



Кубанский государственный
аграрный университет им. И. Т. Трубилина

Лекция 5 по дисциплине: «Основания и фундаменты сооружений» Специальность - 08.05.01 Строительство уникальных зданий

Полищук А. И.
заведующий кафедрой
оснований и фундаментов,
д-р техн. наук, профессор



Общие положения

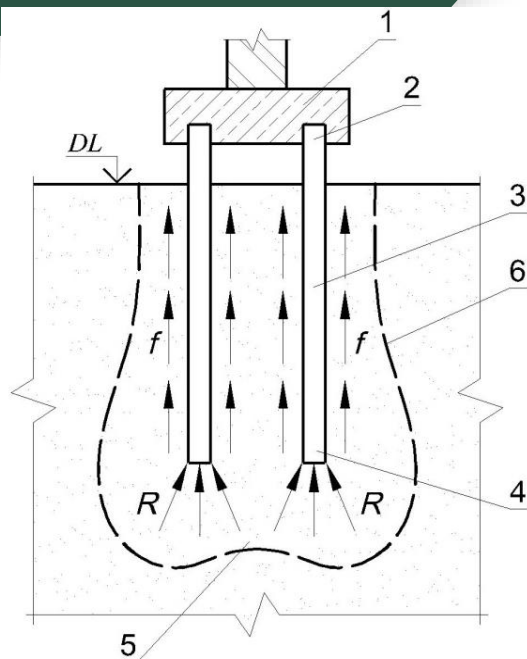
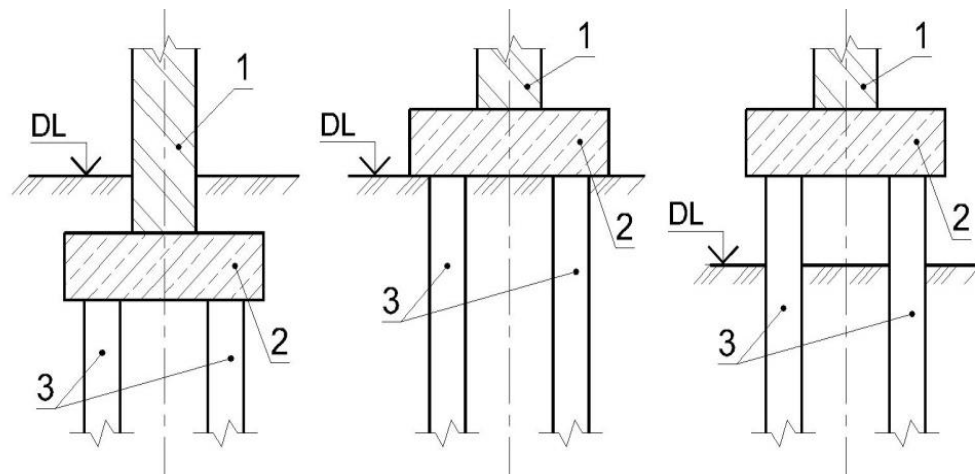


Схема свайного фундамента:

1 – ростверк; 2 – оголовок (голова) сваи; 3 – ствол сваи; 4 – нижний конец (острие, пята) сваи; 5 – грунтовое основание; 6 – контуры деформируемой области в основании фундамента



Виды свайных ростверков:

а, б – низкий; в – высокий; 1 – надземная несущая конструкция здания; 2 – ростверк свайного фундамента; 3 – сваи

Свайные фундаменты – это группы или ряды свай, объединенных поверху распределительной плитой или балкой. Распределительные плиты или балки, выполненные, как правило, из монолитного или сборного железобетона, называют *ростверками*. Если ростверк заглублен в грунт или его подошва расположена непосредственно на поверхности грунта, то его называют *низким свайным ростверком*, если подошва ростверка расположена выше поверхности грунта – *высоким свайным ростверком*

