–2 метра в зависимости от длины будущей сваи и физико-механических свойств грунта. Приёмная скважина предназначена для приёма избытка цементогрунтовой смеси, возникшей при подаче в грунт воды и цемента. Извлечённый из скважины грунт применяют для приготовления механоактивированной цементогрунтовой смеси. В зависимости от физико-механических свойств грунта и количества вводимого связующего определяют глубину скважины.

Погружение буросмесителя и перевод грунта в тягучее состояние выполняют бурением грунта лопастным буросмесителем и подачей воды для перевода размельчённого грунта в тягучее состояние.

Заполнение скважины грунтом тягучей консистенции производят путём подачи воды при погружении буросмесителя в грунт. В этом случае одновременно происходят два процесса: резание грунта и его увлажнение до тягучего состояния.

Выглубление буросмесителя и подача водогрунтоцементного раствора происходит путём извлечения буросмесителя с одновременной подачей водогрунтоцементной смеси в необходимом объёме для поступления в грунтовую массу расчётного количества цемента.

Сооружение свайного фундамента в текучих смесях по сравнению с пластичными в три раза уменьшает время погружения и извлечения буросмесителя за счёт увеличения частоты вращения до 130 об/мин и в два-три раза снижает усилие резания грунта. А также разработка грунта буросмесителем с подачей в

скважину заданного объёма воды для перевода грунта в тягучее состояние позволяет получить грунт необходимой степени измельчения.

Основными преимуществами буросмесительного способа сооружения свайных фундаментов с механоактивацией грунтов являются применения в качестве материала свай местного грунта, извлечённого непосредственно из скважины, и возможность монтажа свай рядом с существующими фундаментами и другими подземными сооружениями, не подвергая их повреждению.

Результаты исследования

Как уже выше было сказано, основной причиной высокой эффективности сооружения свайных фундаментов буросмесительным способом с механоактивацией из цементогрунтов является применение в качестве основного материала местных грунтов, из которых возможно получение материала с высокими прочностными характеристиками. Особенно это относится к районам бедным каменными строительными материалами, а такие районы составляют 15 % территории Российской Федерации. Поэтому применение в качестве основного материала для свайных фундаментов местных грунтов при формировании цементогрунта даёт реальное практическое преимущество.

Производство цементно-грунтовых свай буросмесительным способом на основе механоактивированного связующего обеспечивает высокую экономическую эффективность за счёт расхода цемента, являющегося главным дорогостоящим компонентом.

На первом этапе исследований проведено сравнение техниких показателей при сооружении ленточных монолитных фундаментов и фундаментов на буросмесительных цементных сваях с монолитным ростверком. Диаграммы расчётов представлены на рисунках 1–4.

При выполнении расчётов технические показатели приведены на один погонный метр стен малоэтажных зданий с ленточными монолитными фундаментами и фундаментами на буросмесительных цементных сваях с монолитным ростверком при нагрузке десять тонн на погонный метр.

