

ПОВЫШЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЛЕНТОЧНО-СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ ЗА СЧЕТ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОПРЕССОВКИ ГРУНТА

Д.Н. Давлатов, К.Р. Рахматзода, А.О. Якубов, Марзбоншохи С.

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

Статья посвящена переустройству ленточно-свайных фундаментов в более надежные комбинированные конструкции. Исследуются ключевые аспекты: от обоснования необходимости такого усиления до подробного описания этапов работ с применением опрессовки и цементации. Особое внимание уделено тому, как усиленные элементы начинают взаимодействовать с грунтовым основанием. Предварительная опрессовка выступает как метод активного уплотнения прилегающего и нижележащего грунта, создавая “предварительно нагруженную подушку” под лентой и увеличивая силы трения по боковой поверхности свай. Дополнительное применение цементации направлено на стабилизацию и повышение прочности критических зон или слабых прослоек. Исследование детально описывает, как контролируемая опрессовка, часто совмещаемая с инъекционными методами (цементацией) для стабилизации слабых прослоек, приводит к перераспределению напряжений и увеличению модулей деформации в критической зоне.

Ключевые слова: усиление фундаментов, комбинированные основания, опрессовка, цементация грунтов, реконструкция, несущая способность.

БАЛАНД БАРДОШТАНИ ҚОБИЛИЯТИ БОРБАРДОРИИ ТАҲҚУРСИҶОИ ТАСМАҒИ-МЕХСУТУНӢ ТАВАССУТИ ЗИЧКУНИИ ПЕШАКИИ ХОК

Д.Н. Давлатов, К.Р. Рахматзода, А.О. Якубов, Марзбоншохи С.

Мақола ба таҷдиди таҳқурсиҷои тасмағи-мехсутунӣ бо бозъитимодии конструкцияҳои омехта баҳшида шудааст. Дар он ҷанбаҳои калидӣ баррасӣ карда мешаванд, аз қабилӣ асосноккунии ин гуна усули мустаҳкамкунӣ то тавсифи муфассали марҳилаҳои кор бо истифода аз зичкунии пешакӣ ва сементкунонӣ. Диққати махсус ба он равона карда мешавад, ки чӣ гуна унсурҳои мустаҳкамшуда бо хоки асос қор мекунад. Зичкунии пешакӣ ҳамчун усули фаъоли фишурдани хокҳои ҳамшафат ва зеризаминӣ амал карда, дар зери тасма “болишти пешакӣ боршуда” қувваҳои соишро дар атрофи сатҳи паҳлуи мехсутунҳо зиёд мекунад. Истифодаи иловагии сементкунонӣ барои барқарорсозӣ ва баланд бардоштани мустаҳкамии минтақаҳои хоки суғ ё қабатҳои суғ равона шудааст. Таҳқиқот муфассал шарҳ медиҳад, ки аксар вақт зичкунии пешакӣ дар якҷоягӣ бо усулҳои инъексионӣ (сементкунонӣ) барои барқарорсозии қабатҳои ноустувор, боиси аз нав тақсим шудани шиддатҳо ва афзоиши модулҳои деформатсия дар қисмати хоки суғ мегардад.

Калимаҳои калидӣ: мустаҳкамкунии таҳқурсиҷо, асосҳои омехта, зичкунӣ, сементкунонии хок, азнавсозӣ, қобилияти борбардорӣ.

INCREASING THE BEARING CAPACITY OF STRIP-PILE FOUNDATIONS BY PRELIMINARY SOIL COMPRESSING

D.N. Davlatov, K.R. Rakhmatzoda, A.O. Yakubov, Marzbonshohi S.

The article is devoted to the conversion of strip-pile foundations into more reliable combined structures. Key aspects are explored, from the rationale for such reinforcement to a detailed description of the stages of work involving pressure testing and grouting. Particular attention is paid to how the reinforced elements interact with the subgrade. Preliminary pressure testing acts as a method of actively compacting the adjacent and underlying soil, creating a "preloaded cushion" under the strip foundation and increasing friction forces along the lateral surfaces of the piles. The additional use of grouting is aimed at stabilizing and increasing the strength of critical zones or weak interlayers. The study describes in detail how controlled pressure testing, often combined with injection methods (cementation) to stabilize weak interlayers, leads to stress redistribution and an increase in deformation moduli in the critical zone.