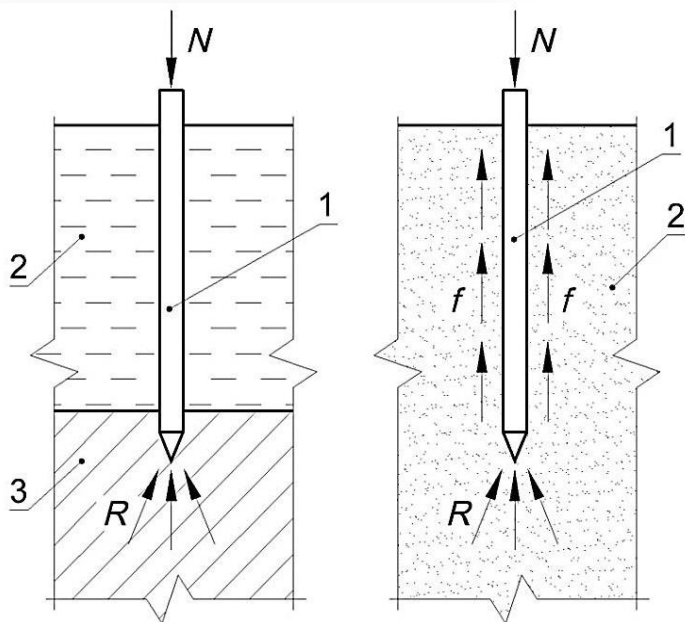
Общие положения

Свая – это погружаемый в готовом виде в грунт или изготавливаемый в грунте вертикальный или наклонный стержень (конструктивный элемент), предназначенный для передачи нагрузки от здания (сооружения) на грунт основания.

Сваи-стойки – сваи, прорезающие толщу сжимаемых грунтов и опирающиеся на практически несжимаемые скальные или малосжимаемые породы (грунты). К малосжимаемым относят крупнообломочные грунты с песчаным заполнителем и глины твердой консистенции с модулем общей деформации в водонасыщенном состоянии $E \geq 50000$ кПа (СП 24.13330.2011). **Висячие сваи** – сваи всех видов, опирающиеся на сжимаемые грунты и передающие нагрузку на основание боковой поверхностью и нижним концом.

Основные этапы проектирования:

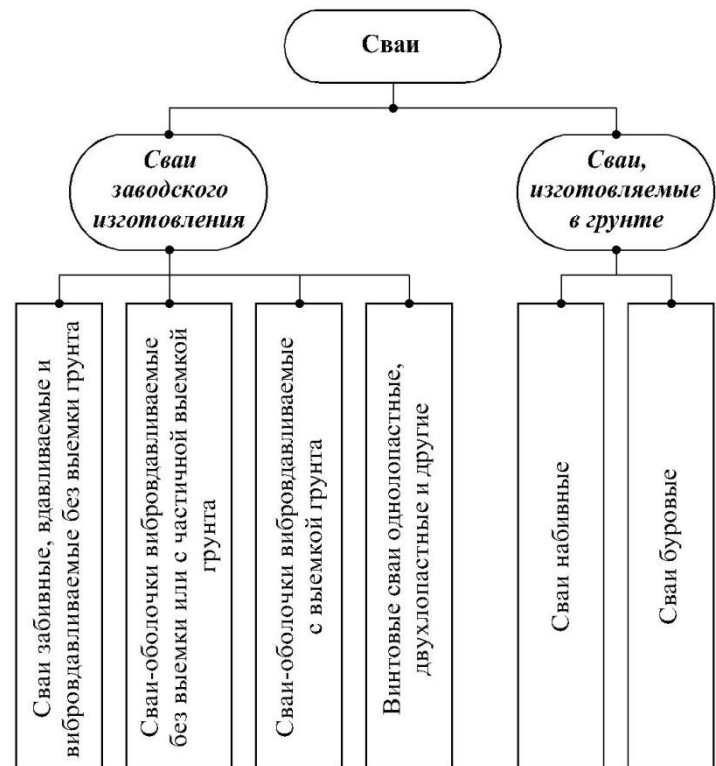
1. Анализ инженерно-геологических и гидрогеологических условий площадки строительства, выбор несущего слоя грунта для устройства свайного фундамента.
2. Определение расчетных нагрузок и воздействий на свайный фундамент.
3. Назначение глубины заложения подошвы ростверка свайного фундамента.
4. Выбор вида свай и назначение их длины.
5. Оценка несущей способности одиночной сваи с учетом способа ее устройства.
6. Определение требуемого количества свай в фундаменте в зависимости от несущей способности одиночной сваи и нагрузок (усилий), действующих на фундамент. Размещение свай в плане ростверка.
7. Конструирование ростверка с учетом необходимого количества свай и требований к минимальным размерам ростверка в плане и по высоте. Выбор типа сопряжения свай с ростверком (шарнирное или жесткое).
8. Определение фактической расчетной нагрузки, приходящейся на каждую сваю фундамента с учетом веса ростверка и грунта на его уступах (обрезах). Корректировка (при необходимости) длины и количества свай в фундаменте.
9. Расчет основания свайных фундаментов по деформациям (вторая группа предельных состояний).



Классификация свай по условиям взаимодействия с грунтом:

- а* – свая-стойка; *б* – висячая свая; 1 – свая;
2 – сжимаемый грунт; 3 – несжимаемый скальный или малосжимаемый грунт

Конструкции свай



Классификация свай по способу их изготовления (устройства)

Сваи **заводского изготовления** (готовые сваи) бывают:

1. Сваи забивные железобетонные, погружаемые в грунт с помощью молотов, а также вдавливающих и вибровдавливающих устройств без выемки грунта;
2. Сваи-оболочки, погружаемые в грунт вибропогружателями без выемки или с частичной выемкой грунта (без заполнения внутренней полости бетонной смесью);
3. Сваи-оболочки, погружаемые в грунт вибропогружателями с выемкой грунта (с заполнением внутренней полости бетонной смесью);
4. Сваи винтовые.