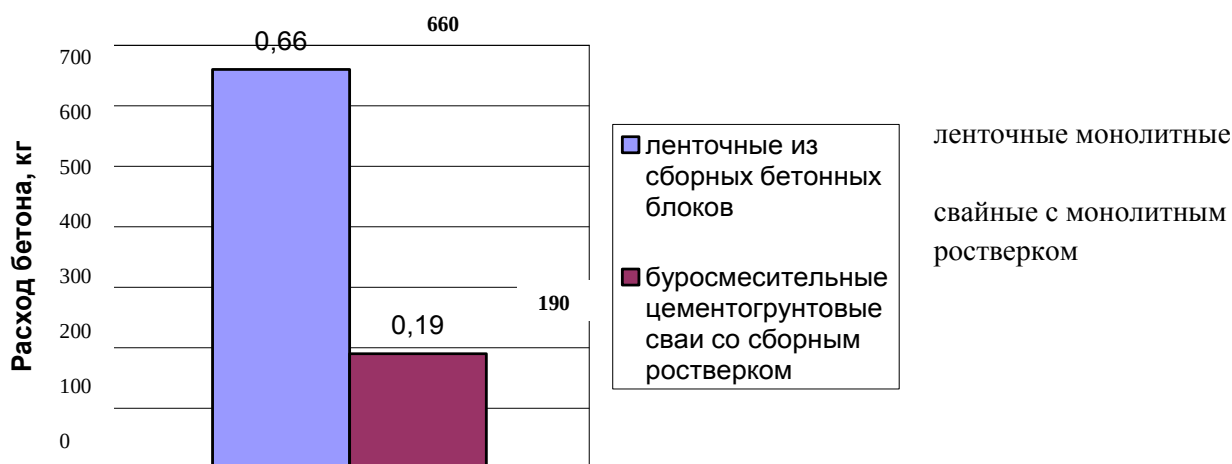


Рисунок 1 – Расход бетона при сооружении ленточных и свайных монолитных фундаментов

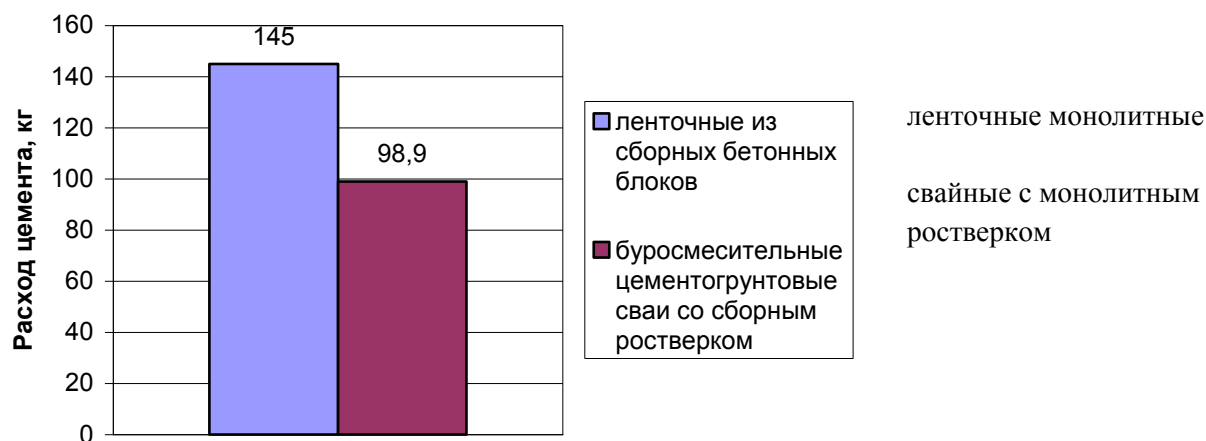


Рисунок 2 – Расход цемента при сооружении ленточных и свайных монолитных фундаментов

