

Эффективность свайных технологий в зоне сейсмической активности

Н. Б. Колосова¹, И. И. Поваляев², А. А. Ринейская³

¹⁻³ Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург,

Политехническая ул., 29

Информация о статье УДК 69

Аннотация

На начало 2017 года одной из наиболее актуальных проблем строительства становится возведение многоэтажных зданий в районах сейсмической активности. Рост площади городов, распространение высотных сооружений ведут к поиску решений, отличающихся экономичностью, продуктивностью и долговечностью. В данной статье представлен обзор основных технологий устройства свай, используемых при возведении фундамента в сейсмических районах. Указаны причины существующих ограничений на применение различных свайных технологий в данных условиях. Авторами приведены способы увеличения сейсмостойкости свайного фундамента. Описаны преимущества и недостатки забивных, буронабивных и винтовых свай в зоне сейсмической активности. В результате было выявлено, что для зон с периодическими землетрясениями одними из наиболее пригодных свайных технологий являются буронабивные и забивные. Также представлены новые технологии устройства свай и варианты их конструкций.

Ключевые слова: Забивка свай, свайные фундаменты, землетрясение, сейсмология, поперечные волны, динамические нагрузки, строительные технологии, гражданское строительство

Содержание

Содержание

1.	Введение	16
2.	Обзор литературы	16
3.	Цель исследования	17
4.	Свайные технологии в зонах сейсмической активности	17
5.	Преимущества и недостатки различных типов свай при строительстве высотных сооружений в зоне сейсмической активности	18
6.	Перспективы и тенденции развития свайных технологии в зоне сейсмической активности	21
7.	Заключение	21

Контактный автор:

1. 89219323351, po.isf@cef.spbstu.ru (Колосова Наталья, к.т.н., доцент)

1. Введение

Явление землетрясения наблюдается на всех континентах земного шара и практически во всех странах, кроме тех, которые находятся на поверхности древних литосферных плит. Учитывая тот факт, что с каждым годом рост городов становится всё интенсивнее, стоит отметить актуальность застройки территорий жилыми строениями (преимущественно высотными), однако строительство зданий в районах повышенной сейсмической активности (до 9-и баллов включительно из 12-и возможных) ограничено сводом строгих правил и требований.

Примером воздействия подземных толчков на здания и сооружения может послужить катастрофическое землетрясение в Армении 1988 года. Тогда город Спитак был практически полностью разрушен, более 25 тысяч людей погибли под обломками: со слов очевидцев, многоэтажные постройки «подпрыгнули, а затем сложились, как карточный домик» [1].

Существует версия, согласно которой причиной колоссального количества жертв в Спитаке (для сравнения, в 1989 году в Калифорнии произошло землетрясение, сравнимое по силе со спитакским, однако в США погибло всего 62 человек) стала недостаточная оценка сейсмичности района: в течение многих лет неоднократно нарушались нормы строительства, производилась экономия на материалах [2].

В сентябре 1985 разрушительное землетрясение превратило в руины столицу Мексики. По различным данным, погибло более 10 тысяч человек, причём большинство из них, находились в домах с этажностью выше 10-12 этажей [3]. Эта трагедия стала поворотной точкой в обеспечении сейсмостойкости небоскрёбов и в изменении существующих на то время правил и норм расчёта конструкций на действия сейсмических нагрузок.

Проблема возведения многоэтажных зданий в районах повышенной сейсмической активности не теряет актуальности к 2017 году и требует эффективного и экономичного решения. Одним из способов решения данной проблемы является применение свайных технологий. Преимуществом свайного фундамента перед другими является гашение волн от подземных толчков, вследствие чего колебания сооружения уменьшаются и достигается его наибольшая устойчивость. Однако существует несколько разновидностей свайных конструкций, которые обладают разной эффективностью в зоне сейсмической активности.

2. Обзор литературы

Многие учёные изучали перспективы и эффективность применения свайных технологий в зоне сейсмической активности. Особенности фундаментов в сейсмоопасных районах были рассмотрены Булгаковым А.Г., Мариничевым М.Б. и другими авторами [4, 7, 18, 19, 21, 27, 28, 32]. Определению несущей способности и основных аспектов возведения свайных фундаментов были посвящены работы Соколова В.А., Страхова Д.А., Синякова Л.Н., Бакулиной А.А. и Ершова А.В. [5, 23, 30].

На этом исследования в данной области не остановились, и новые свайные технологии были предложены Бровко И.С., Гаиповым С.К. и другими учёными [8, 14, 15]. Помимо новых технологий устройства свай, Васильевой В.И., Гайдо А.Н., Кубецким В.Л. и Ереминым В.И. предложены новые решения проблемы использования винтовых свай, вдавливаемых свай и свай-РИТ [13, 16, 22].

Исследованиям технологии устройства буроинъекционных свай посвящены работы Улицкого В.М. и других учёных [9-12, 17].

Важную часть занимает расчёт несущей способности свай, а также методы усиления автомобильных дорог при помощи свайных конструкций. Данные проблемы рассмотрены в работах Тимофеевой Л.М., Красновой Е.С., Булатова Г.Я. и других [20, 31]. Исследование влияния горизонтальных нагрузок на общую устойчивость возводимых объектов строительства было проведено Пономорёвым А.Б., в результате автором была выявлена важность данного аспекта [24]. На основании многих работ Бакаева Л.Н., Егармин К.А., Литвинова Э.В., Литвинов Б.А. в своих работах рассмотрели различные системы защиты зданий от сейсмического воздействия [25, 26].

Аналитические зависимости и количественные оценки свай забивного типа впервые были представлены в работах Булатова Г.Я., Колосовой Н.Б. и других учёных. Также данными авторами было установлено, что максимальное значение несущей способности соответствует свае с двутавровым поперечным сечением и что наибольший вклад в значение несущей способности сваи вносит составляющая, зависящая от наружного периметра поперечного сечения сваи [29, 33].

Имеется ряд работ, в которых описано влияние сейсмического воздействия на свайные конструкции, а также на *устойчивость мостов, возведённых с использованием фундамента на сваях*. Авторами был проведён ряд тестов, позволяющих проанализировать свойства свайного ростверка [34-36, 38-39].