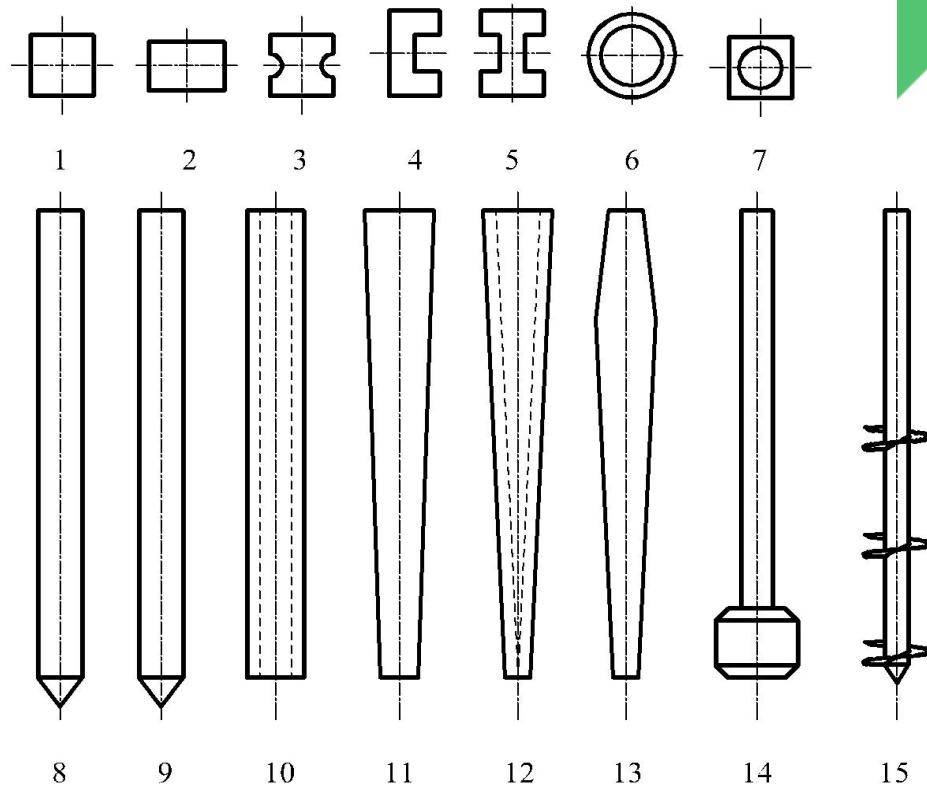
Сваи железобетонные заводского изготовления (размер поперечного сечения до 0,6 м включительно) и сваи оболочки (диаметром 1,0 м и более) подразделяются:

- по условиям взаимодействия с грунтом на сваи-стойки и висячие сваи;
- по форме поперечного сечения;
- по форме продольного сечения;
- по способу армирования – на сваи и сваи-оболочки с ненапрягаемой продольной арматурой и с предварительно напряженной продольной арматурой (стержневой или проволоочной);
- по конструктивным особенностям – на сваи цельные и составные из отдельных элементов (секций);
- по конструкции нижнего конца – на сваи с заостренным или плоским нижним концом, а также на сваи с объемным уширением или без уширения нижнего конца, на полые сваи с закрытым или открытым нижним концом.

Сваи заводского изготовления



Общий вид железобетонных свай
заводского изготовления



Формы сечений железобетонных свай заводского изготовления:

- а – форма поперечного сечения: 1 – квадратная; 2 – прямоугольная;
3 – квадратная с пазами; 4 – тавровая; 5 – двутавровая; 6 – круглая пустотелая;
7 – квадратная с круглой полостью; б – форма продольного сечения: 8 – призматическая;
9 – цилиндрическая; 10 – трубчатая; 11 – пирамидальная; 12 – коническая полая;
13 – ромбовидная; 14 – булавовидная; 15 – винтовая (многолопастная)