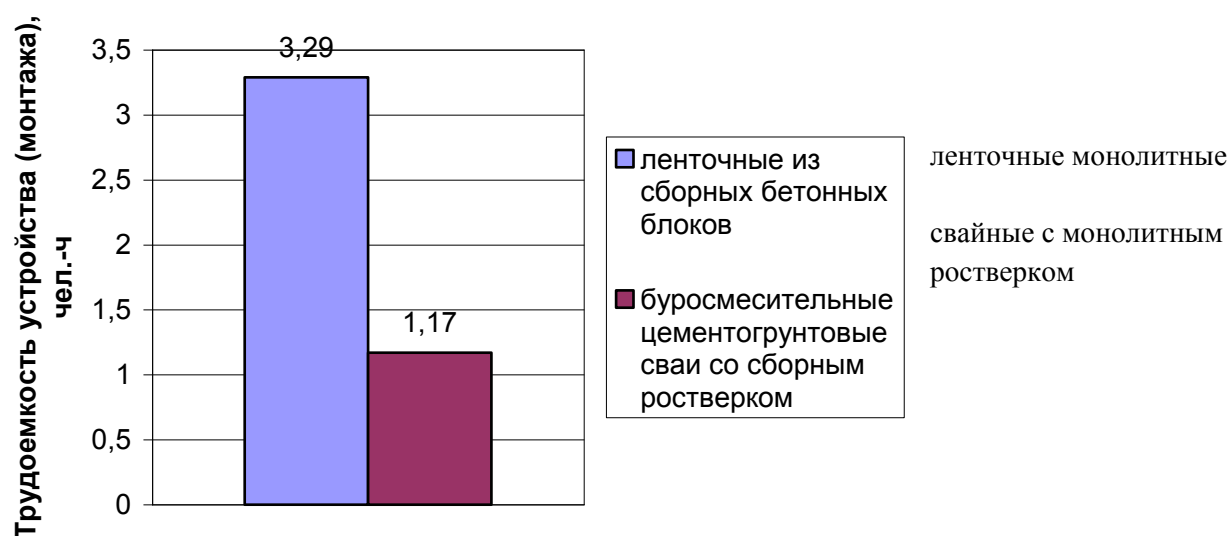


Рисунок 3 – Трудоемкость устройства (монтажа) ленточных и свайных монолитных фундаментов

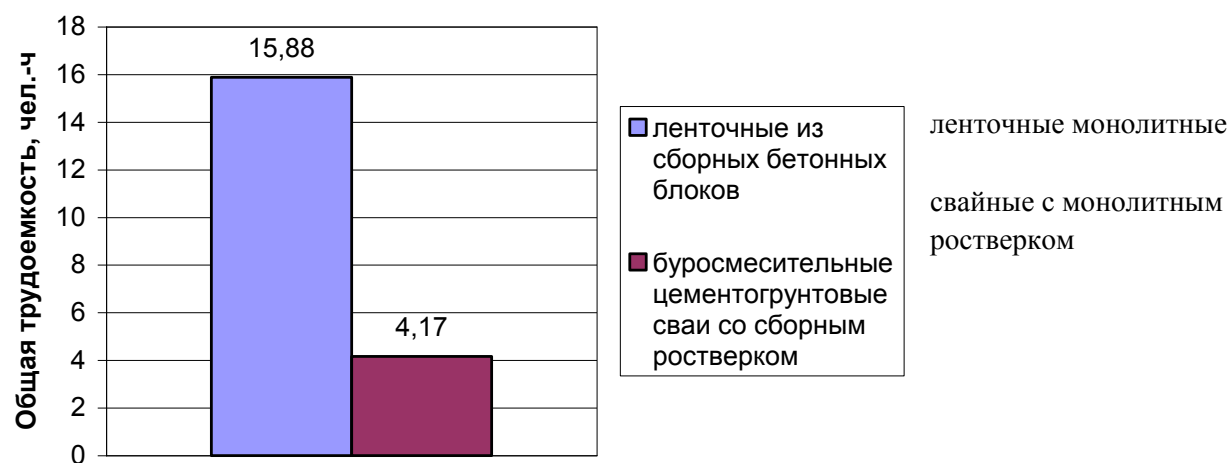


Рисунок 4 – Общая сложность сооружения ленточных и свайных монолитных фундаментов

Для наглядности результаты исследований первого этапа сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты первого этапа исследования

Наименование рассматриваемого показателя	Вид фундамента	
	Ленточный монолитный	Буросмесительные цементные сваи с монолитным ростверком
Расход бетона	660 кг	190 кг
Расход цемента	145 кг	98,9 кг
Трудоёмкость монтажа	3,29 чел. часа	1,17 чел. часа
Общая трудоёмкость	15,88 чел. часа	4,17 чел. часа

В результате сравнительного расчёта техниких показателей при сооружении ленточных монолитных фундаментов и фундаментов на буросмесительных цементных сваях с монолитным ростверком можно утверждать о значительном преимуществе фундаментов на буросмесительных цементных сваях с монолитным ростверком перед ленточными монолитными фундаментами (таблица 1). Расход бетона при сооружении фундаментов на буросмесительных цементных сваях с монолитным ростверком более чем в 3 раза меньше, чем при сооружении ленточных монолитных фундаментов. Расход цемента при сооружении фундаментов на буросмесительных цементных сваях с монолитным ростверком почти в 1,5 раза меньше, чем при сооружении ленточных монолитных фундаментов. Трудоёмкость монтажа, общая трудоёмкость и приведённые затраты при сооружении фундаментов на буросмесительных цементных сваях с монолитным ростверком почти в 3 раза меньше, чем при сооружении ленточных монолитных фундаментов.

