

УДК 624.138.24

## **АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СПОСОБОВ УКРЕПЛЕНИЯ СЛАБЫХ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ В СОВРЕМЕННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ, СТРОИТЕЛЬСТВЕ И РЕКОНСТРУКЦИИ**

*Д. А. Батаев, Д. В. Зинченко, Д. А. Айшатаков  
Астраханский государственный  
архитектурно-строительный университет*

Широкое применение инъекционных способов закрепления грунта в подземном и дорожном строительстве, при возведении промышленных и гражданских зданий обусловлено повышением прочности, водонепроницаемости, сопротивления размыву грунтового массива, а также увеличения его несущей способности. Участок, представленный под строительство объекта, не всегда пригоден для проведения работ, поскольку может быть расположен на слабых грунтах и потребуются его предварительная подготовка, что приведет к удорожанию строительства. В статье проведен анализ практической реализации современных технологий закрепления грунтов на примере конкретных объектов.

**Ключевые слова:** *инъекционные методы, укрепление грунтов, фундамент.*

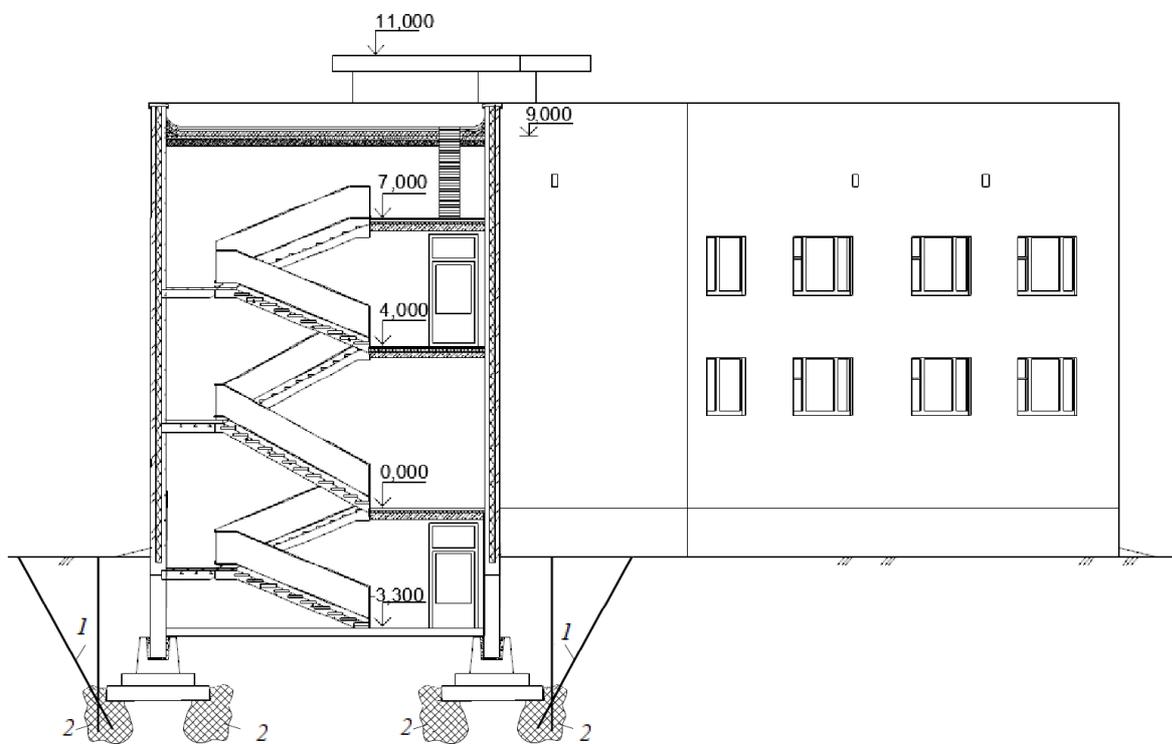
The wide application of injection methods of soil consolidation in underground and road construction, in the construction of industrial and civil buildings is due to the increase in strength, water resistance, resistance to erosion of the soil massif, as well as to increase its bearing capacity. The site submitted for the construction of the facility is not always suitable for carrying out works, since it can be located on weak grounds and its preliminary preparation will be required, which will lead to a rise in the cost of construction. The article analyzes the practical implementation of modern technologies for fixing soils on the example of specific objects.