Сваи заводского изготовления

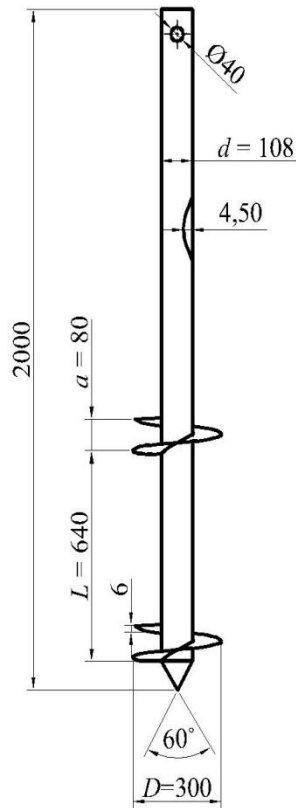


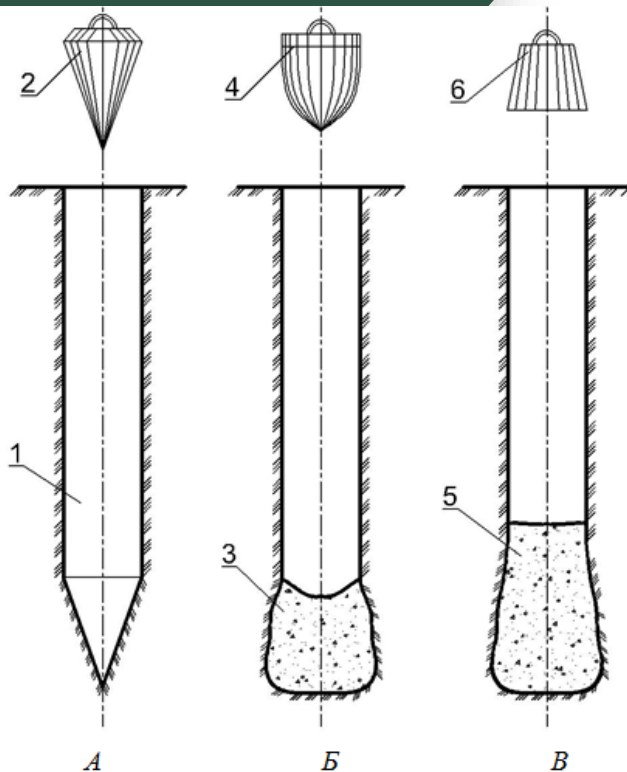
Схема конструктивного решения винтовой металлической двухлопастной сваи для быстровозводимых и временных зданий в глинистых грунтах

Винтовые металлические сваи состоят из металлической трубы и винтовой металлической лопасти, обеспечивающей погружение сваи вращением. Винтовые сваи имеют длину от 2 до 6 м при диаметре ствола от 0,108 до 0,219 м (диаметре лопасти от 0,3 до 0,5 м). По конструктивному решению винтовые металлические сваи бывают: с одной, двумя или тремя лопастями (многолопастные); многовитковые, а также типа «шуруп» и другие. Для погружения винтовых металлических свай используют обычно оборудование, устанавливаемое на трелевочном тракторе, экскаваторе или автомобильном кране.

Преимуществом винтовых свай является существенное сокращение земляных работ при устройстве фундаментов зданий (сооружений) и отсутствие динамического, вибрационного влияния на окружающую застройку. **Недостатком** винтовых металлических свай является подверженность их коррозии, и в первую очередь в местах сварных стыков элементов свай.

В последние годы при строительстве быстровозводимых и временных зданий на глинистых грунтах довольно часто применяются свайные фундаменты из винтовых металлических двухлопастных свай различной длины (преимущественно от 1,5 до 3,0 м). Исследованиями установлено, что одним из основных параметров, характеризующих работы таких свай в глинистых грунтах, является расстояние L между лопастями. При длине натуральных винтовых свай до 3,0 м и диаметре лопасти 0,3 м рациональное расстояние L между лопастями в глинистых грунтах составляет 2,0–2,5 диаметра лопасти (Ф. А. Максимов, 2018). Результаты экспериментальных исследований показали, что в глинистых грунтах несущая способность винтовых двухлопастных свай F_d длиной 1,5–3,0 м и диаметром лопасти 0,3 м на 25–30 % больше по сравнению с винтовыми однолопастными сваями аналогичных геометрических размеров.

Сваи, изготавливаемые в грунте



Изготовление набивных свай системы «Компрессоль»

Сваи, изготавливаемые в грунте бывают набивные и буровые:

Набивные сваи устраивают в скважинах, которые выполняются пробивкой, раскатыванием, статическим или вибрационным продавливанием грунта.

Набивные сваи по способу изготовления подразделяются на:

- набивные, устраиваемые путем погружения инвентарных труб;
- набивные вибротрамбованные (виброштампованные), устраиваемые в пробитых скважинах;
- набивные в выштампованном ложе.

Набивные сваи рекомендуется применять вместо забивных свай преимущественно при отсутствии в зоне их погружения подземных вод, особенно в случае, когда затруднено получение забивных железобетонных свай заводского изготовления или когда застраиваемая территория характеризуется резким колебанием уровня залегания малосжимаемых и несжимаемых грунтов. Набивные сваи изготавливают диаметром поперечного сечения до 0,8 м и длиной до 50 м.