В работе иностранных учёных Li Z., Escoffier S., Kotronis P. было установлено, что в некоторых случаях наклонные сваи положительно влияют на сейсмическое воздействие свайного фундамента [37]. Увеличение доли нагрузки, воспринимаемой боковой поверхностью сваи, при росте длины сваи и жёсткости верхней части основания было отмечено в работах Ter-Martirosyan Z.G. и Trinh TV., которые также утверждают, что при определённых условиях окружающей грунтовой среды нагрузка, воспринимаемая нижней частью основания,

может составить 20...30 % от общей нагрузки [40]. Sexton A.G., Malonakis G.E. и другие иностранные учёные в своих работах исследовали влияние сейсмической силы на свайные конструкции [41-42].

3. Цель исследования

В связи с малым количеством работ, посвящённых исследованию эффективности свайных технологий при строительстве высотных зданий в зонах сейсмоактивности, авторы поставили своей целью выявить разновидности свайных технологий, наиболее подходящих для применения в данных условиях.

4. Свайные технологии в зонах сейсмической активности

Существуют определённые правила и ограничения на применение различных свайных технологий в зоне сейсмической активности. Данные ограничения вызваны сейсмическими силами, которые оказывают непосредственное влияние на свайный фундамент и на всю конструкцию сооружения, возведённых в данных условиях.

Булгаков А.Г. и другие учёные в своей работе утверждают, что от эпицентра сейсмической активности сейсмические волны распространяются и доходят до свайного фундамента неравномерно. Так происходит неравномерное увеличение собственных колебаний отдельных свай и всего свайного фундамента, что в свою очередь заставляет колебаться сооружения на данном фундаменте. Как следствие, увеличиваются значения вертикальной и горизонтальной нагрузки [4].

При действии сейсмических сил податливость свайного фундамента и основания сказывается на величине нагрузки и на усилиях в элементах сооружений башенного типа. Влияние податливости свай в вертикальном направлении наиболее существенно, чем влияние податливости в горизонтальном направлении. Так в работе Соколова В.А. и других авторов отмечено, что при увеличении диаметра уширения винтовых свай с 350 мм до 650 мм период собственных колебаний уменьшается примерно на 13%, максимальное горизонтальное перемещение башни – на 20%, относительная разность осадок свайного ростверка – на 35%. Влияние изменения диаметра ствола винтовых свай сказывается в меньшей степени. В то же время, для забивных свай влияние изменения диаметра ствола наиболее существенно, чем для винтовых: при увеличении диаметра сваи с 219 мм до 530 мм наибольшее горизонтальное перемещение башни снижается на 10-12% [5].

Для того чтобы ограничить колебания зданий на свайном фундаменте при землетрясениях, применяется демпфирование. Демпфирующие устройства основаны на поглощении избыточной энергии в результате пластической деформации. Отношение наибольшей амплитуды угловой скорости свай к амплитуде угловой скорости слоя грунта является характеристикой величины демпфирования сейсмических колебаний слоя грунта свайным фундаментом. Если его значение менее 1, то фундамент на сваях-стойках обладает демпфирующим свойством, т.е. возникает возможность уменьшения балла сейсмичности площадки строительства при их применении [4]. Данные условия не только сужают область применения разных типов свай на определённых разновидностях грунта, но также не позволяют использовать их различные виды из-за своих конструктивных особенностей.

Согласно нормативному документу, применение свайных фундаментов в сейсмических районах в основном то же, что и в несейсмических. При проектировании свайных фундаментов в сейсмических районах нижние концы свай рекомендуется опирать на крупнообломочные грунты, скальные грунты, плотные и средней плотности пески, твёрдые, полутвёрдые и тугопластичные глинистые грунты.

В тем же документе говорится о том, что заглубление в грунт свай в сейсмических районах должно быть не менее 4 м, а при наличии в основании нижних концов свай водонасыщенных песков средней плотности - не менее 8 м. Допускается уменьшение заглубления свай при соответствующем обосновании, полученном в результате полевых испытаний свай имитированными сейсмическими воздействиями. Также не допускается применение в данных районах свай, не имеющих арматурных каркасов по всей длине своего ствола; свай без поперечного сечения и булавовидных; буровых свай под избыточным давлением воды без обсадных труб [6]. В таблице 1 дана сравнительная характеристика для трёх типов свай в зонах сейсмоактивности.

Таблица №1. Сравнительная характеристика трёх наиболее используемых категорий свай для сейсмических районов

№	Критерий	Буронабивные	Забивные	Винтовые
1	Грунт	Возможно использование в районах с неустойчивым грунтом.	Возможно использование в районах с неустойчивым грунтом, преимущественно любой категории, кроме сильносжимаемых грунтов (торфяные и илистые грунты, грунты тягучей консистенции).	Возможно использование в грунтах практически всех категорий.
2	Сейсмичность площадки	Изменяется в пределах 6-8 баллов при толчках силой 7-9 баллов соответственно.	Изменяется в пределах от 7 до 9 и более баллов при толчках силой 7-9 баллов соответственно.	При толчках до 9 баллов сейсмичность площадки может превышать 9-и бальный показатель.
3	Размеры	Отношение длины к диаметру буронабивной сваи рекомендовано не более 25.	Длина от 5 до 25 метров.	При различных диаметрах может достигать 15 метров.
4	Несущая способность	До 500 т.	Около 100-150 т, не учитывая удары оборудования установки.	Более 24 т.
5	Материал	В сейсмоопасных районах используется преимущественно железобетон.	Основным материалом изготовления забивных свай является железобетон.	Свайные металлические конструкции изготавливаются чаще всего из стали.

Также существует несколько технологий повышения сейсмостойкости всего сооружения, которые могут применяться и дополнять технологии устройства свай.

Традиционная технология повышения сейсмостойкости сооружений заключается в усилении прочности конструкций свай за счёт больших размеров их сечений, при этом стараются увеличить прочность материалов строительных конструкций. Этот способ содержит в себе некоторое противоречие, так как одновременно увеличивается вес и жёсткость конструкций, что в свою очередь повышает сейсмическую нагрузку.

