

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

Russian journal of transport engineering

2019, №1, Том 6 / 2019, No 1, Vol 6 <https://t-s.today/issue-1-2019.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/08SATS119.pdf>

DOI: 10.15862/08SATS119 (<http://dx.doi.org/10.15862/08SATS119>)

Статья поступила в редакцию 15.01.2019; опубликована 05.03.2019

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Солопова Н.А., Селезнева Ж.В., Филиппова Ю.О. Усиление грунтов и фундаментов объектов строительства с целью снижения эксплуатационных затрат // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2019 №1, <https://t-s.today/PDF/08SATS119.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/08SATS119

**For citation:**

Solopova N.A., Selezneva Zh.V., Filippova Yu.O. (2019). Strengthening of soil and foundations of construction objects in order to reduce operating costs. *Russian journal of transport engineering*, [online] 1(6). Available at: <https://t-s.today/PDF/08SATS119.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/08SATS119

УДК 624.131

ГРНТИ 67.11.29

**Солопова Наталья Анатольевна**

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»  
Москва, Россия

Профессор кафедры «Менеджмента и инноваций»

Доктор экономических наук, доцент

E-mail: [ushanovan@mail.ru](mailto:ushanovan@mail.ru)

РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=459031](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=459031)

**Селезнева Жанна Владимировна**

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара, Россия  
Доцент кафедры «Стоимостного инжиниринга и технической эксплуатации зданий и сооружений»

Кандидат экономических наук, доцент

E-mail: [sjv-74@mail.ru](mailto:sjv-74@mail.ru)

РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=518610](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=518610)

**Филиппова Юлия Олеговна**

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара, Россия  
Магистр

E-mail: [yuliya.filippova96@list.ru](mailto:yuliya.filippova96@list.ru)

**Усиление грунтов и фундаментов  
объектов строительства с целью снижения  
эксплуатационных затрат**

**Аннотация.** В данной статье рассматривается метод усиления плитного фундамента, осуществляемый подведением грунтоцементных свай. Сваи должны располагаться под нагруженными конструкциями объекта капитального строительства – стенами и колоннами. На основании полученных в исследовании результатов выявлено, что при уменьшении действующих нагрузок до 46 % в грунтоцементных сваях жесткость этих свай увеличивается на 10–12 %, а изгибающие моменты в фундаментной плите уменьшаются на 0,5–3 %. Нагрузка на сваи усиления становится равномерной при равномерной структуре здания в плане. Разность между предельными и средними значениями достигает 14 %. На основании полученных

численных данных авторами был произведен способ расчета нагрузки на грунтоцементные сваи при укреплении плитного фундамента, включая нагрузки, переданные на основание плиты до процесса выполнения усиления. Также была разработана методика проектирования усиления сваями фундамента. Данная технология позволяет уменьшить нагрузки на сваи более чем в 2 раза по полученным расчетам, также сократить до 30 % стоимость работ по усилению плитного фундамента и материалоемкость. Авторами на основании проведенного исследования сделаны следующие выводы: знание происхождения грунтов, условий их создания и изменений в ходе последующего существования их состава и структуры позволяет воздействовать на их физико-механические свойства. Это позволит верно произвести оценку надежности и их деформируемости на протяжении всего строительства объектов и на стадии их эксплуатации, следовательно, позволит снизить эксплуатационные затраты.

**Ключевые слова:** способы усиления грунтов; основания; фундаменты; фундаментная плита; нагрузки; грунтоцементные сваи; несущая способность

Долговечность объектов капитального строительства, их соотношение назначению определяются состоянием оснований и фундаментов. Совокупность основание – фундамент является достаточно сложной в функционировании в ходе возведения и эксплуатации сооружений. Данная система в эксплуатационных условиях постоянно подвергается одновременному воздействию различных факторов, из которых наиболее важными являются изменение свойств оснований и влияния, которые связаны с деятельностью человека [1–3].