Для набивных свай **известна технология их изготовления «Компрессоль»**, которая заключается в следующем. Вначале путем многократного сбрасывания с высоты чугунного конуса пробивается скважина. Затем скважину заполняют бетонной смесью, щебнем или песком и уплотняют трамбовкой стрелчатой формы до образования уширенной части в основании сваи. Затем укладывают бетонную смесь в верхнюю часть скважины с уплотнением плоской трамбовкой

Сваи, изготавливаемые в грунте

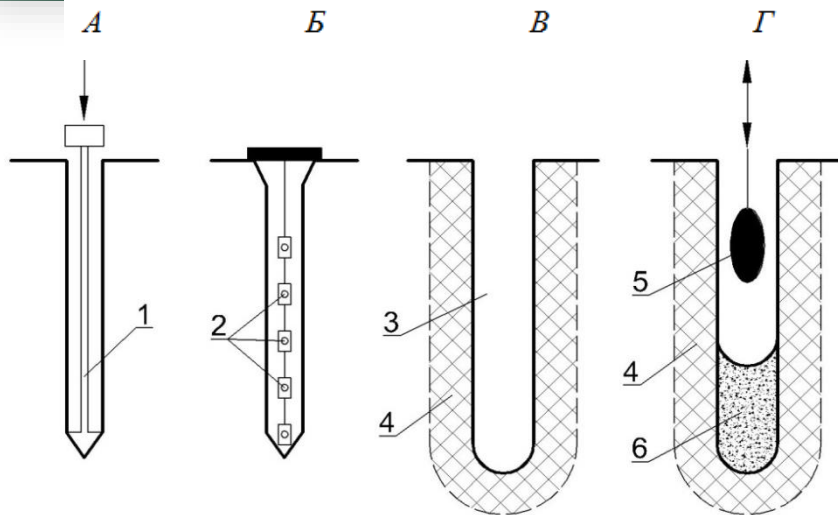
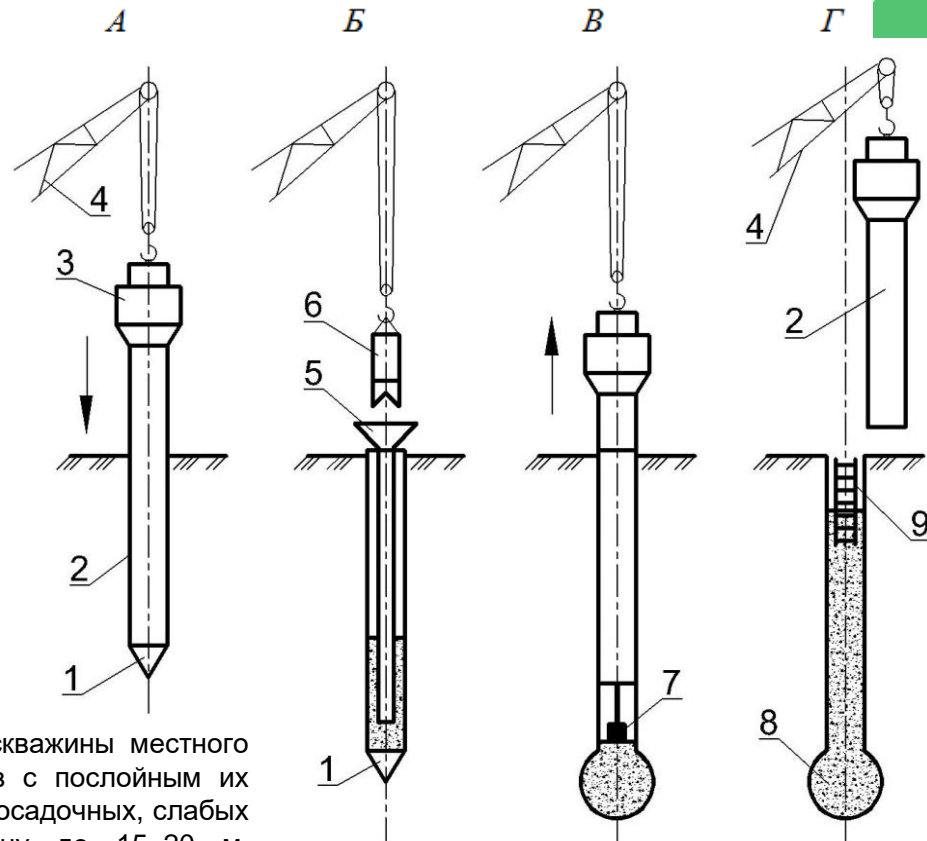


Схема устройства грунтовых свай способом взрывов

Грунтовые сваи устраиваются в грунте путем укладки в скважины местного грунта, песка, щебня, негашеной извести или других материалов с послойным их уплотнением. Также сваи применяются для уплотнения лессовых просадочных, слабых глинистых и насыпных пылевато-глинистых грунтов на глубину до 15–20 м. Использование набивных грунтовых свай рассматривается не как способ применения свайных фундаментов для гражданских и промышленных зданий, а как *способ искусственного улучшения свойств грунтов основания* на строительных площадках со сложными грунтовыми условиями.