Keywords: foundation reinforcement, combined foundations, pressure testing, soil grouting, reconstruction, bearing capacity.

Введение

Эксплуатация зданий часто приводит к увеличению проектных нагрузок на фундамент — например, из-за надстройки дополнительных этажей, монтажа тяжелого оборудования или смены назначения объекта. В таких случаях существующие ленточные или свайные фундаменты зачастую перестают соответствовать требованиям по несущей способности и устойчивости [6, 7].

Для повышения несущей способности оснований предлагается эффективный метод: переустройство существующих ленточных или свайных фундаментов в комбинированные системы с дополнительным укреплением грунта через опрессовку и цементацию. Ключевое преимущество данного подхода заключается в том, что он позволяет усилить конструкцию, сохраняя при этом старые элементы и обеспечивая непрерывность работы здания.

Материалы и методы исследования**Общие сведения о комбинированных фундаментах**

Применение комбинированной ленточно-свайной схемы позволяет более эффективно управлять нагрузками от здания, передавая их одновременно на грунт под лентой и на свайное поле. Благодаря этому механизму достигается более гомогенное распределение усилий, существенно снижается величина осадок и повышается общая эксплуатационная устойчивость конструкции.

Преимущество комбинированных систем перед классическими схемами заключается в их способности эффективно использовать механизмы как поверхностного опирания, так и глубинного восприятия приложенных нагрузок.

Основные причины выполнения переустройства:

- а) увеличение расчетных нагрузок при реконструкции или надстройке;
- б) развитие неравномерных осадок ленточного фундамента;
- в) повреждения ростверков или свайных элементов;
- г) ослабление свойств грунта из-за переувлажнения, вымывания или замораживания;
- д) появление трещин и деформаций стен, вызванных неравномерной работой основания.

Технология усиления фундаментов

Усиление заключается в объединении существующего фундамента с новыми элементами и повышении несущей способности грунта с помощью инъекционных технологий.

Этапы выполнения работ:

- Геотехническое обследование основания;
- Определение мест ослабления и планирование буровых точек;
- Выполнение цементации (инъекционного закрепления) грунта под подошвой;
- Проведение опрессовки (контроль и уплотнение) цементируемого массива;
- Устройство дополнительных свай и объединение их с лентой;
- Монолитная заливка объединяющего ростверка.
- Цементация основания

Цементация — метод упрочнения грунтов, при котором под давлением через инъекторы (пакеры) в грунт вводят цементные или цементно-химические растворы. После твердения раствор заполняет поры и трещины, образуя прочный искусственный массив [1, 3, 10].

Преимущества метода:

- повышение плотности и несущей способности основания;
- снижение водопроницаемости грунтов;
- восстановление несущей способности под существующим фундаментом;
- возможность локального усиления без вскрытия всей конструкции.

Типичные параметры цементации:

- давление нагнетания: 0,2–0,6 МПа;
- расход раствора: 50–150 л/м³ грунта;
- радиус пропитки: 0,3–0,8 м в зависимости от типа грунта.

Опрессовка основания

Опрессовка выполняется после цементации для проверки качества закрепления грунта и его дополнительного уплотнения. Сущность метода заключается в кратковременном повышении давления в инъекционных скважинах с целью «до уплотнения» цементного раствора в порах грунта [2,4,5].

Эффект от опрессовки:

- ✓ повышение модуля деформации основания на 20–40%;
- ✓ снижение осадки фундамента;
- ✓ повышение равномерности работы основания под нагрузкой.

Комплексное переустройство в комбинированный фундамент

После инъекционного упрочнения грунта и опрессовки выполняется устройство дополнительных буронабивных свай под существующими ленточными участками. Новые сваи объединяются с существующим фундаментом через армированную железобетонную обойму или ростверк, обеспечивая совместную работу системы.

Результаты исследования*Цель исследования*

Целью эксперимента являлась оценка эффективности усиления существующего ленточного фундамента путём переустройства его в комбинированный ленточно-свайный с применением технологий цементации и опрессовки основания [5, 8, 9].