Интересным вариантом является армирование основания, одна из задач которого состоит в увеличении его сейсмической жёсткости. Устройство регулярной сетки армирующих элементов с более высокой, по отношению к естественному грунту скоростью прохождения поперечной сейсмической волны приводит к тому, что в них происходит рассеивание значительной части энергии сейсмической волны, а её воздействие на грунт, защищённый различными элементами, приходит к минимальному значению [7].

5. Преимущества и недостатки различных типов свай при строительстве высотных сооружений в зоне сейсмической активности

Каждая технология устройства свай имеет свои собственные преимущества и недостатки, которые влияют на эффективность её применения для различных видов зданий и сооружений. На начало двадцать первого столетия широкое распространение получают высотные здания, при строительстве которых следует принимать во внимания особые условиях их возведения. Так фундаменты зданий и сооружений с этажностью более 16 этажей на не скальных грунтах рекомендуется выполнять свайными, свайно-плитными или в виде сплошной фундаментной плиты с заглублением подошвы фундаментов относительно отметки отмотки не менее 2,5 м. Фундаменты глубокого заложения предусматривают применение бетонных и стальных свай диаметром до 2 метров и длиной до 83 метров.

При строительстве зданий и сооружений обычно применяют 3 разновидности свайных технологий: буронабивные, забивные и винтовые.

5.1. Технология устройства буронабивных свай

Основным преимуществом буронабивных свай является относительная простота технологии изготовления и установки. Так, за счёт того, что производство данных свай осуществляется путём «заливания» материала (например, бетона) в заранее подготовленное отверстие, можно выделить ещё ряд полезных качеств, одно из которых – возможность изготовления тела буронабивных свай любой длины. Более того, в процессе устройства буронабивные сваи, в отличие от забивных, практически не подвергаются динамическому воздействию, что непосредственно влияет на прочность. Одним из важнейших преимуществ буронабивных свай считается возможность их установки во время реконструкции, частным случаем которой является уплотнение (усиление) уже существующего свайного фундамента.

Рассматриваемая технология устройства свай при использовании в зоне сейсмоактивности в обязательном порядке должна включать в себя укрепление тела свай при помощи обсадных труб, однако это не стоит относить к недостатку буронабивных свай. Булгаков Г.Я. и Костюкова А.Ю. отмечают, что данная технология может сочетать в себе преимущества железных свай-оболочек и железобетонных свай, устраняя недостатки каждой из них. Полученная с помощью данных действий система обладает несущей способностью по материалу, которая складывается из несущей способности железобетона и стали [8].

Буронабивные сваи обладают высокой несущей способностью, а также при установке свайно-плитного или свайного фундамента из буронабивных свай практически отсутствует динамическая нагрузка на расположенные поблизости сооружения. Данные обстоятельства оказывают существенное влияние на проектирование и строительство высотных зданий и сооружений. При высоте зданий более 200 м обычно под будущим зданием выкапывается котлован, глубина которого зависит от количества помещений, расположенных по проекту под землёй. В этом случае стены котлована подвергаются дополнительному усилению железобетоном, которое защищает фундамент от горизонтальных нагрузок.

Для усиления фундамента реконструируемого здания, находящегося на густозастроенной территории, как указано в работе Улицкого В.М., используются технологии устройства буроинъекционных свай [9]. Последние, по словам Рытова С.А., являются разновидностью буронабивных свай [10].

Отличительной особенностью устройства буроинъекционных свай является применение специализированного оборудования, оснащённого полым шнеком (для песчаных и глинистых почв) или трёхшарошечным буровым долотом (для горных пород, бетона). Данная методика подразумевает заполнение скважины цементным составом сразу после разбуривания породы до необходимой глубины. Таким образом, обеспечивается целостность тела сваи, что позволяет избежать снижения её несущей способности.

Немаловажное значение имеет применение буроинъекционных свай в зоне сейсмической активности. Так, на основании исследований, проведённых Агишевым К.Н. и другими авторами, устойчивость склона, укрепленного данными сваями, оказалась выше минимального значения. Это говорит о потенциальной возможности использования буроинъекционных свай в качестве укрепления склонов в сейсмических районах [11]. Более того, сваи такого рода могут использоваться при возведении фундамента для высотного здания в зонах с периодическими землетрясениями. Так, например, в Ростове-на-Дону было построено жилое здание, основание которого было выполнено с применением буроинъекционной технологии устройства свай [12].

5.2. Технология устройства забивных свай

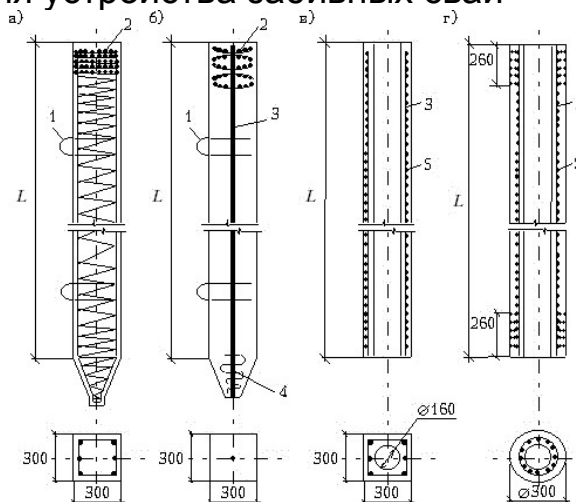


Рисунок 1. Конструкция забивных железобетонных свай. а) – призматическая свая с поперечным армированием ствола; б) – призматическая свая без поперечного армирования ствола; в) – призматическая свая с круглой полостью; г) – полая круглая свая; 1 – строповочная петля; 2 – арматурные сетки головы сваи; 3 – продольная арматура; 4 – спираль остря; 5 – поперечная спиральная арматура.