**Keywords:** *injection methods, soil consolidation, foundation.*

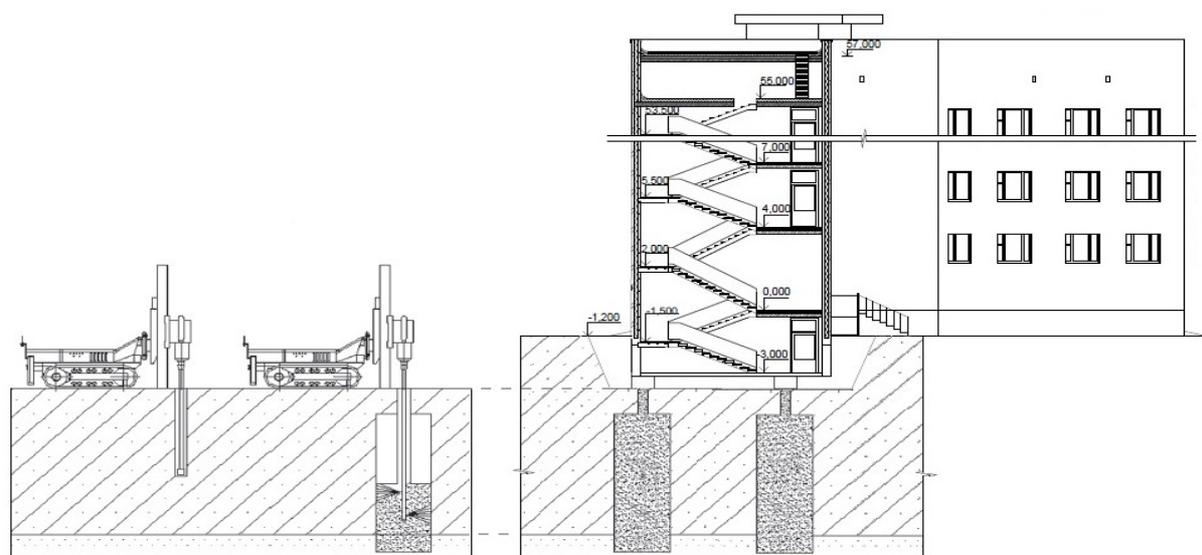
*Инъекционное закрепление грунтов* технологически, а также в зависимости от сопутствующих процессов в грунте подразделяют на три вида: химические (раствор вступает в химическую реакцию с грунтом), физико-химические и термические (обжиг).

Рассмотрев различные характеристики и показатели экспериментального, аналитического опыта в сравнении нескольких способов закрепления грунтов можно сделать вывод, что наиболее эффективными являются [1–5]: двухрастворная силикатизация на основе силиката натрия и хлористого кальция при коэффициенте фильтрации грунтов 5–80 м/сут с прочностью закрепленного грунта при сжатии 2–8 МПа; цементация на основе цементных, цементно-песчаных и цементно-глинистых растворов напротив, требует не менее 80–200 м/сут в основании грунта, при более низких

показателях прочности грунта при сжатии 1–3,5 Мпа. Некоторые варианты расположения инъекторов при закреплении грунтов оснований под фундаментами в процессе реконструкции и при закреплении слабых грунтов в процессе строительства показаны на рис. 1 и 2.