На втором этапе исследований проведено сравнение техниких показателей при сооружении фундаментов из сборных сплошных блоков, буронабивных бетонных свай и буросмесительных цементогрунтовых свай. Диаграммы расчётов представлены на рисунках 5–7.

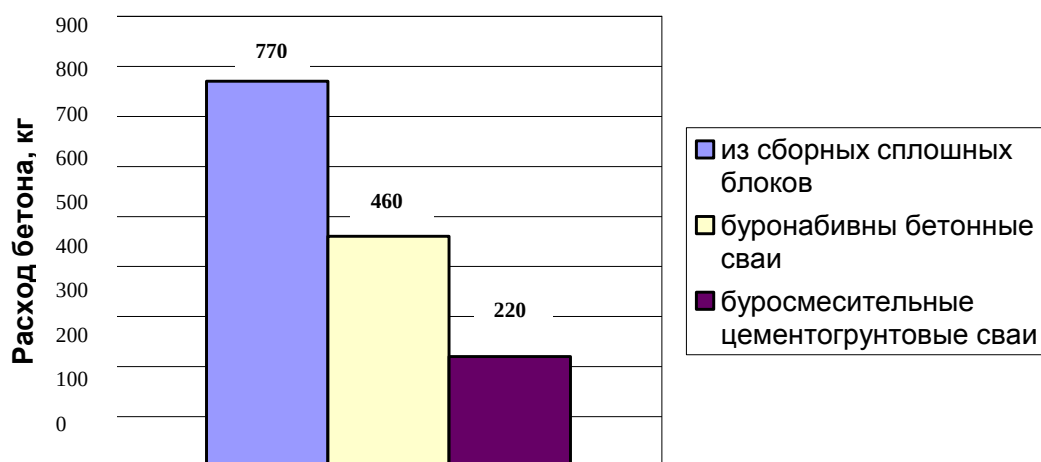


Рисунок 5 – Расход бетона при сооружении различных типов фундаментов

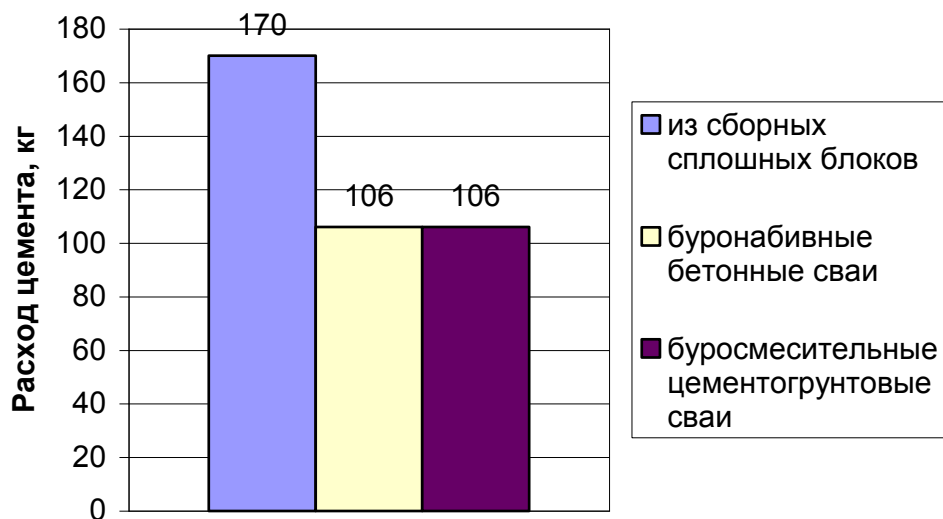
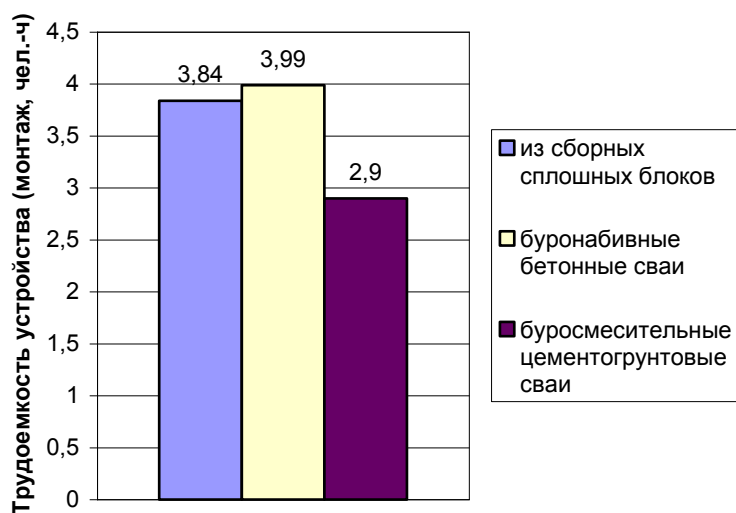