На начало 2017 года одной из самых эффективных свайных технологий, используемых в местах с высокой вероятностью землетрясений, является технология устройства забивных свай. Конструкция забивных железобетонных свай приведена на рис. 1. Главным преимуществом данной технологии является возможность её использования в районах с подвижным и сильносжимаемым грунтом. Забивные сваи также обладают высокой несущей способностью, выдерживая динамическую нагрузку установочных конструкций (например, молота) при непосредственном возведении. Для снижения воздействия на сваи при их установке в грунт используется технология вибропогружения. Ещё одним важным качеством описываемого типа свай является искусственное уплотнение почвы.

Учитывая высокую себестоимость сооружений, которые возводятся в местах с подвижными грунтами и постоянным движением литосферных плит, следует отметить немаловажное преимущество забивных свай: их использование снижает себестоимость строительства.

Несмотря на все свои качества, данная технология установки свай обладает и недостатками, один из которых – динамическое воздействие на сваю во время её возведения. Однако этот вопрос практически решён, об использовании вибропогружения было сказано ранее, более того, существуют и другие способы устройства свай, снижающие воздействие на них. Сам способ установки забивных свай тоже можно считать недостатком в силу сложности его осуществления (требуется специальное оборудование).

При строительстве зданий высотой до 200 метров применяется технология устройства забивных свай с использованием вибропогружателей. Рекомендуемое сечение свай составляет 300 мм x 300 мм и 350 мм x 350 мм. Однако рекомендуемая высота для зданий, возводимых с помощью фундамента на забивных сваях, ограничивается 100 метрами. Применение данной технологии выгодно только в условиях, которые благоприятствуют установке фундамента на забивных сваях на определённом типе грунта.

5.3. Технология устройства винтовых свай

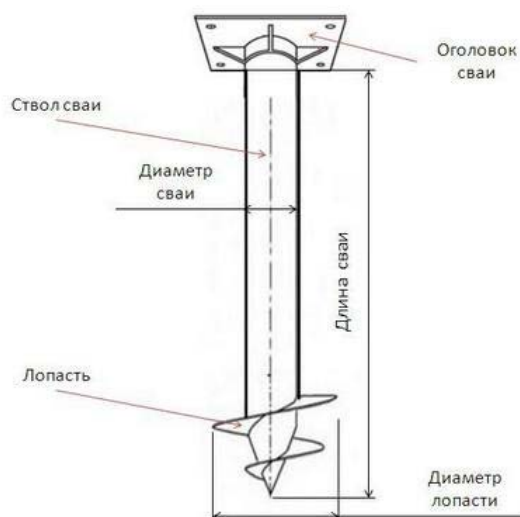


Рисунок 2. Конструкция винтовой сваи

В сейсмических районах технология устройства винтовых свай тоже активно применяется, однако лидирующей позиции в данной области не занимает. Конструкция винтовой сваи представлена на рис. 2. Одним из основных качеств винтовой сваи стоит отметить её устойчивость: за счёт наличия спиралевидной лопасти на основании свая надёжно упирается в грунт, поэтому колебательное воздействие не влияет на её равновесие. В случае неоднородности структуры, винтовые сваи могут устанавливаться на различную глубину. Васильевой В.И. было отмечено следующее преимущество винтовых свай: при их использовании сохраняется естественный ландшафт и имеется возможность демонтажа и повторного использования данного типа свай [13].

Как и набивные сваи, винтовые отличаются относительной простотой устройства: они, в отличие от забивных, не требуют специальных приспособлений, так как устанавливаются ввинчиванием в почву и не подвергаются динамической нагрузке. Не менее важной чертой данного типа свай является также его низкая себестоимость: винтовые сваи имеют цельную металлическую конструкцию, что позволяет при строительстве снизить расход на бетонные смеси. Данный тип свай по стоимости уступает ранее описанным забивным и буронабивным.

Недостатком винтовых свай можно считать тот факт, что их несущая способность ниже, чем у тех же забивных. Хотя винтовые сваи пользуются широкой популярностью, ошибочно считать, что они обладают высокой сейсмостойкостью, так как изначально предназначены для установки в зонах нормальной сейсмической активности, а их максимальная длина в обычном случае достигает всего 15 метров. Тем не менее различные их разновидности позволяют возводить фундамент для зданий и сооружений в зонах

повешенной сейсмоактивности. Именно поэтому рассматриваемая технология устройства свай активно используется в сейсмически опасных районах, но не имеет широкого распространения при строительстве высотных зданий и сооружений.

6. Перспективы и тенденции развития свайных технологии в зоне сейсмической активности

В 2016 году была разработана новая конструкция забивной сваи с повышенной несущей способностью – «свая Бровко». Форма сваи представляет из себя повернутые отдельные модули, расположенные по длине призматической сваи прямоугольного или квадратного поперечного сечения. Боковая поверхность сваи при такой форме становится рифленой. При этом площадь образовавшихся выступов составляет 17% площади поперечного сечения сваи. Для полного погружения «свай Бровко» требуется на 19,86% больше силы, нежели для призматической сваи того же материала и объёма, что свидетельствует о большой удельной несущей способности разработанной свайной конструкции [14]. Данная новая конструкция сваи имеет очень большой потенциал для использования в зонах сейсмической активности, однако требуются дополнительные технические решения для увеличения сейсмостойкости «свай Бровко».

Своё дальнейшее развитие получила технология устройства буронабивных свай с обсадной трубой. Гаиповым С.К. была разработана новая сейсмоизолирующая система с неупругими связями, позволяющая в определённых случаях снизить сейсмическую нагрузку до 4-6 раз. Сейсмическая нагрузка снижается, во-первых, вследствие уменьшения сейсмических ускорений грунтов на глубине, во-вторых, вследствие достижения сейсмоизолирующего эффекта, за счёт регулирования гибкости свай и за счёт включения связей при низкочастотных сейсмических воздействиях [15].