Актуальность выбранной темы заключается в том, что строительство было и остается одной из основных производственных сфер решения как общегосударственных, так и региональных социально-экономических задач, а усиление фундаментов и грунтов является очень важным мероприятием, позволяющим продлить срок службы сооружений, в процессе эксплуатации которых возникли деформации.

Грунты оказывают значительную роль в процессе расчетов и проектировании возведения фундаментов различных строительных объектов. Это связано с тем, что виды грунтов ведут себя неодинаково при определенных климатических условиях [4–6].

Фундамент – несущая конструкция, воспринимающая нагрузки от вышележащих конструкций и распределяющая их по основанию.

Основания объектов капитального строительства подразделяют на два вида [7]:

- искусственные;
- естественные.

Искусственные основания – грунты, не выдерживающие по механическим свойствам нагрузки от зданий и сооружений в природном состоянии. В связи с этим для укрепления слабых грунтов выполняют определенные мероприятия. К слабым основаниям относят насыпные грунты и грунты с органическими примесями. Насыпные грунты возникают при засыпке оврагов, водоемов. Грунты с органическими примесями содержат – торф, ил, растительный грунт. Данные грунты слабые, неоднородны по своему составу, отличаются неравномерной сжимаемостью. Следовательно, их используют в качестве оснований после укрепления цементацией, уплотнением, битумизацией, силикатизацией или термическим способом.

Естественные основания – грунты, имеющие достаточную несущую способность в условиях природного залегания. Данные основания не требуют дополнительных мероприятий

по усилению грунта. Их возведение заключается в разработке котлована на глубину заложения фундамента объекта.

Основными типами фундаментов являются следующие [8]:

Ленточный фундамент, который является актуальным в современном строительстве. Он представляет собой железобетонную полосу, располагающуюся по всему периметру здания. При этом устройство фундамента осуществляется под коробку сооружения, также под внутренние несущие стены с поддержанием одинаковой формы поперечного сечения фундамента. Преимущества ленточного фундамента: прочность, долговечность, быстрый срок изготовления, относительная дешевизна. Недостатки: трудность гидроизоляции при устройстве на влажный грунт.

Столбчатый фундамент представляет собой отдельно стоящие столбы-опоры под здание. Данная конструкция производится из бетона и позволяет уменьшить расход. Этот тип фундамента рационально применять при строительстве относительно небольших объектов капитального строительства без подвалов, а также различных строений для хозяйственных нужд. К преимуществам столбчатого фундамента относятся отсутствие потребности выполнения земляных работ в существенных объемах, а это, в свою очередь, позволяет существенно сократить расход на строительные материалы и работы. Стоимость его возведения по сравнению с ленточным фундаментом будет меньше на 30–50 %. Основным недостатком является невозможность его применения при строительстве тяжелых конструкций. Кроме этого, на надежность конструкции отрицательно воздействует ее стремление к перемещению в горизонтальном направлении. Чтобы этого избежать, необходимо связывать опоры ростверком.

Свайный фундамент представляет собой совокупность свай, которые связаны между собой ростверком. Сваи – длинные элементы, которые забиваются в грунт в наклонном или вертикальном положении. Их необходимо устанавливать в той области, где сосредоточена наибольшая нагрузка, поэтому обязательно будут приходиться на места стыков несущих стен. Такой тип основания подбирается из-за слабых грунтов, располагающиеся в верхней области, на которой было выбрано строить сооружение. Из-за свай нагрузка от сооружения будет приходиться на более плотные слои, которые расположены на глубине. Основные преимущества: относительно низкая цена возведения, выполнение монтажа в любые погодные условия, допустимость использования при нестабильном грунте, осадка строения снижена до минимума. Основные недостатки: необходимость применения специальной тяжелой техники, затруднения при возведении цокольного этажа.