Технологическая схема устройства вибротрамбованных свай

Сваи, изготавливаемые в грунте

Буровые сваи устраивают в скважинах, которые выполняются бурением с использованием различного оборудования и приспособлений. По способу устройства буровые сваи подразделяют:

- буронабивные сплошного сечения с уширениями и без них;
- буронабивные с применением технологии непрерывного поллого шнека НПШ (CFA);
- буронабивные с камуфлетной пятой;
- буроинъекционные (инъекционные) диаметром 0,15–0,35 м.

Буронабивные сплошного сечения. По способу изготовления буронабивных свай можно выделить четыре основных их типа:

- сваи, не требующие специальных мероприятий по креплению стенок скважины;
- сваи, изготавливаемые в неустойчивых грунтах с креплением стенок скважин неизвлекаемыми или извлекаемыми обсадными трубами;
- сваи, стенки скважин которых удерживаются от обрушения глинистым раствором;
- сваи в устойчивых глинистых грунтах (сухих) для малонагруженных зданий и сооружений.

Буронабивные сваи с применением технологии НПШ (CFA). Скважины под сваи разрабатывают с помощью рабочего органа – непрерывного проходного шнека, монтируемого на буровых установках. Данный тип свай имеет диаметр от 0,45 до 1,0 м и длину до 22 м. Метод НПШ (CFA) применяется в различных грунтах: как в плотных, так и в неустойчивых водонасыщенных.

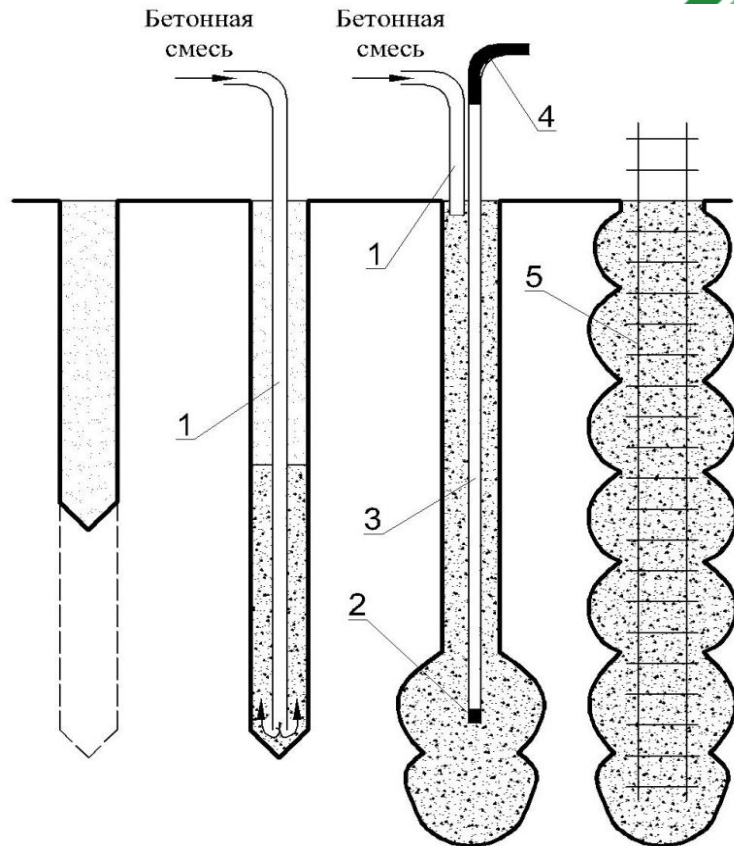
Буронабивные сваи с камуфлетной пятой представляют собой заполненные бетоном пробуренные скважины с уширениями, которые образованы при помощи взрывов (в том числе электрохимических). Процессы армирования и бетонирования свай с камуфлетной пятой осуществляются по аналогии с одноименными процессами при устройстве буронабивных свай без уширения.