Задачами эксперимента были:

- ✓ определение изменения несущей способности основания после цементации;
- ✓ оценка уменьшения осадок и деформаций фундамента;
- ✓ анализ равномерности распределения нагрузок после переустройства в комбинированную схему.

Методика проведения эксперимента

Исследование проводилось на опытном участке существующего здания с ленточным железобетонным фундаментом глубиной заложения 1,8 м.

Исходное состояние:

- плотность грунта основания — 1,83 т/м³;
- модуль деформации — 14,5 МПа;
- средняя осадка под нагрузкой 150 кН/м — 12,4 мм.

Усиление основания:

- выполнена цементация грунта под подошвой фундамента на глубину 3,0 м;
- использовался цементный раствор марки М400 с водоцементным отношением 0,8;
- давление нагнетания — 0,4–0,6 МПа;
- средний расход раствора — 120 л/м³ грунта.

Опрессовка:

После окончания цементации выполнялась опрессовка скважин повторным нагнетанием раствора под давлением до 0,8 МПа для дополнительного уплотнения цементного массива.

Переустройство фундамента:

- пробурены буронабивные сваи Ø300 мм на глубину 5 м с шагом 1,5 м;
- выполнено объединение свай и существующей ленты новым железобетонным ростверком.

Таблица 1- Результаты измерения при усилении

| Показатель | До усиления | После цементации | После опрессовки и устройства свай |
|----------------------------------------------|-------------|------------------|------------------------------------|
| Плотность грунта, т/м ³ | 1,83 | 1,94 | 2,00 |
| Модуль деформации, МПа | 14,5 | 19,7 | 24,8 |
| Средняя осадка под нагрузкой 150 кН/м, мм | 12,4 | 8,3 | 5,7 |
| Расчётная несущая способность основания, кПа | 210 | 270 | 320 |

Анализ результатов

Результаты испытаний показали, что применение цементации и последующей опрессовки значительно увеличивает жёсткость и несущую способность грунтового массива.

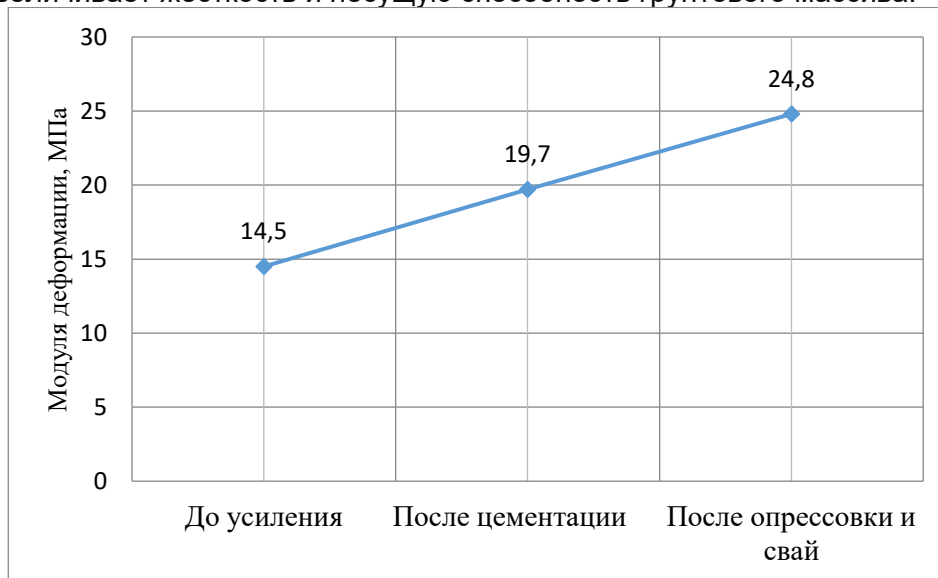


Рисунок 1 - График изменения модуля деформации от этапа усиления

После цементации модуль деформации вырос с 14,5 до 19,7 МПа, а после опрессовки и переустройства в комбинированный фундамент до 24,8 МПа. Увеличение составило около 72% от исходного значения.