Монолитный фундамент считается одним из самых надежных оснований. Он представляет собой железобетонную плиту, занимающую всю площадь здания. Его выбирают из-за возможности нивелировать сдвиг грунта по вертикали или горизонтали, устойчивости при напоре грунтовой воды под высоким давлением. Преимущества монолита заключаются в следующем: имеет максимальную несущую способность из-за большой опорной площади, строительство плиты предусматривает минимальное количество земляных работ, отсутствие неравномерных деформаций гарантирует неразрывность стен дома в условиях пучинистого грунта. К минусам таких фундаментов относят: достаточно высокая стоимость, при устройстве глубокого фундамента понадобится аренда тяжелой техники и огромное количество строительного материала, изготовление основания занимает много времени.

Существует проблема в необходимости усиления плитных фундаментов при надстройке дополнительных этажей в процессе строительства, когда определенная часть объекта возведена, либо при переустройстве на стадии эксплуатации.

На наш взгляд, результативным методом усиления является подведение грунтоцементных свай под плиту.

Так как при проектировании усиления фундамента осуществляются расчеты основания по первому и второму предельным состояниям, также проверочные расчеты фундаментной плиты. При этом главным фактором является то, что при усилении фундамента сваи подводятся тогда, когда основание и фундамент уже приняли нагрузки от возведенной части объекта [9].

После устройства грунтоцементных свай и проведения мероприятий по усилению фундаментной плиты объект достраивается, и нагрузка принимается совместно системой свай – фундамент – основание.

Геотехнические вычисления с учетом добавления свай усиления в работу на любой стадии нагружения фундамента показывают, что нагрузки, которые передаются на сваи усиления в период эксплуатации на 20–40 % меньше тех нагрузок на сваи, которые рассчитаны при их общей работе с плитой без включения свай в работу на стадии нагруженного фундамента [9].

Проводятся исследования для того, чтобы учесть нагрузки, переданные на основание плиты до осуществления усиления, помимо этого, разрабатывается инженерный способ полного расчета плит фундамента, которые усиливаются грунтоцементными сваями, в зависимости от напряженно-деформированного состояния основания плиты в период усиления сваями.

Усиление фундаментной плиты грунтоцементными сваями может осуществляться по двум схемам: с локальным размещением вокруг несущих конструкций и с равномерным размещением свай по площади плиты [9].

Произведем расчет фундаментной плиты, усиленной грунтоцементными сваями. Фундамент здания спроектирован в виде монолитной железобетонной плиты на укрепленном основании с армированием стержнями класса А400. Толщина плиты – 1000 мм.

Усиление основания можно сделать подведением под плиту фундамента грунтоцементных свай, длина которых 10 м, диаметр 0,6 м. Сваи должны располагаться под нагруженными конструкциями здания – стенами и колоннами.

Несущая способность сваи рассчитывалась на основании свода правил СП 24.13330.2011 – Свайные фундаменты. Предельно допустимая расчетная нагрузка, оказываемая на сваю, равна 64 т. Жесткость сваи можно определить посредством расчетов в программном обеспечении Plaxis 2D. В таблице 1 показаны жесткости сваи и осадки в зависимости от нагрузки.

**Таблица 1**

**Значения осадки и жесткости сваи в зависимости от нагрузки [9]**

| Нагрузка, т | Осадка, мм | Жесткость, т/м |
|-------------|------------|----------------|
| 10          | 13,2       | 757,58         |
| 15          | 19,9       | 753,77         |
| 20          | 26,9       | 743,49         |
| 25          | 34         | 735,29         |
| 30          | 41,4       | 724,64         |
| 35          | 48,9       | 715,75         |
| 40          | 56,5       | 707,96         |
| 45          | 64,4       | 698,76         |
| 50          | 72,7       | 687,76         |
| 55          | 81         | 679,01         |
| 60          | 89,6       | 669,64         |
| 70          | 106,5      | 657,19         |
| 80          | 123,8      | 646,04         |

Сделаны сравнительные расчеты для следующих случаев:

1. Классический способ проектирования, когда усиления сваи осуществляются в одно время с основным каркасом здания. Проектная схема получена с жесткостью элементов, принятой при нагрузке 80 т на сваю. Жесткость данных элементов на основании свода правил СП 50-102-2003 – Проектирование и устройство свайных фундаментов равна:

$$x = N / S,$$

где  $N$  – нагрузка на сваю, т;  $S$  – осадка сваи, мм.

$$X = 80 \text{ т} / 123,8 \text{ мм} = 646 \text{ т/м}.$$

По итогам расчетов нагрузка на сваи  $P_0$  колеблется в пределах 55,7-77,4 т.