Буроинъекционные (инъекционные) сваи диаметром 0,15–0,35 м устраиваются в пробуренных (продавленных) скважинах путем нагнетания (инъекции) в них подвижной мелкозернистой бетонной смеси. Такие сваи отличаются большой гибкостью ($I/d = 80–120$); малым диаметром ($d = 0,15–0,35$ м); способом изготовления (инъекция в скважину мелкозернистого бетона). Буроинъекционные сваи в зависимости от характера и действующих нагрузок армируются на всю длину или в пределах верхней части. Длина секций арматуры определяется в основном высотой помещения, в котором производятся работы (не более 4,5 м). Рассматриваемые буроинъекционные сваи рекомендуется применять при строительстве новых объектов в стесненных условиях, а также в условиях реконструкции и восстановления зданий. Разновидностью рассматриваемых свай являются **буроинъекционные сваи «Титан»**, которые проектируют для работы на сжимающие и растягивающие (выдергивающие) нагрузки. Диаметр свай «Титан» составляет 150–250 мм при их длине до 8 м. Если буроинъекционная свая проектируется на действие растягивающих (выдергивающих) нагрузок, то их называют **анкерными**. Такие сваи состоят из арматурной тяги и монолитного бетонного ствола. Анкерная тяга в виде трубы с непрерывной резьбой одновременно служит буровой штангой и инъекционной трубкой.

Сваи, изготавливаемые в грунте

Буроинъекционные сваи РИТ

Буроинъекционные сваи диаметром 0,15–0,35 м могут выполняться путем обработки бетона в скважине электрическими разрядами (серией разрядов-импульсов тока высокого напряжения). Поэтому такие **сваи называют РИТ**. Способ обработки бетона в скважинах электрическими разрядами импульсами тока применяется в конструкциях свайных фундаментов зданий повышенной этажности. Сваи РИТ применяются также для зданий и сооружений II и III уровней ответственности, реконструируемых зданий, зданий-памятников истории и архитектуры



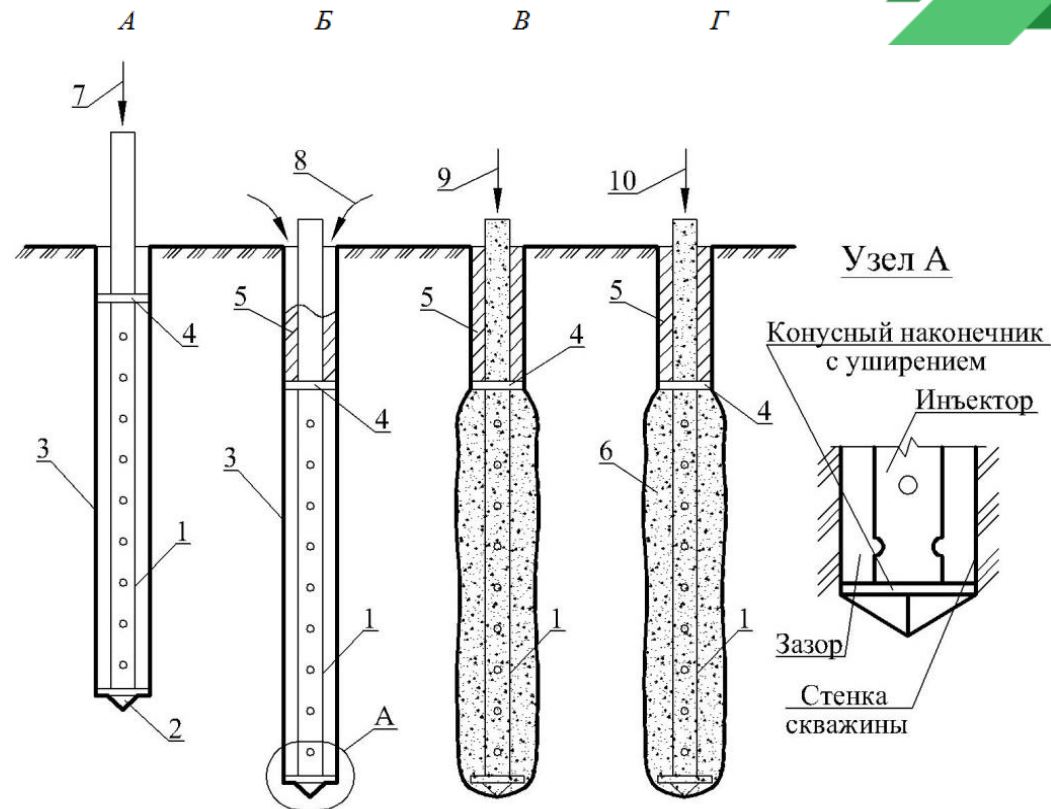
Технологическая схема изготовления буроинъекционной сваи с использованием электрических разрядов (сваи РИТ)

Сваи, изготавливаемые в грунте

Инъекционные сваи

В последние годы, в связи с ростом объемов реконструкции и восстановления зданий (сооружений) широкое распространение получили способы усиления фундаментов с использованием **инъекционных свай**. Под инъекционными понимаются сваи, которые формируются в предварительно подготовленных скважинах путем инъекции под давлением подвижной бетонной смеси с последующей опрессовкой системы «свая – грунт основания» (А. И. Полищук, А. А. Петухов, 2005).