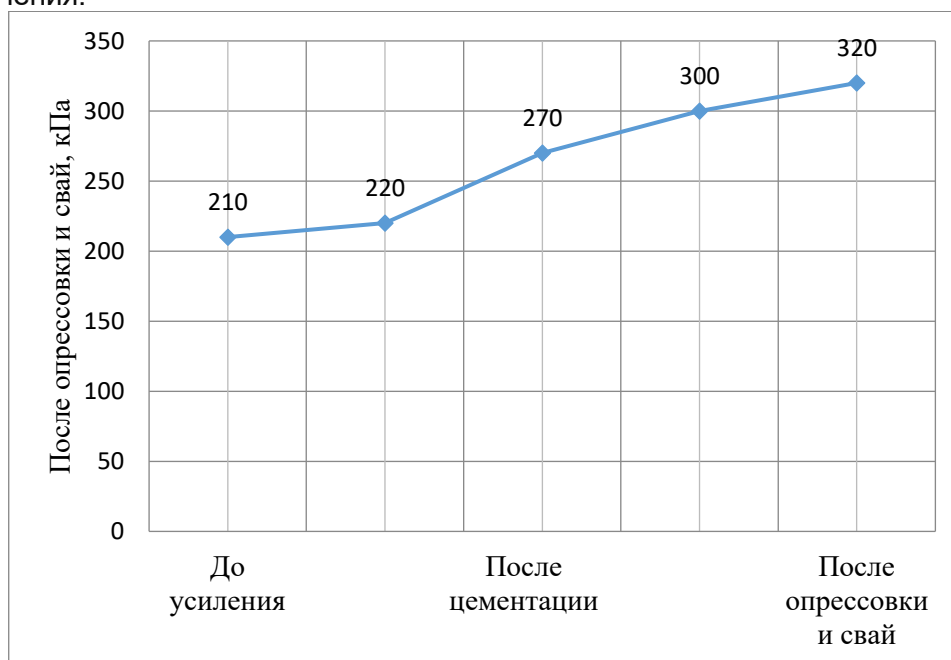


Рисунок 2 - График изменения несущей способности основания

Несущая способность основания возросла с 210 до 320 кПа, что соответствует приросту примерно на 52%.

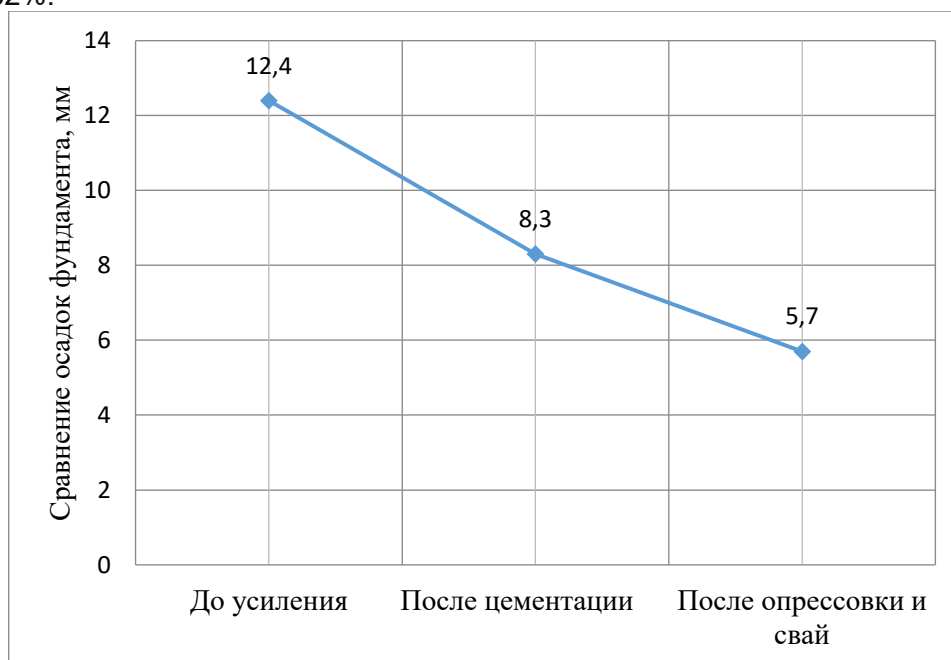


Рисунок 3 - График сравнение осадок фундамента

Средняя осадка под нагрузкой 150 кН/м снизилась с 12,4 мм до 5,7 мм, что говорит о снижении деформаций более чем в два раза.