2. Рекомендуемый метод проектирования, когда напряженно-деформированное состояние фундамента рассчитывается, учитывая долю нагрузки, которая была передана до усиления сваями на каркас. В данном варианте на сваи передается от полной нагрузки только некоторая часть. Проектная схема принята с жесткостью элементов при нагрузке на сваю  $P$ , которая определяется, включая полученные результаты для нагруженной сваи (наибольшая нагрузка  $P_0 = 77,4$  т; коэффициент  $k = 0,898$ ; доля нагрузки  $\alpha = 0,6$ ):

$$P = 77,4 (1 - 0,6 * 0,898) = 35,7 \text{ т}.$$

Жесткость свай равна:

$$x = 35 \text{ т} / 48,9 \text{ мм} = 715 \text{ т/м}.$$

3. Проектная схема принята с жесткостью элементов при нагрузке на сваю  $P$ , рассчитанной с учетом определенных результатов для отдельно взятой сваи.

Жесткость свай с нагрузкой  $P_0$  до 70 т:  $30 \text{ т} / 41,4 \text{ мм} = 725 \text{ т/м}$ .

Жесткость свай с нагрузкой  $P_0$  свыше 70 т:  $35 \text{ т} / 48,9 \text{ мм} = 715 \text{ т/м}$ .

По итогам расчетов производилась оценка усилий в фундаментной плите, а конкретно изгибающих моментов  $M_x$  и  $M_y$ .

Сопоставление полученных результатов показано в таблице 2.

Таблица 2

Сопоставление результатов расчетов фундаментной плиты

| Расчетный случай                        | 1       | 2       | 3       |
|---|---------|---------|---------|
| Минимальный момент $M_x$ в плите, тм/м  | -116,79 | -116,1  | -116,08 |
| Максимальный момент $M_x$ в плите, тм/м | 220,34  | 212,13  | 212,53  |
| Минимальный момент $M_y$ в плите, тм/м  | -115,1  | -110,92 | -110,71 |
| Максимальный момент $M_y$ в плите, тм/м | 129,16  | 125,9   | 126,12  |
| Максимальная осадка, мм                 | 119,07  | 116,08  | 116,1   |

Составлено авторами

На основании полученных результатов можно сделать заключение: при уменьшении действующих нагрузок до 46 % в грунтоцементных сваях жесткость этих свай увеличивается на 10–12 %. Тем временем изгибающие моменты в фундаментной плите уменьшаются на 0,5–3 %. Нагрузка на сваи усиления становится равномерной при равномерной структуре здания в плане. Разность между предельными и средними значениями – до 14 %. В данном варианте применение переменной жесткости сваи по аналогии с переменным коэффициентом постели у плитных фундаментов не предлагается к использованию и влечет к незначительной разнице в результатах.

Итак, в случае первого варианта, когда сваи осуществляются в одно время с фундаментом, при предельно допустимой нагрузке 64 т нагрузка на сваю равна 77,4 т. Помимо

этого, нужно увеличить длину, диаметр и количество свай. В следующем варианте, когда расчет сделан с учетом доли нагрузки, принимаемой каркасом до процесса выполнения свай, составленная зависимость позволяет аргументировать уменьшение нагрузки на сваи и увеличение ее жесткости. При этом данное решение полностью удовлетворяет всем требованиям прочности, как для свай, так и для конструкций фундамента в целом.