*Рис. 1. Варианты расположения инъекторов при закреплении грунтов оснований под фундаментами в процессе реконструкции: 1 – фундамент; 2 – инъектор; 3 – зона закрепления*



*Рис. 2. Вариант устройства инъекционных колонок под фундаментами в процессе возведения нулевого цикла*

*Вибропогружение* (рис. 3) – это способ погружения в грунт свай, труб, шпунтов, а также других различных конструкций их железобетона и металла в нескальные грунты. Метод заключается в том, что вибрационные воздействия проходят через лобовое сопротивление, образующееся под острием сваи и трения, т.е. по ее боковой поверхности, что дает возможность погружения сваи на заданную проектом отметку, в тоже время силы трения в грунте значительно уменьшаются, что дает возможность погружать сваи быстро и эффективно. Значительный эффект при вибропогружении наблюдается в спектре уплотнения грунтов, уменьшения объемов пор в макропористых и просадочных грунтах [6–9].

Способ вибропогружения широко применяется так же при возведении мостов, портовых конструкций, подземных объектов тогда, когда нужно погрузить сваю в водонасыщенный грунт. Вибропогружатель может погружать в грунт такие элементы, масса которых больше массы самого погружателя, что является отличительной чертой данных технологических систем. Вибропогружение шпунта выполняется механизмами на базе крана или экскаватора, позволяющего выполнять работы в стесненных условиях. Использование данного вибропогружателя (благодаря боковым захватам сваи) позволяет поднять, перемещать на площадке строительства, погружать и извлекать сваю или шпунт.

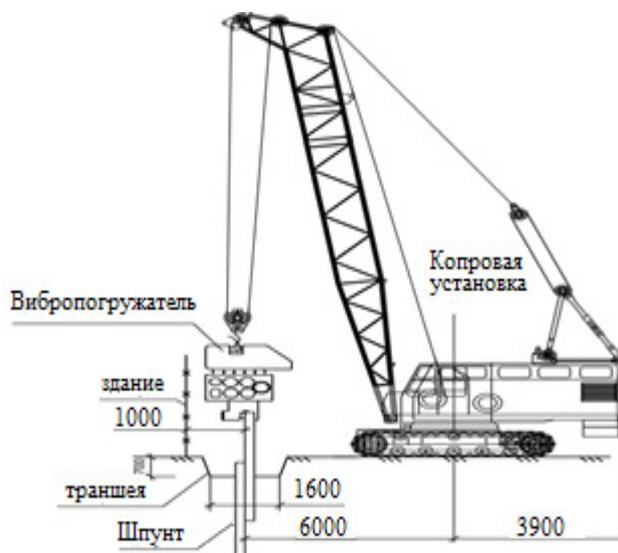


Рис.3. Схема вибропогружения свай с помощью копровой установки с навесным оборудованием

*Грунтовые анкера* - используются в роли системы распора и компенсируют действующий на конструкцию со стороны грунта опрокидывающий момент в проектировании и возведении земляных сооружений. Использование грунтовых анкеров делает откосы котлована более устойчивыми при его разработке. В процессе устройства нельзя не учесть возможность влияния грунтовых анкеров на осадки фундаментов, расположенных достаточно близко зданий и сооружений.

Существует несколько методов устройства грунтовых анкеров:

*Самозабуриваемые анкера* - используя жидкий цементный раствор ( $V/C = 0,7-1,0$ ) происходит бурение с промывкой, после чего осуществляется нагнетание густого цементного раствора ( $V/C = 0,4-0,6$ ). Крошку, полученную при бурении, из скважины выталкивает промывной раствор цемента, для предотвращения обрушения образуя постепенный переход тела сваи и грунта, при этом укрепляя стенки пробуренного отверстия. И так, увеличение диаметра изготовленной сваи, в зависимости от свойств грунта возможно до двойного диаметра буровой коронки. Неровная поверхность стенок анкерных свай способствует их хорошему сцеплению с грунтом. По достижении расчетной свайной отметки, продолжается вращение и нагнетание буровой штангой густого цементного раствора, который вытесняющего промывную жидкость, в то время как давление доходит до 80 бар, внося свой вклад в уплотнение слабых грунтов и расширяя сваи в диаметре. Буровая штанга остается в скважине в роли элемента армирования сваи, позволяющего принимать сжимающие и выдергивающие нагрузки. Бурение с неустановленной обсадной трубой параллельно с нагнетанием через буроинъекционную штангу цементного раствора значительно ускоряет и упрощает осуществление устройства анкерных свай.