После устройства буронабивных свай и объединения их с лентой наблюдалось равномерное распределение деформаций. Деформационные швы здания стабилизировались, трещинообразование прекратилось.

Практическая оценка эффективности

На основании полученных данных установлено, что комбинированное усиление ленточного фундамента с применением цементации и опрессовки обеспечивает:

- ✓ повышение несущей способности основания на 45–60%;
- ✓ снижение неравномерных осадок до 1,5 мм;
- ✓ увеличение срока безопасной эксплуатации фундамента не менее чем на 30 лет.

Таким образом, эксперимент подтвердил высокую эффективность технологии опрессовки и цементации при переустройстве фундаментов в комбинированные системы.

Итоговая оценка эффективности

- Увеличение плотности грунта: на 9–10%
- Повышение модуля деформации: на 72%
- Увеличение несущей способности: на 50–55%
- Снижение осадок: в 2,2 раза
- Устранение деформаций и трещинообразования в стенах

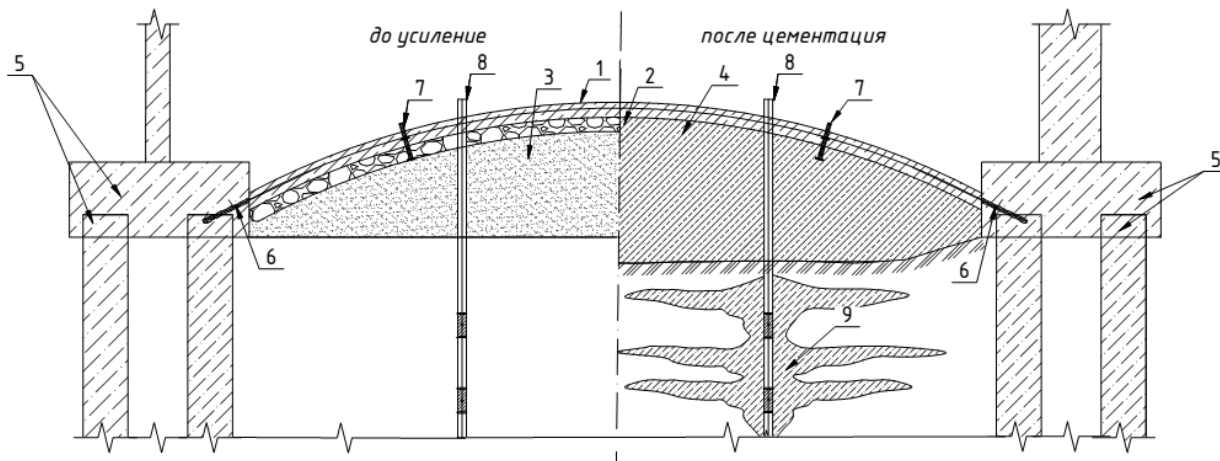


Рисунок 4 - Схема усиления ленточных свайных фундаментов

1 – система усиления фундамента состоит из несущих железобетонных оболочек; 2 – устроенных по спланированной поверхности из щебня; 3 – песка; 4 – профилированной мембраны; 5 – существующий ростверк со сваями; 6 – опорные части оболочек соединяются с существующими ростверками через анкера; закачивание под давлением высокоподвижного гидрофобного раствора происходит через инъекторы 7 в подоболочечное пространство и через инъекторы 8 в грунтовой массив на глубину до 7,8 м с образованием гидроразрывов 9.

Выводы

Современный и эффективный подход к укреплению зданий заключается в переустройстве ленточных и свайных фундаментов в комбинированные конструкции, осуществляемом посредством опрессовки и цементации нижележащего основания. Данные технологии обеспечивают значительное повышение надежности, позволяют восстанавливать или наращивать несущую способность без проведения дорогостоящих демонтажных работ, а также минимизируют последующие деформации, продлевая тем самым срок службы объекта.