Следовательно, можно сделать следующие выводы:

1. Произведен способ расчета нагрузки на грунтоцементные сваи при укреплении плитного фундамента, включая нагрузки, переданные на основание плиты до процесса выполнения усиления.
2. Разработана методика проектирования усиления сваями фундамента. Данная технология позволяет уменьшить нагрузки на сваи более чем в 2 раза, полученные расчетами, также сократить до 30 % стоимость работ по усилению плитного фундамента и материалоемкость.

В настоящее время строятся все более высокие объекты, включая подземное пространство. В промышленных объектах зачастую устанавливается оборудование, работа которого не позволяет неравномерных осадок фундамента [10]. Это обязывает предъявлять требования к основаниям.

Знание происхождения грунтов, условий их создания и изменений в ходе последующего существования их состава и структуры позволяет воздействовать на их физико-механические свойства. Это позволит верно произвести оценку надежности и их деформируемости на протяжении всего строительства объектов и на стадии их эксплуатации, следовательно, позволит снизить эксплуатационные затраты.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Функ А.А. Строительство зданий и сооружений в экстремальных климатических условиях: особенности организации работ и используемых стройматериалов // Транспортные сооружения, 2018 № 4, <https://t-s.today/PDF/06SATS418.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/06SATS418.
2. Воронин В.В., Шувалова Е.А., Одинцов А.А., Архангельский Е.А. Применение добавок для ускорения набора прочности как альтернатива тепловлажностной обработке бетона // Транспортные сооружения, 2018 № 2, <https://t-s.today/PDF/10SATS218.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/10SATS218.
3. Галкин Ю.Ю., Удодов С.А. Фазовый анализ структуры цементного камня, изолированного при его раннем нагружении // Транспортные сооружения, 2018 №1, <https://t-s.today/PDF/21SATS118.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/21SATS118.
4. Малинин А.Г., Салмин И.А. Расчет несущей способности армированной грунтоцементной сваи по материалу // Жилищное строительство, 2013. № 9. С. 14–17.
5. Эль-Моссалами Й.М., Луц Б., Дюрванг Р. Особенности поведения свайно-плитных фундаментов // Геотехника, 2013. № 2. С. 56–64.
6. Маковецкий О.А., Зуев С.С. Опыт армирования слабых грунтов в основании фундаментных плит с применением струйной геотехнологии / GeoMos 2010: тр. междунар. конф. по геотехнике, Москва, 7–10 июня 2010. – М., 2010. С. 1801–1808.
7. Грабовой П.Г. Реконструкция и обновление сложившейся застройки города: Учеб. пособие. М.: Издательство АСВ, 2006. 624 с.
8. Далматов Б.И., Бронин В.Н. и др. Основания и фундаменты. Ч.2. Основы геотехники. СПб.: Издательство АСВ, 2002. 392 с.
9. Готман Н.З., Сафиуллин М.Н. Расчет и проектирование усиления плитного фундамента грунтоцементными сваями // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2017. – Т. 8, № 4. – С. 64 [электронный ресурс] – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/raschet-i-proektirovanie-usileniya-plitnogo-fundamenta-gruntotsementnymi-svayami>.
10. Готман Н.З., Сафиуллин М.Н. Расчет параметров свайного поля при усилении основания фундаментной плиты грунтоцементными сваями [электронный ресурс] – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/raschet-i-proektirovanie-usileniya-plitnogo-fundamenta-gruntotsementnymi-svayami>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.

**Solopova Natalya Anatol'evna**

Moscow state (national research) university of civil engineering, Moscow, Russia  
E-mail: ushanovan@mail.ru

**Selezneva Zhanna Vladimirovna**

Samara state technical university, Samara, Russia  
E-mail: sjv-74@mail.ru

**Filippova Yuliya Olegovna**

Samara state technical university, Samara, Russia  
E-mail: yuliya.filippova96@list.ru