Рисунок 6 – Расход цемента при сооружении различных типов фундаментов



Риунок 7 – Трудоемкость монтажа различных типов фундаментов

Для наглядности результаты исследований второго этапа сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты второго этапа исследования

Наименование рассматриваемого показателя	Вид фундамента		
	Из сборных сплошных блоков	Бурунабивные бетонные сваи	Буросмесительные цементно-грунтовые сваи
Расход бетона	770 кг	460 кг	220 кг
Расход цемента	170 кг	106 кг	106 кг
Трудоёмкость монтажа	3,84 чел. часа	3,99 чел. часа	2,9 чел. часа

В результате сравнительного расчёта техниких показателей при сооружении фундаментов из сборных сплошных блоков, буронабивных бетонных свай и бурсмесительных цементно-грунтовых свай можно утверждать о значительном преимуществе фундаментов на бурсмесительных цементно-грунтовых сваях перед фундаментами из сборных сплошных блоков и буронабивных бетонных свай (таблица 2). Обращает на себя внимание равенство значений техникого показателя расхода цемента при сооружении фундаментов на буронабивных бетонных и бурсмесительных цементогрунтовых сваях 106 килограмм. Однако это не снижает преимущества сооружения фундаментов на бурсмесительных цементно-грунтовых сваях перед фундаментами на буронабивных бетонных сваях. Возведение фундаментов на буронабивных бетонных сваях недопустимо рядом с существующими зданиями или сооружениями. Это связано с ударными воздействиями, которые необходимы при монтаже фундаментов на буронабивных бетонных сваях, способными нанести повреждения фундаментам рядом находящихся зданий или сооружений.

Выводы и рекомендации

1. В результате сравнительного расчёта технических показателей при сооружении ленточных фундаментов из сборных бетонных блоков и фундаментов на бурсмесительных цементных сваях со сборным ростверком можно утверждать о значительном преимуществе фундаментов на бурсмесительных цементных сваях со сборным ростверком перед ленточными фундаментами из сборных бетонных блоков.

2. В результате сравнительного расчёта технических показателей при сооружении фундаментов из сборных сплошных блоков, буронабивных бетонных свай и бурсмесительных цементно-грунтовых свай можно утверждать о значительном преимуществе фундаментов на бурсмесительных цементно-грунтовых сваях перед фундаментами из сборных сплошных блоков и буронабивных бетонных свай.

3. Применение вместо железобетонных забивных свай буронабивных способствует укреплению грунтов и повышает технику эффективность строительного процесса.

4. Изготовление бурсмесительным способом с механоактивацией свай из цементогрунта снижает потребность в крупном заполнителе, не требует вывоз грунта со строительной площадки.

5. При сооружении фундамента вместе с цементом в качестве механоактивированного компонента применяют грунт из приямка.