*Инъекционный анкер с арматурной тягой* - анкер из арматурного стержня используется только в случаях устойчивости стенок скважины. При данной технологии бурится лидерная скважина с запроектированным диаметром. Анкерная арматурная тяга устанавливается вместе с двумя инъекционными трубками в готовую скважину. Цементный раствор наполняющий скважину поступает в трубки инъекции, а по достижении цемента в скважине достаточной прочности, производим посредством домкратов натяжение анкера.

*Струйная цементация грунтов (Jet grouting)* – разработка российско-го ученого Бройда. Основа технологии состоит в применении энергии струи цементного раствора под высоким напором для совместного разрушения и смешивания в режиме «mix-in-place» грунта и цементного раствора.

Раствор твердеет, образуется грунтобетон с высоким уровнем деформационных и прочностных показателей. Такой вид цементации грунтов дает возможность укреплять широкий спектр грунтов, будь то гравийные отложения или же мелкодисперсные глины, что выделяет ее на фоне традиционных технологий инъекционного закрепления грунтов.

Технология струйной цементации применяется в различных областях: заполнение карстовых полостей в трещиноватых скальных грунтах; ограждение котлованов в обводненных грунтах; устройство противофильтрационных завес; увеличение прочностных характеристик фундаментов при реконструкции и надстройке зданий; увеличение устойчивости откосов и склонов котлована; усиление слабых грунтов (строительство

тоннелей и коллекторов). Устройство грунтоцементных свай (Jet свай) состоит из двух этапов:

На первом, выполняют бурение первой (лидерной) скважины при прямом ходе до необходимой проектной отметки. На втором, при обратном ходе в форсунки находящегося на нижнем конце буровой колонны монитора, подают цементный раствор под высоким давлением и осуществляют подъем колонны параллельно вращая ее. Основные разновидности технологии:

- *однокомпонентная (Jet1)* – грунт разрушают струей цементного раствора при давлении нагнетания раствора 400–500 атм. Технология Jet1 доступна в исполнении, так как для нее необходим минимальный набор оборудования, но по сравнению с остальными вариантами технологий свай по-прежнему являются наименьшими в диаметре. К примеру, диаметр грунтоцементных свай составит 700-800 мм в песчаных грунтах, а в глинистых не превышает 600 мм;

- *двухкомпонентная (Jet2)* – используя силу сжатого воздуха, увеличивают длину водоцементной струи. Двойные полые штанги применяют для раздельной подачи раствора в монитор по внутренним, а сжатого воздуха по внешним. Диаметр свай достигает 1200 мм в глинах и 1500 мм в песках;

- *трехкомпонентная (Jet3)* – водовоздушная струя служит только для размывания и создания полостей в грунте, впоследствии заполняющихся цементным раствором. Преимуществом являются колонны из чистого цементного раствора. К недостаткам относят сложность технологической схемы с применением тройных штанг и помимо этого дополнительное использование технологических устройств. При верном подборе технологических параметров получают сваи диаметром до 2500 мм.

Струйная цементация грунтов по технологии Jet1 осуществляется следующими приборами: насос высокого давления (цементировочный); миксерная станция; силос для хранения цемента; буровая установка. Технология Jet2 также потребует наличие компрессора, технология Jet3 – второй насос для подачи цемента, компрессор. Приготовление большого количества цементного раствора потребует миксерную станцию производительностью 10–20 м<sup>3</sup>/час. Буровую установку оснащают устройством автоподъема с заданной скоростью буровой колонны.