Уже не новой, но до сих пор эффективной технологией остаётся разрядно-импульсная технология (РИТ) устройства свай. Особенности её применения отмечены в работе Кубецкого В.Л. и Еремина В.И. Как правило, данная технология применяется для буронабивных свай. Изготовленные по этой технологии сваи называются сваями-РИТ. Использование свай-РИТ позволяет снизить риск значительного разуплотнения основания, а также получить наибольшую несущую способность свай при минимальном количестве выбуренного грунта и длине сваи или корня анкера. При использовании свай-РИТ в основании высотных зданий создается геомассив, включающий фундаментную плиту, грунтовое основание с улучшенными строительными свойствами за счёт его уплотнения. Такой геомассив работает как единый блок. Сваи-РИТ буровым диаметром 320 мм обеспечивают требуемую надёжность высотных зданий в сложных инженерно-геологических условиях [16]. Однако, несмотря на все положительные стороны данной технологии, достаточно мало многоэтажных зданий и сооружений, которые возводятся с её использованием. Применение и развитие разрядно-импульсной технологии устройства свай может способствовать увеличению допустимой высоты объектов.

В начале двадцать первого века Самохваловым М.А. и Кайгородовым М.Д. был предложен и описан новый способ устройства буроинъекционных свай с контролируемым уширением при реконструкции зданий и сооружений. В результате проведённого анализа, авторами было установлено, что при увеличении объёма уширения на 10 литров (с 30 до 40 литров) повышается несущая способность свай данного типа на 14-19% в том числе за счёт изменения начального напряжённо-деформируемого состояния грунтового массива в зоне уширения [17].

Перспективы развития свайных технологий в зонах сейсмической активности достаточно высоки. Совершенствование различных свайных технологий может привести к расширению спектра возводимых объектов на данных территориях.

7. Заключение

На начало 2017 года вопрос об эффективности свайных технологий при строительстве высотных зданий в районах сейсмической активности остаётся актуальным в силу относительно небольшого количества работ, посвящённых данной проблеме.

На рассмотрение было выделено три наиболее распространённые технологии устройства свай: буронабивные, забивные и винтовые. Для первого типа характерна относительная простота и экономичность технологии установки, в которой практически полностью отсутствуют динамические нагрузки (в отличие от забивных). Ввиду того, что буронабивные сваи обладают высокой несущей способностью, технология возведения фундамента на данных сваях является наиболее эффективным решением для высотных зданий и сооружений. В строительстве технология устройства буронабивных свай с креплением обсадной трубой является одной из самых эффективных, потому что она может применяться для разных грунтов, а в сейсмических районах требует дополнительных технологических и конструктивных решений.

Несмотря на то, что технология устройства винтовых свай активно используется в сейсмических зонах, её применение вряд ли допустимо для строительства высотных зданий. Причиной этому может послужить низкая несущая способность, а также малая максимальная длина тела винтовой сваи (до 15 метров), поэтому

в сейсмически опасных районах применение данной технологии может ограничиться лишь строительством малоэтажных зданий, возведением несущих конструкций для ЛЭП, рекламных щитов и т.п.

Таким образом, было выявлено, что из трёх самых распространённых разновидностей свайных технологий одной из наиболее пригодных для возведения многоэтажных зданий в районах сейсмике является технология устройства забивных свай с использованием вибропогружателей. Это обусловлено их высокой несущей способностью, возможностью использования в районах с подвижным грунтом (так как забивные сваи обладают способностью искусственного уплотнения почвы) и относительно низкой себестоимостью.

Несмотря на то, что в процессе установки забивных свай наблюдается динамическая нагрузка на сами сваи и на близлежащие строения, данный тип является одним из лучших решений поставленной проблемы. Более того, существуют и продолжают развиваться способы снижения нагрузок при возведении свайного фундамента с использованием забивных свай.

Наравне с технологией устройства забивных свай можно выделить технологию буронабивных свай, одним из важных преимуществ которой считается возможность использования в районах с подвижным грунтом.

8. Благодарности

Авторы выражают признательность сотрудникам Инженерно-строительного института за оказанную помощь в проведении данного исследования, в написании и оформлении данной статьи.

Литература

- [1]. Электронный источник: землетрясение в Армении 7 декабря 1988 [Электронный ресурс]. URL: <https://ria.ru/spravka/20131207/982161952.html> (дата обращения 10.06.2017).
- [2]. Электронный источник: землетрясение в Лома-Приета [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gota.ru/item/32> (дата обращения 10.06.2017).
- [3]. Электронный источник: землетрясение в Мексике [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gota.ru/item/35> (дата обращения 10.06.2017).
- [4]. Булгаков А.Г., Дыба В.П., Скибин Г.М., Булгаков И.Г. Постановка и решение задачи о взаимодействии строительных сооружений на свайных фундаментах с сейсмическими волнами // Строительство и реконструкция. 2014. №2. С. 3-15.
- [5]. Соколов В.А., Страхов Д.А., Синяков Л.Н. Расчёт сооружений башенного типа на динамические воздействия с учётом податливости свайного фундамента и основания // Инженерно-строительный журнал. 2013. №4(39). С. 46-50.
- [6]. СП 24.13330.2011 Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85.
- [7]. Мариничев М.Б. Опыт реализации нестандартных методов проектирования и строительства фундаментов высотных зданий в сейсмических районах // Политематический сетевой электронный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. №125. С. 623-657.
- [8]. Булатов Г.Я., Костокова А.Ю. Технология возведения фундаментов - «свая в трубе» // Инженерно-строительный журнал. 2008. №1. С. 33-37.
- [9]. Улицкий В.М., Конюшков В.В. Несущая способность буроинъекционных свай при различных технологиях изготовления // Известия Петербургского университета путей сообщений. 2007. №4. С.193-215.
- [10]. Рытов С.А. Эффективные современные технологии устройства буроинъекционных свай и грунтовых инъекционных анкеров // Информационный вестник государственного автономного учреждения Московской области «Мособлгосэкспертиза». 2007. №1(16). С.38-45.
- [11]. Kolosov E., Agishev K., Kolosova N. Application of inclined injection piles as a means of seismic protection of slope. Dynamic of Civil Engineering and Transport Structures and Wind Engineering. Materials of MATEC Web Conference. 2017. Vol. 107.