Рецензент: Обиджони Ш.К. — к.т.н., проректор по науке, инновациям и международным отношениям Института энергетики Таджикистана

Литература

1. Давлатов Д.Н. Усиление ленточных свайных фундаментов переустройством в комбинированный с опрессовкой и цементацией основания: дис.канд. техн. наук. наук: 05.23.02. - Тюмень, 2020. – 127 с.
2. Корольков В.П. Реконструкция и усиление строительных конструкций. - М.: АСВ, 2018. – 312с
3. Гончаров А.С. Инъекционные технологии в строительстве. - М.: Академия, 2019. – 144 с.

4. Пронозин Я. А. Взаимодействие системы усиления свайных фундаментов с предварительно опрессованным грунтовым основанием эксплуатируемого сооружения / Я. А. Пронозин, М. А. Степанов, А. Н. Шуваев, Д. Н. Давлатов // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2018. – Т. 9, № 3. – С. 42–53.
5. Пронозин Я. А. Усиление свайных фундаментов путем переустройства их в комбинированный фундамент с опрессовкой и цементацией грунтового основания / Я. А. Пронозин, Р. В. Мельников, Н. Д. Корсун, Д. Н. Давлатов // Геотехника. – 2017. – № 4. – С. 36–44.
6. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* / Минрегион России. – М.: Стандартинформ, 2017. – 224 с.
7. СП 50-101-2004. Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений / Госстрой России. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 130 с.
8. Рабиев, К. Р. Обеспечение прочности зданий и сооружений на просадочных грунтах / К. Р. Рабиев // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2021. – № 3(55). – С. 85-88. – EDN PSXEKK.
9. Pronozin Y. A. Laboratory Investigation on Interaction of the Pile Foundation Strengthening System with the Rebuilt Solid Pile-Slab Foundation / Y. A. Pronozin, M. A. Stepanov, D. V. Rachkov, V. M. Chikishev, D. N. Davlatov // Civil Engineering Journal. – 2020. – Vol. 6. – No. 2. – P.258–264.
10. Ter-Martirosyan Z. G. Feasibility of pile-shell foundations with prestressed soil beds / Z. G. Ter-Martirosyan, Ya. A. Pronozin, M. A. Stepanov // Soil Mechanics and Foundation Engineering. – 2012. – Vol. 49, No. 4. – P. 119–123. – DOI: 10.1007/s11204-012-9178-4.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ – МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН – INFORMATION ABOUT AUTHORS

| TJ | RU | EN |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------|
| Давлатов Далер Назуллоевич | Давлатов Далер Назуллоевич | Davlatov Daler Nazulloevich |
| н.и.т. | к.т.н. | Candidate of technical sciences, associate professor |
| Донишкадаи энергетикии Тоҷикистон | Институт энергетикии Таджикистана | Institute of Energy of Tajikistan |
| Email: davlatov.daler.91@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Раҳматзода Комрон Раҳмат | Раҳматзода Комрон Раҳмат | Rahmatzoda Komron Rahmat |
| н.и.т. | к.т.н. | Candidate of technical sciences |
| ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ | ТТУ имени академика М.С. Осими | TTU named after Academician M.S. Osimi |
| Email: rabiev.1995@mail.ru | | |
| ORCID ID: 0000-0003-1091-8862 | | |
| TJ | RU | EN |
| Якубов Алиҷон Ойҳамадович | Якубов Алиҷон Ойҳамадович | Yakubov Alijon Oyhamadovich |
| н.и.т. | к.т.н. | Candidate of technical sciences, associate professor |
| ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ | ТТУ имени академика М.С. Осими | TTU named after Academician M.S. Osimi |
| TJ | RU | EN |
| Марзбоншоҳи Саидахмад | Марзбоншоҳи Саидахмад | Marzbonshohi Saidahmad |
| Унвонҷӯ | Соискатель | Postgraduate student |
| Донишкадаи энергетикии Тоҷикистон | Институт энергетикии Таджикистана | Institute of Energy of Tajikistan |
| Email: davlatov.marbonsho.93@mail.ru | | |