6. Производство свай из цементогрунта бурсмесительным способом с механоактивацией минимизирует парк строительных машин и механизмов, сокращает количество строительных рабочих и снижает стоимость нулевого цикла.

Список использованных источников

1. Серегин, Н. Г. Укрепление грунтов при возведении цементогрунтовых свай / Н. Г. Серегин // Промышленное и гражданское строительство. – 2023. – № 4. – С. 37–42. – DOI: 10.33622/0869-7019.2023.04.37-42.

2. Серегин, Н. Г. Механоактивационный способ получения вяжущего для устройства цементогрунтовых свай / Н. Г. Серегин, В. И. Запруднов // Лесной вестник / *Forestry Bulletin*. – 2023. – Т. 27, № 1. – С. 114–120. – DOI: 10.18698/2542-1468-2023-1-114-120.
3. Серегин, Н. Г. Определение оптимальных составов цементогрунтов при устройстве свайных фундаментов буромесительным способом / Н. Г. Серегин, В. И. Запруднов // Лесной вестник / *Forestry Bulletin*. – 2021. – Т. 25, № 5. – С. 106–110. – DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-106-110.
4. Серегин, Н. Г. Исследования повышения несущей способности грунтов оснований методом цементации / Н. Г. Серегин, В. И. Запруднов // Лесной вестник / *Forestry Bulletin*. – 2020. – Т. 24, № 5. – С. 104–108. – DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-104-108.
5. Seregin, N. Comparative analysis of the cost of foundations of various types / N. Seregin // *E3S Web of Conferences* 549. – July 2024. – DOI: 10.1051/e3sconf/202454904016.
6. Seregin, N. Parametric model of cement soil / N. Seregin // *Lecture Notes in Civil Engineering* 180. – 2022. – DOI: 10.1007/978-3-030-83917-8-43.
7. Seregin, N. An integrated way to improve the properties of soil-cement pile foundations / N. Seregin // *E3S Web of Conferences* 157, 06006. – 2020.
8. Seregin, N. Feasibility for the implementation of cement piles / N. Seregin // *IOP Conf. Series: Mat. Science and Eng.* 953, 012093. – 2020.
9. Omarov, A. Investigations of piles by bidirectional static loading test in Astana soils / A. Omarov, A. Zhussupbekov, V. Kaliakin // *E3S Web of Conferences*. – 2023. – Vol. 457:02057.
10. Comparison of the results of different types of testing piles with static load to predict the load capacity of piles / A. Omarov, A. Zhussupbekov, V. Kaliakin [et al.] // *Journal of Applied Science and Engineering (Taiwan)*. – 2025. – Vol. 28 (1). – P. 163–174.
11. Bearing Capacity of Precast Concrete Joint Micropile Foundations in Embedded Layers: Predictions from Dynamic and Static Load Tests according to ASTM Standards / A. Omarov, A. Sarsembayeva, A. Zhussupbekov [et al.] // *Infrastructures*. – 2024. – Vol. 9 (7). – P. 104.
12. Features of testing piles for high-rise buildings in difficult soil conditions in Astana / S. Mussakhanova, A. Zhussupbekov, A. Omarov [et al.] // *International Journal of Geomate*. – 2023. – Vol. 25 (110). – P. 106–113.
13. Evaluation of the Structural Health Monitoring Results of the Applied Fiber Optics in the Pile Raft Foundations of a High-Rise Building / A. Buranbayeva, A. Zhussupbekov, A. Sarsembayeva, A. Omarov // *Applied Sciences (Switzerland)*. – 2022. – Vol. 12 (22). – P. 11728.
14. Investigation of the interaction of the bored micro pile by dds (fdp) technology with the soil ground / A. Issakulov, A. Omarov, A. Zhussupbekov [et al.] // *International Journal of Geomate*. – 2023. – Vol. 24 (105). – P. 11–17.
15. Buranbayeva, A. M. Numerical analysis and geomonitoring of behaviour of foundation of Abu-Dhabi Plaza in Nur-Sultan / A. M. Buranbayeva, A. Zhussupbekov, A. R. Omarov // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2021. – Vol. 1928 (1). – P. 012033.