## Strengthening of soil and foundations of construction objects in order to reduce operating costs

**Abstract.** This article discusses the method of strengthening the slab foundation, carried out by summing up the soil-cement piles. Piles should be located under the loaded structures of the capital construction object – walls and pillars. Based on the results obtained in the study, it was found that with a reduction in the effective loads of up to 46 % in the soil-cement piles, the stiffness of these piles increases by 10–12 %, and the bending moments in the base plate decrease by 0.5–3 %. The load on the pile gain becomes uniform with a uniform structure of the building in the plan. The difference between the limit and average values reaches 14 %. Based on the obtained numerical data, the authors produced a method for calculating the load on the soil-cement piles while strengthening the slab foundation, including the loads transferred to the base of the slab prior to the reinforcement process. A technique for designing the foundation pile foundation was also developed. This technology allows to reduce the load on the piles by more than 2 times according to the obtained calculations, also reduce the cost of work to strengthen the slab foundation and material consumption by up to 30 %. The authors on the basis of the study made the following conclusions: knowledge of the origin of soils, the conditions of their creation and changes in the course of the subsequent existence of their composition and structure allows us to influence their physico-mechanical properties. This will make it possible to correctly assess the reliability and their deformability throughout the entire construction of facilities and at the stage of their operation, therefore, will allow to reduce operating costs.

**Keywords:** methods of reinforcement of soils; bases; foundations; base plate; loads; soil-cement piles; bearing capacity



## REFERENCES

1. Funk A.A. (2018). The construction of buildings and structures in extremally climatic conditions: features of the organization of works and used materials. *Russian journal of transport engineering*, [online] 4(5). Available at: <https://t-s.today/PDF/06SATS418.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/06SATS418.
2. Voronin V.V., Shuvalova E.A., Odincov A.A., Arkhangelskiy E.A. (2018). The use of additives to accelerate the gain in strength as an alternative to the steam treatment of concrete. *Russian journal of transport engineering*, [online] 2(5). Available at: <https://t-s.today/PDF/10SATS218.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/10SATS218.
3. Galkin Yu.Yu., Udodov S.A. (2018). Phase analysis of the structure of cement stone isolated at its early loading. *Russian journal of transport engineering*, [online] 1(5). Available at: <https://t-s.today/PDF/21SATS118.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/21SATS118.
4. Malinin A.G., Salmin I.A. (2013). Calculation of the bearing capacity of reinforced cement piles on the material. *Housing construction*, 9, pp. 14–17 (in Russian).
5. Ehl'-Mossalami Y.M., Luts B., Dyurvang R. (2013). Peculiarities of pile-slab foundation behavior. *Geotechnics*, 2, pp. 56–64 (in Russian).
6. Makovetskiy O.A., Zuev S.S. (2010). Opyt armirovaniya slabykh gruntov v osnovanii fundamentnykh plit s primeneniem struynoy geotekhnologii. [*The experience of reinforcing weak soils at the base of base plates using jet geotechnology.*] Moscow, pp. 1801–1808.
7. Grabovoy P.G. (2006). Rekonstruktsiya i obnovlenie slozhivsheysya zastroyki goroda. [*Reconstruction and renovation of the existing urban development.*] Moscow: Publisher ACB, p. 624.
8. Dalmatov B.I., Bronin V.N. and etc. (2005). Osnovaniya i fundamenty. Chast' 2. Osnovy geotekhniki. [*Foundations and foundations. Part 2. Basics of geotechnics.*] Saint Petersburg: Publisher ACB, p. 392.
9. Gotman N.Z., Safiullin M.N. (2017). Calculation and design of the reinforcement of the slab basement with cement piles. *Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Construction and architecture*, [online] 4(8), p. 64. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/raschet-i-proektirovanie-usileniya-plitnogo-fundamenta-gruntotsementnymi-svayami> (in Russian).
10. cyberleninka. (n.d.). Gotman N.Z., Safiullin M.N. Calculation of parameters of the pile field when reinforcing the base of the base plate with ground-cement piles. [online] Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/raschet-i-proektirovanie-usileniya-plitnogo-fundamenta-gruntotsementnymi-svayami> (in Russian).