References

- [1]. Zemletryaseniye v Armenii 7 dekabrya 1988 [The earthquake in Armenia December 7, 1988]. URL: <https://ria.ru/spravka/20131207/982161952.html> (reference date: 10.06.2017).(rus)
- [2]. Zemletryaseniye v Loma-Priyeta [The earthquake in Loma-Priyeta]. URL: <http://www.gota.ru/item/32> (reference date: 10.06.2017).(rus)
- [3]. Zemletryaseniye v Meksike [The earthquake in Mexico]. URL: <http://www.gota.ru/item/35> (reference date: 10.06.2017).(rus)
- [4]. Bulgakov A.G., Dyba V.P., Skibin G.M., Bulgakov I.G. Postanovka i resheniye zadachi o vzaimodeystvii stroitelnykh sooruzheniy na svaynykh fundamentakh s seysmicheskimi volnami // Stroitelstvo i rekonstruktsiya. 2014. №2. S. 3-15.
- [5]. Sokolov V.A., Strakhov D.A., Sinyakov L.N. Raschet sooruzheniy bashennogo tipa na dinamicheskiye vozdeystviya s uchetom podatlivosti svaynogo fundamenta i osnovaniya // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2013. №4(39). S. 46-50.
- [6]. SP 24.13330.2011 Svaynyye fundamente. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIIP 2.02.03-85.
- [7]. Marinichev M.B. Opyt realizatsii nestandardnykh metodov proyektirovaniya i stroitelstva fundamentov vysotnykh zdaniy v seysmicheskikh rayonakh // Politematicheskii setevoy elektronnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017. №125. S. 623-657.
- [8]. Bulatov G.Ya., Kostyukova A.Yu. Tekhnologiya vozvedeniya fundamentov - «svaya v trube» // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2008. №1. S. 33-37.
- [9]. Ulitskiy V.M., Konyushkov V.V. Nesushchaya sposobnost buroyektsionnykh svay pri razlichnykh tekhnologiyakh izgotovleniya // Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniy. 2007. №4. S.193-215.
- [10]. Rytov S.A. Effektivnyye sovremennyye tekhnologii ustroystva buroyektsionnykh svay i gruntovykh inyektzionnykh ankerov // Informatsionnyy vestnik gosudarstvennogo avtonomnogo uchrezhdeniya Moskovskoy oblasti «Mosoblgosekspertiza». 2007. №1(16). S.38-45.
- [11]. Kolosov E., Agishev K., Kolosova N. Application of inclined injection piles as a means of seismic protection of slope. Dynamic of Civil Engineering and Transport Structures and Wind Engineering. Materials of MATEC Web Conference. 2017. Vol. 107.