Таким образом, анализ применения технологических способов укрепления и закрепления слабых грунтовых оснований в современном проектировании, строительстве и реконструкции зданий и сооружений показывает их высокую эффективность в практическом применении с минимальными затратами капитальных вложений на материалы, оснастку и трудоемкость исполнения [1–16]. Дальнейшие исследования в применении подобных технологий в проектировании в рамках реализации сквозного курсового и дипломного проектирования применительно к конкретным кон-

структивным решениям промышленных и гражданских зданий позволят авторам статьи сделать более конкретные результативные выводы, в особенности с учетом гидрогеологических и климатических условий строительства в Астраханском регионе.

#### Список литературы

1. СТО НОСТРОЙ 2.5.18-2011. Укрепление грунтов инъекционными методами в строительстве. М., 2012
2. [http://www.anker-pk.ru/poleznoe/zakreplenie\\_gruntov](http://www.anker-pk.ru/poleznoe/zakreplenie_gruntov)
3. <http://jet-grouting.ru/technology/jet-grouting>
4. Купчикова Н. В. Экспериментальные исследования по закреплению слабых грунтов под фундаментами физико-химическими методами с применением добавок-пластификаторов // Вестник гражданских инженеров. 2014. № 3 (44). С. 123–132.
5. Новые строительные материалы и изделия: региональные особенности производства / Д. П. Ануфриев, Н. В. Купчикова, Н. А. Страхова, Л. П. Кортовенко, В. А. Филин, Е. М. Дербасова, С. С. Евсеева, П. С. Цамаева. М. : Изд-во АСВ (Москва), 2014. 200 с.
6. Купчикова Н. В. Системный подход в концепции формообразования свайных фундаментов с уширениями // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. Вып. 12 (111). С. 1361–1368.
7. Купчикова Н. В. Формообразование концевых уширений свай в поперечном сечении и методика их деформационного расчета // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 1 (48). С. 88–96.
8. Купчикова Н. В. Методика расчета свай с уширениями, основанная на свойствах изображений Фурье финитных функций // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 8. С. 24–26.
9. Ануфриев Д. П., Купчикова Н. В. Эффективные строительные конструкции и технологии на Каспийском инновационном форуме – 2009. // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2009. № 5. С. 52.
10. Новые конструкции и технологии при реконструкции и строительстве зданий и сооружений / Д. П. Ануфриев, Т. В. Золина, Л. В. Боронина, Н.В. Купчикова, А. Л. Жолобов. М. : АСВ, 2013. 208 с.
11. Завьялова О. Б., Кузьмин И. А. Расчет конструкций на упругом основании : учеб.-метод. пособие для студентов строительных специальностей. Астрахань, 2010. 125 с.
12. Завьялова О. Б. Уточнение расчетных усилий в монолитных фундаментных плитах при действии сосредоточенных нагрузок // Промышленное и гражданское строительство. 2007. № 9. С. 24–25.
13. Voronkova G. V., Pshenichkina V. A., Rekunov S. S. Statistical model for dynamic analysis of beams on stochastic foundation // Procedia Engineering (см. в книгах). 2017. Т. 206. С. 437–442.
14. Воронкова Г. В. Колебания балки на стохастическом основании // Научные основы стратегии развития АПК и сельских территорий в условиях ВТО : Международная научно-практическая конференция, посвященная 70-летию образования ВолГАУ. Волгоград, 2014. С. 150–151.
15. Воронкова Г. В., Пшеничкина В. А. Применение модели линейно деформируемого стохастического полупространства для расчета системы «балка – неоднородное основание» // Науковедение. Интернет-журнал. 2014. № 5 (24). С. 27.
16. Шапошников Н. А., Воронкова Г. В. Динамический расчет балки на стохастическом основании // Наука сегодня: теоретические аспекты и практика применения : Международная заочная научно-практическая конференция. Тамбов, 2011. С. 164–165.