Инъекционные сваи устраиваются в глинистых грунтах (супеси, суглинки, глины) в подготовленных скважинах. Скважины для рассматриваемых свай образуются без извлечения грунта путем вдавливания в основание стального перфорированного иньектора (иньекторной трубы) с конусным наконечником, имеющим уширение. Ствол инъекционной сваи формируется путем нагнетания в скважину через иньектор подвижной бетонной смеси.



Технологическая схема устройства инъекционных свай

Явление, происходящее в грунте при погружении и устройстве свай

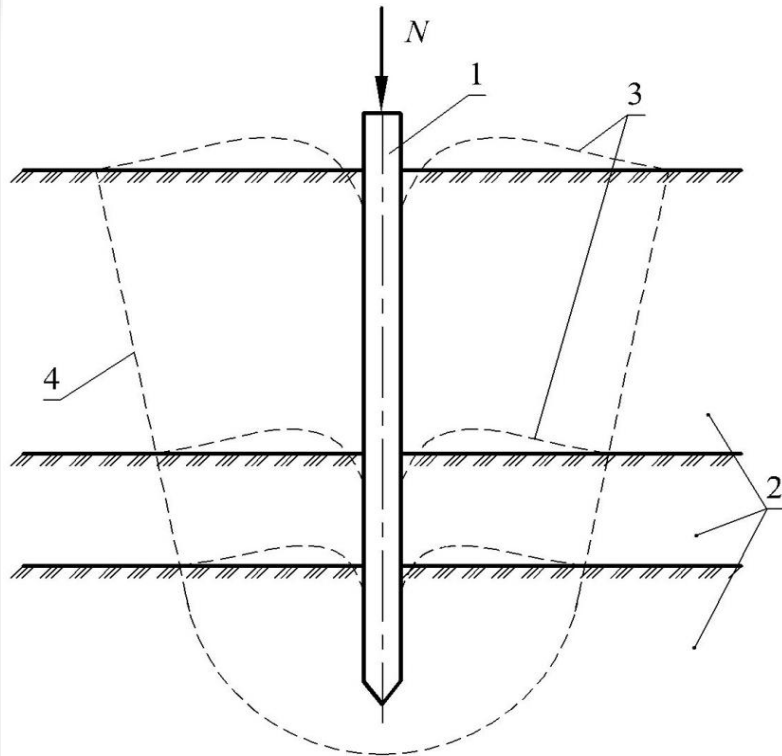


Схема взаимодействия сваи с водонасыщенным глинистым грунтом при ее погружении

В процессе погружения сваи в грунт происходит его **уплотнение**. Наилучшим образом уплотняются рыхлые и средней плотности пески, а также неводонасыщенные пылевато-глинистые грунты. Уплотнение таких грунтов может быть настолько велико, что возникают значительные трудности для погружения свай на заданную отметку.

Совершенно иные процессы протекают при погружении свай в полностью водонасыщенные глинистые грунты. Уплотнение таких грунтов может быть обеспечено только при отжатии поровой воды, так как их водопроницаемость незначительна и отжатие воды из пор идет очень медленно по сравнению с погружением свай. При этом, вместо уплотнения грунта, наблюдается перемещение его в стороны и вверх, что приводит зачастую к подъему дна котлованов при погружении свай.

Опыт строительства зданий, сооружений показывает, что после забивки (вдавливания) свай заводского изготовления в песчаные или глинистые грунты им нужно **«отдохнуть»** (постоять в спокойном состоянии без нагружения). Это необходимо для отжатия поровой воды из грунта, восстановления его структуры и увеличения несущей способности свай. В глинистых грунтах время «отдыха» свай составляет: для супесей 4–7 суток; для суглинков 10–15 суток; для глин от 20 до 45 суток (до 1,5 месяца). В песчаных грунтах время «отдыха» свай меньше, чем в глинистых и составляет обычно не менее 3 суток. За этот период происходит релаксация (рассеивание) напряжений в песчаном грунте и сопротивление погружению свай уменьшается.

В случае устройства набивных или буровых свай, которые не забиваются (вдавливаются), а изготавливаются непосредственно на площадке в грунте, процессы, происходящие в массиве, в значительной степени зависят от технологии их изготовления. Если скважина устраивается с помощью снаряда (трамбовки) для пробивки скважин, то в массиве грунта вокруг сваи наблюдаются схожие (аналогичные) процессы с забивкой свай. Применение бурения грунта при устройстве скважины приводит к его **разуплотнению** и уменьшению несущей способности свай.



БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!

Кубанский государственный
аграрный университет имени И. Т. Трубилина
*заведующий кафедрой «Основания и фундаменты»,
д-р техн. наук, профессор Полищук А. И.*