- [12]. Исаев Б.Н., Бадеев С.Ю., Логути В.В., Кузнецов М.В., Федотова В.Ю. Опыт возведения свайных фундаментов из буроинъекционных свай на неоднородном основании при строительстве 17 этажного жилого дома в Ростове-на-Дону // Инженерный вестник Дона. 2013. №27. С.263.
- [13]. Васильева В.И. Применение винтовых свай в строительстве // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2013. №2. С.6-13.
- [14]. Бровко И.С. Новая конструкция забивной сваи повышенной несущей способности // Промышленное и гражданское строительство. 2016. №2. С. 58-63.
- [15]. Гаипов С.К. Исследования сейсмоизолирующей системы «свая в трубе» с неупругими связями // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2014. №1. С. 35-39.
- [16]. Кубецкий В.Л., Еремин В.И. Применение свай-РИТ в фундаментах высотных зданий // Вестник МГСУ. 2012. №4. С. 240-245.
- [17]. Самаквалов М.А., Кайгородов М.Д. Исследование напряженно-деформированного состояния грунта при формировании контролируемого уширения на конце буроинъекционной сваи // Вестник гражданских инженеров. 2016. №2(55). С. 101-107.
- [18]. Витлин Э.И. Особенности сейсмостойкого проектирования зданий и сооружений. Опыт и перспективы // Наука и безопасность. 2014. №2(11). С. 54-62.
- [19]. Белаш Т.А., Сергеев Д.А. Сейсмостойкий фундамент в районах вечной мерзлоты // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2013. №6. С.40-42.
- [20]. Тимофеева Л.М., Краснов Е.С. Об усилении сваями слабых оснований землеполотна автомобильных дорог // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2012. №1. С. 66-75.
- [21]. Кауфман Л.Л., Лыиков Б.А., Лабинский К.Н., Комышан И.А. Зарубежный опыт строительства туннелей в сейсмических зонах // Наука та прогрес транспорту. 2008. №20. С. 113-116.
- [22]. Гайдо А.Н. Исследование технологических параметров вдавливания свай // Вестник гражданских инженеров. 2012. №4(33). С. 129-137.
- [23]. Бакулина А.А. Экспериментальные модельные исследования на устойчивость и деформирование горизонтально нагруженных свай // Системные технологии. 2016. №1(18). С. 80-85.
- [24]. Пономарев А.Б. Свайные фундаменты как элементы устойчивого строительства // Вестник Пермского национального политехнического университета. Строительство и архитектура. 2015. №1. С. 103-119.
- [25]. Бакаева Л.Н., Егармин К.А. Защита зданий и сооружений от сейсмического воздействия // Синергия наук. 2017. №7. С. 225-233.
- [26]. Литвинова Э.В., Литвинов Б.А. Инновационные системы сейсмозащиты зданий и сооружений за рубежом // Строительство и техногенная безопасность. 2013. №47. С. 70-79.
- [27]. Чылбак А.А. Методика определения сейсмической нагрузки, действующей на сейсмоизолированное здание // Вестник ВСГУТУ. 2016. №6(63). С. 84-89.
- [28]. Мирсяпов И.Т., Королева И.В., Садыкова А.Р. Исследования влияния сейсмических и ветровых воздействий на параметры свайно-плитного фундамента высотного здания // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. №1. С. 107-113.
- [12]. Isayev B.N., Badeyev S.Yu., Logutin V.V., Kuznetsov M.V., Fedotova V.Yu. Opyt vozvedeniya svaynykh fundamentov iz buroinyektsionnykh svay na neodnorodnom osnovanii pri stroitelstve 17 etazhnogo zhilogo doma v Rostove-na-Donu // Inzhenernyy vestnik Dona. 2013. №27. S.263.
- [13]. Vasilyeva V.I. Primeneniye vintovykh svay v stroitelstve // Aktualnyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika. 2013. №2. S.6-13.
- [14]. Brovko I.S. Novaya konstruktsiya zabivnoy svai povyshennoy nesushchey sposobnosti // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo. 2016. №2. S. 58-63.
- [15]. Gaipov S.K. Issledovaniya seysmoizoliruyushchey sistemy «svaya v trube» s neuprugimi svyaziyami // Seysmostoykoye stroitelstvo. Bezopasnost sooruzheniy. 2014. №1. S. 35-39.
- [16]. Kubetskiy V.L., Yereyin V.I. Primeneniye svay-RIT v fundamentakh vysotnykh zdaniy // Vestnik MGSU. 2012. №4. S. 240-245.
- [17]. Samakhvalov M.A., Kaygorodov M.D. Issledovaniye napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya grunta pri formirovani kontroliruyemogo ushireniya na kontse buroinyektsionnoy svai // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2016. №2(55). S. 101-107.
- [18]. Vitlin E.I. Osobennosti seysmostoykogo proyektirovaniya zdaniy i sooruzheniy. Opyt i perspektivy // Nauka i bezopasnost. 2014. №2(11). S. 54-62.
- [19]. Belash T.A., Sergeev D.A. Seysmostoykiy fundament v rayonakh vechnoy merzloty // Seysmostoykoye stroitelstvo. Bezopasnost sooruzheniy. 2013. №6. S.40-42.
- [20]. Timofeyeva L.M., Krasnov Ye.S. Ob usilenii svayami slabyykh osnovaniy zemlepolotna avtomobilnykh dorog // Transport. Transportnyye sooruzheniya. Ekologiya. 2012. №1. S. 66-75
- [21]. Kaufman L.L., Lysikov B.A., Labinskiy K.N., Komysan I.A. Zarubezhnyy opyt stroitelstva tunneley v seysmicheskikh zonakh // Nauka ta progres transportu. 2008. №20. S. 113-116.
- [22]. Gaydo A.N. Issledovaniye tekhnologicheskikh parametrov vdavlivaniya svay // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2012. №4(33). S. 129-137.
- [23]. Bakulina A.A. Eksperimentalnyye modelnyye issledovaniya na ustoychivost i deformirovaniye gorizontavno nagruzhennykh svay // Sistemnyye tekhnologii. 2016. №1(18). S. 80-85.
- [24]. Ponomarev A.B. Svaynyye fundamenty kak elementy ustoychivogo stroitelstva // Vestnik Permskogo natsionalnogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitelstvo i arkhitektura. 2015. №1. S. 103-119.
- [25]. Bakayeva L.N., Yegarmin K.A. Zashchita zdaniy i sooruzheniy ot seysmicheskogo vozdeystviya // Sinergiya nauk. 2017. №7. S. 225-233.
- [26]. Litvinova E.V., Litvinov B.A. Innovatsionnyye sistemy seysmozashchity zdaniy i sooruzheniy za rubezhom // Stroitelstvo i tekhnogennaya bezopasnost. 2013. №47. S. 70-79.
- [27]. Chylbak A.A. Metodika opredeleniya seysmicheskoy nagruzki, deystvuyushchey na seysmoizolirovannoye zdaniye // Vestnik VSGUTU. 2016. №6(63). S. 84-89.
- [28]. Mirsayapov I.T., Koroleva I.V., Sadykova A.R. Issledovaniya vliyaniya seysmicheskikh i vetrovykh vozdeystviy na parametry svayno-plitnogo fundamenta vysotnogo zdaniya // Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2015. №1. S. 107-113.
- [29]. Bulatov G.Ya., Kolosova N.B. Effektivnost svay razlichnykh form poperechnogo secheniya // Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal. 2013. №7(42). S. 67-76.
- [30]. Yershov A.V. Nekotoryye aspekty proyektirovaniya

- [29]. Булатов Г.Я., Колосова Н.Б. Эффективность свай различных форм поперечного сечения // Инженерно-строительный журнал. 2013. №7(42). С. 67-76.
- [30]. Ершов А.В. Некоторые аспекты проектирования свайных фундаментов // Вестник гражданских инженеров. 2013. №2(37). С. 76-85.
- [31]. Булатов Г.Я., Лысякова Е.И., Корневская М.А. Обобщение расчетов несущей способности сваи по грунту // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. №6(21). С. 120-127.
- [32]. Ажермачёв С.Г., Керимов А.Д. Сейсмостойкие фундаменты // Строительство и техногенная безопасность. 2013. №47. С. 51-56.
- [33]. Булатов Г.Я., Колосова Н.Б., Колосов Е.С., Теплов А.Б. Зависимость несущей способности сваи от форм поперечного сечения // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. №10(15). С. 15-24.
- [34]. Hamayoon K., Morikawa Y., Oka R., Zhang F. 3D dynamic finite element analyses and 1 g shaking table tests on seismic performance of existing group-pile foundation in partially improved grounds under dry condition. Soil dynamic and earthquake engineering. 2016. Vol. 90. Pp. 196-210.
- [35]. Kumar A., Choudhury D., Katzenbach R. Effect of Earthquake on Combined Pile-Raft Foundation. International journal of geomechanics. 2016. Vol. 16. No. 5.
- [36]. Souza T.J., Hems P.S., Gandolfo O.C.B., Aoki P.C., Ribeiro A.F. Use of Parallel-Seismic and Induction-Logging Tests for Foundation Depth Evaluation Under Difficult Conditions, a Roof-Pile Foundation Embedded in Rock. Soils and rock. 2016. Vol. 39. No. 3. Pp. 261-272.
- [37]. Li Z., Escoffier S., Kotronis P. Centrifuge modeling of batter pile foundations under earthquake excitation. Soil dynamic and earthquake engineering. 2016. Vol. 88. Pp. 176-190.
- [38]. Xu Y., Shang Y., Ye A.J. Dynamic interaction between bridge pier and its large pile foundation considering earthquake and scour depths. Advances in structural engineering. 2016. Vol. 19. No. 9. Pp. 1390-1402.
- [39]. Wang S.C., Liu K.Y., Chen C.H., Chang K.C. Experimental investigation on seismic behavior of scoured bridge pier with pile foundation. Earthquake engineering & Structural dynamics. 2015. Vol. 44. No. 6. Pp. 849-864.
- [40]. Ter-Martirosyan Z.G., Trinh T.V. Interaction of a long single pile that has a double-layer base with account for compressibility of the pile shaft. Vestnik MGSU. 2012. No. 4. Pp. 28-34.
- [41]. Hussien M.N., Karray M., Tobita T., Iai S. Kinematic and inertial forces in pile foundation under seismic loading. Computers and Geotechnics. Vol. 69. Pp. 166-181.
- [42]. Sexton A.G., Malonakis G.E., Mylona E.-L.V. Rotational excitation of bridges supported on pile groups in soft or liquefiable soil deposits. Computers and Structures. 2015. Vol. 155. Pp. 54-66.
- [43]. Lui. C., Zhang S., Hao E. Joint earthquake, wave and current action on the pile group cable-stayed bridge tower foundation: An experimental study. Applied Ocean Research. Vol. 63. Pp. 157-169.
- svaynykh fundamentov // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2013. №2(37). S. 76-85.
- [31]. Bulatov G.Ya., Lysyakova Ye.I., Korenevskaya M.A. Obobshcheniye raschetov nesushchey sposobnosti svai po gruntu // Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy. 2014. №6(21). S. 120-127.
- [32]. Azhermachev S.G., Kerimov A.D. Seysmostoykiye fundamenty // Stroitelstvo i tekhnogennaya bezopasnost. 2013. №47. S. 51-56.
- [33]. Bulatov G.Ya., Kolosova N.B., Kolosov Ye.S., Teplov A.B. Zavisimost nesushchey sposobnosti svai ot form poperechnogo secheniya // Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy. 2013. №10(15). S. 15-24.
- [34]. Hamayoon K., Morikawa Y., Oka R., Zhang F. 3D dynamic finite element analyses and 1 g shaking table tests on seismic performance of existing group-pile foundation in partially improved grounds under dry condition. Soil dynamic and earthquake engineering. 2016. Vol. 90. Pp. 196-210.
- [35]. Kumar A., Choudhury D., Katzenbach R. Effect of Earthquake on Combined Pile-Raft Foundation. International journal of geomechanics. 2016. Vol. 16. No. 5.
- [36]. Souza T.J., Hems P.S., Gandolfo O.C.B., Aoki P.C., Ribeiro A.F. Use of Parallel-Seismic and Induction-Logging Tests for Foundation Depth Evaluation Under Difficult Conditions, a Roof-Pile Foundation Embedded in Rock. Soils and rock. 2016. Vol. 39. No. 3. Pp. 261-272.
- [37]. Li Z., Escoffier S., Kotronis P. Centrifuge modeling of batter pile foundations under earthquake excitation. Soil dynamic and earthquake engineering. 2016. Vol. 88. Pp. 176-190.
- [38]. Xu Y., Shang Y., Ye A.J. Dynamic interaction between bridge pier and its large pile foundation considering earthquake and scour depths. Advances in structural engineering. 2016. Vol. 19. No. 9. Pp. 1390-1402.
- [39]. Wang S.C., Liu K.Y., Chen C.H., Chang K.C. Experimental investigation on seismic behavior of scoured bridge pier with pile foundation. Earthquake engineering & Structural dynamics. 2015. Vol. 44. No. 6. Pp. 849-864.
- [40]. Ter-Martirosyan Z.G., Trinh T.V. Interaction of a long single pile that has a double-layer base with account for compressibility of the pile shaft. Vestnik MGSU. 2012. No. 4. Pp. 28-34.
- [41]. Hussien M.N., Karray M., Tobita T., Iai S. Kinematic and inertial forces in pile foundation under seismic loading. Computers and Geotechnics. Vol. 69. Pp. 166-181.
- [42]. Sexton A.G., Malonakis G.E., Mylona E.-L.V. Rotational excitation of bridges supported on pile groups in soft or liquefiable soil deposits. Computers and Structures. 2015. Vol. 155. Pp. 54-66.
- [43]. Lui. C., Zhang S., Hao E. Joint earthquake, wave and current action on the pile group cable-stayed bridge tower foundation: An experimental study. Applied Ocean Research. Vol. 63. Pp. 157-169.

Колосова Н.Б., Поваляев И.И., Ринейская А.А., Эффективность свайных технологий в зоне сейсмической активности// Alfabuild. 2018. №5(7). С. 16-25

Kolosova N.B., Povaliaev I.I., Rineyskaya A.A., Efficiency of pile technologies in the seismic area. Alfabuild, 2018, 5(7), Pp. 16-25(rus)

Efficiency of pile technologies in the seismic area

N.B. Kolosova¹, I.I. Povaliaev², A.A. Rineyskaya³

¹⁻³Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia

Article info

review article

Abstract

At the beginning of 2017, the erection of multistory buildings is one of the most important problems in areas of seismic activity. The purpose of the research is to find a productive way to solve this problem. This article presents an overview of the main types of piles used in the foundation construction in seismic areas. According to the method of installation, piles are divided into filling piles, driving piles and screw piles. Since the construction in seismic areas is limited to dynamic loads, main types of piles and methods of their installation have advantages and disadvantages. The results of the review show, that the driven and bored piles are one of the most suitable for areas with periodic earthquakes. The new technologies versions of pile's designs are presented.

Keywords:

Pile driving, pile foundations, earthquake, seismology, shear waves, dynamic loads, construction technologies, civil engineering

Corresponding author

1. +79219323351, po.isf@cef.spbstu.ru (Kolosova Natalya, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor)